

Über Wachstum und Geotropismus der Aroideen-Luftwurzeln.

Von K. Linsbauer.

Mit Tafel IX und X und zwei Abbildungen im Texte.

Das Interesse, welchem die Statolithentheorie des Geotropismus lenthallen begegnete, spiegelt sich in der Fülle der durch sie angelegten Untersuchungen, welche zumeist wertvolles Tatsachenmaterial lieferten, eine definitive Entscheidung der strittigen Fragen jedoch nicht herbeiführen konnten. Auch die vorliegende Untersuchung will nur einen Beitrag zur Statolithenfrage bringen, ohne sie einer Lösung zuzuführen, was bei dem Charakter des behandelten Themas schon von vornherein ausgeschlossen schien. Immerhin muß es für die Beurteilung der Theorie von Interesse sein, das Verhalten morphologisch gleicher oder ähnlicher, bezüglich ihrer geotropischen Reaktionsweise jedoch verschiedener Organe auf das Auftreten von Statolithen hin zu untersuchen. Diese Überlegung veranlaßte vor wenigen Jahren auch Wiesner diese Verhältnisse an den Perigonblättern von *Clivia nobilis* und *Cl. miniata* zu prüfen (Wiesner II), von denen nach seinen Forschungen (Wiesner I) diese ageotropisch jene positiv geotropisch reagieren¹⁾.

Die Luftwurzeln der Aroideen scheinen infolge ihres ausgeprochenen Dimorphismus in dieser Hinsicht gleichfalls ein besonders anerkennenswertes Untersuchungsobjekt abzugeben. Auf Grund der Beobachtungen von Schimper und Went nimmt man allgemein an, daß die sogenannten Nährwurzeln durch positiven Geotropismus ausgezeichnet sind, während ein solcher den Haftwurzeln nicht zukommen soll. Über das Auftreten von Statolithenstärke in beiden Kategorien von Wurzeln liegen nur wenige Untersuchungen vor, deren Ergebnisse aber mit den Forderungen der Statolithentheorie in vollem Einklange stehen. Němec beobachtete in den geotropischen Luftwurzeln von *Monstera deliciosa* abm. und *Anthurium lanceolatum* Knuth normale Statolithenstärke der deutlich ausgebildeten Columella der Wurzelhaube; Tischler bestätigte diese Befunde bei *Philod. pinnatifidum* Schott, *Raphidophora cursiva* Schott und *Anthurium Veitchi* Mast. Er konstatierte über-

1) Ich komme auf diese und andere einschlägige Untersuchungen später zurück.
pag. 292.

dies, daß junge Luftwurzeln in gewissen Fällen horizontal oder selbst schräg aufwärts gerichtet sein können; in solchen Fällen ist aber auch die Stärke feinkörnig und nicht orientiert oder sie besteht wohl aus gröberen Körnchen, die aber dann „meist um den Kern gelagert“ erscheinen. In den nicht geotropischen Haftwurzeln von *Pothos cordatus* fand Haberlandt (II) ziemlich große Stärkekörner in den äußersten Schichten der Wurzelhaube, die jedoch zumeist den inneren Wänden anliegen und durch die Schwerkraft nicht beeinflußt werden.

Die genannten Autoren haben selbst das geotropische Verhalten der auf Statolithen untersuchten Wurzeln nicht näher geprüft, beziehen sich vielmehr auf die bereits erwähnten Angaben von Schimper und Went. Aber auch an dieser Stelle fehlen Experimente fast vollständig. Die beiden Verfasser betonen vielmehr, daß die Sachlage „bei einer einfachen Betrachtung so klar ist, daß man sich in einer Deutung kaum irren kann“. Die vorhandenen Experimente beschränken sich daher soviel mir bekannt, auf einen gelegentlich von Sachs (I) durchgeführten Versuch mit *Philod. Selloum*¹⁾ sowie vier Versuche mit Luftwurzeln eingetopfter Aroideen, welche von Went in den Tropen durchgeführt wurden. Es ergab sich dabei, daß die Nährwurzeln von *Pothos aurea* im Dunkelschrank ausgesprochen positiv geotropisch, die einer nicht näher bestimmten Aroidee hingegen weniger geotropisch reagierten, während die Haftwurzeln von *Ph. melanochrysum* und einer anderen nicht näher bestimmten Aroidee keine geotropische Krümmung aufwiesen.

Diese wenigen Versuche dürften aber doch zur Charakterisierung des Geotropismus der Aroideenluftwurzeln nicht ausreichen. Es wäre möglich, daß die Krümmung der langen und kräftigen Nährwurzeln auf vitaler Lastkrümmung beruht, wie sie Wiesner (II) vielfach für nickende Blüten nachwies. Andererseits könnte die meist horizontale Lage der Haftwurzeln eine Gleichgewichtslage darstellen, an derer Zustandekommen der Geotropismus in irgend einer Weise beteiligt ist²⁾ Vor der Entscheidung dieser Fragen erscheint es verfrüht, das Auftreten oder Fehlen beweglicher Stärke in den Luftwurzeln der Aroideen zur Beurteilung der Statolithentheorie heranzuziehen.

Ehe ich auf ihr geotropisches Verhalten eingehe, will ich meine Beobachtungen über das Wachstum der Wurzeln vorausschicken. Sie

1) Sachs unterschied noch nicht zwischen Nähr- und Haftwurzeln. Vermutlich diente seinem Versuche eine Nährwurzel der genannten Pflanze.

2) Haberlandt hat bereits auf das mögliche Vorhandensein eines Transversalgeotropismus hingewiesen.

heinen mir von Wichtigkeit, da der Charakter der tropistischen Krümmungen wesentlich von der Länge der Wachstumszone, der Lage des Zuwachsmaximums etc. abhängt. Zudem dürften diese Messungen auch deshalb einiges Interesse beanspruchen, da über das Wachstum der Luftwurzeln nur ganz spärliche Daten vorliegen; sie beschränken sich weit mir bekannt auf die Angaben von Sachs für je eine Wurzel (offenbar eine Nährwurzel) von *Monstera deliciosa* und *Philodendron* *elloum*, sowie die Beobachtungen, welche Went an zwei Nährwurzeln von *Ph. melanochrysum* und je einer Haftwurzel von *Ph. melanochrysum*, *P. lacerum* und *Pothos* sp. ausführte.

Sachs (I) fand bereits, daß die wachsende Region bei Luftwurzeln auffallend lang ist und die Zone des maximalen Zuwachses weit von der Spitze entfernt liegt; der Gesamtzuwachs hingegen soll keine größeren Werte als bei Erdwurzeln erreichen, was nach Went allerdings auf das kümmerliche Gewächshausleben der Versuchspflanzen zurückzuführen ist. Went bestätigt im übrigen die Sachsschen Angaben für Nährwurzeln; die Haftwurzeln verhalten sich nach seinen Untersuchungen gerade entgegengesetzt; sie wachsen sehr langsam und haben eine kurze wachsende Region; die Stelle des Zuwachsmaximums liegt nahe an der Spitze.

Meine Messungen wurden z. T. im Warmhause des pflanzenphysiologischen Instituts, zumeist jedoch in den Gewächshäusern von Schönmann durchgeführt, deren prächtiges Aroideensortiment mir Herr Direktor Vogl in liebenswürdiger Zuvorkommenheit zu meinen Versuchen überließ, wofür ich zu wärmstem Danke verpflichtet bin. Die Mehrzahl der Versuchspflanzen war nicht in Töpfen kultiviert, sondern ausgepflanzt und zeichnete sich durch üppigste Entfaltung aus. Damit war allerdings auch ein Nachteil verbunden. Die Wurzeln waren oft sehr unbequem zugänglich, worunter die Genauigkeit der Markierung und Messung litt. Das Markieren war aber auch dadurch sehr mühevoll, daß infolge der oft schleimigen Beschaffenheit der Wurzeloberflächen Marken nur schwer haften wollten oder zerflossen. Manche Versuche wurden auch dadurch zerstört, daß die Wurzeloberfläche vielfach gestoßen wird und sich dann nicht selten sogar kontrahiert, so daß die gegenseitige Entfernung der Marken, welche an den abgelösten Markstücken haften, sich nicht ändert, obgleich die Wurzel sichtlich stark gewachsen ist. In besonders störenden Fällen mußten daher diese Gegebenheiten durch leichtes Reiben vor dem Markieren entfernt werden, was umso eher erlaubt war, als das Wachstum dadurch anscheinend im geringsten beeinträchtigt wurde. Die Messungen wurden

mit Hilfe eines mit Spitzen versehenen Nonius (Schieblehre) durchgeführt.

I. Das Wachstum der Aroideenwurzeln.

Ich gebe in den nachstehenden Tabellen eine Auswahl von Messungsergebnissen wieder und zwar umfaßt Tab. I Beobachtungen an typischen Nährwurzeln, Tab. II Messungen an typischen Haftwurzeln während in Tab. III Beobachtungsergebnisse an solchen Luftwurzeln zusammengestellt wurden, deren Charakter sich nicht mit Bestimmtheit erkennen ließ. Diese letzteren Wurzeln gehörten insgesamt jüngeren Topfpflanzen zu, an welchen bekanntlich ein Unterschied beider Wurzelkategorien zumeist nicht ausgeprägt ist. In jeder Tabelle sind unter A. die in mehrtägigen Intervallen angestellten Messungen vorausgeschickt, während unter B. tägliche Messungen verzeichnet sind. Da nur diese die Länge der Wachstumszone genauer erkennen lassen, ist auch nur in diesen Fällen der Zuwachs in Prozenten der Wachstumszone angeführt worden. Die Entfernung des Zuwachsmaximums von der Wurzelspitze kann natürlich gleichfalls nur aus den täglichen Messungen mit annähernder Genauigkeit bestimmt werden. Es wurde der Berechnung die Annahme zugrunde gelegt, daß die Mitte der maximalen Wachstumszone am stärksten wächst. Wenn also bei einer 2 mm-Teilung die vierte Zone den stärksten Zuwachs aufwies, so wurde die Entfernung des Wachstumsmaximums mit 7 mm angenommen.

Die Versuchspflanzen befanden sich in verschiedenen Gewächshäusern und zwar in zwei Abteilungen des großen „Palmenhauses“ von Schönbrunn (hier mit „Mittelhaus“ und „Warmhaus“ bezeichnet), im „Aroideenhaus“ des Schönbrunner Reservegartens und zum kleineren Teile im Warmhause des pflanzenphysiologischen Institutes der Universität („Inst. Warmh.“). Ich führe diese Lokalitäten bei den untersuchten Pflanzen an, da bei der Verschiedenheit von Temperatur und Feuchtigkeit in den einzelnen Gewächshäusern nur Wachstumsmessungen an Pflanzen desselben Hauses unter sich vergleichbare Resultate liefern. Die günstigsten Kulturbedingungen herrschten wohl im Aroideenhaus, in welchem jedoch nur verhältnismäßig kleine Topfpflanzen in Kultur standen.

Tabelle I.

Wachstum typischer Nährwurzeln.

A. Messungen in mehrtägigen Intervallen.

Name	Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Gesamt- zuwachs in mm	Mittlerer Zuwachs pro Tag in mm
nilod. Houlettianum I.	Warmhaus: l ¹⁾ = 3,5 m	8,5	29. I.—1. II.	10	3,3
			1. II.—5. II.	7,5	1,9
	II. Warmhaus: l = 3 m	21	29. I.—1. II.	23	7,7
			1. II.—5. II.	26	6,5
			5. II.—8. II.	16,9	5,6
	III. Mittelhaus: l = 2,5 m	8	12. II.—15. II.	4	1,3
			17. II.—19. II.	6	1,5
			19. II.—22. II.	6,9	1,7
	IV. Mittelhaus: l = 1 m (auffallend dünne Wrz.)	7,2	22. II.—24. II.	2,6	1,3
nilod. Selloum	I. Mittelhaus: cult. im Kübel l = 5 m d = 1 cm	55	1. II.—5. II.	59	14,7
			5. II.—8. II.	49	16,3
			8. II.—15. II.	151	21,5
			15. II.—19. II.	71,2	17,8
			19. II.—22. II.	64,1	21,3
	II. l = 5,5 m	50	5. II.—8. II.	21	7
nilod. elegans	I. Warmhaus: l = 6 m	19	29. I.—1. II.	21	7
			1. II.—5. II.	33	8,2
			5. II.—8. II.	13	4,3
			8. II.—12. II.	19	4,7
			22. II.—23. II.		6,5
	II. Warmhaus: l = 5 m	12	29. I.—1. II.	10	3,3
			1. II.—5. II.	10	2,5
nilod. subovatum	I. Warmhaus: l = 4,5 m	5,4	29. I.—1. II.	4,1	1,4
	II. Mittelhaus:	26	22. II.—24. II.	10,7	5,3

1) l = Länge, d = Dicke der Wurzel. Bezüglich der Benennung vergl. g. 289, Anm. 2.

B. Tägliche Messungen.

Name	Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Zuwachs an aufeinander- folgenden Tagen in mm	Entfernung des Zuwachs- maximums in mm	Zuwachs der Wachstumszone in Proz.
Philod. Houlettianum	I. Nährwurzel Warmhaus l = 25 cm d = 4,7 mm	40	18. IV.—21. IV.	10,5 11,6 10,6	17,5	26,2
	II. l = 4—5 m d = 3,2 mm	25	18. IV.—21. IV.	8,2 7,4 7,6	12,5	32,4
	III. l = 4—5 m d = 2,4 mm	15	18. IV.—21. IV.	5,5 7,4 7,8	7,5	36,6
	IV.	25	20. IV.—22. IV.	6,5 7,4	12,5	26
Philod. Selloum	I. Pflanze im Kübel Mittelhaus l = 5 m d = 1 cm	ca. 90	22. IV.—23. IV.	10,7	35	11,9
	II. Ersatzwrzl. ¹⁾ l = 5 m d = 11 mm	ca. 94	25. VII.—26. VII.	26,8	35,5	28,5
Philod. elegans	I. Warmhaus l = 3—4 m d = 5 mm	45	18. IV.—22. IV.	14,3 16,5 13,9 13,9	22,5	31,8
	II. Hauptwurzel l = 1 m an der Spitze abgestorben; Ersatzwurzel l = 0,5 m	35	18. IV.—22. IV.	9,1 11,8 8,8 8,1	15	26
	III. Spitze der Hauptwurzel abgestorben; Ersatzwurzel l = 40 cm d = 5,7 mm	45	18. IV.—21. IV.	14,6 23,9 14,2	22,5	32,4

1) Unter „Ersatzwurzeln“ sollen jene Seitenwurzeln verstanden werden, welche nach der Dekapitation oder Verletzung der Nährwurzel in der Nähe der Wundstelle entstehen und die Funktion dieser letzteren übernehmen.

Name		Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Zuwachs an aufeinander- folgenden Tagen in mm	Entfernung des Zuwachs- maximums in mm	Zuwachs der Wachstumszone in Proz.
Philod. elegans	IV.	l = 5 m d = 7 mm	35	18. IV.—22. IV.	12,5 22,7 18,4 10,8	17,5	35,7
	V.		35	20. IV.—22. IV.	7,7 12,0	20	22
Philod. acutatum	I.	Warmhaus l = 4 m d = 6 mm	45	18. IV.—22. IV.	13,1 14,3 9,5 9,1	17,5	29,1
	II.	l = 3 m d = 6 mm	35	18. IV.—22. IV.	9,2 14,1 9,3 8,2	17,5	26,3
Philod. subovatum	I.	Mittelhaus l = 2,5—3 m d = 5,5 mm	45	18. IV.—21. IV.	12,0 24,1 13,2	17,5	26,6
	II.	Mittelhaus l = 2,5—3 m d = 4 mm	30	18. IV.—19. IV.	7,4	12,5	24,6
	III.	Warmhaus	25	21. IV.—22. IV.	6,0	12,5	24
Philod. tripartitum	I.	Warmhaus	30	21. IV.—22. IV.	8,9	20	29,6
	II.	Warmhaus	35	21. IV.—22. IV.	14,6	15	41,7
	III.	Warmhaus	30	21. IV.—22. IV.	15,1	17,5	50,3
Philod. Ghiesbrechtii		Warmhaus l = 4 m d = 5 mm	15	18. IV.—20. IV.	3,0 4,4	7,5	20

Tabelle II.
Wachstum typischer Haftwurzeln.
A. Messungen in mehrtägigen Intervallen.

Name		Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Gesamt- zuwachs in mm	Mittlerer Zuwachs in mm
Philod. tripartitum	I.	Warmhaus Wurzel aus dem jüngsten Nodus l = 10 cm		29. I.—1. II. 1. II.—5. II.	7 8	2,3 2,0
	II.	l = 9 cm		29. I.—1. II. 1. II.—5. II.	7,5 5	2,5 1,2
	III.	l = 8 cm		29. I.—1. II. 1. II.—5. II.	4 3	1,3 0,8
	IV.	l = 0,6 cm	6	5. II.—8. II. 8. II.—12. II.	7 19	2,3 4,8
	V.	l = 0,4 cm	4	5. II.—8. II. 3. II.—12. II.	8,5 14,5	2,8 3,6
	VI.	l = 0,3 cm	3	8. II.—12. II.	8	2,0
Philod. subovatum	I.	Mittelhaus Haftwurzel aus letztem Nodus l = 12 mm		12. II.—15. II.	10	3,3
	II.	l = 32 mm		12. II.—15. II.	13	4,3
	III.	l = 26 mm		12. II.—15. II.	12	4,0
	IV.	l = 12 mm		12. II.—15. II.	10	3,3
Philod. Ghiesbrechtii		Warmhaus Haftwurzel aus dem letz- ten Nodus l = 20 cm		1. II.—5. II. 5. II.—8. II.	4 5	1 1,7

B. Tägliche Messungen.

Name	Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Zuwachs an aufeinander- folgenden Tagen in mm	Entfernung des Zuwachs- maximums in mm	Zuwachs der Wachstumszone in Proz.
ilod. tripartitum	Warmhaus Wurzeln aus dem II. Nodus					
	I. 1 = 35 mm	8	20. IV.—22. IV.	4,3 5,7	5	53,7
	II. 1 = 26 mm	8	do.	4,4 4,2	5	55
	III. 1 = 16 mm	8	do.	4,0	5	50
	IV. 1 = 26 mm	6	do.	2,8 1,9	3	46,6
	Wurzeln aus dem I. (jüng- sten) Nodus					
	V. 1 = 50 mm	10	do.	4,1 5,5	5	41
	VI. 1 = 170 mm	14	do.	6,4 8,4	9	45,7
ilod. subovatum	VII. 1 = 110 mm	10	do.	3,5 4,1	7	35
	I. 1 = 3,5 mm	3,5	22. II.—24. II.	0,7 1,1		20
	II. 1 = 2 mm	2	do.	0,3 0,7		15
ngonium sp.	Warmhaus Wurzeln aus dem I. Nodus					
	I. 1 = 6 mm		20. IV.—22. IV.	1,8 3,1		
	II. 1 = 7,5 mm		do.	2,0 3,8 ^(?)		
	III. 1 = 17 mm	8	do.	3,3 3,4	5	41,2
thos celatocaulis	Wurzeln aus dem II. Nodus					
	IV. 1 = 17 mm	8	20. IV.—21. IV.	2,3	5	28,7
thos argyraeus	Warmhaus Wurzeln d. jüngsten Internodiums					
	I. 1 = 19 mm	3	19. IV.—20. IV.	1,2	2,5	40
thos argyraeus	II. 1 = 14 mm	3	do.	1,4	2,5	46,6
	I. 1 = 19 mm	4,8	25. VII.—26. VII.	2	2,5	41,6
	II. 1 = 14 mm	4,8	do.	2,6	2,5	54,5

Tabelle III.

Messungen an Luftwurzeln, deren Charakter als Nähr- oder Haftwurzeln nicht erkennbar ist.

Name	Bemerkungen	Ursprüngliche Länge der Wachstumszone in mm	Beobachtungs- dauer	Gesamt- zuwachs in mm	Mittlerer zuwachs in mm
Philod. giganteum	Mittelhaus im Topfe kult.	15	5. II.—8. II. 8. II.—12. II. 12. II.—15. II.	9 8 16,5	3 2 5,5
Tornelia fragrans	I. Inst. Warmhaus l = 60 cm	17	8. I.—13. I. 13. I.—15. I. 15. I.—18. I.	12,3 6,7 5,5	2,4 3,5 1,8
	II. l = 70 cm	13	31. I.—6. II.	12	2
	III. Mittelhaus l = 57 mm	ca. 14	12. II.—15. II. 15. II.—19. II.	13 15,5	4,5 3,9
	IV. Mittelhaus l = 35 mm	ca. 12	12. II.—15. II. 15. II.—19. II.	10,3 11,5	3,4 2,9
Anthurium elegans	I. Aroideenhaus Topfpflanze l = 40 cm d = 8 mm horiz.	15	22. III.—24. III.	6,8	3,
	II.	17	22. III.—24. III.	7,3	3,
Anthurium digitatum	Warmhaus l = 40 mm	16	5. II.—8. II. 8. II.—12. II.	12 7	4 1,
Anthur. crassinervum	I. Inst. Warmhaus l = 17 mm	4,8	13. II.—15. II. 15. II.—18. II.	3,7 5,5	1, 1,
	II. l = 11 mm	4,2	13. II.—15. II. 15. II.—18. II.	2,3 4,9	1, 1,
	III. l = 16 mm	4.4	13. II.—15. II. 15. II.—18. II.	3,1 4,9	1. 1,
	IV. l = 14 mm		15. II.—18. II.	6,8	2,

Aus vorstehenden Tabellen lassen sich folgende Ergebnisse ablesen, welche die von Sachs und Went gemachten Angaben teils bestätigen, teils ergänzen.

1. Die Wachstumszone der typischen Nährwurzeln ist gegenüber der Erdwurzeln vom Typus der *Vicia Faba* (wie bereits Sachs angibt) auffallend lang; sie bewegt sich zumeist zwischen 20 und 50 mm; im Extrem kann sie selbst 90 mm erreichen, aber auch auf 5—10 mm sinken. Solche Wurzeln haben dann meist äußerlich den Charakter langer, dünner Haftwurzeln.

2. Die nach Verletzung der Vegetationsspitze auftretenden „Ersatzwurzeln“, die morphologisch als Seitenwurzeln zweiten Grades zu bezeichnen sind, verhalten sich bezüglich ihres Wachstums wie Nährwurzeln.

3. Typische Haftwurzeln besitzen eine Wachstumszone von 3 bis 4 mm, doch werden diese Grenzwerte anscheinend selten erreicht. Die kürzeste Wachstumszone besitzen solche Haftwurzeln, welche einer nur geringen Längenentwicklung fähig sind, wie z. B. die Haftwurzeln von *Pothos*.

4. Die Wachstumsgeschwindigkeit der typischen Nährwurzeln ist durchschnittlich geringer als die der Haftwurzeln. Sie beträgt für jene in der Mehrzahl der Fälle 15—35 %, für diese 40—70 %.

5. Der tägliche Gesamtzuwachs ist bei Nähr- und Haftwurzeln nicht größer, vielfach sogar kleiner als bei Erdwurzeln (*Faba*-Typus). Er schwankt in den untersuchten Fällen zwischen 1,3 und 26,8 mm bei Nährwurzeln und 0,8—8,4 mm bei Haftwurzeln.

6. In den Fällen, in welchen der Unterschied zwischen Nähr- und Haftwurzeln nur wenig oder gar nicht zum Ausdrucke kommt, wie bei Topfpflanzen von *Tornelia* oder *Anthurien*, scheint sich auch ein intermediäres Verhalten in der Länge der Wachstumszone und der Wachstumsgeschwindigkeit einzustellen.

Die in Punkt 5 ausgesprochene Tatsache wurde bereits von Sachs hervorgehoben. Went leugnet jedoch dieses Verhalten und führt das Resultat auf das schwächliche Wachstum der Gewächshauskomplare zurück. Ich glaube nicht, daß dieser Einwand stichhaltig ist und zwar nicht allein deshalb, weil die von mir untersuchten Wurzeln der augenscheinlich sehr üppig gedeihenden Gewächshauspflanzen sich im wesentlichen ganz gleich den von Sachs beobachteten verhielten¹⁾,

1) Ich gebe natürlich zu, daß das Wachstum von Freilandpflanzen in den Tropen unter günstigeren Bedingungen vor sich geht als bei den bestkultivierten Gewächshauspflanzen; ich glaube nur unter Berücksichtigung der Went'schen Messungen, daß der Unterschied in der Zuwachsgröße kein sehr wesentlicher sein kann.

sondern hauptsächlich deshalb, weil die von Went selbst in den Tropen angestellten Messungen zu demselben Ergebnisse führen. So findet Went für Nährwurzeln von *Phil. melanochrysum* einen täglichen Gesamtzuwachs von 20—22 mm (pag. 21 des Sep. A.) Größen, welche von Faba-Wurzeln bei Kultur in feuchter Luft erreicht bei Kultur in lockerer, feuchter Erde sogar übertroffen werden (cf. z. B. Sachs [I] p. 799). Berücksichtigt man überdies, daß bei Faba-Wurzeln der Zuwachs mehr als 250 % der wachsenden Region betragen kann, so kommt man zu dem Ergebnisse, daß die Nährwurzeln absolut genommen nicht schneller, relativ (i. e. im Vergleich zur Länge der Wachstumszone) sogar wesentlich langsamer wachsen als Erdwurzeln des gewöhnlichen Typus.

Um die Beziehungen zwischen der Länge der Wachstumszone und der Lage des Zuwachsmaximums zur Zuwachsgröße und zur Wachstumsgeschwindigkeit deutlicher hervortreten zu lassen, sollen nachfolgend aus den Tabellen einige vergleichbare Daten zusammengestellt werden, indem Messungen an Pflanzen desselben Gewächshauses angeführt werden, welche an denselben Tagen erfolgten. Ich wähle die Beispiele aus den unter B zusammengestellten Messungen, da die in mehrtägigen Intervallen gemachten Beobachtungen keinen Anhaltspunkt über die Lage des Zuwachsmaximums geben und nur eine ungenaue Berechnung der Wachstumsgeschwindigkeit erlauben.

A. Nährwurzeln.

Phil. Houlettianum.

No. der Wurzel	Länge der Wachstumszone	Zuwachs	Entfernung des Zuwachsmaxim.	Zuwachs in Proz. der Wachstumszone
I	40 mm	10,5 mm	17,5 mm	26,2
II	25	8,2	12,5	32,4
IV	25	6,5	12,5	26,0
III	15	5,5	7,5	36,6

Phil. elegans.

I	45	14,3	22,5	31,8
III	45	14,6	22,5	32,4
IV	35	12,5	17,5	35,7
II	35	9,1	15	26
V	35	7,7	20	22

Phil. acutatum.

I	45	13,1	17,5	29,1
II	35	9,2	17,5	26,3

Phil. subovatum.

I	45	12,0	17,5	26,6
II	30	7,4	12,5	24,6

Phil. tripartitum.

II	35	14,6	15	41,7
I	30	8,9	20	29,6
III	30	15,1	17,5	50,3

B. Haftwurzeln.

Phil. tripartitum.

No. der Wurzel	Länge der Wachstumszone	Zuwachs	Entfernung des Zuwachsmaxim.	Zuwachs in Proz. der Wachstumszone
VI	14 mm	6,4 mm	9 mm	45,7
V	10	4,1	5	41
VII	10	3,5	7	35
I	8	4,3	5	53,7
II	8	4,4	5	55
III	8	4,0	5	50
IV	6	2,8	3	46,6

Phil. subovatum.

I	3,5	0,7	—	20
II	2	0,3	—	15

In der vorstehenden Zusammenstellung sind die Wurzeln jeder Art nach abnehmender Länge der Wachstumszone angeordnet. Es ergibt sich hieraus (das gleiche trifft übrigens im allgemeinen auch für die in Tab. I angeführten Versuchsobjekte zu), daß wenigstens in der Regel mit abnehmender Länge der Wachstumszone die Zuwachsgröße sinkt. Gleichzeitig rückt das Zuwachsmaximum gegen die Wurzelspitze vor. Da die Zuwachsgröße nicht eine ausschließliche Funktion der Länge der Wachstumszone ist, was schon in der ungleich schnellen Abnahme beider Größen zum Ausdrucke kommt, erscheint es verständlich, daß die in Prozenten der Wachstumszone ausgedrückten Zuwächse, in keiner Beziehung zur Länge der Wachstumszone zu stehen scheinen. Die Zahlen der letzten Reihe schwanken zumeist innerhalb geringerer Grenzen als die der beiden ersten Kolonnen. Oft nimmt sogar bei abnehmender Länge der Wachstumszone der prozentische Zuwachs zu.

Dieselbe Gesetzmäßigkeit, welche für die Wurzeln derselben Art gilt, dürfte im allgemeinen auch für die Wurzeln verschiedener Arten und sogar für die beiden Kategorien von Wurzeln zutreffen. Wenigstens läßt sich aus den obigen Tabellen erkennen, daß die Haftwurzeln gegenüber den Nährwurzeln durch eine kurze Wachstumszone und dementsprechend einen geringeren Zuwachs ausgezeichnet sind und daß ihr Wachstumsmaximum näher an die Spitze herangerückt ist, daß jedoch ihre prozentische Zuwachsgröße oft erheblich die der Nährwurzeln übertrifft.

Die dicken Nährwurzeln pflegen intensiver zu wachsen (s. Phil. belloum, elegans); ihr Wachstumsmaximum liegt daher weiter von der Spitze entfernt als bei dünnen Wurzeln (vgl. Phil. Houllertianum). Diese Tatsache dürfte beim Eindringen der Wurzeln in das Substrat eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Je dünner die Wurzel, desto näher muß die bereits ausgewachsene Zone an die Spitze heranrücken, soll

der sich der Wurzel entgegenstellende Widerstand wirksam überwunden werden.

Um die Wachstumsverteilung anschaulich zu machen, sollen nachstehend einige tägliche Messungen in Extenso mitgeteilt werden.

A. Nährwurzeln.

Philodendron Houlettianum. Warmhaus. Versuchsdauer: 18. IV.—21. IV.
Zonenlänge 5 mm.

Zuwachs der Zonen an aufeinanderfolgenden Tagen:

	19. IV.	20. IV.	21. IV.
I.	1,0	1,0	2
	2,0	3,3	4,5
	2,0	3,4	3,9
	2,8	3,3	0,2
	1,2	0,6	0
	0,5	0	
	0,5		
	0,5		
	0		
II.	1,8	2,4	4,3
	1,8	3,4	3,3
	3,0	1,4	0
	1,2	0,2	
	0,4	0	
	0		
III.	1,4	3,6	6,7
	3,4	3,8	1,1
	0,7	0	0
	0		
IV.	0	1,5	
	1,9	1,3	
	2,2	3,4	
	1,2	1,2	
	1,2	0	

Phil. Selloum. Mittelhaus. Ersatzwurzel 75 cm, Hauptwurzel 4 m.
Dicke 11,3 mm.

Ursprüngliche Zonenlänge ¹⁾	Zuwachs nach 24 Std.
25. VII.	26. VII.
12,3 mm	1,2 mm
8,2	2,8
10,0	3,0
10,0	4,4
9,8	3,4
10,0	3,2
9,8	3,4
10,0	2,6
8,4	1,8
7,8	1,0
8,7	0

1) Die ursprünglichen Zonenlängen waren ungleich groß, werden daher in diesem Falle besonders angeführt.

Phil. acutatum. Warmhaus. Zonenlänge 5 mm.

Zuwachs der Zonen an aufeinanderfolgenden Tagen:

I.	19. IV.	20. IV.	21. IV.	22. IV.
Länge 4 m	1,4	1,6	1,6	2,6
urchm. 6 mm	1,4	2,2	2,8	3,5
	1,6	3,2	3,2	2,7
	2,7	3,7	1,9	0,3
	1,6	2,0	0	0
	1,6	1,6		
	1,0	0		
	1,0			
	0,4			
	0			
II.	1	1,7	1,8	1,7
Länge 3 m	1,2	3,1	3,5	4,0
urchm. 6 mm	2,2	4,5	3,3	2,5
	2,5	3,5	0,7	0
	1,3	1,3	0	
	0,5	0		
	0,5			
	0			

Phil. subovatum. Mittelhaus. Zonenlänge 5 mm.

I.	0	2,5	1,8
änge 2,5—3 m	1,0	4,2	3,6
urchm. 5,5 mm	1,0	5,4	6,3
	3,2	6,0	1,5
	2,0	3,2	0
	2,0	1,2	
	1,0	0,3	
	1,0	0,3	
	0,4	0	
	0,4		
	0		

Phil. elegans. Warmhaus. Zonenlänge 5 mm. Versuchsdauer 18. IV.—22. IV.

I.	1,4	1,6	2,5	3,2
änge 3—4 m	2,3	4,6	6,4	8,0
urchmesser 5 mm	2,3	4,6	4,1	2,7
	2,3	3,7	0,9	0
	3,0	2,0	0	
	1,0	0		
	1,0			
	0,5			
	0,5			
	0			
II.	0	1,2	1,2	1,9
itze der Hauptwurzel	1,4	4,0	4,2	5,0
bgestorben. Ersatz-	2,0	4,4	3,2	1,2
wurzel 0,5 m lang.	2,0	1,8	0,2	0
Dicke 5 mm	1,6	0,4	0	
	1,3	0		
	0,5			
	0			

Phil. elegans.	Warmhaus.	Zonenlänge 5 mm.	Versuchsdauer: 18. IV.—22. IV.	
III.	19. IV.	20. IV.	21. IV.	22. IV.
Ersatzwurzel	0,5	1,1	1,9	
Länge 40 cm	1,7	3,6	3,7	
Durchm. 5,7 mm	2,0	6,2	5,3	
	2,0	5,3	4,3	
	2,0	4,2	0	
	2,0	2,5		
	2,0	1,0		
	1,2	0		
	1,2			
	0			
IV.	1,4	1,3	2,6	0,9
Länge ca. 5 m	1,6	4,9	6,8	6,6
Durchm. 7 mm	2,3	7,3	7,4	3,3
	2,7	6,0	1,6	0
	2,3	2,7	0	
	1,5	0,7		
	0,7	0		
	0			

Phil. tripartitum.	Warmhaus.	Zonenlänge 5 mm.
I.	22. IV.	II. 22. IV.
	1,0	1,7
	1,5	2,2
	2,0	2,8
	2,0	2,5
	1,7	2,4
	0,7	2,0
	0	1,0
		0

B. Haftwurzeln.

Syngonium sp.	Warmhaus.		Zonenlänge 2 mm.	
I.	21. IV.	22. IV.	II.	21. IV.
Wurzeln aus dem	0,5	0,7	Wurzeln aus dem	0,4
jüngsten Nodus	1,0	2,2	2. Nodus	0,6
Länge 17 mm	1,5	2,0	Länge 45 mm	0,9
	0,3	0,5		0,4
	0	0		0

Phil. tripartitum. Warmhaus. Zonenlänge 2 mm.					
Wurzeln aus dem 1. (jüngsten) Nodus.					
I.	21. IV.	22. IV.	II.	21. IV.	22. IV.
Länge 50 mm	0,5	1,0	Länge 110 mm	0,6	0,4
	1,2	2,0		0,8	1,9
	1,5	1,7		0,8	1,8
	0,6	0,8		1,0	
	0,3	0		0,3	
	0			0	
Wurzeln aus dem 2. Nodus.					
I.	21. IV.	22. IV.	II.	21. IV.	22. IV.
Länge 35 mm	0,6	0,9	Länge 26 mm	1,0	1,0
	1,0	2,5		1,0	1,7
	1,7	2,3		1,7	1,5
	1,0	0		0,7	0
	0			0	
III.	1,0		IV.	0,8	0,5
Länge 16 mm	1,0		Länge 26 mm	1,2	1,4
	1,5			0,8	0
	0,5			0	
	0				

Pothos argyraeus. Warmhaus. Zonenlänge 1,2 mm.			
I.	26. VII.	II.	26. VII.
änge 19 mm	0,2	Länge 14 mm	0,2
	0,5		0,7
	1,0		1,1
	0,3		0,6
	0		0

Pothos celatocaulis. Warmhaus. Wurzeln des jüngsten Internodiums.
Zonenlänge 1 mm.

I. 20. IV.	II. 20. IV.
0	0
0,5	0,5
0,7	0,9
0	0

Die angeführten täglichen Messungen scheinen mir zu einem interessanten Ergebnisse zu führen. Es fällt sofort auf, daß die Zone des stärksten Zuwachses sowohl bei Nähr- als auch bei Haftwurzeln nicht sehr ausgeprägt ist, jedenfalls lange nicht in dem Maße, wie es bei den Erdwurzeln des Faba-Typus¹⁾ der Fall ist. Hier scheint mir nun das wichtigste Charakteristikum der Aroideenwurzeln zu liegen. Während die Länge der Wachstumszone und die Zuwachsgröße unter Umständen bei diesen und bei Erdwurzeln verschieden sein kann, ist den Luftwurzeln eine auffallende Gleichmäßigkeit des Wachstums eigentümlich. In manchen Fällen wie bei Philodendron III. tritt eine maximale Wachstumszone überhaupt kaum mehr hervor, da eine Strecke von 25 mm in gleichem Wachstum begriffen ist. Es muß zwar zugegeben werden, daß hier möglicherweise ein Messungsfehler unterlaufen ist, der wohl einige Zehntel Millimeter betragen mag, aber 0,5 mm gewiß nicht überschritt. Dadurch wird jedoch an der Tatsache des gleichmäßigen Wachstums nichts geändert.

Die charakteristische Wachstumsverteilung tritt besonders klar aus den beigegebenen Kurven hervor (s. Taf. X. und Figurenerklärung), in welchen auf der Abszisse die Zonengröße, auf der Ordinate der stündliche Zuwachs der jeweiligen Zone aufgetragen wurde. Die Wachstumskurven der Luftwurzeln unterscheiden sich auffällig durch ihren flachen Verlauf von den steilen Kurven, welche die Wachstumsverteilung der Erdwurzeln darstellen²⁾. Man entnimmt daraus, daß zwischen der Wachstumsverteilung bei Aroideenluftwurzeln (Nähr- und Haftwurzeln) einerseits, Erdwurzeln andererseits ein wesentlicher Unterschied besteht,

1) N. Sachs (I).

2) Der flache Verlauf der Kurve der Partialzuwüchse wurde von Sachs (I) bereits für die Nährwurzeln von Monstera deliciosa und Phil. Selloum erkannt.

daß es daher unstatthaft ist, die Nährwurzeln in dieser Beziehung den Hauptwurzeln, die Haftwurzeln den Nebenwurzeln I. Ordnung an die Seite zu stellen ¹⁾).

Der Geotropismus der Aroideenluftwurzeln.

Es wurde schon einleitend erwähnt, daß die Nährwurzeln allgemein als positiv geotropisch betrachtet werden, ohne daß hierfür ein zwingender Beweis erbracht worden wäre. Ein solcher ist auch nicht leicht zu erbringen, zumal Klinostatenversuche in diesem Falle infolge der technischen Schwierigkeiten kaum durchführbar sind.

Eine größere Anzahl von Versuchen wurde zunächst einfach in der Weise ausgeführt, daß die Wurzeln in horizontaler Zwangslage fixiert wurden, wobei aber ihr wachsendes Ende frei horizontal schwebte. Die Fixierung erfolgte stets oberhalb der wachsenden Region, um dieser eine freie Krümmungsfähigkeit zu wahren und um eine etwaige Kontaktwirkung auszuschließen. Beim Fixieren war überdies Vorsicht geboten, da die Nährwurzeln oft sehr spröde und daher leicht verletzlich waren. Soweit die Versuche messend durchgeführt wurden, sind sie in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

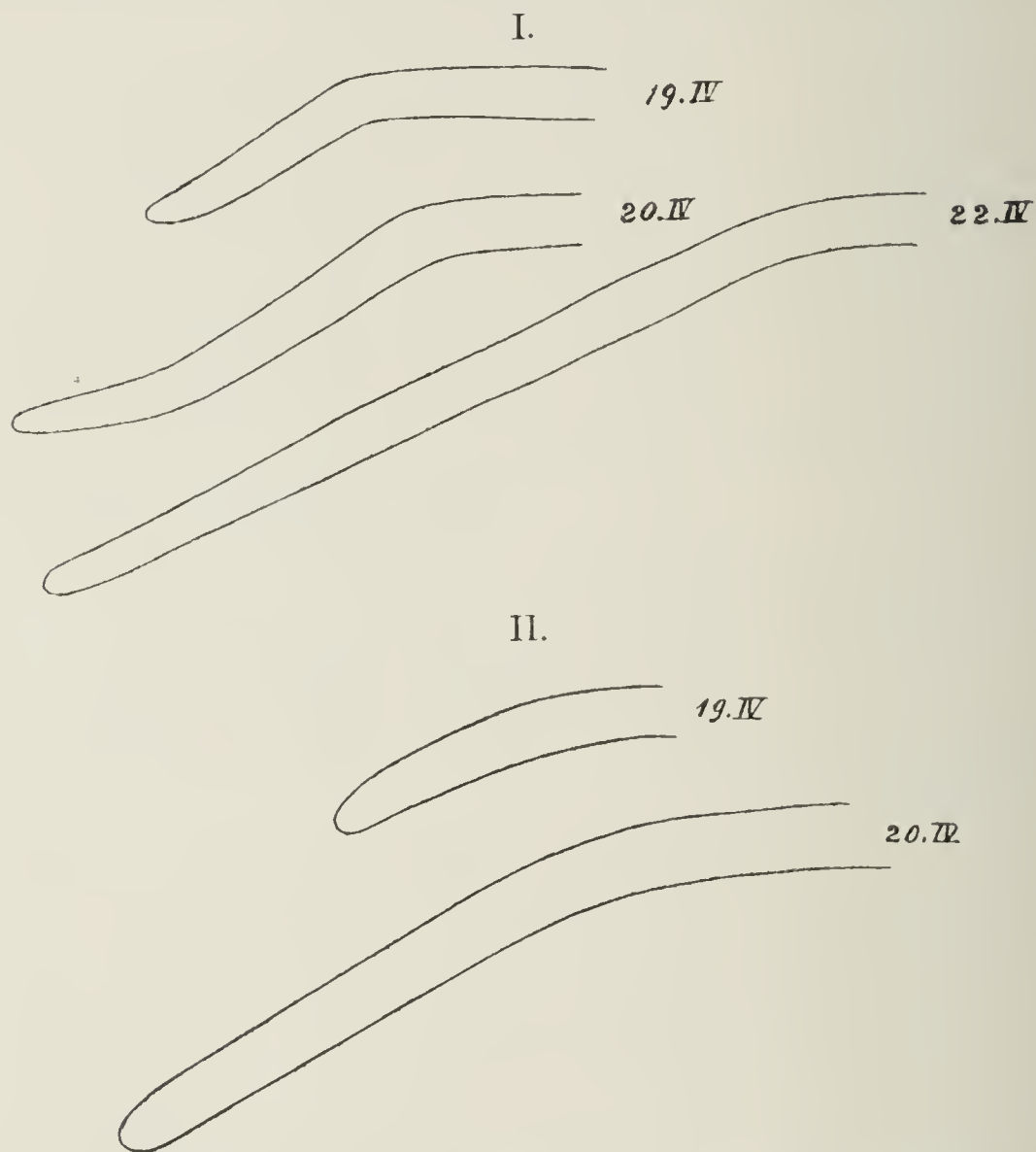
Name	Datum		Gesamtzuwachs in mm	Geotropisches Verhalten
	des Versuchsbeginns	der Beobachtung		
Phil. Houlettianum I.	29. I.	1. II.	10	Leicht hakenförmig abwärts gekrümmt.
		5. II.	7,5	30° ²⁾
„ „ II.	29. I.	1. II.	23	30°
		8. II.		unverändert
„ „ III.	18. IV.	19. IV.	10,5	28°
		20. IV.	11,6	18°
		21. IV.	10,6	35°
„ „ IV.	18. IV.	19. IV.	8,2	27°
		20. IV.	7,4	unverändert
		21. IV.	7,6	unverändert
„ „ V.	18. IV.	19. IV.	5,5	32°
		20. IV.	7,4	unverändert
		21. IV.	7,8	45°

1) Da Nähr- und Haftwurzeln ebenso wie Hauptwurzeln als primäre Wurzeln im Sinne von Sachs (II, pag. 24) zu gelten haben, so erkennt man deutlich, daß auch im vorliegenden Falle das physiologische Verhalten (Wachstum, Geotropismus) der morphologischen Dignität des Organs nicht parallel geht.

2) Die hier angegebenen Winkelgrößen bezeichnen die Neigung der Wurzel zum Horizont. Eine Erhebung über die Horizontale ist durch ein — Vorzeichen ersichtlich gemacht.

Name	Datum		Gesamt- zuwachs in mm	Geotropisches Verhalten
	des Versuchs- beginns	der Beob- achtung		
Phil. Selloum	I.	1. II.	5. II.	20°
			8. II.	25°; neuerlich horiz. fixiert
			15. II.	20°
			24. II.	durch 9 Tage horiz. geblieben
„ „	II.	22. II.	24. II.	ursprüngl. horiz. Lage unveränd.
Phil. elegans	I.	29. I.	5. II.	30°; neuerlich horiz. fixiert
			8. II.	15°
„	II.	18. IV.	19. IV.	30°
			20. IV.	Neuzuwachs 12°; älterer Teil 30°
			21. IV.	Gesamtwurzel 30°
			22. IV.	unverändert
„	III.	18. IV.	19. IV.	20°
			20. IV.	Neuzuwachs 18°; älterer Teil 32°
			21. IV.	Gesamtwurzel 30°
			22. IV.	unverändert
„	IV.	18. IV.	19. IV.	15°
			20. IV.	Neuzuwachs 20°; älterer Teil 50°
			21. IV.	unverändert
Phil. acutatum	I.	22. II.	23. II.	schwach geotropisch
„	II.	18. IV.	19. IV.	30°
			20. IV.	nahezu unveränd. } vergl. Fig. II
Phil. tripartitum		21. IV.	22. IV.	50°
Phil. Ghiesbrechtii		18. IV.	19. IV.	40°
			20. IV.	unverändert
Anthurium elegans	I.	22. III.	27. III.	55°
„ „	II.	22. III.	24. III.	50°
„ „	III.	22. III.	24. III.	20°
Anth. leucocarpum	I.	22. III.	27. III.	ursprüngl. Lage von — 60° unverändert
„	II.	22. III.	27. III.	ursprüngl. Lage von 5° unveränd.; dabei deutlich — heliotrop.
„	III.	22. III.	27. III.	ursprüngl. horiz. Lage beibehalten, aber — heliotrop.
Anth. fissum	I.	24. III.	27. III.	ursprüngl. Lage v. — 30° unveränd.
„	II.	24. III.	27. III.	„ „ „ 40° „
„	III.	24. III.	27. III.	aus der Horiz. auf — 5° aufgekümmert (vielleicht infolge — Heliotropismus).

Die an den Wurzeln beobachteten Krümmungen sind zunächst durch ihren flachen Verlauf, bzw. durch den großen Krümmungsradius des beschriebenen Bogens auffällig; zur Illustration dieses Verhaltens mögen beistehende genau nach der Natur angefertigten Skizzen dienen. Auch die in Fig. 1 auf Tafel IX abgebildete Wurzel von *Tornelia fragrans* zeigt den Krümmungsbogen in charakteristischer Ausbildung. Die Flachheit desselben hängt natürlich mit der für die Nährwurzeln der Aroideen so charakteristischen Länge ihrer Wachstumszone und dem geringen Hervortreten der maximalen Zuwachszone zusammen.



Geotropischer Krümmungsverlauf typischer Nährwurzeln.

I. *Phil. elegans* (I); II. *Phil. acutatum* (II). Natürl. Gr.

Manche Wurzeln, welche nicht als typische Nährwurzeln gelte können wie die von *Anthurium leucocarpum* und *A. fissum* zeige trotz ursprünglich verschiedener Lage zum Horizont außer offenkundige negativ-heliotropischen Krümmungen keinerlei Lageänderungen; sie sind zweifellos ageotropisch.

Die überwiegende Mehrzahl der typischen Nährwurzeln krümmt sich jedoch aus der Horizontalen nach abwärts. Auffällig ist es, daß sie in keinem einzigen Falle — die zahlreichen Beobachtungen, be-

welchen keine genaueren Zuwachsmessungen angestellt wurden, führe ich hier nicht auf — die Vertikale erreichten, daß sie sich vielmehr im günstigsten Falle selbst im Verlaufe von mehreren Tagen nur bis 55°, gewöhnlich nicht einmal soweit unter die Horizontale senkten. Die „Ersatzwurzeln“ verhalten sich ebenso wie die Nährwurzeln¹⁾.

Ob diese Krümmungen geotropischer Natur sind läßt sich nicht immer sicher entscheiden. Daß sie als Lastkrümmungen anzusprechen wären, ist von vornherein wenig wahrscheinlich, da das Gewicht der Wurzelspitze gegenüber den kräftigen Nährwurzeln, welche in der wachsenden Region einen Durchmesser von 0,5—1 cm erreichen können, kaum in Betracht kommt. Zudem spricht gegen diese Deutung auch das augenscheinlich mit aktiver Kraft erfolgende Eindringen der Luftwurzeln in den Boden. Überdies wurden eine Anzahl Versuche in der Weise durchgeführt, daß die gesamte wachsende Region um jede Lastwirkung auszuschließen durch eine feste Unterlage gestützt wurde. In diesem Falle krümmten sich die Wurzeln wie bei den Sachs'schen Glasplattenversuchen (I. [ges. Ab.] pag. 794) stets bogenförmig auf, die Konkavität nach unten gewendet. Es bleibt nur fraglich, ob die oben erwähnten Krümmungen nicht zum Teil durch einseitig einfallendes Licht beeinträchtigt wurden. Wenngleich getrachtet wurde, die horizontal liegenden Wurzeln einer überwiegend seitlichen Beleuchtung auszusetzen, so ließ es sich doch vielfach nicht vermeiden, daß auch starkes Licht von oben einstrahlte und möglicherweise zu negativ heliotropischen Krümmungen Anlaß gab.

Zur Entscheidung der Frage wurden die Enden der Nährwurzeln in Blechdosen eingeführt, deren durchlochter Deckel mit Watte hinreichend lichtdicht verschlossen wurde. Leider mußte ich mich auf einige wenige Versuche beschränken, da umfangreichere Versuchsreihen in den dem großen Publikum geöffneten Gewächshäusern nicht gut durchführbar waren. Ich führe nachstehend nur die wenigen Versuche an, bei welchen gleichzeitig Zuwachsmessungen ausgeführt wurden.

(Tabelle siehe nächste Seite.)

Mit vereinzelten Ausnahmen krümmten sich alle typischen Nährwurzeln, einschließlich *Phil. Selloum* und *Tornelia fragrans* (s. Fig. 1 Taf. IX) auch bei Lichtabschluß abwärts, erreichten aber auch unter diesen Bedingungen, trotzdem die Versuche tagelang fortgesetzt wurden, die Ver-

1) Die nach Verletzung der Nährwurzeln auftretenden Ersatzwurzeln gleichen also in jeder Hinsicht (vergl. pag. 277) den Nährwurzeln selbst, nicht aber den echten in diesen entspringenden Nebenwurzeln, welche nach Went (l. c. pag. 34) nicht oder kaum geotropisch reagieren.

Dunkelversuche.

Name	Datum		Zuwachs in mm	Geotropisches Verhalten
	des Versuchs- beginns	der Beob- achtung		
Phil. acutatum	20. IV.	21. IV.	9,5	schwach positiv geotropisch
Phil. subovatum	21. IV.	22. IV.	6,0	20° unter die Horizontale geneigt
Phil. tripartitum I.	21. IV.	22. IV.	8,9	30° „ „ „ „
„ „ II.	21. IV.	22. IV.	14,6	25° „ „ „ „
Phil. Houlettianum	20. IV.	22. IV.	13,9	unverändert horizontal
Phil. elegans I.	20. IV.	22. IV.	19,7	„ „
„ „ II.	18. IV.	21. IV.	53,6	nach 24 Stunden etwas auf- gerichtet, hierauf in die Hori- zontale zurückgekehrt und in dieser Lage verblieben

tikale nicht. Diese Wurzeln sind demnach zweifellos positiv geotropisch, doch ist ihr Reaktionsvermögen (oder ihre geotropische Sensibilität?) ein auffallend geringes.

Eine Ausnahme bildeten nur die Nährwurzeln von Phil. Houlettianum und Phil. elegans, welche, wie die vorstehende Tabelle zeigt, im Dunkeln horizontal weiterwachsen¹⁾. Ob die Wurzeln dieser Arten tatsächlich unter allen Umständen oder nur im Dunkeln ageotropisch sind oder ob ihr Geotropismus periodisch sistiert wird, läßt sich auf Grund der wenigen Versuche nicht entscheiden. Ich halte jedoch die letzte Deutung aus Analogie mit anderen Fällen für wahrscheinlich. Auch die Wurzeln von Phil. Selloum wuchsen bisweilen im Lichte (einmal trotz neuntägiger Versuchsdauer!) horizontal weiter, während sie sich in anderen Fällen deutlich krümmten. Dieselbe Erscheinung habe ich an Tornelia fragrans beobachtet. Im Warmhause des pflanzenphysiologischen Institutes wurde u. a. eine 60 cm lange Wurzel einer Topfpflanze beobachtet, welche unter annähernd gleichbleibenden Bedingungen kultiviert durch 7 Tage bei einem mittleren täglichen Zuwachs von 5,1 mm völlig horizontal weiter wuchs. Erst am 8. Tage zeigte sich eine schwache Krümmung nach unten, welche in den nächsten Tagen zunahm, obgleich der mittlere Zuwachs auf 1,9 mm gesunken

1) Die Vegetationsbedingungen der in Blechdosen eingeführten Wurzeln waren zweifellos infolge der großen Luftfeuchtigkeit günstiger als die der frei wachsenden Wurzeln. Die verdunkelten Wurzeln waren daher stets mit einem dichten Pelz von Wurzelhaaren bekleidet.

ar. An dem Unterbleiben der Krümmung in der ersten Woche der Beobachtung kann demnach nicht der geringe Zuwachs Schuld getragen haben¹⁾. Da dieselbe Tornelia-Wurzel später wiederholt neuerlich untersucht und der Regel entsprechend positiv geotropisch befunden wurde, so liegt die Annahme nahe, daß auch bei diesen Wurzeln eine periodische Sistierung des Geotropismus vorkommen kann. Ich halte diese Erklärung um so eher für zutreffend, als junge Wurzeln von Tornelia und anderen Aroideen sich gleichfalls ageotropisch verhalten und lange Zeit geradeaus weiterwachsen, was auch von Tischler bereits angegeben wird.

Das Verhalten der typischen Haftwurzeln entspricht vollkommen den bisherigen Anschauungen. Zahlreiche Versuche wurden namentlich mit Haftwurzeln von *Phil. subovatum*, *tripartitum* und *Houlletianum* anstellt, wobei aber höchstens ganz unbedeutende Lageänderungen um einige Grade, niemals geotropische Krümmungen wahrgenommen werden konnten; die ihnen ursprünglich erteilte Lage bzw. die anfängliche Wachstumsrichtung wurde vielmehr im Verlaufe des Wachstums ziemlich genau beibehalten. Die typischen Haftwurzeln können daher weder als positiv noch als transversalgeotropisch bezeichnet werden.

Ich komme demnach zu folgenden Ergebnissen:

Die typ. Nährwurzeln der Aroideen sind zweifellos zum großen Teile positiv geotropisch, doch ist ihr Geotropismus bei weitem geringerem Maße ausgeprägt als bei gewöhnlichen Bodenwurzeln. Manche unter ihnen sind aber auch unter günstigen Umständen wenigstens periodisch ageotropisch.

Die typ. Haftwurzeln sind stets ageotropisch. Dasselbe Verhalten zeigen solche Luftwurzeln von Anthurien und anderen Aroideen, deren Charakter als Nähr- bzw. Haftwurzel (in der Kultur) nicht sicher festzustellen ist.

Bezüglich des Auftretens von Statolithenstärke wurden folgende Arten einer anatomischen Untersuchung unterzogen.

A. Geotropische Wurzeln von		
<i>Phil. Houlletianum</i> ²⁾	typische Nährwurzel	
„ <i>Selloum</i> C. Koch	„	„
„ <i>elegans</i>	„	„
„ <i>acutatum</i> Schott	„	„

1) Ein gleichzeitig mit einer annähernd gleich dicken und 50 cm langen Luftwurzel von *Pandanus utilis* durchgeführter Versuch ließ schon am zweiten Tage eine ausgesprochene positive geotropische Krümmung erkennen, obwohl der mittlere Zuwachs nur 0,83 mm betrug.

2) Namen bzw. Autoren nach den Etiketten der Schönbrunner Gewächshäuser.

Phil. subovatum Schott	typische Nährwurzel
„ tripartitum Schott	„ „
Tornelia fragrans Guitier	„ „
Epipremnum mirabile Sch.	„ „
Anthurium elegans Engl.	„ „
„ regale Lind. et Andr.	„ „
„ digitatum Kunth	„ „
„ Appunianum Schott	„ „
„ crassinervum	„ „

B. Nicht geotropische oder periodisch ageotropische Wurzeln von	
Tornelia fragrans Guitier	vom 12. II.—24. II. ohne Krümmung schräg aufwärts wachsend
Phil. subovatum Schott	typische Haftwurzeln
„ tripartitum Schott	„ „
„ pteropus Mart.	„ „
„ pedatum Kunth	8,5 cm lange, horiz. wachsende Wurzeln aus dem jüngsten Internodium
„ giganteum Schott	ageotropische Haftwurzel
„ Houlettianum	nicht geotropisch reagierende Nährwurzel s. pag. 28
„ elegans	„ „ „ „ s. pag. 28
Tornelia fragrans Guitier	„ „ „ „ Luftwurzel s. pag. 28
„ „ „	vom 12. II.—24. II. ohne Krümmung schräg aufwärts gewachsen
Monstera dimidiata Hort.	vom 12. II.—24. II. ohne Krümmung schräg aufwärts gewachsen (junge 2,5 cm lange Wurzeln)
Epipremnum mirabile Sch.	Haftwurzel
Anthurium subsignatum Schott	ageotropische Luftwurzeln
„ fissum C. Koch	„ „
„ leucocarpum Schott	„ „
„ crassinervum	„ „
„ egregium Schott	„ „
„ ovalifolium	„ „

Die anatomische Untersuchung der typischen Nährwurzeln an Statolithen ergab nichts wesentlich Neues. In allen untersuchten Fällen ist wie bekannt eine Columella in der Wurzelhaube deutlich differenziert; vielfach (Phil. elegans, acutatum u. a.) ist sie an einer auf Färbung des Zellsaftes beruhenden Rotfärbung schon makroskopisch deutlich erkennbar. Die Zellen der Columella führen stets deutlich orientierte Stärke. Findet sich Stärke auch außerhalb der Columella im Gewebe der Haube oder der Wurzelspitze selbst, so besteht sie stets aus auffallend kleinen, nicht orientierten Körnchen.

Interessanter gestaltete sich die Untersuchung solcher Wurzeln, welche nicht geotropisch reagierten. Es wurden Nährwurzeln untersucht, welche im Dunkeln keine Krümmung ausgeführt hatten (vgl.

oben S. 288) sowie junge Wurzeln von *Tornelia*, welche in diesem Stadium gemeist gleichfalls ageotropisch erscheinen. Die Erwartung, in diesen Fällen keine Statolithenstärke zu finden, wurde jedoch getäuscht; der Statolithenapparat ist hier ebenso schön ausgebildet wie in den geotropisch gut reagierenden Nährwurzeln. Dasselbe gilt für die Luftwurzeln der Anthurien. Auch hier zeigen die nicht geotropischen Wurzeln von *Anthurium fissum* eine ebenso deutliche Columella wie die geotropisch sensiblen Wurzeln von *Anth. elegans* u. a.

Anth. crassinervum schien sich zunächst allerdings der Theorie entsprechend zu verhalten; in der Haube fehlten Stärkekörner vollständig. Wie messende Versuche an Wurzeln aus derselben Stammregion ergaben, war in diesen das Längenwachstum bereits erloschen. In allen Wurzeln jüngerer Stammpartien fand sich, sofern sie noch wachstumsfähig waren, Columella und orientierte Stärke in typischer Ausbildung vor. (Die Lage der Wurzeln ist aus der Fig. 2 Taf. IX zu entnehmen.)

Die Untersuchung zweifellos ageotropischer Haftwurzeln ergab ausnahmslos und ebenso typisch wie in den Nährwurzeln das Auftreten einer Columella mit orientierter Stärke. Die Columella ist allerdings in diesen Fällen auf eine kleinere Zahl von Zellen beschränkt als in den Nährwurzeln; bisweilen findet man an medianen Längsschnitten nur eine Gruppe von 5—6 Zellen mit deutlicher Statolithenstärke vor. Diese Tatsache findet jedoch ihre einfache Erklärung in den an und für sich bedeutend geringeren Dimensionen der Haft- im Vergleich zu den Nährwurzeln. An guten medianen Schnitten durch die Scheitel wachstumsfähiger Wurzeln wird man jedoch den „Statolithenapparat“ niemals vermissen.

Ich finde demnach, daß sowohl Nähr- als Haftwurzeln der Droideen stets und ganz unabhängig von ihren geotropischen Eigenschaften Statolithenstärke in der wohlausgebildeten Columella der Wurzelhaube führen.

Es fällt freilich nicht schwer, auch diese Fälle mit den Forderungen der Statolithentheorie in Einklang zu bringen; man braucht nur eine — allerdings nicht beweisbare — Annahme zu machen, daß in den geotropischen Wurzeln die geotropische Sensibilität oder Reaktionsfähigkeit erloschen ist, ohne daß der Statolithenapparat rückgebildet worden wäre. Ich fürchte jedoch, durch eine derartige Deutung einer Selbsttäuschung zu unterliegen und begnüge mich mit der bloßen Konstatierung der Tatsache.

Derartige Tatsachen, welche sich zunächst wenigstens mit der Statolithentheorie nicht in Einklang bringen lassen, sind bereits in größerer Zahl bekannt.

Aus eigener Erfahrung kann ich noch die Luftwurzeln von *Chlorophytum comosum* anführen. Die Versuche wurden in der Weise angestellt, daß mit dem Mutterstocke in Verbindung stehende Blattbüschel in entsprechend große Blechbüchsen mit durchlochem Deckel eingeführt wurden. Durch Verschließen der Öffnung mit einem dichten Wattebausch wurde eine hinreichender Lichtabschluß erzielt. (Die neu sich entwickelnden Blätter waren völlig etioliert!)

Die Anlagen der Luftwurzeln entwickelten sich unter diesen Verhältnissen sehr rasch. Die von einem dichten Pelz von Wurzelhaaren bedeckten Wurzeln wurden teils in horizontale, teils in schräge Richtungen gebracht. Ich gebe nachstehend eine Versuchsreihe wieder.

I. Wurzel horizontal. Zonenlänge 1 mm.

Zuwachs der Zonen an aufeinanderfolgenden Tagen:

13. III.	14. III.	15. III.
0	0,3	0,2
0,4	2,7	3,1
1,5	0	0
0,2		
0		

19. III. Lage seit Versuchsbeginn unverändert. (Vers. photographiert am 17. III. s. Fig. 3 Fig. IX).

II. Wurzel horizontal. Zonenlänge 1 mm.

13. III.	14. III.
0	1,1
1,8	2,4
0	0

19. III. Lage unverändert horizontal.

III. Wurzel schräg aufwärts. Zonenlänge 1 mm.

13. III.	14. III.	15. III.
0	0,7	2,3
1,5	2,0	1,2
0,7	0	0
0		

19. III. Lage während des ganzen Versuchs unverändert.

Obgleich nach diesen und anderen Versuchen die Luftwurzel von *Chlorophytum* als ageotropisch bezeichnet werden müssen, ergab die anatomische Untersuchung das Vorhandensein einer deutlichen Columella mit gut orientierter Stärke.

Ich halte es nicht für überflüssig, noch einige andere hierher gehörige Fälle aus der bereits so reichen Literatur über diesen Gegenstand zusammenzustellen, ohne dabei irgendwie eine Vollständigkeit anzustreben.

Gius, welcher auf Veranlassung Wiesners die positiv geotropischen Perigone von *Clivia nobilis* untersuchte, fand keine ausgesprochenen

orientierung der Stärke¹⁾. Wenngleich in einzelnen Zellen eine Tendenz der Stärke zu sinken zu erkennen war, erschien sie doch in der erwiegenden Mehrzahl der Fälle nicht orientiert.

Auch Samuels findet in einer Reihe von Fällen keine Übereinstimmung mit den Forderungen der Theorie. So fand er bei einer Form von *Amaryllis* im Perigon eine ein- bis zweischichtige Stärkeheide mit einseitig gelagerter Stärke, obgleich das Perigon keine geotropischen Eigenschaften zeigte. Die Gegenwart beweglicher Stärke hier jedoch nach seiner Meinung „eine günstige Voraussetzung für die Entstehung geotropischer Eigenschaften in der phylogenetischen Entwicklung der betreffenden Pflanzenart“ (l. c. pag. 278) oder es liegt eine Rückbildungserscheinung vor, wobei die Sensibilität erloschen, der Statolithenapparat aber noch erhalten ist. In den anscheinend geotropischen Filamenten von *Epilobium angustifolium* fanden sich nur kleine und an den Enden zerstreute Stärkekörnchen vor; in diesem Falle ist also die Krümmung überhaupt nicht geotropischer Natur oder es erfolgt die Geoperzeption auch durch die zerstreut liegenden Körnchen (pag. 280). In den vermutlich nicht geotropischen Perigonblättern von *Yucca filamentosa* wurde hingegen Statolithenstärke gefunden, doch liegt hier wohl eine bedeutungslose Erscheinung vor. Samuels findet, daß die von ihm mitgeteilten Tatsachen „zugunsten“ der Statolithentheorie sprechen, was nach meinem Dafürhalten für obige Beispiele keineswegs zutrifft; diese Tatsachen widersprechen vielmehr augenscheinlich der Theorie und können nur durch neue Hilfsannahmen mit ihr in Einklang gebracht werden.

Auch die interessanten Untersuchungen Tischlers, welche der Mehrzahl nach tatsächlich zugunsten der Theorie sprechen, halte ich zum Teil für nicht einwandfrei, zumal infolge der Fülle des behandelten Materials begreiflicherweise Wachstumsmessungen nicht ausgeführt wurden und es daher zweifelhaft bleibt, ob nicht in manchen Fällen das Fehlen von Stärke in ageotropischen Wurzeln darauf zurückzuführen ist, daß das Wachstum bereits erloschen war. Dies scheint mir nicht nur für die Beobachtungen an Haftwurzeln der Aroideen zuzutreffen, sondern könnte vielleicht auch bei den im Juni untersuchten Kurzwurzeln von *Aesculus* und den Anschwellungen von *Podocarpus* und anderen anscheinend ageotropischen Wurzeln der Fall gewesen sein.

1) Dieser Befund blieb bisher unwidersprochen. Wenn Samuels sagt, Gius sei zu keinem bestimmten Resultate bezüglich der Stärkeverteilung gelangt, so deutet dies auf einer Ungenauigkeit. Gius kam zum bestimmten Resultate, daß die Stärke unbestimmt orientiert ist.

Auch andere Ergebnisse dürften nach meinem Dafürhalten nicht zugunsten der Theorie verwertet werden können, ehe nicht eingehende experimentelle Untersuchungen vorliegen.

Tischler weist darauf hin, daß die jungen Seitenwurzeln noch keine orientierte Stärke besitzen und dementsprechend ageotropisch sind (z. B. bei *Vicia Faba*), während sie geotropisch reagieren, sobald die Stärke ihre Statolithenfunktion auszuüben beginnt. Nach Sach (I, pag. 895 u. Fig. 76) sind aber gerade die jungen Seitenwurzeln, wenn sie die Rindenzellen durchbrechen, also nach Tischler noch keine orientierte Stärke besitzen, stark geotropisch, wovon man sich leicht überzeugen kann. Die nach Dekapitation der Hauptwurzel unter bestimmten Umständen auftretenden Seitenwurzeln, welche bekanntlich eine angenähert vertikale Lage einnehmen, sollen schon von vornherein Statolithenstärke besitzen. Tischler scheint geneigt, daraus die Lage dieser Wurzeln erklären zu wollen, denn er bemerkt, „es ist schwer anzunehmen, daß beides (nämlich „Stimmungswechsel“ und gleichzeitige Ausbildung der Statolithenstärke) nicht in Zusammenhang stehen sollte!“ Durch die vom Anfange an ausgeprägte Statolithenstärke könnte wohl eine Verstärkung oder ein frühzeitiges Eintreten der geotropischen Perzeption und Reaktion erklärt werden; die Änderung des geotropischen Grenzwinkels beruht aber wohl nicht einfach auf einer verstärkten Geotropismus. Wenigstens ist es nicht wahrscheinlich, daß sich diese Wurzeln bezüglich ihres Geotropismus anders als normale Seitenwurzeln verhalten.

Aus diesen wenigen Beispielen geht schon hervor, daß ein wenn auch verhältnismäßig kleiner Teil der bisherigen anatomischen Befunde sich nicht als Stütze der Theorie verwerten läßt, ein anderer der Theorie direkt widerspricht. Diese letzteren Fälle können allerdings durch Hypothesen mit der Theorie in Einklang gebracht werden; es mag auch sein, daß die Deutungen der anscheinend widersprechenden Ergebnisse zutreffend sind; ein Beweis, daß sie zutreffen, wurde nie erbracht und kann auch zumeist nicht erbracht werden. Eine Berechtigung, die den Forderungen der Theorie entsprechenden Fälle als Induktion beweise zu ihren Gunsten zu verwerten, die übrigen jedoch durch unbewiesene Annahmen mit ihr in Einklang zu bringen, scheint mir nicht vorzuliegen, solange nicht die Theorie durch anderweitige Untersuchungen eine sicherere Stütze erfahren hat als bisher.

Daß aber die bisher bekannten Tatsachen noch keineswegs ein befriedigendes Urteil erlauben, muß leider zugegeben werden. Bisher pflegten die Schüttelversuche als bester Beweis der Statolithentheorie

gesehen zu werden. Der Einwand, daß durch das Schütteln an sich die Sensibilität des Plasmas gesteigert werden könnte, welcher von mir eigentlich eines Sammelreferates und von Fitting erhoben wurde, ist durch die letzten Versuche Haberlandts (III) widerlegt worden. Doch steht der Verwertung der Schüttelversuche ein anderes Hindernis im Wege. Diese Experimente beweisen höchstens, daß das sensible Plasma von den Stärkekörnern ausgeübten Stoß perzipiert, daß aber auch der statische Druck dieser Körner perzipiert wird, folgt daraus keineswegs. Wir kennen vielmehr keinen einzigen Fall, in welchen eine Ermüdungsreaktion auf der Sensibilität für Stoß- und Druckreiz bestehen würde. Es hat schon Pfeffer gezeigt, daß die auf Stoß- oder Streckreizung reagierenden Pflanzenorgane durch statischen Druck nicht gereizt werden. Will man daher aus dem Ausfall der Schüttelversuche auf die Bedeutung der „drückenden“ Stärkekörner schließen, so müßte man zuerst nachweisen, daß das Protoplasma in diesen Fällen entgegen unseren bisherigen Erfahrungen auf Stoß und statischen Druck in gleicher Weise durch eine Bewegung reagiert, will man nicht wieder Gefahr laufen, eine unbewiesene Hypothese in den Gang der Beweisführung einzuschalten.

Auch der in neuester Zeit von Fitting auf Grund seiner Versuche über intermittierende Reizung gegen die Theorie erhobene Einwand scheint mir noch zu Recht zu bestehen. Um diesen Einwand zu entkräften stellt Haberlandt (III) die Hypothese auf, daß sich im sensiblen Plasma schon während des Einsinkens jedes einzelnen Stärkekorns eine Ermüdung einstelle, welche durch den Druck eines folgenden ankommenden Stärkekorns paralysiert wird. Ich glaube nicht, daß diese Hilfshypothese viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, halte sie vielmehr für undenkbar.

Die Ermüdung des Perzeptionsapparates infolge andauernder Reizung spricht sich — um Haberlandts (III, pag. 323) Worte zu gebrauchen — darin aus, „daß bei der Fortdauer einer bestimmten Reizintensität eine Abschwächung oder Abstumpfung der Empfindlichkeit eintritt, die sich in einer Abnahme der Erregungsintensität äußert“. Und nun alle Stärkekörner eines Organs infolge einer Orientierungsänderung desselben umgelagert, was in wenigen Minuten der Fall ist, müßte sich jetzt eine Ermüdung umsomehr bemerkbar machen, als sie jetzt nicht weiter durch steigenden Druck paralysiert werden kann. Daß dies aber keineswegs der Fall ist, beweisen schon die Versuche Zapeks (I, pag. 187). Ihnen zufolge nimmt die Erregung selbst dann noch beträchtlich zu, wenn die Versuchsobjekte über

ihre Reaktionszeit hinaus geotropisch gereizt werden. Er eine „Reizung über 4 Stunden steigert die Erregung nicht mehr. Auch hier ist die Erregungssteigerung mit zunehmender Reizdauer eine erlangsame, dann immer raschere“ Eine Steigerung der Erregung mit zunehmender Ermüdung ist aber wohl nicht gut vorstellbar.

Ich verkenne nicht, daß zahlreiche Befunde tatsächlich mit der Theorie in gutem Einklang stehen; es scheint mir jedoch umsomehr Vorsicht in der Fällung eines endgiltigen Urteils am Platze, als man den Vorgang der Geoperzeption ohne wesentlich größere Schwierigkeiten auch in anderer Weise, wenngleich weniger sinnfällig, erklären kann.

Der Ausfall der Zentrifugalversuche lehrte, daß die Schwerkraftwirkung auf einer Massenwirkung beruht. Man hat sich infolgedessen an die Vorstellung gewöhnt, daß die Perzeption des Schwerereizes durch einen Druck eines Körpers auf das Plasma vermittelt werden müsse. Diese Vorstellung haben die Statolithentheorien von Loeb, Noll, Haberlandt und Némec gemeinsam.

Ich glaube, daß aber auch die Möglichkeit ins Auge gefaßt werden sollte, daß die Perzeption selbst ohne Statolithen, also ohne Druckvermittler vor sich gehen kann. Denken wir uns ein rechteckiges Netz aus polyedrischen Maschen bestehend, so werden die Netzmaschen bei entsprechendem Gewichte des Netzes natürlich verschieden deformiert werden, je nachdem dasselbe an seiner Längs- oder an seiner Schmalseite aufgehängt wird. Ist das Gewicht nicht so groß, daß es zu einer sichtbaren Deformation des Netzes kommt, so werden doch die verschiedenen Seiten jeder Masche unter dem Einflusse der Schwerkraft mithin in Abhängigkeit von der Lage zum Horizonte unter verschiedenen Spannungsverhältnissen stehen. In ähnlicher Weise könnten selbst in einem Plasma, das gar keine spezifisch schwereren oder leichteren Körper enthält, je nach der Lage im Raume unter dem Einflusse der Schwerkraft Spannungsänderungen auftreten, welche durch seine Struktur bedingt sind und zu einer Reizreaktion führen. Eine bestimmte Verteilung dieser Spannungszustände würde natürlich der Ruhelage entsprechen, während eine Änderung derselben als Reiz perzipiert werden könnte. Auf diese Weise könnte eine Perzeption des Schwerereizes auch völlig unabhängig von spezifisch schwereren Körperchen vor sich gehen¹⁾, sie brauchte nicht einmal in Plasmaansammlungen zum Ausdruck kommen. Ich will keineswegs behaupten, daß diese in allen

1) Eine ähnliche Vorstellung schwebt wohl auch Fitting vor, wenn er es als fraglich bezeichnet, ob nicht das Plasma durch seine eigene Masse in den Reizzustand versetzt werden könne. l. c. pag. 390.

Kürze angedeutete Vorstellung einen Vorzug vor der Statolithentheorie verdient, glaube aber, daß sie ebensogut wie diese denkmöglich ist, ja manche Tatsachen sogar ungezwungener zu erklären gestattet. Eine Entscheidung der Frage kann aber — und darin stimme ich mit Nitting vollkommen überein — nur das Experiment bringen.

Zum Schlusse erfülle ich nur eine angenehme Pflicht, wenn ich meinem hochgeschätzten Lehrer, Herrn Hofrat Prof. Dr. J. Wiesner, für das meinen Untersuchungen stets entgegengebrachte Interesse meinen ergebensten Dank ausspreche.

Wien, im pflanzenphysiol. Institute d. k. k. Universität,
Ende Dezember 1906.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Die Länge der Wachstumszone typischer Nährwurzeln der Aroideen ist in der Regel — wie bereits Sachs beobachtete — auffallend lang. In den untersuchten Fällen schwankt sie zumeist zwischen 20—50 mm; die Extreme betrugen 90 mm einerseits, 5—10 mm andererseits.
2. Die nach Verletzung einer Nährwurzel auftretenden „Ersatzwurzeln“ verhalten sich bezüglich ihres Wachstums wie Nährwurzeln.
3. Die Länge der Wachstumszone typischer Haftwurzeln schwankt zwischen 3—14 mm.
4. Die relative Wachstumsgeschwindigkeit der Nährwurzeln ist durchschnittlich geringer als die der Haftwurzeln (15—35 % gegenüber 40—70 %); beide Wurzelkategorien stehen in dieser Beziehung den Erdwurzeln des *Vicia Faba*-Typus weit nach.
5. Der tägliche Gesamtzuwachs ist bei Nähr- und Haftwurzeln nicht größer als bei gewöhnlichen Erdwurzeln.
6. Die Zone des stärksten Zuwachses ist sowohl bei Nähr- als auch bei Haftwurzeln nicht sehr ausgeprägt; für die Luftwurzeln ist daher eine im Verhältnis zu Erdwurzeln auffallende Gleichmäßigkeit des Wachstums (eine flache Kurve der Partialzuwächse) charakteristisch.
7. Die typischen Nährwurzeln der Aroideen sind zum großen Teil positiv geotropisch, doch ist ihr Geotropismus nur in geringem Maße ausgeprägt, d. h. sie erreichen aus horizontaler Lage tagelang nicht die Vertikale. Manche Nährwurzeln sind auch unter günstigen äußeren Faktoren gänzlich oder doch periodisch ageotrop.
8. Typische Haftwurzeln sind stets ageotrop. Dasselbe Verhalten zeigen Luftwurzeln von Anthurien und anderen Aroideen, deren Charakter als Nähr- bzw. Haftwurzel nicht sicher festzustellen war.
9. Nähr- und Haftwurzeln der Aroideen führen, so lange sie wachsen, stets und zwar unabhängig von ihren geotropischen Eigenschaften „Statolithenstärke“ in der wohlausgebildeten Columella der Wurzelhaube.

Literatur-Nachweis.

- Fr. Czapek, Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1898, Bd. XXXII, H. 2.
- H. Fitting, Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1905, Bd. XLI, H. 2 u. 3.
- L. Gius, Über die Lageverhältnisse der Stärke in den Stärkescheiden der Perigone von *Clivia nobilis* Lindl. Österr. bot. Ztg. 1905, No. 3.
- G. Haberlandt, I. Physiologische Pflanzenanatomie. III. Aufl., Leipzig 1904.
- Ders., II. Zur Statolithentheorie des Geotropismus. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1903, Bd. XXXVIII.
- Ders., III. Bemerkungen zur Statolithentheorie. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1905, Bd. XLII, H. 2.
- B. Němec, Über die Wahrnehmung des Schwerkraftsreizes bei den Pflanzen. Pringsh. Jahrb. 1901, Bd. XXXVI.
- W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Bd., Leipzig 1904.
- J. Sachs, I. Über das Wachstum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arbeit. d. bot. Inst. zu Würzburg 1873/74, Bd. I, H. 3 u. 4. — Ges. Abhandlungen, Bd. II, Abhandl. XXXI u. XXXII.
- Ders., II. Über latente Reizbarkeit. Flora 1893, H. 1. — Physiologische Notizen, herausgeg. von K. Goebel, Marburg 1898, No. 4.
- Samuels, Über das Vorkommen von Statolithenstärke in geotropischen Blütenteilen. Österr. bot. Zeitschr. 1905, pag. 273.
- A. F. W. Schimper, Die epiphytische Vegetation Amerikas. Botan. Mitteil. a. d. Tropen, H. 2, Jena 1888.
- G. Tischler, Über das Vorkommen von Statolithen bei wenig oder gar nicht geotropischen Wurzeln. Flora 1905, Bd. XCIV, H. 1.
- F. A. Went, Über Haft- und Nährwurzeln bei Kletterpflanzen und Epiphyten. Ann. du Jard. Bot. de Buitenzorg 1893, Vol. XII.
- J. Wiesner, I. Notiz über eine Blüte mit positiv geotropischen Eigenschaften. Ber. d. Deutschen bot. Gesellsch. 1892, Bd. X.
- Ders., II. Studien über den Einfluß der Schwerkraft auf die Richtung der Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wiens, mathem.-naturw. Kl., I. Abteil., Bd. CXI, 1902.

Figuren-Erklärung.

Tafel IX.

- Fig. 1. Geotropisch gekrümmte Luftwurzel von *Tornelia fragrans*.
- Fig. 2. Luftwurzeln von *Anthurium crassinervum*; die jüngeren Wurzeln durchwegs ageotropisch; einige ältere Wurzeln sind zu positiv geotropischen Nährwurzeln geworden.
- Fig. 3. Ageotropische, im Dunkeln gezogene Luftwurzel von *Chlorophytum comosum*.

Tafel X.

Zuwachskurven von

I.	Philod. Houlettianum (Nährwurzel).	
II.	„ acutatum	„
III.	„ elegans	„
IV.	„ tripartitum	„
1.	Syngonium sp.	(Haftwurzel)
2.	Philod. tripartitum	„
3.	Pothos argyraeus	„
4.	„ celatocaulis	„
a.	Vicia Faba (Hauptwurzel)	} nach Sachs'schen Messungen.
b.	„ „ (Nebenwurzel).	

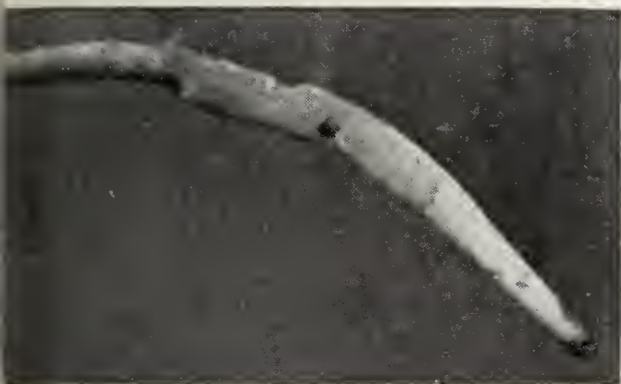


Fig. 1.



Fig. 2.

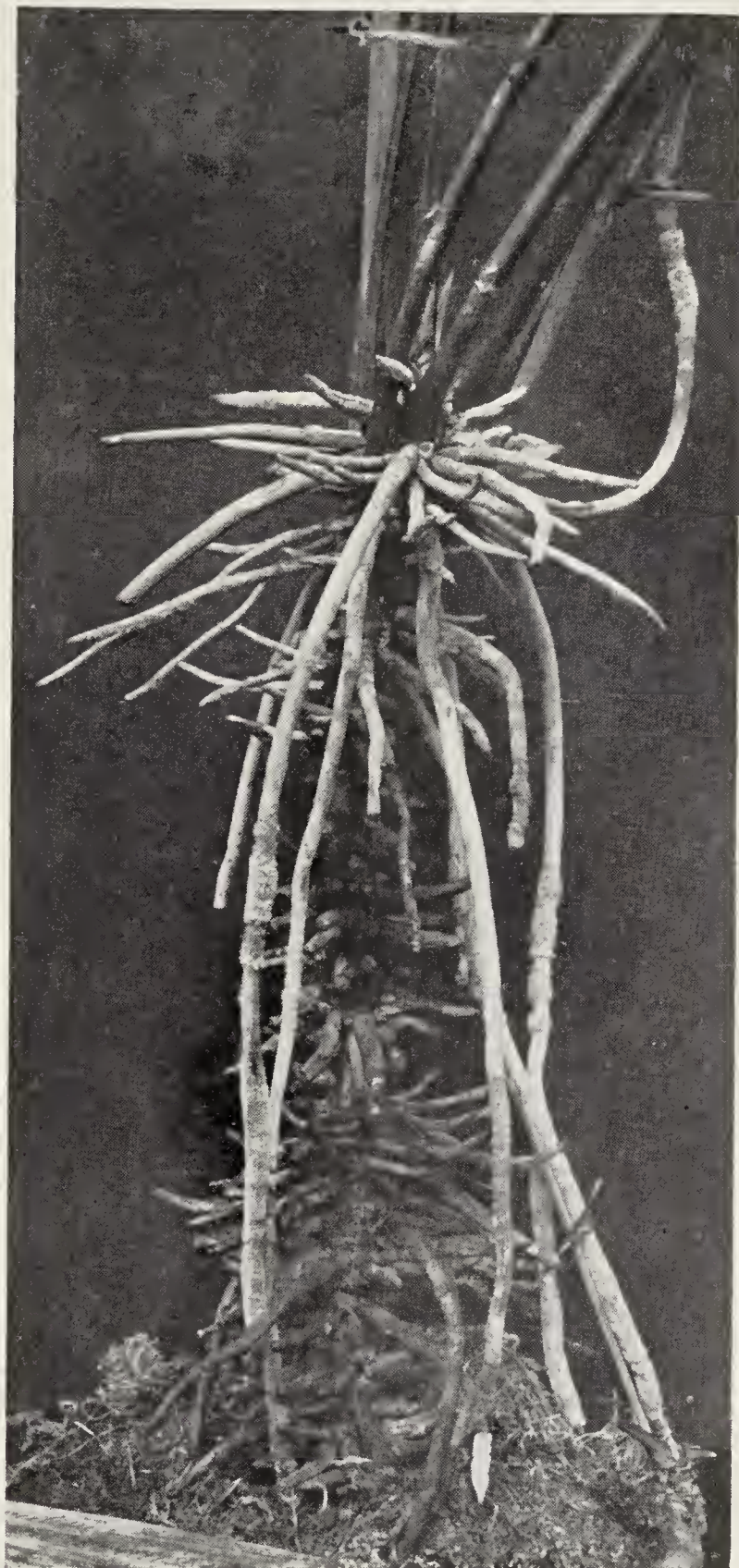
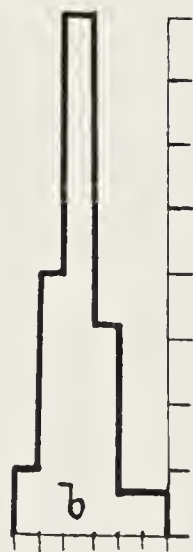
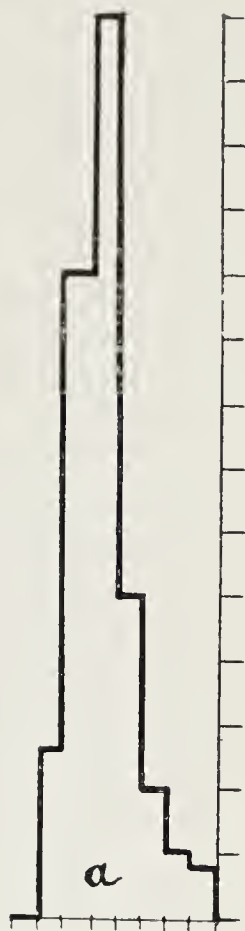
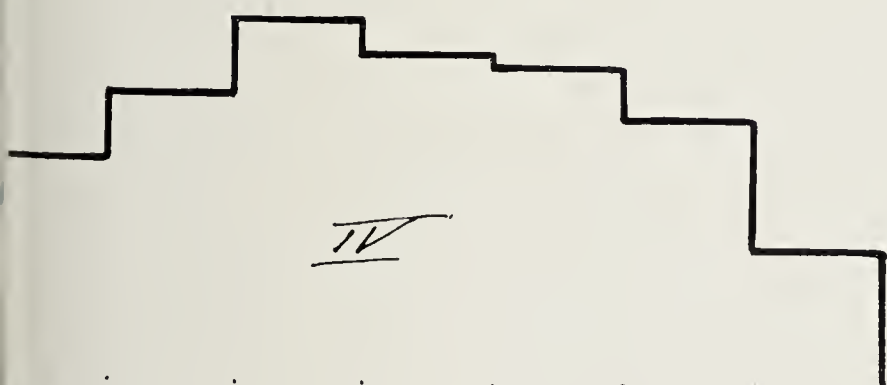
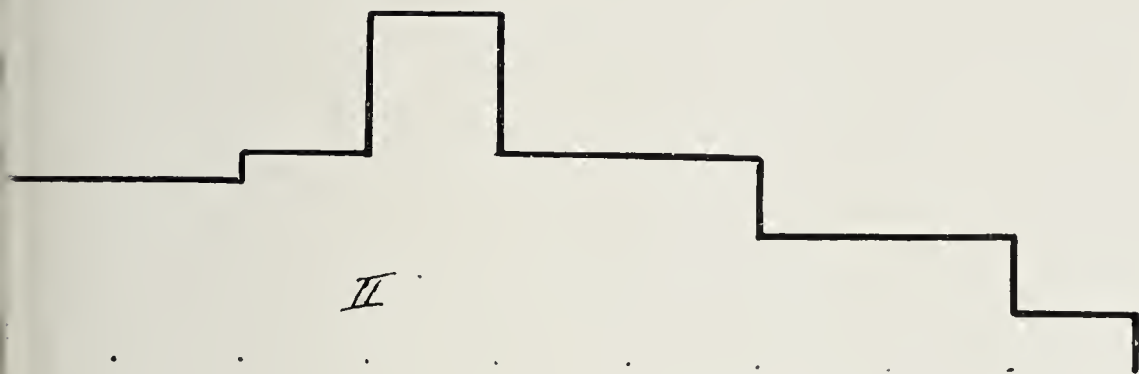
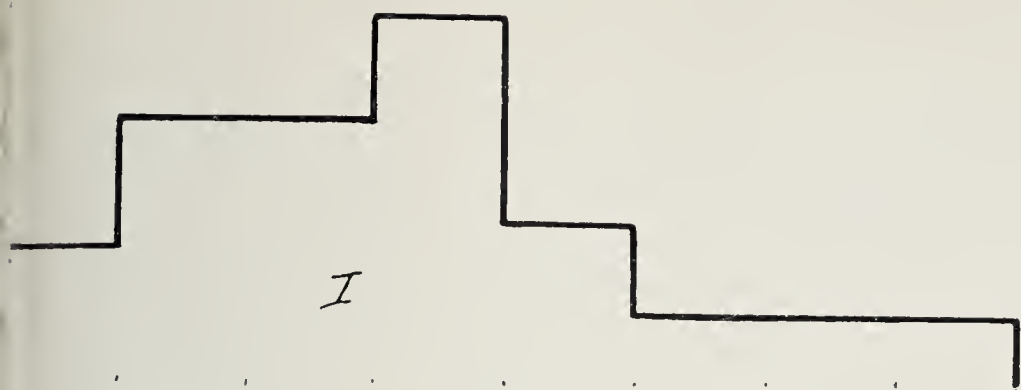


Fig. 3.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [97](#)

Autor(en)/Author(s): Linsbauer Karl

Artikel/Article: [Über Wachstum und Geotropismus der Aroideen-Luftwurzeln
267-298](#)