

Über das Wachstum isolierter Wurzeln¹

Von

Irma Felber-Pisk

(Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt, Botanische Abteilung,
Vorstand: L. Portheim)

(Vorgelegt in der Sitzung am 29. Jänner 1931)

Einleitung.

Während meiner Arbeit über Transplantationsversuche mit Wurzelspitzen — welche noch nicht abgeschlossen ist und erst später veröffentlicht wird — wurde ich durch Zufall auf die Tatsache aufmerksam, daß abgeschnittene Wurzelspitzen in feuchtem Raume auffälliges Wachstum zeigten, das besonders dadurch überraschte, daß es im Lichte stattfand. Es war naheliegend und verlockend, diese zufällige Beobachtung zum Ausgangspunkt von Untersuchungen zu machen, über deren Anordnung und Ergebnisse hier berichtet werden soll.

In der vorhandenen Literatur fanden sich nur wenige Arbeiten, in welchen überhaupt isolierte Wurzeln als Untersuchungsmaterial verwendet wurden, aber selbst diese können mit meinen eigenen Versuchen in keinen direkten Zusammenhang gebracht werden, da sie von ganz anderen Fragestellungen ausgingen.

So haben Turner (12), Kotte (5) und Robbins (7) und (8) versucht, abgeschnittene Wurzelspitzen unter sterilen Bedingungen in verschiedenen Nährlösungen zu kultivieren, mit dem Ziel, dem Problem der Gewebezüchtung näherzukommen. Innerhalb dieser Versuche haben W. J. Robbins und W. E. Maneval (10) auch den Einfluß des Lichtes auf die Lebensdauer abgeschnittener Wurzelspitzen von Mais (flint corn), welche in Pfeffer'scher Lösung +2% Glukose gezogen wurden, geprüft, und sie fanden gegenüber den Dunkelkulturen eine beträchtliche Verlängerung der Lebensdauer der Wurzeln, welche diffusem Tageslicht ausgesetzt waren. Angaben über die Längenzunahmen der Wurzeln und sonstiges Wachstumsverhalten sind auch in dieser Arbeit nicht vorhanden.

Bei A. Gurwitsch (3) und (4) findet sich in einigen Arbeiten die Angabe über unveröffentlichte Versuche von S. Salkind, welcher das Wachstum abgeschnittener 8 mm langer Wurzelstücke von

¹ Eine vorläufige Mitteilung unter dem Titel: »Über das Wachstum isolierter Wurzeln« von Irma Felber-Pisk (Aus der Biol. Versuchsanstalt d. Akad. d. Wiss. in Wien, Bot. Abtlg. Vorstand, L. Portheim) erschien im Sitzungsanzeiger d. Akad. d. Wiss. in Wien, Nr. 3, 1931.

Helianthus prüfte. Es konnte innerhalb 52 Stunden ein Zuwachs bis zu 12 *mm*, nach 7 Tagen bis zu mehreren Zentimetern festgestellt werden und die Wurzeln enthielten noch nach 6 Tagen Mitosen, woraus gefolgert werden konnte, daß nicht nur Streckungs-, sondern auch echtes embryonales Wachstum in der isolierten Wurzel stattfindet. Angaben über die Lichtverhältnisse während dieser Versuche fehlen.

Eine andere Reihe von Arbeiten bezieht sich zwar auf die Wirkung von Lichtverhältnissen auf das Wurzelwachstum, doch unterscheiden sich diese Untersuchungen schon deshalb wesentlich von den meinen, weil die Versuche mit ganzen Pflanzen angestellt wurden und von den Wechselbeziehungen zwischen Wurzel und Sproß ausgingen. Am eingehendsten befaßte sich Sigmund Probst (6) mit diesen Untersuchungen. Als Versuchspflanzen dienten ihm hauptsächlich *Linum usitatissimum* und *Lepidium sativum*. Er kam unter anderem zu dem eindeutigen Ergebnis, daß direkte Belichtung des Wurzelsystems bei verdunkeltem Sproßteil das Wurzelwachstum hemmt, Verdunkelung des Wurzelsystems aber das Wurzelwachstum fördert. Andererseits fördert die Belichtung des Sprosses das Wachstum der verdunkelten Wurzeln und wirkt bei der Lichtkultur der ganzen Pflanze der Wachstumshemmung entgegen, die von den belichteten Wurzeln ausgeht, so daß für diesen Fall eine gewisse, aber indirekte Förderung des Wurzelwachstums resultiert. Zu gleichen Ergebnissen kam Berinsohn (1) beim Vergleich von Licht- und Dunkelkulturen von *Allium Cepa*; auch hier zeigte das Licht einen hemmenden Einfluß auf die Zellteilungsvorgänge der Wurzel. Devaux (2) fand bei Belichtung der Wurzeln von *Zea Mais* eine Wachstumshemmung in bezug auf deren Längenwachstum, dagegen eine Förderung der Wurzelhaarbildung.

In gleichem Sinne hatte auch Sachs (11) geurteilt, wenn er sagt: höhere Grade von Dunkelheit scheinen eine begünstigende Wirkung auf Neubildung von Zellen zu haben« und » es scheint also nicht die Feuchtigkeit oder überhaupt die Umgebung des Bodens, sondern vielmehr die Dunkelheit begünstigend auf die Neubildung der Nebenwurzeln zu wirken.« (*Phaseolus*.)

Methodik.

Als hauptsächlichstes Versuchsmaterial benützte ich die Wurzeln von *Phaseolus coccineus*, da diese Pflanze verhältnismäßig kräftige junge Wurzeln bildet und das mir zur Verfügung gestandene Material besonders gute Keimfähigkeit besaß. Wie sehr das Gelingen beziehungsweise das Erzielen brauchbarer Resultate bei dieser Art von Versuchen von dem individuellen Grad an Widerstandsfähigkeit der Wurzeln abhängig ist, zeigte eine Reihe negativer Versuche mit den Wurzeln von *Zea Mais* und *Callisia repens*, welche abgeschnitten, bald faulten, ohne vorheriges Wachstum zu zeigen.

Die Samen von *Phaseolus* wurden 8 bis 10 Stunden in Leitungswasser gequollen, auf feuchtem Filterpapier in Keimchalen ausgelegt, nach 3 bis 7 Tagen, je nach der Jahreszeit, hatten die Wurzeln die gewünschten Längen von 3 bis 5 cm mit oder ohne Hypocotyl erreicht. Das Versuchsmaterial hatte innerhalb einer Versuchsreihe immer gleiche Organlängen, so daß bei den Wurzeln mit Hypocotyl der eigentliche Wurzelteil um etwa 1 cm kürzer ist — der auf das Hypocotyl entfällt — als bei den Wurzeln ohne Hypocotyl.

Die Wurzeln wurden mit Millimeterpapier gemessen, mittels Rasierklingen am Wurzelhals oder mit Hypocotyl hinter den Koteladonen abgeschnitten und in einer Bindfadenschlinge an gläsernen oder hölzernen Stäbchen befestigt, die in einer Glaswanne quer liefen. Auf diese Weise wurden 30 bis 40 Wurzeln in einer Glaswanne untergebracht, von denen je 10 Stück immer gleiche Länge hatten. Für eine Versuchsreihe wurden zumeist vier Gefäße, also zirka 120 Wurzeln, verwendet. Die Schmalseiten der Wanne wurden innen mit weißem Filterpapier belegt. Die Wanne, mit Leitungswasser 2 cm hoch gefüllt, durch eine Glasplatte abgeschlossen, stellte eine feuchte Kammer dar, in der die Wurzeln frei aufgehängt, das Wasser nicht berührten. Die Versuchswannen wurden im Warmhaus bei einer Durchschnittstemperatur von zirka 20° aufgestellt. Die Dunkelkulturen kamen unter einen Dunkelsturz oder wurden durch schwarzes Papier lichtfrei gemacht. Die Wurzeln einer Versuchsreihe wurden möglichst gleichartig ausgewählt; doch konnten manchmal die kleinen individuellen Schwankungen im Wurzelmaterial bezüglich der Dicke und Länge des Hypocotyls und des Wurzelstückes als auch die vorkommenden leichten Wurzelkrümmungen nicht berücksichtigt werden; das diesbezüglich möglichst übereinstimmende Verhalten zwischen allen Parallelkulturen und die große Anzahl vorgenommener Messungen verringern aber den möglichen Fehler auf einen so minimalen Wert, daß er auf die eigentlichen Resultate keinen Einfluß üben konnte.

Die ursprüngliche Frage nach dem Einfluß von Licht und Dunkel auf isolierte Wurzeln differenzierte sich gleich zu Anfang der Versuche und erforderte Versuchsanstellungen, bei denen die Wurzeln mit dem Hypocotylteil verwendet wurden und solche, bei denen er fehlte. Dadurch entstanden vier Parallelversuche:

- | | |
|----|--|
| 1. | Gleichlange Wurzeln mit Hypocotyl im Licht |
| 2. | Dunkel |
| 3. | ohne Licht |
| 4. | Dunkel |

Nach einem Zeitraum von 8 oder 14 Tagen wurden die Versuche abgebrochen und die ursprünglich 5, 4 und 3 cm langen Wurzeln wieder gemessen, ihre Zuwachswerte,¹ Wachstums-

¹ Zuwachswert = Längendifferenz zwischen 1. und 2. Wurzelmessung.

intensitäten¹ und Nebenwurzelbildung bestimmt und zum Zwecke übersichtlicher Vergleichszahlen ihre Durchschnittswerte berechnet. Die Mittelwerte des Zuwachses und der Wachstumsintensität wurden

nach der bekannten Formel $M = \frac{\varepsilon L}{\varepsilon N}$ berechnet, wobei $\varepsilon L =$ Summe

der Wurzellängen und $\varepsilon N =$ Summe der Zahl der Versuchswurzeln, während sich für die Ermittlung einer Wertungszahl der Nebenwurzelbildung am geeignetsten die Formel $W_n = \varepsilon L_n \sqrt{\varepsilon N}$ erwies, welche zwar keine exakte Berechnung darstellt, aber immerhin als Vergleichszahl übersichtlichen Ausdruck gibt für die Längen und die Zahl der gebildeten Nebenwurzeln innerhalb der verschiedenen Versuchsreihen. Bei Aufstellung der Versuche hatten die ausgewählten Wurzeln noch keine Nebenwurzeln gebildet.

Das gesamte Versuchsmaterial bestand aus 1608 *Phaseolus*-Wurzeln, von denen einige während der Versuchszeit zugrunde gingen und deshalb nicht berücksichtigt werden konnten, andere kamen bei besonders günstigem Wachstum mit dem Wasser der Versuchsgefäße in Berührung und wurden bei der Berechnung der Resultate ausgeschaltet, so daß tatsächlich nur 1316 Wurzeln zur Gewinnung der endgültigen Ergebnisse verwendet wurden.

Versuchsergebnisse.

I. Die Wachstumsverhältnisse abgeschnittener *Phaseolus*-Wurzeln und deren Beeinflussung durch Belichtung und Verdunkelung.

Die Versuche wurden in der Zeit von Anfang Juni 1929 bis Ende September 1930 durchgeführt. Die Resultate beziehen sich vorläufig nur auf die Hauptwurzeln, welche teils mit Hypocotyl, teils ohne Hypocotyl verwendet wurden und bei Aufstellung der Versuche die Längen von 5, 4 und 3 *cm* hatten. Bei drei Versuchsreihen wurden auch 2 *cm* lange Wurzeln benützt. Schon nach 1 bis 2 Tagen bemerkt man mit freiem Auge bei den in feuchtem Raume aufgehängten Wurzelteilen ein Wachstum, das in den belichteten Kulturen stärker hervortritt als in den verdunkelten. Die zweiten Messungen wurden nach einer 8- oder 14-tägigen Wachstumsperiode vorgenommen, da für eine längere Versuchszeit die Lebensdauer der abgeschnittenen Wurzeln nicht ausreichte. Innerhalb jeder der vier Versuchsserien — welche in die schon früher genannten vier Parallelversuche zerfallen — zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den im Tageslicht gewachsenen Wurzeln und denen der parallelen Dunkelkultur, der sich prozentuell berechnet² folgendermaßen ausdrücken läßt:

¹ Wachstumsintensität = Quotient aus der Wurzellänge der Messung dividiert durch die ursprüngliche Länge.

² Bei den Berechnungen dieses Abschnittes sind auch die Resultate der 2 *cm* langen Wurzeln miteinbezogen.

Von 367 im Dunkeln gewachsenen hypocotylosen Wurzeln erreichten 79 Wurzeln größere Durchschnittswerte an Länge und Wachstumsintensität als die der gleichzeitig im Licht kultivierten, das sind $21 \cdot 5\%$, während von den 368 im Licht gezogenen Wurzeln 289 im Durchschnitt größeren Zuwachs und 299 größere Wachstumsintensität hatten als die im parallelen Dunkelversuch, das sind also $78 \cdot 5\%$, beziehungsweise $81 \cdot 3\%$. Von 274 Wurzeln mit Hypocotyl in der Dunkelkultur waren 78 Wurzeln = $28 \cdot 5\%$ im Zuwachs, 73 Wurzeln = $26 \cdot 6\%$ in der Wachstumsintensität durchschnittlich gefördert gegenüber der Lichtkultur. Dagegen erreichten von 307 im Licht gewachsenen Wurzeln 206 = $67 \cdot 1\%$ sowohl größeren Zuwachs als auch größere Wachstumsintensität im Vergleich zu den im Dunkeln gezogenen.

Aus diesen Zahlen läßt sich eine deutliche Tendenz der Wachstumsförderung im Lichte erkennen, die bei den hypocotylosen Wurzeln stärker ausgeprägt ist (= $78 \cdot 5\%$!) als bei den hypocotylbesitzenden (= $67 \cdot 1\%$!).

Während in der Dunkelkultur bei den Wurzeln mit Hypocotyl eine Steigerung der Zuwächse und Wachstumsintensität eintritt (= $26 \cdot 0\%$ gegen $21 \cdot 5\%$ bei den hypocotylosen), entsteht eine gewisse Annäherung zwischen den Werten des Licht- und Dunkelwachstums, da die perzentuellen Zahlen für die Lichtkultur bei den Wurzeln mit Hypocotyl niedriger sind (= $67 \cdot 1\%$ gegen $78 \cdot 5$ und $81 \cdot 3\%$ bei den hypocotylosen).

In bezug auf die absolute Größe der Zuwächse und Wachstumsintensitäten sind die Wurzeln mit Hypocotyl im Vorteil gegenüber den hypocotylosen, denn die durchschnittliche Berechnung der Zuwächse ergibt:

für die Wurzeln	ohne Hypocotyl	im Licht	$2 \cdot 75 \text{ cm}$	} + $0 \cdot 50 \text{ cm}$ = Differenz
	mit		$3 \cdot 25$	
	ohne	Dunkel	$2 \cdot 29$	} + $0 \cdot 75 \text{ cm}$ = Differenz
	mit		$3 \cdot 04$	

Die Differenz beträgt im Licht $0 \cdot 50 \text{ cm}$, im Dunkel $0 \cdot 75 \text{ cm}$, wodurch die Wurzeln mit Hypocotyl als die besser wachsenden erscheinen.

Vergleicht man aber die Zuwächse der Licht- und Dunkelwurzeln ohne Hypocotyl miteinander und die der Licht- und Dunkelwurzeln mit Hypocotyl, so zeigen die Wurzeln ohne Hypocotyl im Lichte einen um $0 \cdot 46 \text{ cm}$ größeren durchschnittlichen Zuwachs als ihre gleiche Art im Dunkel und die Wurzeln mit Hypocotyl in der Lichtkultur um $0 \cdot 21 \text{ cm}$ Zuwachs mehr als die in der Dunkelkultur.

Wurzeln ohne Hypocotyl	im Licht	$2 \cdot 75 \text{ cm}$	} + $0 \cdot 46 \text{ cm}$ = Differenz
	Dunkel	$2 \cdot 29$	
mit	Licht	$3 \cdot 25$	} + $0 \cdot 21 \text{ cm}$ = Differenz
	Dunkel	$3 \cdot 04$	

In paralleler Weise verhalten sich die absoluten Werte ihrer Wachstumsintensität.

Die durchschnittliche Berechnung der Wachstumsintensitäten beträgt:

Für die Wurzeln	ohne Hypocotyl im Licht	1·79	} + 0·12 = Differenz
	mit	1·91	
	ohne Dunkel	1·67	} + 0·17 = Differenz
	mit	1·84	

Die hypocotylosen Wurzeln haben in der Lichtkultur eine um 0·12 größere durchschnittliche Wachstumsintensität als in der Dunkelkultur und die im Licht gewachsenen Wurzeln mit Hypocotyl eine um 0·07 größere Wachstumsintensität als die im Dunkel gewachsenen.

Allgemein betrachtet ergibt sich die Tatsache, daß das Wachstum abgeschnittener Wurzeln von *Phaseolus coccineus* unter dem Einflusse des Lichtes stärker gefördert wird als im Dunkeln und daß sich diese Lichtreaktion bei den hypocotylosen Wurzeln etwas stärker auswirkt als bei den hypocotylbesitzenden Wurzelteilen.

II. Über das Verhältnis der Zuwachswerte und Wachstumsintensitäten in bezug auf die verschiedenen ursprünglichen Wurzellängen.

(Tabelle I und II.)

Bei den Versuchen, welche durchwegs mit den gleichen drei Wurzellängen von 5, 4 und 3 cm gemacht wurden, zeigte sich für jede Länge ein spezifisches Verhalten, das hier näher besprochen werden soll. Für die Wurzeln ohne Hypocotyl wurden die Keimlinge so ausgewählt, daß man die gewünschten Längen von 5, 4 und 3 cm erreichte, wenn knapp hinter dem Hypocotyl abgeschnitten wurde. Die Wurzeln mit Hypocotyl betrug auch 5, 4 und 3 cm, wobei etwa 1 cm Hypocotyllänge mit eingeschlossen war. Wie schon eingangs erwähnt, konnten kleine Varianten der Hypocotyllänge nicht berücksichtigt werden, schon deshalb nicht, weil der Übergang zum Wurzelteil nicht immer sicher mit freiem Auge auf Millimetergenauigkeit festgestellt werden kann. Es hatte sich übrigens bei anfänglich angestellten Versuchen, bei denen auf die Genauigkeit der Hypocotyllänge besondere Rücksicht genommen wurde, gezeigt, daß die Differenz weniger Millimeter bei der Hypocotyllänge keinen ausschlaggebenden Einfluß übt auf das Längenwachstum der Wurzeln, so daß dieser geringe Unterschied später nicht mehr berücksichtigt wurde. Der Hypocotylteil als solcher zeigte während der 14 tägigen Versuchsdauer überhaupt kein meßbares Eigenwachstum. Die Verlängerung der abgeschnittenen Wurzeln kommt lediglich im Wurzelteil zustande.

Tabelle I.

Zuwachs der 5 cm langen Wurzeln ohne Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L^1$	$L > D^1$
1	6	2.32	6	2.90	—	0.58
2	10	3.22	7	2.53	0.69	—
3	9	1.53	9	4.06	—	2.53
9	8	1.21	7	3.03	—	1.82
10	10	1.60	8	2.24	—	0.64
11	10	1.08	10	1.89	—	0.81
12	9	2.29	9	2.90	—	0.61
13	10	1.36	10	2.12	—	0.76
17	10	2.32	10	2.32	—	—
19	9	3.40	3	2.63	0.77	—
20	10	1.89	10	1.73	0.16	—
21	4	4.48	2	4.20	0.28	—
105		26.70	91	32.55	1.90	7.75
Enddurchschn.-Werte..				2.71		

Zuwachs der 4 cm langen Wurzeln ohne Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L^1$	$L > D^1$
1	6	2.42	5	2.68	—	0.26
2	10	2.13	10	2.68	—	0.55
3	8	1.31	10	3.31	—	2.00
5	9	3.11	10	4.50	—	1.39
10	10	2.07	10	2.27	—	0.20
11	9	0.80	9	2.67	—	1.87
12	10	2.61	9	2.71	—	0.10
13	6	1.25	10	1.54	—	0.29
17	9	2.84	10	1.81	1.03	—
19	9	3.83	10	2.05	1.78	—
20	8	0.88	10	1.55	—	0.67
21	10	4.61	9	3.62	0.99	—
104		27.86	112	31.39	3.80	7.33
Enddurchschn.-Werte.....		2.32		2.62		

¹ Der Ausdruck $D > L$ bedeutet die Längendifferenz zwischen den durchschnittlichen Zuwächsen der Wurzeln im Dunkel (D) und im Licht (L).
($>$ = größer als.)

Fortsetzung der Tabelle I.

Zuwachs der 3 cm langen Wurzeln ohne Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L$	$L \geq D$
1	6	1·88	6	2·10	—	0·22
2	10	2·06	10	2·88	—	0·82
3	9	1·61	9	2·59	—	0·98
4	10	2·96	10	4·11	—	1·15
6	8	2·11	10	4·08	—	1·97
7	9	2·31	10	2·91	—	0·60
9	6	0·95	9	2·24	—	1·29
10	9	1·60	10	2·45	—	0·85
11	9	0·90	10	2·25	—	1·35
12	9	1·56	7	2·83	—	1·27
13	6	0·68	6	1·52	—	0·84
17	8	3·30	8	1·58	1·72	—
19	10	4·27	10	2·84	1·43	—
20	9	2·24	10	2·84	—	0·60
21	10	4·00	10	4·18	—	0·18
128		32·43	135	41·40	3·15	12·12
Enddurchschn.- Werte...		2·16		2·76		

¹ Der Ausdruck » $D > L$ « bedeutet die Längendifferenz zwischen den durchschnittlichen Zuwächsen der Wurzeln im Dunkel (D) und im Licht (L). ($>$ = größer als.)

Tabelle II.

Zuwachs der 5 cm langen Wurzeln mit Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L$	$L > D$
1	2	1·65	3	2·03	—	0·38
2	4	3·75	4	3·28	0·47	—
10	9	1·57	9	2·14	—	0·57
11	10	1·82	9	2·04	—	0·22
12	10	2·17	8	2·14	0·03	—
14	4	2·60	8	2·34	0·26	—
15	10	2·19	6	3·35	—	1·16
16	8	2·14	10	3·09	—	0·95
18	9	2·97	10	2·45	0·52	—
20	4	3·65	1	2·10	1·55	—
21	4	3·85	4	2·70	1·15	—
74		28·36	72	27·66	3·98	3·28
Enddurchschn.- Wert.....		2·58		2·51		

(Fortsetzung der Tabelle II.)

Zuwachs der 4 cm langen Wurzeln mit Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L$	$L > D$
1	1	5·30	6	3·47	1·83	—
2	4	3·98	5	3·62	0·36	—
5	4	2·25	3	3·63	—	1·38
10	10	1·61	10	2·59	—	0·98
11	9	2·13	9	2·38	—	0·25
12	7	2·24	9	1·98	0·26	—
14	9	2·78	5	2·82	—	0·04
15	7	2·27	7	3·41	—	1·14
16	8	1·73	9	3·08	—	1·35
18	9	3·58	10	3·92	—	0·34
19	6	3·23	9	2·99	0·24	—
20	5	3·88	9	3·26	0·62	—
21	3	3·97	7	3·37	0·60	—
82		38·95	98	40·52	3·91	5·46
Enddurchschn.-Wert.....		3·00		3·12		

Zuwachs der 3 cm langen Wurzeln mit Hypocotyl.

Prot.-Nr.	Zahl der Dunkelw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Dunkel	Zahl der Lichtw.	Durchschnittlicher Zuwachs im Licht	$D > L$	$L > D$
1	5	4·44	6	5·13	—	0·69
2	5	4·90	7	3·20	1·70	—
4	8	4·65	9	5·62	—	0·97
6	5	4·36	5	3·88	0·48	—
7	7	3·46	8	5·68	—	2·22
8	7	5·80	8	6·29	—	0·49
10	10	1·47	10	1·94	—	0·47
11	10	1·65	10	2·38	—	0·73
12	3	0·70	10	3·11	—	2·41
14	8	3·03	8	4·14	—	1·11
15	9	3·18	7	3·44	—	0·26
16	8	2·63	10	3·22	—	0·59
18	8	2·49	10	3·09	—	0·60
19	10	3·31	10	3·49	—	0·18
20	7	4·80	9	3·77	1·03	—
21	8	3·24	10	3·46	—	0·22
118		54·11	137	61·84	3·21	10·94
Enddurchschn.-Wert..		3·38		3·87		

Vergleicht man nun das Verhalten der 5, 4 und 3 *cm* langen Wurzeln miteinander, so sieht man, daß im allgemeinen die ursprünglich längsten Wurzeln (5 *cm*) die geringeren Zuwächse haben, die ursprünglich kürzesten (3 *cm*) die größeren. Die Wachstumsintensitäten verhalten sich ebenso, indem den 5 *cm* langen Wurzeln die geringste, den 3 *cm* langen Wurzeln die größte Wachstumsintensität zukommt.

Die Förderung des Wachstums findet bei Belichtung statt. Bei den Wurzeln ohne Hypocotyl sind die Zuwächse und Wachstumsintensitäten der 5 *cm* langen Wurzeln bei 64·8% beziehungsweise von 75·8% der verwendeten 91 Stücke größer im Licht als im Dunkel. Bei den 4 *cm* langen Wurzeln sind es 74·1% von 112 und bei den 3 *cm* langen Wurzeln sind es 86·7% von 135 untersuchten Wurzeln.

Bei den Wurzeln mit Hypocotyl sind die Zuwächse und Wachstumsintensitäten von 72 untersuchten 5 *cm* langen Wurzeln bei 51·4% größer in der Licht- als in der Dunkelkultur, von 98 4 *cm* langen Wurzeln 54·1% und von 137 3 *cm* langen Wurzeln 84·7%.

Die kurzen hypocotyllosen Wurzeln zeigen den deutlichsten Einfluß der Belichtung auf die Wachstumsreaktion, während bei den Wurzeln mit Hypocotyl die Förderung im Lichte nicht so ausgeprägt ist und ihre Wachstumsverhältnisse im Licht und Dunkeln angleichender erscheinen.

Der Durchschnitt der absoluten Zuwachslängen der Wurzeln ohne Hypocotyl beträgt in der Lichtkultur:

von 91	5 <i>cm</i> langen Wurzeln	2·71 <i>cm</i>
112	4	2·62
135	3	2·76

in der Dunkelkultur:

von 105	5 <i>cm</i> langen Wurzeln	2·23 <i>cm</i>
104	4	2·32
128	3	2·16

Der durchschnittliche Zuwachs der Wurzeln mit Hypocotyl erreicht in der Lichtkultur:

von 72	5 <i>cm</i> langen Wurzeln	2·51 <i>cm</i>
98	4	3·12
137	3	3·87

In der Dunkelkultur:

von 74	5 <i>cm</i> langen Wurzeln	2·58 <i>cm</i>
82	4	3·00
118	3	3·38

Aus diesen Zahlen ergibt sich die Tatsache, daß der absolute Längenzuwachs abgeschnitten kultivierter Wurzeln von *Phaseolus coccineus* sowohl im Lichte als im Dunkel im allgemeinen um so größer ist, je kürzer die ursprüngliche Versuchswurzel war, d. h. die Zuwachswerte sind den Wurzellängen des Ausgangsmaterials verkehrt proportional.

In gleicher Weise verhält es sich mit den Wachstumsintensitäten.

Ihr Durchschnittswert bei den Wurzeln ohne Hypocotyl beträgt in der Lichtkultur:

von 91	5 cm langen Wurzeln	1 55
112	4	1·68
135	3	1·91

in der Dunkelkultur:

von 105	5 cm langen Wurzeln	1·45
104	4	1·61
128	3	1·71

Ihr Durchschnittswert bei den Wurzeln mit Hypocotyl beträgt in der Lichtkultur:

von 72	5 cm langen Wurzeln	1·51
98	4	1·79
137	3	2·30

in der Dunkelkultur:

von 74	5 cm langen Wurzeln	1·52
82	4	1·77
118	3	2·12

Sowohl bei den Kulturen der hypocotyllosen als bei denen der hypocotylbesitzenden Wurzeln nimmt die Wachstumsintensität der Wurzeln zu, je kleiner die ursprüngliche Wurzellänge war. Es verhält sich daher die Wachstumsintensität abgeschnittener *Phaseolus*-Wurzeln zu den Wurzellängen des Ausgangsmaterials verkehrt proportional.

Die Angabe von Robbins und Maneval (9), nach welcher die ursprünglichen Längen abgeschnittener Wurzeln, die in ihren Versuchen zwischen 0·35 bis 6·0 cm schwankten, keinen Einfluß auf das Resultat des Wachstums und der Lebensdauer übten, stimmt mit den Ergebnissen meiner Untersuchungen in keiner Weise überein.

Die einzelnen Versuchsprotokolle können hier wegen Raum-mangels nicht ausführlich wiedergegeben werden, aus den Tabellen I und II sind nur die ausgerechneten Durchschnittswerte der Zuwächse zu ersehen und die Durchschnittsdifferenzen zwischen den Wurzeln der Licht- und Dunkelkulturen gleicher Versuchsserien.

Problematisch ist die Frage nach dem Zustandekommen der das Wurzelwachstum begünstigenden Lichtwirkung. Da es sich um keine normale Assimilation handelt, wenn den Versuchswurzeln das Hypocotyl fehlt und sie nicht ergrünen, so kann der Einfluß des Lichtes wohl nur als Reiz aufgefaßt werden, welcher einer erhöhten Wachstumstätigkeit der Wurzelzellen günstig ist.

III. Die Nebenwurzelbildung im Licht und Dunkeln bei isolierten Phaseolus-Wurzeln.

Die Beobachtung der Nebenwurzelbildung wurde an einem Teil des gleichen Materials der bereits besprochenen Versuchsreihen vorgenommen, während einer Versuchsdauer von 14 Tagen. Bei den in Tabelle III wiedergegebenen Durchschnittszahlen handelt es sich um Längenmessungen jeder einzelnen Nebenwurzel und um deren Zählung. Von je 10 gleichlangen Hauptwurzeln wurden Anzahl und Längen aller Nebenwurzeln addiert und, um einfachere Vergleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Gruppen zu schaffen, wurden Wertungszahlen jeder Gruppe berechnet mittels der Formel $W_n = \epsilon L_n \sqrt{\epsilon N}$, d. h. man erhält die Wertungszahl, wenn man die Summe der Wurzellängen mit der Quadratwurzel aus der Summe der Anzahl der Nebenwurzeln multipliziert. Die gewöhnliche Durchschnittsrechnung zur Ermittlung des Mittelwertes konnte hier nicht angewendet werden, da nicht nur die Längen, sondern auch die Zahl der Nebenwurzeln variiert. Wie schon eingangs erwähnt, hatten die Wurzeln bei Beginn der einzelnen Versuche noch keine Nebenwurzeln gebildet. Im ganzen dienten 720 abgeschnittene Hauptwurzeln als Versuchsmaterial. Die hier benützten Wertungszahlen lassen sich inhaltlich mit den Zuwachswerten der früheren Untersuchungen vergleichen, nicht mit den Wachstumsintensitäten.

Das Verhalten der Nebenwurzelbildung an den ursprünglich verschieden langen Hauptwurzeln ist fast durchaus einheitlich: Sowohl bei den 5 cm langen als bei den 4 und 3 cm langen Hauptwurzeln ist die Bildung der Nebenwurzeln im Dunkeln eine größere als im Lichte, dies gilt in beiden Fällen: für die hypocotylosen Wurzelteile und auch für die Wurzeln, bei denen das Hypocotyl vorhanden ist. Bei den Durchschnittswerten der einzelnen Gruppen läßt sich eine aufsteigende Reihe von Zahlenwerten der Nebenwurzelbildung regelmäßig erkennen, die bei den hypocotylosen Lichtwurzeln am niedrigsten ist, über die Gruppen der hypocotylosen Dunkelwurzeln und den hypocotylbesitzenden Lichtwurzeln ansteigt und ihren höchsten Wert bei der Gruppe der hypocotylbesitzenden Dunkelwurzeln erreicht.

Tabelle III.
Wertungszahlen der Nebenwurzelbildung.¹

Prot.-Nr.	Versuchsdatum	Länge d. Hauptwurzeln	Anzahl d. Hauptwurzeln	Hauptw. ohne Hypocotyl Licht	Hauptw. ohne Hypocotyl Dunkel	Hauptw. mit Hypocotyl Licht	Hauptw. mit Hypocotyl Dunkel
10	20. I. bis 3. II.	5 cm	40	7·2	24·0	54·9	68·6
11	24. I. 7. II.	5	40	0·0	0·0	9·0	43·2
12	1. II. 15. II.	5	40	4·6	5·6	96·6	129·0
19	27. VIII. » 10. IX.	5	40	1·4	2·2	43·5	962·8
20	4. IX. 18. IX.	5	40	0·0	0·0	38·6	198·4
21	12. IX. » 26. IX.	5	40	0·1	3·2	105·3	466·2
Enddurchschn. Werte				2·2	5·8	58·0	311·4

Prot.-Nr.	Versuchsdatum	Länge d. Hauptwurzeln	Anzahl d. Hauptwurzeln	Hauptw. ohne Hypocotyl Licht	Hauptw. ohne Hypocotyl Dunkel	Hauptw. mit Hypocotyl Licht	Hauptw. mit Hypocotyl Dunkel
10	20. I. bis 3. II.	4 cm	40	6·3	24·0	15·8	37·0
11	24. I. 7. II.	4	40	2·9	8·9	15·5	19·4
12	1. II. 15. II.	4	40	0·0	0·0	34·4	53·8
19	27. VIII. » 10. IX.	4	40	0·0	6·0	35·2	479·3
20	4. IX. 18. IX.	4	40	2·4	0·0	7·1	215·6
21	12. IX. » 26. IX.	4	40	2·4	0·0	45·8	173·0
Enddurchschn. Werte . . .				2·3	6·5	25·6	163·7

Prot.-Nr.	Versuchsdatum	Länge d. Hauptwurzeln	Anzahl d. Hauptwurzeln	Hauptw. ohne Hypocotyl Licht	Hauptw. ohne Hypocotyl Dunkel	Hauptw. mit Hypocotyl Licht	Hauptw. mit Hypocotyl Dunkel
10	20. I. bis 3. II.	3 cm	40	5·3	24·0	12·5	17·7
11	24. I. 7. II.	3	40	0·0	0·0	0·0	0·0
12	1. II. 15. II.	3	40	0·2	0·2	0·2	6·0
19	27. VIII. » 10. IX.	3	40	0·0	0·0	40·4	351·1
20	4. IX. 18. IX.	3	40	3·2	1·5	5·6	146·3
21	12. IX. 26. IX.	3	40	0·9	6·3	2·9	142·6
Enddurchschn. Werte . . .				1·6	5·3	10·3	110·6

¹ Die einzelnen Zahlen in den Rubriken drücken die mittleren Wertungszahlen aller Nebenwurzelbildungen von je 10 Hauptwurzeln aus.

Die durchschnittlichen Wertungszahlen der Nebenwurzelbildung betragen:

	bei den 5 <i>cm</i> langen Hauptw.	bei den 4 <i>cm</i> langen Hauptw.	bei den 3 <i>cm</i> langen Hauptw.
ohne Hypocotyl, Lichtkultur ..	2·2	2·3	1·6
ohne Hypocotyl, Dunkelkultur ..	5·8	6·5	5·3
mit Hypocotyl, Lichtkultur ..	58·0	25·6	10·3
mit Hypocotyl, Dunkelkultur ..	311·4 ↓	163·7 ↓	110·6 ↓

Die absoluten Zahlen des Wertungsausdruckes sind bei den 5 *cm* langen Hauptwurzeln mit Hypocotyl in der Licht- und Dunkelkultur am größten, bei denselben Gruppen der 3 *cm* langen am kleinsten, und bei diesen der 4 *cm* langen Wurzeln halten sie die Mitte. Dies Verhalten ist der Größe der Zuwachswerte bei den Hauptwurzeln entgegengesetzt, indem hier die ursprünglich kürzesten Wurzeln die größten durchschnittlichen Zuwachswerte und die ursprünglich längsten die kleinsten haben. Während die abgeschnittenen Hauptwurzeln in fast allen untersuchten Fällen eine merkliche Tendenz zur Förderung ihres Eigenwachstums durch Belichtung zeigen, tritt für das Wachstum ihrer Nebenwurzeln die umgekehrte Wirkung auf, indem diese ihr bestes Wachstum bei ständiger Verdunkelung erfahren und damit in gewissem Sinne ein analoges Verhalten zu dem bisher allgemein bekannten Wurzelwachstum intakter Pflanzen erkennen lassen.

Anhangsweise wurden auch einige Versuche mit abgeschnittenen Wurzeln anderer Pflanzen gemacht. Sie können nicht als endgültige Untersuchungen aufgefaßt werden, da von jeder Pflanze nur je 60 Wurzeln gemessen wurden. Als Arbeitsmethode wurde die gleiche verwendet wie bei den *Phaseolus*-Wurzeln. Es zeigten sich aber im Verhalten der Wurzeln von *Soja hispida*, *Vicia Faba* und *Pisum sativum* Unterschiede, die, abgesehen von der geringen Zahl des Versuchsmaterials, sehr eindeutig waren.

Die Meßresultate bei *Soja*-Wurzeln ließen eine einheitliche Wachstumsförderung der belichteten Hauptwurzeln gegenüber den im Dunkeln gehaltenen erkennen, die sich sowohl in den Zuwachswerten als in den Wachstumsintensitäten ausdrückt. Ebenso ist das Verhalten der Nebenwurzelbildung, welche im Dunkel gefördert wird, dem bei den *Phaseolus*-Wurzeln analog.

Gerade entgegengesetzt erscheint das Verhalten der abgeschnittenen kultivierten Wurzeln von *Vicia Faba* und *Pisum sativum*. Denn bei diesen Versuchen zeigte sich eine Wachstumsförderung der Hauptwurzeln im Dunkeln und nicht im Lichte, wie es bei *Phaseolus coccineus* und Soja-Wurzeln der Fall war.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend ergeben die bisherigen Untersuchungen folgende Resultate:

I. Abgeschnittene Wurzeln von *Phaseolus coccineus* verhalten sich in ihrer Wachstumsreaktion in bezug auf Licht und Dunkel anders als Wurzeln, welche mit der ganzen Pflanze im Zusammenhang stehen; sie zeigen im feuchten Raume bei Belichtung die Tendenz einer Wachstumsförderung gegenüber solchen, die im Dunkeln kultiviert werden. Die Wirkung des Lichtes tritt bei den Wurzeln ohne Hypocotyl deutlicher hervor als bei den Wurzeln mit Hypocotyl.

II. Zwischen den ursprünglich 5, 4 und 3 *cm* langen Wurzeln entstehen Unterschiede im Wachstum, indem die längsten die geringsten Zuwächse und Wachstumsintensitäten, die kürzesten die größten besitzen.

III. Die Anwesenheit des Hypocotyls bedingt allgemein größere Zuwachswerte und größere Wachstumsintensitäten der Wurzeln als dies unter gleichen Voraussetzungen bei hypocotyllosen Wurzelteilen der Fall ist. Das mit der Wurzel abgeschnittene Hypocotyl zeigt kein meßbares Eigenwachstum, es beteiligt sich nur indirekt an dem Wurzelwachstum, indem seine Reservestoffe und im Lichte wohl auch seine Assimilationsprodukte zum Ernährungskapital der Wurzel einen Beitrag liefern. Im Lichte ergrünt das Hypocotyl, aber nicht der Wurzelteil.

IV. Die für die Nebenwurzeln ermittelten Wertungszahlen verhalten sich zur Größe der Zuwachswerte der Hauptwurzel gewissermaßen entgegengesetzt, da sie fast immer bei den 5 *cm* langen Hauptwurzeln höher sind als bei den 3 *cm* langen Hauptwurzeln und ihr Wachstum durch Dunkelheit gefördert wird. Das Wachstum der Nebenwurzeln von isolierten Hauptwurzeln verhält sich demnach wie das bisher im allgemeinen von intakten Wurzelsystemen bekannte. Die korrelativen Erscheinungen zwischen Haupt- und Nebenwurzeln zeigen sich auch bei abgeschnittenen Wurzeln, indem bei stärkerer Entwicklung der Nebenwurzelmasse die Hauptwurzel im Wachstum zurückbleibt.

V. Nach Vorversuchen mit isolierten Wurzeln von *Soja hispida*, *Vicia Faba* und *Pisum sativum* scheinen sich die Wurzeln von *Soja* in bezug auf Licht und Dunkel analog wie die *Phaseolus*-Wurzel zu verhalten, die von *Vicia Faba* und *Pisum* aber entgegengesetzt.

Literatur.

1. Berinsohn H. W., »The influence of light on the cell increase in the roots of *Allium Cepa*«. Kon. Akad. Wet., Amsterdam Proc. 1919/20, 22, p. 457 bis 461.
Devaux H., »Action de la lumiere sur les racines«. Bull. Soc. Bot. de France, 1888, 35, p. 305—308.
 3. Gurwitsch Alexander, »Über Ursachen der Zellteilung«. Arch. f. Entwicklungsmechanik, 1922, 52, p. 171.
 4. — »Das Problem der Zellteilung«. Berlin, Julius Springer, 1926, p. 20.
 5. Kotte W., »Kulturversuche mit isolierten Wurzeln«. Beitr. z. allgem. Bot., 1922, 2, p. 413—434.
 6. Probst Sigm., »Über den Einfluß einer Sproßbelichtung auf das Wurzelwachstum und denjenigen einer Wurzelbelichtung auf das Sproßwachstum«. Planta, 1927, p. 651—709.
 7. Robbins W. J., »Cultivation of excised root tips and stem tips under sterile conditions«. Bot. Gaz., 1922, 73, p. 376—390.
 8. — »Effect of autolized yeast and peptone on growth of excised root tips in the dark«. Bot. Gaz., 1922, 74, p. 59—79.
 9. — and Maneval W. E., »Further experiments on growth of excised root tips under sterile conditions«. Bot. Gaz., 1923, 76, p. 274—287.
 10. — — »Effect of light on growth of excised root tips under sterile conditions«. Bot. Gaz., 1924, 78, p. 424—432.
 11. Sachs Julius, »Über den Einfluß des Tageslichtes auf Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane«. Gesam. Abhandl. über Pflanzen-Phys., 1892, I, p. 184 u. 187.
 12. Turner T. W., »Studies of the mechanism of the physiological effects of certain mineral salts in altering the ratio of top growth to root growth in seed plants«. Am. Journ. of Bot., 1922, 9, p. 415—446.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften
mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1931

Band/Volume: [140](#)

Autor(en)/Author(s): Felber-Pisk Irma

Artikel/Article: [Über das Wachstum isolierter Wurzeln. 67-82](#)