Untersuchungen über Polarität bei Pflanzen.

Von **Yella Freund.**

Aus der Biologischen Versuchsanstalt in Wien.

Vöchting[1]) hat an Zweigen von Weiden und anderen holzigen Pflanzen, aber auch an einigen krautigen Gewächsen, Regenerationsversuche gemacht und gefunden, daß überall eine Polarität der Wurzel- und Sproßbildung vorhanden ist, die besonders bei jungen Zweigstücken deutlich hervortritt. — Von äußeren Bedingungen war es vor allem der Wasserkontakt, der die Wurzelbildung förderte, während sie durch trockene Luft gehemmt wurde. Kontakt mit festen Körpern scheint ohne Einfluß, wirksam soll nur die zwischen den Sandpartikelchen vorhandene Feuchtigkeit sein. Dunkelheit begünstigt die Wurzelbildung. Auch die Schwerkraft ist von deutlichem Einfluß: wirkt sie mit der Polarität gleichsinnig, so wird die Wurzelbildung begünstigt, bei entgegengesetzter Einwirkung wird sie gehemmt. Bei verkehrt stehenden Stecklingen nehmen die Wurzeln meist einen größeren Teil des Stecklings ein als bei normalen.

Klebs[2]) konstatierte an Versuchen mit Salix alba vitellina pendula, daß durch Wasserkontakt an beliebigen Stellen Wurzelbildung hervorgerufen werden könne. Vöchting[3]) stimmt dem bei, betont aber, daß die Wurzelbildung abhängig sei vom Orte der Entstehung: je weiter die wurzelbildende Stelle vom Wurzelpol entfernt ist, desto kürzer und weniger zahlreich sind die Wurzeln. In einem Fall, bei Salix elegantissima[4]), wurde durch direkten Wasserkontakt die Wurzelbildung gehemmt, Kontakt mit feuchtem Sand begünstigte sie — ein Versuchsergebnis, das von den übrigen abweicht.

Goebel[5]) bespricht die Polaritätserscheinungen an Blättern, Wurzeln, Zweigen, Rhizomstücken höherer Pflanzen, ferner an Farnprothallien und an Moosen.

---

1) Vöchting, H., Über Organbildung im Pflanzenreiche, I. Teil, pag. 23 ff., 1878.

2) Klebs, G., Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen, pag. 96.

3) Vöchting, H., Uber Regeneration und Polarität bei höheren Pflanzen. Botanische Zeitung 1906, H. VI—VIII.

4) Ders., l. c. 1906, pag. 116.

5) Goebel, K., Organographie der Pflanzen, 1898, pag. 35 ff. und Einleitung in die experimentelle Morphologie, 1908, pag. 218 ff.

Er schreibt die Hauptwirkung beim Zustandekommen der Polarität den veränderten Ernährungsverhältnissen zu und meint, daß die Schwerkraft hierbei nur in geringem Maße beteiligt sei.

Küster[1]) fand in seinen Versuchen über Polarität, daß Sauerstoffmangel einen hemmenden Einfluß auf die Ausbildung von Kallus und Wurzeln an Zweigstücken ausübt. Über den Ort der Wurzelbildung unter verschiedenen äußeren Bedingungen machte er Versuche mit Ribes. An Stecklingen dieser Pflanze, die in seinen Versuchen am basalen Ende von Wasser umgeben waren, während der übrige Teil sich in feuchter Luft befand, rückte die Wurzelbildung bis gegen den Sproßpol hinauf. Salix pentandra und S. vitellina pendula in Wasserkultur bringen in der Nähe der Wasseroberfläche die ersten und meisten Wurzeln hervor. Die Kallusbildung wird an dem Ende, das sich in feuchter Luft befindet, begünstigt. Andere Versuche Küsters zeigten, daß das Zentrifugieren auf die Wurzelbildung einen hemmenden Einfluß ausübt.

Im Anschluß an die erwähnten Versuche obiger Autoren habe ich gleichfalls Untersuchungen über die Beeinflussung der Polarität durch äußere Faktoren angestellt, wobei besonders die Wurzelbildung berücksichtigt wurde. Zur Verwendung gelangten die Hypokotyle (bei Phaseolus multiflorus Epikotyle) von jungen Keimpflanzen krautiger Gewächse, mit welchen meines Wissens noch keine ausführlicheren Versuche vorliegen[2]). Die Hypokotyle meiner Versuchspflanzen bieten in diesem Stadium manche Vorteile: Es waren hier wohl noch gar keine Wurzelanlagen vorhanden, so daß alle Wurzeln, die zur Entwicklung gelangten, als Neubildungen zu betrachten waren; ferner enthalten die Hypokotyle der Keimlinge eine genügende Menge von Reservestoffen, um während längerer Zeit eine ziemlich große Anzahl von Neubildungen hervorzubringen. Von verschiedenen zur Verwendung gelangten Arten ergaben Helianthus annuus, Cucurbita Pepo, Ricinus communis, Mirabilis jalapa und Epikotyle von Phaseolus multiflorus die deutlichsten Resultate. Die Samen der

---

1) Küster, E., Beiträge zur Kenntnis der Wurzel- und Sproßbildung an Stecklingen. Jahrbücher für wissensch. Bot. 1904, XL, pag. 279.

2) Über Wurzelbildung an verletzten Keimlingen von *Vicia faba*, s. Goebel, K., l. c., 1908, pag. 175.

Von Portheim wurden Versuche über Beeinflußbarkeit der Polarität an Keimlingen von *Phaseolus vulgaris* ausgeführt, deren Resultate mit den von mir erzielten im großen und ganzen übereinstimmen. Vortrag. Zentralbl. f. Physiol., XII, Nr. 9.

genannten Pflanzen wurden, nachdem sie 24 Stunden gequollen waren, in Keimschalen auf feuchtem Filtrierpapier im Dunkeln ausgekeimt. Es wurden immer nur etiolierte Pflanzen verwendet, so daß ein eventuelles Ergrünen nur während der Versuchsanstellung eintreten konnte. Aus den Hypokotylen wurden in dem Stadium, als noch keine epikotylen Glieder entwickelt waren, Stecklinge von 6—8 cm Länge geschnitten, welche dem Teil knapp unterhalb der Nutation entnommen waren; ebenso wurden die Stecklinge aus den Epikotylen von Phaseolus multiflorus vor Entwicklung des ersten Internodiums geschnitten [1]). Diese Stecklinge wurden zum Teil in Sand-, zum Teil in Wasserkulturen beobachtet, um die eventuellen Verschiedenheiten der Wurzelentwicklung in den beiden Medien zu konstatieren. Bei den Sandkulturen wurden die Stecklinge bis zur Hälfte ihrer Länge in Gartengeschirre eingesetzt, welche mit einem Gemenge von feinem Flußsand und Holzkohle gefüllt waren. Bei den Wasserkulturen wurden sie in derselben Weise in Einsiedegläser gesteckt, die mit Hochquellwasser gefüllt und mit großmaschigem Organtin bespannt waren. Es wurden meist 20 Stecklinge verwendet, 10 aufrecht, 10 verkehrt eingesetzt. Die Kulturen wurden anfänglich im Vermehrungskasten eines Glashauses mit Oberlicht untergebracht; da sich aber bald herausstellte, daß unter diesen Umständen das Wurzelwachstum sehr gering war, mußten die Geschirre noch überdies mit Glasstürzen bedeckt werden, da im Hinblick auf die Untersuchungen Vöchting's [2]) angenommen werden konnte, daß es die geringe Luftfeuchtigkeit sei, die hemmend wirke. Tatsächlich zeigte sich, wie unten noch ausführlicher besprochen wird, im feuchten Raum ein sehr günstiger Einfluß auf das Wurzelwachstum. Die Versuche wurden alle 2—3 Tage gelüftet, die Sandkulturen bei dieser Gelegenheit gespritzt.

Die Versuchsresultate für die einzelnen Pflanzen sind in den nun folgenden Tabellen zusammengestellt. Der Übersichtlichkeit halber werden von jeder Pflanzenart nur wenige, besonders markante Versuchsreihen veröffentlicht. In den Tabellen ist verzeichnet: die Zahl der wurzelbildenden Pflanzen, Durchschnittszahl der gebildeten Wurzeln, Durchschnittslänge der Wurzeln; Zahl der Pflanzen mit Wurzelhöckern (Pusteln), Durchschnittszahl der Pusteln.

---

1) Wurden die Stecklinge aus Pflanzen genommen, deren Epikotyl schon ziemlich entwickelt war, so zeigte sich eine deutliche Hemmung in Ausbildung und Wachstum der Wurzeln, was vielleicht auf Mangel an Reservestoffen zurückzuführen ist.

2) Vöchting, H., l. c. 1878, pag. 119 ff.

Helianthus annuus, Sandkulturen [1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt												
		in trockener Atmosphäre						in feuchter Atmosphäre						
		Versuch a) 28./X. bis 23./XI. 1907						b) 16./I. bis 4./II. 1908						
			Wurzeln			Pusteln			Wurzeln			Pusteln		
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln	Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	23./XI.	9	5	0,70	3	2	4./II.	5	4	1,12	—	—
	II		2	2	0,93	—	—		—	—	—	—	—
	III		—	—	—	—	—		1	1	0,20	—	—
		B. Verkehrt eingesetzt.												
	I	11./XI.	6	6	0,13	3	5	24./I.	6	4	0,12	5	2
	II		2	2	0,27	1	2		1	3	0,12	—	—
	III		—	—	—	—	—		—	—	—	—	—
	G		1	2	0,75	—	—		—	—	—	—	—
	I	14./XI.	6	6	0,15	5	3	28./I.	10	7	0,59	2	1
	II		2	2	0,25	1	5		1	3	0,20	—	—
	III		—	—	—	—	—		—	—	—	—	—
	G		2	3	0,83	—	—		—	—	—	—	—
	I	18./XI.	6	7	0,17	5	11	1./II.	10	7	0,59	2	1
	II		3	5	0,22	3	4		1	3	0,20	—	—
	III		—	—	—	—	—		—	—	—	—	—
	G		2	3	0,94	—	—		—	—	—	—	—
Abbruchstag des Versuches	I	23./XI.	6	7	0,17	5	11	4./II.	Stecklinge zugrunde gegangen, Wurzeln nicht mehr meßbar.				
	II		3	5	0,22	3	4						
	III		—	—	—	—	—						
	G		3	3	1,10	—	—						

1) Im ganzen wurden 8 Versuchsreihen aufgestellt mit 70 Stecklingen in normaler und 70 in verkehrter Lage.

Die Buchstaben a, b usw. in den Horizontalreihen zeigen die Versuchsreihe an. Um die zahlenmäßige Darstellung der Wurzelbildung zu erleichtern, wurde die Hälfte des Stecklings vom Wurzelpol bis zur Grenze des Mediums in drei Teile geteilt, welche in der Tabelle mit I—III bezeichnet sind, wobei I bei aufrecht und verkehrt eingesetzten das dem Wurzelpol nächste Drittel bedeutet. Unter der Rubrik G sind diejenigen Wurzeln und Pusteln verzeichnet, welche sich knapp ober- oder unterhalb der Mediumsgrenze entwickelt hatten.

Helianthus annuus, Sandkulturen [1]).

Die erste Entstehung der Wurzeln konnte bei Sandkulturen nur an verkehrten Stecklingen beobachtet werden, bei den normalen kann natürlich nur das Bild bei Abbruch des Versuches besprochen werden.

Im Laufe der ersten Versuchswoche bilden sich bei den verkehrten Stecklingen kurze Wurzeln aus, die in der nächsten Woche etwas weiter wachsen und, je nach ihrem Entstehungsort, verschieden schnell zugrunde gehen. Die meisten Wurzeln und Pusteln sind bei aufrechten und verkehrten Hypokotylen am Wurzelpol vorhanden, weniger im II. und III. Drittel. Bezüglich der Wurzellänge ist vor allem zu beobachten, daß die normalen erheblich längere Wurzeln bilden, als die verkehrten. Hier fällt ein deutlicher Unterschied zwischen den inversen Stecklingen der Kulturen in trockener und feuchter Luft auf: Bei den Trockenkulturen entstehen Wurzeln und Pusteln vom Pol bis in die Nähe des Sandes, wobei die Zahl vom Pol gegen die Mitte abnimmt. Alle diese Wurzeln bleiben sehr kurz und gehen bald zugrunde. Vereinzelte Wurzeln aber, die ganz nahe der Mediumsgrenze entstehen, erreichen, an der Oberfläche des Sandes verlaufend, eine beträchtliche Länge und bleiben bis zum Abbruch des Versuches frisch. Bei den Feuchtkulturen gelangen am basalen Ende viele Wurzeln zur Ausbildung, die länger werden als in trockener Luft, im II. und III. Drittel nur ganz vereinzelte kurze, an der Sandgrenze gar keine. Bei den aufrechten Stecklinge ist keinerlei Beeinflussung durch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu bemerken. Die meisten und weitaus längsten Wurzeln entstehen am Pol, wenige, kürzere im II. und III. Drittel. Die Zahl der wurzelbildenden Stecklinge aller Versuche war bei normalen und verkehrten ungefähr gleich. (Von 70 normalen bildeten 53 Stecklinge, von 70 verkehrten 54 Stecklinge Wurzeln aus.)

Es zeigte sich auch eine Polarität des Ergrünens: die aufrecht eingesetzten Stecklinge ergrünen am Sproßpol ca. $1^1/_2$ cm weit; in der

1) Hierzu Tabelle pag. 293.

Nähe der Schnittfläche ist die Färbung am stärksten, weiter unten wird sie immer lichter. Bei den verkehrten ist am Wurzelpol keine Spur von Grünfärbung zu sehen.

Helianthus annuus, Wasserkultur[1]).

	Teile	In feuchter Atmosphäre						
		A. Normal eingesetzt						
		Versuchsdauer 14. bis 26. I. 1909						
			Wurzeln			Pusteln		
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	26./I.	10	6	0,75	8	3
	II		3	5	0,18	—	—
B. Verkehrt eingesetzt							
	I	19. I.	5	4	0,16	—	—
	II		1	1	0,20	—	—
Abbruchstag des Versuches	I	26. I.	10	6	0,34	5	5
	II		1	4	0,50	—	—
	III		1	1	0,30	1	1
	G		—	—	—	1	3

Helianthus annuus, Wasserkultur[2]).

Wasserkulturen in trockener Luft ergaben besonders schlechte Resultate. Bei verkehrt eingesetzten Hypokotylen entstehen nur ganz vereinzelte stumpfartige Wurzeln, die nach kürzester Zeit vertrocknen, von normalen bilden bloß ganz wenige Exemplare einzelne, etwas längere Wurzeln aus. Ein derartiger Versuch ist nicht verzeichnet. Bessere Resultate wurden in feuchter Atmosphäre erzielt und zwar gelangt von den normalen Stecklingen eine größere Anzahl zur Wurzelbildung, als von den verkehrten. (Von 50 Stück normalen bei 41 St. Wurzelbildung, von 50 St. verkehrten bei 22 St. Verhältnis = 1,86 : 1.) Die meisten Wurzeln werden bei normaler und verkehrter Aufstellung am basalen Ende hervorgebracht, wenige werden im II. und ganz vereinzelte im III. Drittel gebildet. An der Wasseroberfläche kommen gar keine Wurzeln zur Ausbildung. Die ersten Wurzeln entstehen schon nach 4 Tagen. An Länge gewinnen die der normalen bald einen starken Vorsprung. Die Längenabnahme der Wurzeln vom Pol gegen die Mitte ist hier nicht so deutlich ausgedrückt wie bei den Sand-

1) Es waren 7 Versuchsreihen aufgestellt, 60 Stecklinge normal, 60 verkehrt.
2) Hierzu Tabelle pag. 295.

Cucurbita Pepo, Sandkulturen[1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt											
		in trockener Atmosphäre						in feuchter Atmosphäre					
		Versuch a) 28./XII. 07 bis 16./I. 08						b) 20./I. bis 4./II. 08					
			Wurzeln			Pusteln			Wurzeln			Pusteln	
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln	Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	16./I.	5	4	0,81	2	2	4./II.	8	9	0,55	—	—
	II		6	3	0,71	1	2		5	3	0,53	—	—
	III		2	2	0,60	—	—		3	1	0,50	—	—
	G		3	3	0,80	2	7		2	1	0,95	—	—
		B. Verkehrt eingesetzt											
	I	8./I.	1	1	0,10	7	3	24./I.	5	4	0,34	3	1
	II		1	1	0,10	4	3		4	3	0,22	3	2
	III		1	1	0,10	2	2		1	4	0 42	1	1
	I	14./I.	1	1	0,10	7	3	28./I.	9	6	0,54	3	1
	II		1	1	0,10	4	3		8	3	0,58[2])	1	2
	III		1	4	0,10	1	1		4	2	0,77	—	—
	G		1	4	1,20	—	—		3	2	1,30	—	—
Abbruchstag des Versuches	I	16./I.	vertrocknet			—	—	4./II.	vertrocknet			—	—
	II		„			—	—		„			—	—
	III		„			—	—		„			—	—
	G		1	4	1,20	—	—		6	2	0,74	—	—

1) Es wurden 9 Versuchsreihen aufgestellt, 75 Stecklinge normal, 75 verkehrt.

2) Diese Wurzeln im II. und III. Drittel sind gegen den Sand zu gewachsen und erreichen, an dessen Oberfläche verlaufend, eine größere Länge.

kulturen. Die verkehrten Stecklinge gehen früher zugrunde als die normalen.

Bezüglich des Ergrünens zeigt sich dieselbe Erscheinung wie in Erde. Der Sproßpol ergrünt etwa $1^1/_2$ cm weit, nahe der Schnittfläche am intensivsten, weiter unten schwächer werdend. Auch unter Wasser läßt sich bei den verkehrten Hypokotylstücken das Ergrünen beobachten, die Färbung ist meist viel schwächer als in der Luft, nimmt aber gleichfalls vom Sproßpol gegen die Mitte an Intensität ab. In keinem Fall trat am Wurzelpol Ergrünen auf.

Cucurbita Pepo, Sandkulturen [1]).

Bei den ersten Versuchen (im Vermehrungskasten ohne Stürze) bilden wenige verkehrte Hypokotyle Wurzeln in sehr geringer Anzahl, diese bleiben ganz kurz und vertrocknen bald wieder. Pusteln entstehen in großer Menge, vom Pol gegen die Mitte an Zahl abnehmend. Bei den normalen treten die Wurzeln etwas zahlreicher auf und werden länger. In trockener Luft sind die ersten Wurzeln erst nach etwa 1 Woche zu sehen, in feuchter nach 3—4 Tagen. — Die meisten Wurzeln werden bei normal und verkehrt eingesetzten Stecklingen in unmittelbarer Nähe des Wurzelpols gebildet, weniger im II., am wenigsten im III. Drittel. In betreff der Länge ist ein deutlicher Unterschied zwischen normal und verkehrt zu bemerken: Bei aufrechten Stecklingen stehen immer die längsten Wurzeln am Pol, gegen die Mitte zu werden sie kürzer; bei verkehrten ist dies nirgends klar ausgesprochen, häufig sogar Längenzunahme in der Nähe der Mitte zu vermerken. In den meisten Versuchen, sowohl in trockener als in feuchter Luft, bilden sich in der Nähe der Sandgrenze wenige, oft besonders lange Wurzeln aus, die (bei verkehrten) bis zum Ende des Versuches deutliches Längenwachstum zeigen, während die in der Nähe des Pols meist schon vertrocknen. Besonders klar zeigt sich dies bei Versuch a. — Die Zahl der wurzelbildenden Hypokotyle ist von 75 normalen 42 Stück, von 75 verkehrten 44 St. Verhältnis = 1 : 1,06. Polarität des Ergrünens: die aufrecht eingesetzten Stecklinge zeigen am Sproßpol deutliche Grünfärbung, die in der Nähe der Schnittfläche am stärksten ist, dann $1^1/_2$ cm weit immer lichter wird. Bei sehr gutem Licht ist schon nach einem Tag deutliche Grünfärbung zu bemerken.

Cucurbita Pepo, Wasserkulturen [2]).

Vor allem sind deutliche Unterschiede zwischen Wasser- und Sandkulturen zu bemerken. Im Wasser konnte bei einer viel größeren

1) Hierzu Tabelle pag. 296. — 2) Hierzu Tabelle pag. 298.

Cucurbita Pepo, Wasserkulturen [1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt											
		in trockener Atmosphäre						in feuchter Atmosphäre					
		Versuch a) 3. bis 21./XII. 1907						b) 22. I. bis 9. II. 1908					
			Wurzeln			Pusteln			Wurzeln			Pusteln	
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln	Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	21./XII.	7	6	0,35	—	—	9./II.	10	9	0,19	—	—
	II		5	2	0,30	—	—		8	2	0,23	1	1
	III		4	1	0,78	—	—		5	2	0,27	—	—
B. Verkehrt eingesetzt													
	I	10./XII.	3	2	0,10	4	1	30./I.	10	7	0,27	1	1
	II		—	—	—	—	—		6	2	0,40	—	—
	III		—	—	—	—	—		1	8	0,69	—	—
Abbruchstag des Versuches	I	16./XII.	6	5	0,11	1	3	9./II.	Stecklinge gefault. Wurzeln vertrocknet.				
	II		1	1	0,10	—	—						

1) Es wurden 6 Versuchsreihen aufgestellt, 60 Stecklinge normal, 60 verkehrt.

Anzahl von Stecklingen Wurzelbildung beobachtet werden als im Sand: bei aufrechter Stellung ist das Verhältnis Wasser : Erde = 4 : 3, bei verkehrter = 5 : 3. — Anfrechte Hypokotylstücke bilden am basalen Ende in Wasser mehr und kürzere Wurzeln als in Sand, bei verkehrten ist kein wesentlicher Unterschied vorhanden.

In trockener Luft (Versuch a) bilden sich an den verkehrten Stecklingen wieder nur bei wenigen Pflanzen ganz kurze Wurzeln, die bald zugrunde gehen, bei normalen mehr und längere, besonders lang in der Nähe der Wasseroberfläche. Die Zahl nimmt vom Pol gegen die Mitte ab. Die Versuche in feuchter Luft zeigen ein ganz anderes Verhalten: Die meisten Wurzeln werden auch hier bei normalen und verkehrten am Pol gebildet, gegen die Mitte zu immer weniger; die Wurzeln am basalen Ende sind aber die kürzesten; je näher der Wasseroberfläche die Wurzeln entstehen, um so größere Länge zeigen sie. Die Wurzeln der inversen Stecklinge übertreffen die der normalen bedeutend an Länge. Die Wurzeln sind wenig widerstandsfähig; bei Abbruch des Versuches sind sie bei den verkehrten Hypokotylen häufig schon vertrocknet. — Verkehrte und aufrechte Stecklinge ergrünen am Sproßpol; die Färbung verläuft ca. 1 cm weit und bleibt meist sehr licht.

Epicotyle von Phaseolus multiflorus, Sandkultur[1]).

	Teile	Beobachtungstag	Wurzeln: Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Wurzeln: Durchschnittszahl der Wurzeln	Wurzeln: Durchschnittslänge der Wurzeln	Pusteln: Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Pusteln: Durchschnittszahl der Pusteln
A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre. Versuchsdauer 26. III. bis 17. IV. 1909							
Abbruchstag des Versuches	I	17./IV.	9	2	2,51	—	—
B. Verkehrt eingesetzt							
	I	3./IV.	3	2	0,96	1	1
	I	8./IV.	4	2	1,65	1	1
	I	14./IV.	6	2	3,16[2])	—	—
Abbruchstag d. Versuches	I	17./IV.	6	2	3,26	—	—

Epicotyle von Phaseolus multiflorus, Sandkultur[3]).

Versuche bei geringer Luftfeuchtigkeit wurden nicht aufgestellt. — Diese Versuchspflanze unterscheidet sich von den vorhergehenden darin,

1) Es wurden 6 Versuchsreihen aufgestellt, 60 normale, 60 inverse Stecklinge.
2) Diese besonders langen Wurzeln sind am Pol entstanden, aber nach abwärts gewachsen und verlaufen an der Oberfläche des Sandes.
3) Hierzu Tabelle pag. 299.

daß nur in unmittelbarer Nähe der basalen Schnittfläche Wurzeln gebildet werden. Die Zahl der wurzelbildenden Stecklinge ist bei aufrecht und verkehrt eingesetzten ungefähr gleich, auch in der Zahl und Länge der Wurzeln ist kein großer Unterschied. Die Wurzeln sind meist lang, bei den verkehrten wachsen einige schräg nach abwärts bis zur Sandoberfläche, einzelne erreichen, an dieser verlaufend, Längen bis zu 10 cm. — Zu Ende der ersten Woche sind meist schon Wurzeln bis zu 1 cm entwickelt. Auch in bezug auf die Färbung sind hier Abweichungen von den bisher untersuchten Pflanzen zu bemerken. Die Grünfärbung, die viel intensiver ist als bei Helianthus und Cucurbita, tritt bei den normalen Stecklingen auf der ganzen Strecke vom Sproßpol bis zur Sandoberfläche auf. Meist ist sie am Pol besonders stark und wird in der Nähe des Sandes schwächer, aber es kommen auch Fälle vor, bei denen sich kein Unterschied konstatieren läßt. Auch die verkehrten sind meist schwach grün gefärbt, aber nur in der Nähe des Sandes, weiter oben gegen den basalen Pol zu sind sie weißlich. Bei dieser Versuchspflanze war noch eine weitere interessante Färbungserscheinung zu bemerken: An den meisten inversen Epikotylen trat gleich in den ersten Tagen nach Aufstellung des Versuchs eine Ansammlung eines roten Farbstoffes auf, der sich als Anthokyan erwies; in den folgenden Tagen wurde die Färbung immer intensiver. Bildeten sich an solchen Pflanzen Wurzeln, was aber nicht immer der Fall war, so waren diese manchmal an ihrem basalen Teil ebenfalls rötlich gefärbt und die Färbung des Pols schien schwächer geworden. Häufig war ein Längsstreifen des Epikotyls in nächster Umgebung der Wurzel auf eine kurze Strecke entfärbt. Gegen Ende des Versuches, wenn die Epikotyle zugrunde zu gehen anfingen, schlug die rötliche Färbung häufig in eine bläulichgrüne um. Auch bei den aufrecht eingesetzten Stecklingen war am Wurzelpol im Sand manchmal eine schwache Anthokyanfärbung wahrzunehmen. Öfters war zu bemerken, daß verkehrt eingesetzte Epikotyle, an denen kein Anthokyan auftrat, früher Wurzeln bildeten als die übrigen. — Erwähnenswert ist auch, daß häufig eine starke Kalluswucherung auftrat, aber fast ausschließlich auf der basalen Schnittfläche der verkehrt eingesetzten Stecklinge. Am Wurzelpol der aufrechten Stecklinge war in vereinzelten Fällen eine schwache Andeutung von Kallusbildung zu sehen.

Epicotyle von Phaseolus multiflorus, Wasserkulturen [1]).

Alle Wurzeln entstehen am basalen Ende. Etwas über die Hälfte der verwendeten Epikotyle bilden Wurzeln, bei den normalen in etwas

1) Hierzu Tabelle pag. 301.

Epikotyle von Phaseolus multiflorus, Wasserkulturen[1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre											
		Versuch a) 15./XII. 1908 bis 15./I. 1909						b) 18./V. bis 12./VI. 1909					
			Wurzeln			Pusteln			Wurzeln			Pusteln	
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln	Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I.	15./I.	8	3	0,81	4	3	12./VI.	3	5	1,29	3	2
		B. Verkehrt eingesetzt											
	I.	26./XII.	2	2	0,56	1	1	26./V.	2	1	0,65	—	—
	I.	7./I.	9	2	0,73	1	1	2./VI.	3	2	0,71	1	2
Abbruchstag des Versuches	I.	15./I.	10	3	1,33	—	—	12./VI.	3	3	0,81	2	2

1) Es wurden 5 Versuchsreihen aufgestellt, 50 normale und 50 verkehrte Stecklinge.

größerer Anzahl als bei den verkehrten. Bezüglich der Länge ist kein deutlicher Unterschied zu sehen. Das Wurzelwachstum geht langsamer vor sich als in Sandkulturen. Nach 10 Tagen sind erst Wurzeln von 0,6 cm Länge ausgebildet; normale und verkehrte Stecklinge ergrünen sehr intensiv, die Färbung ist am apikalen Ende am dunkelsten, in der Nähe der Wurzeln schwächer. Auch hier ist am Wurzelpol eine Anthokyanansammlung zu bemerken, die bei Ausbildung der Wurzeln allem Anscheine nach schwächer wird. Im Wasser ist die Färbung mehr bräunlichrot.

Ricinus communis, Sandkultur[1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre Versuchsdauer 29. I. bis 5. IV. 1908					
			Wurzeln			Pusteln	
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Pflanzen mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	5./III.	4	6	1,81	—	—
		B. Verkehrt eingesetzt					
	I	7./II.	2	2	0,28	—	—
	I	19./II.	7	3	0,37	—	—
Abbruchstag d. Versuches	I	5./III.	7	3	0,45	—	—

Ricinus communis, Sandkultur[2]).

Der Einfluß der Trockenkultur zeigte sich darin, daß die Wurzeln (die nur am basalen Pol entstehen) bei den verkehrten Stecklingen besonders kurz blieben. Ein derartiger Versuch wurde in der Tabelle nicht verzeichnet. — Auch in den Versuchen in feuchter Luft bilden sich Wurzeln nur in nächster Nähe des Wurzelpols. Die Zahl der wurzelbildenden Hypokotyle ist bei normalen viel größer, wie bei verkehrten:

normal: von 57 St. bilden 25 St. Wurzeln
verk.: „ 57 „ „ 13 „ „
} Verhältnis = 2 : 1.

Bei den normalen gelangen auch mehr Wurzeln zur Ausbildung, die eine bedeutend größere Länge erreichen als bei den verkehrten. —

1) Es wurden 6 Versuchsreihen aufgestellt, 57 Stecklinge normal, 57 verkehrt.
2) Hierzu Tabelle pag. 302.

Grünfärbung tritt hier fast niemals auf. Viele der Pflanzen sind schon beim Aufstellen des Versuches durch Anthokyan, welches sich hier bereits an den intakten Keimpflanzen im Dunkeln bildet, ihrer ganzen Länge nach rötlich gefärbt. Bei den verkehrten Stecklingen war nun regelmäßig folgendes zu beobachten: Die Wurzeln traten meist in größerer Anzahl einige Millimeter unter der basalen Schnittfläche auf. Das Stück oberhalb der Wurzeln bis zur Schnittfiäche wurde immer gänzlich entfärbt. Manchmal war dann der basale Teil der Wurzeln deutlich rot. — Kallusbildung war häufig zu beobachten und zwar trat immer nur auf der basalen Schnittfläche der verkehrt eingesetzten Stecklinge ein dicker Wulst auf.

Ricinus communis, Wasserkultur [1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre Versuchsdauer 6./II. bis 22./IV. 1909					
			Wurzeln			Pusteln	
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Pflanzen	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Pflanzen mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	22./IV.	7	9	0,18	5	4
		B. verkehrt eingesetzt					
Abbruchstag d. Versuches	I	14./IV.	5	4	0,66	—	—
	I	22./IV.	5	4	0,73	—	—

Ricinus communis, Wasserkultur [2]).

Die Versuche waren sämtlich in feuchter Luft aufgestellt. Die Stecklinge dieser Pflanze sind in Wasser schwerer zu kultivieren, als die der anderen, weil sie, wie es scheint, der Fäulnis stark ausgesetzt sind und meist nach kurzer Zeit zugrunde gehen. Etwas mehr als die Hälfte der Hypokotylstücke bilden Wurzeln, die bei den aufrechten Stecklingen zahlreich aber sehr kurz sind; an den verkehrten entstehen sie in geringerer Anzahl, erreichen aber meist größere Längen. Die Wurzeln gelangen fast ausschließlich am Wurzelpol zur Ausbildung. — Auch hier ist, ebenso wie bei den Sandkulturen, das Verschwinden

1) Von den zahlreichen Versuchsreihen, die aufgestellt wurden, kam es nur bei zweien (20 Stecklinge normal, 20 verkehrt) zur Wurzelbildung.

2) Hierzu Tabelle pag. 303.

Mirabilis jalapa, Sandkulturen[1]).

	Teile	A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre												
		Versuch a) 6. bis 24./III. 1908						b) 21./IV. bis 4./V. 1909						
			Wurzeln			Pusteln			Wurzeln			Pusteln		
		Beobachtungstag	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln	Datum	Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Durchschnittszahl der Wurzeln	Durchschnittslänge der Wurzeln	Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Durchschnittszahl der Pusteln
Abbruchstag des Versuches	I	24./III.	6	2	0,90	—	—	4./V.	5	1	1,29	1	1
	II		—	—	—	—	—		1	1	0,60	—	—
		B. Verkehrt eingesetzt												
	I	19./III.	5	2	0,55	—	—	27./IV.	1	1	0,40	1	1
	II		—	—	—	—	—		1	2	0,30	—	—
	I	24./III.	5	2	0,69	—	—	4./V.	4	1	0,40	1	1
	II		—	—	—	—	—		1	2	0,30	—	—
Abbruchstag d. Versuches	III		—	—	—	—	—		—	—	—	1	1

1) Es wurden 5 Versuchsreihen aufgestellt, 45 Stecklinge normal, 45 verkehrt.

der Rotfärbung am Wurzelpol beim Auswachsen der Wurzeln zu beobachten. Besonders markant war ein Fall bei einem verkehrten Steckling, an dem sich eine Wurzel etwa 1 cm unterhalb der basalen Schnittfläche entwickelt hatte. Hier war ein schmaler Streifen vom Wurzelpol bis zur Entstehungsstelle der Wurzel vollständig entfärbt.

Mirabilis jalapa, Sandkultur[1]).

Bei normaler Aufstellung bilden mehr Stecklinge Wurzeln, als bei verkehrter:

normal: von 45 St. bei 24 St. Wurzelbildung
verkehrt: „ 45 „ „ 16 „ „ } Verhältnis = 3:2.

Fast alle Wurzeln entstehen am Wurzelpol in unmittelbarer Nähe der Schnittfläche, einzelne Wurzeln und Pusteln auch im II. und III. Drittel. Die Wurzeln der aufrechten Pflanzen werden immer merklich länger als die der verkehrten, welche auch früher zugrunde gehen. — Die normal eingesetzten Stecklinge ergrünen nur bei sehr starkem Licht und auch dann verläuft die Färbung nur $^1/_2$ cm vom Sproßpol nach abwärts und bleibt sehr licht.

Mirabilis jalapa, Wasserkultur[2]).

	Teile	Beobachtungstag	Wurzeln: Zahl der wurzelbildenden Stecklinge	Wurzeln: Durchschnittszahl der Wurzeln	Wurzeln: Durchschnittslänge der Wurzeln	Pusteln: Zahl der Stecklinge mit Pusteln	Pusteln: Durchschnittszahl der Pusteln
A. Normal eingesetzt in feuchter Atmosphäre. Versuchsdauer: 11.—23./IV. 1908							
Abbruchstag des Versuches	I	23./IV.	2	3	0,23	—	—
B. Verkehrt eingesetzt							
	I	21./IV.	2	1	0,50	—	—
Abbruchstag des Versuches	I	23./IV.	2	1	0,55	—	—

Mirabilis jalapa, Wasserkultur[3]).

Die Wasserkultur erweist sich für diese Hypokotylstücke als sehr ungünstig. Sowohl von normalen als von inversen Stecklingen bilden nur ganz wenige Exemplare vereinzelte Wurzeln. Von 50 normalen

1) Hierzu Tabelle pag. 304.
2) Es wurden 5 Versuche aufgestellt, 50 Stecklinge normal, 50 verkehrt.
3) Hierzu Tabelle pag. 305.

und 50 verkehrten Stecklingen bilden je 3 Stück Wurzeln. — Alle Wurzeln stehen am basalen Ende. Die Versuchsexemplare faulen schnell und zwar beginnt die Fäulnis immer unter Wasser. Die Grünfärbung, welche sich auch hier am apikalen Ende konstatieren läßt, bleibt äußerst schwach, oft kaum merklich und immer auf eine ganz kurze Strecke am Sproßpol beschränkt.

Zusammenfassung.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß bei allen verwendeten Arten die Polarität sehr deutlich zum Ausdruck kommt, indem sowohl bei den aufrecht als bei den verkehrt eingesetzten Stecklingen am basalen Pol sich zuerst und am meisten Wurzeln und Wurzelanlagen bilden. Doch zeigt sich eine Abhängigkeit und Beeinflußbarkeit der Wurzelbildung durch äußere Faktoren.

Der Einfluß der **Schwerkraft** konnte nicht mit Sicherheit konstatiert werden; man wäre zwar versucht, eine Schwerkraftwirkung darin zu sehen, daß in den meisten Fällen — Helianthus in Sand- und Wasserkulturen, Cucurbita in Sand, Ricinus in Sand, Mirabilis jalapa in Sand — die Wurzeln der verkehrten Stecklinge gegenüber denen der normalen bedeutend an Länge zurückbleiben; es muß jedoch weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, festzustellen, ob diese Wirkung der Schwerkraft oder anderen Faktoren, etwa dem Lichteinfluß oder einem Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt zwischen Luft und Kulturmedium zuzuschreiben ist.

Bedeutend ist ja die Wirkung, die der **Feuchtigkeitsgehalt der Luft** auf die Entwicklung der Wurzeln ausübt. Die ersten Versuche, mit Hypokotylen von Helianthus in Sand und Wasser, Cucurbita in Sand und Wasser, Ricinus in Sand, die im Vermehrungskasten ohne Glasstürze, also in verhältnismäßig trockener Luft aufgestellt waren, zeigten alle dieselbe Erscheinung: am Wurzelpol (und bei einigen Versuchspflanzen im II. und III. Drittel) entstanden bei den verkehrten Stecklingen nur ganz kurze, stumpfartige Wurzeln, die bald wieder zugrunde gingen und eine Menge Wurzelanlagen, die gar nicht zur Weiterentwicklung gelangten. Die wenigen Wurzeln aber, die knapp an der Sand- oder Wassergrenze entstanden, zeigten infolge der größeren Feuchtigkeit starkes Längenwachstum und blieben bis zum Abschluß des Versuches frisch. — Sowie die Versuche jedoch in feuchter Atmosphäre aufgestellt wurden, erreichten die Polwurzeln der verkehrten Stecklinge größere Längen, die Anlagen wuchsen aus und in tieferen Regionen kam es seltener zur Ausbildung von Wurzeln. An der Basis verkehrt eingesetzter Epikotylstücke von Phaseolus multiflorus ent-

wickelten sich bedeutend längere Wurzeln als bei normal eingesetzten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Wurzeln zur Oberfläche des Sandes hinabwuchsen und an dieser weiter verliefen.

Der direkte **Kontakt mit flüssigem Wasser** wirkt nur bei Helianthus fördernd auf das Wurzelwachstum, bei den meisten anderen Arten: Cucurbita, Ricinus, Mirabilis jalapa ist in Wasserkulturen den Sandkulturen gegenüber eine bedeutende Hemmung zu beobachten. Die Ursache dafür kann vielleicht in dem geringen Sauerstoffgehalt des lange stehenden Wassers liegen; dafür spricht das Vorkommen vereinzelter langer Wurzeln in der Nähe der Wasseroberfläche bei Helianthus und Cucurbita; eine andere Erklärungsmöglichkeit wäre die, daß die Gewebe der Hypokotyle, von Wasser injiziert, für Infektion durch Pilze und Bakterien zugänglich geworden sind.

Ob der **Kontakt mit Sand** das Wurzelwachstum begünstigt, läßt sich vorläufig nicht mit Sicherheit feststellen; die Tatsache, daß bei einem Versuch mit Phaseolus multiflorus, bei dem die Epikotylstücke in einer Glaswanne im gleichmäßig dunstgesättigten Raume aufgehängt waren, die Wurzeln der normal hängenden Stücke niemals die der normal eingesetzten bei den Sandkulturen an Länge erreichten, genügt noch nicht, um daraus auf eine günstige Wirkung des Kontaktes mit einem festen Körper zu schließen.

Sehr deutlich ausgesprochen und in keinem Fall durch äußere Faktoren beeinflußt ist die **Polarität des Ergrünens**[1]). Bei Hypokotylen von Helianthus und Cucurbita in Sandkulturen ergrünen die normalen Stecklinge, in Wasserkulturen auch die verkehrten am Sproßpol 1—1½ cm weit, wobei die Färbung von der Schnittfläche gegen die Mitte an Intensität abnimmt, um schließlich in gelblichweiß überzugehen. Mirabilis jalapa zeigt dieselbe Erscheinung in bedeutend schwächerem Grade, aber auch hier ist die Grünfärbung nur auf den apikalen Pol beschränkt. Bei den Epikotylen von Phaseolus multiflorus, welche, wie erwähnt, auf ihrer ganzen Länge bis in die Nähe der Wurzeln ergrünen, äußert sich das polare Auftreten des Chlorophylls immerhin sehr deutlich darin, daß die Färbung vom Sproßpol gegen den Wurzelpol zu allmählich an Intensität abnimmt. — Ricinus ließ, freilich nur sehr selten, deutliches Ergrünen erkennen, wenn die Chlorophyllbildung nicht durch Anthokyangehalt der verwendeten Hypokotyle verdeckt wurde. Die Grünfärbung verlief vom Apikalpol gegen die Mitte etwa 2 cm weit.

1) Ähnliches hat auch v. Portheim anläßlich seiner Untersuchungen an Hypokotylstücken von *Phaseolus vulgaris* gefunden.

Eine polar auftretende Erscheinung ist auch die **Anthokyanfärbung,** die sich bei Phaseolus multiflorus-Epikotylen in Sand und Wasser zeigt; sie dürfte durch Stauung der Nährstoffe am Wurzelpol entstehen [1]). Dafür spricht, daß die Färbung bei Ausbildung der Wurzeln an einzelnen Stellen in deren Nähe schwächer wird oder ganz verschwindet. Kommt es nicht zur Wurzelbildung, so wird die Färbung eine Zeitlang immer stärker und bleibt dann bis zum Ende des Versuches unverändert. — Bei den Stecklingen von Ricinus, die häufig schon beim Aufstellen des Versuches Anthokyanfärbung aufwiesen, verschwand diese regelmäßig beim Auswachsen der Wurzeln auf der entsprechenden Strecke am Wurzelpol; auch dies spricht dafür, daß die Entfärbung tatsächlich durch die Wurzelbildung hervorgerufen wird.

Die **Kallusbildung,** welche bei einigen Arten — Epikotylen von Phaseolus multiflorus in Sand- und Wasserkulturen, Hypokotylen von Ricinus communis in Sandkulturen — häufig zu beobachten war, trat regelmäßig nur am Wurzelpol der inversen Stecklinge auf. Am Wurzelpol normal eingesetzter Stecklinge war nur in sehr wenigen Fällen in Sandkultur ein ganz schwacher Kallus zu beobachten, am apikalen Pol niemals, weder bei inverser, noch bei normaler Aufstellung. Dies stimmt mit den Beobachtungen von Küster [2]) überein, der an Stecklingen von Populus u. a. fand, daß feuchte Luft für die Kallusbildung viel günstiger ist, als Erd- oder Wasserkontakt. Während sich aber bei Küster's Versuchspflanzen die Polarität meist nur in einer starken Reduzierung der apikalen Kalluswucherung äußerte, war bei meinen Versuchen in keinem einzigen Fall eine Spur von Kallus am apikalen Pol zu sehen.

Es erübrigt mir noch Herrn Leopold R. v. Portheim, dem ich die Anregung zu vorliegender Arbeit verdanke, für sein stets reges Interesse auch hier den besten Dank auszusprechen.

---

1) Linsbauer, L., Einige Bemerkungen über Anthokyanbildung. Österr. botan. Zeitschrift, Jahrg. 1901, Nr. 1.

2) Küster, E., Pathologische Pflanzenanatomie, Jena 1903, pag. 167 ff.

Druckfehlerberichtigung. In der Abhandlung von K. Goebel über „Monoselenium tenerum" muß es pag. 75 Z. 22 u. 23 von oben heißen: „Unter den zahlreichen untersuchten Elateren hatten zwei zwei schraubenlinige Verdickungsleisten". Durch den Ausfall des einen „zwei" ist der Sinn des Satzes entstellt, er bezieht sich nur auf die seltenen Fälle doppelter schraubenliniger Verdickungsleisten, einfache sind, wie aus den vorhergehenden Sätzen sich ergibt, häufig.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: 101

Autor(en)/Author(s): Freund Yella

Artikel/Article: Untersuchungen über Polarität bei Pflanzen. 290-308