

Über den Geotropismus der Grasknoten.

Von

M. M. RiB.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN.

Einführung.

Im Jahre 1884 veröffentlichte Elfving eine kurze Arbeit »Über das Verhalten der Grasknoten am Klinostat« (1884 Ofversigt Finska Wetensk. förhandlingar.). Er hatte gefunden, daß »Knoten von *Avena elatior*, welche in normaler Lage ihr Wachstum fast abgeschlossen haben, ein erneutes und zwar allseitiges Längenwachstum zeigen, wenn man sie durch Rotation am Klinostat „dem krümmenden Einfluß der Schwerkraft“ entzieht«. In den folgenden Tabellen stellt Elfving seine Versuchsergebnisse zusammen. »In der ersten Kolumne ist die ursprüngliche Länge der aufrechtgestellten Knoten (A) in Mikrometerteilen angegeben; in der zweiten der entsprechende Zuwachs nach angegebener Zeit. Die dritte und vierte Kolumne enthält dieselben Daten für die horizontal gelegten, rotierenden Knoten (B). Unten in jeder Tabelle stehen die Mittelwerte.« Der Wert eines Teilstriches beträgt 0,033 mm. Der leichteren Übersicht wegen seien in einer 5. Kolumne die Mikrometerteile der 4. Kolumne in mm umgerechnet von mir beigefügt.

Versuchsdauer 44 Stunden.

A		B		
105	5	102	14	0,462 mm
82	0	83	1	0,033 „
90	6	92	12	0,396 „
88	0	86	8	0,264 „
61	0	67	6	0,198 „
69	4	63	11	0,363 „
79	4	80	4	0,134 „
72	3	69	1	0,033 „
59	0	62	2	0,066 „
78,3	2,4	78,5	6,4	0,216 mm

Versuchsdauer 42 Stunden.

A		B		
89	2	89	9	0,297 mm
82	2	86	21	0,693 „
87	1	81	14	0,462 „
67	0	64	11	0,363 „
88	0	89	6	0,198 „
54	1	52	7	0,231 „
55	2	55	10	0,330 „
58	1	54	11	0,363 „
73	3	76	13	0,429 „
72,5	1,3	71,8	11,3	0,374 mm

Versuchsdauer 65 Stunden.

57	4	59	21	0,693 mm
68	8	68	26	0,858 „
71	2	75	10	0,330 „
57	7	56	22	0,726 „
55	4	55	7	0,231 „
61,6	5,0	62,6	17,2	0,567 mm

Aus den Elfving'schen Tabellen ist ersichtlich, daß die auf dem Klinostaten rotierten Knoten eine größere Wachstumszunahme zeigen als die vertikal stehenden Kontrollknoten. An und für sich ist der Zuwachs nicht sehr bedeutend. 0,858 mm Zuwachs nach einer Rotationsdauer von 65 Stunden ist der höchste Wert, der erreicht wird. Der Unterschied zwischen den rotierten Exemplaren und den Kontrollknoten ist aber deutlich.

Elfving schreibt die Wiederaufnahme des Wachstums auf dem Klinostaten dem Einfluß der diffus wirkenden Schwerkraft zu. Dagegen spricht Pfeffer die Vermutung aus, daß die Wiederaufnahme eine Folge der Aufhebung der Schwerewirkung in der Längsrichtung sein könnte. Diese Vermutung gewann an Wahrscheinlichkeit, nachdem für Wurzeln nachgewiesen war, daß die Schwerkraft, die in der Organachse angreift, einen hemmenden Einfluß auf die Wirkung des einseitigen Schwerereizes ausübt. In dieser Arbeit soll nun geprüft werden, ob die Wiederaufnahme des Wachstums auf dem Klinostaten dem Einfluß der senkrecht zur Organachse angreifenden Schwerkraft zuzuschreiben ist, wie Elfving meint, oder ob die Aufhebung der Längskraft die Erweckung des Wachstums bewirkt. Außerdem ist ein etwaiges Zusammenwirken der diffusen und der in der Längsrichtung angreifenden Kraft in Betracht zu ziehen. Die Versuche wurden im bota-

nischen Institut im Frühjahr 1913 und 1914 ausgeführt. Herrn Professor Jost sei für seinen bei dieser Arbeit erteilten Rat und seine bereitwillige Unterstützung bestens gedankt.

Ich wiederholte zuerst die Elfvingschen Versuche. Aus Gründen, die in dem betreffenden Abschnitte erwähnt werden, reizte ich außerdem Grasknoten in der Horizontallage auf zwei antagonistischen Flanken. Um den Einfluß der in der Längsrichtung angreifenden Schwerkraft kennen zu lernen, wurden Versuche angestellt, bei welchen die Halme vertikal standen und in dieser Stellung durch eine Fliehkraft senkrecht zur Organachse gereizt wurden. Auch hier wurde der Reiz allseitig und zweiseitig zugeführt.

Das Versuchsmaterial und seine Behandlung.

Als Material benutzte ich *Secale cereale*, *Triticum vulgare*, *Triticum durum*, *Hordeum bulbosum*, *Avena brevis*. Die Knoten dieser Gräser reagierten ungefähr gleich gut, außer *Triticum vulgare*, das sich als weniger empfindlich erwies. Die Grashalme wurden 16 bis 20 cm unterhalb und 6 cm oberhalb des Knotens abgeschnitten; am oberen und am unteren Rand des Knotens wurde eine Tuschemarke angebracht und ihr Abstand mit Hilfe eines Leitzschen Horizontalmikroskopes gemessen. Ein Mikrometerteilstrich entsprach 0,1 mm. Gemessen wurde bei weißem Licht, das senkrecht von oben auf den Halm fiel. Die Halme standen in Glasgefäßen, auf deren Boden sich feuchte Sägespäne befanden. Um günstige Feuchtigkeitsverhältnisse zu erzielen, wurden die Gefäße mit feuchtem Filtrierpapier verschlossen; außen waren sie mit schwarzem Papier bedeckt oder standen unter Dunkelstürzen. Zur Verwendung kamen möglichst gleichaltrige und ähnlich aussehende Knoten. Es wurden neben den Versuchsknoten auch Kontrollknoten benutzt, um festzustellen, ob sie ausgewachsen waren oder nicht; in den Fällen wo keine Kontrollen verwandt wurden, habe ich die Knoten 12 Stunden vor dem Beginn des Versuches gemessen und dann nur die ausgewachsenen verwendet.

Nach Abschluß eines Versuchs legte ich die Halme horizontal, um ihre Reaktionsfähigkeit zu prüfen. Die Krümmung blieb bei keinem Versuch aus. Die Knoten behielten im feuchten Raume ziemlich lange ihre Reaktionsfähigkeit. Dies zeigt folgender Versuch an:

Versuch 1.

11 Knoten von *Sec. cereale* wurden vertikal in ein Glasgefäß, auf dessen Boden feuchte Sägespäne lagen, gesteckt.

Nach 12 Stunden wurde Knoten 1 horizontal gelegt. In Zwischenräumen von je 24 Stunden folgten Knoten 2 und 3, 4 und 5, 6 und 7, 8 und 9, 10 und 11, so daß also Knoten 10 und 11 erst am 6. Tage, nachdem sie abgeschnitten waren, auf ihre Reaktionsfähigkeit untersucht wurden. Der Krümmungswinkel wurde täglich bis zum 5. Tag gemessen. Es ergab sich dabei folgendes:

Knoten ¹	Reaktion nach 5 Tagen	Knoten ¹	Reaktion nach 5 Tagen
<u>1</u>	55 ⁰	<u>7</u>	45 ⁰
<u>2</u>	58 ⁰	<u>8</u>	28 ⁰
<u>3</u>	39 ⁰	<u>9</u>	57 ⁰
<u>4</u>	49 ⁰	<u>10</u>	30 ⁰
<u>5</u>	46 ⁰	<u>11</u>	32 ⁰
<u>6</u>	26 ⁰		

Am 4. Tage begannen die Halme gelb zu werden, reagierten aber in diesem Zustande noch gut.

I. Reizung in horizontaler Stellung.

I. Allseitige Reizung.

a) Wiederholung der Eلفvingschen Versuche:

Versuch 2. Knoten von *Triticum vulgare* wurden 15 Stunden auf dem Klinostaten rotiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs nach 15 Stdn.
	vor der Rotation	nach	
1.	15	20	5
2.	26	26	0
3.	20	20	0

Ergebnis: Knoten 1 zeigte nach 15 Stunden Rotation einen Zuwachs von 5 Teilstrichen; Knoten 2 und 3 keinen.

¹⁾ Die Nummern, die die Knoten bezeichnen, sind einmal unterstrichen, wenn es der oberste, zweimal wenn es der zweitoberste Knoten des Halmes ist.

Versuch 3. Knoten von *Triticum vulgare* 24 Stunden rotiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs nach 24 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	41	42	1
2.	25	25	0
3.	35	35	0
4.	40	40	0
5.	18	18	0
6.	50	50	0

Ergebnis: Knoten 1 zeigte nach 24 Stunden Rotation einen Zuwachs von 1 Teilstrich; Knoten 2 bis 6 keinen.

Versuch 4. Knoten von *Triticum vulgare* 46 $\frac{1}{2}$ Stunden rotiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs nach 46 $\frac{1}{2}$ Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	28	28	0
2.	27	27	0
3.	29	29	0
4.	20	20	0
5.	26	26	0
6.	15	15	0
7.	30	30	0

Ergebnis: Knoten 1 bis 7 zeigten keinen Zuwachs nach Rotation von 46 $\frac{1}{2}$ Stunden.

Versuch 5. Knoten von *Secale cereale* 24 Stunden rotiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs nach 24 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	16	18	2
2.	26	30	4
3.	17	18	1
4.	14	15	1
5.	21	23	2

Vertikalstehende Kontrollknoten.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs nach 24 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	24	24	0
2.	16	16	0
3.	23,5	23,5	0
4.	27	30	3

Ergebnis: Alle Knoten zeigten einen Zuwachs; die Kontrollknoten sind bis auf Nr. 4 ausgewachsen.

Versuch 6.
Knoten von *Secale cereale* 48 Stunden rotiert.

	Abstand der Tusche- marken			Zuwachs nach	
	vor	nach		22 Stdn.	48 Stdn.
		22 Stdn.	48 Stdn.		
	der Rotation				
1.	10	10	12	0	2
2.	14	14	16	0	2
3.	10	10	15	0	5
4.	10	11	16	1	6
5.	20	20	31	0	11
6.	25	26	36	0	11
7.	10	10	13	0	3
8.	17	18	20	1	3

Vertikalstehende Kontrollknoten.

1.	13	13	13	0	0
2.	12	12	12	0	0
3.	14	14	14	0	0
4.	13	13	13	0	0
5.	14	14	14	0	0
6.	22	22	24	0	2
7.	15	15	15	0	0
8.	13	14	14	1	1

Ergebnis: Nach 22 Stunden zeigten Knoten 4 und 8 geringen Zuwachs; nach 48 Stunden zeigten alle Knoten einen bedeutenden Zuwachs. Die Kontrollknoten waren ganz oder nahezu ausgewachsen.

Die Versuche mit *Secale cereale* bestätigten die Ergebnisse Elfving's. Für *Triticum vulgare* konnte ich mit geringen Ausnahmen keine Wachstumsaufnahme nach 48 Stunden Rotation feststellen. Da aber *Triticum vulgare* bei ruhiger Horizontalexposition langsamer reagierte als *Secale cereale*, so ist anzunehmen, daß eine länger andauernde Rotation auf dem Klinostaten auch bei diesem Objekt das Wachstum beschleunigt.

b. Nachwirkung.

Da die Wachstumsaufnahme bei den rotierten Exemplaren erst nach ungefähr 48 Stunden sichtbar wurde, untersuchte ich,

ob eine kürzere Reizdauer etwa eine nachträgliche Wirkung hervorzurufen vermag.

Versuch 7.

Knoten von *Secale cereale* 1 Stunde rotiert.

	Abstand der Tuschemarken		Zuwachs als Nachwirkung nach 24 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	21,5	21,5	0
2.	20	20	0
3.	15	15	0
4.	11,5	11,5	0
5.	13	13	0
6.	15	16	1
7.	15	15	0

Ergebnis: 1 Stunde Rotation rief keine Nachwirkung nach 24 Stunden hervor.

Versuch 8.

Knoten von *Secale cereale* 1 $\frac{1}{2}$ Stunde rotiert.

	Abstand der Tuschemarken		Zuwachs als Nachwirkung nach 23 $\frac{1}{4}$ St.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	15	15	0
2.	11,5	11,5	0
3.	13	13	0
4.	16	16	0
5.	15	15	0

Ergebnis: 1 $\frac{1}{2}$ Stunden Rotation riefen keine Nachwirkung nach 23 $\frac{1}{4}$ Stunden hervor.

Versuch 9.

Knoten von *Secale cereale* 5 Stunden rotiert.

	Abstand der Tuschemarken		Zuwachs als Nachwirkung nach 21 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	19	20	2
2.	12	13	1
3.	20	20	0,5
4.	8,5	9	1,1
5.	11	11,5	0,5
6.	15	16,5	2
7.	17	17	0
8.	20	20	0,5

Ergebnis: 5 Stunden Rotation hatten eine Nachwirkung nach 21 Stunden zuzufolge.

Versuch 10.

Knoten von *Secale cereale* 6 Stunden rotiert.

	Abstand der Tuschemarken		Zuwachs als Nachwirkung nach 22 $\frac{1}{2}$ St.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	20	20	0,5
2.	14	14	0
3.	26	26	1,5
4.	17,5	17,5	0,5
5.	22	22	2
6.	16	16	1
7.	22	22	2

Ergebnis: 6 Stunden Rotation hatten eine Nachwirkung nach 22 $\frac{1}{2}$ Stunden zuzufolge.

Versuch 11.

Knoten von *Secale cereale* 6 Stunden rotiert.

	Abstand der Tuschemarken		Zuwachs als Nachwirkung nach 25 Stdn.
	vor der Rotation	nach der Rotation	
1.	37	37	0
2.	30	30	2
3.	31	31	0,5
4.	40	40	1,5
5.	17,5	17,5	0,5
6.	30	30	0
7.	13	13	1
8.	24	24	1

Ergebnis: 6 Stunden Rotation hatten eine Nachwirkung nach 25 Stunden zuzufolge.

Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß eine Rotation von 5 bis 6 Stunden genügt, um eine Nachwirkung hervorzurufen.

Es war von Interesse nun die Wirkung, eventuell Nachwirkung, eines einseitigen Schwerereizes von 1 bis 6 Stunden Dauer festzustellen.

Versuch 12.

Knoten von *Secale cereale* 3 Stunden ruhig horizontal exponiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs als Nachwirkung nach 24 Stdn.
	vor der Exposition	nach	
1.	27	28	2
2.	38	38	1,5
3.	32	32	0
4.	25,5	25,5	2,5

Ergebnis: 3 Stunden Horizontalexposition hatten nach 24 Stunden eine Nachwirkung zufolge. Trotz des Zuwachses war aber nur Knoten 4 eine Spur gekrümmt, die übrigen Knoten gerade.

Versuch 13.

Knoten von *Secale cereale* 4 Stunden horizontal exponiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs als Nachwirkung nach 24 Stdn.
	vor der Exposition	nach	
1.	29	29	0
2.	35	37	3
3.	25	25	0
4.	37	37	1,5

Ergebnis: 4 Stunden Horizontalexposition riefen nach 24 Stunden bei Knoten 2 und 4 eine Nachwirkung hervor, Knoten 2 war eine Spur gekrümmt, Knoten 4 trotz des Zuwachses gerade.

Versuch 14.

Knoten von *Secale cereale* 5 Stunden horizontal exponiert.

	Abstand der Tusche- marken		Zuwachs als Nachwirkung nach 24 Stdn.
	vor der Exposition	nach	
1.	36,5	36,5	2,5
2.	38	41	6
3.	27	27	2
4.	26	26,5	3
5.	30,5	30,5	1,5

Ergebnis: 5 Stunden Horizontalexposition hatten bei allen Knoten einen Zuwachs nach 24 Stunden zufolge. Sie waren alle nach dieser Zeit leicht gekrümmt.

3 Stunden Horizontalexposition genügten, um eine Nachwirkung hervorzurufen; und zwar beruhte hier, wie bei 4 Stunden Reizdauer, die Nachwirkung nur in einer geringen Wachstumsaufnahme, ohne Auftreten einer Krümmung. Erst bei einem einseitigen Reiz von 5 Stunden trat eine Krümmung der Knoten als Nachwirkung auf. Ein Vergleich zwischen Versuch 9 und 14 zeigt, daß die einseitige Zunahme bei 14 bedeutender war als die allseitige bei 9. Unentschieden blieb, ob der Zuwachs, der in den Versuchen 12 und 13 bei den gerade gebliebenen Halmen als Nachwirkung auftrat, allseitig oder einseitig war. Daß tatsächlich ein geringer einseitiger Zuwachs stattfinden kann, ohne daß die Halme gekrümmt erscheinen, zeigten mir Halme, deren Knoten mit 2 Paar Tuschemarken versehen waren, wie in folgendem Versuch.

Versuch 15. Knoten von *Secale cereale* wurden $3\frac{1}{2}$ Stunden ruhig horizontal exponiert. Die antagonistischen Seiten A und B waren mit Tuschemarken versehen; Seite B der Erde zugewendet.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite				Zuwachs als Nachwirkung nach 24 Stdn. auf Seite	
	A		B		A	B
	vor	nach	vor	nach		
	der Exposition		der Exposition			
1.	41,5	ebenso	42	ebenso	0	1,5
2.	41,5	„	47	„	0,5	2,5
3.	23,2	„	23	„	0	1,0
4.	20,2	„	28	„	0	1,0

Die Halme blieben gerade, trotz des einseitigen Wachstums von 1 bis 2 Teilstrichen. Nach diesem Versuche ist anzunehmen, daß auch bei Versuch 12 und 13 das Wachstum einseitig war. Der Knoten kann auf einer Seite 1 bis 2 Mikrometerteilstriche, das sind 0,1 bis 0,2 mm wachsen, ohne gekrümmt zu erscheinen; dies gilt besonders für etwas kräftige Halme.

2. Intermittierende Reizung zweier Gegenseiten.

Wie bei Elfving, so zeigte auch bei meinen Versuchen hie und da ein Knoten eine Krümmung nach gleichmäßiger Rotation auf dem Klinostaten. Ich kam deshalb auf die Vermutung, daß während der langandauernden Rotation (bis 65 Stunden bei Elfving) kleine Unregelmäßigkeiten im Lauf des

Klinostaten geringe einseitige Impulse zur Folge haben könnten, die durch Summation groß genug werden, um bei besonders empfindlichen Exemplaren eine sichtbare Krümmung hervorzurufen. Ich hatte nach Elfvings Art Grasknoten auf dem Klinostaten rotiert, die auf 2 entgegengesetzten Seiten je ein Paar Tuschemarken trugen. In der Tat fanden sich selten Knoten, die auf beiden Seiten genau gleichviel gewachsen waren; die Differenz ist aber so gering, das sie nicht als Krümmung sichtbar wird. Es ist also die Möglichkeit vorhanden, daß das Wachstum durch kleine, regelmäßig wiederkehrende Impulse, die sich bei der langen Dauer (2 bis 3 Tage) des Versuches summieren, erweckt wird und nicht etwa (wie Elfvig glaubt) durch den regelmäßig abwechselnden, senkrechten Angriff der Schwerkraft.

Um diese unregelmäßigen, ihrer Größe und Richtung nach nicht näher bestimmbaren Impulse zu verhüten, wurden Versuche mit intermittierender Reizung zweier Gegenseiten ausgeführt. Bekanntlich ist das Verhalten von Wurzeln und Sprossen bei intermittierender zweiseitiger Reizung dasselbe wie bei allseitiger Reizung auf dem Klinostaten. Ich benutzte den Pfefferschen Klinostaten mit dem Fittingschen intermittierenden Ansatzstück. Die Umlaufzeit betrug 5 Min. 20 Sek., so daß jede der beiden Seiten 2 Min. 40 Sek. lang dem einseitigen Schwerereiz ausgesetzt war. Der Erfolg dieser Versuche ist in folgender Tabelle ausgedrückt.

Versuch 16.

Knoten von *Secale cereale* und *Hordeum bulbosum* 24 Stunden gereizt.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite				Zuwachs nach 24 Stdn. auf Seite	
	A		B		A	B
	vor der Rotation	nach der Rotation	vor der Rotation	nach der Rotation		
I.	33	38	30,5	34,5	5	4
2.	48	51	43	46	3	3
3.	26,5	29	28,5	30,5	2,5	2
4.	32	35	30,5	33,5	3	3
5.	24	27,5	29,5	33	3,5	3,5
6.	41	43,5	40,5	43	2,5	2,5
7.	29	31	28,5	30,5	2	2
8.	53	58	49	54	5	5
9.	39	43,5	37	42	4,5	5
10.	24	30	26	30,5	6	4,5
11.	27	29	21	23	2	2
12.	26	29,5	32,5	37	3,5	4,5

Kontrollknoten.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite				Zuwachs nach 24 Stdn. auf Seite	
	A		B		A	B
	vor der Rotation	nach	vor der Rotation	nach		
1.	32	33	32	33	1	1
2.	28	29	29	30	1	1
3.	28	29	30	30	1	0
4.	37	37	39	39	0	0
5.	35	35	33	33,5	0	0,5
6.	26,5	27,5	30,5	30,5	1	0
7.	24	24	23,5	23,5	0	0
8.	37,5	38	36,5	37	0,5	0,5
9.	15,5	17	18	19,5	1,5	1,5

Ergebnis: Wie zu erwarten war, trat dieselbe Reaktion ein wie bei den Elfvingschen Versuchen, nämlich eine allseitige Wachstumsaufnahme. Ein Vergleich mit den Versuchen 5 und 6 zeigt, daß der Zuwachs nach 24 Stunden bedeutender war als bei allseitiger Reizung. — Dieser Versuch, ebenso wie die Elfvingschen Versuche, erlauben nicht ohne weiteres den Schluß, daß tatsächlich der senkrechte Schwerereiz die Wachstumsaufnahme bewirkt hat. Denn da bei dieser Versuchsanordnung die Reaktion in einer allseitigen Wachstumsaufnahme bestand, so konnte sie auch durch die Aufhebung der Längskraft bewirkt worden sein. Es mußte deshalb noch ein weiterer Versuch angestellt werden, um zu prüfen, ob der Zuwachs tatsächlich durch den intermittierenden Reiz von 1 g und 2 Min. 40 Sek. Dauer hervorgerufen worden war. Dies geschah auf folgende Weise: Es wurde ein intermittierender Reiz von 1 g 2 Min. 40 Sek. Dauer einseitig zugeführt. Eine etwaige Reaktion mußte in diesem Falle einseitig sein, also als Krümmung zutage treten. Falls dieser Reiz sich aber zu gering erwies um eine sichtbare Reaktion hervorzurufen, so wäre die bei zweiseitiger Reizung konstatierte Wachstumsaufnahme ausschließlich der Aufhebung der Längskraft zuzuschreiben.

3. Intermittierende Reizung einer Seite.

Es wurden Halme auf dem Klinostaten mit dem intermittierenden Ansatzstück so befestigt, daß sie abwechselnd 2 Min. 40 Sek. horizontal lagen und ebensolange vertikal standen.

Versuch 17. Knoten von *Hordeum bulbosum* 15 Stunden intermittierend gereizt. Seite B ist der Erde zugewendet.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite			
	A		B	
	vor der Reizung	nach	vor der Reizung	nach
1.	30,5	30	34	35,5
2.	38	38	39,5	44
3.	24	23	22	27
4.	29,5	29,5	31,5	39,5

Ergebnis: Die Halme sind alle gekrümmt; Krümmung bei der Mehrzahl schon nach 12 Stunden sichtbar.

Versuch 18. Knoten von *Triticum durum* 15 Stunden intermittierend gereizt. Seite B der Erde zugewendet.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite			
	A		B	
	vor der Reizung	nach	vor der Reizung	nach
1.	25	24	22	28
2.	22	24	18	22
3.	27,5	26	30	34,5
4.	20,5	20,5	25	34
5.	33	33	24,5	29
6.	18	18	22	29,5
7.	21	20	18	23
8.	26	27	29	36
9.	20	20	14	21

Ergebnis: Die Halme sind alle gekrümmt; die Krümmung schon nach 12 Stunden sichtbar.

Versuch 19. Knoten von *Secale cereale* 15 Stunden intermittierend gereizt. Seite B der Erde zugewendet.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite			
	A		B	
	vor der Reizung	nach	vor der Reizung	nach
1.	32,5	34	35,5	38
2.	21	21	17	21
3.	24	25	29	32
4.	36	36,5	26	35
5.	23	22	27	36
6.	31,5	34	37	43
7.	16,5	15	18	23
8.	28,5	28	28	38
9.	30,5	30,5	29	32
10.	38	39	49,5	54
11.	38	39	36,5	37,5

Ergebnis: Die Halme sind alle gekrümmt; die Krümmung schon nach 12 Stunden sichtbar.

Die Versuche zeigten, daß in der Tat ein intermittierender Reiz von 1 g und 2 Min. 40 Sek. Dauer groß genug ist, um eine sichtbare Reaktion hervorzurufen. Genügt nun diese Kraft, um eine Krümmung hervorzurufen wenn sie einseitig wirkt, so folgt daraus, daß auch bei der Wachstumsaufnahme, die bei der intermittierenden Reizung antagonistischer Flanken festgestellt wurde, die senkrecht zur Organachse wirkende Schwerkraft beteiligt ist. Da nun ein wesentlicher Unterschied zwischen der intermittierenden zweiseitigen Reizung, und der gleichmäßigen allseitigen nicht besteht, so gilt der Schluß auch für die auf dem Klinostaten bei gleichmäßiger Rotation gefundene Reaktion.

Es blieb noch die etwaige Mitwirkung der Längskraft zu untersuchen.

II. Reizung in vertikaler Stellung.

Die Versuche, die bis jetzt angegeben wurden, bestätigen die Annahme Elfvings, daß die Wachstumsaufnahme der Grasknoten auf dem Klinostaten eine Folge der diffusen, senkrecht zur Organachse angreifenden Schwerkraft ist. Daß die Aufhebung der Schwerkraftwirkung in der Richtung der Organachse aber bedeutungslos ist, wird dadurch nicht bewiesen. Um den Einfluß der in der Längsrichtung angreifenden Kraft zu untersuchen, wurden genau dieselben Versuche wiederholt, mit dem einzigen Unterschied, daß nun die Halme vertikal standen. Die Schwerkraft, die bei den Klinostatenversuchen senkrecht zur Organachse angriff, wurde hier durch eine Fliehkraft ersetzt, die ebenfalls senkrecht auf die Organachse gerichtet war.

1. Vorversuch.

Bevor ich die Parallelversuche zu den im I. Abschnitt angeführten Versuchen mitteile, sei zuvor noch eine Versuchsreihe angegeben, deren Resultat schon auf eine Mitwirkung der Längskraft hinwies, ohne sie aber streng zu beweisen.

Versuch 20. Es wurden 12 Grasknoten (A) in horizontaler Stellung, 16 Grasknoten (B) in vertikaler Stellung mit 1 g senkrecht zur Organachse gereizt. Im 1. Fall stand die Zentrifugenachse horizontal, im 2. senkrecht. Es wurden außerdem 12 Grasknoten (C) ruhig horizontal gelegt.

Nach 7 Stunden Versuchsdauer wurden die Krümmungswinkel gemessen. Es ergaben sich folgende Werte für

No.	A	No.	B	No.	C
1.	11 ⁰	1.	8 ⁰	1.	17 ⁰
2.	11 ⁰	2.	8 ⁰	2.	12 ⁰
3.	10 ⁰	3.	6 ⁰	3.	12 ⁰
4.	10 ⁰	4.	6 ⁰	4.	10 ⁰
5.	8 ⁰	5.	6 ⁰	5.	7 ⁰
6.	6 ⁰	6.	6 ⁰	6.	6 ⁰
7.	6 ⁰	7.	5 ⁰	7.	5 ⁰
8.	5 ⁰	8.	5 ⁰	8.	3 ⁰
9.	3 ⁰	9.	5 ⁰	9.	3 ⁰
10.	3 ⁰	10.	5 ⁰	10.	2 ⁰
11.	3 ⁰	11.	4 ⁰	11.	2 ⁰
12.	1 ⁰	12.	4 ⁰	12.	2 ⁰
		13.	4 ⁰		
		14.	4 ⁰		
		15.	3 ⁰		
		16.	3 ⁰		
Mittelwert: 6,4			5,1		6,5

Ergebnis: Trotz der ziemlich bedeutenden Variation ist aus den Tabellen ersichtlich, daß die horizontal gereizten Grasknoten sich in derselben Zeit stärker gekrümmt hatten.

Kolonne C dient als Kontrolle. Genau vergleichbar sind nur A und B, da hier die senkrecht wirkenden Fliehkräfte vollkommen gleich groß waren, aber selbstverständlich nicht ganz genau der bei C wirkenden Schwerkraft g entsprachen. Die zweitobersten Knoten (die zweimal unterstrichenen) zeigten durchweg eine geringere Wachstumsfähigkeit. Lassen wir diese Knoten beiseite, und stellen wir den Mittelwert der obersten fest, so ergeben sich für A und B die Zahlen 8,4 und 6,0. Der Unterschied zwischen A und B wird dadurch deutlicher.

Daß dieser Versuch aber nicht einwandfrei die Wirkung der Längskraft beweist, zeigt folgende Überlegung: Sobald bei den in vertikaler Stellung rotierten Halmen die Krümmung eingesetzt hat, greift eine Schwerkraftkomponente einseitig an und

wirkt der Krümmungsbewegung entgegen. Um diesen Übelstand zu beseitigen, wurden Versuche mit allseitiger resp. zweiseitiger Reizung ausgeführt, die das Auftreten der tropistischen Reaktion ausschließen sollten, nicht aber die Wachstumswirkung.

2. Allseitige Reizung.

Die Halme standen vertikal und wurden allseitig und gleichmäßig durch eine senkrecht zur Organachse angreifende Fliehkraft, die von 1,2—11 g variiert wurde, gereizt. Die Versuche wurden mit Hilfe des Apparats, den ich S. 4 meiner Arbeit »Über den Einfluß allseitig und in der Längsrichtung wirkender Schwerkraft auf Wurzeln«, Jahrb. wiss. Bot. Bd. 53, S. 157, beschrieben habe, vorgenommen. Bei den nun folgenden Versuchen sind die horizontal auf dem Klinostaten rotierten Knoten mit A bezeichnet, die vertikal rotierten mit B, die ruhig vertikal stehenden Kontrollen mit C.

Versuch 21.

Knoten von *Avena brevis*. Versuchsdauer 31 Stunden. B mit 1,2 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei					
	A		B		C	
	vor der Rotation	nach der Rotation	vor der Rotation	nach der Rotation	vor dem Versuch	nach dem Versuch
1.	8	11	10,5	11	6	7
2.	6	8	10	10	7	7
3.	12	16	13,5	13,5	14,5	14,5
4.			11,5	11,5	6	7

Ergebnis: Knoten A zeigten nach 31 Stunden einen Zuwachs, B hingegen keinen. Kontrollen C sind ganz oder nahezu ausgewachsen.

Versuch 22.

Knoten von *Avena brevis*. Versuchsdauer 8 Stunden. B mit 1,2 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei					
	A		B		C	
	vor der Rotation	nach der Rotation	vor der Rotation	nach der Rotation	vor dem Versuch	nach dem Versuch
1.	14	15	9,5	9,5	9,5	9,5
2.	10	11	13,5	14	7	7
3.	8	9	13,5	14	12	12,5
4.	11	13,5	5,5	5,5	8	8,5
5.	10	12				
6.	17	17				
7.	10,5	11				

Ergebnis: Knoten A zeigten bis auf No. 6 einen Zuwachs, von Knoten B nur 2 und 3 einen geringen. Die Kontrollen C waren ausgewachsen.

Versuch 23. Knoten von *Secale cereale*. Die Rotationsdauer betrug 6 Stunden. B mit 1,6 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei								
	A			B			C		
	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor dem Versuch	nach	nach 24 St.
1.	16	16	18	16	16	16	21	21	21,5
2.	26	26	30	15	15	15	16	16	16
3.	17	17	18	20	20	20	27	27	27
4.	14	14	15	26	26	26	16	16	16
5.	21	21	23				23,5	23,5	23,5
6.							12	12	14

Ergebnis: Sofort nach der Rotation waren weder A noch B gewachsen. Nach 24 Stunden zeigte A einen Zuwachs, B nicht. Knoten C waren ausgewachsen.

Versuch 24. Knoten von *Secale cereale*. Versuchsdauer 6 Stunden. B mit A 3,3 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei								
	A			B			C		
	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor dem Versuch	nach	nach 24 St.
1.	12	12	13	9,5	9,5	9,5	37	37	37
2.	20	20	20	21	21	22	29	29	29
3.	30	30	30	27	27	27			
4.	28	28	28	32,5	32,5	32,5			

Ergebnis: Von A und B waren nur je ein Knoten gewachsen. Die Kontrollen waren ausgewachsen.

Versuch 25. Knoten von *Secale cereale*. Die Rotationsdauer betrug $4\frac{1}{2}$ Stunden B mit 11 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei								
	A			B			C		
	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor dem Versuch	nach	nach 24 St.
1.	37	37	38	23	23	25	20	20	20,5
2.	33	33	33	28	28,5	29	15	15	15
3.	26	26	27	28	28	29	12	12	13,5
4.	31	31	31,5	39	39	39	25	25	25
5.	30,5	30,5	30,5						
6.	40	40	41						
7.	28,5	28,5	29						

Ergebnis: Knoten A und B waren teilweise gewachsen; Kontrollen C nicht.

Versuch 26.

Knoten von *Avena brevis*. Versuchsdauer 6 Stunden. B mit 11 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarken bei								
	A			B			C		
	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor dem Versuch	nach	nach 24 St.
1.	20	20	22	21	21	21	9	9	9
2.	12	12	13	16	16	16	7	7	7
3.	17,5	17,5	18,5	10	10	10	7	7	7
4.	19	19	21	10,5	10,5	10,5			

Ergebnis: Knoten A waren gewachsen, Knoten B und Kontrollen C nicht.

Versuch 27.

Knoten von *Avena brevis*. Versuchsdauer 7 Stunden. B mit 11 g gereizt.

	Abstand der Tuschemarke bei								
	A			B			C		
	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor der Rotation	nach	Nach- wirkung nach 24 St.	vor dem Versuch	nach	nach 24 St.
1.	14	14	14	10,5	10,5	11	26	26	26
2.	14	14	15	14	14	14,5	18	18	18,5
3.	8	8	9	10	10	10	22,5	22,5	22,5
4.	13	13	13	11	11	11	14	14	15

Ergebnis: Je zwei Knoten von A und B waren gewachsen; Kontrollen C nicht.

Bei diesen Versuchen wirkten bei den vertikal stehenden Halmen Fliehkräfte von 1,2—11 g senkrecht zur Organachse; bei den horizontalliegenden die Schwerkraft g ebenfalls senkrecht zur Organachse. Im allgemeinen war die Reaktion in der Vertikalstellung schwach und in vielen Fällen blieb sie ganz aus. Aus den Versuchen ist zu schließen, daß eine senkrecht zur Organachse angreifende Kraft das Wachstum auch in vertikalstehenden Knoten erwecken kann, daß aber diese Stellung weniger günstig ist als die horizontale. So hatte bei Versuch 27 z. B. eine Kraft von 11 g keinen größeren Erfolg auf die vertikalen Knoten als die Schwerkraft g auf die horizontalliegenden. Greift die Schwerkraft in der Längsrichtung an, so ist sie nicht wir-

kungslos, sondern übt eine Hemmung aus auf den senkrecht zur Organachse gerichteten geotropischen Reiz. Zur weiteren Prüfung dieser Frage wurden noch folgende Versuche ausgeführt.

3. Intermittierende Reizung zweier Gegenseiten.

In Teil I wurde erwähnt, daß der Zuwachs ein stärkerer ist und früher auftritt, wenn die Knoten anstatt allseitig, nur auf zwei gegenüberliegenden Seiten gereizt werden. Ich führte deshalb den entsprechenden Versuch in vertikaler Stellung aus. Ich benutzte hierzu den hier abgebildeten Apparat.

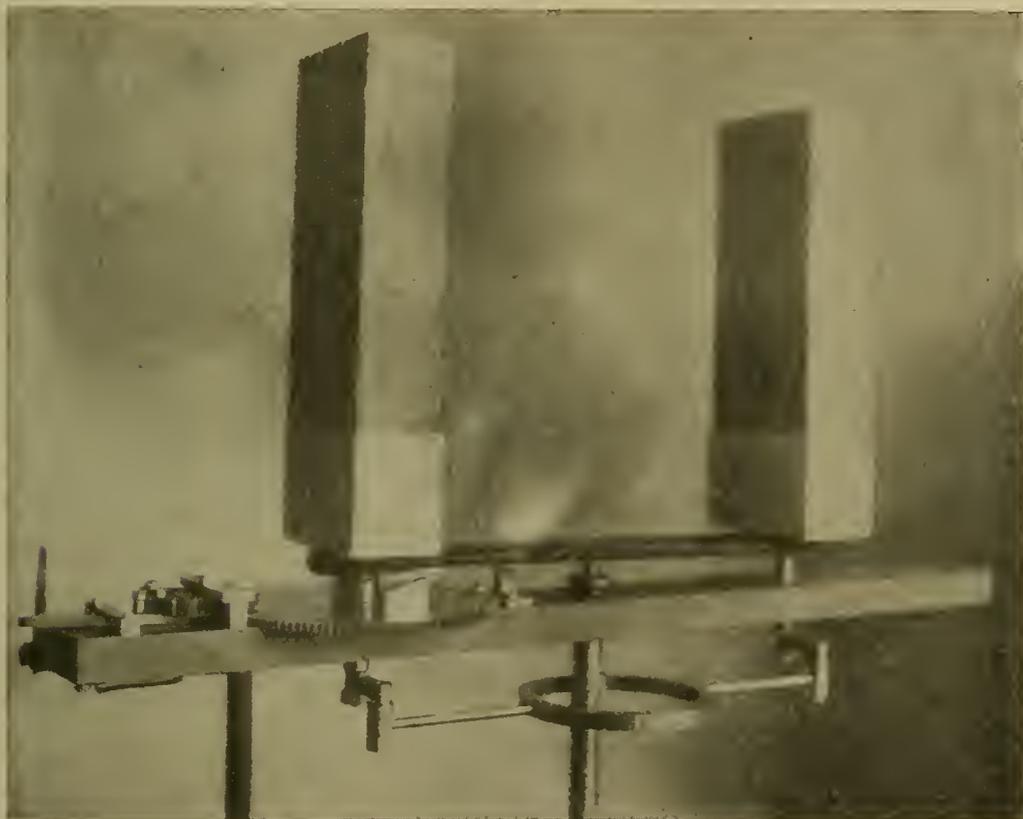


Fig. 1. Apparat zur intermittierenden Reizung zweier antagonistischer Seiten. Von Herrn Rolf, dem Mechaniker des physikalischen Instituts Straßburg, entworfen und ausgeführt.

Prinzip des Apparats: Es mußte dafür gesorgt werden, daß senkrecht stehende Grashalme abwechselnd auf zwei antagonistischen Flanken mit 1 g gereizt wurden; und zwar sollte ein jeder Reizimpuls 2—3 Minuten dauern. Zu diesem Zweck wurden die Grashalme in Vertikalstellung in zwei Behältern auf einer

Zentrifuge mit 1 g geschleudert. Mit Hilfe einer Anordnung, wie sie aus folgender Beschreibung ersichtlich ist, wurden die Behälter nach dem Verlauf einer bestimmten Zeit um 180° gedreht.

Bau des Apparats: Die Zentrifuge entwickelt, bei passender Wahl der Umdrehungszahl, im Abstand von 12 cm vom Zentrum eine Fliehkraft von 1 g. Ein 50 cm langes Brett ist in der Mitte auf die vertikalstehende Zentrifugenachse aufgeschraubt. Es trägt auf beiden Seiten, in gleicher Entfernung vom Zentrum, je eine Nebenachse. Auf jeder dieser Achsen sitzt eine Rolle, über die ein Lederriemen läuft. Das messingne Verbindungsstück unterhalb des Brettes sichert ein genaues Zusammenarbeiten der beiden Nebenachsen. Die Blechkästchen ($20 + 8 + 4$ cm) sind zur Aufnahme der Grashalme bestimmt. Die eine Nebenachse trägt noch unterhalb der Rolle einen Messingstift, der an eine auf dem Brett befestigte Nase drückt. Die weiteren Teile des Apparates sind in der Fig. 2 schematisch im Grundriß wiedergegeben.

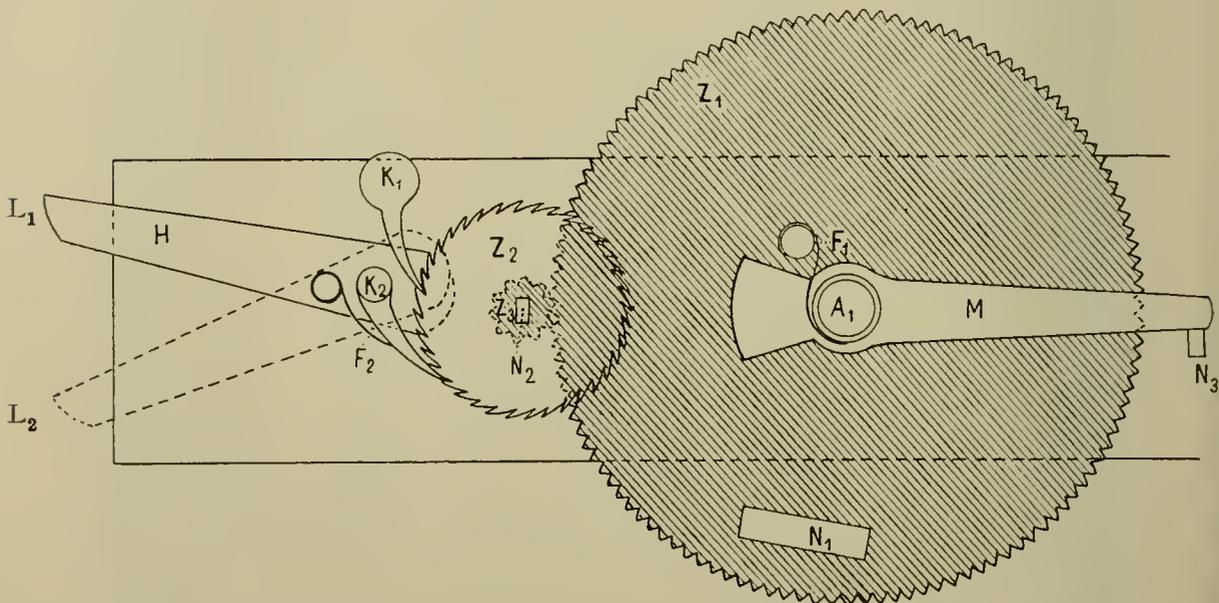


Fig. 2. Die Nebenachse A_1 trägt das Zahnrad Z_1 (120 Zähne) mit Nase N_1 . Es wird durch die Feder F_1 gespannt. Seine Zähne greifen in das Zahnrad Z_3 (10 Zähne) ein, das mit Zahnrad Z_2 (35 Zähne) fest verbunden ist. K_1 und K_2 sind Klammern, die in Zahnluken von Z_2 eingreifen. K_2 liegt über dem Drehpunkt des Hebels H . Die kleine Feder F_2 drückt auf die Klammer K_2 . Die übrigen Bezeichnungen sind im Text erklärt.

Der Apparat arbeitet folgendermaßen: Bei jeder Umdrehung der Klinostatenachse schlägt der Hebel H an ein feststehendes Metallstück, das auf der Photographie teilweise sichtbar ist. Infolge dieses Anstoßes bewegt sich der Hebel H aus Lage L_1 nach Lage L_2 . Aus dieser neuen Lage wird er vermittelst einer Feder in die ursprüngliche zurückgebracht. Während der Hebel diese Bewegung ausführt, drückt Klammer K_2 das Zahnrad Z_2 um einen Zahn weiter. Zugleich klappt Klammer K_1

in die nächstfolgende Zahnücke ein. Mit Zahnrad Z_2 drehen sich auch die Zahnräder Z_3 und Z_1 . Während der Drehung von Z_1 kommt die Nase N_1 dem Messingstab M näher und schiebt sich schließlich unter ihn. Nase N_1 ist etwas höher als N_3 . Nachdem das Zahnrad Z_1 um 60 Zähne (180°) gedreht worden ist, hebt die Nase N_1 das Messingstück M_1 über die Nase N_3 . Die gespannte Feder F_1 bewirkt nun ein Drehen der Achse A_1 um 180° , wo M wieder an eine Nase N_2 stößt. Nachdem das Zahnrad Z_1 um weitere 60 Zähne gedreht worden ist, tritt eine neue Drehung um 180° ein usf. Da die Bewegung des einen Blechkastens durch Lederriemen und den Messingring auf den anderen Blechkasten übertragen wird, so ist also durch den ganzen Apparat erreicht, daß die Blechkästchen nach genau gleicher Zeit um 180° gedreht und die antagonistischen Seiten der Grasknoten durch die Fliehkraft gereizt werden. Um ein Herausschleudern der Halme aus ihrer ursprünglichen Lage zu verhüten, waren sie ungefähr 1 cm am Grunde eingegipst, und außerdem waren die Zwischenräume unterhalb der Knoten mit feuchten Sägespänen angefüllt.

Versuch 28.

11 Halme von *Secale cereale* wurden auf den Gegenseiten a und b abwechselnd mit 1 g je 3 Minuten lang gereizt während 24 Stunden.
(Die Knoten waren ausgewachsen.)

	Abstand der Tuschemarken auf Seite					
	a			b		
	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs
1.	50	51	1	52,5	52,5	0
2.	34	34	0	28	28	0
3.	45	46	1	46	47	1
4.	44	45	1	44	45	1
5.	40	40	0	38	38	0
6.	56	56,5	0,5	57	57,5	0,5
7.	38	40	2	32	34	2
8.	39	41,5	2,5	40	42,5	2,5
9.	46	46	0	40	40	0
10.	22	22	0	23	23	0
11.	22	22	0	13	13	0

Versuch 29.

Dieselbe Anordnung wie bei Versuch 28 mit 10 Halmen von *Hordeum bulbosum*.

	Abstand der Tuschemarken auf Seite					
	a			b		
	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs
1.	31	32,5	1,5	38	39,5	1,5
2.	37	37	0	33	33	0
3.	35	36	1	39	40	1

Versuch 29 (Fortsetzung).

	Abstand der Tuschemarken auf Seite					
	a			b		
	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs	vor der Reizung	nach Reizung	Zuwachs
4.	36	36	0	38	38	0
5.	42,5	45	2,5	35	37,5	2,5
6.	47	47	0	40,5	40,5	0
7.	35,5	36	0,5	40,5	41	0,5
8.	42	42,5	0,5	35	35,5	0,5
9.	15	17	2	15	17	2
10.	32	32	0	33	33	0

Ergebnis: Vergleichen wir diese beiden Versuche mit den Versuchen 21 bis 27, so zeigt sich, daß die Wirkung des zweiseitigen Reizes größer war als die des allseitigen, schwächer aber als bei dem Parallelversuch 16, wo der zweiseitige Reiz bei Horizontalstellung der Knoten zugeführt wurde.

4. Intermittierende Reizung einer Seite.

Dasselbe Resultat lieferte der Parallelversuch zu Versuch Seite 157, bei welchem die Knoten intermittierend und einseitig gereizt wurden. Es wurden Knoten in vertikaler Stellung einseitig und intermittierend auf einer Zentrifuge, die ein Elektromotor trieb, gereizt. Zur Unterbrechung und Schließung des Stromes war eine Weckeruhr eingeschaltet; ihre Minutenachse trug eine Messingscheibe mit 20 Zähnen. Durch Kontakt der Zähne mit einer Feder war der Strom abwechselnd 3 Minuten geschlossen und 3 Minuten geöffnet. Die Knoten wurden also intermittierend 3 Minuten lang einseitig gereizt. Die Ruhepausen zwischen den einzelnen Reizungen dauerten ebenfalls 3 Minuten.

Versuch 30.

13 Knoten von *Secale cereale* 22¹/₂ Stunden intermittierend gereizt.

	Abstand der Tuschemarken		Reaktion	
	vor der Reizung	nach 15 Stunden	nach 20 ¹ / ₂ Stunden	nach 22 ¹ / ₂ Stunden
1.	36	36	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
2.	23	24	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
3.	26	26	gerade	leicht gekrümmt
4.	24	24	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt

Versuch 30 (Fortsetzung).

	Abstand der Tuschemarken		Reaktion	
	vor der Reizung	nach 15 Stunden	nach 20 ¹ / ₂ Stunden	nach 22 ¹ / ₂ Stunden
<u>5.</u>	36	36	gerade	gerade
<u>6.</u>	33	33	gerade	gerade
<u>7.</u>	22,5	22,5	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>8.</u>	23	23	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>9.</u>	38,5	38,5	gerade	gerade
<u>10.</u>	23	23	gerade	gerade
<u>11.</u>	30,5	30,5	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>12.</u>	30,5	30,5	gerade	gerade
<u>13.</u>	38	39	gerade	leicht gekrümmt

Versuch 31.

8 Knoten von *Triticum durum* 22¹/₂ Stunden intermittierend gereizt.

	Abstand der Tuschemarken		Reaktion	
	vor der Reizung	nach 15 Stunden	nach 20 ¹ / ₂ Stunden	nach 22 ¹ / ₂ Stunden
<u>1.</u>	28	28	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>2.</u>	25	25	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>3.</u>	28	29	gerade	gerade
<u>4.</u>	27	29	gerade	leicht gekrümmt
<u>5.</u>	30	30	gerade	leicht gekrümmt
<u>6.</u>	50,5	51	gerade	gerade
<u>7.</u>	44	44	gerade	leicht gekrümmt
<u>8.</u>	27	27	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt

Versuch 32.

8 Knoten von *Hordeum bulbosum* 22¹/₂ Stunden intermittierend gereizt.

	Abstand der Tuschemarken		Reaktion	
	vor der Reizung	nach 15 Stunden	nach 20 ¹ / ₂ Stunden	nach 22 ¹ / ₂ Stunden
<u>1.</u>	27,5	27,5	gerade	gerade
<u>2.</u>	22,5	23	gerade	eine Spur gekrümmt
<u>3.</u>	26	26	gerade	leicht gekrümmt
<u>4.</u>	27	27	gerade	leicht gekrümmt
<u>5.</u>	27	27	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>6.</u>	23,5	23,5	leicht gekrümmt	leicht gekrümmt
<u>7.</u>	32	32	gerade	gerade
<u>8.</u>	33	33	gerade	gerade

Ergebnis: Während bei den Versuchen 17 bis 19 die Krümmung bei der Mehrzahl schon nach 12 Stunden auftrat, war sie hier nach 15 Stunden noch nicht sichtbar und nach 22 Stunden durchweg schwächer als bei den Parallelversuchen.

Aus den im II. Teil angeführten Versuchen geht hervor, daß auch in der Vertikalstellung Wachstumsaufnahme als Effekt einer senkrecht zur Organachse angreifenden Flieh- resp. Schwerkraft erfolgte. Die Reaktion war durchweg schwächer als bei den horizontalen Parallelversuchen. Daraus ist ersichtlich, daß die in der Längsrichtung wirkende Kraft eine Hemmung ausübt. Eine Aufhebung dieser Kraft (in der Horizontallage) ist deshalb für die Reaktion auf den senkrechten Reiz günstig.

Zusammenfassung.

Elfving hat die Wachstumsaufnahme der Grasknoten auf dem Klinostaten gefunden. Meine Versuche haben bewiesen, daß die Annahme Elfving's zu Recht besteht; daß tatsächlich die senkrecht zur Organachse angreifende Kraft das Wachstum erweckt. Die diffuse Reizung durch die Schwerkraft löst eine Reaktion aus, die bei Wurzeln und Sprossen ausbleibt. Elfving erklärt das verschiedene Verhalten durch die Annahme, daß bei Wurzeln und Sprossen das Längenwachstum der einen Seite »in demselben Grade gesteigert, als das der andern beeinträchtigt wird, während bei Grasknoten die Wachstumsteigerung der Unterseite, die Hemmung der Oberseite übertrifft«. Die Annahme scheint sich zu bestätigen. Es ist aber außerdem festgestellt worden, daß neben der diffusen Kraft auch die Kraft in der Längsrichtung eine Rolle spielt, und zwar macht sie sich als Hemmung bemerkbar. In dieser Hinsicht schließt sich das Verhalten der Grasknoten an das der Wurzeln an. Infolge der Aufhebung der Längskraft in der Horizontallage schwindet diese Hemmung. Deshalb ist diese Lage für die Erweckung des Wachstums günstiger, als die vertikale, was in einer stärkeren Reaktion der horizontal gereizten Knoten zum Ausdruck kommt.

In seiner Physiologie II, S. 631 sagt Pfeffer »wenn, woran nicht zu zweifeln ist, die Wachstumstätigkeit der Grasknoten auch bei völlig äqualer (diffuser) Einwirkung der Schwerkraft erweckt wird, so folgt daraus, daß in diesem Organe die Wachstumstätigkeit durch den parallelotropen Einfluß der Schwerkraft sistiert wird«. Da nun aber auch beim Vorhandensein einer Längskraft ein diffuser Reiz das Wachstum erweckt, so ist es richtiger, von einer Hemmung als von einer Sistierung der Wachstumstätigkeit speziell durch die Längskraft zu sprechen. Inwiefern die beiden Prozesse — Wachstumsaufnahme und Krümmungsbewegung — ineinander greifen, und ob überhaupt diese Vorgänge prinzipiell verschieden sind, ist nicht klar. Pfeffer trennt (Physiol. II, S. 651) beide Prozesse: »Denn daß es sich hierbei (nämlich bei der Krümmung des Grasknotens nach Überführung in die Horizontallage) einmal um die Erweckung des Wachstums und ferner um die Auslösung der geotropischen Krümmung handelt, ergibt sich daraus, daß letztere unterbleibt, wenn die einseitige Wirkung der Schwerkraft am Klinostaten eliminiert wird«. Wenn wir jedoch bedenken, daß es sich bei der Rotation auf dem Klinostaten ja gar nicht um einen eigentlichen »diffusen« Reiz handelt, der gleichzeitig alle Flanken angreift, sondern um einen intermittierenden, wo das Verhältnis der Reizeiten und Ruhepausen von der Umdrehungszeit und der Entfernung des Objekts vom Mittelpunkt bestimmt wird, so können wir die Wachstumsaufnahme auf dem Klinostaten ansehen als eine »tropistische« Reaktion einer jeden Flanke auf den sie direkt treffenden Reiz. Die Annahme scheint bekräftigt zu werden durch das Verhalten der Grasknoten bei Reizung zweier Gegenseiten: der Erfolg ist im Prinzip derselbe wie bei allseitiger Reizung. Doch sei wiederholt, daß die Wachstumszunahme bei Reizung zweier antagonistischer Flanken bedeutender ist als bei entsprechender allseitiger Reizung. Auf diesen Umstand weist Pfeffer (Physiol. II, S. 652) hin wenn er sagt: »Indes scheint bei Wiederholung des geotropischen Hin- und Herkrümmens eine ansehnlichere Zuwachsbewegung erzielt zu werden als bei Eliminierung der einseitigen Wirkung der Schwerkraft am Klinostaten.« Vielleicht wird dies durch folgendes erklärt. Bei der gleichmäßigen

allseitigen Reizung wird die Reizmenge auf alle Flanken gleichmäßig verteilt; bei zweiseitiger Reizung hingegen trifft die gleiche Reizmenge nur auf zwei Flanken. Dem Knoten als Ganzes wird in beiden Fällen eine gleichgroße Reizmenge zugeführt. Bei der allseitigen Reizung wird an allen Punkten fast genau gleichzeitig ein gleichgroßer Reiz perzipiert und die Reaktionsvorgänge überall gleichmäßig ausgelöst. Bei der zweiseitigen Reizung hingegen werden die in der Reizrichtung liegenden Punkte stärker affiziert als die benachbarten. Infolgedessen wird hier die zum Auslösen des Wachstums nötige Schwelle früher erreicht werden und die weiteren Reaktionsvorgänge rascher ansteigen. Unerklärt bleibt noch das gleichzeitige und gleichstarke Wachstum derjenigen Knotenpartien, die zwischen den direkt gereizten liegen. Vielleicht kann man annehmen, daß bei zweiseitiger Reizung, entsprechend der stärkeren Erregung, eine schnellere und energischere Reizleitung stattfindet als bei allseitiger Reizung.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Botanik](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [7](#)

Autor(en)/Author(s): Reiß M. M.

Artikel/Article: [Über den Geotropismus der Grasknoten. 145-170](#)