

# Über die Beeinflussung des Wachstums des Mesokotyls und der Koleoptile von *Avena*-Keimlingen durch das Licht.

Von

Hideo HAMADA

Botanisches Institut der Kaiserl. Universität zu Kyoto.

---

Mit 53 Tabellen und 36 Abbildungen

---

(Received May 2, 1931)

## Inhaltsübersicht

	Seite
A. EINLEITUNG . . . . .	163
B. METHODISCHER TEIL . . . . .	165
(1) Material . . . . .	165
(2) Versuchsanordnung . . . . .	165
(a) Versuchszimmer . . . . .	165
(b) Aufzucht der Keimlinge . . . . .	165
(c) Belichtungseinrichtung . . . . .	167
(3) Messung der Erfolge und graphische Darstellung der Versuchsdaten . . . . .	168
C. EXPERIMENTELLER TEIL . . . . .	168
(I) Kulturbedingungen und Wachstumsverlauf im Dunkeln . . . . .	168
(a) Gewichtszunahme der quellenden Samen . . . . .	169
(b) Temperatur und Feuchtigkeit . . . . .	170
(c) Kulturmedium . . . . .	174
(1) Destilliertes Wasser . . . . .	174
(2) Tiefe des Säens in Gartenerde und Sägespänen . . . . .	176
(d) Gewicht der Samen und das Wachstum . . . . .	177
(1) Alter der Samenproben . . . . .	177
(2) Aussen- und Innenkorn . . . . .	178
(e) Grössenverhältnisse des Endosperms . . . . .	179
(f) Spiralkrümmung des Mesokotyls intakter Keimlinge . . . . .	179
(g) Zusammenfassung des Abschnitts I . . . . .	180
(II) Hemmungswirkung des Lichtes auf die Endlänge der Keimlingsglieder und das von ihr gebildete Tal der Hemmungskurve . . . . .	181

	Seite
(a) Orientierungsversuche . . . . .	181
(1) Versuche mit 15 MK . . . . .	181
(2) Versuche mit 510 MK . . . . .	182
(b) Hauptversuche mit 1260 MK . . . . .	182
(1) Hemmungskurve des Wachstums bei 25° . . . . .	182
(2) Hemmungskurve des Wachstums bei 15° . . . . .	185
(3) Hemmungskurve des Wachstums bei 30° . . . . .	186
(4) Grosse Periode des Wachstums von Mesokotyl und Koleoptile im Dunkeln bei verschiedenen Temperaturen . . . . .	188
(5) Zuwachsgrösse des Mesokotyls und der Koleoptile bei der grossen Periode des Wachstums . . . . .	189
(6) Zeitliche Verhältnisse der grössten Hemmung und Streckung . . . . .	190
(7) Wachstumshemmung des Mesokotyls hervorgerufen durch Belichtung der Koleoptilenspitze . . . . .	190
(III) Wachstumshemmung bei verschiedenen Belichtungsstärken . . . . .	191
(a) 5 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	192
(b) 15 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	192
(c) 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	193
(d) 60 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	194
(e) 6 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	195
(f) 12 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	195
(g) 24 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK . . . . .	196
(h) Dauerbelichtung in Anfangsstadien mit 1260 MK . . . . .	197
(i) Dauerbelichtung in Endstadien mit 1260 MK . . . . .	198
(j) Lichtwirkung auf die quellenden Samen . . . . .	199
(k) Wachstumshemmung durch das Sonnenlicht . . . . .	201
(l) Wachstumshemmung des Mesokotyls im allgemeinen . . . . .	202
(m) Wachstumshemmung der Koleoptile im allgemeinen . . . . .	202
(n) Zusammengesetzte Kurve der Wachstumshemmung von Mesokotyl und Koleoptile . . . . .	205
(o) Wachstumsbeschleunigung des Primärblattes . . . . .	206
(p) Entwicklung der Wurzel und des Sprosses in ihrer Beziehung zu der Belichtung . . . . .	207
(IV) Wachstumsverlauf der belichteten Keimlinge . . . . .	208
(a) Im 18stündigen Alter belichtete Keimlinge . . . . .	208
(b) Im 51stündigen Alter belichtete Keimlinge . . . . .	209
(c) Im 66stündigen Alter belichtete Keimlinge . . . . .	210
(d) Im 78stündigen Alter belichtete Keimlinge . . . . .	211
(e) Zusammenfassung des Abschnitts IV . . . . .	211
(f) Wachstumsverläufe der Organe im hellen Gewächshaus . . . . .	215
D. DISKUSSION . . . . .	216
E. HAUPTERGEBNISSE . . . . .	221
F. ANHANG . . . . .	225
G. LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	236

## A. EINLEITUNG.

Seit anderthalb Jahrzehnten sind Gramineen-Keimlinge, besonders die von *Avena sativa*, zu reizphysiologischen Untersuchungen verwendet worden. Der Grund dafür liegt wohl darin, dass sie zu jeder Zeit keimfähig und sehr empfindlich gegenüber dem Licht, der Schwerkraft usw. sind. Man hat sich aber dabei vorwiegend mit der Koleoptile beschäftigt, ohne das darunter liegende Mesokotyl besonders zu berücksichtigen, so dass die Resultate unter Umständen kaum eindeutig zu sein scheinen.

ROTHERT (1896, S. 27) hat aber auf die Wachstumshemmung des Mesokotyls durch eine nur zeitweilige Belichtung bei *Avena* und *Pharalis* aufmerksam gemacht. Dass die Lichtempfindlichkeit des Mesokotyls stärker ist als die der Koleoptile, ist bei *Panicum* (FITTING 1908, SCHROEDER 1910), *Sorghum* (FITTING 1908, ZOLLIKOFER 1928) und *Mais* (WIESNER 1893, GOFF 1901 und FITTING 1908) festgestellt worden. ZADE (1918, S. 28-9) hat auch beobachtet, dass das Mesokotyl der *Avena*-Keimlinge sich bei tiefer Aussaat bis zum Hervortreten der Koleoptilenspitze auf die Erdoberfläche in die Länge strecken kann. Neuerdings hat BEYER (1927, S. 186) zufällig mesokotylfreie Keimlinge gewonnen, als er ausgesäte Samen versehentlich etwa zwei Tage lang im Gewächshaus hatte stehen lassen, wo sie dem diffusen Tageslicht ausgesetzt waren. LANGE (1929) und DU BUY und NUERNBERGK (1929) haben dann noch eingehendere Untersuchungen gemacht. Der erstere bestätigte die hemmende Wirkung des roten und des weissen Lichtes auf das Mesokotylwachstum beim Hafer und konnte nahezu mesokotylfreie Haferkeimlinge zunächst durch eine 12 bis 16 Stunden lange Bestrahlung mit Rotlicht während der Quellungsperiode erlangen. Die letzteren haben dasselbe erzielt, entweder durch Wärmestrahlen, bei Einwirkung eines wie ein kleines Plätteisen gebauten Radiators auf 40-47 Stunden alte Keimlinge oder durch eine 14stündige Bestrahlung mit monochromatischem kurzwelligem Licht. Auf Grund dessen haben sie vermutet, dass Wärme und Licht jedenfalls in einem bestimmten Stadium der Keimlingsentwicklung gleichsinnig hemmend auf das Mesokotylwachstum wirken; doch blieb die Frage, ob diese Einwirkung prinzipiell nach einem gleichen physiologischen Typus verläuft oder nicht, ungelöst.

Aus den oben angeführten Untersuchungen kann man schliessen, dass infolge der grossen Empfindlichkeit des Mesokotyls das darüber befindliche Bohrorgan, die Koleoptilenspitze, bis zur Erdoberfläche

erhoben wird, worauf das Mesokotyl sein Wachstum einstellt.

Weil das Mesokotyl beim Beginn des Aufquellens sowie nach dem Erlöschen der Streckung auf Licht nicht reaktionsfähig ist, so ist es von vornherein begreiflich, dass es während der Streckungsperiode einen leicht angreifbaren Entwicklungsabschnitt geben muss, in dem die Streckung leicht sistiert werden kann. Die Erforschung dieses Entwicklungsabschnittes sowie des Streckungsverhaltens von Mesokotyl und Koleoptile unter dem Einfluss von Beleuchtung sind zur Hauptaufgabe vorliegender Arbeit gemacht worden.

Die Fragen, deren Beantwortung ich versucht habe, sind überhaupt folgende: 1) wie verhält sich das Wachstum von Mesokotyl und Koleoptile bei den unter verschiedenen Bedingungen aufgezogenen, völlig etiolierten Haferkeimlingen; 2) in welchem Zeitpunkt bzw. Alter wird der Keimling, namentlich das Mesokotyl, durch bestimmte Lichtmengen in seinem Wachstum am stärksten gehemmt und schliesslich 3) wie verläuft die Nachwirkung des in einem bestimmten Zeitpunkt gebotenen Lichtreizes auf die Entwicklung sukzessiver Keimlingsorgane. Als Gegenstände der Beobachtung dienten hierbei das Mesokotyl, die Koleoptile<sup>1)</sup> und das Primärblatt, welches letztere lediglich bis zum oder kurz nach dem Durchbruch durch die Koleoptilenspitze Gegenstand der Untersuchung war.

Bei einer derartigen Untersuchung der Haferkeimlinge ist es unbedingt nötig, alle Eingriffe nach dem Aussäen unter absoluter Dunkelheit vorzunehmen. Somit ist es unmöglich, den Wachstumsverlauf sukzessiv an denselben Keimlingen zu verfolgen. Bei der Ermittlung der Zuwachsgrösse habe ich daher verschiedene Individuengruppen statistisch behandelt.

Im Orientierungsversuche, der zur Ermittlung wirksamer Belichtung angestellt wurde, habe ich zuerst 48-, 24-, 12-, 6- und 3stündige Belichtung mit 15 MK angewendet. Der Einfluss auf die Endlänge der Keimlinge war bei diesen Dosierungen nicht deutlich. Bei 1stündiger Belichtung mit 510 MK war er etwas deutlicher, aber am deutlichsten wurden die Keimlinge in ihrem empfindlichsten Entwicklungsabschnitt durch 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK beeinflusst, die auch fernerhin zum grössten Teil angewendet wurde. Es zeigte sich, dass bei dieser Dosierung die Endlänge der Keimlinge eine auffällige Herabminderung erfährt. Wenn man die Belichtungsdauer in der Abszisse darstellt, bekommt die Endlängenkurve sukzessiver

<sup>1)</sup> In bez. auf die morphologische Dignität des Mesokotyls und der Koleoptile verweise ich auf GOEBEL (1923), ARBER (1923), HOWARTH (1927), AVERY (1928, 1930) u. a.

Versuchsserien eine charakteristische V-förmige oder dieser nahe stehende Gestalt. Solche Kurven möchte ich als „Hemmungskurven“ bezeichnen. Näheres darüber bringen Abschnitt II und die folgenden.

## B. METHODISCHER TEIL.

### (1) Material.

Als Material wurde der Hafer „CLYDESDALE“, der von der Kaiserlichen Universität zu Sapporo stammte, benutzt. Die Körner wurden im Exsikkator in einem kühlen Ort aufbewahrt, so dass sie fast konstant trocken blieben.

### (2) Versuchsanordnung.

#### (a) Versuchszimmer.

Zum Versuchsraum wurde das nördlich im Souterrain des hiesigen Institutes gelegene doppelwandige Zimmer für konstante Temperatur von ca.  $2.5^m \times 4.2^m$  Breite und  $3.1^m$  Höhe mit zwei kleinen Vorkammern eingerichtet. Zur Regulierung der Temperatur wurden zwei elektrische Heizapparate benutzt, einer mit einem Quecksilber-Toluol-Thermoregulator, während der andere ausser der heissesten Sommerzeit ununterbrochen geheizt war. Die Durchlüftung wurde durch einen elektrischen Fächer und einen lichtdichten, gekrümmten Ventilator bewerkstelligt.

#### (b) Aufzucht der Keimlinge.

Für die Keimung und die weitere Entwicklung der Samen wandte ich stets die SACHSsche Nährlösung an, da Gartenerde von unbekannter Zusammensetzung ist und unregelmässige Verteilung der Nährstoffe sowie gewisse Schwankungen im Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Von der Nährlösung wurden jedesmal 700 cc in einen Zinkkasten von  $18 \times 15$  cm<sup>2</sup> Grundfläche und 7.5 cm. Tiefe, der mit einem Deckel von entsprechender Grösse mit zwei kleinen Durchlüftungsöffnungen versehen war, gegossen. Jeder Kasten besass in 3.5 cm. Höhe, etwa 1 cm. über der Oberfläche der Nährlösung, eine brückenförmige Zinkplatte, die mit 60 kleinen Öffnungen versehen und mit zwei Schichten Filtrierpapier<sup>1)</sup> bedeckt war. In die Öffnungen wurden die Samen aufrecht

---

<sup>1)</sup> Zu dieser Untersuchung habe ich immer das Filtrierpapier Nr. 595 von der Papier-Gesellschaft Tosa verwendet.

hereingesteckt und sie gelangten in der durch das Filtrierpapier kapillar aufgesogenen Flüssigkeit zur Quellung und Streckung. Die inneren Wände und der Boden des Kulturkastens wurden mit Paraffin bestrichen. Die Atmosphäre im Kulturkasten war infolge des dichten Verschlusses mit Feuchtigkeit fast gesättigt. Da das Filtrierpapier des Keimbettes reich an Kali ist, wächst der  $P_{II}$ -Wert der Kulturflüssigkeit im Verlauf der 7 Versuchstage von 3.4 auf 6.7, zuweilen auf 6.1 an. Nach der Angabe BRYANS (1922) befindet sich das Wachstumsoptimum bei *Avena sativa* zwischen 6.0 und 6.9  $P_{II}$ -Wert. Die bei mir vorkommenden  $P_{II}$ -Werte (6.1-6.7) liegen ganz im Bereich der optimalen Werte BRYANS. Die Versuche 80 und 81 klären diese Sachverhältnisse auf<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Wie aus den folgenden Tabellen hervorgeht, verändern sich die  $P_{II}$ -Werte bei Wasserkultur mit destilliertem Wasser nur wenig, und zwar von 6.2 an bis 7.2 im Laufe von 6 Tagen, während die  $P_{II}$ -Werte bei der SACHSSchen Nährlösung viel stärker, von 3.5 bis 6.7, binnen derselben Frist anwachsen (s. Versuch 80).

Versuch 80, (18-23/Mai 1929), Temp.: 36°, 24° und 20°.

Temp.	Kulturlösung	Zahl der verstrichenen Tage						
		0	1	2	3	4	5	6
36°	SACHSSche	3.5	5.5	5.5	5.9	6.2	6.4	6.7
36°	dest. Wasser	6.2	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	—
24°	SACHSSche	3.5	5.5	5.9	5.9	6.2	6.5	6.7
24°	dest. Wasser	6.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	—
20°	SACHSSche	3.5	4.5	5.2	5.5	5.7	6.1	6.1
20°	dest. Wasser	6.2	6.8	6.9	7.1	7.2	7.2	—

Da das Alkalisichwerden einen Tag nach dem Hereinbringen des mit Filtrierpapier umhüllten Keimbettes in die Flüssigkeit zur Erscheinung kommt, habe ich diese in noch kürzeren Zeitabständen im Versuch 81 geprüft. Aus dieser Untersuchung ging deutlich hervor, dass es das Papier ist, das die Erniedrigung der Acidität verursacht.

Versuch 81, (2-3/Juni 1929), Temp.: 24°.

	SACHSSche Nährlösung		Destilliertes Wasser	
	mit Keiml.	ohne Keiml.	mit Keiml.	ohne Keiml.
Ausgangswert ( $P_{II}$ )	3.5	3.5	6.2	6.2
gleich nach dem Auslegen d. Keimbettes	4.2	4.0	6.4	6.8
nach 6 Std.	5.2	4.2	6.8	7.0
nach 12 Std.	5.2	4.2	6.8	7.0
nach 24 Std.	5.5-5.6	5.2-5.3	6.9	7.0-7.1

Da man bei jedem Versuch zwölf bis achtzehn Kästen, von welchen jeder 60 Samen aufnehmen kann, auf einmal fertig machen muss, was oft mehr als eine Stunde in Anspruch nimmt, führte ich das Auslegen der Samen in der Weise aus, dass bei jeder Versuchsserie zuerst je eine Hälfte der Papieröffnungen aller Kästen von einer Seite her fortlaufend gefüllt wurde, worauf genau so mit der anderen Hälfte der Öffnungen in umgekehrter Richtung vorgegangen wurde. Auf diese Weise wollte ich die Differenzen in der Aussaatzeit zwischen den einzelnen Kästen ausgleichen. Die mit Körnern beschickten Kästen wurden gleich zugedeckt und in einem grossen hölzernen Dunkelschrank von bestimmter Höhenlage ins Versuchszimmer zur weiteren Entwicklung gebracht. Bei der Untersuchung des Wachstumsverlaufes im Dunkeln wurden die Kästen nach einer bestimmten Zeit vorgenommen und die Keimlinge im Alkohol fixiert. Bei der Lichtreizuntersuchung wurde jeder Kasten in einer bestimmten Zeit dem Licht ausgesetzt, dann wieder in den Dunkelschrank zurückgestellt, wo der Endeffekt nach 5 oder 7 Tagen von der Aussaat an gerechnet, bei niedrigerer Temperatur auch nach 14 Tagen, abgewartet wurde. Ausserdem habe ich noch den Wachstumsverlauf der Keimlinge im Gewächshaus sowie bei verschiedener Aussaattiefe in Gartenerde und in Sägespänen geprüft.

### (c) **Belichtungseinrichtung.**

Der Belichtungsapparat besteht aus einem hölzernen Schrank, einem Metallzylinder mit einer Lampe und einem Lichtfilter. Der Schrank von  $50 \times 50$  cm<sup>2</sup>. Grundfläche und 68 cm. Höhe dient als Behälter für den Kasten; er hat ein inneres Regal, welches so hoch angebracht ist, dass der Abstand zwischen der Oberfläche des Kulturkastens und der darüber befindlichen Lampe  $\frac{1}{2}$  Meter ausmacht. Auf der Oberseite des Schrankes befindet sich eine Öffnung von 15 cm. Durchmesser, durch die das Lichtbündel hinunterprojiziert wird. Darauf liegt ein schwarzer Metallzylinder von 90 cm. Höhe und 40 cm. Durchmesser, mit einem Lampenhalter aus einem dünnen Metallrohr im Zentrum, der senkrecht verschiebbar ist; oben befindet sich ein Ventilator. Direkt auf der Öffnung des Schrankes befindet sich ein Lichtfilter mit einer Wasserschicht von 4 cm. Dicke und 12 cm. Durchmesser. Bei längerem Gebrauch wurde er mit fliessendem Wasser fortwährend gekühlt. Die Lampe ist an den Akkumulator des Instituts eingeschaltet; die von mir vornehmlich gebrauchte 500 Watt-Mazda-Lampe weist nach dem Passieren durch den Lichtfilter, wenn man den Strom von 90 Volt

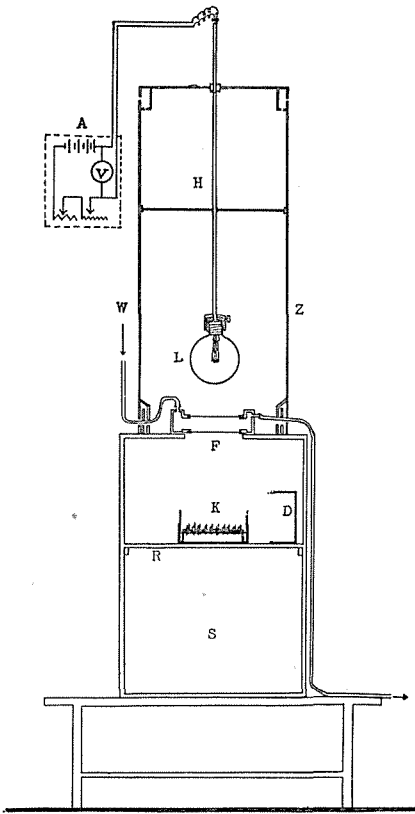


Abb. 1.

Belichtungseinrichtung (in 1/20 Grösse);  
 S: Schrank, R: Regal, K: Kulturkasten,  
 D: Deckel, F: Lichtfilter, L: 500 Watt-  
 Mazda-Lampe, Z: Metallzylinder, H:  
 Lampenhalter, W: destilliertes Wasser,  
 A: Akkumulatorsystem.

durch das Rheostat regulierend fließen lässt, nach dem LUMMER-BRODTHUHNschen Photometer eine Intensität von ca. 1260 MK auf (Abb. 1).

### (3) Messung der Erfolge und graphische Darstellung der Versuchsdaten.

Im bestimmten Alter wurden die Materialien in ca. 80 % Alkohol fixiert und darin bis zur Messung aufbewahrt. Unter den 60 ausgesäten Samen gibt es einzelne, nur selten aber mehrere abnorme Keimlinge; nach der Entfernung der letzteren wählte ich unter den übrigen ganz beliebig 40 Keimlinge für die Messung. Die Daten, die auf solche Weise an den einzelnen Gliedern des Keimlings, d.h. dem Mesokotyl, der Koleoptile und dem Primärblatt gewonnen wurden, sind zuerst in Protokolle<sup>1)</sup> eingetragen, dann graphisch wiedergegeben worden.

## C. EXPERIMENTELLER TEIL.

### (I) Kulturbedingungen und der Wachstumsverlauf im Dunkeln.

Die im Dunkeln bei 25° aufgezogenen Keimlinge entwickeln der Folge der Organglieder gemäss fast mit gleicher Geschwindigkeit zuerst das Mesokotyl, dann die Koleoptile und zuletzt das Primärblatt im Laufe von einer Woche. Die sogenannte S-förmige Wachstums-

<sup>1)</sup> Allen meinen Mittelwerten füge ich den Mittelfehler bei, der nach  $m = \sqrt{\frac{\sum p D^2}{n(n-1)}}$  berechnet ist.



kurve gilt für alle oben genannten Organe. Natürlich wird das Wachstum durch verschiedene Aussen- und Innenbedingungen beeinflusst. Es ist also durchaus nötig, die Wachstumsverhältnisse vorerst unter verschiedenen Kulturbedingungen klarzustellen, bevor man die Lichtwirkung genau zu studieren anfängt. Somit untersuchte ich zuerst als massgebende Faktoren des Wachstums die Temperatur und die Feuchtigkeit der Versuchskammer und -kästen, das Alter der Samenproben bzw. Jahrgangsbeschaffenheit der Ernte, das Verhalten des Aussen- sowie des Innenkorns, die Grössenverhältnisse des Endosperms usw.

(a) Gewichtszunahme der quellenden Samen.

Bevor ich die Reaktionsweise der wachsenden Keimlinge bei verschiedenen Faktoren verfolgt habe, habe ich das Verhalten beim Aufquellen, d. h. die Frischgewichtszunahme der Samenproben bei verschiedenen Wärmegraden studiert.

Das Saatgut, welches im Exsikkator monatelang aufbewahrt wurde, wurde entspelzt auf dem Keimbett der Kulturkästen in Thermostaten von 36°, 28°, 24° und 16° untergebracht. In bestimmten Zeitabständen wurden die Samen aus dem Keimbett mit einer Pinzette aufgenommen, ihr Gewicht ermittelt und danach wieder ins Keimbett bis zur nächsten Wägung sorgfältig zurückgebracht. (Die Ergebnisse siehe Tabelle 1, S. 225).

Es ergab sich, dass die bei 24° und 28° ausgelegten Körner schon nach 24 Stunden gekeimt haben, während die Keimung bei 16° erst nach 48 Stunden sicher festgestellt werden konnte; bei 36° tritt eine Schädigung ein, sie wird aber erst nach 48 bis 72 Stunden deutlich sichtbar. Um den Zeitpunkt von 24 oder 48 Stunden herum nach der Aussaat gibt es also einen Wendepunkt zwischen der anfänglichen Exponentialkurve und dann vorkommender S-Wachstumskurve (s. Abb. 2).

Aus den obigen Daten entnehme ich, dass die Temperatur von 24° bis 28° für die schnellste

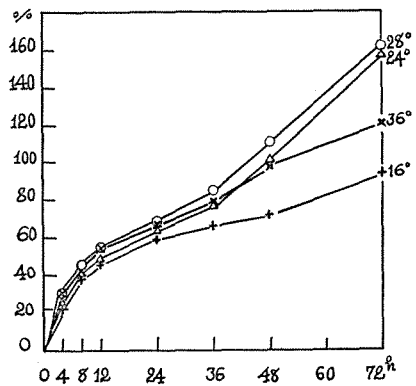


Abb. 2

Gewichtszunahme der Samen bei der Quellung und Keimung bei verschiedenen Temperaturen.

und grösste Frischgewichtszunahme der keimenden Karyopsen am besten geeignet ist.

### (b) Temperatur und Feuchtigkeit.

Ausser der optimalen Keimungstemperatur des Hafers ( $25^{\circ}$ )<sup>1)</sup> habe ich auch höhere ( $30^{\circ}$ ) und niedrigere ( $15^{\circ}$ ) Temperaturen zur Kontrolle geprüft. Einige Forscher, wie z. B. POPOVICI (1900), VOGT (1915), SIERP (1920), SILBERSCHMIDT (1928) u. a. haben schon früher das Längenwachstum unter höheren und niedrigeren Temperaturgraden untersucht. Doch von niemand wurde der ganze Verlauf des Dunkelwachstums näher dargelegt. Ich habe daher den Verlauf im Dunkeln statistisch behandelt, wie in den folgenden Tabellen wiedergegeben ist; diese zeigen, dass der Verlauf um so kürzer ist bzw. die Endlänge umso schneller erreicht wird, je höher die Temperatur über  $25^{\circ}$  hinaus ansteigt. (s. Abb. 3, 4, 5 und Tabelle 2, 3, 4. S. 226).

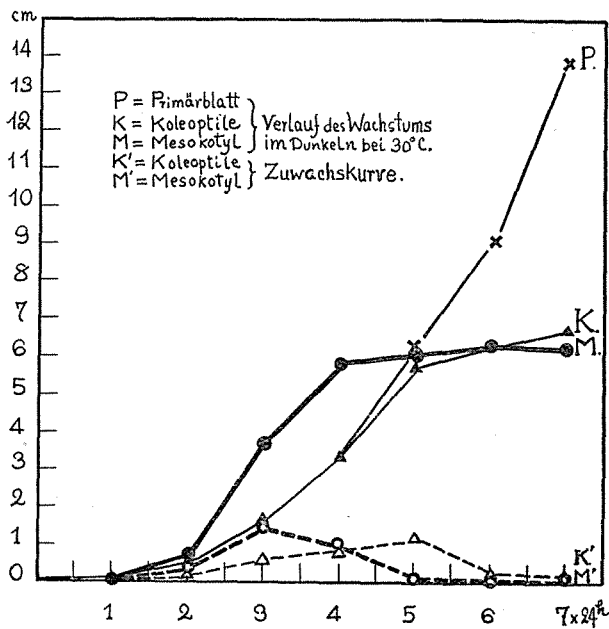


Abb. 3.

Wachstumskurve im Dunkeln. Ernte: 1928.

<sup>1)</sup> Nach F. HABERLANDT, im „Ernährungsphysiologischen Praktikum höherer Pflanzen“ GRAFES, 1914, S. 29.

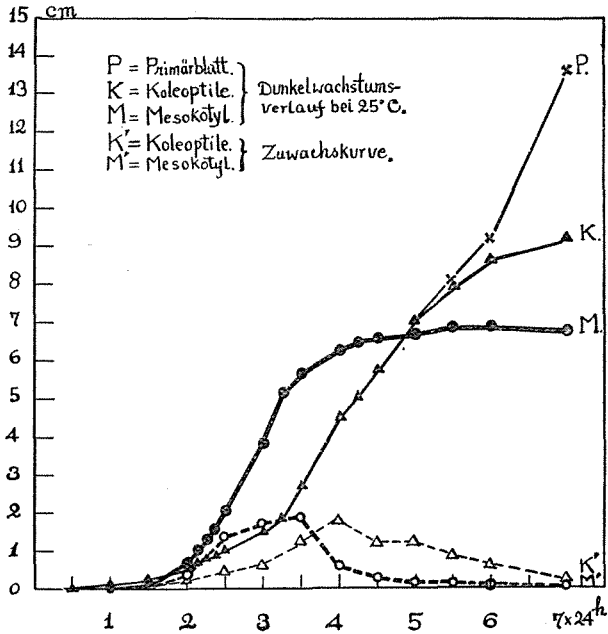


Abb. 4.

Wachstumskurve im Dunkeln. Ernte: 1928.

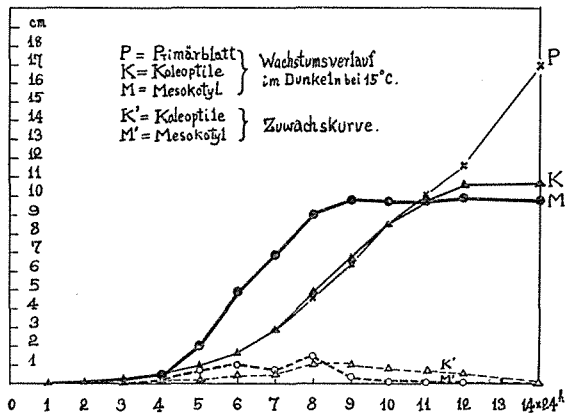


Abb. 5.

Wachstumskurve im Dunkeln. Ernte: 1928.

Aus den Daten ist ersichtlich, dass die Endlänge der Koleoptile durch höhere Temperatur eine stärkere Herabminderung erfährt als die des Mesokotyls, wie folgende Tabelle zeigt.

TABELLE I.

Temp.	Mesokotyl			Koleoptile			Durchbruch des Primärblattes aus der Koleoptile
	Endlänge in mm.	%	Alter in Tagen	Endlänge in mm.	%	Alter in Tagen	
30°	60.0±1.4	100	5	57.4±1.0	100	6-7	4 Tage alt
25°	67.1±1.0	112	5-6	93.4±2.5	163	7-8	5 „ „
15°	98.5±2.0	164	9	107.8±2.3	188	12	10 „ „

Bei niedrigerer Temperatur, wie bei 15°, geht das Wachstum erheblich langsamer vor sich, und die Wachstumsdauer ist beinahe doppelt so lang wie bei 25°, wobei der Keimling<sup>1)</sup>, obschon recht langsam, eine bedeutende Länge erreichen kann (vgl. SIERP, 1920). Hierauf habe ich den Aufsteigungswinkel jedes Organs bei verschiedenen Temperaturen gemessen und folgende Ziffern bekommen: bei 30° beträgt der Winkel von Mesokotyl, Koleoptile und Primärblatt, wie Tabelle II zeigt, durchschnittlich 53, 48 und 58 Grad; bei 25° fällt er etwas steiler aus, indem er 60, 53 und 63 Grad beträgt, bei 15° ist er dagegen weniger steil und weist 45, 45 und 55 Grad resp. auf.

TABELLE II.

Versuchsnummer	Temperatur C.	Mesokotyl (Alter in Std.)	Koleoptile (Alter in Std.)	Primärblatt (Alter in Std.)
19	25°	60°(60 <sup>h</sup> —108 <sup>h</sup> )	55°(84 <sup>h</sup> —132 <sup>h</sup> )	60°(144 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
21	25°	60°(48 <sup>h</sup> —108 <sup>h</sup> )	50°(72 <sup>h</sup> —120 <sup>h</sup> )	55°(132 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
22	25°	60°(48 <sup>h</sup> —84 <sup>h</sup> )	60°(72 <sup>h</sup> —132 <sup>h</sup> )	65°(144 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
24	25°	60°(48 <sup>h</sup> —84 <sup>h</sup> )	55°(72 <sup>h</sup> —120 <sup>h</sup> )	60°(144 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
25	25°	60°(48 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	50°(72 <sup>h</sup> —144 <sup>h</sup> )	65°(120 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
71	25°	60°(48 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	50°(72 <sup>h</sup> —144 <sup>h</sup> )	62°(120 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
Durchschnitt	25°	60°(50 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	53°(74 <sup>h</sup> —132 <sup>h</sup> )	63°(134 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
47	30°	50°(48 <sup>h</sup> —120 <sup>h</sup> )	50°(84 <sup>h</sup> —108 <sup>h</sup> )	55°(108 <sup>h</sup> —144 <sup>h</sup> )
50	30°	50°(48 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	48°(60 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	58°(120 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
57	30°	58°(48 <sup>h</sup> —96 <sup>h</sup> )	45°(48 <sup>h</sup> —120 <sup>h</sup> )	60°(120 <sup>h</sup> —168 <sup>h</sup> )
Durchschnitt	30°	53°(48 <sup>h</sup> —104 <sup>h</sup> )	48°(64 <sup>h</sup> —108 <sup>h</sup> )	58°(116 <sup>h</sup> —160 <sup>h</sup> )
42 + 45	15°	45°(96 <sup>h</sup> —192 <sup>h</sup> )	45°(168 <sup>h</sup> —240 <sup>h</sup> )	55°(288 <sup>h</sup> —336 <sup>h</sup> )

<sup>1)</sup> Nach SILBERSCHMIDT (1928, S. 41-47) soll die Temperatur der maximalen Endlänge der Koleoptile 16°-18°, die der maximalen Wachstumsgeschwindigkeit 15°, und die des maximalen Trockengewichtes 13° sein.

TABELLE III. Wachstum des Primärblattes.

Versuchsnummer	Temperatur	d. Primärblatt oberhalb (+) bzw. unterhalb (-) d. Koleoptile	Alter in Stunden														
			24	48	60	72	84	96	120	144	168	192	216				
50	30°	±0	—	93%	93%	80%	77%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	"	-	—	7	7	20	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	"	+	—	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71	25°	±0	80%	75%	—	100%	—	95%	—	—	—	—	—	0	—	—	—
71	"	-	20	25	—	0	—	5	—	—	—	—	—	0	—	—	—
71	"	+	0	0	—	0	—	0	—	—	—	—	—	100%	100%	—	—
42	15°	±0	100%	95%	—	80%	—	85%	—	—	—	—	—	60%	60%	80%	80%
42	"	-	0	5	—	20	—	15	—	—	—	—	—	40	40	20	20
42	"	+	0	0	—	0	—	0	—	—	—	—	—	0	0	0	0

Aus Tabelle II ersieht man den Unterschied des Aufsteigungs- oder Erektionswinkels bei den drei Organen; für das Mesokotyl liegt er zwischen denjenigen der Koleoptile und des Primärblattes. Anschliessend daran möchte ich über den Durchbruch des Primärblattes durch die Koleoptilenspitze hindurch bei verschiedenen Temperaturen berichten. Zuerst streckt sich das Primärblatt fast in gleichem Schritt mit der Koleoptile; dann kommt bei 25° das erstere nach 120<sup>h</sup> aus der letzteren heraus. Sehen wir uns nun diese Verhältnisse, nämlich das Herausragen des Primärblattes aus der Koleoptilenspitze bzw. sein Überragwerden durch diese, bei 30°, 25° und 15° noch näher an. Die zur Seite stehende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen.

Aus den angeführten Daten kann geschlossen werden, dass bei 30° und 25° das Primärblatt wenigstens in 80% Fällen während der üppigen Entwicklung des Mesokotyls bis zum Alter von 96 Stunden in seinem Wachstum dicht der Koleoptilenspitze folgt, bei der grossen Periode der letzteren nur etwas zurückbleibt und erst im Alter von 120<sup>h</sup> oder 144<sup>h</sup> die Koleoptilenspitze durchbricht. Der Durchbruch tritt bei der niederen Temperatur (15°) langsamer ein, und bei ca. 40% der Keimlinge erst im Alter von 7-8 Tagen (168-192<sup>h</sup>), dann wird er aber

immer umfangreicher, bis er bei allen Keimlingen im Alter von 9-10 Tagen (216-240<sup>h</sup>) zu sehen ist.

Bei den übrigen Untersuchungen wurden die Kästen ganz lichtdicht mit Deckeln geschlossen, daher muss die Feuchtigkeit im Kulturkasten immer konstant gewesen sein. Über die Beschleunigung des Pflanzenwachstums durch Befeuchtung des Bodens hat schon SILBERSCHMIDT (1928) für *Avena*-Keimlinge berichtet. Die geöffneten Wasserkulturkästen mit SACHSScher Nährlösung sind selbstverständlich weniger feucht, wenn auch eine ständige Verdunstung von der Oberfläche aus stattfindet; man kann aber keinen sehr merklichen Unterschied im Wachstum zwischen diesen und den geschlossenen Zinkkästen finden, insofern sie sich innerhalb eines Holzschrankes befinden (Versuch 50 und 57). Deshalb beschäftigte ich mich nicht weiter mit den Einzelheiten dieser Frage.

### (c) Kulturmedium.

Zum Vergleich mit der SACHSSchen Nährlösung prüfte ich zuerst destilliertes Wasser, dann Gartenerde und Sägespäne, wobei die Tiefenlage des Aussäens auch berücksichtigt wurde.

#### (1) Destilliertes Wasser.

Im destillierten Wasser wachsen die Keimlinge natürlich nicht so gut wie in der salzreichen Nährlösung<sup>1)</sup>, und es tritt frühzeitig die Sistierung der Streckung ein. Das Mesokotyl und die Koleoptile bleiben etwa um 20-25 mm. resp. 10-15 mm. konstant zurück und stellen

<sup>1)</sup> Bei der Zubereitung der SACHSSchen Nährlösung habe ich Leitungswasser (1), destilliertes Wasser aus kupfernem Kessel (2), ebensolches aus alkalifreiem Apparat, einmalig destilliert (3) und zweimalig destilliert (4) verwendet.

Versuch 93. (Aug. 16-21. 1930); Die Endlänge der 5tägigen *Avena*-Keimlinge im Dunkeln. Temp.: 30°.

Wasserart nach obigen Nummern	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	M+K in mm.	Zahl der Keimlinge
(1)	65.2 ± 1.2	40.0 ± 1.3	41.6 ± 1.4	105.2 ± 2.5	60
(2)	60.5 ± 1.1	41.6 ± 1.1	44.0 ± 1.3	102.1 ± 2.2	50
(3)	61.2 ± 1.0	41.8 ± 1.1	44.9 ± 1.4	103.0 ± 1.1	60
(4)	60.0 ± 1.0	44.0 ± 0.9	47.0 ± 1.2	104.0 ± 1.9	55

Das Wachstum ist binnen 5 Tagen im Dunkeln im Leitungswasser am besten, aber das destillierte Wasser von verschiedener Herkunft steht diesem nicht viel nach.

sogar im Alter von 60 Stunden ihr Wachstum ein (s. Tabelle 5. S. 227. und Abb. 6 u. 7).

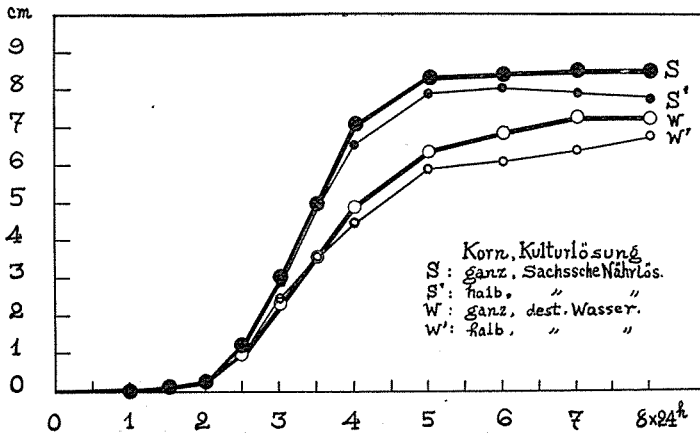


Abb. 6.

Wachstumsverlauf des Mesokotyls im Dunkeln bei 25° mit ganzen Karyopsen und mit deren unteren „Hälften.“ Ernte: 1928. Wasserkultur.

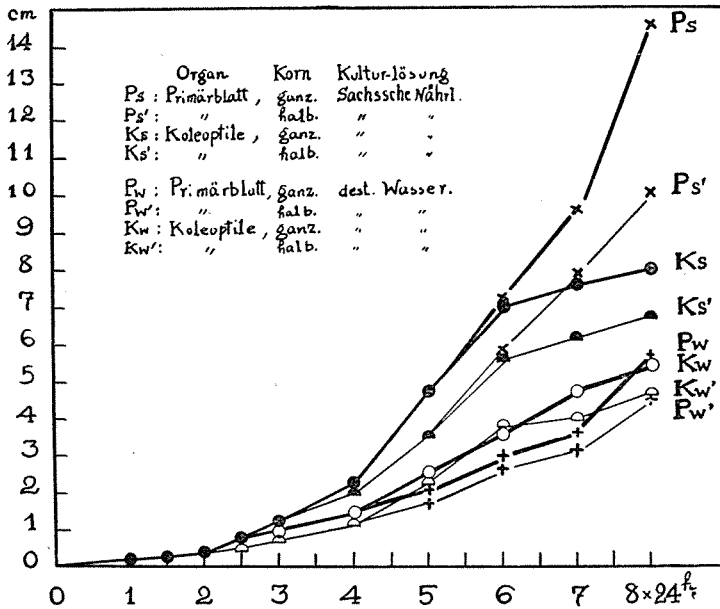


Abb. 7.

Wachstumsverlauf von Koleoptile und Primärblatt.

Das Primärblatt weist gewöhnlich in der Nährlösung erst um das 144stündige Alter herum seine grosse Periode auf, es kommt aber eine starke Verminderung des Zuwachswertes in destilliertem Wasser schon im 96stündigen Alter zur Erscheinung; im Alter von 192 Stunden (8 Tagen) ist der Unterschied in der Entwicklung recht gross (90 mm.)<sup>1)</sup>.

## (2) Tiefe des Aussäens in Gartenerde und Sägespänen.

Was die Tiefenlage des Kornes im Boden anbelangt, so wird das Mesokotyl umso länger, je tiefer die Aussaat erfolgt, wie auch aus folgenden Versuchen zu ersehen ist. Mit den übrigen Organen verhält es sich aber ganz umgekehrt.

TABELLE IV.

Die 5tägige Endlänge der Organe von bespelzten und entspelzten Samen.  
Kulturboden: fein gesiebte Gartenerde. Temp.: 25°.

### a) Bespelzte Samen.

Tiefenlage	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl d. Individuen
Oberfläche	60.4 ± 1.3	54.2 ± 1.0	72.2 ± 2.5	20
20 mm.	64.3 ± 1.3	48.5 ± 0.9	51.4 ± 1.3	20
50 mm.	66.8 ± 1.8	50.4 ± 2.0	54.0 ± 1.4	20
100 mm.	72.4 ± 1.4	44.3 ± 1.7	44.0 ± 1.8	20
150 mm.	74.1 ± 1.5	43.5 ± 1.5	40.3 ± 1.4	20
Durchschnitt	67.6 ± 3.3	48.2 ± 3.3	52.4 ± 2.1	20

### b) Entspelzte Samen.

Oberfläche	64.1 ± 1.5	55.0 ± 0.9	68.3 ± 2.8	20
20 mm.	68.4 ± 2.0	49.6 ± 1.4	54.2 ± 1.7	20
50 mm.	61.1 ± 1.5	47.1 ± 1.9	53.2 ± 3.9	20
100 mm.	69.4 ± 1.4	50.4 ± 1.6	51.5 ± 1.7	20
150 mm.	75.7 ± 3.0	51.2 ± 2.1	50.9 ± 2.5	10
Durchschnitt	67.8 ± 4.4	50.7 ± 3.6	55.6 ± 5.1	18

Die Wachstumsverhältnisse der 5tägigen Keimlinge aus bespelzten Samen in Gartenerde und Sägespänen, und zwar bei verschiedenen Tiefen des Aussäens, weisen einen nur unbedeutenden Unterschied für das Mesokotyl auf, wie folgende Tabelle zeigt.

<sup>1)</sup> Das Primärblatt dürfte sicherlich noch eine stärkere endgültige Differenz im Wachstum aufweisen als oben angegeben, weil es seine Endlänge bei 25° binnen 8 Tagen noch nicht erreicht hat.



TABELLE IV'.

Tiefe des Niederbringens	Gartenerde			Sägespäne		
	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Zahl der Keimlinge	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Zahl der Keimlinge
Auf der Oberfläche	62.6 ± 2.4	30.6 ± 1.5	20	58.3 ± 1.2	42.5 ± 1.7	20
40 mm.	60.3 ± 1.4	50.9 ± 2.1	20	60.9 ± 1.6	47.9 ± 1.7	20
80 mm.	69.8 ± 2.1	46.5 ± 2.1	20	66.0 ± 1.2	42.5 ± 2.3	20
Durchschnitt	64.2 ± 3.4	42.7 ± 3.4	20	61.7 ± 2.3	44.3 ± 3.3	20

In der Erde wächst das Mesokotyl besser als in Sägespänen, was bei der Koleoptile nicht deutlich ist; dieses Verhalten ist aber zum Teil auf die Wachstumskorrelation dieser beiden Organe zurückzuführen (vgl. unten S. 184 ff.). Der Mangel an Luft oder an frischem Sauerstoff, eventuell auch die Anhäufung des CO<sub>2</sub>-Gases und reichere Feuchtigkeit des Bodens könnten vielleicht die Ursachen dieses Verhaltens sein (vgl. TAKAHASHI, 1905; SASAKI, 1926).

(d) Gewicht der Samen und das Wachstum.

(1) Alter der Samenproben.

Eine erhebliche Schwankung des Trockengewichtes der Samen kommt unter den von mir angewandten, von verschiedenen Jahrgängen stammenden Ernten derselben Varietät von *Avena sativa* „CLYDESDALE“ vor. Dies gilt auch für den Gewichtsunterschied zwischen dem Innen- und Aussenkorn desselben Jahrgangs, wie unten zu ersehen ist.

TABELLE V.

Gewichtsunterschied der *Avena*-Samen.

Jahrgang	Kornart	Trockengewicht pro Tausend	Verhältnis zwischen Innen- und Aussenkorn
1926	Aussenkorn	22.8 g	100.0 %
1926	Innenkorn	13.9 „	60.9 „
1927	Aussenkorn	17.5 „	100.0 „
1927	Innenkorn	12.9 „	73.7 „
1928	Aussenkorn	33.1 „	100.0 „
1928	Innenkorn	22.6 „	68.1 „

Das Wachstum des Mesokotyls ist ungeachtet des Gewichtes sehr ähnlich, während dasjenige der Koleoptile und des Primärblattes mehr

oder minder vom Gewicht beeinflusst wird. (s. Abb. 8) Wir werden weiter noch eingehender hierhergehöriges berücksichtigen.

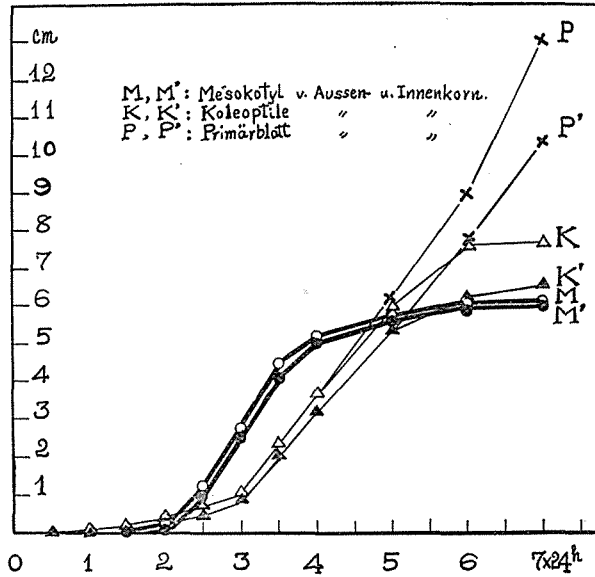


Abb. 8.

Wachstumsverlauf der Organe im Dunkeln, Ernte: 1926, Aussen- und Innenkorn, Temp.: 25°.

(2) Aussen- und Innenkorn.

Das Innenkorn eines Ährchens ist natürlich kleiner und leichter als das Aussenkorn. Das erstere hatte in drei Ernten durchschnittlich 68 % des Gewichtes des letzteren.

Bald nach der Keimung zeigen die Samen beiderlei Herkunft einen Unterschied, der während der weiteren Entwicklung immer deutlicher wird, mit bemerkenswerter Differenz der Endlänge. In der Abbildung sind die Resultate graphisch dargestellt (Tabelle 6, S. 227-8). Hier darf man folgern, dass die äussere oder innere Lage des Kornes im Ährchen, somit auch seine Grösse, einen geringen Unterschied in bezug auf das Wachstum des Mesokotyls zeigt, im Vergleich mit demjenigen der Koleoptile<sup>1)</sup> und des Primärblattes. Möglicherweise

<sup>1)</sup> Der Einfluss des Gewichtes der Karyopse auf Wachstumsverlauf und Endlänge der Koleoptile von *Avena sativa* ist nach SILBERSCHMIDT (1928, S. 24) folgendermassen dargestellt.

	Aussenkorn	Innenkorn
Gewicht . . . . .	0.032 g.	0.016 g.
Endlänge . . . . .	76.1 mm.	66.9 mm.
Absolute Wachstumsgeschwindigkeit . . .	klein	gross

ist der untere Teil des Endosperms ungeachtet der Korngrösse für die Entwicklung des Mesokotyls von Nutzen, und die übrig gebliebene Portion des Endosperms ist erst für das Längenwachstum der Koleoptile und des Primärblattes ausschlaggebend.

(e) **Grössenverhältnisse des Endosperms.**

Um zu bestätigen, dass die Grösse des Endosperms auf die Entwicklung jedes Organs verschieden einwirkt, habe ich den Samen möglichst genau in der Mitte<sup>1)</sup> mittelst eines Rasiermessers quer durchgeschnitten, um nur die untere „Hälfte“ des Endosperms dem Embryo zur Verfügung zu stellen.

Gerade wie bei dem Versuch mit dem Aussen- und dem Innenkorn weist das Mesokotyl des halbierten Kornes in bezug auf den Wachstumsverlauf nur ein schwaches Zurückbleiben im Vergleich mit der Kontrolle auf, besonders in den Anfangsstadien der Entwicklung, während bei der Koleoptile schon am dritten Tag eine Sistierung sichtbar wird.

Der untere Teil des Endosperms scheint demnach nicht nur zum grösseren Teil für die Streckung des Mesokotyls, sondern auch für die früheren Entwicklungsstadien der Koleoptile und des Primärblattes auszureichen. Dann tritt aber die Wachstumsdifferenz immer deutlicher auf, bis sie endlich auf die Endlängen des Mesokotyls und der Koleoptile bezogen auf ca. 8-12 mm. kommt (s. Abb. 6 und 7 aus Versuch 40, S. 175).

(f) **Spiralkrümmung des Mesokotyls intakter Keimlinge.**

Es sei erwähnt, dass drei Tage nach der Aussaat im geschlossenen Kulturkasten ca. 35 bis 45 % der Keimlinge an ihrer Mesokotylbasis mehr oder minder spiralig gekrümmt sind. Dies beruht vielleicht darauf, dass, wenn der Keimling etwas schräg aufwächst, die schlanke Mesokotylbasis infolge der Gewichtszunahme des oberen Teils sich unter der Belastung niederlegt, während die Koleoptilenspitze immer aufrecht bleibt. Bei den bespelzten Samen kommt diese Erscheinung weniger vor.

---

<sup>1)</sup> Das Vorhandensein des Embryos im unteren Teil des Samens fällt gegen Erwartung schwerer ins Gewicht in bezug auf Trockengehalt als die anderen Reste, welche ihm fehlen; man findet rund 14 g. bei der unteren „Hälfte“ gegen 22,5 g. der intakten Samen pro Tausend.

TABELLE VI.

Spiralkrümmung des Mesokotyls im Alter von 5 Tagen, Temp : 30°.

	Wasserkultur		Erdekultur	
	Bespelzt	Entspelzt	Bespelzt	Entspelzt
Zahl d. gekrümmten Keimlinge	3	7	3	6
Prozentsatz	10%	41%	12%	35%

Vergleichshalber habe ich einmal die Längen der Organe von aufrecht und schräg wachsenden Keimlingen gemessen, wie folgende Tabelle zeigt.

TABELLE VII.

Aufrechtes und schräges Wachstum 3tägiger Keimlinge.

	Länge in mm.		% der gekrümmten Keimlinge	Zahl der Individuen
	Mesokotyl	Koleoptile		
Aufrechtes Wachstum	37.4 ± 1.0	16.4 ± 0.4	35.7	28
Schräges Wachstum	35.0 ± 0.9	18.0 ± 0.4	45.0	40

Es gibt also keinen wesentlichen Unterschied zwischen den aufrecht und schräg wachsenden Keimlingen betreffs Endlänge.

## (g) Zusammenfassung des Abschnitts I.

Die sogenannte S-förmige Wachstumskurve können wir bei Haferkeimlingen in jüngeren Stadien in drei Komponenten zerlegen: zuerst steigt das Mesokotyl an, dann die Koleoptile und schliesslich das Primärblatt, welches anfangs gleichen Schritt mit der Koleoptile hält und erst am Schluss der Koleoptilenentwicklung von ihr divergiert und in eine grössere S-Form ausläuft.

Sowohl die Grösse als auch die Geschwindigkeit der Streckung dieser drei Organe werden von der Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Kulturmedium und Quantität des Endosperms mehr oder minder beeinflusst. Das Mesokotyl führt aber fast unabhängig von der einzelnen Korngrösse sein Dunkelwachstum durch, während die darüber befindlichen Organe der Entwicklungsfolge gemäss mehr oder minder auf das Nährsalz des Aussenmediums angewiesen sind.

Der 35-45 % Satz der aus entspelzten Samen bei 25° entwickelten Keimlinge zeigt erst am dritten Tag nach der Aussaat eine mehr

oder minder deutliche Spiralkrümmung, während eine solche bei Keimlingen aus bespelzten Samen weit weniger zum Vorschein kommt.

**(II) Hemmungswirkung des Lichtes auf die Endlänge  
der Keimlingsglieder und das von ihr gebildete  
Tal der Hemmungskurve.**

Um zu ermitteln, in welchem Stadium das Wachstum am stärksten beeinflusst wird, wurden die Keimlingskästen, je einer, in sukzessiv verschiedenen Entwicklungsstadien Belichtungen von bestimmter Dauer ausgesetzt, dann wieder ins Dunkel gebracht; nach bestimmter Zeit wurden die Keimlinge im Alkohol fixiert und die Endlänge der Sprossglieder gemessen. Die gewonnenen Daten sind statistisch behandelt worden.

Als Orientierungsversuche wurden zuerst die Keimlinge mit Mazda-Lampe von 5 und 250 Watt belichtet, die im Abstand von  $1/2$  Meter nach dem Passieren durch eine 4 cm. dicke Wasserschicht 15 bzw. 510 MK ergab, und zwar mit den Belichtungszeiten von 48, 24, 12, 6 sowie 3 Stunden bei der 5 Watt-Lampe und 1 Stunde bei der 250 Watt-Lampe. Später hat sich aber herausgestellt, dass eine 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK sehr geeignet ist, so dass die Hauptversuche mit dieser Belichtung ausgeführt wurden, wobei alle Keimlinge im Alter von 120 Stunden gleichzeitig fixiert wurden.

**(a) Orientierungsversuche.**

**(1) Versuche mit 15 MK.**

Das Mesokotyl weist bei der 48 Stunden langen Belichtung, welche von dem Anfang der Aussaat an dauernd einwirkt, eine starke Hemmung auf, und zwar beträgt die Endlänge nach 4 Tagen nur rund 6 mm. gegen diejenige von 62 mm. im Kontrollversuch; bei der Koleoptile ist der Kontrast noch nicht deutlich genug. Folgende Tabelle stellt die Zeitabstände nach dem Aussäen, nach welchen die Endlänge am kürzesten ist, und die entsprechenden Endlängen mit den zugehörigen Belichtungszeiten zusammen.

Es ist also klar, dass das Mesokotyl, welches schon im 96stündigen Alter langgestreckt sein soll, durch zunehmende Belichtungsdauer um das 48stündige Alter herum eine immer stärkere Wachstumssistierung erfährt.

## TABELLE VIII.

Zeitpunkt der stärksten Wachstumshemmung beim Mesokotyl und die entsprechende kürzeste Endlänge; Temp. : 25°.

Belichtungsdauer in Std.	Zeitpunkt in Std. nach dem Aussäen, in dem die Streckung am stärksten gehemmt wird.	Endlänge des Mesokotyls in mm.	Zahl der Keimlinge
Im Dunkeln	—	61.6 ± 1.4	40
3	45-48	25.0 ± 0.5	40
6	48-54	20.6 ± 0.4	40
12	24-36	17.3 ± 0.8	40
24	24-48	8.3 ± 0.5	40
48	0-48	5.8 ± 0.3	40

## (2) Versuche mit 510 MK.

Da das Zustandekommen der Wachstumshemmung bei 15 MK-Belichtung etwas längere Zeit beansprucht, benutzte ich eine 250 Watt-Mazda-Lampe, die 510 MK photometrisch misst, um einen ausgeprägten Erfolg zu erzielen. Eine 1stündige Belichtung mit dieser Lichtintensität führt zu noch klarerem Resultat in bezug auf die Wachstumshemmung des Mesokotyls und der Koleoptile. Die zeitliche Lage des tiefsten Punktes der Wachstumshemmung ist in Tabelle 7, S. 228 wiedergegeben.

Um das Alter von 54 Stunden herum trat der tiefste Punkt der Wachstumshemmung beim Mesokotyl ein, was auch in schöner Übereinstimmung in der Gesamtlänge von Mesokotyl und Koleoptile zum Ausdruck kommt.

## (b) Hauptversuche mit 1260 MK.

## (1) Hemmungskurve des Wachstums bei 25°.

Da die Keimlinge durch die Belichtung von einer Stunde mit 510 MK im Verlauf von 5 Tagen ein ganz schönes Hemmungsbild gezeigt haben, war es wahrscheinlich, dass die Hemmung durch 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK ebenfalls zustande kommen kann, wodurch man einen noch schärferen Zeitpunkt der Entwicklungsphasen, in welchen die Keimlinge besonders stark beeinflusst werden, ermitteln kann. Zuerst habe ich vom 48stündigen Alter an bis zum 60stündigen bzw. vom 78stündigen bis zum 90stündigen alle 3 Stunden Gruppen der Versuchspflanzen 30 Minuten lang mit 1260 MK belichtet und im 120stündigen Alter fixiert. Wiederholt habe ich noch zweimal den

gleichen Versuch gemacht und ziemlich übereinstimmende Bilder gewonnen, welche mit unseren Gesichtspunkten im Einklang stehen. Die Hauptergebnisse so behandelter Versuche kommen denjenigen des Versuchs 17 (60 Minuten lange Belichtung mit 510 MK; Temp.: 25°) nahe, nur dass die tiefsten Punkte um etwa 3 Stunden früher festgelegt sind. Die übrigen Charakteristiken der Hemmungskurve bei den drei Organen, dem Mesokotyl, der Koleoptile und dem Primärblatt, und dem Mesokotyl und der Koleoptile zusammen, stimmen auch sehr gut überein, d. h. die Hemmungskurve des Mesokotyls bildet im 51stündigen Alter eine nahezu symmetrische V-Form und weist im 96- oder 108stündigen Alter keine Herabsetzung mehr auf. Dass das Mesokotyl unter obigen Bedingungen nur ca. 24 Stunden vor und nach dem stärksten Hemmungsstadium am deutlichsten beeinträchtigt wird, deutet ohne weiteres darauf hin, dass es eine Periode geben muss, in der die weitere Entwicklung dieses Organs, sowohl durch Zellteilung wie auch durch Streckung der schon geteilten Zellen, entscheidend gehemmt wird. In bezug auf diese Fragestellung sind weitere Versuche bei uns im Gang. Die Versuche 26 und 29 waren für die Auffindung des Kurventals besonders geeignet; die Verkürzung des Belichtungsintervalls um eine Stunde zeigte ganz deutlich an, dass die 51 Stunden alte Gruppe die kürzeste Endlänge aufweist, nämlich 20.7-22.3 mm. im Gegensatz zu 60-65 mm. der Kontrolle (s. Tabelle 8 (a u. b), S. 228-9. und Abb. 9 (a u. b)).

Wir wollen die oben genannte V-förmige Kurve von Mesokotyl

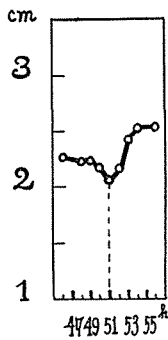


Abb. 9 (a).

Hemmungskurve der Mesokotyl-entwicklung; Temp.: 25°, Lichtdosis: 1260 MK × 30 Minuten. Ernte: 1928.

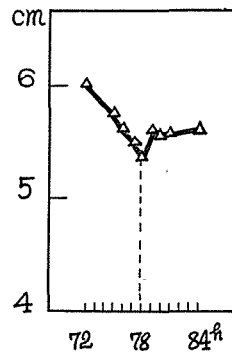


Abb. 9 (b).

Das Kurvental der Wachstumshemmung der Koleoptile; Ernte: 1928; Lichtdosis: 1260 MK × 30 Minuten; Temp.: 25°.

als primäre Hemmungskurve bezeichnen. Die Form dieser Kurve ist im grossen und ganzen sehr regelmässig, da das Mesokotyl fast unbeeinflusst von den anderen Organen sein Wachstum vollführt. Die Koleoptile weist hingegen zuerst eine kleine Förderung, dann langsames Absinken des Wachstums mit einem tiefsten Punkt der Kurve im 78-stündigen Alter auf und zeigt zum Schluss die Endlänge der Kontrolle. Diese anfängliche Förderung kommt dadurch zustande, dass das Wachstum der Koleoptile durch auffällige Herabsetzung der Mesokotylentwicklung korrelativ beschleunigt wird. Wir möchten daher die zugehörige Kurve der Koleoptile als sekundäre Hemmungskurve bezeichnen.

Das Primärblatt, welches im Dunkeln bei 25° gewöhnlich bis zum 120stündigen Alter der Koleoptile nachträglich gross wird, beschleunigt bei der Bestrahlung seinen Durchbruch aus der Koleoptilenspitze und stellt eine noch komplexere Kurve dar. Im allgemeinen zeigt diese zwei Gipfel im Alter von ca. 24 bzw. 78 Stunden. Der erstere hält gleichen Schritt mit der Koleoptile, der Hemmung des Mesokotyls entsprechend. Der letztere fällt mit dem Tal der sekundären Hemmungskurve zusammen, was auf eine unmittelbare Korrelation mit dem Wachstum der letzteren hinweist. Wir wollen diese Kurve vom Primärblatt als tertiäre Hemmungskurve bezeichnen (s. Abb. 10, 12, 13, 16—22).

Es sei noch bemerkt, dass das Primärblatt durch unmittelbare Wirkung des Lichtes nur schwach beeinflusst wird und vielmehr von zugänglicher Stoffzufuhr korrelativ abhängig ist. Ehe ich zu der Beschreibung der diesbezüglichen Ergebnisse aus den drei Ernten (1926, 1927, 1928) übergehe, will ich die Totallänge des Keimsprosses (Mesokotyl und Koleoptile) angeben.

Ohne Zergliederung der Hemmungskurve des Mesokotyls und der Koleoptile, kann man aus dieser zusammengesetzten Kurve den Eindruck bekommen, als ob diese schöne V-förmige Hemmungskurve mit der Streckung der gesamten Keimlingsorgane im Einklang stände. In Wirklichkeit erweist es sich aber, dass die Hemmungskurve der Koleoptile äusserst wenig an dem Zustandekommen der V-Form beteiligt ist.

Da der Wachstumsverlauf der Keimlinge im Dunkeln je nach dem Jahrgang der Saatproben etwas verschieden war, so prüfte ich, ob es im Zusammenhang damit auch eine Verschiebung in bez. auf das Vorkommen des Kurventals gibt oder nicht. Hierfür wurden die Ernten von 1928, 1927 und 1926 zur Anwendung gebracht. Die



Versuchsbedingungen waren ganz dieselben wie bei Versuch 18 (Temp.: 25°. Lichtdosis: 1260 MK × 30 Min.). Bei der Ernte 1927 (Versuch 18) war keine wesentliche Abweichung zu finden, nur dass die Periode der grössten Wachstumshemmung der Koleoptile, wie es unten die Tabelle zeigt, um 3 Stunden gegenüber derjenigen der Ernte 1928 zurückbleibt, und dann, dass die der Ernte 1926 um noch 3 weitere Stunden gegenüber der der Ernte 1927 nachsteht. Solche stufenweise Verspätung der Periode ist auch beim Mesokotyl mit einer kleinen Abweichung zu sehen.

TABELLE IX.

Zeitliche Bestimmung des Hemmungskurventals bei Mesokotyl und Koleoptile aus verschiedenen Saatproben; Lichtmenge: 1260 MK × 30 Minuten; Endlängenkeimlinge: 120<sup>h</sup> alt; Temp.: 25°.

Ernte	Versuchsnummer	Mesokotyl		Koleoptile	
		Kurvental	Endlänge in mm.	Kurvental	Endlänge in mm.
1928	23	51 Stdn.	23,8±0.7	78 Stdn.	54,0±0.9
	26	51 "	22,4±0.5	—	—
	33	51 "	24,1±0.8	78 "	58,9±0.9
	39	51 "	29,1±0.6	78 "	47,3±1.0
1927	17	54 "	22,0±0.7	84 "	46,4±0.9
	18	54 "	20,8±0.5	81 "	48,5±0.9
	20	—	—	81 "	40,1±0.8
1926	31	53 "	20,5±0.4	84 "	47,5±0.9
	37	55 "	16,9±0.6	—	—

Hier möchte ich ein Beispiel der Hemmungskurven der Organe zeigen (Abb. 10, S. 186 u. Tab. 9, S. 229).

(2) Hemmungskurven des Wachstums bei 15°.

Da das Wachstum durch die Temperatur auf verschiedene Weise modifiziert wird, so ist es unbedingt notwendig, die Lichtwirkung auf die Hemmungskurven auch bei niedrigeren und höheren Temperaturen zu prüfen. Dafür wählte ich die Temperaturen von 15° und 30°. Bei niedrigeren Temperaturen, wie man aus dem Dunkelwachstum wohl ersehen kann, wird der Wachstumsverlauf ziemlich verzögert, und die Streckung des Mesokotyls und der Koleoptile stellt sich später ein. Die Aufzucht der Keimlinge dauerte 12 Tage, während dieser Zeit sind die Kulturkästen im bestimmten Alter sukzessiv der Belichtung von 1260 MK 30 Minuten lang ausgesetzt worden.

Es stellte sich heraus, dass die Keimlinge bei niedriger Temperatur, also bei  $15^{\circ}$ , sehr spät zum Tal der Hemmungskurve gelangten, gerade im 120stündigen Alter für das Mesokotyl und im 177stündigen Alter für die Koleoptile. (s. Abb. 11 (a) u. (b), Abb. 12, Tabelle 10, 11 u. 12, S. 229-230)

Die kombinierte Kurve der Wachstums hemmung des Mesokotyls und der Koleoptile stimmt in ihrer Form prinzipiell mit der Hemmungskurve des Mesokotyls überein, zumal fällt der Zeitpunkt der grössten Hemmung des Mesokotyls mit demjenigen der kombinierten Kurve ganz in dieselbe Periode (s. Tab.

12, S. 230 und Abb. 12, S. 187). Die ganzen Umrisse beider Hemmungskurven (M. und M+K) stimmen miteinander überein, nur dass die Ordinate der kombinierten Kurve höher bleibt.

Es ist auch bemerkenswert, dass das Primärblatt vor und nach dem Tal der Hemmungskurve von Mesokotyl bzw. Mes. + Kol. eine deutliche korrelative Wachstumsförderung aufweist. (s. Abb. 12).

### (3) Hemmungskurve des Wachstums bei $30^{\circ}$ .

Die Beschleunigung des Wachstumsverlaufs im Dunkeln lässt uns vermuten, wie wir schon gesehen haben, dass auch die Hemmungskurve vielleicht in kürzerer Frist ablaufen kann. Darum habe ich einen Versuch so angestellt, dass bei dieser Temperatur Pflanzengruppen im Alter von 0, 12, 24, 36, 42, 48, 60, 72, 84 und 96 Stunden (Tabelle 13, S. 230; Abb. 13, S. 188) mit derselben Bestrahlung 30 Minuten lang belichtet und im Alter von 5 Tagen im Alkohol fixiert wurden.

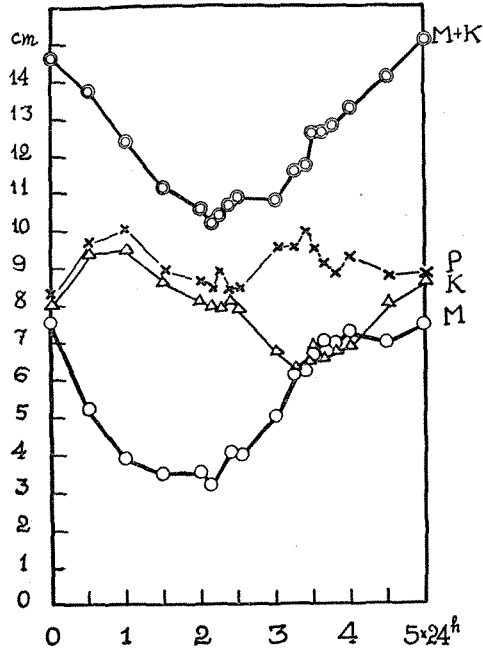


Abb. 10.

Hemmungskurven von Mesokotyl (M), Koleoptile (K), Primärblatt (P) und der zusammengesetzten Kurve von Mesokotyl und Koleoptile (M+K); Ernte: 1928; Lichtdosis:  $1260 \text{ MK} \times 30 \text{ Min.}$ ; Temp.:  $25^{\circ}$ .

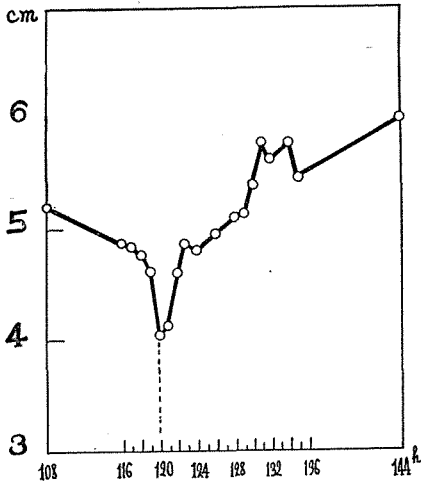


Abb. II (a).

Kurvental der Wachstumshemmung des Mesokotyls; Ernte: 1928; Lichtdosis: 1260 MK  $\times$  30Min.; Temp.: 15°.

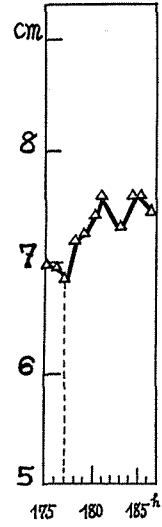


Abb. II (b).

Kurvental der Wachstumshemmung der Koleoptile; die Bedingungen sind wie die im Experiment Abb. II (a).

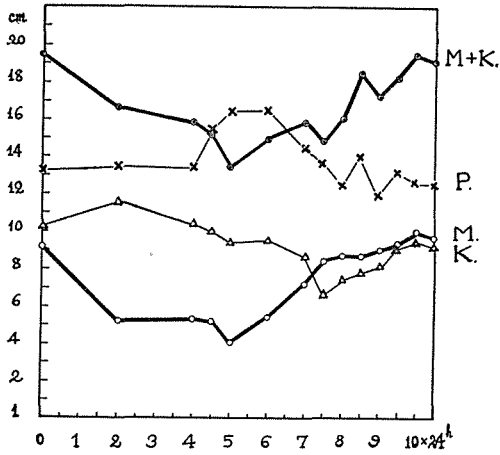


Abb. 12.

Hemmungskurve des Wachstums bei Mesokotyl (M), Koleoptile (K), Primärblatt (P) und die zusammengesetzte Kurve von Mesokotyl und Koleoptile (M+K). Ernte: 1928; Lichtdosis: 1260 MK  $\times$  30 Min.; Temp.: 15°.

Nach den anderen Versuchen, wo die Pflanzengruppen in noch kürzeren Entwicklungsabschnitten, also zwischen 31 und 40 Stunden und dann zwischen 66 und 78 Stunden, jede Stunde 30 Minuten lange Belichtung erfahren haben (Tab. 14 u. 15, S. 231), tritt das Kurvental der Wachstumshemmung beim Mesokotyl im 36- und dasjenige für die Koleoptile im 72stündigen Alter zum Vorschein; obwohl die kombinierte Hemmungskurve von Mesokotyl und Koleoptile (Tab. 13, S. 230, Abb. 13) etwas abweicht, geht aus Versuch 51 und 2 (Tab. 14 u. 15, S. 231) die Übereinstimmung in bez. auf die obigen Punkte der Kurventäler der beiden Organe im 36- und 72stündigen Alter in eklatanter Weise hervor.

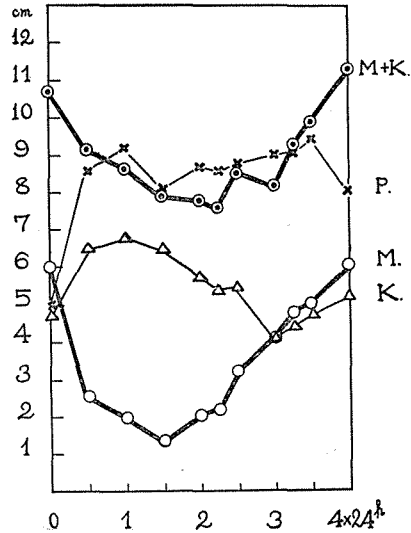


Abb. 13.

Hemmungskurve von Mesokotyl (M), Koleoptile (K), Primärblatt (P) und zusammengesetzte Kurve von Mesokotyl und Koleoptile (M+K); Ernte: 1928; Lichtdosis: 1260 MK×30 Min.; Temp.: 30°.

#### (4) Grosse Periode des Wachstums von Mesokotyl und Koleoptile im Dunkeln bei verschiedenen Temperaturen.

Wir wollen zuerst die grosse Periode der Organe berücksichtigen, um die darauf folgende Wachstumshemmung vergleichend zu besprechen.

TABELLE X.

Versuchsnum. mer	Temp.	Mesokotyl	Koleoptile
19	25°	72-84 <sup>h</sup>	108 <sup>h</sup>
21	25°	84	120
22	25°	84	96
24	25°	72-84	96-120
25	25°	72-84	96
28	25°	84	96
36	25°	84	96
38	25°	84	96
39	25°	84	96
50	30°	72	96
57	30°	72	120
42	15°	148	192
45	15°	148	192

So habe ich aus den Versuchen im Dunkeln die Zuwachsgrösse von Mesokotyl und Koleoptile in Zeitabständen von je 12 Stunden vom Anfang der Aussaat an gerechnet festgestellt. Die grosse Periode ist in Tab. X zeitlich festgelegt.

Im allgemeinen fällt die grosse Periode des Wachsens bei 25°, obschon mit einigen Schwankungen, durchschnittlich in das Alter von 78 Stunden für das Mesokotyl und von 108 Stunden für die Koleoptile; bei 30° macht das entsprechende Alter 72 bzw. 108 Stunden aus und bei 15° 148 bzw. 192 Stunden.

(5) Zuwachsgrösse des Mesokotyls und der Koleoptile bei der grossen Periode des Wachstums.

Um zu erfahren, im welchem Tempo der Haferkeimling während seiner grossen Periode zu wachsen vermag, habe ich an den vorherbesprochenen Materialien aus einer Anzahl von Versuchen die Zuwachsgrösse von zwei Organen innerhalb je 12 Stunden gemessen und folgende Resultate bekommen.

TABELLE XI.

Die grösste Zuwachsgrösse nach Ablauf von jedem halben Tag.

Versuchsnummer	Temp.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	M/K in %
19	25°	19.5	16.0	121.9
21	25°	19.5	18.0	108.3
22	25°	19.0	18.5	102.7
24	25°	19.0	15.0	126.7
25	25°	19.5	14.0	139.2
28	25°	20.0	18.0	111.1
36	25°	20.0	18.0	111.1
38	25°	20.0	18.0	111.1
39	25°	20.0	18.0	111.1
50	30°	17.0	14.5	117.2
57	30°	15.0	12.0	125.0
42	15°	13.0	10.0	130.0
45	15°	13.0	10.0	130.0

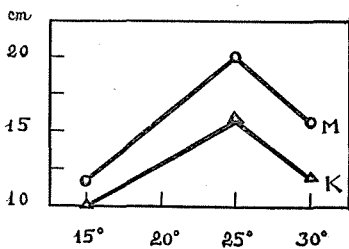


Abb. 14.

Maximale Zuwachsgrösse pro halben Tag und die zugehörigen Temperaturen. M: Mesokotyl; K: Koleoptile.

Wir können daraus ersehen, dass das Mesokotyl bei drei Wärmegraden stärker wächst als die Koleoptile, und zwar im durchschnittlichen Verhältnis von 115.2% (19.7:17.1) bei 25°, 120% (16.0:13.3) bei 30° und 130% (13.0:10.0) bei 15°.

In Abb. 14 ist die Einwirkung der Temperatur auf die Zuwachsgrösse graphisch dargestellt.

## (6) Zeitliche Verhältnisse der grössten Hemmung und Streckung.

Die Zeitpunkte der durch Belichtung hervorgerufenen grössten Hemmung und der grossen Periode des Wachstums im Dunkeln weisen bestimmte Abstände auf, die je nach Temperaturgraden verschieden ausfallen, wie unten tabellarisch dargestellt ist:

TABELLE XII.

Die Zeit der grössten Hemmung und der grossen Wachstumsperiode im Dunkeln.

Temp.	Mesokotyl		Koleoptile	
	grösste Hemmung	max. Zuwachs	grösste Hemmung	max. Zuwachs
30°	36 Stunden <sup>1)</sup>	72 Stunden	72 Stunden	96 Stunden
25°	51 „	84 „	78 „	120 „
15°	120 „	148 „	177 „	192 „

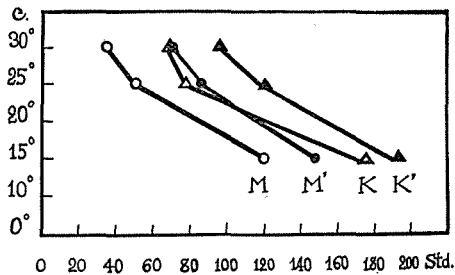


Abb. 15.

Die Zeit der grössten Lichtwirkung (o und Δ) und des maximalen Zuwachses im Dunkeln (▲ und ●) bei drei Temperaturen; M u. M': Mesokotyl von belichteten und verdunkelten Pflanzen. K u. K': Koleoptile von belichteten und verdunkelten Pflanzen.

Aus obigen Ergebnissen können wir schliessen, dass der Zeitpunkt der reizbarsten Periode gegen das Licht bei dem Mesokotyl und der Koleoptile sich im allgemeinen etwa um  $1\frac{1}{2}$  oder 1 Tag früher einstellt als der des maximalen Zuwachses der Dunkelpflanzen.

## (7) Die Wachstumshemmung des Mesokotyls hervorgerufen durch Belichtung der Koleoptilenspitze.

Um sich ein Urteil über die Frage zu bilden, wie die Streckung des Mesokotyls durch Belichtung der Koleoptilenspitze beeinflusst wird, wurden je 10-15 Samen in mit Sägespänen gefüllten Glastöpfchen (9

<sup>1)</sup> Solcher Zeitpunkt ist von der Zeit der Aussaat an berechnet.

cm. Höhe und 3 cm. Durchmesser) bei 25° ca. 2-3 cm. tief ausgesät. Ungefähr 80 normale Keimlinge aus solchen 8 Töpfchen machten das Versuchsmaterial aus, wobei nach 36<sup>h</sup>, 48<sup>h</sup>, 52<sup>h</sup> und 64<sup>h</sup> die Koleoptilenspitzen nur ca. 1-2 mm. oder bisweilen 3-4 mm. über die Sägespäne herausgewachsen waren; sie wurden mit derselben Lichtintensität wie vorher (1260 MK) von oben 30 Minuten lang belichtet und im 120-stündigen Alter, wie gewöhnlich, fixiert.

TABELLE XIII.

Das durch Belichtung der Koleoptilenspitze hervorgerufene Wachstum des Mesokotyls bei 30°. Gemessen im Alter von 5 Tagen.

Versuchsnummer	Alter der Belichtung in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
61	36	34.0±1.1	46.6±1.1	93.3±3.9	20
61	(Kontrolle)	(48.6±2.9)	(55.7±1.5)	(90.9±6.4)	10
59	48	25.9±0.7	48.4±0.6	80.9±2.0	40
59	(Kontrolle)	(61.3±1.8)	(57.1±1.2)	(64.5±1.8)	30
60	52	28.4±0.6	46.8±0.6	82.6±1.5	40
60	(Kontrolle)	(64.2±1.6)	(59.4±0.8)	(62.3±1.1)	20
59	64	33.9±0.7	42.8±0.7	47.2±1.0	40
59	(Kontrolle)	(50.9±0.8)	(42.6±0.6)	(40.8±0.9)	40

Die Belichtung der Koleoptilenspitze wirkt somit ganz entscheidend auf die Mesokotylstreckung ein, es liegt also Leitung der Hemmungswirkung vor. Ob diese Leitung nur durch die Zerstörung oder Bildungshemmung der abwärts strömenden Wuchsstoffe oder durch sonstige Hemmung der Erregungsleitung verursacht wird, ist nicht entschieden. Natürlich ist der Grad des Einflusses je nach dem Alter und Gewicht der Samen usw. einigermaßen verschieden, und die Hemmung dementsprechend auch weniger ausgeprägt. Und zwar ist die Belichtung im 48- und 52stündigen Alter am wirksamsten: die Endlänge beträgt z. B. 26-28 mm. gegenüber 23-24 mm. bei den total belichteten Keimlingen.

### (III) Wachstumshemmung bei verschiedenen Belichtungsstärken.

Ausser den Resultaten von 30 Minuten langer Belichtung mit 1260 MK, worüber ich schon oben berichtet habe, hatte ich die Bestrebung, die hemmende Wirkung verschieden langer Belichtung mit derselben Lichtintensität auf die Endlänge des Mesokotyls und

der Koleoptile sowie auf den beschleunigenden Einfluss des Primärblattes zu prüfen.

Ich wählte mehrere Belichtungszeiten, nämlich 5, 15, 30, 60 Minuten, 6, 12 und 24 Stunden mit ein und derselben Lampe und denselben übrigen Vorrichtungen, mit welchen ich von Anfang an gearbeitet habe. Zunächst wollen wir die herabsetzende Wirkung des Lichtes auf die Keimlinge näher verfolgen.

**(a) 5 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK.**

Bei Versuch 78 beobachtete ich die Wirkung der 5 Minuten dauernden Belichtung bei 25° auf die Hemmungskurven. Das Mesokotyl und die Koleoptile erreichen bei dieser Temperatur, wie es sich schon früher herausstellte, innerhalb 5 Tagen ihre Endlänge. Durch das Einwirken des Lichtes bietet das Mesokotyl eine V-förmige Kurve dar, deren tiefster Punkt im 51stündigen Alter liegt. Diese maximale Hemmung steht aber nicht viel hinter derjenigen von 30 Minuten langer Belichtung zurück, das Verhältnis ist also nicht proportional 5 : 30, vielmehr steht sie der letzteren sehr nahe (27.3 : 22.7 mm). Die Koleoptile zeigt eine wellenförmige Hemmungskurve, wie es auch früher der Fall war, die Kurve steigt nämlich anfangs an, einen Gipfel beim 24stündigen Alter erreichend, dann sinkt sie beim 78stündigen Alter bis zum tiefsten Punkt der Hemmungskurve hinunter und kommt wieder zur anfänglichen Höhe zurück! Das Kurvental der Hemmung scheint mir bedeutend tiefer zu sein als es erwartet wurde.

Die Gesamtlänge von Mesokotyl und Koleoptile weist auch ein ähnliches Bild auf, was hauptsächlich durch das Mesokotyl bedingt wird, ist also im 51stündigen Alter der Keimlinge am stärksten herabgesetzt.

Schliesslich ist zu bemerken, dass die Kurve des Primärblattes noch komplizierter aufgebaut ist. Zuerst hält sein Wachstum beinahe gleichen Schritt mit demjenigen der Koleoptile, dann aber im 72stündigen Alter, also 6 Stunden vor dem Kurvental der Koleoptile, erfährt es eine starke Beschleunigung, sodass wir kaum noch von Hemmung sprechen können. Zum Schluss tritt aber wieder der Zustand, der dem Ausgangszustande oder demjenigen der Dunkelkontrolle nahezu gleichkommt, ein (s. Tabelle 16, S. 231 und Abb. 16).

**(b) 15 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK.**

Bei einer viertelstündigen Belichtung erreichte ich auch eine fast übereinstimmende Hemmungskurve. Die Hemmungskurve des Mesoko-



tyls ist wie die im vorigen Versuch. Im 51stündigen Alter der Keimlinge wird der tiefste Punkt erreicht, die grösste Wachstumshemmung nimmt nur etwas zu. Die Koleoptile reagiert dann nicht anders als wie vor und weist eine wellenförmige Zu- und Abnahme der Endlänge beim 24- bzw. 78stündigem Alter auf. Die Gesamtlänge von M + K erwies sich auch hier als V-förmig; der tiefste Punkt liegt im 51stündigen Alter, wie beim Mesokotyl. Das

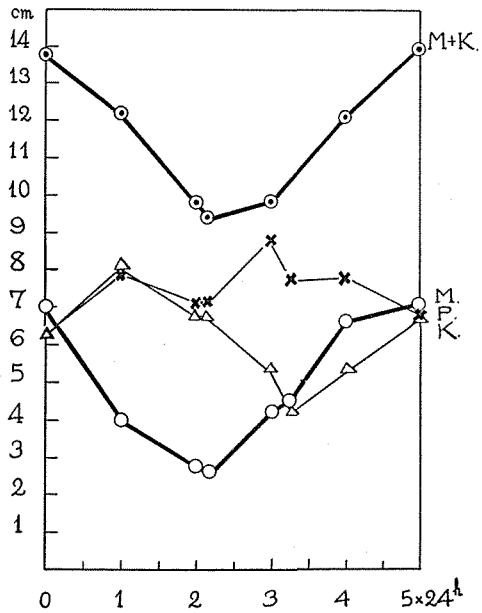


Abb. 16.

Hemmungskurven der Organe bei 5 Minuten langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

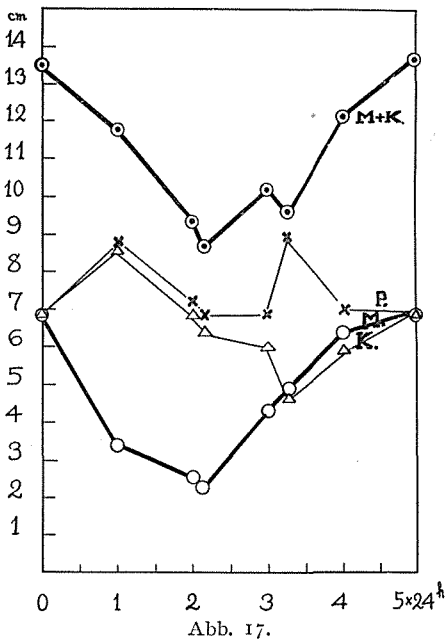


Abb. 17.

Hemmungskurve bei 15 Minuten langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

Primärblatt verhält sich auch ähnlich, nur dass der Durchbruch desselben etwas früher zustande kommt (s. Tabelle 17, S. 232 und Abb. 17).

(c) 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK.

Die V-förmige Hemmungskurve des Mesokotyls verläuft nicht sehr abweichend von der bei 15 Minuten langer Belichtung, nur dass die Endlänge am tiefsten Punkt dieser Kurve nur 22.7 mm. beträgt<sup>1)</sup>.

Die Koleoptile ergab eine

<sup>1)</sup> Ich habe auch noch etwas andere Werte für die Endlängen gewonnen, wie 23.8 mm. (Vers. 23), 24.0 mm. (Vers. 33), 22.0 mm. (Vers. 17) usw.

ideale wellenförmige Kurve, deren tiefster Punkt im 78stündigen Alter der Keimlinge erreicht wird. Die zusammengesetzte Kurve von M+K zeigte auch hier im 51stündigen Alter den tiefsten Punkt. Die zweigipfelige Kurve des Primärblattes ist nur einigermaßen stärker gefördert als in den vorigen zwei Versuchen, nämlich der über die Koleoptilenspitze herausragende Teil und auch natürlich seine Endlänge sind grösser (s. Tabelle 18, S. 232 und Abb. 18).

(d) 60 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK.

Dieser Versuch liefert einige Abweichungen den bisherigen Versuchen gegenüber. Das Kurvental der Wachstumshemmung vom Mesokotyl wurde bei dieser Dosierung nicht tiefer als dasjenige bei 30 Minuten langer Belichtung. Es ist bemerkenswert, dass das Kurvental sich in der Abszissenrichtung nach vorne etwas erweitert. In der Tat sind die Endlängen von im 48- und 51stündigen Alter belichteten Keimlingen fast gleich.

Die Koleoptile zeigt eine andere Form der Hemmungskurve, nämlich die gewöhnlich am Anfang vorkommende Beschleunigung ist hier nicht zu sehen, wenngleich der tiefste Punkt ebenfalls ins 78stündige Alter fällt und tiefer liegt als in den vorigen Versuchen.

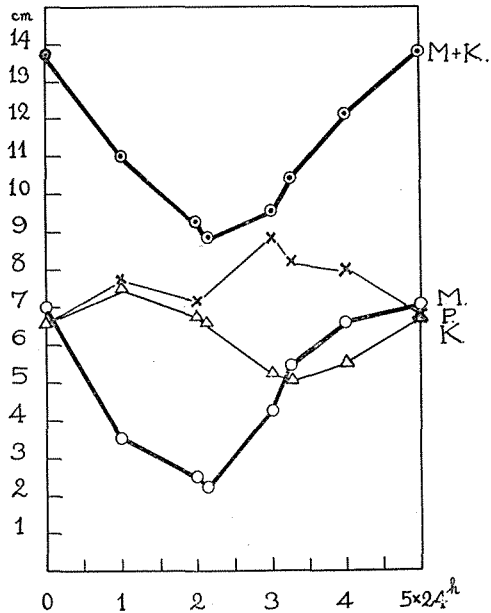


Abb. 18.

Hemmungskurve bei 30 Minuten langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

Die Hemmungskurve von M+K ergab auch eine V- oder vielmehr U-förmige Kurve mit ihrem tiefsten Punkt beim 51stündigen Alter. Der beschleunigte Durchbruch des Primärblattes aus der Koleoptilenspitze findet erst im 120stündigen Alter der Keimlinge statt. Der Gipfel der korrelativ beschleunigten Kurve dieses Organs ist bei 72 Stunden zu finden. (s. Tabelle 19, S. 232 und Abb. 19).

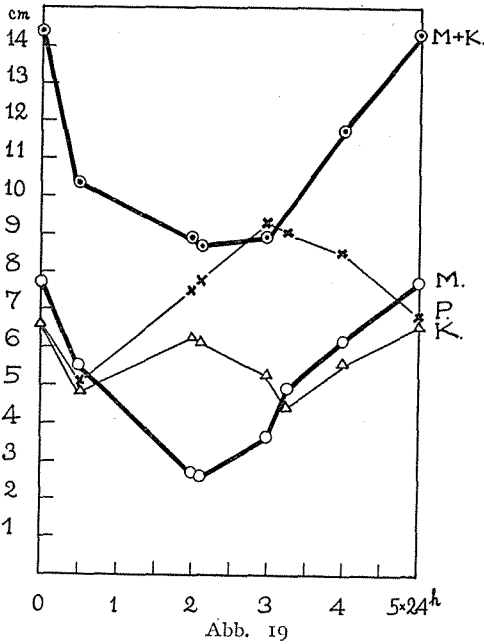


Abb. 19  
Hemmungskurve bei 60 Min. langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

(e) 6 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK.

Verlängert man die Belichtungsdauer bis zu 6 Stunden, so bekommt man eine noch erheblichere Veränderung der Hemmungskurve, besonders beim Mesokotyl. Die merkwürdige Hemmung kommt schon sehr früh zutage, ja, vor einer ausgiebiger Zellteilung im Mesokotyl, nämlich im 24stündigen Alter recht deutlich zum Vorschein (Abb. 20); freilich ist der tiefste Punkt, wie gewöhn-

lich, noch im 51stündigen Alter sichtbar.

Die Hemmungskurve von Koleoptile und M+K bleibt fast dieselbe wie in den vorigen Fällen, wobei die Endlänge um 5 oder 6 mm. kürzer ist. Das Primärblatt wies keinen besonderen Unterschied im Vergleich mit den letzteren Versuchen auf (s. Tabelle 20, S. 232 und Abb. 20).

(f) 12 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK.

Bei halbtägiger Belichtung ist das frühere Zustandekommen der gröss-

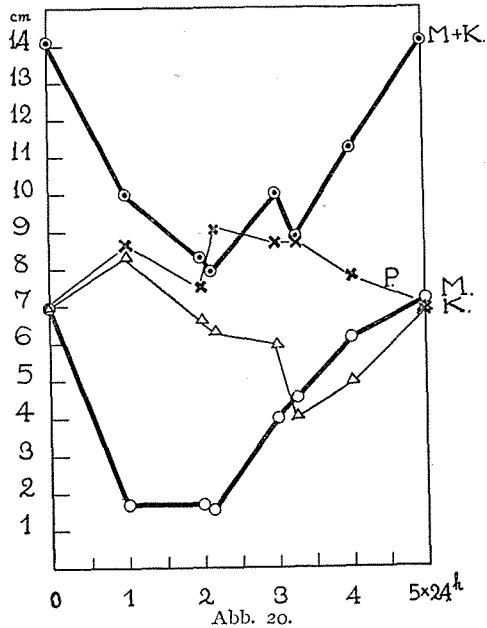


Abb. 20.  
Hemmungskurve bei 6 Stunden langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

ten Hemmung beim Mesokotyl recht deutlich zu sehen, und die Kurve nimmt nicht mehr die V-förmige Gestalt an (Abb. 21). Die Koleoptile bleibt aber tadellos wellenförmig, und hat im 72stündigen Alter ihren tiefsten Punkt. Dessenungeachtet zeigt die kombinierte Hemmungskurve von Mesokotyl und Koleoptile eine einfache V- oder U-Form, wobei der tiefste Punkt beim 48stündigen Alter aufzufinden ist.

Die Bechleunigung des Durchbruchs vom Primärblatt aus der Koleoptile ist

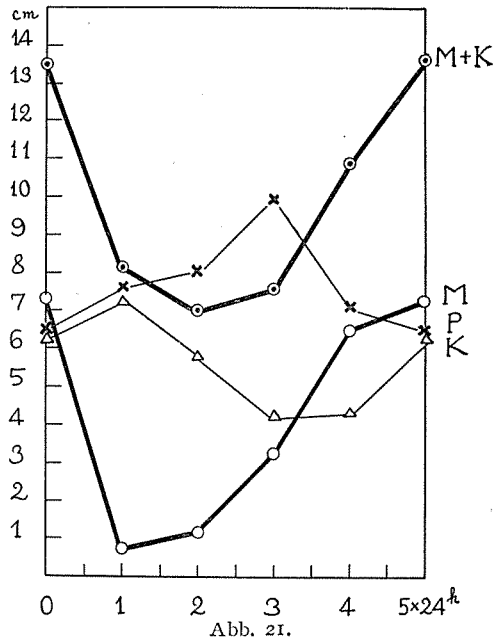


Abb. 21.  
Hemmungskurve bei 12 Stunden langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

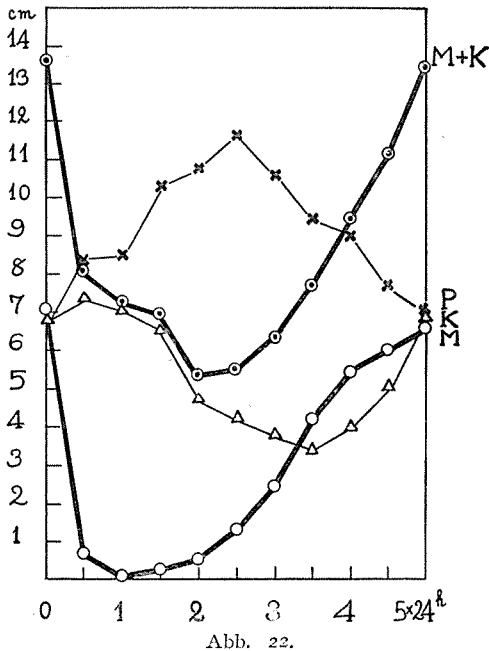


Abb. 22.  
Hemmungskurve bei 24 Stunden langer Belichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°.

hier noch auffälliger geworden, seine Länge beträgt zur Zeit der grössten Hemmung der Koleoptile ca. 97 mm., während der gewöhnlich auftretende erste kleinere Gipfel sich fast der Bemerkung entzieht (s. Tab. 21, S. und 233 Abb. 21).

(g) 24 Stunden lange Belichtung mit 1260 MK.

Durch 24stündige Belichtung ist die Endlänge des Mesokotyls stark herabgesetzt, und zwar so stark, dass sie am Kurvental durchschnittlich nur  $1.7 \pm 0.1$  mm. beträgt; die Kurve

selbst ist auch stark asymmetrisch geworden. Die Koleoptile zeigt wie üblich eine wellenförmige Kurve, aber die anfängliche Beschleunigung tritt infolge korrelativer Beziehung zum Mesokotylwachstum etwa 12 Stunden früher als in den bisherigen Versuchen ein und zeigt am tiefsten Punkt der Kurve eine ungemein intensiv herabgesetzte Endlänge, nämlich  $36.5 \pm 0.6$  mm. im 84stündigen Alter. Das Kurvental der Wachstumshemmung bei der Koleoptile, wie dasjenige des Mesokotyls, hat sich ausgedehnt; sein tiefster Punkt hat sich etwa um 6 Stunden verspätet im Vergleich mit dem gewöhnlich im 78stündigen Alter zum Vorschein kommenden niedrigsten Punkt. Die Kurve von Mes. + Kol. bildet eine U-Form, mit einem sehr tiefen Tal, dessen tiefster Punkt aber ins 48stündige Alter fällt. Das Primärblatt verlängert sich ausserordentlich stark im 60stündigen Alter, mit einem hohen Gipfel ohne wellenförmigen Verlauf (s. Tabelle 22, S. 235 und Abb. 22).

Die Wachstumsverhältnisse der Keimlingsglieder sind bei der vorliegenden Belichtung, besonders in den früheren Stadien, denjenigen der im Sonnenlicht kultivierten Keimlinge ähnlich (s. § (k) S. 201).

(h) Dauerbelichtung in Anfangsstadien mit 1260 MK.

In diesem Versuch habe ich die Dauerbelichtung in folgender Kombination ausgeführt (T=Tage):

Nummer des Kastens	1	2	3	4	5	6
Belichtungsdauer von Anfang an . . . . .	0T.	1T.	2T.	3T.	4T.	5T.
dann im Dunkeln . . . . .	5T.	4T.	3T.	2T.	1T.	0T.

Bei dieser Belichtungsweise erfährt das Mesokotyl schon bei Nummer 2 eine gewaltige Abnahme der Endlänge und von Nr. 3 an sind die Keimlinge praktisch mesokotylfrei. Die Koleoptile bleibt bis Nr. 2 etwa unverändert, dann bis Nr. 4 wird sie immer kürzer, zum Schluss wird sie aber wieder konstant mit kurzer Endlänge. Schon die Belichtung von 3 Tagen genügt demnach, um die kürzeste Endlänge des Mesokotyls zu erzielen, also keine weitere Abnahme der Endlänge ist möglich bei dieser Lichtstärke. Es gibt auch keine korrelative Beschleunigung trotz der völligen Hemmung der Mesokotylstreckung. Die Kurve M+K steigt zuerst rasch an, dann langsam ab, und zuletzt wird sie flach wie bei der Koleoptile. Das Primärblatt weist einen etwa S-artigen Anstieg auf (s. Tabelle 23, S. 233 und Abb. 23).

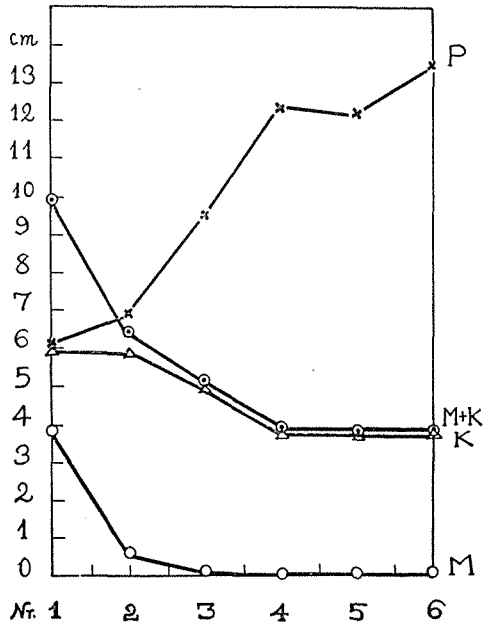


Abb. 23.

Wachstumshemmung durch Dauerbelichtung mit 1260 MK; Ernte: 1928; Temp.: 25°. Die Zeichen auf der Abszisse bedeuten wie folgt; (T=Tag):

Nr. des Kastens	1	2	3	4	5	6
Belichtung	0T.	1T.	2T.	3T.	4T.	5T.
Dunkelheit	5T.	4T.	3T.	2T.	1T.	0T.

(i) Dauerbelichtung in Endstadien mit 1260 MK.

In diesem Versuch brauchte ich die umgekehrte Kombination wie vorher, also zuerst Verdunkelung, dann Belichtung.

Nr. des Kastens	1	2	3	4	5
Dauer d. Verdunkelung von Anfang an .	5T.	4T.	3T.	2T.	1T.
dann zur Belichtung gebracht . . . . .	0T.	1T.	2T.	3T.	4T.

Das Mesokotyl zeigt hier in seiner Endlängenkurve eine allmähliche Abnahme mit umgekehrt S-förmigem Ablauf, während die Koleoptile einen flachen V-förmigen Verlauf aufweist wie das Mesokotyl. Dieses Verhältnis deutet ohne weiteres darauf hin, dass die Hemmung durch das Licht umso weniger wirksam wird, je später die Keimlinge belichtet werden.

Auf das Primärblatt ist die Wirkung sehr mittelbar. Vielleicht spielt die korrelative Beschleunigung eine grosse Rolle bei seiner Streckung. (s. Tabelle 24, S. 233 und Abb. 24).

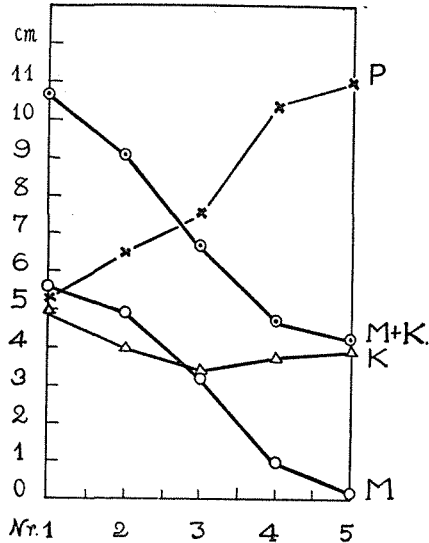


Abb. 24.

Wachstumshemmung durch Dauerbelichtung mit 1260 MK in Endstadien; Ernte: 1928; Temp.: 25°. Die Zeichen auf der Abszisse stellen folgendes dar (T=Tage):

Versuchsnummer	1	2	3	4	5
Dunkelheit	5T.	4T.	3T.	2T.	1T.
Belichtung	0T.	1T.	2T.	3T.	4T.

### (j) Lichtwirkung im Quellungsstadium.

Ob die Embryonen in den ersten Quellungsstadien der Körner, von der Aussaat an gerechnet, dem Licht gegenüber schon etwas empfindlich sind, sollten folgende vier Arten Versuche zeigen.

Versuchsnummer	Medium	Samenproben
I. (S. B.)	SACHSSCHE NÄHRLÖSUNG	Bespelzt
II. (S. E.)	SACHSSCHE NÄHRLÖSUNG	Entspelzt
III. (G. B.)	Gartenerde	Bespelzt
IV. (G. E.)	Gartenerde	Entspelzt

Im Versuchsgewächshaus wurden alle gleichzeitig ausgesäten Serien, welche aus je 7 Kästen bestanden, gleich nach der Aussaat

dem Tageslicht ausgesetzt und nach 1<sup>h</sup>, 2<sup>h</sup>, 3<sup>h</sup>, 4<sup>h</sup>, 5<sup>h</sup>, 6<sup>h</sup> und 7<sup>h</sup> langer Belichtung sukzessiv, jedesmal ein Kasten aus jeder Serie, in die dunkle Versuchskammer gebracht, bis zum 5. Tag, um sie sich dort voll entwickeln zu lassen. Die folgenden Tabellen legen diese Verhältnisse klar dar.

TABELLE XIV.

Wirkung der Sonnenbestrahlung im Laufe der Quellungszeit auf die Endlänge.

(a) Endlänge des Mesokotyls.

Kulturmedium Belichtung	Sachs, bespelzt (I)	Sachs, entspelzt (II)	Erde, bespelzt (III)	Erde, entspelzt (IV)
1 Std.	79.5 ± 1.7	57.8 ± 3.9	61.0 ± 0.9	47.0 ± 1.8
2 „	71.1 ± 1.6	53.0 ± 3.8	51.4 ± 1.9	39.0 ± 2.2
3 „	69.1 ± 2.1	56.8 ± 2.7	49.0 ± 1.4	35.3 ± 2.5
4 „	71.3 ± 1.3	58.4 ± 3.4	45.3 ± 1.6	32.1 ± 2.9
5 „	67.7 ± 1.7	53.6 ± 3.9	46.5 ± 2.0	29.6 ± 3.0
6 „	74.2 ± 2.2	56.3 ± 2.6	45.9 ± 1.5	—
7 „	68.8 ± 1.2	46.3 ± 3.4	39.8 ± 2.0	—
Kontrolle	77.2 ± 1.5	60.3 ± 2.0	60.2 ± 1.4	60.6 ± 2.6

(b) Endlänge der Koleoptile.

1 Std.	45.3 ± 0.6	41.3 ± 1.9	55.2 ± 1.7	56.6 ± 1.3
2 „	43.0 ± 0.9	40.1 ± 3.9	56.8 ± 1.0	57.1 ± 1.8
3 „	42.9 ± 1.1	48.2 ± 1.4	54.0 ± 1.1	53.8 ± 2.1
4 „	39.4 ± 1.2	54.9 ± 4.5	52.6 ± 1.5	52.9 ± 2.0
5 „	46.6 ± 1.2	44.5 ± 1.5	56.1 ± 2.0	55.7 ± 3.2
6 „	39.7 ± 1.5	39.5 ± 3.7	52.9 ± 1.5	—
7 „	39.0 ± 2.2	38.1 ± 1.9	51.1 ± 1.9	—
Kontrolle	44.8 ± 1.1	48.7 ± 0.9	51.1 ± 0.9	48.4 ± 1.9

Schon die anfängliche 2stündige Belichtung zeigt deutlich eine Wachstumshemmung des Mesokotyls, wenn auch mit einigen unregelmässigen Ergebnissen, während die Koleoptile dabei indifferent blieb oder schwach beschleunigt wurde.

Rechnet man hier die Hemmungskoeffizienten von Mesokotyl und Koleoptile, die 7 Stunden lang belichtet wurden, nach der Formel  $\text{Hemmungskoeffizient} = \frac{\text{Kontrolle} - \text{gehemmte Endlänge}}{\text{Kontrolle}} \times 100$  um, so bekommt man folgende Ziffern, wobei „Minus“ die Herabsetzung, „Plus“ die Beschleunigung kennzeichnen soll.



TABELLE XV.

Hemmungskoeffizient von Mesokotyl und Koleoptile.

Versuchsnummer	$\frac{(K.-h. E.) \times 100}{K.}$ v. Mes.	$\frac{(K.-h. E.) \times 100}{K.}$ v. Kol.
	I (SACHS, bespelzt)	-12%
II (SACHS, entspelzt)	-23%	-21%
III (Gartenerde, besp.)	-33%	+ 4%
IV (Gartenerde, entsp.)	-54%	+14%

In bez. auf das Mesokotyl sieht man, dass die letzte Serie durch 7stündige Belichtung am stärksten beeinflusst wurde (-54%), während die Koleoptile, zumal bei der III und IV Serie, eine auffällige Beschleunigung erfahren hat (+4% bis +14%). Das bedeutet aber nicht, dass die Hemmung beim Mesokotyl schon während dieses Alters (0<sup>h</sup>—7<sup>h</sup>) einsetzt, sondern vielmehr, dass eine ziemlich starke Herabminderung der Endlänge als Nachwirkung von nur einstündiger Belichtung im anfänglichen einstündigen Alter zustande gekommen ist. Es liegt die Vermutung nahe, dass in diesem Alter, also schon im Verlauf der Quellungsperiode, eine Art Hemmungsstoff gebildet wird, der auf die Zellteilung im Laufe der weiteren Entwicklung der Keimspresse herabsetzend wirken kann.

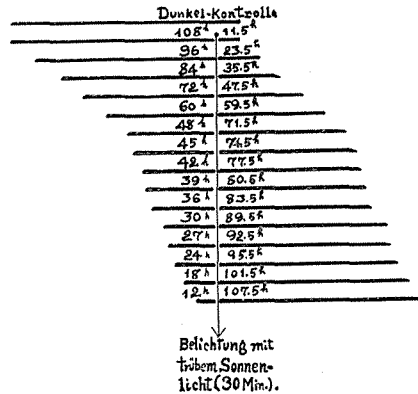
Die Koleoptile und das Primärblatt zeigen im Vergleich mit dem Mesokotyl nur eine schwache Hemmung oder wie bei III oder IV eine Beschleunigung.

(k) Wachstumshemmung durch das Sonnenlicht.

Anstatt beim künstlichen Licht habe ich diesmal das Hemmungsverhalten der Keimlinge vergleichshalber im Sonnenlicht geprüft. Den Versuch habe ich derart angestellt, dass die Keimlingskästen binnen 4 Tagen sukzessiv mit Körnern beschickt wurden. Alle sind, jeder nach einem Aufenthalt von bestimmter Länge im Dunkeln, dem Sonnenlicht 30 Minuten lang exponiert worden, um auf die verschiedenen alten Keimlinge simultan einen Lichtreiz von ein und derselben Stärke einwirken zu lassen, wie aus umstehendem Schema (S. 202) hervorgeht.

Das Wetter war leider bei der Exponierungszeit von 30 Minuten (9<sup>h</sup> 25'—9<sup>h</sup> 55' morgens 23/7 1930) trüb, so dass man die Sonnenscheibe kaum sehen konnte. Das im 120<sup>h</sup>-Alter der Keimlinge gewonnene Ergebnis war in der Hauptsache folgendes: In erster Linie zeigt das Mesokotyl eine asymmetrische Hemmungskurve, deren Tal fast glatt im Alter von 27<sup>h</sup> an bis 48<sup>h</sup> verläuft und dann wieder zu den Kontrollwerten hin aufsteigt.

Bei der Koleoptile sieht man auch hier eine wellenförmige Hemmungskurve, deren Tal wie gewöhnlich am dritten Tag zum Vorschein kommt. Das Primärblatt wird durch die Herabsetzung der Koleoptile gefördert, besonders stark im 72<sup>h</sup>-Alter, demnach ist die Wirkung hier beträchtlich grösser als bei der bisherigen 30 Minuten langen Belichtung mit 1260 MK; sie kommt der 6<sup>h</sup> langen Belichtung von dieser Intensität im Zimmer mit 25° konstanter Temperatur nahe (s. Tabelle 25, S. 234).



Im allgemeinen zeigen die Hemmungskurven der Organe im trübem Sonnenlicht die Tendenz, sich in die gleiche Kategorie wie die bei künstlicher Lichtquelle erhaltenen einzuordnen.

#### (l) Wachstumshemmung des Mesokotyls im allgemeinen.

Schon durch eine 5 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK in einem bestimmten Zeitpunkt erleidet das Mesokotyl eine mehr als halb so grosse Hemmung, so dass selbst bei 6 mal längerer Belichtung (30 Minuten) eine merkliche Abnahme der Endlänge nicht mehr zustande kommt. Vielleicht wird das Anwachsen der Hemmungsgrösse mit der zunehmenden Belichtungsdauer in geometrischer Progression immer kleiner. Die stärkste Hemmung entfällt bei diesen Reizdosen sicher auf das 51stündige Alter bei 25° und die Hemmungskurve ist beinahe symmetrisch. Vergleichshalber werden diesbezügliche Verhältnisse unten tabellarisch zusammengestellt (S. 203); anschliessend daran werden auch das Kurvental und die Differenz des Dunkel- und Lichtwachstums auf Grund der angegebenen Tabellen wiedergegeben (s. Tabelle XVI, XVII und Abb. 25).

#### (m) Wachstumshemmung der Koleoptile im allgemeinen.

Die Hemmungskurve der Koleoptile ist nicht einfach. Sie steigt zu Beginn etwas an, mit einem Gipfel (vgl. LANGE 1929, VCGT 1915, SIERP 1918, KONINGSBERGER 1922), dann steigt sie nach und nach wellenförmig ab, zum Schluss kommt sie aber zum Wert der Ausgangslänge der Koleoptile zurück.

TABELLE XVI.

Endlänge des Mesokotyls im Alter von 120 Stunden bei 25°.

Belichtungs- stadium Belich- tungsdauer	12 <sup>h</sup>	24 <sup>h</sup>	48 <sup>h</sup>	51 <sup>h</sup>	72 <sup>h</sup>	78 <sup>h</sup>	96 <sup>h</sup>	Dunkel
5 Min.	—	39.5 ± 1.2	27.3 ± 0.8	27.3 ± 0.5	43.3 ± 0.4	45.7 ± 0.8	67.3 ± 1.2	70.7 ± 1.3
15 „	—	33.3 ± 1.5	25.0 ± 0.8	23.5 ± 1.4	43.1 ± 1.2	49.0 ± 0.7	63.8 ± 1.8	68.3 ± 1.4
30 „	—	35.4 ± 0.9	25.8 ± 0.7	22.7 ± 0.5	43.2 ± 0.7	55.2 ± 0.7	66.1 ± 1.7	70.7 ± 1.3
60 „	55.5 ± 1.9	—	26.6 ± 1.0	26.5 ± 0.8	36.1 ± 1.6	50.2 ± 1.2	62.5 ± 2.0	77.7 ± 1.5
6 Stdn.	—	16.5 ± 1.2	17.2 ± 0.4	16.1 ± 0.4	41.0 ± 0.7	45.2 ± 1.7	62.0 ± 1.6	70.2 ± 1.4
12 „	—	7.9 ± 0.5	11.5 ± 0.9	—	32.4 ± 0.8	—	66.3 ± 1.7	73.3 ± 2.0
24 „	7.7 ± 1.0	1.7 ± 0.1	5.6 ± 0.2	—	24.9 ± 0.9	—	55.4 ± 1.2	71.0 ± 1.4

TABELLE XVII.

Kurvental und Differenz des Dunkel- und Lichtwachstums  
(1260 MK) nach Verlauf von 5 Tagen.

Lichtmenge	Endlänge des Mesokotyls im Kurvental in mm.	Wachstumsdifferenz im Kurvental in mm.
1260 MK × 5'	27.3 ± 0.5	42.7 ± 1.7
„ × 15'	23.5 ± 1.4	44.8 ± 2.0
„ × 30'	22.7 ± 0.5	48.0 ± 1.4
„ × 60'	26.5 ± 0.8	51.2 ± 1.7
„ × 6 <sup>h</sup>	16.1 ± 0.4	54.1 ± 1.5
„ × 12 <sup>h</sup>	7.9 ± 0.5	65.5 ± 2.1
„ × 24 <sup>h</sup>	1.7 ± 0.1	69.4 ± 1.7

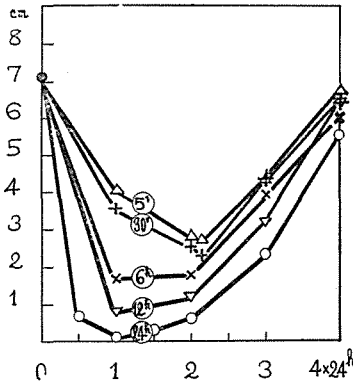


Abb. 25.

Übereinandergestellte Hemmungskurven des Mesokotyls. Lichtmenge: 5', 30', 6<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup> und 24<sup>h</sup> × 1260 MK. Am 5. Tag sind die unterdrückten Endlängen ausgemessen worden.

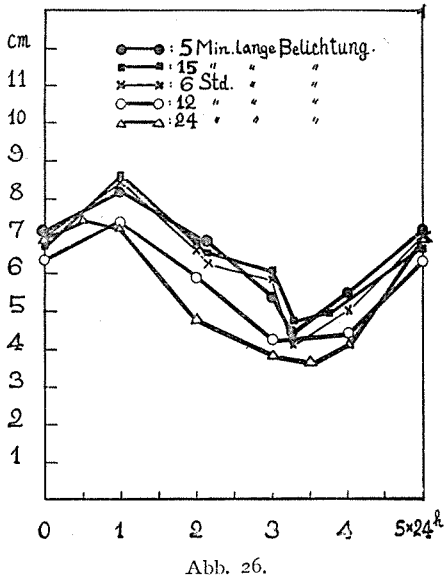


Abb. 26.

Übereinandergelegte Hemmungskurven der Koleoptile. Lichtmenge: 5', 15, 6<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup> und 24<sup>h</sup> mit 1260 MK. Am 5. Tag sind die Endlängen festgestellt worden.

Stellen wir die Endlängen dieses Organs, welches verschiedener Belichtungsdauer in verschiedenen Keimlingsstadien ausgesetzt war, zusammen, so finden wir bestimmt, dass das Wachstum der Koleoptile im entgegengesetzten Sinne zu demjenigen des Mesokotyls vor sich geht. Möglicherweise besteht eine Korrelation des Wachstums zwischen der Koleoptile und dem Mesokotyl bei der Aufnahme von Baumaterialien und Nährsalzen aus dem Medium. Die Differenz in der Herabsetzungsquote bei 5 Minuten resp. 24 Stunden langer Belichtung ist hier nur ca. 10 mm., während sie beim Mesokotyl mehr als ca. 25 mm. beträgt.

Die Koleoptile ist demnach sowohl im Licht als auch im Dunkeln weniger von Aussenbedingungen abhängig als das Mesokotyl<sup>1)</sup>, was zum Schutz des darin eingeschlossenen Primärblattes nützlich sein kann (s. Abb. 26 und Tabelle XVIII).

TABELLE XVIII.

Kurvental der Wachstumshemmung und Differenz des Wachstums zwischen Kontrolle und belichteter Koleoptile im Kurvental.

Lichtmenge	Endlänge der Koleoptile im Kurvental d. Hemmung in mm.	Dunkelkontrolle—Lichtwachstum in mm.
1260 MK × 5'	43.0 ± 0.8	23.9 ± 1.4
" × 15'	46.0 ± 0.6	23.3 ± 1.4
" × 30'	51.3 ± 0.6	15.6 ± 1.3
" × 60'	44.7 ± 1.9	21.9 ± 2.2
" × 6 <sup>h</sup>	40.9 ± 0.5	29.0 ± 3.7
" × 12 <sup>h</sup>	42.4 ± 0.6	21.3 ± 1.5
" × 24 <sup>h</sup>	36.5 ± 0.6	22.4 ± 1.3

<sup>1)</sup> SIERP (1920, S. 438) gelangt zu einer ähnlichen Meinung, indem er bemerkt: „Die grösste Endlänge hat die Koleoptile, die in Dunkelheit aufwuchs, d. h. unter den Beleuchtungsverhältnissen, bei denen die Lichtkurve den grössten Ausschlag und grösste Ausdehnung hat. Von da nimmt sie langsamer ab, sicherlich bis zu einer höchsten Intensität, wo keine oder fast keine Abnahme mehr möglich ist, denn unter ein gewisses Mass kann natürlich die Grösse nicht herabgehen.“

Die Koleoptile zeigt nur eine sehr geringe Herabsetzung ihrer Endlänge durch verschieden lange Belichtung. Durch zunehmende Lichtdosen wurde dieses Organ in seiner Endlänge um 16 bis 29 mm. im Vergleich mit der Dunkelkontrolle heruntergesetzt.

(n) **Zusammengesetzte Kurve der Wachstumshemmung von Mesokotyl und Koleoptile.**

Betrachten wir nun den Keimlingsspross als ganzes, so trifft das grösste Hemmungsstadium bei 25° recht sicher am zweiten Tag ein, oder eventuell 3 Stunden später, wie aus Abbildung 27 zu ersehen ist<sup>1)</sup>. Dies beruht darauf, dass das Mesokotyl beim Reiz mit grösseren Lichtdosen den tiefsten Punkt der Hemmung nach vorne verschiebt, während die Koleoptile bei ein und derselben Belichtung diesen Punkt nach rückwärts gleiten lässt.

Zunächst werden wir die Endlänge und Wachstumsdifferenz im Kurvental der Hemmung tabellarisch darstellen :

TABELLE XIX

Endlänge und Wachstumsdifferenz von verdunkelten und belichteten Sprossen (M+K) im Kurvental der Hemmung.

Lichtmenge	Endlänge in mm.	Differenz in mm.
1260 MK × 5'	94,8 ± 1,3	42,8 ± 2,1
„ × 15'	87,3 ± 1,8	47,3 ± 2,6
„ × 30'	88,6 ± 0,9	49,0 ± 1,9
„ × 60'	87,9 ± 1,2	56,4 ± 2,2
„ × 6 <sup>h</sup>	79,1 ± 0,9	61,0 ± 2,1
„ × 12 <sup>h</sup>	69,9 ± 1,1	67,2 ± 2,7
„ × 24 <sup>h</sup>	53,4 ± 1,0	86,6 ± 2,0

Die Endlänge des Sprosses (Mes.+Kol.) im tiefsten Punkt des Kurventals beträgt ca. 95 mm. bei 5 Minuten langer Belichtung, während bei noch längeren Belichtungen, wie Tabelle XIX zeigt, die Grade der unterdrückten Endlängen nur sehr wenig voneinander abweichen, im Vergleich mit dem grossen Unterschied in der Lichtdosierung. Wir können dann aus der Subtraktion (Dunkelpflanzen—

<sup>1)</sup> KONINGSBERGER (1923, S. 283) gibt an, dass bei der Lichtwachstumsreaktion von Haferkeimlingen die Tiefe der Wachstumsverzögerung von der Lichtintensität bestimmt wird und auch, dass die Periode der Verzögerung um so früher eintritt, je grösser die Intensität ist.

Lichtpflanzen) die Werte der Wachstumshemmung bei obigen Belichtungen bekommen. Sie nehmen von  $42.8 \pm 2.1$  bis zu  $86.6 \pm 2.0$  mm. etwa im logarithmischen Verhältnis zu.

Ich möchte darauf hinweisen, dass der tiefste Punkt der Hemmungskurve bei verschieden langen Belichtungen immerwährend sich bei  $25^\circ$  nach 2 Tagen einstellt.

### (o) Wachstumsbeschleunigung des Primärblattes.

Das Primärblatt, welches im Dunkeln bei  $25^\circ$  gewöhnlich erst im 120stündigen Alter aus der Koleoptile durchzubrechen beginnt, wurde durch das Licht in seinem Wachstum in zwei Perioden der Entwicklung gefördert.

Die erste Beschleunigungsperiode liegt im 24stündigen Alter der Keimlinge, in der das Primärblatt mit der Koleoptile, deren Streckung durch starke Sistierung der Mesokotylentwicklung korrelativ beschleunigt wird, gleichen Schritt hält. Die zweite Periode fängt vom 48stündigen Alter an; soweit es sich um 5 Minuten bis 6 Stunden lange Bestrahlung mit obiger Intensität handelt, werden die Diskrepanzen zwischen den Hemmungskurven der Koleoptile und des Primärblattes immerwährend grösser. Bei den 6<sup>h</sup> oder länger andauernden Belichtungen können wir sehr deutlich den ungemein hohen Gipfel, der durch die korrelative Beschleunigung bedingt wird, erkennen. Dieser Gipfel des geförderten Primärblattes schiebt sich umso näher an das Tal der Hemmungskurve von M + K heran, je grösser die zugeführte Lichtmenge ist.

Bei der Belichtung der Keimlinge im Kurvental sieht man, dass eine Wachstumskorrelation zwischen der Koleo-

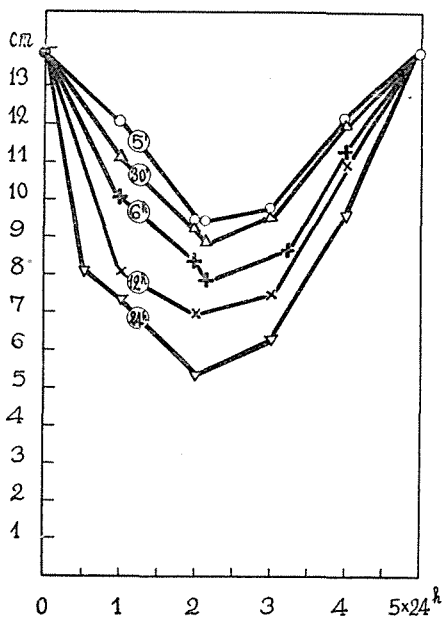


Abb. 27.

Übereinandergestellte Hemmungskurven von Mesokotyl und Koleoptile (M+K). Lichtmenge: 5', 30', 6<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup> und 24<sup>h</sup> × 1260 MK. Gemessen im Alter von 5 Tagen.

ptile und dem Primärblatt besteht; dabei ist die eine Hemmungskurve gewissermassen ein Spiegelbild der anderen, d. h. der tiefste Punkt der Hemmung bei der Koleoptile entspricht dem höchsten Punkt der Primärblattkurve wie im umgekehrten Bild.

Die Wachstumsgrösse des Primärblattes am höchsten Punkt negativer Hemmung wird mit den Lichtmengen fast proportional grösser, wobei aber der tiefste Punkt der Hemmungskurve der Koleoptile nach rückwärts verlegt wird. (s. Tabelle XX und Abb. 28).

TABELLE XX.

Maximales Wachstum und dessen beschleunigte Werte.

Lichtmenge	maximales Wachstum in mm.	Beschleunigung in mm.
1260 MK × 5'	88.1 ± 1.8	21.2 ± 2.2
„ × 15'	89.0 ± 1.3	21.5 ± 1.8
„ × 30'	89.2 ± 2.2	22.3 ± 2.5
„ × 60'	93.4 ± 3.3	25.7 ± 3.5
„ × 6h	91.2 ± 2.6	21.3 ± 2.9
„ × 12h	97.3 ± 1.3	32.9 ± 2.0
„ × 24h	117.4 ± 1.2	48.4 ± 1.5

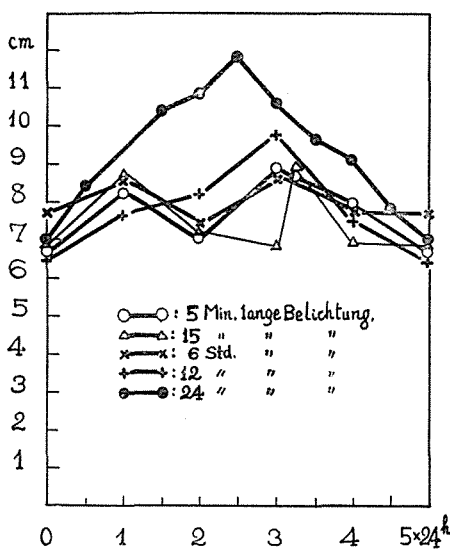


Abb. 28.

Übereinandergelegte Kurven vom Primärblatt. Lichtmenge: 5', 15', 6h, 12h und 24h lange Belichtung mit 1260 MK.

Beobachten wir hiernach innerhalb der positiven Hemmungskurve die Dimensionen der Koleoptile und innerhalb der negativen diejenigen des Primärblattes. Diese Dimensionen sind je nach der Zunahme der angebotenen Lichtmenge vergrössert.

(p) **Entwicklung der Wurzel und des Sprosses in ihrer Beziehung zu der Belichtung.**

RISSMANN (1929) hat angegeben, dass die Wurzelentwicklung der Keimlinge bei *Avena* infolge der Bestrahlung der „Vaginalzone“ (M + K)

korrelativ gefördert wird. Bei meinem Versuch wurden Keimlingsserien im 0-, 24-, 30-, 42-, 48-, 60- und 72stündigen Alter 60 Minuten lang mit 1260 MK belichtet und im 120stündigen Alter abgetötet und dann gemessen.

Da die Wurzel in diesem Versuch, wie auch in den anderen, durch das Aussaatloch des Keimbettes etwas diffuses Licht bekommen muss, muss hier natürlich die Sistierung des Längenwachstums des ganzen Wurzelsystems und der Hauptwurzel stattfinden. Versuch 83 (Tabelle XXI) zeigt, dass das Längenverhältnis der Wurzel jedes Keimpflänzchens im Alter von 120 Stunden, wobei die Gesamtzahl der Wurzeln gewöhnlich 4, selten 5 oder 6 beträgt, im Vergleich zu der Dunkelkontrolle etwa 206 : 235 mm. in bez. auf die Gesamtlänge und 73 : 86 mm. in bez. auf die Länge der Hauptwurzel ausmacht. Daher kommt infolge der Wachstumshemmung der Vaginalzone keine korrelative Beschleunigung der Wurzelentwicklung in Betracht, sondern vielmehr eine schwache Hemmung.

TABELLE XXI.

Wachstumshemmung der Sprosse und Wurzeln durch 60 Minuten lange Belichtung. Temp.: 30°. Ernte: 1928. Gemessen im 120<sup>h</sup> Alter.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Vaginalzone (M+K) in mm.	Hauptwurzel in mm.	gesamte Länge der Wurzeln in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	123.5 ± 1.4	85.8 ± 1.8	235.1 ± 7.1	40
24 Stdn.	90.2 ± 1.5	70.4 ± 1.4	184.3 ± 7.2	33
30 "	84.2 ± 1.1	79.7 ± 1.3	227.0 ± 6.5	40
36 "	76.1 ± 1.3	65.5 ± 1.4	200.0 ± 4.7	40
42 "	74.4 ± 1.3	76.5 ± 1.7	218.9 ± 7.8	40
48 "	76.9 ± 1.1	77.5 ± 1.4	218.6 ± 5.7	40
60 "	72.1 ± 0.9	69.3 ± 1.5	205.6 ± 5.4	40
72 "	87.9 ± 1.5	66.4 ± 2.0	199.2 ± 5.3	40

#### (IV) Wachstumsverlauf der belichteten Keimlinge.

Wir haben schon in früheren Versuchen die Lichtwirkung auf die Endlänge hinreichend beobachtet; es bleibt noch eine wichtige Frage übrig, und zwar wie geht das Wachstum der in verschiedenen Entwicklungsstadien 30 Minuten lang belichteten Keimlinge vor sich.

##### (a) Im 18stündigen Alter belichtete Keimlinge.

Zuerst habe ich die Keimlinge im 18stündigen Alter 30 Minuten lang mit 1260 MK belichtet und sogleich in die Dunkelheit gebracht bis zum Schluss des 7. Tages des Keimlingsalters.



Es lag nahe zu vermuten, dass der Wachstumsverlauf der bestrahlten Keimlinge bis zu diesem Stadium demjenigen der Kontrolle nahe kommen wird. Dennoch führen die drei Keimlingsorgane ein eigentümliches Wachstum aus. Das Mesokotyl, welches im Dunkeln im 48ständigen Alter überraschend schnell wachsen soll, wird durch das Licht vom Moment der Reizung an ziemlich stark beeinflusst, dann aber immer schwächer, und nach 78 Stunden wird der eigentümliche Ausschlag erreicht.

Infolge der Herabsetzung der Mesokotylentwicklung steigt die Koleoptilenkurve der Kontrolle gegenüber etwas an, aber dies weist auch selbst im 120ständigen Alter auf die endgültige Länge der Koleoptile hin; erst dann bricht das Primärblatt durch die Koleoptile hindurch und wächst schneller als das der Dunkelpflanze. (s. Tabelle 26, S. 234 und Abb. 29).

(b) Im 51ständigen Alter belichtete Keimlinge.

Bei der Belichtung im 51ständigen Alter trat die Herabsetzung

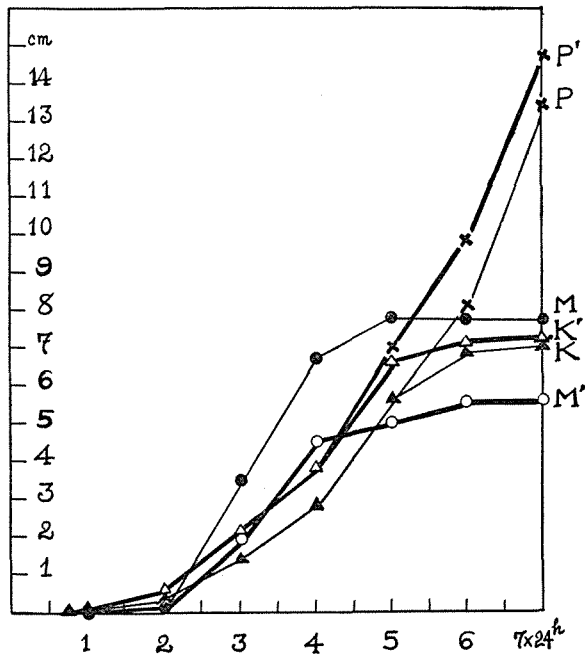


Abb. 29.

Wachstumsverlauf der Organe im Dunkeln (M: Mesokotyl, K: Koleoptile, P: Primärblatt) und im Licht (Belichtet im 18ständigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK; M': Mesokotyl, K': Koleoptile, P': Primärblatt)

etwas schneller als im vorhergehenden Versuch ein, besonders beim Mesokotyl, das tatsächlich nur 33 Stunden nach dem Stadium der Reizung zur Endlänge, welche bekanntlich den kürzesten Wert gezeigt hat, gelangt. Die Koleoptile setzt hingegen ihren Zuwachs immer fort, der ebenfalls im Alter von 120 bzw. 144 Stunden zum Stillstand kommt.

Das Durchbrechen des Primärblattes findet aus irgend welchem Grund ca. 12 Stunden früher als bei der Kontrolle statt, und sein Wachstum geht sicher korrelativ üppiger vor sich. (s. Tabelle 27, S. 234 und Abb. 30).

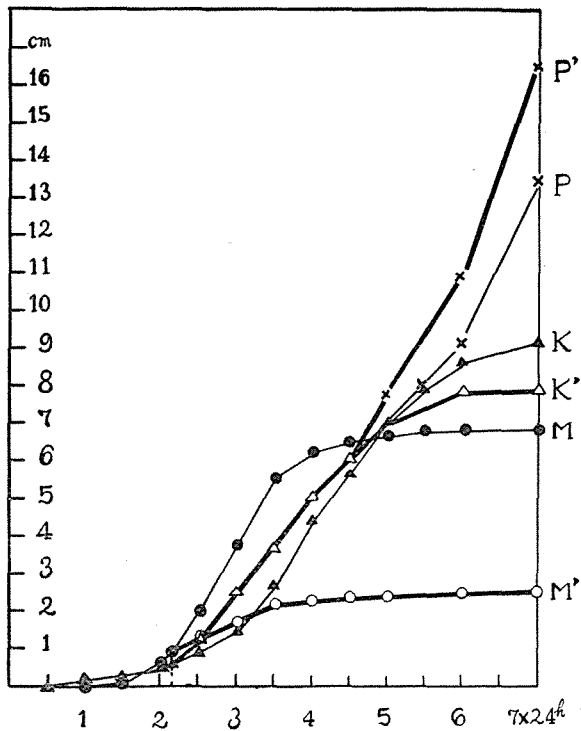


Abb. 30.

Wachstumsverlauf der Organe im Dunkeln (M: Mesokotyl, K: Koleoptile, P: Primärblatt) und im Licht (Belichtet im 51stündigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK; M': Mesokotyl, K': Koleoptile, P: Primärblatt).

(c) Im 66stündigen Alter belichtete Keimlinge.

Durch Belichtung in diesem Alter erreicht das Mesokotyl schon nach 30 Stunden von dem Anfang der Reizung an gerechnet seine

endgültige Länge, während die Koleoptile etwa 24 Stunden vor derjenigen der Kontrolle ihr Wachstum verlangsamt, was den gleichzeitigen Durchbruch des Primärblattes gestattet; dieses setzt auch dann sein Wachstum fort (s. Tabelle 28, S. 235 und Abb. 31).

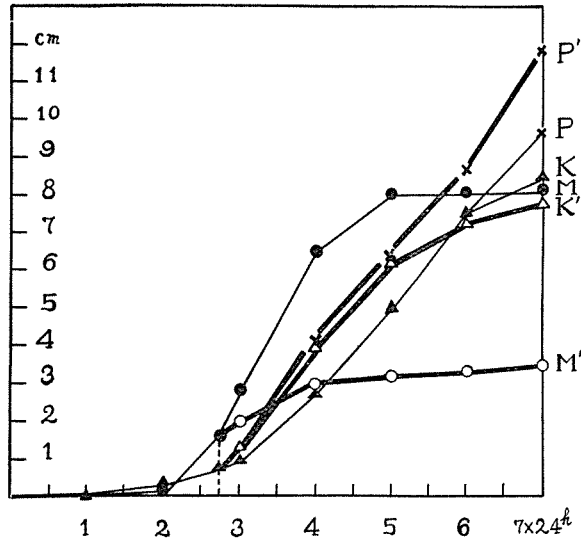


Abb. 31.

Wachstumsverlauf der Organe im Dunkeln (M: Mesokotyl, K: Koleoptile, P: Primärblatt) und im Licht (Belichtet im 66-stündigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK; M': Mesokotyl, K': Koleoptile, P': Primärblatt).

(d) Im 78stündigen Alter belichtete Keimlinge.

Schliesslich habe ich die Keimlinge im 78stündigen Alter mit derselben Lichtmenge gereizt. Dabei zeigte die Mesokotylkurve einen scharfen Knick in ihrem Verlauf, woraus zu ersehen ist, dass dieses nach der Belichtung kein Wachstum mehr ausführen konnte. Die am Anfang weniger beschleunigte Koleoptile erreicht im 144stündigen Alter ihre Endlänge, nachdem sie von dem Primärblatt etwas früher, im 108stündigen Alter, durchbrochen wurde. (s. Tabelle 29, S. 235 und Abb. 32).

(e) Zusammenfassung des Abschnitts IV.

Auf Grund der vorhergehenden Versuche stelle ich hier die Resultate kurz tabellarisch zusammen, um die Eigentümlichkeiten der

Keimlingsorgane genau vergleichen zu können. (s. Tabelle XXII a und b, Abb. 33, 34 u. 35).

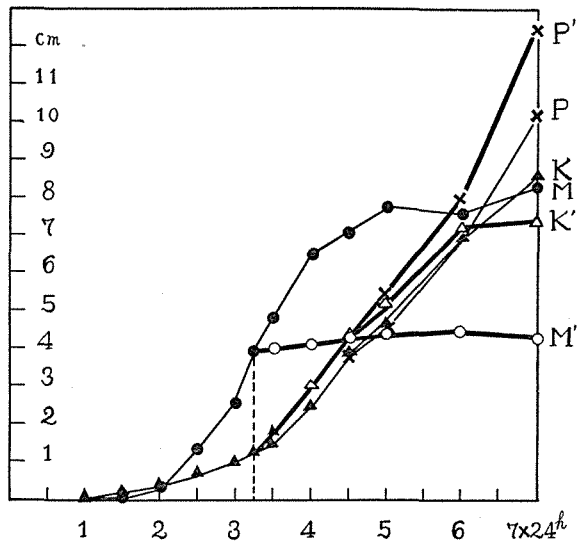


Abb. 32.

Wachstumsverlauf der Organe im Dunkeln (M: Mesokotyl, K: Koleoptile, P: Primärblatt) und im Licht (Belichtet im 78-stündigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK; M': Mesokotyl, K': Koleoptile, P': Primärblatt).

TABELLE XXII a. (Das Mesokotyl)

Alter der Belichtung	Endlänge in mm.	Nötige Zeitspanne zur Erreichung d. Endlänge in Stunden	Wachstumshemmung durch Belichtung in mm.
Kontrolle	67.1 ± 0.7	120	—
18	54.7 ± 1.2	102	12.4 ± 1.4
51	26.0 ± 0.7	33	41.1 ± 1.0
66	35.2 ± 0.6	76	31.9 ± 0.9
78	42.0 ± 1.1	30	25.1 ± 1.3

TABELLE XXII b. (Die Koleoptile)

Kontrolle	93.4 ± 2.5	168	—
18	72.6 ± 1.4	144	20.8 ± 2.9
51	71.4 ± 1.8	144	21.0 ± 3.1
66	62.6 ± 0.7	168	30.8 ± 2.6
78	52.6 ± 1.4	168	40.8 ± 2.9

Die obigen Ziffern und die folgenden Abb. 33, 34 und 35 zeigen klar, dass je früher der Keimling belichtet wird, umso weniger wird sein Wachstum herabgesetzt, so dass die Kurve nach einstweiliger Abnahme wieder ziemlich hoch ansteigt. Je später hingegen der Keimling belichtet wird, umso schärfer wird die Verlaufskurve geknickt. Dies beruht ohne Zweifel darauf, dass in den Endstadien nur die Zell-

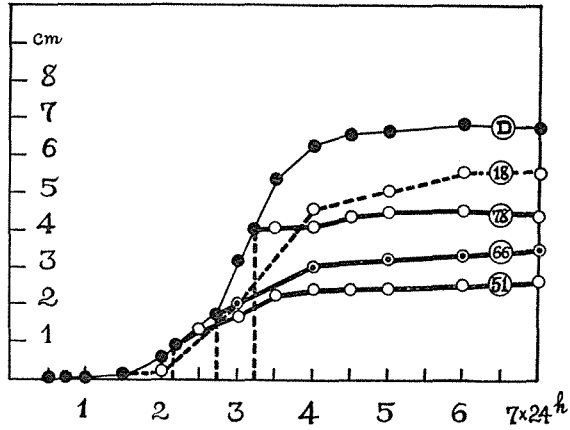


Abb. 33.

Übereinandergestellte Wachstumsverläufe des Mesokotyls, welches im 18-, 51-, 66- und 78ständigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK belichtet war; D: Kontrolle.

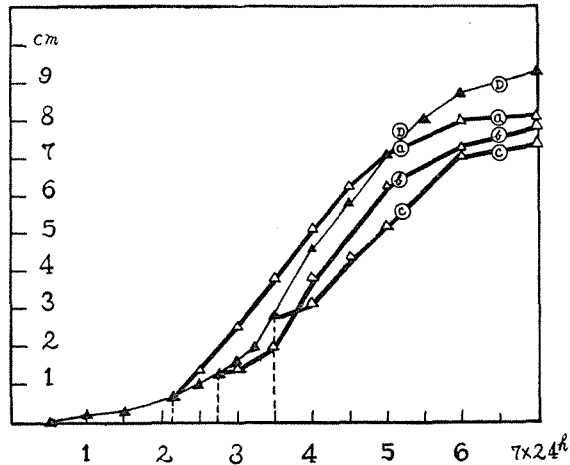


Abb. 34.

Übereinandergelegte Wachstumsverläufe der Koleoptile. D: Dunkel; a: im 51-, b: im 66- und c: im 78ständigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK belichtet.

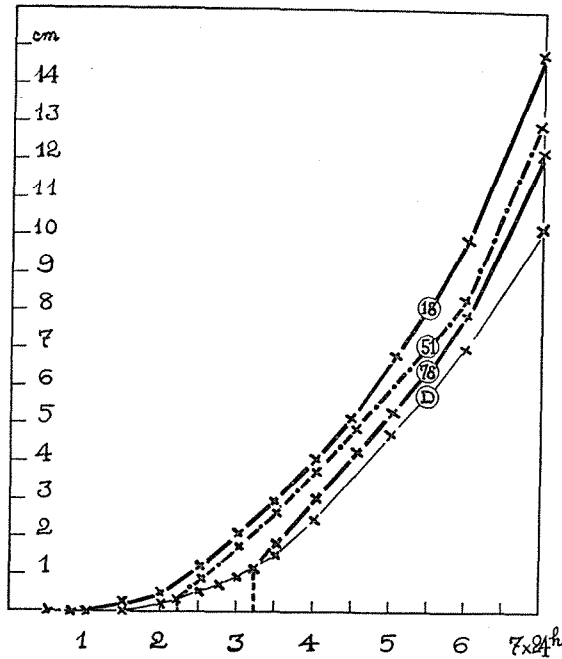


Abb. 35.

Übereinandergestellte Wachstumsverläufe des Primärblattes. D: Kontrolle, 78: im 78-, 51: im 51- und 18: im 18stündigen Alter 30 Min. lang mit 1260 MK belichtet.

streckung gehemmt wird, während in den früheren Stadien die Zellteilung auch sistiert wird, die aber nach Lichtentzug wieder erneuert wird.

Die Differenz der Endlängen von Mesokotyl, also die absoluten Werte der Hemmung bei den dunkelgestellten und den belichteten Pflanzen, orientiert uns über die Nacheffekte der Lichtreizung zu verschiedenen Zeitpunkten: 41 bzw. 32, 23 und 12 mm. für die obigen vier Stadien (51<sup>h</sup>, 66<sup>h</sup>, 78<sup>h</sup> u. 18<sup>h</sup>).

In bez. auf die Koleoptile sind die Umstände ziemlich verschieden. Die Nachwirkung kommt bei den im 78stündigen Alter gereizten Keimlingen am stärksten zum Ausdruck, wenn auch der Unterschied nicht so auffällig ist wie beim Mesokotyl; dann folgt das 66stündige Alter und bei den 18 und 51 Stunden alten Keimlingen ist sie am schwächsten. Im allgemeinen sind aber die grössten Werte der Wachstumshemmung in den zwei letzteren Fällen geringer als in den ersteren, indem sie ungefähr durchschnittlich die Hälfte betragen.

Dividiert man den Abzug (Kontrolle—gehemmtes Wachstum beim Mesokotyl) durch den Zeitabstand vom Anfang der Belichtung bis zur Erreichung der herabgesetzten Endlänge gerechnet, so bekommt man einen Koeffizienten, welcher je nach dem Stadium verschieden ausfällt :

$$\text{Koeffizient} = \frac{\text{Dunkelwachstum} - \text{gehemmtes Wachstum}}{\text{Zeitabstand zur herabgesetzten Endlänge}}$$

TABELLE XXIII.

Belichtungsalter in Stunden	Hemmungskoeffizient
51	$(67.1 - 26.0) / 33 = 1.25$
66	$(67.1 - 35.2) / 30 = 1.06$
78	$(67.1 - 44.0) / 24 = 0.96$
18	$(67.1 - 54.7) / 102 = 0.12$

Die maximale Herabsetzung beträgt beim Mesokotyl 1.25 mm. pro Stunde in der grössten Hemmungsperiode, vor und nach ihr immer weniger. Bei der Koleoptile kann man nicht so schöne Beziehungen erhalten.

(f) Wachstumsverlauf der Keimlinge im hellen Gewächshaus.

Zur Ergänzung dieses Abschnittes habe ich noch einen Versuch gemacht. Von der Zeit der Aussaat an wurden die *Avena*-Samenproben

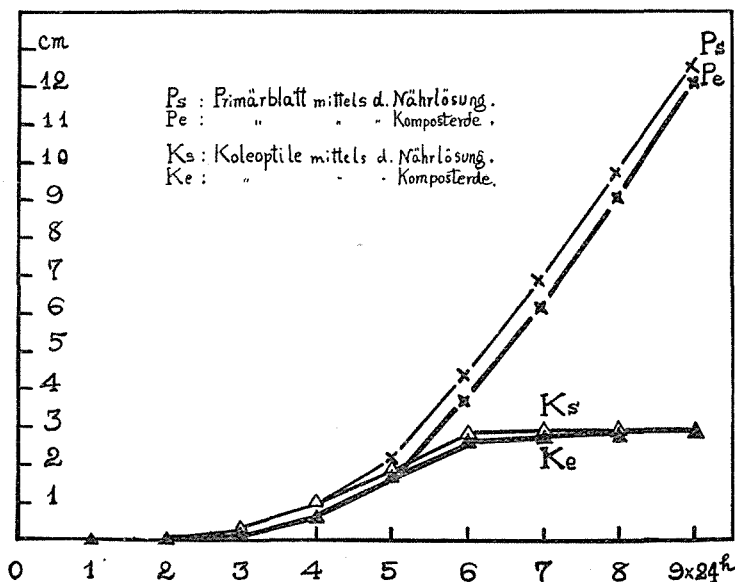


Abb. 36.

im Gewächshaus den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt und ihr Wachstumsverlauf jeden Tag verfolgt. Die ganze Versuchsdauer dehnte sich auf 11 Tage aus und das Wetter war auffällig schön. Die Temperatur der Luft am Tag und in der Nacht schwankte gewöhnlich zwischen  $15^{\circ}$ – $23^{\circ}$ . Kulturen mit SACHSScher Nährlösung und fein gesiebter Komposterde zeigten keine bemerkenswerte Wachstumsdifferenz. Infolge der starken Bestrahlung wächst das Mesokotyl nie aus, während die Koleoptile und das Primärblatt beständig ihr Wachstum fortsetzen, obschon dieses langsam vor sich geht. Die Endlänge der Koleoptile beträgt etwa 30 mm. schon im Alter von 7 oder 8 Tagen in beiden Kulturen. Das Primärblatt wächst auch sehr üppig und im Alter von 5 Tagen bricht die Koleoptilenspitze durch und beträgt ca. 150 mm. im 11tägigen Alter (s. Tabelle 30, S. 235 und Abb. 36).

#### D. DISKUSSION.

Bekanntlich zeigt der *Avena*-Keimling in seiner Entwicklung im Dunkeln drei morphologische Einheiten, nämlich Mesokotyl, Koleoptile und Primärblatt. Den Lichtpflanzen fehlt aber die Streckung des Mesokotyls (vgl. dazu Abb. 36), wie es bei Weizen und Gerste (vgl. SCHROETER 1910) selbst im Dunkeln der Fall ist. Deshalb wird oft angenommen, dass der Keimspross hauptsächlich aus der Koleoptile und dem darin befindlichen Primärblatt besteht. Man darf aber nicht denken, dass die Koleoptile allein für den ganzen physiologischen Reaktionskomplex verantwortlich ist, da ihre Streckung sicher vom Mesokotyl bald positiv, bald negativ beeinflusst wird, wenn dieses letztere unter dem Boden selbst indirekt bestrahlt wird. Einige halten Keimlinge ohne Mesokotyl für normal, und sehen solche, die dieses Glied ausbilden, sogar als anormal oder pathologisch (SILBERSCHMIDT 1928) an. Nach dieser Auffassung wäre die Ausbildung von Mesokotyl ein Übel (PISEK 1926), woraus eine Überschätzung der Koleoptile resultiert. Indessen streckt sich das Mesokotyl unter vollständigem Lichtabschluss beinahe so lang wie die Koleoptile.

Das Wachstum des Mesokotyls war ja schon lange eine umstrittene Frage in der neueren Zeit gewesen. Manche Autoren haben sich bemüht, mesokotylfreie Keimlinge, denen vollkommene Reaktionsfähigkeit erhalten bliebe, zu gewinnen. Sie haben nur geringfügige, sozusagen mutmassliche Ursachen für das Wachsen dieses Organs als wesentlich oder hauptsächlich verantwortlich gemacht, so z. B. niedere



Temperatur (BLAAUW 1909), Unreinigkeit der Laboratoriumsluft (RUTGERS 1912, MARIE DE VRIES 1917), mangelnde Feuchtigkeit der Luft (NOACK 1914), Störung des Gasaustausches der Wurzeln oder Sprosse bei völliger Wassersättigung des Bodens (SILBERSCHMIDT 1928) oder sehr grosse Feuchtigkeit des Bodens und der Luft (ARISZ 1915). SIERP (1921) und LUNDEGÅRD (1924) haben vergeblich diesen Ursachen nachgespürt. Allerdings hat PISEK (1926, S. 465) diese Erscheinung folgendermassen beschrieben: „Sicher hängt diese unerwünschte Wachstumsverteilung (i. e. das Auswachsen des Mesokotyls) mit dem Etiolment zusammen, wie man sich leicht überzeugen kann.“ Weiter führt er aus: „Im übrigen aber scheint kein Aussenfaktor wirklich bestimmten Einfluss darauf zu haben; denn wenn man die Angaben verschiedener Autoren über die Ursache, die sie sonst für diese Eigentümlichkeit der Versuchspflanze verantwortlich machen, und Gegenmassnahmen überblickt, stösst man auf geradezu gegensätzliche Ansichten. Ich kann nur sagen, dass ich in dem Auswachsen der Hypokotyle ein unvermeidliches Übel erkannte, dass man noch am einfachsten herabmindern kann, indem man das Ausgangsmaterial entsprechend ausgiebig bemisst und die Koleoptile zum Versuch verwendet, solange sie noch nicht zu lang bzw. alt sind (15 bis höchstens 20 mm.)“. Hingegen haben einige andere Forscher die endgültige Ursache dieses Auswachsens dem Ausschluss des Lichtes als entscheidendem Faktor zugeschrieben (BEYER 1927, LANGE 1929, DU BUY und NUERNBERGK 1929). Die letzteren Autoren haben aber mesokotylfreie Keimlinge durch Belichtung entweder mit kurz- oder mit langwelligen Strahlen erzielt; weder durch Zugabe von  $\text{CaCl}_2$  noch durch plötzliches Austrocknen des Bodens und der Luft haben sie irgend eine Verminderung der Mesokotylentwicklung erreichen können.

Aus vorliegenden Versuchen ergibt sich, dass der Embryo im allerjüngsten Stadium der Keimung gegen das Licht empfindlich ist, wodurch seine Wachstumsfähigkeit unvermeidlich beeinflusst wird. (vgl. diesbez. Tabelle XIV, S. 200). Diese Erscheinung wurde aber in den bisherigen Publikationen nicht klar erkannt, und man hat oft beim Aufquellen der Samenproben diese verschieden lang im Licht gehalten, ohne seiner Nachwirkung Rechnung zu tragen. So z. B. glaubt VOGT (1915), dass längere Vor- und Nachbelichtung mit niedriger Intensität von keinem erklärbaren Einfluss ist. Ebenfalls haben PISEK (1926) für 24 Stunden, WENT (1928) für 2-3 Stunden, SILBERSCHMIDT (1928)<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bei ihm betrug die Endlänge (ohne Hypokotyl) der Haferkoleoptile bei 18° 55.9 mm., wohl infolge der eintägigen Aussetzung dem Sonnenlicht. Bei meinem eigenen Versuch beträgt die Koleoptile, wenn der Samen der ersten 24stündigen Belichtung mit 1260 MK ausgesetzt wird,  $58.6 \pm 1.9$  mm. bei 25° (s. Tabelle 23, S. 233).

für 24 Stunden und LANGE (1929) für 36 oder 48 Stunden vom Aussäen an die Versuchsmaterialien im Licht quellen lassen.

Der so verschieden lange Aufenthalt im Licht bei der Anquellung muss zweifellos je nach der Lichtintensität und der Temperatur verschieden reagierende Keimlinge liefern.

Betrachten wir noch die Einwirkung des während der Beobachtung oder Messung von Versuchsobjekten verwendeten roten Lichtes. Sicher waren viele Forscher zu seiner Anwendung gezwungen, aber die meisten von ihnen haben seine Wirkung vernachlässigt; VOGT (1915) und ZOLLIKOFER (1920) haben aber die Herabminderung der Keimlingsentwicklung bei rotem Licht wahrgenommen und auch SIERP (1921) bemerkte: „dass rotes Licht nicht ganz ohne Einfluss ist, wie Vogt gezeigt und auch ich (1918) deutlich nachgewiesen“; trotzdem hat er rotes Licht bei der Messung benutzt.

Ich habe deshalb, um den geringsten Lichtreiz zu vermeiden, ganz und gar im Dunkeln gearbeitet und mich auf die statistische Methode beschränkt.

Über die Beeinflussung durch Temperatur wurde schon bei Haferkeimlingen vielfach gearbeitet; z. B. SACHS (1887) meint, dass die optimale Temperatur der Keimung im allgemeinen keineswegs dieselbe wie die der Vegetation sein kann. Nach Haberlandt<sup>1)</sup> sollte das Optimum für *Avena* bei 25° liegen. Was bedeutet nun das Optimum der Entwicklung der Haferkeimlinge? Hält man eine Temperatur, bei der die grösste Endlänge geliefert wird, für optimal, so muss man niederen Wärmegrad und länger andauernden Verlauf für solche halten! Nennt man eine Temperatur, welche die maximale Wachstumsgeschwindigkeit binnen bestimmter kurzer Zeitspanne ergibt, optimal, so werden höhere Wärmegrade als solche gelten. Bei noch höheren Temperaturen verläuft die ganze Entwicklung immer rascher, jedoch mit verminderter Wachstumsgeschwindigkeit. So läuft die Fragestellung darauf hinaus, ob man auf die Wachstumsdauer oder auf die Wachstumsgeschwindigkeit grösseres Gewicht legen soll?

Wir wollen nun die ausgezeichnete Lichtempfindlichkeit des Mesokotyls der Gramineen-Keimlinge berücksichtigen. SILBERSCHMIDT (1928) fasst die Mesokotylentwicklung als pathologische Erscheinung auf, deshalb hat er es bald als selbständiges Organ berücksichtigt, bald aber vernachlässigend in die übrigen Zahlen einbegriffen. Er hat somit

---

1) Aus V. GRAFES „Ernährungsphysiologisches Praktikum höherer Pflanzen.“ 1914, Berlin, S. 29.

die Lichtempfindlichkeit des Mesokotyls bei *Avena* ganz gering oder kaum geschätzt.

Es ist wohl bekannt und auch denkbar, dass die quantitativen Versuchsdaten, zumal von reizphysiologischen Untersuchungen, je nach dem Alter der Keimlinge verschieden sein können; dessenungeachtet haben auch diesen Punkt wenige Forscher bisher beachtet und haben sich nicht darum bemüht, das am besten geeignete, d. h. reizbarste Alter der Organe genau zu finden.

SIERP (1921) hat zwar darauf aufmerksam gemacht, dass damit zu rechnen ist, dass in verschiedenen Entwicklungsstadien der Keimlinge die Krümmung quantitativ verschieden ausfällt; er hat aber kein bestimmtes Stadium als ein besonders empfindliches ermittelt, nur gefunden, dass die grosse Periode sich auch deutlich in den Krümmungen bemerkbar macht und dass gewisse Zusammenhänge hier bestehen (vgl. DILLEWIJN 1927, S. 391). Einige Autoren haben im Gegensatz dazu von Länge der Keimlinge oder Länge der Koleoptile gesprochen, indem sie annahmen, dass diese am meisten vom Reiz aktiviert wird. So z. B. hält PISEK (1926 u. 1928) 15-20 mm. (6 Tage alt bei 18°-19°, und 20°-21.5°), WENT (1928) 30-50 mm. bei 25°, VOGT (1915) 15-25 mm. bei 21°-23° und ZOLLIKOFER (1920) 15-35 mm. bei 22.5° für die günstigste Länge der Objekte zu reizphysiologischen Versuchen mit *Avena sativa*. Nach der Angabe LANGES (1929) erfahren wir weiter, dass Keimlinge von 10-15 mm. Länge (5tägiges Alter bei 20°) zu demselben Zweck geeignet sind, und dass der Einfluss der Bestrahlung erst dann recht auffallend wird, wenn diese in den letzten 12-24 Stunden der 48stündigen Quellungszeit erfolgt, also im Alter von 36 oder 24 Stunden von der Aussaat an gerechnet. Noch eingehender haben DU BUY und NUERNBERGK (1929, S. 4) das erregbarste Stadium von *Avena*-Keimlingen untersucht und folgendermassen geschildert: „Als günstigste Bestrahlungszeit ergab sich schliesslich die Belichtung mit Wärmestrahlen inzwischen 40-47 Uhr (33 Grad C. Bodentemperatur) vom Zeitpunkt des Einpflanzens an gerechnet.“ Selbst diese Mitteilung ist keineswegs im Stande den Zeitpunkt maximaler Reizbarkeit jedes Organs scharf anzugeben. KNIEP (1907) hat auch eine nahe verwandte Frage studiert und entscheidende Ergebnisse gewonnen; er konnte zeigen, dass die Eier von *Fucus vesiculosus* durch 2stündige Belichtung mit der Auerlampe in 30 cm. Entfernung im Alter von 13 Stunden bei 15°-17° nach der Befruchtung zur Induktion der Polarität bestimmt werden.

Bei meiner Untersuchung, wenn auch das Material und der Zweck

der Versuche etwas verschieden als die von KNIEP waren, ist die grösste wachstumshemmende Wirkung des Lichtes auf Mesokotyl und Koleoptile des Haferkeimlings noch deutlicher und auf eine noch kürzere Zeitspanne festgelegt (s. Abschnitt II und III). In der Tat tritt das Stadium der grössten Wachstumssistierung von Mesokotyl recht deutlich auf, z. B. bei der 30 Minuten langen Belichtung mit 1260 MK bei 25° im 51stündigen Alter, während dasjenige der Koleoptile unter denselben Bedingungen im 78stündigen Alter, ebenso für die Ernte 1928, fixiert ist. Diese Erscheinung kommt für Mesokotyl und Koleoptile etwa 33<sup>h</sup> bzw. 42<sup>h</sup> bei 25° vor dem Eintritt der grossen Periode des Wachstums zustande (Tab. XII und Abb. 15, S. 190).

Infolge technischer Schwierigkeiten habe ich nicht mit noch intensiverer Belichtung gearbeitet, um noch schärfer charakterisierte Zeitpunkte der Wachstumshemmungskurve aufzufinden, was indessen nicht von Wichtigkeit ist. Denn aus der Feststellung der Stadien der grössten Hemmung bei Einzelorganen können wir die korrelativen Beziehungen zwischen ihnen zuverlässig kennen lernen. Manche Autoren haben schon die Erscheinung von korrelativen Zusammenhängen zwischen den Einzelorganen beobachtet. FITTING (1908, S. 130) behauptet: „So ist also die Frage nicht entschieden, ob ein basipetal geleiteter Lichtreiz es ist, der das Wachstum der unterirdischen Internodien bei den Getreidekeimlingen hemmt, oder ob besondere Korrelation anderer Art, durch Belichtung geschaffen, im Spiel sind.“

Ferner haben viele die Tatsache beobachtet, dass im allgemeinen mit der Hemmung des Mesokotylwachstums eine Förderung der Koleoptilenentwicklung parallel geht (LANGE 1929, VOGT 1915, SIERP 1918, KONINGSBERGER 1922). In der vorläufigen Mitteilung (1929) meiner Untersuchungsergebnisse habe ich diese Angaben bestätigen können. Ausserdem ist es bemerkenswert, dass im Dunkeln die Koleoptile korrelativ mit dem Mesokotyl, und dann das Primärblatt korrelativ mit der Koleoptile wächst. Bei der Lichtreizung ergibt sich, dass die Koleoptile, falls sie in jüngeren Stadien stimuliert wird, in Korrelation mit der Mesokotylstreckung beschleunigt wird, während sie bei der späteren Reizung, namentlich während der Periode der grössten Hemmung des Koleoptilenwachstums ziemlich deutlich geschädigt wird. Dies führt zu den eigentümlichen Hemmungskurven der Einzelorgane. Das Primärblatt wird im Gegensatz dazu auffällig gefördert, je intensiver die Lichtreizung ist.

Das Wesen des Wachstums der Koleoptile war schon öfters erörtert worden. Z. B. werden die Vorgänge der Zellstreckung der

Koleoptile von TETLEY und PRIESTLEY (1927) an das Verschwinden der Stärke und den Eintritt des Wassers geknüpft, die durch das Exponieren im Licht erleichtert werden sollen; oder durch Vakuolisierung der belichteten Zellen soll nach PRIESTLEY (1929) das Wachstum bedingt werden. Nach WENT (1928) soll das Wachstum der Koleoptile auf der Menge von Wuchsstoffen, nach CHOLODNY (1927) und SÖDING (1929) auf derjenigen von Wuchshormonen beruhen.

Wir wollen die Richtigkeit obiger Meinungen nicht diskutieren, wir möchten nur die Frage stellen: wie verläuft das Wachstum der Mesokotylzellen, wenn sie belichtet werden, d. h. ob durch Belichtung ihre Zuwachsgrösse nur vermindert wird oder ob die Meristeme ihrer Tätigkeit beraubt werden und keine Zellteilung mehr stattfindet? Angaben darüber finden wir selten, nur KOJIMA (1927) gibt an, dass bei Belichtung der Wurzeln von *Vicia Faba* die Zellteilung im Verlauf ihres Gesamtwachstums hinter derjenigen im Dunkeln zurückbleibt. LUYTEN (1926) erlangte eine Förderung der Zellteilung in den Laubblättern bei *Hyacinthus*, nicht aber der Zellstreckung, dadurch, dass sie anfangs die Pflanzen bei höheren Wärmegraden (35°) während der ersten 5 Wochen (z. B. Juli 4.–Aug. 9.) gehalten hat und unmittelbar darnach 7 ½ Wochen lang (Aug. 9.–Sept. 30.) niedrigere (17°) Temperatur zur weiteren Aufzucht gebraucht hat.

Bei der Sistierung des Wachstums beim Mesokotyl scheint es, als ob die Zellstreckung die grössere Rolle spiele, aber in Wirklichkeit, worüber wir später eingehend veröffentlichen werden, sind hier die Zellteilungen dieses Organs die Hauptsache! Sodann bleibt die Frage übrig, auf welche Weise die Zellteilung durch das Licht gehemmt wird? Sollte man das Vorhandensein nicht nur von lichtbeständigen „Wuchsstoffen“ WENTS (1928) sondern auch von „Zellteilungsstoffen“ annehmen, die durch das Licht leicht zerstört oder inaktiviert werden, was schliesslich auf Änderungen des Plasmazustandes zurückgeführt werden müsste (vgl. SEUBERT 1925, GORTER 1927, HAMMETT 1929, NIELSEN 1930.)?

## E. HAUPTERGEBNISSE.

An dieser Stelle möchte ich die Hauptergebnisse der vorliegenden Untersuchungen kurz zusammenfassen.

- 1) Die Gewichtszunahme der quellenden *Avena*-Samen und das darauf folgende Wachstum der Keimlinge waren in einem bei 28°C. konstant gehaltenen Thermostat am besten (S. 169).
- 2) Der Wachstumsverlauf von Mesokotyl, Koleoptile und Primär-

blatt der Haferkeimlinge im Dunkeln zeigen alle ungefähr eine S-Form, nur dass die Dimensionen und die zeitliche Lage des Ausgangspunktes der Kurven verschieden sind. Diese Verhältnisse veranschaulichen Abb. 3, 4 und 5 (S. 170–171). Der Winkel der Erektion der Wachstumskurve der dreierlei Organe ist je nach der Temperatur verschieden. So z. B. beträgt er bei 25°C. durchschnittlich 60, 53 und 63 Grad für Mesokotyl, Koleoptile und Primärblatt, während er bei 30°C. 53, 48 und 58 Grad und bei 15°C. 45, 45 und 55 Grad resp. (S. 172) ausmacht.

3) Die Endlänge des Mesokotyls und der Koleoptile etiolierter Keimlinge ist bei 15° am grössten, während sie bei 25° und 30° für das Mesokotyl 71 % bzw. 61 %, für die Koleoptile 86 % bzw. 55 % des Wertes derjenigen bei 15° ausmacht. Bei 30° leidet wohl durch die hohe Temperatur die Koleoptilenentwicklung recht stark. Die zur Erreichung der Endlänge nötigen Zeitabschnitte zeigen fast dasselbe Verhältnis wie die obigen Ziffern (Tab. I, S. 172).

4) Der Durchbruch des Primärblatts durch die Koleoptile hindurch geschieht im Dunkeln bei 30° am 4. Tag, bei 25° am 5. Tag und bei 15° erst am 10. oder bisweilen am 7. Tag des Keimlingsalters (S. 173).

5) Bei Nährstoffmangel, wie bei Kultur mit destilliertem Wasser (S. 174), Sägespänen (S. 177) oder mit halbiertem Endosperm (S. 179), wird das Wachstum des Mesokotyls weniger gehemmt als das der Koleoptile und des Primärblatts.

6) Das Korngewicht ist selbst bei ein und derselben Varietät je nach den Ernten und Kornlagen im Ährchen verschieden (Abb. 8, S. 178). Das schwerere Korn erreicht aber nicht immer im Verhältnis zum Gewicht eine grössere Endlänge des Sprosses.

7) Die Innenkörner, welche an Gewicht 68 % der Aussenkörner ausmachten, zeigen in ihrem Wachstumsverlauf im Dunkeln je nach den Organgliedern ein abweichendes Verhältnis. Während die Endlänge von Mesokotyl keinen merklichen Unterschied bei den beiden Kornarten zeigt, weichen die Endlängen von Koleoptile und Primärblatt im Laufe der Entwicklung immer bedeutender ab. Dies beruht darauf, dass das Endosperm, möglicherweise etwa bis zur unteren Hälfte, zum Bau des Mesokotyls verwendet wird, während die übrigen Organe nachträglich aus dem Aussenmedium die Nährstoffe aufzunehmen gezwungen sind (S. 178).

8) Die Keimlinge aus den entspelzten Samen weisen häufiger die Spiralkrümmung auf als die bespelzten, auch wenn sie ganz intakt im Dunkeln aufgezogen sind (S. 180).

9) Es gibt eine empfindliche Periode gegen Lichtreiz, wodurch die Endlänge der Keimlinge stark vermindert wird. Belichtet man also sukzessiv die Keimlingsserien in verschiedenem Alter und misst sie im Alter von 120<sup>h</sup>, dann bekommt man eine V-förmige Endlängenkurve. Wir haben diese als Hemmungskurve bezeichnet (Abb. 10, 13, 16-22).

10) Die Versuche mit 15 MK ergeben, dass die stärkste Beeinflussung der Wachstumshemmung beim Mesokotyl durch 3, 6, 12, 24 oder 48 Stunden lange Belichtung im Alter von ca. 48 Stunden von der Aussaat an gerechnet, erzielt worden ist; diese Erscheinung kommt aber bei der Koleoptile nicht so deutlich zum Vorschein, sie erfährt anfangs nur eine schwache Wachstumsförderung, worauf eine allmähliche Abnahme der Endlängengrösse erfolgt (Tab. VIII, S. 182).

11) Die Versuche mit 510 MK veranschaulichen die obigen Ergebnisse noch klarer. Das Mesokotyl sowie auch der Gesamtspross (Mes. + Kol.) ergeben im allgemeinen den tiefsten Punkt der Hemmungskurve im 51stündigen Alter. Die Endlänge vom Mesokotyl beträgt in diesem tiefsten Punkt der Hemmungskurve durchschnittlich  $25.4 \pm 0.6$  mm. (Tab. 7, S. 228).

12) Ganz zweckmässig erwies sich die 30 Minuten lang andauernde Belichtung mit 1260 MK zur Auffindung der Stadien der grössten Wachstumshemmung während der Entwicklung jedes Organs (Tab. IX und Abb. 10, S. 185-186).

13) Der tiefste Punkt der Hemmungskurve des Wachstums bei 30°, 25° und 15°, welcher durch obige kurze Belichtung mit 1260 MK hervorgerufen ist, kommt bei der Ernte 1928 für das Mesokotyl im Alter von 36<sup>h</sup>, 51<sup>h</sup> und 120<sup>h</sup> nach dem Aussäen im Keimbette am auffälligsten zur Ausbildung. Für die Koleoptile muss man etwa 1.5- oder 2 Tage danach abwarten, um dem tiefsten Punkt ihrer Hemmung zu begegnen; nämlich bei 30° im 72stündigen, bei 25° im 78stündigen und bei 15° im 177stündigen Alter (Abb. 10, 12 und 13).

14) Die grösste Herabsetzung des Wachstums von Mesokotyl und Koleoptile kommt ca. 28-38 Stunden resp. 15-42 Stunden früher zustande als die grossen Perioden des Wachstums im Dunkeln bei diesen beiden Organen (Temp. bei 25°, S. 189-190).

15) Die Art und Weise der Hemmungskurve ist je nach der Stärke der zugeführten Lichtmenge einigermassen verschieden. Soweit es sich aber um 5 bis 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK handelt, bildet die Kurve eine V-Form mit einem Kurvental im 51-. bisweilen im 54stündigen Alter aus. Mit zunehmenden Lichtmengen wird dann

die Kurve immer asymmetrischer mit frühzeitig vorkommendem Tal, und bei der 24stündigen Belichtung im 24stündigen Alter nimmt sie eine äusserst asymmetrische V-Form an, daneben eine verschwindend kleine Endlänge im tiefsten Punkt aufweisend.

**16)** Die 2tägige Belichtung in Anfangsstadien auch mit 1260 MK ermöglicht praktisch mesokotylfreie Keimlinge zu gewinnen, wobei 3tägige wie noch längere Belichtung die kürzesten Koleoptilen (ca. 37 mm.) als Endlänge dieses Organs liefern (Abb. 23, S. 198). Die Belichtung in Endstadien übt etwas verschiedenen Effekt aus, so z. B. gewinnt man erst bei 4tägigem Aussetzen des Versuchsmaterials zum Licht mesokotylfreie Keimlinge. Bei beiden Belichtungsarten zeigt das Primärblatt umso grösseres Wachstum, je mehr die Lichtmenge zunimmt (Abb. 24, S. 199).

**17)** Die Belichtung der quellenden Samen (vom Zeitpunkt der Aussaat an bis 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 Stunden lang) ergibt für das Mesokotyl eine bedeutendere Wachstumssistierung als bei der Koleoptile (Tab. XIV. u. XV, S. 200-201).

**18)** Die Zunahme des Einwirkungsgrades im Kurvental der Hemmung der verschieden langen Belichtung auf die Endlänge des Mesokotyls vergrössert sich geometrisch immer weniger (Abb. 25, S. 203).

**19)** Das Wachstum der Koleoptile wird vor allem korrelativ vom Mesokotyl beeinflusst; je mehr die Belichtungsstärke zunimmt, desto mehr erweitert sich sein Kurvental und auch bei der Koleoptile stellt sich das Kurvental der Wachstumshemmung umso später ein und wird umso breiter.

**20)** Die Hemmungskurven von Mesokotyl mitsamt Koleoptile geben bei verschieden langen Belichtungen mit 1260 MK überraschend schöne V-Formen mit einem Kurvental im 51stündigen, zuweilen 48stündigen Alter; die Tiefe wird hierbei vornehmlich durch das Verhalten des Mesokotyls dem Lichtreiz gegenüber bedingt (Abb. 27, S. 206).

**21)** Das Primärblatt reagiert korrelativ auf das Licht; bei 5 Minuten bis 6 Stunden langer Belichtung tritt der Kurvengipfel zuerst im Alter des tiefsten Punkts des Mesokotyls und dann in demjenigen der Koleoptile auf. Bei längerer Belichtung wird aber nur ein einziger, jedoch höherer Gipfel ausgebildet, wie es bei 12- und 24stündiger Belichtung mit 1260 MK der Fall ist (Abb. 28, S. 207).

**22)** Je früher bzw. später als im 51stündigen Alter bei 25° der Keimling belichtet wird, umso weniger wird das Wachstum des Mesokotyls gehemmt und umso längere endgültige Länge erreicht es (Abb. 29, 30, 31, 32 und 33, S. 209-213).



23) Die Wachstumskurve der Koleoptile zeigt bei der Belichtung in früheren Stadien (18<sup>h</sup> oder 51<sup>h</sup>) eine anfängliche Beschleunigung und darauf folgende Verzögerung, während bei der Belichtung in späteren Stadien (66<sup>h</sup> oder 78<sup>h</sup>) keine Beschleunigung, sondern sofortige Hemmung, daher auch starke Knickung der Kurve des Wachstumsverlaufs zustande kommt (Abb. 34, S. 213).

24) Das Primärblatt erfährt durch Belichtung keine Hemmung, sondern eine Beschleunigung, die je nach dem Alter, in dem die Belichtung vorgenommen wurde, sowohl in der Verlaufskurve wie auch in der Hemmungskurve in verschiedenen Formen zum Ausdruck kommt (Abb. 35, S. 214).

Die vorstehenden Untersuchungen sind in den Jahren 1927-1930 im Botanischen Institut der wissenschaftlichen Fakultät der Kaiserlichen Universität zu Kyoto ausgearbeitet worden. An dieser Stelle spreche ich Herrn Prof. Dr. K. KORIBA meinen herzlichsten Dank aus für seine wertvolle Anregung und Ratschläge sowie für die weitgehende Unterstützung, die er mir stets angedeihen liess. Es ist mir auch eine angenehme Pflicht, Herren Prof. Dr. I. NAMIKAWA und Dr. H. KIHARA für ihre freundliche Förderung zu danken; auch Herrn Dr. J. MAEKAWA in Sapporo schulde ich für das Versuchsmaterial meinen verbindlichsten Dank.

## F. ANHANG.

TABELLE I.

Gewichtszunahme der Samen in Prozent.

Temp.	Ausgangsgewicht	Zeitpunkt der Wägung nach dem Auslegen						
		4 Std.	8 Std.	12 Std.	24 Std.	36 Std.	48 Std.	72 Std.
36°	2.23 g	31.2%	44.3%	52.5%	66.4%	79.0%	97.8%	121.1%
28°	2.24 „	31.3	44.6	53.6	68.8	84.2	110.5	162.1
24°	2.26 „	25.3	40.4	48.4	64.2	78.3	100.8	158.8
16°	2.25 „	23.4	39.0	47.2	58.8	66.2	71.7	93.8

TABELLE 2.

Wachstumsverlauf im Dunkeln, Temp.: 25°, Ernte: 1928.

Alter in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
24	0.0±0.0	1.8±0.0	1.8±0.0	40
36	1.0±0.1	2.5±0.1	2.5±0.1	40
48	6.2±0.0	5.3±0.0	5.3±0.0	40
51	9.2±0.5	6.6±0.1	6.6±0.1	40
54	13.5±0.5	7.9±0.2	7.9±0.2	40
57	15.0±0.7	8.6±0.3	8.6±0.3	30
60	21.1±0.7	10.0±0.4	10.0±0.4	40
72	38.1±1.2	16.0±0.5	16.0±0.5	30
78	52.7±0.9	17.4±0.9	17.4±0.9	30
84	57.0±1.2	28.0±1.1	28.0±1.1	25
96	63.1±1.2	46.4±1.2	46.4±1.2	40
102	65.0±0.8	49.7±1.4	49.7±1.4	35
108	65.8±1.1	58.1±1.8	58.1±1.8	20
120	67.3±1.0	71.3±1.8	71.3±1.8	25
132	70.0±0.9	80.6±1.5	81.4±1.4	30
144	70.0±1.4	87.5±1.8	93.3±1.7	25
166	67.1±1.0	93.4±2.5	137.2±5.3	20

TABELLE 3.

Wachstumsverlauf im Dunkeln, Temp.: 30°, Ernte: 1928.

Alter in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
24	0.7±0.0	1.2±0.0	1.2±0.0	20
48	7.1±0.3	5.3±0.2	5.3±0.2	30
72	37.6±0.5	17.2±0.8	17.2±0.8	20
96	58.9±1.1	34.1±1.7	34.1±1.7	20
120	60.7±1.0	58.2±2.0	62.8±1.6	40
144	64.2±1.7	63.3±1.3	91.1±3.6	30
168	62.2±1.1	68.3±1.3	139.7±5.0	30

TABELLE 4.

Wachstumsverlauf im Dunkeln, Temp.: 15°, Ernte: 1928.

Alter in Tagen	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
1	0.2±0.0	0.8±0.0	0.8±0.0	40
1½	0.5±0.0	0.9±0.0	0.9±0.0	40
2	0.6±0.0	1.2±0.0	1.2±0.0	40
3	1.4±0.1	2.8±0.1	2.8±0.1	40
4	6.5±0.3	6.2±0.2	6.2±0.2	60
5	20.5±1.0	8.9±0.4	8.9±0.4	39
6	51.5±1.2	17.4±0.8	17.6±0.8	36
7	66.8±2.1	28.5±1.8	28.5±1.8	13
8	90.8±1.6	48.3±2.1	46.1±1.7	37
9	98.3±2.0	68.3±2.3	67.0±2.1	55
10	95.6±2.4	84.4±3.2	84.4±3.2	32
12	98.5±2.0	107.8±2.3	127.5±3.4	40
14	96.0±2.0	105.4±2.0	169.3±6.3	40

TABELLE 5.

Dunkelwachstumsverlauf bei 25° mit ganzen Körnern und den unteren Kornhälften, Ernte: 1928. Wasserkultur mit (1) SACHSScher Nährlösung und (2) destilliertem Wasser.

(1) SACHSSche Nährlösung.

Alter in Std.	Mesokotyl in mm.		Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	ganz	halb	ganz	halb	ganz	halb	ganz	halb
24	0.4±0.0	0.4±0.0	0.9±0.1	0.8±0.0	0.9±0.1	0.8±0.0	40	40
36	0.8±0.0	0.8±0.1	1.5±0.1	1.7±0.1	1.5±0.1	1.7±0.1	40	40
48	2.9±0.3	2.1±0.2	3.0±0.2	3.4±0.2	3.6±0.2	3.4±0.2	30	40
60	12.0±1.3	13.0±1.1	7.7±0.5	6.8±0.4	6.8±0.4	7.7±0.5	20	20
72	30.8±1.1	28.8±1.6	13.0±0.7	13.3±1.1	13.0±0.7	13.3±1.1	30	20
84	51.0±1.0	50.0±1.1	16.2±0.9	15.5±0.7	16.2±0.9	15.5±0.7	30	40
96	72.1±1.3	65.3±1.5	21.7±1.1	21.8±1.2	21.7±1.1	21.8±1.2	30	40
120	84.3±2.0	80.0±1.7	47.2±2.1	35.7±2.6	47.2±2.1	35.7±2.6	38	40
144	85.1±2.0	83.5±2.1	71.2±2.5	58.1±2.1	72.2±2.5	59.1±2.2	40	40
168	87.1±1.8	79.0±2.4	76.1±1.8	62.5±2.4	96.5±3.7	79.5±4.1	40	40
192	84.8±1.4	76.5±2.3	80.8±1.3	68.8±1.2	146.2±5.8	101.5±5.8	40	36

(2) Destilliertes Wasser.

24	0.4±0.0	0.4±0.0	0.9±0.0	0.8±0.0	0.9±0.0	0.8±0.0	40	40
36	0.8±0.0	0.9±0.0	1.7±0.1	1.9±0.1	1.7±0.0	1.9±0.0	40	40
48	2.8±0.2	2.6±0.2	3.9±0.2	3.9±0.2	3.9±0.2	3.9±0.2	40	20
60	11.3±0.7	11.5±0.8	6.4±0.2	5.8±0.2	6.4±0.2	5.8±0.2	20	20
72	23.1±1.0	26.6±0.9	8.1±0.2	8.0±0.4	8.1±0.2	8.0±0.4	30	30
84	37.1±0.9	37.4±1.4	14.0±0.6	11.0±0.5	14.0±0.6	11.0±0.5	40	40
96	50.3±1.3	44.8±1.5	13.8±0.5	12.7±0.6	13.8±0.5	12.7±0.6	40	40
120	65.0±1.2	60.2±1.6	25.3±1.7	23.0±1.3	22.9±1.2	18.0±0.8	40	40
144	70.2±3.7	61.6±1.8	37.3±3.6	39.3±2.7	29.7±3.2	29.0±2.9	40	30
168	75.7±2.4	64.6±2.0	47.9±2.3	40.9±2.2	36.9±2.7	32.1±2.7	40	40
192	73.0±1.8	69.7±1.7	54.4±2.1	48.3±2.2	56.7±2.8	46.9±2.8	39	40

TABELLE 6.

Dunkelwachstumsverläufe beim Aussen- (a) und Innenkorn (b). Samenproben vom Jahrgang: 1928, Temp.: 25°.

(a) Aussenkorn.

Alter in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
24	0.3±0.01	0.1±0.01	0.1±0.01	40
36	0.9±0.01	2.0±0.02	2.0±0.02	40
48	2.0±0.1	4.5±0.1	4.5±0.1	40
60	12.8±0.4	10.2±0.2	10.2±0.2	35
72	26.2±0.2	16.4±0.1	16.4±0.1	40
84	46.1±0.3	22.9±0.2	22.9±0.2	40
96	52.1±0.2	37.5±0.3	37.2±0.3	40
120	57.6±1.0	60.7±1.8	62.1±1.9	37
144	61.5±1.0	76.9±1.1	89.8±2.1	40
168	60.2±1.1	76.2±1.6	131.9±3.5	33

## Innenkorn.

Alter in Stdn.	Mesokotyl in mm. <sup>y</sup>	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
24	0,3±0,01	0,8±0,01	0,8±0,01	40
36	0,7±0,01	1,9±0,1	1,9±0,1	40
48	2,0±0,1	3,0±0,1	3,0±0,1	40
60	9,4±0,6	6,8±0,3	6,8±0,3	40
72	27,2±0,7	13,3±0,4	13,3±0,4	40
84	41,4±0,2	21,2±0,2	21,2±0,2	40
96	51,8±0,6	32,5±1,1	32,2±1,1	40
120	57,1±1,0	54,5±2,1	54,4±2,1	40
144	59,9±1,3	62,0±1,9	75,9±2,9	40
168	59,1±1,3	66,9±1,8	104,5±4,6	36

TABELLE 7.

Tiefster Punkt der Hemmungskurve durch einstündige Belichtung  
mit 510 MK hervorgerufen, Temp.: 25°.

Versuchsnummer	Mesokotyl		Mesokotyl + Koleoptile		Zahl der Keimlinge
	zeitliche Bestimmung des tiefsten Punktes	kürzeste Endlänge in mm.	zeitliche Bestimmung des tiefsten Punktes	kürzeste Endlänge in mm.	
13	54 Stdn.	29,4±0,6	54 Stdn.	58,3±0,9	40
14	54 "	35,2±0,6	54 "	57,8±0,8	40
15	52 "	21,5±0,6	52 "	62,2±0,9	40
16	54 "	18,9±0,4	54 "	59,1±1,1	38
17	54 "	22,0±0,7	54 "	82,1±1,0	38
Durchschnitt	53,6 "	25,4±1,3	53,6 "	63,2±2,1	39
Kontrolle	—	70,3±1,6	—	96,8±2,2	40

TABELLE 8.

Zur Auffindung des Kurventals der Mesokotyl- (a) sowie der Koleoptilentwicklung  
(b), Ernte: 1928, Temp.: 25°, Lichtmenge: 1260 MK × 30 Minuten.

(a).

Alter zur Belichtung in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
46	22,7±0,5	70,9±0,9	78,3±1,4	40
48	22,4±0,4	72,3±1,4	76,6±1,3	38
49	22,5±0,6	70,5±1,0	76,9±1,5	36
50	21,7±0,7	70,6±1,3	79,3±1,5	40
51	<b>20,7±0,5</b>	70,1±1,2	81,0±2,0	28
52	21,7±0,5	72,2±0,9	77,1±1,4	40
53	24,4±0,5	73,0±1,1	82,7±1,5	40
54	25,4±0,5	70,5±1,2	76,7±1,6	30
56	25,4±0,5	76,6±1,2	79,4±1,2	35

(b).

72	43,5 ± 1,0	60,3 ± 1,4	85,9 ± 2,0	38
75	44,2 ± 1,1	57,8 ± 1,3	87,0 ± 1,8	34
76	49,2 ± 0,9	56,5 ± 0,6	92,3 ± 1,3	36
77	47,2 ± 0,9	55,3 ± 0,9	86,0 ± 1,8	40
<b>78</b>	50,2 ± 1,0	<b>54,3 ± 0,9</b>	90,0 ± 2,1	36
79	50,2 ± 1,0	56,5 ± 0,8	90,9 ± 1,4	40
80	54,9 ± 1,3	55,5 ± 0,6	89,4 ± 2,0	30
81	56,5 ± 1,2	55,9 ± 0,8	91,2 ± 2,2	30
84	59,0 ± 1,0	55,7 ± 0,7	88,4 ± 1,6	30

TABELLE 9.

Wachstumshemmung durch 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK. Gemessen im Alter von 120 Stunden, Temp.: 25°, Ernte: 1928.

Alter zur Belichtung in Std.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
12	42,3 ± 1,2	86,0 ± 1,2	88,4 ± 1,3	40
24	29,0 ± 0,9	86,0 ± 0,9	91,2 ± 1,1	40
36	25,0 ± 0,5	77,1 ± 0,8	79,7 ± 0,9	39
48	25,8 ± 0,7	71,3 ± 1,7	76,9 ± 1,4	40
<b>51</b>	<b>25,8 ± 0,7</b>	69,4 ± 1,3	74,4 ± 1,5	40
54	26,3 ± 0,6	70,9 ± 0,9	80,9 ± 1,8	40
57	31,6 ± 0,9	72,2 ± 1,0	75,8 ± 1,0	30
60	30,0 ± 0,6	69,5 ± 0,8	74,8 ± 1,2	35
72	41,1 ± 1,2	58,1 ± 0,9	86,7 ± 2,0	35
<b>78</b>	53,2 ± 1,5	<b>54,0 ± 0,9</b>	85,2 ± 2,2	30
81	52,0 ± 1,2	55,0 ± 1,2	90,7 ± 2,6	22
84	57,7 ± 1,2	59,2 ± 0,6	84,8 ± 1,6	40
87	60,7 ± 1,6	55,7 ± 1,0	82,2 ± 1,8	30
90	60,1 ± 1,1	58,2 ± 0,8	78,2 ± 1,8	40
96	64,3 ± 1,7	59,0 ± 1,5	82,8 ± 2,2	25
108	60,2 ± 1,0	71,5 ± 1,5	78,6 ± 1,7	35
120	65,4 ± 1,2	76,7 ± 1,5	76,7 ± 1,4	30

TABELLE 10.

Zur Auffindung des Kurventals der Wachstumshemmung vom Mesokotyl durch 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK. Temp.: 15°, Ernte: 1928. Gemessen im Alter von 120 Stunden. Diese entspricht Abb. 11 (a).

Alter, in dem die Lichtreizung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
108 Stdn.	52,0 ± 1,2	100,6 ± 2,0	154,2 ± 2,9	40
116 "	48,6 ± 1,0	98,6 ± 1,7	148,7 ± 5,3	40
117 "	48,2 ± 1,1	100,7 ± 2,3	164,7 ± 6,8	30
118 "	47,6 ± 0,8	99,8 ± 1,8	161,3 ± 3,8	40
119 "	46,2 ± 1,9	102,3 ± 2,9	155,4 ± 4,6	20
<b>120</b>	<b>40,5 ± 1,1</b>	94,2 ± 1,8	164,5 ± 4,6	28
121 "	41,0 ± 1,1	90,7 ± 1,8	151,2 ± 4,5	35
122 "	45,8 ± 0,8	99,0 ± 2,4	163,2 ± 3,6	35
123 "	48,7 ± 0,8	101,2 ± 1,7	156,5 ± 4,9	30
124 "	47,9 ± 0,7	102,7 ± 2,0	156,0 ± 3,5	35
126 "	49,5 ± 1,1	99,4 ± 2,2	160,8 ± 3,5	40
128 "	51,0 ± 1,0	96,3 ± 1,9	149,9 ± 4,4	40
130 "	54,0 ± 1,0	98,1 ± 1,4	166,9 ± 4,1	40
132 "	56,1 ± 0,8	102,1 ± 1,8	163,7 ± 4,3	40
134 "	57,9 ± 0,9	103,5 ± 1,4	164,2 ± 5,2	40
135 "	54,4 ± 1,2	103,1 ± 1,8	147,2 ± 5,4	30
144 "	61,1 ± 1,2	100,8 ± 1,3	157,2 ± 4,3	30

TABELLE 11.

Zur Auffindung des Kurventals der Wachstumshemmung der Koleoptile durch 30 Minuten lange Belichtung mit 1260 MK, Temp.: 15°, Ernte: 1928. Gemessen im Alter von 120 Stunden. Entsprechend Abb. 11, (b).

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
175 Stdn.	74.7±1.7	69.6±1.6	146.2±7.7	20
176 "	75.2±1.4	66.5±1.7	160.6±5.2	20
<b>177</b> "	<b>74.3±1.8</b>	<b>69.2±1.4</b>	<b>148.8±3.9</b>	<b>30</b>
178 "	79.2±1.1	72.3±1.1	154.9±3.5	25
179 "	80.3±1.0	72.5±0.9	150.3±3.8	38
180 "	81.1±1.3	74.5±1.6	148.4±4.2	30
181 "	77.6±1.7	76.5±1.5	158.7±5.1	27
182 "	79.5±1.1	78.6±1.1	147.0±4.2	35
183 "	79.7±1.2	73.1±1.0	155.7±3.4	35
184 "	80.3±1.3	76.4±1.1	151.1±3.6	35
185 "	81.1±1.9	76.5±1.6	140.0±5.3	20
186 "	82.6±1.4	74.6±0.9	142.5±4.1	20

TABELLE 12.

Zur Auffindung der Hemmungskurven, Lichtmenge: 30 Min. × 1260 MK, Temp.: 15°, Ernte: 1928. Gemessen im Alter von 120 Stdn. Entsprechend Abb. 12.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Mes.+Kol. in mm.	Zahl der Keimlinge
2 Tagen	51.3±1.6	116.6±2.2	136.8±4.4	167.9	25
4 "	54.1±1.3	104.0±2.9	133.6±2.8	158.1	20
4.5 "	52.0±1.2	100.6±2.0	154.2±2.9	152.6	40
5 "	<b>40.5±1.1</b>	94.2±1.8	164.5±4.6	134.7	28
6 "	64.4±1.7	96.6±2.7	163.5±3.2	161.0	55
7 "	74.6±1.7	73.5±1.5	127.5±3.6	<b>148.1</b>	45
<b>7.5</b> "	<b>83.5±1.6</b>	<b>64.7±1.4</b>	<b>137.0±2.8</b>	<b>148.2</b>	<b>30</b>
8 "	87.2±2.3	73.6±2.1	124.1±4.0	160.8	30
8.5 "	86.6±2.5	78.4±2.5	140.4±3.7	185.0	30
9 "	90.0±2.4	81.1±1.6	129.7±3.2	171.1	30
9.5 "	91.4±2.7	90.8±3.2	131.8±4.3	182.2	25
10 "	95.1±1.8	99.7±1.4	126.0±3.3	194.8	30
10.5 "	92.8±1.9	96.8±2.4	125.0±3.4	189.6	20
Dunkelpflanzen	92.8±1.4	103.3±2.0	133.8±2.7	196.1	40

TABELLE 13.

Zwecks Erhaltung der Hemmungskurven, Lichtmenge: 30 Min. × 1260 MK, Temp.: 30°, Ernte: 1928. Entsprechend Abb. 13.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Mes.+Kol. in mm.	Zahl der Keimlinge
12 Stdn.	25.5±1.6	65.9±1.5	87.3±3.5	91.4	30
24 "	19.2±1.1	67.4±1.4	92.5±3.1	86.6	30
<b>36</b> "	<b>13.9±0.4</b>	<b>65.4±1.2</b>	<b>80.2±2.1</b>	<b>79.3</b>	<b>40</b>
48 "	20.6±0.7	58.0±1.3	88.0±3.4	78.6	20
54 "	21.8±0.6	54.1±1.2	86.5±2.9	75.9	30
60 "	32.3±0.8	55.4±1.1	83.2±2.7	87.7	25
<b>72</b> "	<b>40.4±1.4</b>	<b>40.4±1.0</b>	<b>90.7±4.5</b>	<b>80.8</b>	<b>25</b>
78 "	48.8±1.3	44.6±0.8	95.1±3.3	93.4	30
84 "	50.1±1.6	47.5±0.9	94.9±2.6	97.6	25
96 "	59.6±1.4	53.0±1.2	80.9±2.9	112.6	40
Dunkelpflanzen	60.1±1.4	46.7±2.0	48.6±1.8	106.7	40

TABELLE 14.

Zwecks Erhaltung des Kurventals der Wachstumshemmung beim Mesokotyl,  
Lichtdosis: 30 Min. × 1260 MK, Temp.: 30°, Ernte: 1928.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Mes.+Kol. in mm.	Zahl der Keimlinge
24 Stdn.	27.8 ± 1.6	63.8 ± 3.7	84.2 ± 4.0	91.6	30
31 "	23.1 ± 1.0	58.7 ± 1.2	77.6 ± 3.3	81.8	33
32 "	23.8 ± 1.1	61.5 ± 1.0	76.4 ± 3.0	85.3	30
33 "	23.3 ± 0.9	60.3 ± 1.0	75.6 ± 2.4	83.6	38
34 "	23.5 ± 1.2	56.3 ± 1.2	68.1 ± 2.3	79.8	30
35 "	24.4 ± 0.8	58.1 ± 0.8	69.7 ± 2.0	82.5	40
<b>36 "</b>	<b>21.5 ± 1.2</b>	54.1 ± 1.2	72.1 ± 2.8	<b>75.6</b>	32
37 "	23.0 ± 0.8	54.9 ± 0.9	66.8 ± 2.0	77.9	36
38 "	24.7 ± 0.9	53.1 ± 1.0	64.4 ± 2.3	77.8	38
39 "	26.4 ± 1.2	53.3 ± 0.9	62.5 ± 2.5	79.7	31
40 "	25.6 ± 1.3	56.8 ± 1.0	68.9 ± 2.5	82.4	35

TABELLE 15.

Zwecks Erhaltung des Kurventals der Wachstumshemmung bei der Koleoptile,  
Lichtdosis: 30 Min. × 1260 MK, Temp.: 30°, Ernte: 1928.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Mes.+Kol. in mm.	Zahl der Keimlinge
66 Stdn.	37.9 ± 0.7	49.3 ± 1.0	73.5 ± 3.2	87.2	34
67 "	39.9 ± 1.0	47.0 ± 1.3	80.5 ± 3.0	86.9	22
68 "	40.3 ± 0.7	46.0 ± 0.8	83.4 ± 3.0	86.3	26
69 "	38.7 ± 1.0	47.2 ± 1.1	68.4 ± 3.4	85.9	25
70 "	39.9 ± 1.0	45.0 ± 0.9	79.8 ± 4.4	84.9	30
71 "	43.5 ± 1.3	44.3 ± 0.9	82.6 ± 4.3	87.8	25
<b>72 "</b>	41.7 ± 1.0	<b>42.0 ± 0.6</b>	85.6 ± 3.2	83.7	36
73 "	40.8 ± 1.3	42.6 ± 0.8	81.7 ± 4.3	83.4	25
74 "	46.7 ± 1.2	45.3 ± 0.7	88.0 ± 3.4	82.0	30
75 "	47.4 ± 1.3	47.0 ± 0.6	85.1 ± 3.4	94.4	34
76 "	48.8 ± 1.1	44.1 ± 0.7	78.9 ± 4.0	92.0	25
77 "	50.6 ± 1.2	48.5 ± 0.7	78.2 ± 3.8	99.1	25

TABELLE 16.

Wachstumshemmung durch 5 Minuten lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	70.7 ± 1.3	66.9 ± 1.2	66.9 ± 1.2	40
24 Stdn.	39.5 ± 1.2	82.2 ± 1.0	82.2 ± 1.0	40
48 "	27.4 ± 0.8	67.4 ± 1.0	70.4 ± 1.4	40
<b>51 "</b>	<b>27.3 ± 0.5</b>	67.9 ± 0.8	71.2 ± 1.0	40
72 "	43.3 ± 0.4	54.0 ± 0.7	88.1 ± 1.8	40
<b>78 "</b>	45.7 ± 0.8	<b>43.0 ± 0.8</b>	87.1 ± 1.9	28
96 "	67.3 ± 1.2	54.2 ± 1.1	79.1 ± 1.4	40

TABELLE 17.

Wachstumshemmung durch 15 Minuten lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	68.3 ± 1.4	67.3 ± 1.3	67.5 ± 1.3	40
24 Stdn.	33.3 ± 1.5	36.4 ± 1.7	37.1 ± 1.7	36
48 "	25.1 ± 0.8	68.1 ± 1.7	71.5 ± 1.2	40
<b>51</b> "	<b>23.5 ± 1.4</b>	63.8 ± 1.2	68.3 ± 1.4	34
72 "	43.1 ± 1.2	59.2 ± 0.9	68.0 ± 2.0	35
<b>78</b> "	48.9 ± 0.7	<b>46.0 ± 0.6</b>	89.0 ± 1.3	38
96 "	63.8 ± 1.8	58.9 ± 1.5	69.3 ± 2.1	30

TABELLE 18.

Wachstumshemmung durch 30 Minuten lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	70.7 ± 1.3	66.9 ± 1.2	66.9 ± 1.2	40
24 Stdn.	35.4 ± 0.9	75.4 ± 1.2	77.5 ± 1.3	40
48 "	25.8 ± 0.7	67.1 ± 0.9	71.4 ± 1.4	40
<b>51</b> "	<b>22.7 ± 0.5</b>	65.9 ± 0.8	74.1 ± 1.8	40
72 "	43.2 ± 0.7	52.4 ± 0.6	89.2 ± 2.2	40
<b>78</b> "	55.2 ± 0.7	<b>51.3 ± 0.6</b>	81.6 ± 1.3	38
96 "	66.1 ± 1.7	55.5 ± 1.5	80.1 ± 2.2	30

TABELLE 19.

Wachstumshemmung durch 60 Minuten lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	77.7 ± 1.5	66.6 ± 1.2	67.7 ± 1.1	40
12 Stdn.	55.5 ± 1.9	48.0 ± 1.5	49.2 ± 1.7	40
48 "	26.6 ± 1.0	62.3 ± 1.0	70.0 ± 1.7	40
<b>51</b> "	<b>26.5 ± 0.8</b>	61.4 ± 0.9	74.1 ± 1.7	33
72 "	36.1 ± 1.6	52.7 ± 1.0	93.4 ± 3.3	38
<b>78</b> "	50.2 ± 1.2	<b>44.7 ± 1.9</b>	89.7 ± 2.5	34
96 "	62.5 ± 1.7	56.0 ± 0.9	84.9 ± 1.9	38

TABELLE 20.

Wachstumshemmung durch 6 Stunden lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	70.2 ± 1.4	69.9 ± 1.3	69.9 ± 1.3	40
24 Stdn.	<b>16.5 ± 1.2</b>	84.0 ± 1.3	86.5 ± 1.6	40
48 "	17.2 ± 0.4	66.3 ± 1.0	73.8 ± 1.6	40
<b>51</b> "	<b>16.1 ± 0.4</b>	63.0 ± 2.8	91.2 ± 2.6	38
72 "	41.0 ± 0.7	59.7 ± 0.9	86.9 ± 2.2	40
<b>78</b> "	45.2 ± 1.7	<b>40.9 ± 0.5</b>	87.7 ± 2.2	38
96 "	62.0 ± 1.6	50.1 ± 1.4	77.3 ± 2.7	34



TABELLE 21.

Wachstumshemmung durch 12 Stunden lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	73.4 ± 2.0	63.7 ± 1.3	64.4 ± 1.5	38
24 Stdn.	<b>7.9 ± 0.5</b>	73.0 ± 1.2	76.4 ± 1.6	38
48 "	11.5 ± 0.9	58.4 ± 0.7	82.0 ± 2.6	40
72 "	32.4 ± 0.8	<b>42.4 ± 0.6</b>	97.3 ± 1.3	40
96 "	66.3 ± 1.7	43.7 ± 1.3	70.9 ± 1.8	33

TABELLE 22.

Wachstumshemmung durch 24 Stunden lange Belichtung.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
Dunkelpflanzen	71.1 ± 1.4	68.9 ± 0.9	69.0 ± 1.0	78
12 Stdn.	7.5 ± 1.0	74.5 ± 1.2	84.8 ± 2.2	35
24 "	<b>1.7 ± 0.1</b>	71.6 ± 1.1	86.2 ± 2.6	39
36 "	3.1 ± 0.4	66.7 ± 0.6	104.2 ± 2.8	40
48 "	5.6 ± 0.2	47.8 ± 0.9	108.5 ± 2.7	36
60 "	13.8 ± 0.5	43.0 ± 0.5	117.4 ± 1.2	40
72 "	24.9 ± 0.9	38.5 ± 0.5	107.1 ± 1.4	40
84 "	43.7 ± 1.7	<b>36.5 ± 0.6</b>	95.4 ± 2.0	40
96 "	55.4 ± 1.2	40.7 ± 0.8	91.0 ± 1.2	40
108 "	61.6 ± 1.7	51.1 ± 1.9	77.7 ± 2.9	30

TABELLE 23.

Wachstumshemmung durch die Dauerbelichtung mit 1260 MK in Anfangsstadien.

Reizungsdauer Licht → Dunkel	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
0 Tag : 5 Tage	39.5 ± 1.2	60.3 ± 2.5	60.7 ± 2.6	20
1 " : 4 "	6.9 ± 0.9	58.6 ± 1.9	69.9 ± 3.2	20
2 " : 3 "	1.6 ± 0.4	55.1 ± 2.5	95.4 ± 6.4	16
3 " : 2 "	0.9 ± 0.2	37.4 ± 0.5	124.7 ± 4.6	16
4 " : 1 "	<b>0.6 ± 0.1</b>	37.3 ± 2.9	121.5 ± 6.8	16
5 " : 0 "	1.1 ± 0.1	37.1 ± 0.7	135.9 ± 4.4	20

TABELLE 24.

Wachstumshemmung durch die Dauerbelichtung mit 1260 MK in Endstadien.

Reizungsdauer Dunkel → Licht	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
5 Tage : 0 Tag	57.0 ± 2.8	50.7 ± 4.0	52.2 ± 5.0	10
4 " : 1 "	50.3 ± 1.6	40.3 ± 2.0	66.0 ± 3.9	19
3 " : 2 "	33.2 ± 1.5	34.7 ± 0.8	75.1 ± 4.1	20
2 " : 3 "	9.9 ± 0.3	37.8 ± 2.0	105.7 ± 3.1	20
1 " : 4 "	<b>2.3 ± 0.2</b>	38.1 ± 1.0	108.6 ± 4.0	20

TABELLE 25.

Wachstumshemmung durch das Sonnenlicht, Temp.: 30°.

Alter, in dem die Belichtung einsetzt.	Mesokotyl in mm.	Koleoptile in mm.	Primärblatt in mm.	Zahl der Keimlinge
12 <sup>h</sup>	34.6 ± 1.4	45.4 ± 0.7	57.9 ± 2.3	38
18	38.0 ± 0.9	47.9 ± 0.6	59.6 ± 1.7	40
24	29.6 ± 0.9	48.8 ± 0.6	59.2 ± 1.4	40
27	25.2 ± 1.1	44.6 ± 1.0	55.5 ± 1.7	39
30	26.6 ± 0.8	45.5 ± 0.7	54.4 ± 1.0	40
36	27.2 ± 0.4	43.3 ± 1.1	54.1 ± 1.3	40
39	28.1 ± 0.5	42.3 ± 0.5	50.9 ± 1.0	40
42	27.6 ± 0.3	39.3 ± 0.5	53.8 ± 1.4	40
45	28.7 ± 0.4	39.7 ± 0.4	51.5 ± 1.4	40
48	28.1 ± 0.4	39.6 ± 0.5	54.0 ± 1.7	40
60	35.4 ± 0.6	40.7 ± 0.7	63.7 ± 1.8	40
72	40.7 ± 0.8	31.8 ± 0.4	81.8 ± 1.3	40
84	46.5 ± 1.5	33.1 ± 0.5	75.8 ± 1.9	30
96	49.2 ± 2.1	39.3 ± 0.8	68.2 ± 1.4	37
108	62.3 ± 1.2	41.4 ± 0.7	57.7 ± 1.4	40
Dunkelpflanzen	68.5 ± 1.2	43.1 ± 0.7	52.8 ± 1.7	40

TABELLE 26.

Wachstumsverlauf der im 18stündigen Alter belichteten Keimlinge.  
Lichtmenge: 1260 MK × 30 Min.; Ernte: 1928; Temp. 25°

Alter in Stdn.	Mesokotyl in mm.		Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	D.	L.
18	0.2 ± 0.01	—	0.8 ± 0.02	—	0.8 ± 0.02	—	40	—
24	0.4 ± 0.02	0.4 ± 0.02	0.9 ± 0.03	0.9 ± 0.03	0.9 ± 0.03	0.9 ± 0.03	40	40
48	3.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1	4.1 ± 0.1	5.5 ± 0.2	4.1 ± 0.1	5.5 ± 0.2	40	40
72	35.0 ± 0.6	20.6 ± 0.6	14.8 ± 0.4	22.2 ± 0.8	14.8 ± 0.4	22.2 ± 0.8	40	40
96	67.8 ± 0.7	47.1 ± 1.0	28.9 ± 0.7	38.7 ± 1.1	28.9 ± 0.7	39.5 ± 1.0	40	40
120	79.5 ± 1.2	49.9 ± 1.3	57.1 ± 1.2	67.4 ± 1.5	57.1 ± 1.2	69.4 ± 1.7	40	40
144	77.9 ± 1.4	57.0 ± 1.2	69.5 ± 1.1	71.3 ± 1.5	79.4 ± 2.1	98.4 ± 2.6	40	40
168	74.7 ± 1.2	54.7 ± 1.2	71.2 ± 1.4	72.7 ± 1.1	34.7 ± 3.2	148.4 ± 4.6	40	40

TABELLE 27.

Wachstumsverlauf der im 51stündigen Alter belichteten Keimlinge.  
Bedingungen wie die vorherigen.

Alter in Stdn.	Mesokotyl in mm.		Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	D.	L.
24	0.0 ± 0.0	—	1.8 ± 0.1	—	1.8 ± 0.1	—	40	—
36	1.0 ± 0.1	—	2.5 ± 0.1	—	2.5 ± 0.1	—	40	—
48	6.2 ± 0.3	—	5.3 ± 0.1	—	5.3 ± 0.1	—	40	—
51	9.2 ± 0.5	—	6.6 ± 0.1	—	6.6 ± 0.1	—	40	—
60	21.1 ± 0.7	13.6 ± 0.5	10.0 ± 0.4	13.2 ± 0.2	10.0 ± 0.4	13.2 ± 0.2	40	40
72	38.1 ± 1.3	16.9 ± 0.4	16.0 ± 0.5	25.9 ± 0.3	16.0 ± 0.5	25.9 ± 0.3	30	80
84	57.0 ± 1.2	23.1 ± 0.3	28.0 ± 1.1	37.8 ± 0.5	28.0 ± 1.1	37.8 ± 0.5	25	80
96	63.1 ± 1.2	24.1 ± 0.9	46.4 ± 1.2	52.1 ± 1.4	46.4 ± 1.2	52.1 ± 1.4	40	70
108	65.8 ± 1.0	25.1 ± 0.5	58.1 ± 1.8	62.3 ± 0.8	58.1 ± 1.8	62.3 ± 0.8	20	40
120	67.3 ± 1.0	23.4 ± 0.7	71.3 ± 1.8	71.4 ± 1.4	71.3 ± 1.8	79.4 ± 1.9	25	35
144	69.9 ± 1.3	25.8 ± 0.5	87.5 ± 1.8	79.6 ± 0.8	93.3 ± 1.9	110.1 ± 2.5	25	40
168	67.1 ± 1.2	26.0 ± 0.7	93.4 ± 2.5	80.0 ± 1.1	137.2 ± 3.7	167.5 ± 4.7	20	40

TABELLE 28.

Wachstumsverlauf der im 66stündigen Alter belichteten Keimlinge.

Alter in Stdn.	Mesokotyl in mm.		Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	D.	L.
24	0.4 ± 0.03	—	0.9 ± 0.04	—	0.9 ± 0.04	—	40	—
48	2.2 ± 0.1	—	3.4 ± 0.1	—	3.4 ± 0.1	—	40	—
66	16.2 ± 0.9	—	7.9 ± 0.3	—	7.9 ± 0.3	—	40	—
72	29.0 ± 0.9	20.8 ± 1.2	10.0 ± 0.3	13.5 ± 0.5	10.0 ± 0.3	13.5 ± 0.5	40	25
96	65.0 ± 0.7	30.2 ± 0.8	27.9 ± 1.2	39.7 ± 0.7	27.9 ± 1.2	40.3 ± 0.9	40	40
120	79.9 ± 1.1	32.1 ± 0.5	50.0 ± 2.0	62.6 ± 0.7	49.8 ± 2.0	62.8 ± 0.7	40	40
144	79.9 ± 1.3	33.1 ± 0.6	74.1 ± 2.0	72.6 ± 0.8	74.6 ± 2.2	86.7 ± 1.5	40	40
168	81.0 ± 1.5	35.2 ± 0.6	85.2 ± 2.2	78.7 ± 2.0	96.6 ± 2.5	116.6 ± 3.9	40	40

TABELLE 29.

Wachstumsverlauf der im 78stündigen Alter belichteten Keimlinge.

Alter in Stdn.	Mesokotyl in mm.		Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	Verdunkelt	Beleuchtet	D.	L.
24	0.4 ± 0.01	—	0.9 ± 0.01	—	0.9 ± 0.01	—	40	—
36	0.7 ± 0.01	—	1.5 ± 0.1	—	1.5 ± 0.1	—	40	—
48	2.0 ± 0.3	—	3.4 ± 0.2	—	3.4 ± 0.2	—	40	—
60	12.6 ± 0.6	—	7.3 ± 0.2	—	7.3 ± 0.2	—	30	—
72	25.6 ± 1.6	—	10.2 ± 0.6	—	10.2 ± 0.6	—	25	—
78	40.2 ± 1.1	—	13.3 ± 0.7	—	13.3 ± 0.7	—	25	—
84	48.0 ± 1.5	40.4 ± 1.5	15.4 ± 0.9	18.8 ± 1.1	15.4 ± 0.9	18.8 ± 1.1	25	25
96	65.2 ± 1.4	40.3 ± 1.4	25.0 ± 1.8	30.5 ± 0.7	25.0 ± 1.8	30.5 ± 0.7	30	20
108	69.0 ± 1.4	44.1 ± 1.1	41.2 ± 2.3	44.1 ± 1.4	40.7 ± 2.3	45.4 ± 1.7	28	30
120	79.2 ± 1.5	44.5 ± 1.0	47.4 ± 2.0	52.6 ± 1.4	47.3 ± 2.0	53.2 ± 1.6	35	35
144	74.7 ± 0.7	45.9 ± 0.7	71.0 ± 2.2	71.8 ± 0.9	71.4 ± 2.2	79.4 ± 1.4	37	40
168	84.7 ± 2.6	42.0 ± 1.1	87.0 ± 2.1	74.4 ± 1.0	102.2 ± 3.2	124.9 ± 2.9	40	40

TABELLE 30.

Wachstumsverlauf der Keimlinge im hellen Gewächshaus.

Alter in Tagen	Koleoptile in mm.		Primärblatt in mm.		Zahl der Keimlinge	
	SACHSsche Lösung	Kompost-erde	SACHSsche Lösung	Kompost-erde	SACHS	Erde
2	1.3 ± 0.04	1.1 ± 0.1	1.3 ± 0.04	1.1 ± 0.1	40	20
3	3.8 ± 0.2	2.6 ± 0.1	3.8 ± 0.2	2.6 ± 0.1	40	20
4	11.7 ± 0.5	7.6 ± 0.4	11.4 ± 0.4	6.9 ± 0.4	40	14
5	21.5 ± 0.7	18.4 ± 0.5	22.6 ± 0.8	18.4 ± 0.6	37	14
6	29.2 ± 0.8	28.2 ± 0.7	44.9 ± 1.0	37.9 ± 1.4	20	15
7	29.8 ± 1.1	29.0 ± 0.4	69.4 ± 2.8	63.5 ± 1.4	20	15
8	30.5 ± 0.6	30.2 ± 0.3	98.7 ± 3.1	98.3 ± 1.5	35	15
9	29.0 ± 0.4	29.8 ± 0.4	127.7 ± 2.4	125.0 ± 1.7	24	15
10	29.0 ± 0.8	29.0 ± 0.4	169.3 ± 3.9	124.0 ± 3.5	35	15
11	29.0 ± 0.5	29.0 ± 0.4	169.3 ± 2.5	134.9 ± 4.0	32	14

## G. LITERATURVERZEICHNIS.

- ARBER, AGNES, 1925, Monocotyledons. Cambridge.
- ARISZ, W. H., 1915, Untersuchungen über den Phototropismus. Rec. d. trav. bot. néerl. Vol. 12.
- AVERY, G., 1928, Coleoptile of *Zea mays* and other Grasses. Bot. Gaz. 86.
- 1930, Comparative Anatomy and Morphology of Embryos and Seedlings of Maize, Oats and Wheat. Bot. Gaz. 89.
- BEYER, A., 1927, Zur Keimungsphysiologie von *Avena sativa*. Ber. d. d. Bot. Ges. 45.
- BLAAUW, A. H., 1909, Die Perzeption des Lichtes. Rec. d. trav. bot. néerl. 5.
- 1914, Licht und Wachstum I. Zeitschr. f. Bot. 6.
- 1915, Licht und Wachstum II. Zeitschr. f. Bot. 7.
- BREMEKAMP, C. E. B., 1925, Das Verhalten der Graskeimlinge auf dem Klinostaten. Ber. d. d. bot. Ges. 43.
- BRYAN, O. C., 1922, Effect of different Reactions on the Growth and Calcium Content of Oat and Wheat. Soil Science. 13.
- BUY, H. G. DU, und E. NUERNBERGK, 1929, Ueber das Wachstum der Koleoptile und des Mesokotyls von *Avena sativa* unter verschiedenen Aussenbedingungen. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. 32, No. 5.
- 1929, Weitere Untersuchungen über den Einfluss des Lichtes auf das Wachstum von Koleoptile und Mesokotyl bei *Avena sativa*. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam, 32, No. 6.
- CHOLODNY, N., 1927, Wuchshormone und Tropismen bei den Pflanzen. Biol. Zentralbl. 47.
- DILLEWIJN, C. VAN, 1927, Die Wachstumsreaktion von *Avena*. Rec. d. trav. bot. néerl. 24.
- ERMAN, C., 1926, Thermowachstumsreaktionen bei den Koleoptilen von *Avena sativa*. Ber. d. d. bot. Ges. 44.
- FITTING, H., 1908, Lichtperzeption und phototropische Empfindlichkeit, zugleich ein Beitrag zur Lehre von Etiolment. Jahrb. f. wiss. Bot. 45.
- GOEBEL, K., 1913, Organographie der Pflanzen I. Jena.
- GOFF, E. S., 1901, Influence of Light on the Length of the Hypocotyl in Indian Corn. Science N. S. Vol. XIII.
- GORTER, J., 1927, On the Occurrence of Growth-accelerating and Growth-retarding Substances. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. 30.
- GRAFE, V., 1914, Ernährungsphysiologisches Praktikum höheren Pflanzen. Berlin.
- HAMADA, H., 1929, Über die Beeinflussung des Wachstums des Mesokotyls und der Koleoptile von *Avena*-Keimlingen durch das Licht. (Vorläufige Mitteilung). Proceedings of the Imp. Acad. of Japan. 5, No. 9.
- HAMMETT, F. S., 1929, The Chemical Stimulus essential for Growth by Increase in Cell Number. Protoplasma, 7.
- 1929, Cell Division and Cell Growth in Size. Protoplasma, 7.
- HOWARTH, W. O., 1927, The Seedling Development of *Pennisetum Rubra* L. var. *Tennifolia* Mihi, and its Bearing on the Morphology of the Grass Embryo. The New Phytologist. 26.
- JOHANNSEN, W., 1926, Elemente der exakten Erblichkeitslehre. 3. Aufl. Jena.
- KNIEP, H., 1907, Beiträge zur Keimungsphysiologie und Biologie von *Fucus*. Jahrb. f. wiss. Bot. 44.
- KOJIMA, H., 1928, On the Relation between Cell-Division and Elongation in the Roots of *Vicia Faba*. Jour. of Dept. of Agr. Kyushu Imp. Univ. 2.

- KONINGSBERGER, V. J., 1923, Lichtintensität und Lichtempfindlichkeit. Rec. d. trav. bot. néerl. 20.
- LANGE, S., 1929, Über den Einfluss weissen und roten Lichtes auf die Entwicklung des Mesokotyls bei Hafer-Keimlingen. Jahrb. f. wiss. Bot. 71.
- LUNDEGÅRDH, H., 1924, Ein Beitrag zur quantitativen Analyse des Phototropismus. Arkiv f. Bot. 18, No. 3.
- LUYTEN, IDA, 1926, On the favorable Effect of 35° C. on the Cell-formation in Foliage-leaves of *Hyacinthus orientalis*. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. 30, No. 2.
- MACDOUGAL, D. T., 1903, Influence of Light and Darkness upon Growth and Development. Mem. New York. Bot. Garden. 3.
- MEVIUS, W., 1927, Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstum. Freising-München.
- MURINOFF, A., 1907, Einfluss des Lichtes und der Feuchtigkeit auf die Zusammensetzung der Pflanzen. Ber. d. d. bot. Ges. 25.
- NIELSEN, N., 1930, Untersuchungen über einen neuen wachstumsregulierenden Stoff: Rhizorpin. Jahrb. f. wiss. Bot. 73.
- NOACK, K., 1914, Die Bedeutung der schiefen Lichtrichtung für die Helioperzeption parallelotroper Organe. Zeitschr. f. Bot. 6.
- NUERNBERGK, E., 1927, Untersuchungen über die Lichtverteilung in *Avena*-Koleoptilen und anderen phototropisch reizbaren Pflanzenorganen bei einseitiger Beleuchtung. Jena.
- PISEK, A., 1926, Untersuchungen über Reizleitung und den Zusammenhang von Lichtwachstumsreaktion und Phototropismus. Jahrb. f. wiss. Bot. 65.
- 1928, Beitrag zu einem quantitativen Vergleich von Lichtwachstumsreaktion und Phototropismus der Haferkoleoptile. Jahrb. f. wiss. Bot. 67.
- POPOVICI, A. P., 1900, Der Einfluss der Vegetationsbedingungen auf die Länge der wachsenden Zone. Bot. Zentralbl. 81.
- POPP, H. H., 1926, A physiological Study of the Effect of Light of various Ranges of Wave Length on the Growth of Plant. Amer. Jour. Bot. 13.
- PRIESTLEY, J. H., 1929, Cell Growth and Cell Division in the Shoot of the Flowering Plant. The New Phytologist. 28.
- RISSMANN, R., 1929, Der Mineralstoffwechsel grüner und etiolierter Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung des Magnesiums und der Chlorophyllbildung. Planta, 9.
- ROTHERT, W., 1896, Über Heliotropismus. Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen. 7.
- RUTGERS, A. A. L., 1912, The Influence of Temperature on the geotropic Presentation Time. Rec. d. trav. bot. néerl. 9.
- SACHS, J., 1887, Pflanzenphysiologie. 2 Aufl. Leipzig.
- SASAKI, T., 1926, The Preliminary Report on an Abnormal Type of Germination of Rice Seeds under Reduced Air Supply. (Japanisch mit englischer Résumé) Nogakukaiho Tokyo, 288.
- SEUBERT, E., 1925, Über Wachstumsregulatoren in der Koleoptile von *Avena*. Zeitschr. f. Bot. 17.
- SIERP, H., 1918, Ein Beitrag zur Kenntnis des Einflusses des Lichtes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Zeitschr. f. Bot. 10.
- 1920, Untersuchungen über die grosse Wachstumsperiode. Biol. Zentralbl. 40.
- 1921, Untersuchungen über die durch Licht und Dunkelheit hervorgerufenen Wachstumsreaktionen bei der Koleoptile von *Avena sativa* und ihr Zusammenhang mit den phototropischen Krümmungen. Zeitschr. f. Bot. 13.
- SCHROEDER, H., 1909, Über den Einwirkung von Äthyläther auf die Zuwachsbewegung. Flora. 99.
- 1910, Über den Einfluss von Aussenfaktoren auf die Koleoptilenlänge bei *Oryza sativa* und einigen anderen Gramineen. Ber. d. d. bot. Ges. 28.

- SILBERSCHMIDT, K., 1925, Untersuchungen über die Thermowachstumsreaktion. Ber. d. d. Ges. 43.
- 1928, Untersuchungen über die Abhängigkeit des pflanzlichen Wachstumsverlaufes und der erreichten Endlänge von konstanten Temperaturgraden. Bibliotheca Botanica. 97.
- SÖDING, H., 1929, Weitere Untersuchungen über die Wuchshormone der Haferkoleoptile. Jahrb. f. wiss. Bot. 71.
- TAKAHASHI, T., 1905, Is germination possible in absence of air? Bul. Agric. Coll. Tokyo Imp. Univ. 6.
- TETLEY, U., and J. H. PRIESTLEY, 1927, The Histology of the Coleoptile in Relation to its phototropic Response. The New Phytologist. 26.
- TIEGHEM, PH. VAN, 1872, Observation anatomiques sur le cotyledon des Graminées. Ann. Sc. nat. 5 sér. Bot. 15 (aus Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas von Kirchner, Loew und Schröter. Lieferung 15. Stuttgart, 1912).
- VOGT, E., 1915, Über den Einfluss des Lichtes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Zeitschr. f. Bot. 52.
- VRIES, MARIE S. DE, 1917, Über die Ursache des Auswachsens des Hypokotyls bei Keimlingen von *Avena sativa*. Rec. d. trav. bot. néerl. 14.
- WEATHERWAX, P., 1920, Position of Scutellum and Homology of Coleoptile in Maize. Bot. Gaz. 69.
- WENT, F. W., 1928, Die Erklärung des phototropischen Krümmungsverlaufes. Rec. d. trav. bot. néerl. 25 a.
- 1928, Wuchsstoff und Wachstum. Rec. d. trav. bot. néerl. 25. No. 1 et 2.
- WIESNER, J., 1893, Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiet. I. Sitzungsber. d. K. K. Akad. d. Wiss. Wien, math. nat. Kl. 102.
- ZADE, A., 1918, Der Hafer. Jena.
- ZOLLIKOFER, CLARA, 1920, Über die tropistische Wirkung von rotem Licht auf Dunkelpflanzen von *Avena sativa*. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. 23.
- 1928, Über die Dorsiventralitätskrümmungen bei Keimlingen von *Panicum* und *Sorghum* und den Einfluss der Koleoptile auf das Mesokotylwachstum. Rec. d. trav. bot. néerl. 25 a.