

Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussenbedingungen.

Von

H. Bach.

Mit 1 Figur und 4 Kurven im Text.

Einleitung.

Die Entwicklung, welche die Lehre von den geotropischen Reizvorgängen in neuester Zeit genommen hat, machte eine eingehende Untersuchung der Abhängigkeit der geotropischen Prozesse von den äußeren Faktoren zum dringenden Bedürfnis. Deshalb stellte ich mir in meiner Arbeit die Aufgabe, wenigstens einen Teil dieses Problems, nämlich die Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit parallelotroper Organe von einigen äußeren Faktoren, zu lösen, da durch die bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiete durchaus keine genügenden, oder wie meine Arbeit zeigt, nur unzureichende Grundlagen gelegt waren.

Eine gleichzeitige Prüfung der Relaxationszeit (Fitting) habe ich nicht unternommen, da ihre Prüfung bei verschiedenen der angewandten Faktoren sehr große, wenn nicht unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet. Zudem erhält man erst durch eine vorhergehende Prüfung der Präsentations- und Reaktionszeit bei verschiedenen Faktoren mannigfache Aufklärung über die Richtung und Art, in der die nachherige Untersuchung über die Relaxationszeit anzustellen wäre.

Aus der großen Zahl der die Präsentations- und Reaktionszeit beeinflussenden Außenbedingungen wählte ich für meine Versuche diejenigen aus, deren Untersuchung für die Beurteilung des geotropischen Reizvorgangs von besonderer Wichtigkeit schien.

In allen meinen Untersuchungen legte ich großen Wert darauf, sie auf eine möglichst umfangreiche Zahl von Versuchen aus-

zudehnen; denn nur durch diese statistische Methode können, wie die Erfahrung lehrt, die sehr störenden, nicht ausschaltbaren individuellen Verschiedenheiten der einzelnen Versuchspflanzen derselben Art ausgeglichen werden.

Ein zweiter Grund, weshalb ich so viele Versuche anstellte, war der, daß in meinen Versuchen die Temperatur fast nie vollständig konstant war, vielmehr immer um einige Grade schwankte. Die zur Ausgleichung der hierdurch bedingten Verschiedenheiten (vgl. Kapitel II) nötigen Versuche fallen weg, wenn dem Experimentator ein Raum mit konstanten Temperaturen zu Gebote steht. Wie unentbehrlich ein derartiger Versuchsraum zur Aufhellung der Gesetzmäßigkeiten des geotropischen Reizvorgangs ist, davon konnte ich mich, wie aus meiner Arbeit hervorgehen wird, genugsam überzeugen, im Gegensatz zu den Auffassungen, zu denen hauptsächlich die Arbeiten Czapeks (vgl. Kapitel II) Anlaß geben konnten.

Aber es wäre verfehlt, zu glauben, daß nur für die eigentlichen Versuche ein solcher Raum mit konstanter Temperatur nötig sei, vielmehr zeigte sich im Lauf meiner Arbeit immer deutlicher, daß konstante Temperatur auch schon für die Erziehung des Versuchsmaterials von großem Wert, wenn nicht absolut notwendig ist. Denn nicht selten machte ich die Beobachtung, daß bei kühlem Wetter aufgewachsene Pflanzen, trotz derselben Temperatur während der Versuche, weniger gut reagierten als andere bei wärmerem Wetter erwachsene, ein Resultat, das in den am Schluß des II. Kapitels angeführten Versuchen seine Erklärung findet.

Hier mag auch gleich eine Bemerkung darüber Platz finden, daß im folgenden in den verschiedenen Kapiteln für die gleiche Pflanze (*Vicia Faba*) vielfach verschieden große Reaktionszeiten angegeben werden. Soweit diese Verschiedenheiten nicht in der Temperatur während der Versuche selbst ihre Erklärung finden, mögen sie auch auf derartigen Temperaturunterschieden während der Kultur oder noch anderen, bisher nicht kontrollierbaren äußeren Faktoren beruhen, so vielleicht auf der Verschiedenheit der Jahreszeit, in der die Samen zur Keimung gebracht wurden, da damit erfahrungsgemäß die verschiedene Keimkraft des Samens und in Abhängigkeit davon wohl auch Eigenschaften des Keimlings zusammenhängen.

Für die aus den Versuchen gezogenen Schlüsse sind aber alle diese Faktoren ohne Bedeutung, da in jeder einzelnen Versuchsreihe

immer nur unter denselben Bedingungen erwachsene Pflanzen zur Verwendung kamen.

Um die Feststellung möglichst exakter Zahlen und Gesetzmäßigkeiten zu gewährleisten, genügt es übrigens nicht, einfach mit einer gegebenen Versuchspflanze eine große Zahl Versuche anzustellen; es kommt vielmehr auch noch viel darauf an, mit allen Eigentümlichkeiten der betreffenden Pflanze bezüglich ihrer Kultivierung und ihrer Art, zu reagieren, vertraut zu sein. Darin liegt der Grund, daß ich mich in meinen Versuchen auf ganz wenige verschiedene oder nur eine Art von Versuchspflanzen, nämlich die für geotropische Versuche aller Art besonders günstigen Keimspresse von *Vicia Faba*, beschränkt habe, ein Vorgehen, das ja auf der anderen Seite eine gewisse Einseitigkeit meiner Resultate zur Folge hat. Dabei glaube ich allerdings kaum, daß bei Ausdehnung der Versuche auf eine ganze Reihe anderer Pflanzen noch prinzipiell verschiedene, neue Resultate zutage gekommen wären.

Ob auch die Reinheit der Luft im Versuchsraum einen merklichen Einfluß auf die Reizvorgänge hat, darüber kann ich noch nichts Sicheres angeben. Im allgemeinen wird jedenfalls in einem ordentlich gelüfteten Versuchsraum dieser Faktor wenig in Betracht kommen. Doch ist mir zumal in einem Fall, in dem das Zimmer den ganzen Morgen über mit Gasflammen geheizt worden war, eine merkwürdige Verminderung des geotropischen Reaktionsvermögens aufgefallen, eine Erscheinung, die vielleicht auf eine Schädigung der Versuchspflanzen durch die Verbrennungsprodukte des Gases zurückzuführen ist (vgl. Richter 1906). Spezielle Versuche über die Einwirkung schlechter Luft auf Pflanzen habe ich begonnen, doch sind sie noch nicht zu Ende geführt.

Kapitel I. Präsentationszeit verschiedener Pflanzenspezies bei 20—30° in optimaler Reizlage.

Die erste Reihe meiner Versuche galt der Ermittlung der Präsentationszeit verschiedener Pflanzenspezies, da sichere Werte in dieser Richtung die Grundlage aller weiteren Feststellungen bilden müssen, und in der Literatur nur wenige einwandfreie Zahlenwerte zu finden sind. Und zwar mußte es darauf ankommen, die Zeit zu bestimmen, bei der die allerersten Spuren einer Krümmung als Nachwirkung mit bloßem Auge zu beobachten sind.

A. Literatur.

Die hauptsächlichsten Angaben über Präsentationszeiten finden sich bei Czapek, Haberlandt und Fitting. Nach Czapek (1898, S. 184 u. 185) beträgt die Präsentationszeit für:

Sporangienträger von *Phycomyces nitens*, Keimscheiden von *Phalaris canariensis*, *Avena sativa*, Hypokotyle von *Beta vulgaris* und *Sinapis alba* 15 Min.; Keimwurzeln von *Pisum sativum*, *Lupinus albus*, *Zea Mays*, *Cucurbita Pepo*, Hypokotyle von *Helianthus annuus* 20 Min.; Keimwurzeln von *Vicia Faba* (großsamig), 1. epikotyles Stengelglied von *Phaseolus* 50 Min.

Haberlandts (1903, S. 488, 489 u. 493) auf abgeschnittene Inflorescenzachsen und Blütenstiele sich beziehende Angaben sind folgende:

Infl.-Achsen von *Capsella*, *Rumex acetosa*, Blütenstiele von *Ranunculus acer* 25 Min.; *Taraxacum off.* Blütenstiele, *Tradescantia* mittlerer Knoten eines Sprosses 30 Min.; *Plantago lanceolata* Blütenschäfte 15 Min.

Dagegen finden sich bei Fitting (1905, S. 362 u. 363) Angaben über sehr viel kleinere Präsentationszeiten:

Epikotyle von *Vicia Faba* und *Phaseolus* 6—7 Min.; Hypokotyle von *Helianthus annuus* 5—6 Min.; *Sinapis arvensis*, *Sinapis alba*, *Lens* 20—25 Min.

B. Methodisches.

Für die in Töpfen gezogenen Versuchspflanzen wurden die Samen immer 24 Stunden lang in Wasser eingeweicht und dann in Töpfe mit guter Gartenerde und zwar alle parallel zueinander eingesetzt. Sobald die Keimlinge den Boden durchbrochen hatten, wurden sie zwecks Ausschließung phototropischer Krümmungen auf den Teller eines am Fenster stehenden Klinostaten gestellt und dort so lange rotiert, bis sie eine für die Versuche passende Länge erreicht hatten.

In meinen späteren Versuchen wurden die Versuchspflanzen nach dem Durchbrechen der Erde vielfach zunächst noch einige Zeit hinter Zylindern aus weißem Filtrierpapier gezogen, wodurch ebenfalls phototropische Krümmungen so ziemlich ausgeschlossen werden. Auch die so behandelten Keimlinge kamen aber, ehe sie zu den Versuchen benützt wurden, fast immer noch längere Zeit auf den Klinostaten.

Die Graskeimlinge von *Panicum* und *Setaria* ließ ich im Dunkeln keimen, teils ihrer großen Lichtempfindlichkeit wegen, teils weil die Koleoptilen auch nur im Dunkeln die zu den Versuchen nötige Länge erreichen.

Die Samen dieser beiden Arten wurden in zylindrische Töpfe gesät, und die Töpfe sofort nach der Aussaat mit Zylindern aus schwarzen Papier überdeckt und dann in den Dunkelkasten gestellt. Hatten die Koleoptilen die nötige Länge erreicht, so wurden die Töpfe mitsamt den darüber gestülpten Papierhülsen im Dunkeln zu den Versuchen benützt.

Die große Lichtempfindlichkeit dieser Objekte war auch der Grund dafür, daß hier beim Kontrollieren des Verlaufs der Krümmung die Zahl der gekrümmten Keimlinge nicht genau festgestellt, da dies eine zu lange Belichtung bedingt hätte, sondern immer nur im großen ganzen abgeschätzt wurde.

Was die Zubereitung der Wurzeln und der abgeschnittenen Sprosse zu den Versuchen anbetrifft, so sind darüber die Angaben in Kapitel II und VI zu vergleichen.

Zur Versuchsanstellung wurden die Pflanzen teils im Kulturzimmer selbst benützt, teils kamen sie vom Klinostaten ins Dunkelzimmer, in dem gegenüber dem Kulturzimmer meist ziemlich höhere Temperaturen herrschten. Hier wurden die Töpfe an die horizontale Achse des Klinostaten gesetzt, zentriert (das Herausfallen der Erde und der Versuchspflanzen aus den Töpfen war durch einen aufgebossenen Gipsring verhindert) und die Pflanzen die gewünschte Zeit hindurch in horizontaler Lage exponiert.

Dabei lagen die Pflanzen immer so, daß ihre Hauptnutations Ebene, sofern eine solche sich ermitteln ließ, senkrecht zur Angriffsrichtung der Schwerkraft stand.

Waren zu Beginn des Versuchs an der einen oder andern Versuchspflanze schon schwache Krümmungen zu bemerken, so wurden die betreffenden Pflanzen bei der Induktion nach rechts oder links so horizontal gelegt, daß die Konkavität der Krümmung gegen den Sinn einer späteren infolge der geotropischen Induktion etwa auftretenden Krümmung gerichtet war. So konnten im Lauf der Drehung am Klinostaten sich zeigende Krümmungen sicher auf Rechnung der vorausgegangenen Induktion geschrieben werden.

Nach Ablauf der gewünschten Induktionszeit wurde mit der kontinuierlichen Drehung begonnen. Der Eintritt der Nachkrümmung wurde in der kritischen Zeit, d. h. innerhalb der Zeit,

in der frühestens oder spätestens eine solche zu erwarten war, in verschieden großen Zwischenräumen (meist von 10—20 Min., zum Teil auch von 5 Min.) kontrolliert. In meinen ersten Versuchen wurde meist erst nach einer Zeit nachgesehen, nach der sicher eine Krümmung erwartet werden durfte. Abgebrochen wurde der Versuch, nachdem entweder alle Versuchspflanzen sich gekrümmt hatten, oder nachdem die Zeit, innerhalb welcher man überhaupt eine Krümmung erwarten konnte, überschritten war.

Wie schon oben erwähnt, war die Temperatur des Dunkelzimmers meist ziemlich höher, als die Zimmertemperatur, in der sich die Versuchspflanzen vor den Versuchen befunden hatten, sie schwankte nämlich zwischen 20 bis wenige Grade über 30°. Ich gab mir auch keine Mühe, die Temperatur im Dunkelzimmer auf Zimmertemperatur oder einer anderen höheren Temperatur konstant zu halten, da ja nach den Angaben Czapeks (1898, S. 197) die Präsentationszeit abgesehen von den extrem niedrigen Temperaturen in hohem Grade von der Temperatur unabhängig ist.

Später erst erkannte ich, daß diese Angaben unrichtig oder doch wenigstens nicht allgemein gültig sind; so finden sich in dieser Arbeit, Kapitel II, Angaben über die Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit von der Temperatur, aus denen man sieht, wie sehr die Länge dieser beiden Zeiten sich mit der Temperatur tatsächlich ändert.

Aus diesem Grunde sind die im folgenden aufgeführten Werte nur als Mittelwerte der Präsentationszeit der betreffenden Pflanzen zwischen 20—30° zu betrachten. Doch genügt das auch vollkommen, da dieses Kapitel nur einen allgemeinen Überblick geben soll, innerhalb welcher Grenzen etwa die Präsentationszeit bei verschiedenen Pflanzen sich bewegt.

Ich ermittelte die Präsentationszeit, ausgehend von Induktionszeiten, die sicher höher als die Präsentationszeit waren, und bei denen sich alle oder fast alle Versuchspflanzen krümmten, durch Einengung, bis ich diejenige Zeit gefunden hatte, die noch genügte, um bei mehr als der Hälfte der Versuchspflanzen eine mit bloßem Auge eben noch wahrnehmbare Nachkrümmung am Klinostaten hervorzurufen. Diese Zeit nahm ich als Präsentationszeit an. Meist wurden auch noch Versuche mit Expositionen unter Präsentationszeitdauer angestellt; sie finden sich ebenfalls in den folgenden Tabellen verzeichnet, in denen immer alle bei einer bestimmten Induktionszeit ausgeführten Versuche zusammen angegeben sind.

Wollte man ganz exakte Versuchstabellen herstellen, so müßte natürlich bei jeder Induktionszeit die gleiche Zahl von Versuchspflanzen geprüft werden, da nur in diesem Fall die bei den verschiedenen Induktionszeiten auftretenden Verhältnisse zwischen gekrümmten und nicht gekrümmten Pflanzen mit vollem Recht miteinander verglichen werden könnten. Doch konnte ich mir diese Mühe, die noch eine Menge weiterer Versuche verlangt hätte, ersparen, da es mir, wie schon gesagt, nur um eine annähernde Bestimmung der Präsentationszeit zu tun war.

Die Fehlergrenze der beobachteten Präsentationszeiten kann nicht allgemein angegeben werden, sie ist je nach der größeren oder kleineren geotropischen Empfindlichkeit der Versuchspflanzen kleiner oder größer.

C. Versuchsergebnisse.

a) Versuche mit in Töpfen gezogenen Versuchspflanzen.

Tabelle 1. *Helianthus annuus*, Hypokotyle.

Dauer der Induktionszeit	10	8	7	6	5	4	3 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	3	5	5	37	38	40	11
Zahl der gekrümmten Pflanzen	3	5	5	19	31	30	8

Präsentationszeit also unter 3 Min.

Was die Ursache davon ist, daß bei 6 Min. die Zahl der gekrümmten Pflanzen der der ungekrümmten gegenüber so klein ist, kann ich nicht angeben, doch wird dieses Verhältnis ja durch das der beiden folgenden Induktionszeiten in vollauf genügendem Maße verbessert.

Tabelle 2. *Phaseolus multiflorus*, Epikotyle.

Dauer der Induktionszeit	17	7	6	5	4	3 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	10	21	8	9	15	4
Zahl der gekrümmten Pflanzen	10	16	7	8	13	2

Präsentationszeit 3—4 Min.

Tabelle 3. *Vicia Faba equina*, Epikotyle.

Dauer der Induktionszeit	7	6	5	4 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	3	102	66	8
Zahl der gekrümmten Pflanzen	3	72	36	2

Präsentationszeit 5 Min.

Anm. In späteren Kapiteln findet sich als Präsentationszeit für *Vicia Faba* ein höherer Wert, nämlich 7—8 Min. Der hier angegebene geringere Wert von 5 Min. hängt wohl damit zusammen, daß die Temperatur des Dunkelzimmers meist ziemlich höher war, als Zimmertemperatur (vgl. das Kapitel über den Einfluß der Temperatur).

Tabelle 4. *Cucurbita Pepo*, Hypokotyle.

Dauer der Induktionszeit	20	15	10	9	7—8,	6 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	3	6	13	5	60	37
Zahl der gekrümmten Pflanzen	3	6	11	3	32	19

Präsentationszeit 6 Min.

Tabelle 5. *Tropaeolum*, Epikotyle.

Dauer der Induktionszeit	10	8—9	7 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	104	75	29
Zahl der gekrümmten Pflanzen	52	42	9

Präsentationszeit 8—9 Min.

Tabelle 6. *Panicum sanguinale*, Koleoptilen.

Dauer der Induktionszeit	20	15	10 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	über 40	ca. 55	ca. 30.
Zahl der gekrümmten Pflanzen	die Mehrzahl	die Mehrzahl	die Mehrz. sehr schwach.

Präsentationszeit ca. 10 Min.

Tabelle 7. *Setaria alopecuroides*, Koleoptilen.

Dauer der Induktionszeit	20	15	12	10	9 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	20—30	ca. 25	25	11	25—30
Zahl der gekrümmten Pflanzen	so ziemlich alle			0,	einige.

Präsentationszeit ca. 12 Min.

Tabelle 8. *Lupinus albus*, Hypokotyle.

Dauer der Induktionszeit	30	25	20	18	15 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	13	16	66	32	103
Zahl der gekrümmten Pflanzen	12	10	32	15	38

Präsentationszeit 20—25 Min.

b) Versuche mit Keimwurzeln.

Tabelle 9. *Vicia Faba* (kleinsamige Varietät), Keimwurzeln.

Dauer der Induktionszeit	10	7	6	5 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	7	17	75	45.
Zahl der gekrümmten Pflanzen	6	15	40	20.

Präsentationszeit 6 Min.

Tabelle 10. *Phaseolus multiflorus*, Keimwurzeln.

Dauer der Induktionszeit	8	7 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	79	45
Zahl der gekrümmten Pflanzen	57	22

Präsentationszeit 7—8 Min.

Zu bemerken ist hierbei noch, daß die Versuche mit den Wurzeln in beiden Fällen im Kulturzimmer selbst angestellt wurden; die Temperatur zeigte daher vor und bei den Versuchen keine so großen Differenzen, wie in den meisten früher angeführten Versuchen.

Vergleichen wir die von mir gefundenen Präsentationszeiten mit den Angaben von Czapek und Fitting über die gleichen Pflanzen (*Helianthus annuus*, *Phaseolus multiflorus*, *Vicia Faba*), so stellt sich heraus, daß meine Angaben sich nahe mit denen Fittings berühren, ja noch etwas kleinere Werte aufweisen, was wohl mit den ziemlich höheren Temperaturen des Dunkelzimmers in meinen Versuchen, vielleicht auch mit den Kulturbedingungen oder anderen äußeren Faktoren zusammenhängen mag. Die von Czapek angegebenen Präsentationszeiten sind also tatsächlich viel zu hoch. In seiner neuesten Arbeit gibt Czapek (1906, S. 165) dies auch zu und glaubt den Grund dafür in dem Lichtmangel und der „von schädlichen Stoffen leider allzusehr erfüllten Luft“ seines Arbeitszimmers sehen zu dürfen.

c) Versuche mit abgeschnittenen Sprossen.

Auch in den Versuchen mit abgeschnittenen Sprossen fand ich ziemlich kürzere Präsentationszeiten, als Haberlandt angibt. Auch hier waren, wie bei den Versuchen mit Wurzeln, die großen Temperaturunterschiede vor und bei den Versuchen vermieden, da alle diese Versuche in den Monaten Mai, Juni und Juli angestellt wurden, in denen das gegen Nordost gelegene Dunkelzimmer nicht geheizt zu werden brauchte.

Tabelle 11. *Capsella*, Blüten sprosse mit nur wenigen oder noch gar keinen Früchtchen.

Dauer der Induktionszeit	20	15	5	4	3	2	1½ Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . . .	12	10	46	6	28	30	5
Zahl der gekrümmten Pflanzen . .	12	10	36	4	22	21	2
Präsentationszeit unter 2 Min.							

Alle übrigen geprüften Infloreszenzachsen zeigen eine Präsentationszeit von etwa 3 Min.

Tabelle 12. *Sisymbrium officinale*, Blüten sprosse.

Dauer der Induktionszeit	7	6	5	4	3	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . . .	10	8	42	33	10	
Zahl der gekrümmten Pflanzen . .	8	5	31	25	6	
Präsentationszeit ca. 3 Min.						

Tabelle 13. *Plantago lanceolata*, Blüten sprosse.

Dauer der Induktionszeit	4	3	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . . .	28	37	
Zahl der gekrümmten Pflanzen . .	17	27	
Präsentationszeit ca. 3 Min.			

Tabelle 14. *Plantago media*, Blütensprosse.

Dauer der Induktionszeit . . .	7,	6,	5,	4,	3 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . . .	17,	10,	34,	21,	5.
Zahl der gekrümmten Pflanzen . . .	15,	8,	31,	17,	3.
Präsentationszeit ca. 3 Min.					

Anhang. Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit von der Länge der Versuchspflanzen.

Im Anschluß an dieses Kapitel sei noch eine kleine Reihe von Versuchen mit Keimpflanzen von *Vicia Faba* erwähnt, die den Zweck hatte, die Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit von der verschiedenen Länge der Versuchspflanzen zu prüfen.

Es sei aber zum voraus bemerkt, daß diese Versuche nur orientierenden Wert haben, da zu abschließenden Resultaten eine weit größere Menge von Versuchen nötig wäre.

Die zu den Versuchen benützten Pflanzen von *Vicia Faba* wurden aus den Töpfen herausgenommen, unter dem Samen die Wurzel abgeschnitten und die Wunde mit feuchter Watte umhüllt, eine Versuchsanordnung, die S. 68 näher besprochen ist.

Es wurden 3 Versuchsreihen mit Keimlingen von

1. 2,3 bis 5 cm,
2. 4,5 bis 8,3 cm,
3. 5,8 bis 10,3 cm Länge angestellt.

Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 15. *Vicia Faba*, Keimsprosse. Temp. 19—21°.

Länge der Versuchspflanzen cm	Induktionszeit Min.	Zahl der geprüften Pflanzen	Zahl der gekrümmten Pflanzen	Präsentationszeit Min.	Mittelwerte der Reaktionszeiten Min.
2,3—5	12	19	7	ca. 10—12	117,8
	10	62	29		
	8	48	19		
4,5—8,3	8	15	13	unter 6	83,9
	7	46	34		
	6	32	19		
5,8—10,3	6	20	14	ca. 5	94
	5	32	19		
	4	20	5		

Aus dieser Tabelle kann man schließen, daß sehr kurze Keimlinge gegenüber solchen von mittlerer und bedeutender Länge eine starke Verlängerung der Präsentations- und Reaktionszeit aufweisen (vgl. die ähnlichen Angaben Fittings, 1905, S. 365). Dagegen scheint der Unterschied zwischen mittleren und langen Keimlingen ziemlich unbedeutend zu sein.

Zur genauen Feststellung dieser Unterschiede wäre aber, wie gesagt, eine viel größere Zahl von Versuchen nötig, die ich aber nicht angestellt habe, da bei meinen in den späteren Kapiteln zu beschreibenden Versuchen meist Keimlinge von mittlerer Länge benützt wurden, die genauere Feststellung der durch die verschiedene Länge der Versuchspflanzen hervorgerufenen Unterschiede für mich daher weiter nicht in Betracht kam.

Kapitel II. Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit von der Temperatur.

A. Literatur.

Bei meinen Versuchen über die Länge der Präsentationszeit wurde in den ersten Versuchsreihen kein besonderer Wert darauf gelegt, immer eine konstante Temperatur zu erhalten. Ich tat dies in der Annahme der Richtigkeit, resp. Allgemeingültigkeit der Angaben Czapeks (1898, S. 195 ff.).

Seine Resultate bei Keimwurzeln von *Lupinus albus* — vollkommen gleich verhalten sich übrigens nach seinen Angaben, wenigstens was die Präsentationszeit anbelangt, Keimwurzeln von *Zea Mays* und das Hypokotyl von *Helianthus annuus* — lassen sich in folgende Tabelle zusammenbringen.

Lupinus albus, Keimwurzeln.

Temperatur . . .	0	5	10	15	20	25	30	39°
Präsentationszeit . .	18 ^h	45	30	20	20	20	20	25 Min.
Reaktionszeit . . .	∞	360	120	80	80	80	70	120 „

Daraus schließt Czapek, was die Präsentationszeit anbelangt:

1. „Die Präsentationszeit, mithin die Intensität der Perception, ist, abgesehen von den extrem niedrigen Temperaturen, in hohem Grade von der Temperatur unabhängig, viel mehr als der motorische Apparat.

2. Extrem niedere Temperatur setzt die Sensibilität un-
gemein herab.

3. Temperaturgrade in der Nähe der Schädlichkeitsgrenze setzen wohl bereits die Sensibilität etwas herab, es ist jedoch diese Beeinflussung relativ sehr gering“.

Ein ähnliches Verhältnis ergibt sich auch für die Länge der Reaktionszeiten, es ist daher nach Czapek charakteristisch für die Sensibilitätskurven „die relative Unabhängigkeit von Temperaturdifferenzen innerhalb der Grenzen von etwa 15—35°“.

Im Laufe meiner eigenen weiteren Untersuchungen fand ich aber immer mehr heraus, daß diese von Czapek angegebenen Resultate durchaus nicht allgemein gültig sein können, daß vielmehr auch Temperaturen zwischen 15 und 35° auf die Länge von Präsentations- und Reaktionszeit von großem Einfluß sind.

B. Eigene Versuche.

Um meiner Sache sicher zu sein, stellte ich eigene Versuchsreihen mit Keimspussen von *Vicia Faba* an.

Die in Töpfen gezogenen Versuchspflanzen wurden vor den Versuchen längere Zeit in der betreffenden zu untersuchenden Temperatur auf dem Klinostaten gedreht. Erst nachdem angenommen werden konnte, daß sich die Pflanzen auf die betreffende Temperatur eingestellt hatten, benutzte ich sie zu den Versuchen.

Zu dem Zweck wurden sie aus den Töpfen gezogen, die Wurzeln unter dem Samen abgeschnitten und der Stumpf mit feuchter Watte umhüllt. Diese Methode hatte sich schon bei früher ausgeführten, in späteren Kapiteln zu beschreibenden Versuchen gut bewährt; von einer irgendwie auffallenden, durch die Verwundung bedingten Störung konnte ich dabei nichts bemerken. Im übrigen kämen auch eventuelle leichtere dadurch hervorgerufene Störungen nicht in Betracht, da sie dann bei allen Versuchspflanzen in gleicher Weise vorhanden sind und den relativen Vergleichswert der Versuche untereinander nicht beeinträchtigen. Dabei bietet diese Methode den großen Vorteil, durch Auswahl immer nur das beste Material und zugleich in großer Menge zu den Versuchen verwenden zu können.

In der gleichen Temperatur, in der die Pflanzen auf dem Klinostaten rotiert worden waren, wurden sie dann auch geotropisch induziert und zur Beobachtung der Nachkrümmungen am Klinostaten gedreht.

Ich stellte nur Versuche über die Länge der Präsentationszeit an, die aber, wie aus dem folgenden Kapitel zu ersehen ist, auch

genügen, um die entsprechenden Daten über die Reaktionszeit anzugeben.

In der folgenden Tabelle sind meine Resultate betreffs der Länge der Präsentationszeiten bei verschiedenen Temperaturen für die Keimpflanzen von *Vicia Faba* mitgeteilt.

Tabelle 16. *Vicia Faba*, Keimspresse.

Temp. (13—15°) im Mittel 14°.

Dauer der Induktionszeit . . .	16	15	13	10—12 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . .	19	60	75	47
Zahl der gekrümmten Pflanzen .	14	44	32	18

Präsentationszeit (13—15) 14 Minuten.

Temp. (16—18°) im Mittel 17°.

Dauer der Induktionszeit	12	11	10	9 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . . .	16	71	62	35
Zahl der gekrümmten Pflanzen . . .	16	46	24	10

Präsentationszeit 11 Min.

Temp. (19—21°) im Mittel 20°.

Dauer der Induktionszeit	8	7	6 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	39	78	37
Zahl der gekrümmten Pflanzen	29	39	16

Präsentationszeit (7—8) 7½ Min.

Temp. (24—26°) im Mittel 25°.

Dauer der Induktionszeit	5	4	3	2	1 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	19	62	84	45	16
Zahl der gekrümmten Pflanzen	15	41	52	11	2

Präsentationszeit 3 Min.

Temp. 30°.

Dauer der Induktionszeit	4	3	2	1 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	18	20	57	38
Zahl der gekrümmten Pflanzen	15	14	34	14

Präsentationszeit 2 Min.

Temp. (34—36°) im Mittel 35°.

Dauer der Induktionszeit	5	4	3	1 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	32	38	29	18
Zahl der gekrümmten Pflanzen	26	20	9	4

Präsentationszeit 4 Min.

Extrem niedrige Temperaturen wurden von mir nicht geprüft, sind auch von keiner so großen Bedeutung, wie die Temperaturen zwischen 15 und 35°, die bei den Versuchen im Laboratorium im allgemeinen in Betracht kommen.

Innerhalb dieser Grenzen konnte ich aber, wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, im Gegensatz zu Czapek, eine sehr starke

Abhängigkeit der Präsentationszeit von der Temperatur konstatieren. So ist die Präsentationszeit bei 14° sieben mal so groß wie bei 30°, einer Temperatur, bei der das Optimum erreicht ist, d. h. die Präsentationszeit den geringsten Wert aufweist. Von hier an steigt mit der steigenden Temperatur auch die Präsentationszeit wieder.

Ein ganz ähnliches Ergebnis stellt sich auch bei Betrachtung der Reaktionszeiten für die verschiedenen Temperaturen heraus.

Die im folgenden zusammengestellten Reaktionszeiten sind beobachtet an den zur Bestimmung der Präsentationszeit am Klinostat gedrehten Objekten.

Tabelle 17. *Vicia Faba*, Keimpflanzen.

Temperatur	14	17	20	25	30	35°
Zahl der geprüften Pflanzen . .	75	93	57	108	48	33
Mittel der Reaktionszeit . . .	122,8	115,4	97,9	64,8	48,2	80,8
Verhältnis der Präsentations- zur Reaktionszeit	1:8,8	1:10,5	1:13	1:21,6	1:24,1	1:20,2

Auch hier also dasselbe Ergebnis: Auch die Reaktionszeit ist in ihrer Länge von der verschiedenen Temperatur in hohem Grade abhängig. Das Optimum der Reaktionszeit mit nur 48,2 Min. liegt ebenfalls bei 30° und ist mehr als 2½ mal kürzer als die Reaktionszeit bei 14° mit 122,8 Min. Über 30° tritt analog der Steigerung der Präsentationszeit auch ein Ansteigen der Reaktionszeit ein.

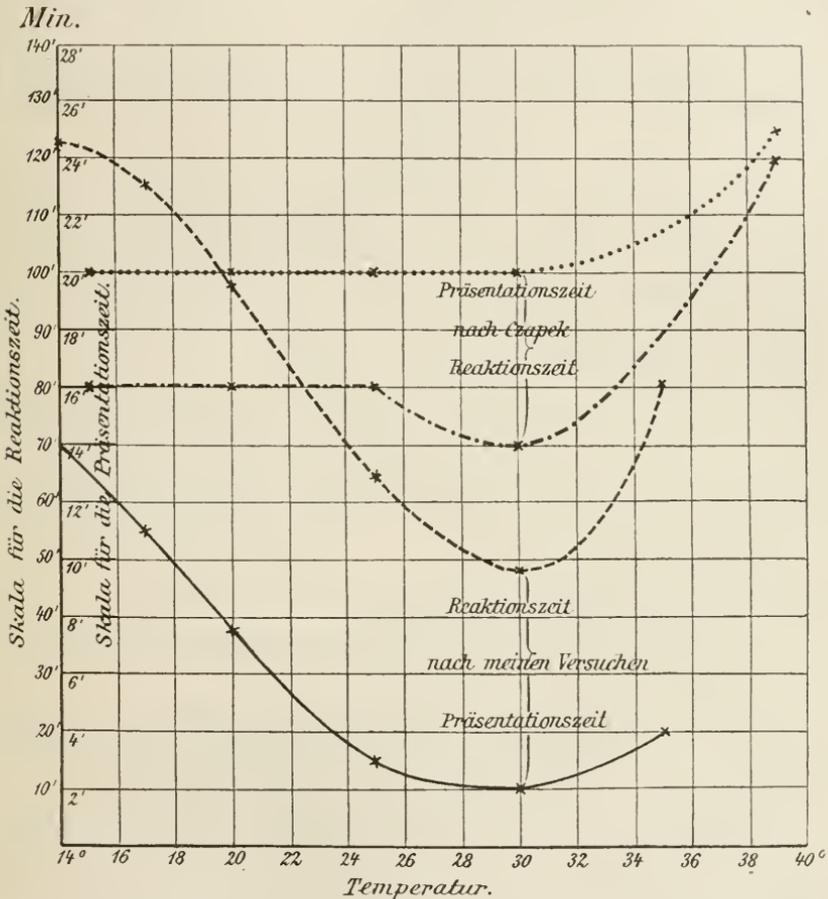
Die Ähnlichkeit des Abhängigkeitsverhältnisses der Präsentations- und der Reaktionszeit von der Temperatur tritt besonders schön und anschaulich hervor, wenn wir die Resultate in Form einer Kurve bringen (S. 71).

Zum Vergleich sind die aus den Resultaten Czapeks sich ergebenden Kurven mit eingezeichnet. Die Präsentationszeitkurve nach Czapek stellt sich zwischen 15 und 30° in Form einer geraden Linie dar, und ebenso auch die Reaktionszeitkurve zwischen 15 und 25°, während die von mir bestimmten Kurven in beiden Fällen zwischen 15 und 30° von ihrem Maximum auf ihr Minimum bei 30° sinken und von hier aus wieder ansteigen, wobei die Reaktionszeit mit der weiter steigenden Temperatur verhältnismäßig rascher zu steigen scheint als die Präsentationszeit; doch dürfte dieses Ergebnis noch durch weitere Versuche zu prüfen sein. Von großem Interesse ist der annähernd parallele Verlauf der beiden Kurven zwischen 15 und 30°.

C. Resultate.

Um nun zum Schluß noch einmal die von mir gefundenen Resultate zusammenzustellen, so gelten für Sprosse von *Vicia Faba* die Sätze:

1. Sowohl die Präsentationszeit als auch die Reaktionszeit zeigen, was ihre Länge anbetrifft, innerhalb 14 bis 35° eine starke, gesetzmäßige Abhängigkeit von der Temperatur.



2. Diese Abhängigkeit ist für die Präsentations- und Reaktionszeit eine ähnliche; sie gestaltet sich so, daß von 14° an mit steigender Temperatur ein fortgesetztes Kleinerwerden der beiden Zeiten zu konstatieren ist, bis beide ihr Minimum bei etwa 30° erreichen. Von hier an steigt mit steigender Temperatur sowohl die Länge der Präsentations- als auch die der Reaktionszeit wieder an.

Daß die Differenzen meiner Resultate mit denen Czapeks nur darauf zurückzuführen sind, daß Czapek seine Versuche hauptsächlich mit Wurzeln anstellte, kann ich kaum glauben, zumal da er für die Präsentationszeit ein ganz ähnliches Verhalten auch bei Sprossen von *Helianthus annuus* gefunden hat. Doch beschränkte ich mich auf *Vicia Faba*, da für mich hauptsächlich die Reaktionsweise dieser in allen meinen Versuchen besonders häufig benutzten Pflanze in Betracht kam.

D. Anhang. Einfluß eines den Versuchen vorausgehenden Kälteaufenthalts der Versuchspflanzen auf die Präsentations- und Reaktionszeit.

Mit den angeführten Untersuchungen ist natürlich nur ein ganz kleiner Teil der Frage nach der Beeinflussung der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit durch die Temperatur behandelt. Um das Kapitel vollständig zu machen, müßte innerhalb der minimalen bis maximalen Temperatur die Dauer der beiden Zeiten mit folgenden Modifikationen untersucht werden:

a) Induktion und Reaktion finden statt in gleicher Temperatur (Untersuchung der Temperaturen zwischen 0 und 40°).

b) Induktion und Reaktion finden statt in gleicher (Zimmer-) Temperatur nach einem mehr oder weniger langen Aufenthalt der Versuchspflanzen in 0 bis 40°.

c) Induktion findet statt in Temperaturen zwischen 0 und 40°, die Reaktion bei Zimmertemperatur.

d) Induktion findet statt bei Zimmertemperatur, die Reaktion in Temperaturen zwischen 0 und 40°.

e) Induktion findet statt bei Zimmertemperatur, dann folgt ein mehr oder weniger langer Aufenthalt in Temperaturen zwischen 0 und 40° und hierauf die Reaktion bei Zimmertemperatur.

Die Frage a) ist im vorhergehenden und von Czapek (1898, S. 195 ff.) behandelt worden, Frage c) ist teilweise behandelt worden von Czapek (1895, S. 271 ff.), Haberlandt (1902, S. 193 ff. und 1903, S. 473 ff.) und Darwin (1903, S. 363 ff.), Frage e) ebenso von Czapek (1895, S. 271 ff.).

Doch sind die über diese Fragen angestellten Untersuchungen nicht systematisch durch alle Temperaturen durchgeführt, sondern beschränken sich meist auf eine bestimmte Temperatur, da sie zum Teil, wie zB. die von Haberlandt und Darwin angestellten Untersuchungen, die Klärung anderer Fragen zum Zweck hatten.

Mit der Frage b) habe ich mich selbst noch zum Teil beschäftigt, jedoch sind meine Versuche in dieser Richtung noch nicht von abschließender Natur; sie sind hauptsächlich der Frage gewidmet, wie ein vor den Versuchen angewendeter, kürzerer oder längerer Aufenthalt der Versuchspflanzen in niederen Temperaturen auf die in optimaler bis Zimmertemperatur untersuchte Länge der Präsentations- und Reaktionszeit einwirkt. Diese Frage ist deshalb von Interesse, weil ihre Lösung lehrt, ob eine Kultur in Temperaturen, die von der später bei der Induktion herrschenden Temperatur abweichen, die Präsentations- und Reaktionszeit beeinflusst. Mit dem Eintritt der wärmeren Jahreszeit wurden dann diese Versuche abgebrochen und aus äußeren Gründen später nicht wieder aufgenommen. Die Resultate dürften aber Interesse genug bieten, um sie hier einzufügen.

Ich experimentierte hauptsächlich mit Keimsprossen von *Vicia Faba* und *Phaseolus multiflorus*. Die Pflanzen wurden vor der Induktion verschieden lange Zeit in Temperaturen zwischen 4 und 10° gehalten, die entweder natürlich in dem Raum zwischen Fenster und Vorfenster vorhanden waren oder künstlich im Eiskasten erzeugt wurden. Nach dem Aufenthalt in der Kälte kamen die Pflanzen in optimale bis Zimmertemperatur und wurden hier geotropisch induziert. In derselben Temperatur wurde dann auch die Reaktionszeit beobachtet.

a) Versuche mit Keimsprossen von *Vicia Faba*.

1. Die Induktion erfolgt sofort nach der Abkühlung.

Tabelle 18.

Dauer des Aufenthalts in der Kälte	Induktionszeit	Reaktionszeit	Reaktionszeit	Verlängerung
		(Zahl der gekrümmten Pflanzen)	normaler Kontrollpflanzen (Zahl der geprüften Pflanzen)	der Reaktionszeit bei den abgekühlten Pflanzen
	Min.	Min.	Min.	Min.
5½—27½ St.	∞	81,7 (18)	58,7 (27)	23
9½—28 "	10	79,2 (18)	53,4 (47)	25,8

Die Untersuchungen über die Präsentationszeit ergaben folgende Resultate.

Tabelle 19.

Dauer des Aufenthalts in der Kälte	Induktionszeit Min.	Zahl der geprüften abgekühlten (normalen) Pflanzen	Zahl der gekrümmten abgekühlten (normalen) Pflanzen.
9 $\frac{1}{2}$ —28 St. }	10	32 (38)	22 (36)
	9	3 (10)	1 (10)
	8	3 (3)	0 (3)

Präsentationszeit ca. 10 Min., normale Präsentationszeit 5 Min. (vgl. Kapitel I).

2. Auf die Abkühlung folgt zunächst ein 1 St. bis 4 St. 30 Min. während der Aufenthalt in 20 bis 25 $^{\circ}$, dann erst die Induktion.

Tabelle 20.

Dauer des Aufenthalts in der Kälte	Induktionszeit Min.	Zahl der geprüften Pflanzen	Zahl der gekrümmten Pflanzen	Reaktionszeit Min.
7 St. 7 Min. bis 24 St. }	∞	7	7	78,7
	10	17	14	76,8

In beiden Fällen ist also die Reaktionszeit etwa gleich groß wie in den Versuchen, in denen die Pflanzen sofort nach der Abkühlung geotropisch induziert wurden; d. h. durch einen Aufenthalt von 1 St. bis 4 $\frac{1}{2}$ St. in Zimmertemperatur werden also die Folgen der vorhergehenden Abkühlung noch nicht aufgehoben.

b) Versuche mit Keimsporen von *Phaseolus multiflorus*.

1. Die Induktion erfolgt sofort nach der Abkühlung.

Tabelle 21.

	Dauer des Aufenthalts in der Kälte	Induktionszeit	Reaktionszeit (Zahl der geprüften Pflanzen)	Reaktionszeit normaler Kontrollpflanz. (Zahl der gepr. Pflanzen)	Verlängerung der Reaktionszeit bei d. abgekühlten Pflanzen
		Min.	Min.	Min.	Min.
1. Reihe	2 St. 48 bis 28 St. 45 Min.	∞	78,8 (37)	48,9 (26)	29,9
2. "	3 " 30 " 17 " 15 "	∞	77 (8)	—	28,1
3. "	2 " 15 " 8 " 29 "	∞	74 (18)	—	25,2
4. "	2 " 15 " 8 " 29 "	15—25	68,8 (29)	44,4 (48)	24,4
5. "	2 " 48 " 24 " 30 "	15—25	70,1 (20)	—	25,7
6. "	13 " 30 " 17 " 15 "	15—25	68 (7)	—	23,6

Bezüglich der Länge der Präsentationszeit ist folgende Tabelle zu vergleichen.

Tabelle 22.

Dauer des Aufenthalts in der Kälte	Induktions- zeit Min.	Zahl der geprüften abgekühlten (normalen) Pflanzen	Zahl der gekrümmten abgekühlten (normalen) Pflanzen
2 St. 15 bis 24 St 30 Min.	25	32	30
	20	43 (28)	24 (27)
	15	7 (4)	2 (4)
	11	4 (5)	0 (5)
	9	4 (3)	0 (3)
	7	4 (4)	0 (4)

Präsentationszeit ca. 20 Min., normale Präsentationszeit 3 bis 4 Min. (vgl. Kapitel I).

2. Auf die Abkühlung folgt zunächst ein 55 Min. bis 1 St. 32 Min. während der Aufenthalt in ca. 20°, dann erst die Induktion.

Die zwei in dieser Richtung gemachten Versuche ergaben als Mittel aus vier resp. sieben Pflanzen eine Reaktionszeit von 57 resp. 77,4 Minuten, Resultate, aus denen noch keine sicheren Schlüsse zu ziehen sind.

Aus den angeführten Versuchen mit Sprossen von *Vicia Faba* und *Phaseolus multiflorus* folgt, daß ein mehr oder weniger langer Aufenthalt in Temperaturen von 4—10°, welcher der in optimaler bis Zimmertemperatur stattfindenden Induktion und Reaktion vorausgeht, sowohl auf die Präsentations- als auch auf die Reaktionszeit verlängernd einwirkt.

Diese Verlängerung ist wohl kaum darauf zurückzuführen, daß das in der Kälte langsamere Wachstum auch noch längere Zeit in der günstigen Temperatur anhält; denn die Pflanzen stellen sich nach Pfeffer (1904, S. 93) im allgemeinen ziemlich schnell auf die dem neuen Wärmegrad entsprechende Wachstumsschnelligkeit ein.

Noch unwahrscheinlicher wird diese Deutung in Anbetracht der Versuche, bei denen auf den Aufenthalt in der Kälte ein mehr oder weniger langer Aufenthalt in günstiger Temperatur folgte, ehe die Induktion vorgenommen wurde. Denn auch bei diesen Versuchen ist im allgemeinen die für die abgekühlten Organe charakteristische Verlängerung der Reaktionszeit noch zu beobachten.

Die genauere Zeit, nach der die Nachwirkung des früheren Aufenthaltes in der Kälte völlig verschwunden ist, und ebenso der

Einfluß der verschiedenen langen Dauer desselben auf die geotropischen Reizvorgänge ist von mir nicht bestimmt worden.

Diese Versuche in verhältnismäßig hoch über 0° liegenden Temperaturen zeigen auch, daß die Versuche Haberlandts (1902, S. 193 ff. und 1903, S. 473 ff.) mit Pflanzen, die durch Kälte ent­stärkt waren, nicht eindeutig sind, da schon ein relativ kurzer Aufenthalt in niederen Temperaturen einen deutlichen und nachhaltigen Einfluß auf die geotropischen Vorgänge hat.

Kapitel III. Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Dauer der Reizung.

Während in meinen ersten Versuchsreihen über die Präsentationszeit immer erst nach einer Zeit, nach der man sicher den Eintritt von Krümmungen erwarten konnte, zum ersten Mal kontrolliert wurde, fand bei meinen späteren Versuchen die erste Beobachtung meist schon zu einer Zeit statt, in der noch keine oder jedenfalls sehr wenige der Versuchspflanzen eine Krümmung aufwiesen. Von da an wurde der Krümmungseintritt bei den Versuchspflanzen immer in bestimmten Zwischenräumen (meist von 10—20 Minuten, zum Teil auch von nur 5 Minuten) kontrolliert und notiert. So war es möglich, die Reaktionszeit jeder einzelnen Versuchspflanze festzustellen.

Dabei beobachtete ich bald, als ich neben den Pflanzen, die auf die Präsentationszeit geprüft wurden, Kontrollpflanzen dauernd horizontal legte, daß in dem Eintritt der Krümmung, d. h. in der Länge der Reaktionszeit, zwischen den nur während der Präsentationszeit oder wenige Minuten darüber gereizten und den dauernd horizontal gelegten Objekten durchaus kein so großer Unterschied bestand, wie Czapek (1898, S. 186 ff.) angibt.

Czapek macht nämlich über die Reaktionszeit als „Maß der Erregungsintensität bei variabler Reizungsdauer“ folgende Angaben: „Die Pflanzen mit der Expositions­dauer 60, 50, 40, 35 Minuten krümmen sich rasch hintereinander geotropisch, nachdem sie auf den Klinostaten gebracht worden sind, so daß sie alle 90 Minuten nach Beginn der Reizung Beginn der Reaktion zeigen. Die weniger als 35 Minuten lang gereizten Gruppen folgen mit ihrer Reaktion in immer längeren Pausen nach, so daß es bei 20 Minuten hindurch exponierten Pflanzen 2—3 Stunden währt, ehe wir Krümmungsbeginn notieren können. Die Reaktionszeit ist also nicht etwa der Expositions­dauer umgekehrt proportional, sondern fällt

mit deren Steigerung von der Präsentationszeit an erst langsam, worauf eine rasche Abnahme bis zum erreichbaren Minimum folgt.“

Schon Fitting (1905, S. 370) spricht auf Grund seiner Versuche die Vermutung aus, daß die minimale Größe der Reaktionszeit eher erreicht wird, als Czapek angibt, ohne diese Frage jedoch weiter zu verfolgen.

In meinen eigenen Versuchen fand ich nun, daß die Länge der Reaktionszeit bei Reizung von der Dauer der Präsentationszeit oder wenigen Minuten darüber gar nicht oder nur wenig differiert von der Reaktionszeit, die ich bei dauernd horizontal gelegten Versuchspflanzen beobachten konnte. Das Versuchsmaterial, aus dem ich diese Schlüsse gezogen habe, findet sich in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

In der ersten Kolumne ist immer die Temperatur, in der zweiten die Dauer der Reizung angegeben. Die Reizzeit der dauernd horizontal gelegten Pflanzen ist mit ∞ bezeichnet und kommt an erster Stelle, hierauf folgen die Resultate bei den verschiedenen geprüften Induktionszeiten znnächst alle zusammengefaßt und dann, soweit möglich, auch noch für jede einzelne Induktionszeit im besonderen. In der dritten Kolumne ist die Zahl der zur Untersuchung gekommenen Pflanzen, in der vierten das Mittel der an diesen beobachteten Reaktionszeiten zu finden. Dieses Mittel wurde so berechnet, daß bei jedem Versuch die Reaktionszeit jedes einzelnen Keimlings notiert, dann alle diese Reaktionszeiten zusammengezählt und diese Summe durch die Zahl der Versuchspflanzen dividiert wurde. In der letzten Kolumne endlich finden sich die Differenzen der Reaktionszeiten von kurz und von dauernd induzierten Versuchspflanzen. Die mit + versehenen Zahlen zeigen an, daß die Reaktionszeit bei der betreffenden Induktionszeit größer, die mit — bezeichneten, daß sie kleiner ist als die Reaktionszeit dauernd horizontal gelegter Pflanzen.

a) Versuche mit in Töpfen gezogenen Sprossen.

Tabelle 23.

Phaseolus multiflorus, Keimspresse (Präsentationszeit 3—4 Min.).

	Dauer der Induktionszeit Min.	Zahl der geprüften Pflanzen	Mittel der Reaktionszeit Min.	Differenz Min.
1. Vers.-Reihe ($24\frac{1}{2}$ — 30°)	∞	12	41,7	
	4—5	12	37,9	— 3,8

	Dauer	Zahl der geprüften Pflanzen	Mittel	Differenz
	der Induktionszeit		der Reaktionszeit	
	Min.		Min.	Min.
2. Vers.-Reihe (21—32 °)	3—17	58	45,8	
	3—4	15	42,9	
	5	7	48	
	6	7	45,7	
	7	12	49,4	
	12—17	17	45	
3. Vers.-Reihe (24—31 °)	∞	26	48,9	
	7—20	39	42,5	— 6,4

Tabelle 24.

Vicia Faba equina, Keimspresse (Präsentationszeit 5 Min.).

1. Vers.-Reihe Zimmer- temperatur	∞	39	54	
	5—7	26	49,1	— 5,9
2. Vers.-Reihe (20—30 °)	∞	43	60,6	
	8—10	47	53,4	— 7,2
3. Vers.-Reihe Zimmer- temperatur	∞	89	69,6	
	7—12	60	78,3	+ 8,7

b) Versuche mit Wurzeln.

Tabelle 25. *Vicia Faba equina* (Präsentationszeit 6 Min.).

Zimmer- temperatur	∞	60	69,6	
	5—10	79	70,4	+ 0,8
	5	20	66,1	— 3,5
	6	39	61,6	— 8
	7—10	20	72,3	+ 2,7

Tabelle 26. *Phascolus multiflorus* (Präsentationszeit 7—8 Min.)

Zimmer- temperatur	∞	72	71,9	
	7—8	74	75,3	+ 3,4
	7	19	76	+ 4,1
	8	55	75	+ 3,1

c) Versuche mit abgeschnittenen Sprossen.

Tabelle 27. *Plantago media* (Präsentationszeit 3 Min.).

Zimmer- temperatur	∞	11	40,5	
	3—7	74	42,8	+ 2,3
	3—4	20	45	+ 4,5
	5	31	40,6	+ 0,1
	6—7	23	43,8	+ 3,3

	Dauer der Induktionszeit Min.	Zahl der geprüften Pflanzen	Mittel der Reaktionszeit Min.	Differenz Min.
--	-------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	-------------------

Tabelle 28.

Sisymbrium officinale (Präsentationszeit 3 Min.).

Zimmer- temperatur	∞	79	41,3	
	3—7	78	37,6	— 3,7
	3—4	26	39,5	— 1,8
	5	29	38,4	— 2,9
	6—7	23	34,5	— 6,8

Tabelle 29.

Capsella bursa pastoris (Präsentationszeit unter 2 Min.).

Zimmer- temperatur	∞	72	41,6	
	1½—5	96	37,9	— 3,7
	1½—3	56	38,1	— 3,5
	4—5	40	37,5	— 4,1

Die in diesen Tabellen zusammengestellten Resultate lassen wohl keinen Zweifel an der Richtigkeit der Behauptung aufkommen, daß die Reaktionszeit bei Reizung von der Dauer der Präsentationszeit oder wenig darüber nicht länger ist, als die bei dauernder Horizontallage zu beobachtende. Durch Einwirkung des geotropischen Reizes während der Dauer der Präsentationszeit wird also schon das Minimum der Reaktionszeit erreicht. Denn die größte Differenz, die sich findet zugunsten einer längeren Reaktionszeit bei kurzer Induktion, nämlich 8,7 Minuten, ist schon an und für sich so klein, daß sie die Fehlergrenze nicht überschreiten dürfte. Zudem wird ihre Bedeutung noch dadurch vermindert, daß das Mittel der Reaktionszeit bei kurzer Induktion häufig gar um einige Minuten kleiner ist, als die Reaktionszeit bei dauernder Reizung; das in dieser Richtung erreichte Maximum mit 7,2 Minuten ist nicht viel kleiner als das oben angeführte Maximum in der entgegengesetzten Richtung. In Anbetracht dieser Verhältnisse darf wohl die Reaktionszeit in beiden Fällen gleich gesetzt werden. Damit ist aber natürlich durchaus nicht gesagt, daß nicht etwa durch länger als die Präsentationszeit währende Reizung eine weitere Steigerung der Erregungsintensität hervorgerufen werden kann. Dies ist vielmehr sicher, nur drückt sich diese stärkere Erregung nicht in einem früheren Beginn der Reaktion aus. Zur Messung der verschiedenen Stärke der

Erregung, hervorgerufen durch verschieden lange Dauer des einwirkenden Reizes, müssen daher andere Faktoren herangezogen werden, vor allem die Intensität der Krümmung, da dieselbe erfahrungsgemäß mit zunehmender Erregungsgröße sich verstärkt.

So erhebt sich die Frage, ob überhaupt eine Steigerung der Erregung, wie sie zB. auch durch Zentrifugieren, d. h. durch Steigerung der einwirkenden Kraft, hervorgerufen werden kann, sich in der Abkürzung der Reaktionszeit ausdrückt. Der Untersuchung dieser Frage ist das folgende Kapitel gewidmet.

Kapitel IV. Abhängigkeit der Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Zentrifugalkräften über und unter 1 g.

A. Literatur.

Der Einfluß verschiedener Zentrifugalkräfte auf den Geotropismus wurde hauptsächlich von Czapek (1895, S. 301 ff. und 1898, S. 191 ff.) studiert. Die in der früheren Literatur darüber vorhandenen Angaben von Sachs, Elfving, Schwarz sind bei Czapek zitiert und in ihren wichtigsten Ergebnissen besprochen.

Czapek arbeitete mit Wurzeln von *Vicia Faba* (kleine Varietät) und *Lupinus albus*, „mit welchen identische Ergebnisse erzielt wurden“. Dabei fand er, daß bei etwa 40facher Schwerkraftwirkung das Minimum der Reaktionszeit mit $\frac{3}{4}^h$ (17°) erreicht ist, während dieselbe bei 1 g schon $1\frac{3}{4}^h$ beträgt. Seine Ergebnisse lassen sich in folgende Tabelle zusammenfassen.

Angewandte Fliehkraft	35—38	10—28	4,3—7	0,9—3,5	0,6	0,4—0,5	0,02—0,2 g
Reaktionszeit . . .	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	3	4^h
Angewandte Fliehkraft	0,003	0,001	0,0005 g				
Reaktionszeit . . .	5	6	nach 8^h	kaum eine Krümmung angedeutet.			

Nach dieser Tabelle bezeichnet Czapek den Wert von 0,001 g als Reizschwelle für die geotropische Empfindung der *Vicia Faba*- und *Lupinus*-Keimwurzeln.

Auch Jost (1902, S. 176) erhielt bei Linsenwurzeln und Panicumkotyledonen bei Verwendung einer Fliehkraft von 0,02 bis 0,05 g die „schönsten“ Krümmungen.

Ebenso fanden Darwin und Pertz (1904, S. 478 ff.) in Versuchen mit *Setaria* und *Sorghum* bei Anwendung einer Zentrifugalkraft von 0,02—0,05 g zumeist geotropische Krümmungen, desgleichen Němec (1902, S. 348) in Versuchen mit *Pisum*-Wurzeln bei 0,06—0,08 g.

Endlich sei noch eine Bemerkung Haberlandts (1903, S. 499) erwähnt, wonach er in Versuchen mit Keimwurzeln von *Zea Mays* bei einer Fliehkraft von 14 g nach 3 Minuten langer Rotation nachträglich am Klinostaten „sehr schöne“ Krümmungen auftreten sah.

Aus diesen Literaturangaben sieht man, daß abgesehen von der Czapekschen Arbeit nur sporadische Bemerkungen über den Einfluß der Zentrifugalkraft auf die geotropischen Vorgänge vorhanden sind. Namentlich findet man außer der letzten Angabe Haberlandts in der ganzen Literatur keine Arbeit, worin der Einfluß der Zentrifugalkraft auf die Länge der geotropischen Präsentationszeit behandelt wäre.

B. Methodisches.

Was die Methode bei meinen Zentrifugalversuchen anbelangt, so benutzte ich zur Erreichung von Zentrifugalkräften über 1 g als Zentrifugalapparat einen Wassermotor. Auf die horizontale Achse dieses Motors konnte eine Metallscheibe von ca. 24 cm Durchmesser aufgeschraubt werden. Die Scheibe trug eine kreisförmige Korkplatte, die bei den Versuchen noch mit einer mehrfachen Lage feuchten Filtrierpapiers überzogen war. Auf dieser wurden die Versuchspflanzen, in unserem Fall abgeschnittene und weiter, wie im vorhergehenden schon beschrieben, vorbehandelte Keimpflanzen von *Vicia Faba* mittels Nadeln, die durch die Samen gestochen wurden, senkrecht zu den Radien befestigt und zwar so, daß die nach außen gerichtete Seite sich gegen ein festes Widerlager aus Kork lehnte, das eine bei sehr starken Zentrifugalkräften zu befürchtende mechanische Ausbiegung der Keimlinge in der Richtung der Zentrifugalkraft verhinderte. Für die Krümmung bildete dieses Korkwiderlager kein Hindernis, da diese ja in dem entgegengesetzten Sinn, nämlich nach dem Rotationszentrum zu, erfolgte. Auf die mit den Versuchspflanzen besteckte Scheibe wurde zur Herstellung eines feuchten Raumes ein zur Zentrifuge gehöriger, genau passender Glasbehälter aufgeschraubt.

Bei sehr starken Zentrifugalkräften wurde die Drehung während des Versuchs ein- oder mehrmals, je nachdem es nötig war, auf kurze Zeit unterbrochen, um die Versuchspflanzen zu begießen. Auch zum Kontrollieren der Krümmung war natürlich ein mehrmaliges kurzes Unterbrechen der Drehung nötig.

Die Zahl der Umdrehungen wurde anfangs ohne weiteres Hilfsmittel bestimmt, später aber mit Hilfe eines Tourenzählers, der mit der Spitze seiner Achse auf die Mitte der Glasschale aufgesetzt wurde, welche die Zentrifugalscheibe überdeckte. So ließ sich aus der Zahl der Umdrehungen pro Sekunde und der Entfernung der Versuchspflanzen vom Rotationszentrum in jedem Falle leicht die angewandte Zentrifugalkraft berechnen nach der Formel:

$$\text{Größe der Zentrifugalkraft} = 4,024 \frac{r}{t^2},$$

wobei r den Radius in Metern und t die Umlaufszeit in Sekunden bedeutet.

Zur Erzielung von Zentrifugalkräften unter 1 g konnte der oben beschriebene Apparat nicht verwendet werden, da eine so langsame Umdrehung der Turbine, wie sie für diese Versuche nötig gewesen wäre, nicht erzielbar war. Nachdem ich mehrere ungeeignete Methoden versucht hatte, fand ich eine günstige Methode derart, daß ich an der horizontalen Achse des Pfefferschen Klinostaten große Pappscheiben von ca. 70 cm Durchmesser rotieren ließ. Durch verschieden raschen Gang des Klinostaten und verschiedene Entfernung der Versuchspflanzen vom Zentrum der Drehscheibe konnte ich so alle nötigen Abstufungen der Massenbeschleunigung erzielen.

C. Einfluß des Zentrifugierens auf die Reaktionszeit.

1. Zentrifugalkräfte über 1 g.

Die Resultate einer ersten Versuchsreihe in dieser Richtung finden sich in folgender Tabelle.

Tabelle 31. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur 20—22°.

Angewandte Zentrifugalkraft g	Zahl der geprüften Pflanzen	Mittel der Reaktionszeit Min.
20—50	55	50,5
80—90	13	59,7
90—160	14	57,4

Mittel der Reaktionszeit aus allen 82 zentrifugierten Pflanzen . . . 53,13 Min.

„ „ „ „ 72 horizontal gelegten Kontrollpflanzen 64,6 „

Dabei ist zu bemerken, daß die letzten in obiger Tabelle angegebenen Zentrifugalkräfte nicht genau und zwar wahrscheinlich etwas zu hoch sind, da die Umdrehungsgeschwindigkeit hier noch durch Zählen ermittelt wurde.

Zweite Versuchsreihe.

Tabelle 32.

Vicia Faba, Keimspresse. Temperatur 16—19°.

Angewandte Zentrifugalkraft g	Zahl der geprüften Pflanzen	Mittel der Reaktionszeit Min.
6,5—10	8	72,5
10—20	24	64,8
20—30	8	61,5
30—40	15	68,2
40—50	7	70,4
50—60	16	63
60—70	4	80
70—80	8	62,5
80—90	3	76
100—110	8	68,7

Mittel der Reaktionszeit aus allen 101 zentrifugierten Pflanzen . . 66,8 Min.

" " " " 55 horizontal gelegten Kontrollpflanzen 72 "

Vergleichen wir die beiden Tabellen miteinander, so finden wir, daß die Reaktionszeit der zentrifugierten Pflanzen sich um ganz geringe Werte von der der nicht zentrifugierten Kontrollpflanzen unterscheidet: in der ersten Versuchsreihe ist nämlich die Reaktionszeit der zentrifugierten um ca. 11 Min., in der zweiten nur um ca. 5 Min. kürzer als die Reaktionszeit der dauernd horizontal gelegten Pflanzen. Diese Unterschiede sind so gering, daß sie innerhalb der Fehlergrenze liegen dürften, wie aus den Einzelheiten der Tabelle hervorgeht. Wir können also sagen: schon bei 1 g ist das Minimum der Reaktionszeit erreicht. Größere Zentrifugalkräfte (der höchste sicher bestimmte Wert ist 111 g) haben keinen verkürzenden Einfluß.

Es kann also auch in diesem Falle eine durch Steigerung der einwirkenden Kraft hervorgerufene Steigerung der geotropischen Erregung durch das Kriterium der Reaktionszeit nicht nachgewiesen werden.

Bis 111 g ist aber auch noch kein schädigender Einfluß der großen Zentrifugalkräfte zu konstatieren, der bei noch höheren Werten wahrscheinlich eintritt. Doch habe ich diese Werte mit meiner Turbine nicht erreichen können; die Bestimmung der Schädlichkeitsgrenze ist auch für unsere Betrachtung von keiner besonderen Bedeutung.

Diese meine Versuchsergebnisse stehen mit denen Czapeks in Widerspruch, der ja, wie aus den oben angeführten Tabellen ersichtlich ist, das Minimum der Reaktionszeit für die von ihm untersuchten Pflanzen erst bei ca. 40 g findet. Daß diese Verschiedenheit bloß mit dem Umstande zusammenhängt, daß ich andere Versuchsobjekte benutzte als Czapek — er verwendete neben Wurzeln ja auch Sprosse von *Helianthus* — kann ich kaum annehmen.

2. Zentrifugalkräfte unter 1 g.

Gehen wir nun zu den Versuchen mit Zentrifugalkräften unter 1 g über, so ist zunächst zu bemerken, daß es hier viel schwerer ist, die Reaktionszeiten für die einzelnen kleinen Zentrifugalkräfte sicher zu bestimmen. Denn der Einwirkung so kleiner Kräfte gegenüber kommen die individuellen Verschiedenheiten und alle möglichen anderen störenden Faktoren auch schon wegen der viel längeren Dauer der Versuche viel mehr zur Geltung als bei größeren Zentrifugalkräften.

So mußten hier eine Menge Versuche gemacht werden, um zu brauchbaren Resultaten zu gelangen. Ganz genaue Ergebnisse sind aus den angeführten Gründen bei diesen Versuchen gar nicht oder nur durch Anstellung einer sehr großen Zahl von Versuchen zu erreichen.

Die von mir angestellten Versuche ergaben folgende Resultate.

Tabelle 33. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur 17—21 $\frac{1}{2}$ °.

Angewandte Zentrifugalkraft g	Zahl der geprüften Pflanzen	Zahl der gekrümmten Pflanzen	Mittel der Reaktionszeit
0,014	27	16	4 St. 37 Min.
0,056	31	29	3 " 26 "
0,099	29	28	3
0,20	11	10	2 " 5 "
0,31	28	28	1 " 55 "
0,80	15	15	1 " 53 "
1,25—2,19	83	82	1 " 27 "

Mittel der Reaktionszeit aus 141 horizontal gelegten Pflanzen 1^h 12 Min.

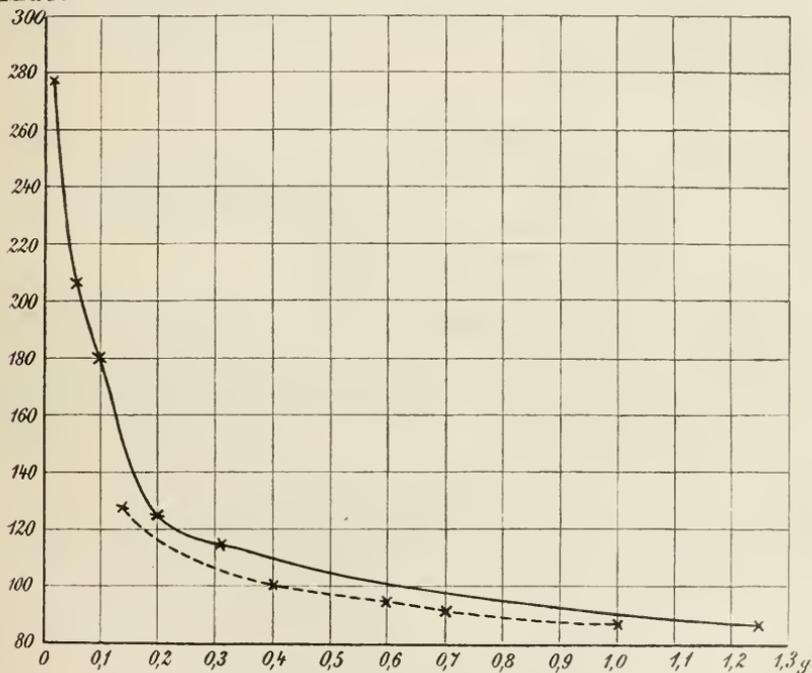
Ein einheitlicheres Bild der Reaktionszeiten bei diesen kleinen Zentrifugalkräften ergaben die bei Untersuchung der Präsentationszeit erhaltenen Reaktionszeiten.

Tabelle 34. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur 20—25°.

Angewandte Zentrifugalkraft g	Zahl der Versuchspflanzen	Mittel der Reaktionszeit
0,13—0,15	127	2 St. 8 Min.
0,4	61	1 „ 40 „
0,6	72	1 „ 35 „
0,7	58	1 „ 31 „
1	76	1 „ 27 „

Wenn wir aus der ersten Tabelle den Wert für 0,8 g, der offenbar zu hoch ist, fallen lassen und nun für die anderen Werte sowohl aus der ersten, wie aus der zweiten Tabelle die Kurven zeichnen, so sehen wir, daß sie einen ziemlich ähnlichen Verlauf haben.

Min.



Zugleich ergänzen sich die beiden Kurven in wünschenswerter Weise, indem in der einen, welche die aus den dauernd zentrifugierten Pflanzen erhaltenen Reaktionszeiten enthält, hauptsächlich die Werte zwischen 0,3—0,01 g genauer bestimmt sind, während die aus der Prüfung der Präsentationszeit erhaltenen Reaktionszeiten den

genaueren Verlauf der Kurve zwischen 0,3—1 g bestimmen. Daß die beiden Kurven nicht direkt aneinander anschließen, hängt wohl damit zusammen, daß in den Versuchen der Tabelle 34 etwas höhere Temperaturen herrschten.

Aus der Kurve ist zu ersehen, daß die Reaktionszeit von 0 g an, wo sie ∞ beträgt, anfangs sehr schnell abnimmt. Später wird der Abfall ein viel langsamerer, und die Reaktionszeit erreicht schon bei 1 g oder ganz wenig darüber ihren geringsten Wert, unter den sie bei weiterem Steigern der Zentrifugalkraft bis zu 111 g nicht herabgeht.

Die Bemerkung, daß die Reaktionszeit anfangs sehr schnell abnimmt, später aber einen langsameren Abfall zeigt, findet sich auch schon bei Czapek (1895, S. 306 und 1898, S. 192), nur daß er für seine Objekte, wie schon oben angeführt, von 1 g mit einer Reaktionszeit von $1\frac{3}{4}$ St. ab einen weiteren Abfall der Reaktionszeit bis auf $\frac{3}{4}$ St. bei ca. 40 g konstatiert, was ich in meinen Versuchen nicht bestätigen konnte.

D. Einfluß des Zentrifugierens auf die Präsentationszeit.

Die Versuchspflanzen (Keimspresse von *Vicia Faba*) wurden ganz in derselben Weise zu den Versuchen vorbereitet, wie es bei den vorhergehenden Versuchen geschah.

Für die Prüfung der Zentrifugalkräfte über 1 g wurden die Versuchspflanzen auf der Turbine gedreht, zur Erreichung der Zentrifugalkräfte unter 1 g kamen sie auf die oben beschriebenen Pappscheiben. Nachdem sie die gewünschte Zeit der Zentrifugalkraft ausgesetzt gewesen waren, wurden sie am Klinostaten langsam weiter rotiert.

1. Zentrifugalkräfte über 1 g.

Tabelle 35. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur 19—25°.

Angewandte Zentrifugalkraft 1,07 g.						
Dauer der Induktion	12	10	9	8	7	6 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . .	15	54	13	32	6	11
Zahl der gekrümmten Pflanzen .	13	39	6	17	0	1

Präsentationszeit 8 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 1,2—2,3 g.						
Dauer der Induktionszeit	5	4	3	2	1	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	7	22	17	7	16	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	5	11	6	3	0	

Präsentationszeit 4—5 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 2,5—3,5 g.

Dauer der Induktionszeit . . .	3½—5	3	2½	2	1	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . .	49	50	8	7	16	
Zahl der gekrümmten Pflanzen . .	28	30	1	3	0	

Präsentationszeit 3 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 3,7—6,8 g.

Dauer der Induktionszeit . . .	3—5	2½	2	1½	1	½ Min.
Zahl der geprüften Pflanzen . .	22	37	43	71	20	20
Zahl der gekrümmten Pflanzen . .	15	23	27	33	9	4

Präsentationszeit 2 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 8,4—12,9 g.

Dauer der Induktionszeit	1½	1	½	¼	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	3	28	20	31	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	3	15	6	4	

Präsentationszeit 1 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 18,1—20,7 g.

Dauer der Induktionszeit	1	½	¼	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	18	5	15	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	15	5	7	

Präsentationszeit ½ Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 22,1—32,6 g.

Dauer der Induktionszeit	1	½	¼	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	4	8	27	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	4	4	22	

Präsentationszeit ¼ Min.

Andere Versuche, in denen die Zentrifugalkraft wie bei der Untersuchung der Reaktionszeit bis zu 111 g gesteigert wurde, sind in der obigen Tabelle nicht angeführt. Denn um Zentrifugalkräfte über ca. 30 g zu erhalten, mußte die Turbine immer mindestens ½ Min. gehen, eine Induktionszeit, die natürlich die Präsentationszeit bei der betreffenden Zentrifugalkraft längst übersteigt. Diese methodischen Schwierigkeiten verhinderten es, die Präsentationszeit für noch größere Zentrifugalkräfte zu bestimmen; doch zweifle ich nicht daran, daß sie für so große Kräfte noch geringer ist.

2. Zentrifugalkräfte unter 1 g.

Tabelle 36. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur 22—26°.

Angewandte Zentrifugalkraft 0,71 g.

Dauer der Induktionszeit	12	10	9	8	7	6 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	16	65	15	34	7	14
Zahl der gekrümmten Pflanzen	12	40	3	9	1	0

Präsentationszeit 10 Min.

Angewandte Zentrifugalkraft 0,6 g.

Dauer der Induktionszeit	30	27	25	20 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	13	6	122	80
Zahl der gekrümmten Pflanzen	12	5	66	35
Präsentationszeit 25 Min.				

Angewandte Zentrifugalkraft 0,4 g.

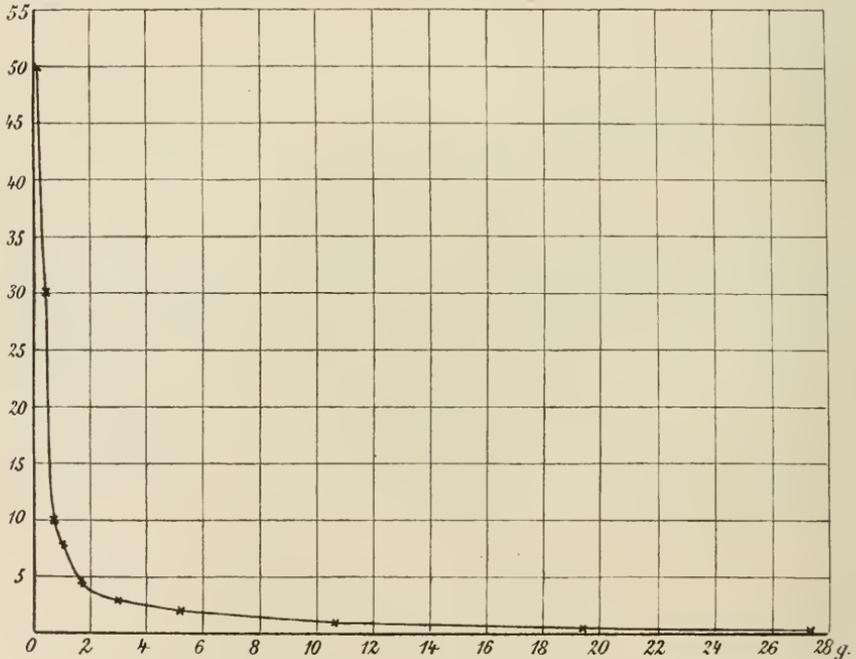
Dauer der Induktionszeit	30	27	25	20 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	16	8	98	59
Zahl der gekrümmten Pflanzen	14	5	30	20
Präsentationszeit 30 Min.				

Angewandte Zentrifugalkraft 0,13—0,15 g.

Dauer der Induktionszeit	55	50	45	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	41	149	69	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	31	78	18	
Präsentationszeit 50 Min.				

Werden die gefundenen Werte beider Tabellen in ein Koordinatensystem eingetragen, so ergibt sich folgende Kurve:

Min.



Betrachten wir die Kurve, so finden wir auch hier im Anfang ein sehr schnelles Fallen der Präsentationszeit; insofern ist diese Kurve der aus den Reaktionszeiten erhaltenen ähnlich. Doch

unterscheidet sie sich von dieser dadurch, daß auch über 1 g mit steigender Zentrifugalkraft ein sehr deutlicher weiterer Abfall der Präsentationszeit zu konstatieren ist, indem die Präsentationszeit von ca. 8 Min. bei 1 g bis auf $\frac{1}{4}$ Min. bei etwa 27 g, dem aus methodischen Gründen kleinsten feststellbaren Wert, herabsinkt.

E. Resultate.

Die Ergebnisse meiner Versuche mit Keim sprossen von *Vicia Faba* sind:

1. Schon bei der Einwirkung von 1 g erreicht die Reaktionszeit ihren minimalen Wert, sie kann auch durch Zentrifugalkräfte bis 111 g nicht mehr oder nur ganz unbedeutend verkürzt werden.

2. Zentrifugalkräfte unterhalb 1 g haben eine Verlängerung der Präsentations- und Reaktionszeit zur Folge und zwar wächst die letztere anfangs langsam, später sehr rasch.

3. Während Zentrifugalkräfte über 1 g auf die Länge der Reaktionszeit nicht weiter vermindernd einwirken, zeigt die Präsentationszeit bei Steigerung der Zentrifugalkraft von 1 auf etwa 27 g eine weitere Abkürzung von 8 auf $\frac{1}{4}$ Min.

Die durch Steigerung der einwirkenden Kraft über 1 g hervorgerufene Steigerung der Erregung drückt sich also zwar nicht in einer Verkürzung der Reaktionszeit, wohl aber in einer solchen der Präsentationszeit deutlich aus.

Kapitel V. Präsentations- und Reaktionszeit in ihrer Abhängigkeit von der verschiedenen Angriffsrichtung der Schwerkraft.

Nach den im letzten Kapitel erhaltenen Resultaten war es von großem Interesse, an Stelle der verschiedenen Fliehkräfte verschiedene Ablenkungswinkel zu studieren, um zu sehen, ob nicht etwa ein der Einwirkung kleiner Fliehkräfte ähnlicher Effekt durch die Schwerkraft hervorgerufen wird, wenn sie in kleinen Ablenkungswinkeln auf die Versuchspflanzen wirkt.

Es kommen nämlich hierbei in der zur Achse des Keimlings senkrechten Richtung nur dem Sinus des Ablenkungswinkels entsprechende Bruchteile der Schwerkraft zur Geltung.

Daß allerdings nur diese zur Achse des Keimlings senkrechten Bruchteile für die geotropische Reizung der betreffenden Pflanzen von Bedeutung sind, ist nicht von vornherein sicher, doch machen es die im folgenden angeführten Befunde sehr wahrscheinlich.

Die in dieser Richtung angestellten Versuche sollten einerseits zum Vergleich mit den Werten dienen, die bei den entsprechenden Zentrifugalversuchen erhalten wurden, andererseits unsere Anschauungen über den Effekt verschieden großer Winkelablenkung aus der Vertikalrichtung erweitern.

Von diesem letzteren Gesichtspunkt aus haben hauptsächlich Czapek (1895, S. 283 ff. und 1898, S. 193 ff.) und Fitting (1905, S. 273 ff.) Versuche angestellt. Die Vorgeschichte unserer Frage findet sich in der Arbeit Fittings (1905, S. 243 ff.), auf die hiermit verwiesen sei.

Nach den Versuchen Fittings darf es als sicher gelten, daß die Horizontale die optimale Reizlage ist. Außerdem fand Fitting, daß sich gleiche Winkel unterhalb und oberhalb des Horizonts hinsichtlich der geotropischen Impulse, die in gleichen Zeiten erfolgen, nicht wesentlich unterscheiden.

Weiter konnte Fitting aus seinen Versuchen schließen, daß die geotropischen Erregungen mit großer Annäherung mit dem Verhältnis der Sinus der Ablenkungswinkel übereinstimmen. „Doch nehmen etwa vom Ablenkungswinkel 30° an mit der Verkleinerung dieses Winkels die Intensitäten der Erregung etwas schneller als die Sinuswerte ab“ (1905, S. 327).

Bei meinen eigenen Versuchen diente mir als Kriterium, wie in den vorhergehenden Kapiteln, die Größe der Präsentations- und Reaktionszeit. Die Versuche wurden so ausgeführt, daß abgeschchnittene Keimlinge von *Vicia Faba* auf kreisförmige Pappscheiben gesetzt wurden. Auf der Fläche des Kreises waren im Abstand von je 15° Durchmesser gezogen. Die Versuchspflanzen wurden nun mit Nadeln so aufgesteckt, daß sie auf einem dieser Durchmesser genau senkrecht standen. Mit Hilfe eines Lotes konnte dann die Pappscheibe am Klinostaten in Abständen von 15° genau fixiert, und so die Versuchspflanzen leicht und schnell in jeden beliebigen Ablenkungswinkel von der Horizontalen eingestellt werden. Die Versuchspflanzen waren auf der Pappscheibe so angebracht, daß ihre Spitzen in Beziehung auf die Horizontale teils nach oben, teils nach unten sahen, d. h. daß sie mit der Horizontalen einen Winkel α oder $180 - \alpha$ bildeten.

Während der Induktionszeit wurden die Pappscheiben mit den Keimlingen noch durch Überschieben eines Etiolierzylinders vor einseitigem Lichteinfall geschützt.

Die mit dieser Methode erzielten Resultate finden sich in folgender Tabelle.

1. Präsentationszeit.

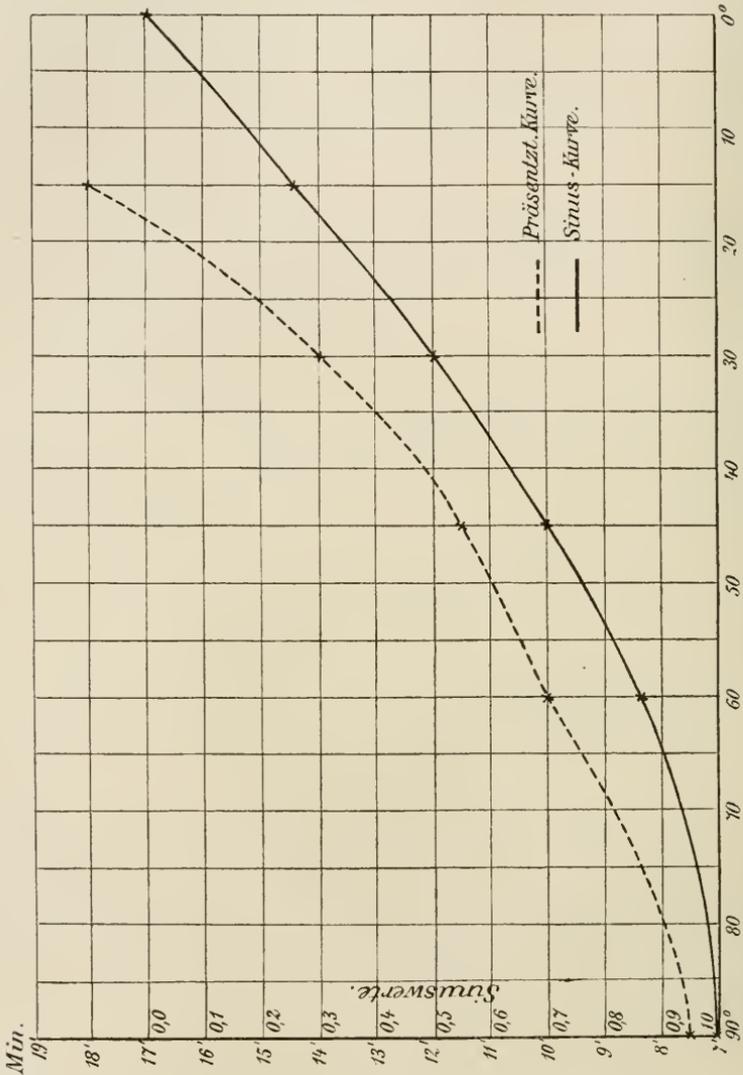
Tabelle 37. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur $18\frac{1}{2}$ bis 23° .

Ablenkungswinkel 90° = Horizontale.			
Dauer der Induktionszeit	8	7	Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	61	11	
Zahl der gekrümmten Pflanzen	35	5	
Präsentationszeit $7\frac{1}{2}$ Min.			
Ablenkungswinkel 60° .			
Dauer der Induktionszeit	11—12	10	9 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	30	158	107
Zahl der gekrümmten Pflanzen	16	83	39
Präsentationszeit 10 Min.			
Ablenkungswinkel 45° .			
Dauer der Induktionszeit	12	11	10 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	52	51	24
Zahl der gekrümmten Pflanzen	31	25	12
Präsentationszeit $11\frac{1}{2}$ Min.			
Ablenkungswinkel 30° .			
Dauer der Induktionszeit	16	14	12 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	71	69	68
Zahl der gekrümmten Pflanzen	57	36	23
Präsentationszeit 14 Min.			
Ablenkungswinkel 15° .			
Dauer der Induktionszeit	20	18	16 14 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	85	61	92 53.
Zahl der gekrümmten Pflanzen	54	32	38 20.
Präsentationszeit 18 Min.			

Um nun einen Überblick zu gewinnen über das Verhältnis zwischen den gefundenen Präsentationszeiten und dem Bruchteil der Schwerkraft, der in den einzelnen Winkeln in senkrechter Richtung auf die Versuchspflanzen wirkt, seien die gefundenen Präsentationszeiten und ebenso die jeweiligen in senkrechter Richtung zur Achse der Versuchspflanzen wirkenden Teile der Schwerkraft in Form von Kurven dargestellt (S. 92).

Die beiden Kurven verlaufen von 90 bis zu 30° , besonders aber zwischen den Werten 60 und 30° , ziemlich parallel. Zwischen diesen Werten entspricht also die Länge der Präsentationszeit ziemlich genau dem Sinus des Winkels. Von 30° an beginnt die Präsentationszeit rascher zu steigen als die Sinuskurve, d. h. die

Präsentationszeit wird verhältnismäßig viel größer als der Sinuswert des Winkels verlangt, und dieses Mißverhältnis steigert sich sehr rasch, bis die Kurve der Präsentationszeit bei 0° ins Unendliche verläuft.



Ob das von 90 bis 60° etwas raschere Ansteigen der Präsentationszeitkurve den wirklichen Verhältnissen entspricht, ist nicht sicher, auch wenig wahrscheinlich. Die Abweichung dürfte

in der Unmöglichkeit begründet sein, die Präsentationszeit auf $\frac{1}{2}$ Minute genau zu bestimmen.

So viel geht aber trotzdem aus der ermittelten Kurve hervor, daß das Verhältnis der Präsentationszeiten bis zu einem Winkel von ca. 30° ziemlich genau demjenigen der Sinus der Ablenkungswinkel entspricht, ein Resultat, das mit dem Fittings auf ganz anderem Wege erreichten gut übereinstimmt. Es ist daher, meiner Ansicht nach, sehr wahrscheinlich, daß in den verschiedenen Winkellagen für die geotropische Wirkung tatsächlich nur die zur Achse der Versuchspflanzen senkrechte Komponente der Schwerkraft in Betracht kommt.

2. Reaktionszeit.

Was die Reaktionszeit für die verschiedenen Winkellagen anbelangt, so sind meine Resultate in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 38. *Vicia Faba*, Keimspresse. Temperatur $18\frac{1}{2}$ bis 23° .

Ablenkungswinkel aus der Vertikalen	90	60	45	30	15°
Mittel der Reaktionszeiten	97,9	93,3	98,7	93,0	98,0 Min.
Zahl der geprüften Pflanzen	57	70	29	94	111

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Reaktionszeiten für die untersuchten Winkel um einen gewissen Mittelwert herum schwanken und einander alle ziemlich gleich sind. Von 15° an abwärts muß dann die Reaktionszeit sehr rasch wachsen, denn sie erreicht bei 0° ebenso wie die Präsentationszeit den Wert ∞ . Doch wurden Versuche, bei denen die Ablenkung weniger als 15° betragen hätte, nicht angestellt.

Während ich noch mit diesen Versuchen beschäftigt war, erschien eine Arbeit Czapeks (1906, S. 145 ff.), worin derselbe, wie auch schon in einer früheren Arbeit (1895, S. 292 ff.), betreffs der Reaktionszeit zu dem ganz ähnlichen Resultat gelangt, daß die Reaktionszeiten zwischen 20 und 160° annähernd gleich groß sind. „Unter und über diesen Grenzen ist die Reaktionszeit beträchtlich größer“ (a. a. O. S. 161).

Ein sehr merkwürdiges Ergebnis erhalten wir, wenn wir die bei den Zentrifugalversuchen erhaltenen Präsentationszeiten mit den bei den Winkelversuchen erhaltenen vergleichen, indem wir die Sinuswerte von g einsetzen, die der Winkelablenkung entsprechen. Wir erhalten da folgendes Bild:

Tabelle 39.

1. Zentrifugalversuche.

Angewandte Zentrifugalkraft	1	0,71	0,6	0,4	0,14 g
Präsentationszeit	8	10	25	30	50 Min.

2. Ablenkungsversuche.

Senkrecht zur Achse der Versuchspflanze					
einwirkender Teil der Schwerkraft	1	0,87	0,71	0,5	0,26 g
Präsentationszeit	7 $\frac{1}{2}$	10	11 $\frac{1}{2}$	14	18 Min.

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß für die Werte 0,7—1 g die Präsentationszeiten in beiden Fällen ziemlich gleich lang sind. Unter 0,7 g etwa steigert sich aber dann mit dem weiteren Abfall der einwirkenden Kraft die Präsentationszeit in den Zentrifugalversuchen sehr viel rascher, als in den Ablenkungsversuchen. Wie ist dieses merkwürdige Resultat zu denken? Meiner Ansicht nach dürfte die Erklärung in folgender Überlegung liegen: Die bei den beiden verschiedenen Versuchsanstellungen in senkrechter Richtung zur Achse der Versuchspflanzen einwirkenden, gleichstarken Kräfte werden von den Versuchspflanzen verschieden empfunden, weil der Reizzustand, in dem sie sich, abgesehen von der Einwirkung der zu untersuchenden Kraft, befinden, in beiden Fällen verschieden ist. In dem einen Fall, nämlich der Winkelablenkung, wirkt geotropisch auf die Versuchspflanze tatsächlich nur der einseitige, durch die Ablenkung aus der Ruhelage gegebene Reiz der Schwerkraft. Anders bei den Zentrifugalversuchen. Auch hier haben wir zwar den durch Zentrifugieren erreichten, nach einer Richtung auf die Pflanzenorgane wirkenden einseitigen Reiz, aber es ist nicht allein dieser Reiz vorhanden. Er kommt hier vielmehr hinzu zu einem Reizzustand, in dem sich der Keimling schon durch die Rotation befindet. Wir müssen uns nämlich vergegenwärtigen, daß auch bei schneller Rotation, wie Fitting (1905, S. 327) zuerst zeigte, die Schwerkraftwirkung im Prinzip nicht ausgeschaltet werden kann, sondern nur in ihrem krümmenden Effekt. Sie ist bei der Rotation um die horizontale Achse nicht überhaupt aufgehoben, sondern wirkt nur allseitig gleichmäßig auf die Versuchspflanzen, so daß durch die allseitigen einander entgegengesetzten gleich starken Reizungen eine Reaktion nicht zustande kommen kann. Zu diesem allseitig gleichmäßigen, durch die Schwerkraft hervorgerufenen Reiz kommt nun bei den Zentrifugalversuchen der durch den zentrifugalen Trägheitswiderstand bewirkte einseitige Reiz hinzu, der zur Reaktion führt. Aus diesen Tatsachen könnte sich das obige Resultat

sehr wohl erklären. Es wird nämlich, die Gültigkeit des Weber-Fechnerschen Gesetzes vorausgesetzt, auf den Organismus an der Zentrifuge, der durch die Rotation schon in einen Reizzustand versetzt wird, ein größerer Reiz derselben Qualität ausgeübt werden müssen, um eine Reaktion auszulösen, als auf den aus der Ruhelage abgelenkten Organismus, der nur dem Reiz der Schwerkraft unterworfen ist.

Kapitel VI. Einfluß des Schüttelns auf die Reaktions- und Präsentationszeit.

Auf Grund der in Kapitel IV bei den Zentrifugalversuchen erhaltenen Resultate mußten sich mir Zweifel ergeben an der Richtigkeit der von Haberlandt im Interesse der Statolithen-Hypothese ausgeführten Schüttelversuche. Denn die stoßweise Reizung ist, wie schon Noll (1903, S. 134f.) in seinem kritischen Referat über die Schüttelversuche Haberlandts angibt, im Prinzip nicht von der Zentrifugalwirkung verschieden.

A. Literatur.

Haberlandt (1903, S. 447 ff.) bediente sich zu seinen Schüttelversuchen eines Wassermotors, durch den mit Hilfe geeigneter Übertragungen Sprosse und Wurzeln in der Horizontallage rasch geschüttelt werden konnten. Das wichtigste Stück des Haberlandtschen Schüttelapparates ist die Stoßstange, die durch einen exzentrischen Stift der Zentrifugalscheibe mit Hilfe eines Gelenks und einer Geradföhrung senkrecht auf und abbewegt wird, von unten her auf den Knopf einer ebenfalls in senkrechter Richtung leicht beweglichen Gabel stößt und so die auf der Gabel befestigten Versuchspflanzen rasch zu schütteln, resp. zu stoßen gestattet.

Bei den meisten von Haberlandt untersuchten Objekten genügt nun „ein 5 Minuten langes Schütteln resp. Stoßen in der Horizontallage“, „um nachträglich am Klinostaten sehr ausgiebige geotropische Krümmungen zu erzielen“, während die normalen Präsentationszeiten nach Haberlandt im allgemeinen viel länger sind. Die speziellen Angaben Haberlandts werden erst bei der Besprechung meiner eigenen Versuche Berücksichtigung finden.

Neben dieser Verkürzung der Präsentationszeit beobachtete Haberlandt auch eine Verkürzung der Reaktionszeit bei geschüttelten gegenüber ungeschüttelten, dauernd horizontal gelegten Kontrollpflanzen.

Ähnliche Versuche wie von Haberlandt wurden dann auch noch von Darwin (1903, S. 365 ff.) angestellt:

Als Kriterium benutzte Darwin die Stärke der nach gleicher Zeit erreichten Krümmung. Er gibt als Verhältnis der Summe der Winkelgrade bei den ungeschüttelten zu der bei den geschüttelten Versuchspflanzen (Keimlinge von *Sorghum*, *Setaria*, *Panicum*) 100 : 143,8 an, also ebenfalls einen Ausschlag zugunsten der geschüttelten Pflanzen. Sein Schüttelapparat bestand aus einer auf elektrischem Wege in Schwingung versetzten Stimmgabel.

Dann gehört noch hierher eine zweite Arbeit Haberlandts (1906, S. 344 ff.), in der seine ersten Resultate bestätigt werden, und außerdem noch gezeigt wird, daß ein Schütteln der Versuchspflanzen in ihrer Ruhelage keinen Unterschied in der Länge der geotropischen Reaktionszeit bewirkt.

B. Methodisches.

Der Apparat, den ich zu meinen Versuchen verwandte (s. Fig. S. 97) war nach einem ähnlichen Prinzip, wie der Haberlandts, von dem Universitätsmechaniker Albrecht in Tübingen konstruiert.

Als treibende Kraft diente mir ebenso wie Haberlandt eine Wasserturbine, auf deren Achse eine kleine Scheibe angebracht war.

Auf dieser Scheibe *A* ließ sich in einem Scharnier ein feststellbarer Bolzen *B* verschieben und so eine beliebige Entfernung desselben vom Mittelpunkt der Scheibe, d. h. der Drehachse der Turbine, erreichen. Mit Hilfe eines kleinen, an dem Bolzen angebrachten Zeigers und einer Skala auf der Scheibe konnte der Bolzen ganz genau und nach Belieben exzentrisch festgestellt werden. Mit dem letzteren war ein um ihn drehbarer Metallarm *C* verbunden, der durch eine knieförmige Übertragung *D* die rotierende Bewegung in eine geradlinige verwandelte.

Das knieförmige Stück verschob eine Hülse *E* über einen Metallstab *F*, wodurch eine genau senkrechte Bewegung nach oben und unten gesichert war. Durch verschiedene Stellung des Bolzens auf der Skala der Scheibe konnte ich eine Bewegungsamplitude der Stoßstange zwischen 0—50 mm erreichen. Auf die Stoßstange wurde nun ein Aufsatzstück geschraubt, das zur Aufnahme zylindrischer, zu dem Zwecke besonders angefertigter Töpfe mit den Versuchspflanzen diente. Diese Töpfe, durch drei senkrechte Eisenstangen *G*, *G*₁ (die dritte ist in der Figur nicht gezeichnet) mit Hilfe von drei Schrauben festgehalten, konnten sich

während des Schüttelns nicht bewegen. Durch Einschaltung eines knieförmigen Stücks war es möglich, sie in der Horizontallage zu schütteln. Außerdem konnte der ganze Apparat so umgeschraubt werden, daß die Bewegungen der Stoßstange nicht senkrecht nach oben und unten, sondern in horizontaler Ebene hin und her gingen.

Wurde nun die Turbine in Gang gesetzt, so machte die Stoßstange mit den darauf horizontal befestigten Versuchspflanzen einfache Schwingungen; die Versuchspflanzen wurden ohne Stöße geschüttelt. Versuche dieser Art finden sich im folgenden aufgeführt.

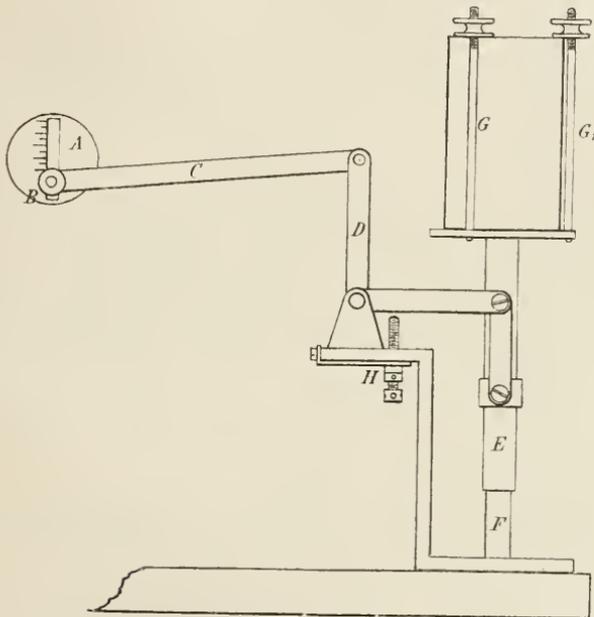


Fig. 1.

In anderen Versuchen wurde mit Stößen geschüttelt. Diese wurden so erzeugt, daß das knieförmige Stück *D* bei seiner Bewegung nach unten jedesmal auf die Spindel einer federnden, höher oder nieder feststellbaren Schraube *H* aufstieß. Durch verschieden straffes Anspannen der Feder, sowie durch verschieden hohe Einstellung der Schraube ließ sich die Stärke der Stöße regulieren.

Als Versuchsmaterial verwendete ich: abgeschnittene Blüten- sprosse von *Capsella*, *Sisymbrium officinale*, *Plantago lanceolata*; Keimpflanzen von *Vicia Faba*, *Phaseolus multiflorus*, *Panicum*

sanguinalis, *Setaria alopecuroides*; Wurzeln von *Vicia Faba*, *Phaseolus multiflorus*.

Zu den Versuchen mit *Capsella* dienten mir junge Blütensprosse mit nur wenigen oder noch gar keinen Früchten und zwar sowohl Haupt- als Seitenachsen, die betreffs der geotropischen Reaktion durchaus keine Unterschiede aufwiesen. Die Versuchspflanzen wurden — gleiches gilt für *Sisymbrium* und *Plantago* —, nach Anbringung einer neuen Schnittfläche, mittels Watte in mit Wasser gefüllten Reagensröhrchen befestigt, mit einem Wasserzerstäuber tüchtig besprengt und dann in den Dunkelschrank gesetzt.

Nach einer bis mehreren Stunden, nachdem etwaige phototropische oder geotropische Reizungen sich ausgeglichen haben mochten, wurden die Pflanzen zu den Versuchen benutzt. Leichte Krümmungen, die sich nicht ausglich, wurden in der Weise unschädlich gemacht, daß die Krümmungsebene bei den Versuchen senkrecht zur Wirkung der Schwerkraft orientiert wurde. Die Reagensgläschen, in denen sich die Versuchspflanzen befanden, waren am oberen Ende mit einem Stückchen Gummischlauch überzogen, das dazu diente, sie in etwas weiteren Reagensgläsern, in die sie bei den Versuchen eingeschoben wurden, zu befestigen. Dies hatte den Zweck, einmal die Pflanzen in feuchter Atmosphäre zu halten und dann mechanische Schwingungen und Verbiegungen der Sprosse während des Schüttelns unmöglich zu machen. Diese weiteren Reagensröhren waren in wagrechter Stellung auf der Stoßstange des Schüttelapparats befestigt.

Das Schütteln fand bei den ersten Versuchen, die Verkürzung der Reaktionszeit betreffend, in diffusem Licht statt, bei den weiteren Versuchen wurde der Apparat jedoch, um etwaige Einflüsse ungleichmäßiger Beleuchtung auszuschalten, durch Überhängen eines schwarzen Tuchs verdunkelt.

Nachdem die Versuchspflanzen die gewünschte Zeit geschüttelt worden waren, kamen sie aus den weiteren Reagensröhren in derselben Lage in den dunklen, feuchten Raum eines Zinkkastens oder zur Ermittlung der Präsentationszeit in das Dunkelzimmer an den Klinostaten.

Zu gleicher Zeit mit dem Beginn des Schüttelns oder wenige Minuten später, so schnell es die Versuchsbedingungen erlaubten, wurde immer etwa die gleiche Zahl ebenso in Reagensröhrchen eingelassener Kontrollpflanzen im Dunkeln dauernd horizontal gelegt oder an den Klinostaten gesetzt.

Eintritt und Verlauf der Krümmung wurden in der kritischen Zeit immer von 10 zu 10 Minuten, in manchen Fällen auch von 5 zu 5 Minuten kontrolliert.

Bei den Versuchen mit Keimpflanzen waren in den Fällen, in denen sie mitsamt den Töpfen geschüttelt wurden, keine weiteren Vorbereitungen nötig, als die Anbringung eines Gipsringes, der das Herausfallen der Erde verhinderte.

Die Versuchsanordnung bei den Versuchen mit aus den Töpfen gehobenen Keimlingen und mit Wurzeln wird später an geeigneter Stelle beschrieben werden.

Zum Schluß dieses methodischen Teils ist noch hervorzuheben, daß die Versuche alle bei Zimmertemperatur ausgeführt wurden.

Geschüttelt und gestoßen wurden die Versuchsobjekte stets nur in der Horizontallage.

C. Versuche.

Nach meinen in den vorhergehenden Abschnitten mitgeteilten Versuchen war von vornherein zu erwarten, daß die Prüfung der Reaktionszeit keine Aufschlüsse über die Beeinflussung der Erregung durch Schütteln geben würde, sondern nur eventuell die der Präsentationszeit. Dies haben denn meine Untersuchungen auch bestätigt.

1. Untersuchungen über die Beeinflussung der Reaktionszeit durch Schütteln.

a) Versuche mit dem S. 96 und 97 beschriebenen Schüttelapparat.

a) Schütteln ohne Stöße.

An erster Stelle seien die Versuche erwähnt, bei denen die Versuchspflanzen verschiedene Zeit lang einem einfachen Schütteln ausgesetzt waren. Die Resultate finden sich in folgender Tabelle.

Tabelle 40. *Capsella*, Blütenprosse.

Amplitude der Schwingung	Dauer des Schüttelns	Reaktionszeit der Geschüttelten	Reaktionszeit der Ungeschüttelten
mm	Min.	Min.	Min.
2	5	35 (5)	34 (5)
10	10	48 (3)	47 (3)
15	20	41 (4)	38 (4)
		Mittel 40 (12)	38 (12)

Das in der letzten Zeile angegebene Mittel bezeichnet den Mittelwert der Reaktionszeit aller untersuchten Pflanzen zusammen. Die in Klammern hinter den Reaktionszeiten stehenden Zahlen bezeichnen die Zahl der geprüften Pflanzen. Dies gilt auch für alle folgenden Tabellen.

Die Zahl der Schwingungen, resp. in den späteren Versuchen der Stöße beträgt, wenn nichts Besonderes angegeben, ca. 4–8 pro Sekunde.

Tabelle 41. *Vicia Faba*, Keimspresse.

Amplitude	Dauer	Reaktionszeit	Reaktionszeit
	des Schüttelns	der Geschüttelten	der Kontrollpflanzen
	Min.	Min.	Min.
klein	10	77 (2)	67 (2)
1½ mm	10	63 (2)	69 (2)
		Mittel 70 (4)	68 (4)

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ergab diese Art des Schüttelns keine Resultate zugunsten der geschüttelten Pflanzen, was auch nicht weiter merkwürdig ist, da ja bei dieser Art des Schüttelns ohne Stöße die lebendige Kraft der Bewegung nach unten und oben ganz gleich stark und entgegengesetzt wirkt.

β) Schütteln mit Stößen.

Tabelle 42. *Capsella*, Blütenspresse.

Amplitude	Dauer	Reaktionszeit	Reaktionszeit
	des Schüttelns	der Geschüttelten	der Kontrollpflanzen
mm	Min.	Min.	Min.
½	5	39 (3)	41 (3)
2	5	51 (3)	47 (3)
2	10	52 (3)	47 (3)
2	20	39 (4)	43 (4)
10	10	41 (3)	38 (3)
15	5	42 (3)	47 (3)
15	6	37 (4)	36 (5)
15	10	52 (3)	58 (3)
15	20	31 (2)	48 (1)
15	20	31 (2)	34 (3)
15	20	40 (3)	40 (3)
15	20	36 (3)	38 (3)
		Mittel 41 (36)	42 (37)

Tabelle 43. *Vicia Faba*, Keimspresse in Töpfen.

Amplitude mm	Dauer des Schüttelns	Reaktionszeit der Geschüttelten	Reaktionszeit der Kontrollpflanzen
	Min.	Min.	Min.
1½	10	71 (4)	76 (2)
1½	10	63 (2)	70 (2)
1½	5	60 (4)	57 (3)
1½	10	59 (2)	59 (3)
3	20	45 (3)	49 (3)
5	10	65 (2)	67 (3)
10	10	73 (2)	69 (2)
15	5	44 (3)	43 (2)
15	20	50 (2)	52 (3)
15	10	37 (4)	48 (5)
15	20	53 (3)	42 (4)
15	20	39 (3)	46 (4)
3	20	45 (3)	49 (3)
		Mittel 53,3 (37)	54 (39)

Tabelle 44. *Sisymbrium officinale*, Blütenspresse.

1	5	46 (2)	34 (2)
1½	20	45 (4)	31 (4)
3	5	32 (5)	41 (4)
3	20	42 (5)	39 (5)
3	20	55 (5)	51 (5)
15	10	39 (5)	43 (5)
15	20	53 (5)	56 (4)
		Mittel 44 (25)	46 (23)

Tabelle 45. *Phaseolus multiflorus*, Keimspresse.

3	5	41 (3)	48 (3)
3	20	36 (3)	33 (2)
15	5	41 (3)	41 (3)
15	5	37 (4)	54 (3)
20	5	28 (3)	41 (2)
15	10	56 (2)	56 (2)
15	20	57 (3)	46 (2)
		Mittel 41 (21)	46 (17)

Die in Tabelle 45 bei zwei Versuchen erzielten Ergebnisse zugunsten der geschüttelten Pflanzen können die Beweiskraft der fünf anderen Versuche dafür, daß das Schütteln ohne Einfluß ist, nicht aufheben, zumal auch in Anbetracht des letzten Versuchs, in dem eine starke Differenz zugunsten der ungeschüttelten Pflanzen hervor-

tritt. Diese großen Differenzen stehen hier wahrscheinlich in Zusammenhang mit dem für derartige Versuche sehr ungünstigen Material von *Phaseolus*-Keimlingen, die ihr in jüngeren Stadien hakenförmig eingekrümmtes Ende meist erst gerade strecken, wenn das erste epikotyle Glied sein Wachstum beinahe vollendet hat. Dieser letztere Umstand, nämlich daß das erste epikotyle Glied ein begrenztes Wachstum hat, so daß man nicht weiß, in welcher Periode des Wachstums es sich bei Anstellung des Versuchs gerade befindet, und die damit zusammenhängende Unmöglichkeit eines richtigen Vergleichs verschiedener Versuchspflanzen bewog mich, die Versuche mit diesem Material nicht weiter fortzuführen, es auch sonst in meinen Versuchen möglichst wenig zu benutzen.

Außerdem könnte bei den beiden obigen Versuchen auch noch störend der Umstand gewirkt haben, daß die Versuchspflanzen während des Schüttelns bei den großen Amplituden ziemlich starke Schwingungen machten. Diese Schwingungen wurden bei den abgeschnittenen Sprossen, wie im methodischen Teil beschrieben, verhindert, ebenso bei den in Töpfen befindlichen längeren Keimlingen von *Vicia Faba* durch übergeschobene und auf den Topf aufgepipste Glasröhrchen.

Auch aus den Tabellen 42—45 geht also wieder einheitlich das Resultat hervor, daß auch bei Anwendung von sehr schwachen bis sehr starken Stößen weder in der Reaktionszeit noch auch in der Stärke der Krümmung, soweit darauf geachtet wurde, ein irgendwie deutlicher Unterschied zugunsten der geschüttelten Pflanzen zu bemerken war.

Die Stärke der Krümmung habe ich nie in Graden angegeben, da die Messung der Krümmungen sehr schwer ist und dem subjektiven Empfinden des Beobachters den freiesten Spielraum läßt. Ich verglich vielmehr geschüttelte und ungeschüttelte Pflanzen, indem ich sie hintereinander hielt, wobei sich leicht entscheiden ließ, ob die Krümmung in beiden Fällen zusammenfiel, d. h. gleich stark war oder nicht.

b) Versuche mit anderen Schüttelmethoden.

Nachdem auch diese Versuche nicht zu denselben Ergebnissen geführt hatten, wie sie Haberlandt angibt, konstruierte ich mir einen Apparat ähnlich dem von Haberlandt, S. 495 und 496 seiner Arbeit (1903), beschriebenen Pendelapparat, der es ermöglichte, sehr wenige und sanfte Stöße von unten auf die Sprosse auszuüben. Im Durchschnitt kamen 75 Stöße pro Minute zur Anwendung.

Der Apparat bestand aus einem Taktmesser, der durch ein an einem Flaschenzug aufgehängtes Gewicht in Bewegung gehalten wurde. Er lief gerade eine Stunde, also lange genug, um in der kritischen Zeit Eintritt und Verlauf der Krümmung beobachten zu können. Das Pendel schlug bei jeder zweiten Schwingung mittels eines Tasters aus Glas gegen einen zweiarmigen Metallhebel, dessen Drehpunkt so gewählt war, daß das auf die Versuchspflanzen stoßende Ende jedesmal nach dem Stoß in seine Ruhelage zurückkehrte. Durch eine am andern Arm angebrachte Schraube konnte die Bewegungsamplitude des Hebels und damit die Stärke der Stöße modifiziert werden. An dem den Stoß versetzenden Arm des Hebels war horizontal eine dünne Glasröhre angebracht, so daß durch deren Hebung beim jedesmaligen Aufstoßen des Pendels auf den Hebel eine ganze Reihe horizontal gelegter Versuchspflanzen zugleich einen leichten Stoß von unten bekam.

Die Versuchspflanzen waren in der oben beschriebenen Weise in Glasröhrchen befestigt, die mit Wasser gefüllt waren. Der ganze Apparat befand sich während der Versuche unter einem Dunkelkasten.

Die Stöße wurden, abgesehen von einem Versuch, auf den unteren, nicht mehr wachstumsfähigen Teil des Stengels ausgeübt.

Die Versuchspflanzen wurden die ganze Reaktionszeit über gestoßen. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 46. *Capsella*, Blütenprosse.

Reaktionszeit der Geschüttelten	Reaktionszeit der Kontrollpflanzen
Min.	Min.
38 (3)	30 (3)
41 (4)	34 (4)
42 (3)	40 (4)
52 (4)	47 (4)
50 (4)	46 (4)
50 (4)	48 (4) [§]
Mittel 46 (22)	42 (23)

Tabelle 47. *Sisymbrium officinale*, Blütenprosse.

42 (3)	32 (3)
40 (4)	46 (4)
27 (1)	34 (4)
37 (1)	32 (4)
35 (2)	31 (4)
39 (4)	36 (4)
Mittel 36 (21)	35 (23)

In dem mit § bezeichneten Versuch wurden die Versuchspflanzen so gestoßen, daß die Stöße den vorderen, noch wachstumsfähigen Teil des Sprosses trafen. Dabei ist zu bemerken, daß eins der geschüttelten Objekte sich durch Aufwärtskrümmung bald von der stoßenden Glasröhre entfernte und nun nicht weiter gestoßen wurde.

Wie aus den Tabellen ersichtlich, erhielt ich auch bei dieser Versuchsanstellung kein Resultat zugunsten einer Verkürzung der Reaktionszeit bei den gestoßenen Versuchspflanzen. —

Um nun dem Vorwurf zu entgehen, mein S. 96 und 97 beschriebener Schüttelapparat sei in seiner Wirkungsweise vielleicht von dem Haberlandtschen verschieden gewesen, konstruierte ich ein Zusatzstück, mit dem zusammen mein Apparat genau dem von Haberlandt benutzten entsprach.

Der Stempel der Stoßstange stieß durch die runde Öffnung eines Tisches auf einen durch drei Eisenstangen in ihm ohne Reibung senkrecht nach oben und unten beweglichen Aufsatz, der in seiner Mitte einen Stab trug, an dem die für die Befestigung der Versuchspflanzen nötigen Teile angebracht waren. Das obere Ende des Stabs war von einer metallenen Hülse umgeben, in der der Stab sich nur in senkrechter Richtung auf- und abwärts bewegen konnte, so daß auf diese Weise und außerdem noch durch die drei oben erwähnten Eisenstangen des Aufsatzes die Geradföhrung des ganzen Aufsatzstückes gesichert war.

Bei jeder Umdrehung der Turbine wurde das Aufsatzstück mit den Versuchspflanzen in die Höhe gestoßen und fiel dann durch sein eigenes Gewicht wieder auf den Tisch zurück, in dem es sich bewegte.

Die Versuchspflanzen befanden sich bei den mit diesem Apparat angestellten Versuchen nicht in den Töpfen, in denen sie gezogen worden waren; sie waren vielmehr in derselben Weise zu den Versuchen vorbereitet, wie es schon bei den Versuchen S. 68 beschrieben worden ist. Um Schwingungen und mechanische Verbiegungen während des Schüttelns zu verhindern, waren die Versuchspflanzen von *Vicia Faba* auf einem Brettchen so befestigt, daß sie mit der beim Schütteln nach unten gerichteten Seite einem festen Widerlager aus Kork anlagen. Das ganze Brettchen mitsamt den Versuchspflanzen wurde auf den Schüttelapparat gesetzt.

Nach einigen Versuchen mit Keimsprossen von *Vicia Faba* in diffusem Licht zog ich es auch hier vor, die Versuchspflanzen während des Schüttelns zu verdunkeln. Die Resultate sind in folgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 48. *Sisymbrium officinale*, Blütenprosse.

Amplitude mm	Dauer des Schüttelns Min.	Reaktionszeit der Geschüttelten Min.	Reaktionszeit der Kontrollpflanzen Min.
1	5	46 (2)	34 (2)
1 $\frac{1}{2}$	20	36 (3)	31 (4)
6	10	33 (4)	48 (4)
6	10	40 (2)	39 (3)
6	20	47 (3)	48 (3)
6	20	51 (4)	46 (3)
		Mittel 42 (18)	41 (19)

Tabelle 49. *Vicia Faba*, Keimprosse.

1	10	53 (4)	61 (4)
4	5	54 (3)	60 (4)
über 3	5	60 (7)	56 (8)
2 $\frac{1}{2}$	5	54 (6)	57 (7)
unter 1	10	81 (8)	82 (8)
0,5	10	65 (7)	64 (7)
2 $\frac{1}{2}$	11	65 (6)	67 (6)
über 1 $\frac{1}{2}$	15	55 (7)	60 (7)
3	20	87 (6)	77 (7)
?	20	80 (5)	80 (4)
3	20	67 (7)	83 (7)
2 $\frac{1}{2}$	20	82 (6)	86 (6)
0,5	20	64 (6)	66 (6)
unter 1	20	67 (9)	72 (8)
		Mittel 67 (87)	69 (89)

Also auch hier wieder dasselbe Resultat wie in allen bisherigen Versuchen.

Mit demselben Apparat wurden auch noch Versuche über das Verhalten der Wurzeln beim Schütteln angestellt. Die Wurzeln (von *Vicia Faba* und *Phaseolus*), in Sägespänen kultiviert, wurden zum Gebrauch vorsichtig aus dem Keimbett herausgezogen, mit Wasser abgewaschen und der Reihe nach in senkrechter Lage an mit Kork überzogene Leisten gesteckt, so daß sie zum größten Teil in ein unter den Leisten stehendes Gefäß mit Wasser tauchten.

Waren zwei Leisten so mit Wurzeln besteckt, so kam die eine nach Drehung um 90° , so daß nunmehr die Wurzeln also genau horizontal standen, in den feuchten, dunklen Raum eines Zinkkastens. Die andere wurde in ein mit feuchtem Filtrierpapier ausgeschlagenes Holzkästchen geschoben und zwar ebenfalls so, daß die Wurzeln horizontal lagen. Das Kästchen war am Schüttelapparat angebracht. Das Schütteln konnte nun sofort beginnen.

Nach dem Schütteln kamen die Wurzeln zu den Kontrollwurzeln in den Zinkkasten und wurden ebenso wie diese während der Reaktionszeit öfters mit dem Wasserzerstäuber besprengt. Eine Vorkehrung, Schwingungen oder Verbiegungen der Wurzeln beim Schütteln auszuschließen, wurde hier nicht angebracht, da einerseits die benutzten Wurzeln bei der geringen Länge, die sie hatten, noch vollständig steif waren, andererseits bei einer gegen derartige Schwingungen durch ein festes Widerlager getroffenen Vorkehrung die Gefahr thigmotropischer oder traumatropischer Reizungen sehr groß gewesen wäre.

Die mit den Wurzeln von *Vicia Faba* erhaltenen Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 50. *Vicia Faba*, Keimwurzeln.

Amplitude (Zahl der Stöße pro Sekunde)	Dauer des Schüttelns	Reaktionszeit der Geschüttelten	Reaktionszeit der Kontrollpflanzen
mm	Min.	Min.	Min.
0,2—0,3 (8—9)	5	65 (4)	60 (3)
unter 0,5 (5—6)	5	76 (5)	71 (6)
„ 0,5 (5—6)	10	63 (5)	66 (4)
„ 0,5 (4—5)	3	80 (6)	69 (6)
0,5 (4)	5	68 (3)	75 (3)
0,5 (3—4)	10	66 (3)	62 (3)
1½ (4)	5	72 (4)	75 (6)
über 2 (7)	7	74 (4)	84 (4)
„ 2 (9)	15	84 (2)	65 (4)
2¾ (7)	20	93 (4)	74 (4)
3 (4)	10	67 (4)	79 (5)
3 (3—4)	5	61 (5)	63 (5)
3 (5—6)	20	64 (10)	64 (8)
		Mittel 70,8 (59)	70,0 (61)

Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist auch hier das allgemeine Ergebnis, daß das Schütteln keinen Einfluß auf die Reaktionszeit

hat, bestätigt. Doch kommen hier sowohl bei den geschüttelten, als bei den ungeschüttelten Wurzeln größere Verschiedenheiten vor, die sich aber bei einer größeren Zahl von Versuchen immer derart ausgleichen, daß trotzdem das angegebene Resultat herauskommt. Diese größeren Verschiedenheiten beruhen wohl darauf, daß die Wurzeln eben gegen alle möglichen störenden Einflüsse viel empfindlicher sind als die bei den Versuchen in ihrem natürlichen Medium beobachteten Sprosse.

Ebensowenig aber, wie sich eine Verkürzung der Reaktionszeit bei den geschüttelten Wurzeln von *Vicia Faba* konstatieren läßt, ebensowenig kann man auch auf Grund der angeführten Versuche behaupten, daß durch zu starkes Schütteln infolge einer Shockwirkung eine Verlängerung der Reaktionszeit hervorgerufen werde, während nach Haberlandt (1903, S. 493) zu rasches Schütteln resp. Stoßen einen schädigenden Einfluß auf die geotropische Sensibilität auszuüben scheint. Spezielle Angaben darüber finden sich in Haberlandts (1906, S. 349) zweiter Arbeit, wo gesagt wird: „Wenn das Schütteln nur 5—10 Minuten lang dauerte, die Anzahl der Stöße bloß 5 per Sekunde, und die Stoßhöhe nur Bruchteile eines Millimeters betrug (0,2—0,3 mm), dann trat die geotropische Krümmung der in horizontaler Stellung geschüttelten Wurzeln fast immer bedeutend früher ein, als die der vertikal und der nicht geschüttelten Wurzeln“.

In einer Richtung konnte ich jedoch diese Angaben Haberlandts bestätigen, nämlich insofern sich bei meinen Versuchen mit Wurzeln von *Phaseolus* bei Überschreiten der von Haberlandt angegebenen Grenzen eine Verlängerung der Reaktionszeit der geschüttelten Wurzeln gegenüber der ungeschüttelten Kontrollwurzeln beobachten ließ. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 51. *Phaseolus multiflorus*, Keimwurzeln.

Amplitude (Zahl der Stöße pro Sekunde)	Dauer des Schüttelns	Reaktionszeit	
		der Geschüttelten	der Kontrollpflanzen
mm	Min.	Min.	Min.
0,3 (8—9)	5	78 (6)	81 (5)
0,3 (5)	10	58 (4)	69 (5)
unter 0,5 (4)	3	73 (7)	75 (5)
0,5 (4)	5	54 (3)	54 (3)
0,5 (4—5)	7	74 (5)	83 (4)
0,5 (4—5)	10	69 (4)	59 (3)
		Mittel 69,6 (29)	71,8 (25)

Fortsetzung der Tabelle 51.

Amplitude (Zahl der Stöße pro Sekunde)	Dauer des Schüttelns	Reaktionszeit der Geschüttelten	Reaktionszeit der Kontrollpflanzen
mm	Min.	Min.	Min.
1 $\frac{1}{2}$ (4—5)	5	88 (5)	69 (5)
über 2 (7)	15	78 (5)	65 (6)
„ 2 (4)	5	62 (6)	73 (6)
2 $\frac{3}{4}$ (6—7)	15	93 (5)	87 (5)
„ 3 (6—7)	20	132 (4)	90 (4)
3 (6)	15	111 (6)	64 (6)
3 (6—7)	20	100 (6)	61 (7)
		Mittel 93,6 (37)	71,3 (39)

In der ersten Hälfte der Tabelle sind diejenigen Versuche aufgeführt, in denen das Schütteln die von Haberlandt angegebenen Grenzen nicht überschritt. Sie ergaben also wieder dasselbe bisher immer festgestellte Ergebnis der Bedeutungslosigkeit des Schüttelns.

In der zweiten Hälfte der Tabelle finden sich Versuche mit Überschreitung der von Haberlandt angegebenen Grenzen und hier konnte also, in Übereinstimmung mit dem genannten Forscher, ein schädigender Einfluß des zu starken Schüttelns konstatiert werden.

2. Untersuchungen über die Beeinflussung der Präsentationszeit durch Schütteln.

Zur Untersuchung der Präsentationszeit wurden die Versuchspflanzen, nachdem sie die gewünschte Zeit geschüttelt, resp. ruhig horizontal exponiert worden waren, am Klinostaten gedreht und zwar meist im Dunkeln, die Wurzeln in diffusem Licht. Bei den Wurzeln war weiter noch eine Vorkehrung nötig, um sie während der Drehung in dampfgesättigtem Raum zu halten. Dies wurde so erreicht, daß sie sich auf der schon S. 81 beschriebenen Scheibe des Zentrifugalapparates unter dem Glasbehälter befanden. Die Scheibe mit den Wurzeln konnte auf die Klinostatenachse aufgesetzt werden.

a) Versuche mit Objekten, die auch von Haberlandt benutzt wurden.

Tabelle 52. *Capsella*, Blütenzweige.
(Versuche mit meinem Schüttelapparat.)

		Stoßhöhe 2—15 mm. Zahl der Stöße pro Sekunde 6—10.					
Dauer der Induktionszeit	20	15	5	4	3	2	1 1/2 Min.
Zahl der geprüften geschüttelten (Kontroll-) Pflanzen	8	9	44	5	15	4	
	(12)	(10)	(46)	(6)	(28)	(30)	(5)
Zahl d. gekrümmten geschüttelt. (Kontroll-) Pflanzen	8	9	41	5	13	4	
	(12)	(10)	(36)	(4)	(22)	(21)	(2)

Präsentationszeit der geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen: unter 3 Min.

Aus der Tabelle geht unzweideutig hervor, daß sowohl für geschüttelte als für ungeschüttelte Objekte die Präsentationszeit unter 3 Minuten liegt.

Die Pflanzen wurden hier, wie auch in allen folgenden Versuchen, immer während der ganzen Induktionszeit geschüttelt.

Unterhalb 3 Minuten wurde nur noch mit ungeschüttelten Exemplaren eine größere Reihe von Versuchen angestellt, da es bei dieser kurzen Zeit seine Schwierigkeiten hatte, mit den geschüttelten Pflanzen alle nötigen Manipulationen auszuführen.

Haberlandt gibt als Präsentationszeit der geschüttelten Sprosse den gleichen Wert wie ich an, nämlich 3 Minuten, dagegen beträgt nach ihm die normale Präsentationszeit 25 Minuten, während aus meinen Versuchen unzweideutig ein viel kleinerer Wert folgt, ein Wert, der jedenfalls nicht größer ist, als der für die geschüttelten Pflanzen festgestellte.

Tabelle 53. *Plantago lanceolata*, Blütenzweige.
(Versuche mit meinem Schüttelapparat.)

		Stoßhöhe 3 und 15 mm, Stöße schnell und stark.	
Dauer der Induktionszeit	4	3	3 Min.
Zahl der geprüften geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	22	29	
	(28)	(37)	
Zahl der gekrümmten geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	16	23	
	(17)	(27)	

Präsentationszeit der geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen: 3 Min.

Die von Haberlandt angegebene Präsentationszeit von 3 Minuten für die geschüttelten Pflanzen harmoniert also wieder mit meinen Resultaten, dagegen ist die von ihm angegebene normale Präsentationszeit von 15 Minuten viel höher als die von mir gefundene.

Tabelle 54. *Vicia Faba*, Keimwurzeln.
(Versuche mit dem Haberlandtschen Schüttelapparat.)

Stoßhöhe 0,25 bis über 3 mm. Zahl der Stöße pro Sek. 4—10.				
Dauer der Induktionszeit	10	7	6	5 Min.
Zahl der geprüften geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	7	22	75	43
	(7)	(17)	(75)	(45)
Zahl der gekrümmten geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	5	11	39	19
	(6)	(15)	(40)	(20)
Präsentationszeit der geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen: 6 Min.				

Tabelle 55. *Phaseolus multiflorus*, Keimwurzeln.
(Versuche mit dem Haberlandtschen Schüttelapparat.)

Stoßhöhe unter 0,5 bis 3 mm. Zahl der Stöße pro Sek. 4—8.			
	Stoßhöhe unter 1 mm		Stoßh. 1 mm u. darüber
Dauer der Induktionszeit	8	7	8 Min.
Zahl der geprüften geschütt. (Kontroll-) Pflanzen	41	45	32
	(79)	(45)	
Zahl der gekrümmt. geschütt. (Kontroll-) Pflanzen	21	19	12
	(57)	(22)	

Aus den Tabellen geht wieder klar hervor, daß die Präsentationszeit für geschüttelte und ungeschüttelte Wurzeln von *Vicia Faba* und *Phaseolus* gleich ist, nämlich 6 resp. 7—8 Minuten. Außerdem ist ein schädigender Einfluß zu starkem Schütteln bei *Vicia Faba* nicht zu beobachten, während derselbe, wie bei der Untersuchung der Reaktionszeit, bei Keimwurzeln von *Phaseolus* hervortritt, indem zu stark geschüttelte Wurzeln bei 8 Minuten die Präsentationszeit noch nicht erreicht haben, während die weniger stark geschüttelten bei derselben Reizungsdauer in mehr als der Hälfte der Exemplare eine Krümmung aufweisen. Übrigens scheint bei *Phaseolus*-Wurzeln, wie aus der Tabelle hervorgeht, auch schon ein Schütteln mit einer Stoßhöhe unter 1 mm einen hemmenden Einfluß auszuüben.

Haberlandt exponierte die Wurzeln von *Vicia Faba* und *Phaseolus* 7 und 5 Minuten und erhielt in den meisten Fällen noch Krümmungen. Die von mir gefundenen Präsentationszeiten von 6 resp. 7—8 Minuten kommen diesen Werten ziemlich nahe, nur fand ich auch hier wieder die Präsentationszeit für geschüttelte und ungeschüttelte Wurzeln gleich groß. Haberlandt scheint mit den Wurzeln dieser beiden Pflanzen selbst gar keine Versuche über die normale Präsentationszeit angestellt zu haben, wenigstens gibt er für *Vicia Faba* als Vergleich nur die von Czapek aufgestellte Präsentationszeit von 50 Minuten an.

b) Versuche mit Objekten, die von Haberlandt nicht benutzt wurden.

Tabelle 56. *Vicia Faba*, Keimspresse im Topf.
(Versuche mit meinem Schüttelapparat.)

Stoßhöhe 3—40 mm, Stöße sehr schnell.

Dauer der Induktionszeit	7	6	5	Min.
Zahl der geprüften geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	4	23	7	
	(4)	(23)	(7)	
Zahl der gekrümmten geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	4	18	5	
	(4)	(17)	(5)	

Präsentationszeit der geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen: unter 5 Min.

Tabelle 57. *Vicia Faba*, Keimspresse, abgeschnitten.
(Versuche mit dem Haberlandtschen Schüttelapparat.)

Stoßhöhe unter 0,5 bis $3\frac{1}{2}$ mm, Zahl der Stöße pro Sek. 4—9.

Dauer der Induktionszeit	12	10	9	8	7	Min.
Zahl der geprüften geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	6	21	13	33	14	
	(7)	(19)	(13)	(31)	(14)	
Zahl der gekrümmten geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen	6	14	11	21	5	
	(7)	(11)	(12)	(19)	(11)	

Präsentationszeit der geschüttelten (Kontroll-)Pflanzen: 7—8 Min.

Wie aus den Versuchstabellen hervorgeht, gilt auch hier der Satz, daß die Präsentationszeit für geschüttelte und ungeschüttelte Versuchspflanzen gleich groß ist.

Daß die in den Töpfen geprüften Versuchspflanzen eine ziemlich kleinere Präsentationszeit aufweisen als die abgeschnittenen, hängt wohl damit zusammen, daß die letzteren in der kühleren Jahreszeit im geheizten Zimmer, die ersteren im Juli im ungeheizten Raum zur Verwendung kamen. —

Endlich stellte ich auch noch einige Versuche mit *Setaria* und *Panicum* an, um auch einige der von Darwin untersuchten Pflanzen zu prüfen.

Hatten die Keimpflanzen eine genügende Länge (1—4 cm) erreicht, ein Stadium, in dem die Koleoptile noch nicht durchbrochen ist, so wurden die Töpfe mitsamt den Hülsen aus schwarzem Papier (vgl. Kapitel I) an den Schüttelapparat resp. den Klinostaten gesetzt.

Auch die Versuche mit diesen Pflanzen ergaben wieder dasselbe Resultat, nämlich daß die Präsentationszeit bei geschüttelten und ungeschüttelten Pflanzen gleich ist; und zwar beträgt sie nach den wenigen von mir angestellten Versuchen für *Panicum* etwa 10, für *Setaria* etwa 12 Minuten. Auch in der Stärke der Krümmung

ließ sich kein in die Augen fallender Unterschied zugunsten der geschüttelten Pflanzen beobachten, wobei allerdings aus dem schon oben angeführten Grunde auf eine genaue Messung derselben in Graden verzichtet wurde.

Besonders achtete ich auch auf das Zurückgehen der Krümmung, weil mir in den Versuchstabellen von Darwin sehr auffiel, nach wie langer Zeit erst von ihm vielfach die Krümmungen gemessen wurden. So wurde bei *Setaria* die Krümmung nur in 4 unter 12 Fällen schon nach 1 Stunde 2 Minuten bis 2 Stunden 35 Minuten gemessen, in den übrigen 8 Fällen dagegen erst nach 3 Stunden 6 Minuten bis 7 Stunden 21 Minuten, d. h. nach einer Zeit, nach der in meinen Versuchen spätestens die Krümmung schon wieder zurückgegangen war. Dabei ist zu bemerken, daß Darwin die Schwerkraft außer in zwei Fällen, wo sie 15—20 Minuten wirkte, meist sehr viel kürzer, nämlich nur 5—12 Minuten auf die Versuchspflanzen hat einwirken lassen. Wie es unter diesen Umständen zu erklären ist, daß Darwin die Krümmung in 5 Fällen noch nach 3 Stunden 6 Minuten bis 7 Stunden 21 Minuten messen konnte, ist mir nicht erklärlich.

D. Versuchsergebnisse und Folgerungen für die Statolithenhypothese.

Ganz allgemein hat sich in meinen Versuchen bei allen angewandten Schüttelmethode und bei allen Versuchspflanzen ergeben, daß Schütteln mit oder ohne Stöße ohne jeglichen Einfluß auf die Länge der Präsentations- und Reaktionszeit ist, abgesehen von den Wurzeln von *Phaseolus*, bei denen sich ein zu heftiges Schütteln in einer Verlängerung der Präsentationszeit und der Reaktionszeit geltend macht.

Inwieweit meine Versuchsergebnisse mit denen Haberlandts übereinstimmen, ist schon oben ausgeführt. Im allgemeinen besteht zwischen beiden ein mir unerklärlicher Widerspruch. Doch glaube ich in den angeführten Versuchstabellen ein genügendes Beweismaterial für die Richtigkeit meiner Behauptung gegeben zu haben, während Haberlandt sich mit der Angabe von nur sehr wenigem Material begnügte.

Diese meine Befunde stehen nicht im Widerspruch mit der eingangs dieses Kapitels schon erwähnten Erklärung Nolls, der ja in den Schüttelversuchen im Prinzip nichts anderes als Zentrifugal-

versuche sieht. Ebenso wie bei den Zentrifugalversuchen durch Steigerung der Zentrifugalkraft von 1 auf 111 g keine deutliche Verkürzung der Reaktionszeit beobachtet werden konnte, so auch nicht bei den Schüttelversuchen. Daß auch die Präsentationszeit der geschüttelten Pflanzen gegenüber der der ungeschüttelten nicht kürzer ist, läßt im Vergleich mit den bei den Zentrifugalversuchen erhaltenen Resultaten den Schluß zu, daß die durch das Schütteln erzeugten Zentrifugalkräfte sehr gering sind, was ja bei den meist angewandten kleinen Schwingungsamplituden auch nicht weiter auffallend ist.

Mit diesem Ausfall meiner Versuche ist auch diese von Haberlandt in seiner ersten Arbeit (1903, S. 500) als indirekter Beweis bezeichnete, auf den Schüttelversuchen basierende Stütze der Statolithenhypothese binfällig geworden. Es fehlt daher auch heute noch an jedem strikten Beweis für die genannte Hypothese über die Schwerkraftempfindung bei den Pflanzen.

Der den Resultaten Haberlandts widersprechende Ausfall meiner Versuche ist aber natürlich ebensowenig ein Beweis gegen die Hypothese. Ein solcher ist (vgl. Jost, 1904, S. 277) bei dem gegenwärtigen Stand derselben überhaupt sehr schwer denkbar.

Vielleicht ließe sich ein solcher noch aufbauen auf den Resultaten, die Piccard (1904, S. 94 ff.) bei seinen Zentrifugalversuchen, ihre Richtigkeit vorausgesetzt, erhielt. Doch habe ich in dieser Richtung noch keine Versuche anstellen können.

Kapitel VII. Mikroskopische Bestimmung der Reaktionszeit.

Bisher wurden die Reaktionszeiten mit bloßem Auge geprüft. Es könnte nun aber der Einwand gemacht werden, daß vielleicht die Reaktion schon sehr viel früher, nur dem unbewaffneten Auge nicht sichtbar, beginne. Unter diesen Umständen schien eine Prüfung dieser Frage erwünscht, um ein Urteil darüber zu gewinnen, inwieweit die makroskopisch zu beobachtende Reaktionszeit den tatsächlichen Beginn der Krümmung angibt.

Veranlaßt wurden diese Versuche durch Moisescus „Kleine Mitteilung über die Anwendung des horizontalen Mikroskops zur Bestimmung der Reaktionszeit“ (1905, S. 364 ff.).

Verfasser beobachtete an 1—3 cm langen Keimwurzeln von *Lupinus albus*, *Zea Mays*, *Cucurbita*, *Vicia sativa*, mit Hilfe des

Horizontalmikroskops (23 Teilstriche = 1 mm) den Beginn der Reaktion und gibt als Resultat seiner Beobachtungen an, daß die Wurzelspitze sofort nach dem Horizontallegen dauernd sinkt, was er als Folge der geotropischen Krümmungsbewegung in der Aktionszone ansieht.

Bei einigen Wurzeln kann nach den Angaben des Verfassers die genauere Messung der Reaktionszeit gestört sein durch deutliche autonome Wachstumsoszillationen. „Diese Oscillationen kann man leicht unterscheiden, und solche Wurzeln können zum Zwecke der Messung der Reaktionszeit nicht gebraucht werden.“

Wenn diese Angaben Moisescus richtig sind, so fällt also für die mikroskopische Beobachtung der Begriff der Reaktionszeit vollständig weg, da ja nach dem Horizontallegen schon in der ersten Minute die Krümmung beginnt. Doch wird damit, wie ausdrücklich hervorgehoben werden muß, der Wert der makroskopisch zu beobachtenden Reaktionszeit für die Feststellung von Gesetzen in der Reizphysiologie in keinerlei Weise vermindert. Denn zur Feststellung dieser Gesetze dient ja immer nur ein Vergleich der unter verschiedenen Bedingungen makroskopisch beobachtbaren Reaktionszeiten, also relativer Werte; der absolute Wert derselben ist jedoch vollständig gleichgültig.

In meinen eigenen Versuchen beschäftigte ich mich zuerst mit der mikroskopischen Untersuchung der Reaktionszeit von Sprossen (*Vicia Faba*). Daß ich zunächst mit diesem Material und nicht mit Wurzeln arbeitete, hatte seinen Grund darin, daß ich bei Sprossen sicherere Resultate erwartete, da hier die Krümmungsbewegung nach oben geht und damit eine Fehlerquelle vermieden wird, die bei Wurzeln durch etwaiges passives, mit geotropischen Krümmungen nicht zusammenhängendes Sinken gegeben sein kann.

A. Versuche mit Keim sprossen.

Während es bei Wurzeln sehr leicht ist, auf die äußerste Spitze scharf einzustellen, stößt man bei Keim sprossen aus nahe liegenden Gründen auf Schwierigkeiten. Hier ist es nicht möglich, mit genügender Deutlichkeit auf das Ende des Sprosses selbst einzustellen. Daher versuchte ich es zunächst mit sehr feinen, in das Ende des Stengels senkrecht zur Längsachse eingestochenen Glaskapillaren, auf deren oberes, in die Luft ragendes Ende dann eingestellt wurde. Diese Methode ist aber mit zwei Mängeln behaftet:

Erstens sind die Versuche nicht vollständig einwandfrei, da durch die, wenn auch nur geringfügige Verwundung immerhin merkliche Störungen veranlaßt werden könnten;

Zweitens hebt sich bei der eintretenden geotropischen Krümmung das Ende der Kapillare nicht in einer geraden Linie, sondern beschreibt einen Bogen, so daß namentlich die nach dem ersten Beginn der Krümmung abgelesenen Werte gegenüber den realen, um die sich das Ende gehoben hat, zu klein ausfallen.

Aus diesen Gründen wurde die genannte Versuchsanordnung schon nach ganz wenigen Vorversuchen wieder fallen gelassen und nun bei den folgenden eine Methode derart angewandt, daß an das Ende des Stengels eine mit einem Haken versehene Glaskapillare angehängt und nun auf das untere freie Ende derselben eingestellt wurde.

Bei dieser Methode waren beide oben genannten Fehlerquellen ausgeschlossen, die zweite deshalb, weil das Ende der Kapillare infolge der Schwerkraft immer genau senkrecht nach unten hing und so um dieselben Werte nach oben stieg, wie der Keimling selbst. Das Gewicht der Kapillare selbst konnte nicht in Betracht kommen, da es äußerst klein war. Auch das bei den späteren, höheren Graden der Krümmung nicht zu vermeidende Abrutschen der Kapillare konnte ich außer Betracht lassen, da der Verlauf der Krümmung immer nur in den ersten Stadien beobachtet wurde, in denen eine derartige Gefahr vollständig ausgeschlossen war.

Während des Versuchs wurde teils wegen des fortschreitenden Wachstums, teils aus anderen Gründen, öfters eine Neueinstellung der Kapillare nötig.

Bei einer ersten Reihe von Versuchen suchte ich ein eventuelles mechanisches Sinken der Versuchspflanzen noch dadurch unmöglich zu machen, daß ich den Sproß kurz hinter seinem Ende auf einer Glasstange auflegte; in einer zweiten Versuchsreihe fiel diese Unterstützung weg.

Die verwendeten Pflanzen besaßen eine Länge von 6—8 cm. Alle Versuche wurden ausgeführt bei einer Temperatur von 19—21° in diffusem Licht.

Die Zeit, die verging, bis nach dem Horizontallegen die erste Einstellung geschehen war, betrug meist 2 Minuten. Von da an wurde der Verlauf der Krümmung meist von 5 zu 5 Minuten kontrolliert. Bei der zur Beobachtung benutzten mikroskopischen Skala kamen 33 Teilstriche auf 1 mm. Die von mir angewandte Vergrößerung war also noch stärker, als die von Moisescu verwendete.

1. Die Versuchspflanzen sind unterstützt.

Bei 4 unter 16 Versuchen beobachtete ich zunächst trotz der Stütze ein Sinken des Sprosses. Die Aufrichtung begann nach 22, 35, 17, 34 Minuten; im Durchschnitt nach 27 Minuten.

Makroskopisch konnte der Beginn der Krümmung bei denselben Pflanzen beobachtet werden nach

55, 51, 47, 49; im Durchschnitt nach 50,5 Minuten.

Bei 8 Versuchen trat ziemlich lange überhaupt keine Bewegung ein, oder sie betrug vor der im folgenden angeführten Zeit nicht mehr als einen Teilstrich der Skala. Der Eintritt der Aufwärtskrümmung überhaupt, resp. einer fortschreitenden Aufwärtskrümmung erfolgte in diesen Versuchen nach

27, 22, 30, 33, 37, 39, 18, 46 Minuten; im Durchschnitt nach 31,5 Minuten.

Makroskopisch konnte in diesen Versuchen die Krümmung konstatiert werden nach

46, 44, 35, 68, 58, 60 $\frac{1}{2}$, 38, 70 Minuten; im Durchschnitt nach 52,4 Minuten.

Bei 4 Versuchen endlich war schon bei der ersten Beobachtung, 5 Minuten nach der ersten Einstellung, eine Aufwärtskrümmung sichtbar. Makroskopisch beobachtete Reaktionszeit:

42, 55, 40, 42; im Durchschnitt 44,7 Minuten.

2. Die Versuchspflanzen sind nicht unterstützt.

Bei 5 von 6 Versuchen wurde zunächst ein Sinken der Versuchspflanzen beobachtet. Die Aufwärtskrümmung begann nach

12, 34, 14, 32, 12; im Durchschnitt nach 21,2 Minuten.

Makroskopisch war der erste Beginn der Krümmung sichtbar nach

31, 44, 47, 58 $\frac{1}{2}$, 42; im Durchschnitt nach 44,5 Minuten.

Bei 1 Versuch begann die Aufwärtskrümmung schon bei der ersten Beobachtung, 5 Minuten nach der ersten Einstellung. Makroskopisch war die Reaktion nach 52 Minuten sichtbar.

Daß in dieser zweiten Versuchsreihe eine so relativ große Zahl von Versuchspflanzen zunächst sich senkte, ist wohl zum Teil darauf zurückzuführen, daß hier eine Unterstützung fehlte; aber auch nur zum Teil, wie aus der ersten Versuchsreihe hervorgeht, in der trotz der Unterstützung auch bei 4 unter 16 Versuchen zunächst ein

Sinken zu beobachten war. Das anfängliche Sinken in diesem Fall kann seinen Grund nur in Nutationen des Sprosses haben.

Aus allen Versuchen der ersten und zweiten Reihe geht augenscheinlich hervor, daß auch bei mikroskopischer Beobachtung die Reaktion bei Sprossen von *Vicia Faba* nicht sogleich nach dem Horizontallegen, sondern nach etwa 27—30 Minuten beginnt (makroskopische Reaktionszeit 44,5 bis 52,4 Minuten). Wo die Aufwärtsbewegung sofort nach dem Horizontallegen beginnt, dürfte sie nach den angeführten Versuchen, ebenso wie die öfters beobachtete anfängliche Abwärtsbewegung, auf Nutationen zurückzuführen sein.

Eine Andeutung für die Richtigkeit dieser Annahme bietet einer der 4 Versuche der ersten Reihe mit sofortigem Beginn der Aufwärtskrümmung. In diesem Versuch erfolgte nämlich in den ersten 16 Minuten eine Aufwärtskrümmung um 4 Teilstriche. Hierauf trat 5 Minuten Stillstand ein. In den nächsten 5 Minuten ging die Krümmung auf 3 Teilstriche zurück, um erst nach Verlauf von weiteren 5 Minuten, d. h. 31 Minuten nach dem Horizontallegen, dauernd und ausgiebig zuzunehmen.

B. Versuche mit Keimwurzeln.

Ich arbeitete mit 2,3—4 cm langen Keimwurzeln von *Lupinus albus*, die auch Moisescu in seinen Versuchen benutzt hat. Die Versuchsanordnung war dabei dieselbe wie bei ihm: Die Versuchspflanzen wurden mit Nadeln auf einen Kork gesteckt, der auf einer Glasplatte aufge kittet war. Diese Glasplatte konnte auf ein innen mit feuchtem Filtrierpapier ausgeschlagenes Präparatenglas von rechteckigem Querschnitt aufgesetzt werden. Die Wurzeln befanden sich also in einem dampfgesättigten Raum.

Ich habe auch hier wieder zwei Reihen von Versuchen an gestellt, eine mit und eine ohne Unterstützung der Versuchswurzeln. In den Versuchen mit Unterstützung lagen die Wurzeln mit dem größten Teil ihrer Länge auf einem Glasklötzchen auf, so daß in 3 Versuchen 1—2 mm, in allen übrigen dagegen 3—5 oder mehr mm der Spitze über den Glasklotz hinausragten.

Es wurden hier meist 2 Versuche nebeneinander gemacht. Zu den einen Versuchen wurde das schon bei den Sprossen verwendete Mikroskop benutzt, in dem 33 Teilstrichen auf 1 mm kamen, zu den anderen ein Mikroskop, dessen Vergrößerung etwas schwächer war, so daß ca. 20 Teilstriche 1 mm ausmachten.

Die erste Einstellung auf die Spitze der Wurzel erfolgte hier meist schon $\frac{1}{2}$ —1 Minute nach Versuchsbeginn.

1. Die Versuchswurzeln sind unterstützt.

Bei 5 von 23 Versuchen wurde zunächst eine Aufrichtung der Wurzeln beobachtet. Das Sinken trat ein nach

16 $\frac{1}{2}$, 25 $\frac{1}{2}$, 30, 27, 17; im Mittel nach 23,2 Minuten.

Makroskopisch sichtbar war die Krümmung nach

36 $\frac{1}{2}$, 40 $\frac{1}{2}$, 35, 38, 27; im Mittel nach 34,2 Minuten.

Bei 5 weiteren Versuchen war vor der im folgenden angegebenen Zeit Stillstand oder es zeigte sich eine Aufwärts- oder Abwärtsbewegung, die einen Teilstrich der Skala nicht übertraf. Die dauernde Abwärtsbewegung trat ein nach

33, 31, 31, 27 $\frac{1}{2}$, 26; im Mittel nach 29,7 Minuten.

Makroskopisch war die Senkung zu beobachten nach

39, 41, 41, 32 $\frac{1}{2}$, 31; im Mittel nach 36,9 Minuten.

In 10 Versuchen war eine Abwärtsbewegung schon bei der ersten Beobachtung 5 Minuten, in 3 Versuchen bei der zweiten Beobachtung 10 Minuten nach der ersten Einstellung zu konstatieren. Als makroskopische Reaktionszeit ergab sich in diesen Versuchen

36, 28 $\frac{1}{2}$, 42, 25 $\frac{1}{2}$, 26 $\frac{1}{2}$, 32 $\frac{1}{2}$, 37, 16 $\frac{1}{2}$, 26, 27 Minuten;
im Durchschnitt 29,7 Minuten.

2. Die Versuchswurzeln sind nicht unterstützt.

Bei 6 unter 11 Fällen beobachtete ich zunächst eine Aufwärtsbewegung der Wurzeln. Die Abwärtsbewegung begann nach

17 $\frac{1}{2}$, 31 $\frac{1}{2}$, 29, 36, 31 $\frac{1}{2}$; im Mittel nach 29,1 Minuten.

Makroskopisch konnte die Krümmung beobachtet werden nach

30 $\frac{1}{2}$, 46 $\frac{1}{2}$, 44, 41, 41 $\frac{1}{2}$; im Mittel nach 40,7 Minuten.

In einem weiteren Versuch derart konnte ich die Krümmung makroskopisch nach 31 Minuten beobachten, d. h. zu einem Zeitpunkte, bis zu dem ich mikroskopisch überhaupt noch kein Sinken sah. Dies ist wohl so zu erklären, daß die Wurzel bis zu dieser Zeit in älteren Teilen eine aufwärts gerichtete Nutation ausführte, die die geotropische Abwärtskrümmung der Spitze mikroskopisch nicht zur Erscheinung kommen ließ, während dieselbe makroskopisch ohne weiteres beobachtet werden konnte.

Bei 3 Versuchen wurde schon bei der ersten Beobachtung, $4\frac{1}{2}$ —5 Minuten nach der ersten Einstellung, die Senkung beobachtet. Makroskopische Reaktionszeit

25, 35, 33; im Mittel 31 Minuten.

Bei 2 Versuchen endlich wurde $4\frac{1}{2}$ —5 Minuten nach der ersten Einstellung zunächst ein Sinken, dann ein Steigen und nach $32\frac{1}{2}$ resp. 22 Minuten (vom Horizontallegen aus gerechnet) abermals ein Sinken beobachtet.

Makroskopische Reaktionszeit: 42 Minuten (nur in einem Versuch sicher beobachtet).

Insgesamt wurde also bei den Wurzelversuchen in 11 unter 34 Fällen zunächst ein Steigen der Wurzel beobachtet. Zu sinken begannen diese nach 23,2—29,1 Minuten.

In 5 Fällen fand zunächst gar keine oder eine 1 Teilstrich der Skala nicht übersteigende Bewegung statt. Das Sinken begann nach 29,7 Minuten.

In 2 Fällen folgte auf das anfängliche Sinken ein Steigen und dann das endgültige Sinken $32\frac{1}{2}$ resp. 22 Minuten nach dem Horizontallegen.

Zusammen sind es also 18 Fälle, in denen der endgültigen Abwärtsbewegung eine Ruheperiode oder ein Steigen oder ein Sinken und ein Steigen vorausging.

Dagegen erfolgte in 16 Fällen schon bei der ersten, resp. zweiten Beobachtung, 5 resp. 10 Minuten nach der ersten Einstellung die Abwärtsbewegung.

Auch diese Versuche sprechen also gar nicht einheitlich und überzeugend für die Angaben Moisescus, daß die Wurzeln die Abwärtskrümmung sofort nach dem Horizontallegen beginnen. Vielmehr erhält man auch aus diesen Versuchen mit Wurzeln wieder den Eindruck, daß auch bei mikroskopischer Beobachtung eine gewisse Zeit (für Wurzeln 23,2—29,7 Minuten), die allerdings im allgemeinen kürzer ist, als die makroskopisch zu beobachtende Reaktionszeit (mit 29,7—42 Minuten), vergeht, ehe die geotropische Abwärtskrümmung sicher und anhaltend einsetzt.

Der in vielen Fällen mikroskopisch beobachtete sofortige Beginn der Abwärtskrümmung dürfte auch bei Wurzeln, ebenso wie die öfter zu beobachtende anfängliche Aufwärtskrümmung, auf Nutationen zurückzuführen sein.

Kapitel VIII. Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Gegenüber den Angaben Haberlandts und Czapeks habe ich in meinen Versuchen über die Präsentationszeit bei optimaler bis Zimmertemperatur im allgemeinen viel geringere Werte erhalten. Während nämlich Czapek als vermutliches Minimum der Präsentationszeit 15 Minuten angibt, fand ich dieselbe z. B. für abgeschnittene Blütenprosse von *Capsella* unter 2 Minuten. Das Maximum der von mir beobachteten Präsentationszeit mit ca. 20 bis 25 Minuten findet sich bei den Keimspossen von *Lupinus albus*.

2. Bezüglich des Unterschieds in der Präsentations- und Reaktionszeit, der durch verschiedene Länge der Versuchspflanzen bei *Vicia Faba* bewirkt wird, ergaben meine allerdings nur orientierenden Versuche das Resultat, daß sehr kurze Keimlinge gegenüber solchen von mittlerer und bedeutender Länge eine starke Vergrößerung der Präsentations- und Reaktionszeit aufweisen. Dagegen scheint der Unterschied für mittlere und längere Keimpflanzen ziemlich unbedeutend zu sein.

3. Einen großen Einfluß auf die Länge der Präsentations- und Reaktionszeit übt bei Keimspossen von *Vicia Faba* die Höhe der Temperatur aus, und zwar eben Temperaturgrade zwischen 14 und 35°, die nach Czapeks, allerdings an anderen Versuchspflanzen erzielten Ergebnissen fast keinen Einfluß haben sollen.

4. Diese Abhängigkeit von der Temperatur ist für die Präsentations- und Reaktionszeit eine ähnliche und gestaltet sich so, daß von 14° an mit dem Steigen der Temperatur eine fortgesetzte Verkürzung der Präsentations- und Reaktionszeit Hand in Hand geht, bis beide bei etwa 30° ihr Minimum erreichen, das für die Präsentationszeit etwa $\frac{1}{7}$, für die Reaktionszeit etwa $\frac{2}{5}$ des Wertes bei 14° beträgt.

Bei einer weiteren Steigerung der Temperatur über 30° tritt dann wieder eine Verlängerung der Präsentations- und Reaktionszeit ein.

5. Werden Versuchspflanzen vor den Versuchen längere Zeit in Temperaturen zwischen 4—10° gehalten, so zeigt sich eine Nachwirkung dieses Aufenthalts in der Kälte in einer Verlängerung der Präsentations- und Reaktionszeit, auch wenn die Induktion und Reaktion in günstiger Temperatur erfolgen.

6. Was den Einfluß der verschiedenen Dauer der Schwerkrafteinwirkung betrifft, so läßt sich feststellen, daß die Reaktionszeit bei einer Induktion von der Dauer der Präsentationszeit oder wenig darüber nicht länger ist als die Reaktionszeit, die sich bei dauernd exponierten Pflanzen beobachten läßt.

Die Reaktionszeit hat also schon bei Einwirkung der Schwerkraft während der Dauer der Präsentationszeit ihr Minimum erreicht.

7. Ebenso läßt sich durch Steigerung der einwirkenden Kraft von 1 auf 111 g eine nennenswerte Verkürzung der Reaktionszeit nicht erzielen.

8. Dagegen wachsen mit der Verringerung der einwirkenden Kraft unter 1 g die Präsentations- und Reaktionszeit, und zwar die letztere anfangs langsam, später sehr rasch.

9. Während Zentrifugalkräfte über 1 g auf die Reaktionszeit nicht verkürzend einwirken, zeigt die Präsentationszeit für Keimspresse von *Vicia Faba* bei einer Steigerung der Zentrifugalkraft von 1 auf ca. 27 g eine Abkürzung von 8 auf $\frac{1}{4}$ Minute.

10. Betreffs der Einwirkung der Schwerkraft auf Versuchspflanzen, die mit der Vertikalen verschiedene Winkel bilden, läßt sich feststellen, daß das Verhältnis der Präsentationszeiten für Ablenkungswinkel über 30° etwa dem Verhältnisse der Sinus der betreffenden Ablenkungswinkel entspricht. Von 30° abwärts beginnt die Präsentationszeit rascher zu wachsen als es der Sinuswert des betreffenden Winkels verlangte.

Ein eigentümliches Resultat ergibt sich beim Vergleich der Präsentationszeiten, die bei kleinen Zentrifugalkräften erhalten wurden, mit den in den Ablenkungsversuchen bestimmten Werten, wenn man die der Winkelablenkung entsprechenden Sinuswerte von g einsetzt. Es zeigt sich nämlich dabei, daß etwa von $0,7 g$ an mit dem weiteren Abfallen der einwirkenden Kraft die aus den Zentrifugalversuchen bestimmten Präsentationszeiten sehr viel rascher wachsen, als die in den Ablenkungsversuchen beobachteten. Ein Versuch, dieses merkwürdige Resultat zu erklären, findet sich in Kapitel V.

11. Dagegen läßt sich die Länge der Reaktionszeiten in den verschiedenen Winkellagen in kein entsprechendes Verhältnis zur Sinuskurve setzen; denn sie ist innerhalb der Winkel von $15-90^\circ$ ziemlich gleich groß.

12. Ein Schütteln mit oder ohne Stöße hat keinen Einfluß, weder auf die Länge der Reaktions- noch auf die der Präsentations-

zeit. Beide Zeiten sind vielmehr bei den von mir untersuchten Versuchsobjekten für geschüttelte und ungeschüttelte Pflanzen immer etwa gleich groß.

13. Meine Versuche über den mikroskopisch feststellbaren Beginn der Reaktionszeit bei Sprossen und Wurzeln führte zu dem Resultat, daß die mit Hilfe des Mikroskops bestimmte Reaktionszeit zwar kürzer ist als die makroskopisch zu beobachtende, dabei aber immer noch eine ziemliche Länge besitzt.

Bei Versuchen, in denen sofort nach dem Horizontallegen die Krümmungsbewegung eintritt, dürfte dieses Resultat wohl auf Nutationen zurückzuführen sein.

14. Aus allen diesen Ergebnissen muß man den Schluß ziehen, daß die Reaktionszeit in der Reizphysiologie nicht ohne weiteres als Maß für die Größe der Erregung verwendet werden darf.

Als solches kann dagegen bei tropistischen Vorgängen, abgesehen von der Intensität der Krümmung, vielleicht noch besser die Größe der Präsentationszeit dienen.

15. Die Reaktionszeit ist nämlich von gewissen, schon sehr kleinen Beträgen der Induktionsgröße an ausschließlich abhängig von der Krümmungsbefähigung der Pflanze. So ist es zu erklären, daß sehr junge Versuchspflanzen von *Vicia Faba* später reagieren als ältere, und daß durch die Temperatur die Reaktionszeit sehr wesentlich beeinflußt werden kann, nicht dagegen durch noch so hohe Steigerung der Erregung, wie sie z. B. durch hohe Zentrifugalkräfte erreicht wird.

Tübingen, Botanisches Institut der Universität, 12. Juli 1906.

Herrn Privatdozent Dr. H. Fitting, auf dessen Veranlassung und unter dessen Leitung vorliegende Arbeit ausgeführt wurde, danke ich auch hier noch einmal herzlich für die rege Förderung, die diese Arbeit jederzeit durch ihn erfuhr.

Ebenso möchte ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. v. Vöchting für das mir stets entgegengebrachte Wohlwollen meinen herzlichen Dank sagen.

Literatur-Verzeichnis.

- Czapek, F., 1895, Untersuchungen über Geotropismus (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 27, S. 243 ff.).
- 1898, Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 32, S. 175 ff.).
- 1906, Die Wirkung verschiedener Neigungslagen auf den Geotropismus (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 43, S. 145 ff.).
- Darwin, F., 1903, The Statolith-theory of Geotropism (Proc. of the Roy. Soc., Vol. 71, S. 362 ff.).
- and Pertz, D. F. M., 1904, Notes on the Statolith Theory of Geotropism (Proc. of the Roy. Soc., Vol. 73, S. 477 ff.).
- Fitting, H., 1905, Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 41, S. 221 ff.).
- Haberlandt, G., 1902, Über die Statolithenfunktion der Stärkekörner (Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. 20, S. 189 ff.).
- 1903, Zur Statolithentheorie des Geotropismus (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 38, S. 447 ff.).
- 1906, Bemerkungen zur Statolithentheorie (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 42, S. 321 ff.).
- Jost, L., 1902, Die Perzeption des Schwereizes in der Pflanze (Biol. Centralbl., Bd. 22, S. 161 ff.).
- 1904, Referat über „Tondera, F., Beitrag zur Kenntnis des funktionellen Werts der Stärkescheide“ (Bot. Zeitg., Bd. 62, II, S. 276 ff.).
- Moisescu, N., 1905, Kleine Mitteilung über die Anwendung des horizontalen Mikroskops zur Bestimmung der Reaktionszeit (Ber. d. deutsch. bot. Ges., Jahrg. 23, S. 364 ff.).
- Němec, B., 1902, Die Perzeption des Schwerkraftreizes bei den Pflanzen (Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. 20, S. 339 ff.).
- Noll, F., 1903, Referat über „Haberlandt, G., Zur Statolithentheorie des Geotropismus“ (Bot. Zeitg., Bd. 61, II, S. 131 ff.).
- Pfeffer, W., 1904, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. (Bd. 2, S. 93).
- Piccard, A., 1904, Neue Versuche über die geotropische Sensibilität der Wurzelspitze (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 40, S. 94 ff.).
- Richter, O., 1906, Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus (Sitzungsber. d. Kais. Ak. d. Wiss. i. Wien, Math. nat. Kl.; Bd. 115, Abt. I).
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Bach H.

Artikel/Article: [Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen Aussenbedingungen. 57-123](#)