

III.

Der Einfluss der Schwerkraft auf das Längenwachsthum der Pflanzen.

Von

Dr. Frank Schwarz

aus Graz.

Es ist bekannt, dass die Schwerkraft richtend auf die Pflanzen einwirkt. Es wird das Wachsthum der einen Seite so lange beschleunigt, das der anderen Seite verlangsamt, bis sich das betreffende Organ in einer Gleichgewichtslage gegen die Schwere befindet, in der es geradlinig weiter wächst. Wie diese endliche Gleichgewichtslage ausfällt, ist lediglich abhängig von der Beschaffenheit resp. Reactionsfähigkeit des Organes. Wir unterscheiden¹⁾ demnach zwischen orthotropen und plagiotropen Pflanzentheilen, von denen die ersteren sich wieder in positiv und negativ geotropische Organe theilen.

Betrachten wir zunächst nur orthotrope Pflanzentheile, so sehen wir die Schwerkraft nur dann krümmend wirken, sobald sie unter einem Winkel die Achse dieses Organs angreift. Zahlreiche Forscher haben sich mit diesem Thema beschäftigt und ich gedenke nicht näher darauf einzugehen. Die Frage, welche ich mir stellte, war: »welchen Einfluss übt die Schwerkraft aus, wenn sie parallel der Längsachse von Stengel oder Wurzel wirkt«, und ich erlaube mir, in Nachstehendem einige Versuche zur Beantwortung derselben anzuführen.

Wir haben hier zwei Specialfälle zu unterscheiden. Erstens, die Pflanze befindet sich in der endlichen Gleichgewichtslage zur Schwere. Die Schwere wird dann, wenn sie in der Richtung der Organachse wirkt, bei den positiv geotropischen Wurzeln in der Richtung von der Basis zur Spitze, bei den negativ geotropischen Stengeln in der Richtung von der Spitze zur Basis wirken. Den Gegensatz hierzu bildet der zweite Fall, wo

4) SACHS, Über orthotrope und plagiotope Pflanzentheile. Arbeiten des Würzburger Instituts. Bd. II, 1878. p. 226 ff.

die Organe um 180° gedreht sind, die Schwerkraft also gerade entgegengesetzt wirkt. Natürlich muss hier durch irgend eine andere Kraft die Krümmung, die sonst erfolgen würde, verhindert werden, um überhaupt eine Beobachtung zu ermöglichen.

Im Folgenden ist besonders der erste Theil der Frage, der auch von größerer principieller Bedeutung ist, berücksichtigt. Die Schwerkraft wirkt also in normaler Richtung.

Zwei Wege standen mir zur Lösung dieser Frage offen:

Der eine Weg war, zu untersuchen, ob die Vergrößerung der wirkenden Kraft einen Einfluss ausübe. Da man natürlich die Schwerkraft selbst nicht variiren kann, so musste ich dieselbe durch eine gleichsinnig wirkende Kraft, die Centrifugalkraft, ersetzen, die ich beliebig bis zu einer gewissen Stärke vergrößern konnte. Eine derartige Steigerung der Schwerkraftwirkung ergab, wie ich hier gleich vorausschicke, durchaus keine Veränderung im Längen- oder Dickenwachstum. Der andere Weg war, die Pflanzenorgane horizontal zu legen und durch langsame Rotation um eine horizontale Achse die sonst erfolgenden Krümmungen zu beseitigen und so zu erreichen, dass Schwerkraftwirkung parallel der Längsachse nicht bestand. Auch diese Methode gab dasselbe Resultat: das Wachstum blieb unverändert. Diesen beiden Versuchsreihen schloss ich eine dritte an. Es ist bekannt, dass bei der Krümmung horizontal gestellter Pflanzentheile die Ober- und Unterseite verschieden afficirt werden, während die Wachstumsschnelligkeit der neutralen Achse nicht erheblich verändert wird. Nun erschien es möglich, dass sowohl bei Steigerung als Aufhebung der Schwerkraft dasselbe in der Längsrichtung stattfände, was sonst in transversaler Richtung vor sich geht, d. h. dass das Wachstum in gewissen Zonen ab- und in anderen zunahm. Hielten sich Abnahme und Zunahme das Gleichgewicht, so würde trotz der Verschiebung des Wachsthummaximums in den Zonen das Gesamtwachstum dasselbe bleiben.

Als ich meine Arbeit in Angriff nahm, lagen in der Literatur zwei Angaben vor. SACHS hatte in seinem Lehrbuche ¹⁾ die Frage aufgeworfen, welchen Einfluss die Schwerkraft ausübe, wenn sie in der Richtung der Längsachse der Organe wirke, und dort die Vermuthung ausgesprochen, dass die Schwerkraft nur dann beschleunigend oder retardirend einwirke, wenn ihre Richtung die Längsachse des Organes unter irgend einem Winkel schneide. In einer späteren Arbeit ²⁾ führt SACHS diese Ansicht etwas näher aus, ohne jedoch weiter experimentell darauf einzugehen. Er erwähnt der Thatsache, dass Hauptwurzeln der Keimpflanzen von Bohnen, Eicheln und dergl., wenn man ihnen eine Neigung von $8-10^\circ$

¹⁾ Lehrbuch. 4. Aufl. p. 811.

²⁾ Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile. Würzb. Arbeiten, Bd. II (1879). p. 240.

gegen die Verticale giebt, nur äußerst langsam oder selbst niemals ihre Spitze senkrecht stellen, während sie, horizontal gelegt, ihre Spitze binnen wenigen Stunden um 80—90° abwärts krümmen.

Er sagt wörtlich a. a. O.: »Denn da die Schwerkraft überhaupt nur so lange krümmend wirkt, als sie mit der Längsachse des Sprosses einen Winkel bildet, und wie die Erfahrung lehrt, die Krümmung um so stärker ist, je mehr sich dieser Winkel einem rechten nähert, so darf man annehmen, um zu einer klaren Vorstellung zu gelangen, dass es überhaupt nur die auf die Längsachse des Sprosses rechtwinkelige Componente der Schwerkraft ist, welche hier als Wachstum in Betracht kommt«.

Wenn dieser Satz auch vollinhaltlich für alles Wachstum gilt, das Krümmungen zur Folge hat, so bedarf doch die Verallgemeinerung dieses Satzes, seine Gültigkeit für das Längenwachstum überhaupt, noch des ferneren Beweises, besonders auch deshalb, weil N. J. C. MÜLLER¹⁾ in einer Arbeit über diesen Gegenstand zu dem Resultate kommt, dass bei Wurzeln einer größeren äußeren Kraft eine Steigerung des Längenwachstums entspricht. Er verglich je 5 Wurzeln von *Vicia faba*, von denen die einen unter dem Einfluss der Centrifugalkraft, die anderen unter dem Einfluss der einfachen Gravitation standen. Sie wuchsen im dunklen wasserdampfgesättigten Raume bei 25° C., die rotirende Scheibe machte 10 Umdrehungen per Secunde, was bei dem gegebenen Abstand der Wurzelspitze vom Centrum (40 mm) eine Centrifugalkraft von 16 g ergibt, wenn man die Schwerkraft = g setzt. Auf einen derartigen Versuch stützt sich MÜLLER, wenn er in seinem Handbuche der Botanik²⁾ angiebt, dass durch eine Centrifugalkraft von 12 g das Wachstum der Wurzeln um das 2,46 fache gesteigert wird.

Mit dem Wachstum der Wurzel vergrößert sich jedoch in den eben erwähnten Versuchen auch der Abstand vom Centrum, und da die Centrifugalkraft dem Radius proportional ist, wird auch diese gesteigert. Dieser Umstand veranlasste N. J. C. MÜLLER, eine zweite Reihe von Versuchen anzustellen. Er ließ verschieden lange Wurzeln zu gleicher Zeit auf dem rotirenden Teller wachsen und es zeigte sich dann, dass eine Wurzel, deren Spitze vom Centrum 38 mm abstand, eben so schnell wuchs, als eine Wurzel mit 65 mm Entfernung, sogar schneller, als eine von 66 mm Abstand. Letztere wuchs ungefähr gleich mit einer Wurzel, deren Spitze 43 mm vom Centrum entfernt war. N. J. C. MÜLLER schließt nun hieraus, dass ein größerer Zuwachs in Folge des größeren Abstandes nicht zu erweisen sei. Er unterließ es dabei, eine Berechnung der Centrifugalkraft anzustellen, denn sonst hätte es ihm doch bedenklich erscheinen müssen, dass in dem einen Falle bei einer Schwerkraftwirkung von 12 g ein

1) Bot. Zeitung 1871. p. 716 ff.

2) Bd. I. 1880. p. 234.

2 $\frac{1}{2}$ mal größeres Wachstum stattfand, als bei einer Schwerkraftwirkung von 1 g, während im anderen Falle eine Wurzel (Abstand 38 mm) bei 45 facher Schwerkraft schneller wuchs, als eine gleiche bei 26 $\frac{1}{2}$ facher, und zwar diesmal unter ganz gleichen Bedingungen. Eine Wiederholung dieser Versuche war daher jedenfalls gerechtfertigt.

Zu derselben Zeit, als ich meine Untersuchungen abgeschlossen hatte, erhielt ich eine Arbeit von FRED. ELFVING über denselben Gegenstand. In der botanischen Zeitung, 1884 No. 44, habe ich schon constatirt, dass ich selbständig und ohne etwas von seinen Arbeiten zu wissen, meine Resultate erlangt habe, die mit seinen Ergebnissen vollständig übereinstimmen. ELFVING ließ die Pflanzen sowohl unter der Einwirkung einer großen Centrifugalkraft (bis zu 50 g) als auch bei langsamer Rotation um eine horizontale Achse wachsen. Bei den Versuchen mit schneller Rotation verwendete er ausschließlich Wurzeln von *Pisum sativum*, die er im feuchten Raum oder in Wasser keimen ließ; das Verhalten negativ geotropischer Organe hat er hierbei nicht berücksichtigt. Bei den anderen Versuchen (langsame Rotation) arbeitete er mit Wurzeln von *Pisum* und den Fruchträgern von *Phycomyces nitens*, also sowohl mit positiv als mit negativ geotropischen Organen. Bei den Wurzeln verglich er den mittleren Zuwachs von je 20 Pflanzen in 24 Stunden. Eine gleiche Behandlung ließen die Fruchträger von *Phycomyces* nicht zu; hier verfolgte er das Wachstum eines einzigen Objectes und schaltete Rotationsperioden ein. Er fand auch hier, dass das Wachstum in gleicher Weise, wie bei normal wachsenden Fruchträgern vor sich ging. Die oben aufgeworfene Frage, ob die Geschwindigkeit des Wachstums der einzelnen Zonen durch die Vermehrung oder Aufhebung der Schwerkraftwirkung geändert werde, hat ELFVING, wie ich dies schon in der botanischen Zeitung hervorhob, nicht berührt. Dagegen verdanken wir ihm eine Reihe von Versuchen bei Inversion der Organe, auf die ich später zurückkommen werde.

Nach diesem kurzen historischen Überblick sei es mir gestattet, auf meine eigenen Versuche überzugehen. Die dazu nothwendigen Apparate sind nach Angabe des Herrn Professor PFEFFER gebaut und wurden mir von demselben in der liberalsten Weise zur Verfügung gestellt. Ich ergreife die Gelegenheit, ihm hierfür so wie für seinen Rath bei meiner Arbeit bestens zu danken.

Bei den Versuchen mit langsamer Rotation verwendete ich folgenden Apparat: Ein durch eine Feder getriebenes Uhrwerk ist an der Innenseite des Deckels eines rechteckigen Holzkastens befestigt. Durch den Deckel gehen zwei Stifte, die mittelst des Uhrwerkes in verschieden rasche Umdrehung versetzt werden. Die zu bewegende Achse kann auf dem einen oder anderen dieser Stifte befestigt werden. Der eine Stift, den ich ausschließlich verwendete, macht eine Drehung in 20 Minuten, der andere in 40 Minuten. Der Deckel ist um ein Charnier beweglich und kann in belie-

biger Lage festgeschraubt werden. Mittels eines solchen Apparates kann man demnach der rotirenden Achse sowohl eine horizontale, eine verticale oder endlich eine dazwischen liegende geneigte Stellung geben, was bei dem von SACHS verwendeten Pendeluhrwerke nicht möglich war. Das freie Ende der bewegten Achse wird durch einen Stift gestützt, den man an einem Gestelle in verschiedener Höhe, der horizontalen oder schiefen Lage der Achse entsprechend, befestigen kann. Von einer Centrifugalwirkung konnte bei dieser langsamen Drehung nicht die Rede sein.

Zu den Centrifugalversuchen verwendete ich folgenden Apparat (Fig. 1). Auf einer massiven Unterlagsplatte *a* erheben sich zwei Lagerständer *b*, in

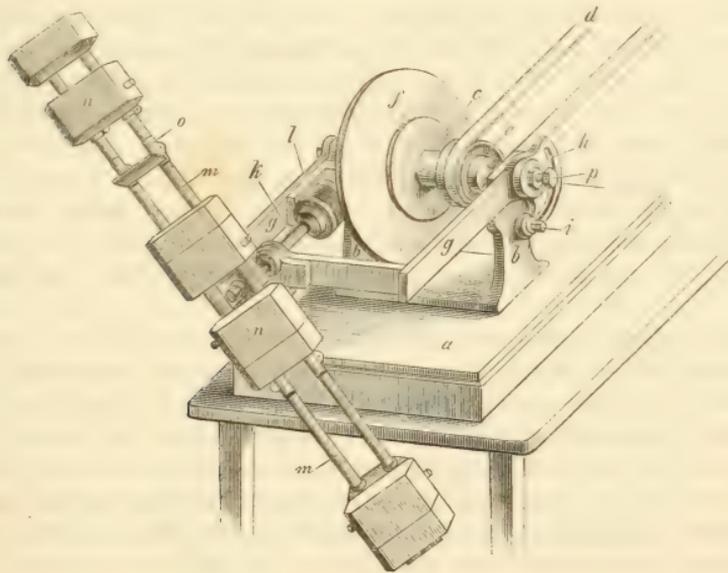


Fig. 1.

denen eine horizontale Welle *c* rotirt. Hierauf wird die Bewegung von einem Wassermotor aus durch den Riemen *d* und die Riemenscheibe *e* übertragen. Die Bewegung des Motors war eine gleichmäßige, da Zufluss und Druck des Wassers durch einen eigenen Regulator geregelt wurden. Auf *c* ist ferner eine große Frictionsscheibe *f* festgekeilt. Um die Welle *c* ist außerdem ein Rahmen *gg* beweglich. Durch den bogenförmigen Schlitz *h* und Schraube *i* kann dieser Rahmen in beliebiger Neigung zum Horizonte festgestellt werden. Derselbe trägt die Lager für die Welle *k*. Auf letzterer sind einerseits die Frictionsrolle *l*, andererseits die Holzstangen *mm* angebracht. Auf letzteren werden die Blechkasten *n* zur Aufnahme der Pflanzen im beliebigen Abstand von der Achse durch Vorstecken und Festschrauben eines starken Messinghalters *o* festgemacht. Die Frictionsrolle ist mit Leder

überzogen. Um das Verhältniss der Geschwindigkeitsübertragung nach Belieben abändern zu können, ist sie auf ihrer Welle verschiebbar. Eine Stellschraube p endlich, welche die Achse c in der Längsrichtung verschiebt, regelt die Stärke der Friction. Mittelst des beweglichen Rahmens ist es leicht, die Rotation der Blechkästen in einer verticalen oder horizontalen oder endlich einer beliebigen geneigten Ebene vor sich gehen zu lassen.

Da an den erwähnten Stangen 4 Kästen zu gleicher Zeit angebracht werden konnten, so hatte ich in der gleichen Zeit bei einer bestimmten Drehgeschwindigkeit eine verschieden große Centrifugalkraft zur Verfügung, indem ja die Fliehkraft dem Radius proportional ist und ich meine Kästen in verschiedener Entfernung vom Centrum befestigen konnte. Da dieser Abstand bis zu 75 cm betrug, wurde eine ansehnliche Centrifugalwirkung schon bei mäßiger Rotationsgeschwindigkeit erreicht und die Centrifugalwirkung z. B. auf die Spitze der Wurzel änderte sich demgemäß nur wenig, wenn diese Spitze durch Wachstum sich etwas vom Rotationscentrum entfernte. Die Drehungsachse lag in allen Versuchen horizontal, da wir bei verticaler Stellung eine zweifache Wirkung gehabt hätten: einerseits die normale Schwere, andererseits die Centrifugalkraft, welche, wie schon KNIGHT gezeigt, die Pflanze in die Richtung ihrer Componente stellen.

Die Pflanzen wurden nicht direct in die Blechkästen gethan, sondern sie wuchsen in Holzkästen, deren eine Wand durch eine Glasscheibe ersetzt war. Dieselben waren 17 cm hoch, $4\frac{1}{2}$ cm breit, 25 cm lang und zum Zwecke besserer Durchlüftung mit Löchern versehen. Sie wurden mit mäßig feuchten Sägespänen gefüllt und in diese Sägespäne mit einem dünnen Stab Rillen vorgestoßen. Letztere dienten einerseits zur Aufnahme der Wurzeln, andererseits sollte auf diese Weise ein Hin- und Herbiegen der Stengel (durch das Gewicht der Cotyledonen) verhindert werden. Es war entschieden vortheilhafter, die Pflanzen in Sägespänen wachsen zu lassen, als in Wasser oder im feuchten Raume. Die Pflanzen wachsen dasselbst schneller als in den obigen Medien und halten längere Zeit aus. Der einzige Nachtheil, der speciell bei den Versuchen mit dem Centrifugalapparat an den Sägespänen hervortreten konnte, war, dass sie, durch die Centrifugalkraft fester zusammengedrückt, den wachsenden Wurzeln einen größeren Widerstand entgegenzusetzen konnten. Dieser Übelstand wurde dadurch beseitigt, dass man die Sägespäne gleich anfangs fest zusammenschloß und in den oben erwähnten Rillen Canäle schuf, in denen die Pflanzen gleichmäßig weiter wuchsen. Verwendete man bei den Versuchen nur mäßig feuchte Sägespäne, so wurde bei der Rotation nur wenig oder gar kein Wasser herausgeschleudert. Da die Pflanzen eigentlich im dampfgesättigten Raume wuchsen, war auch keine Verschiedenheit der Feuchtigkeit in den einzelnen Kästen anzunehmen.

Die Anbringung der Pflanzen hinter einer Glaswand hatte den Vortheil, dieselben zu verschiedenen Zeiten messen zu können, ohne sie aus den Sägespännen herausnehmen zu müssen. Es wurden hierbei nicht nur die durch längeres Verweilen an der Luft bedingten Störungen im Wachsthum vermieden, sondern zu gleicher Zeit ein genaueres und besonders ein schnelles Messen ermöglicht. Bei Wurzeln wurde oberhalb der wachsenden Region ein feiner Tuschstrich angebracht und der Abstand bis zur Spitze der Wurzel gemessen. Bei Stengeltheilen musste man die ganze Länge messen und zwar von einem Striche, der den Übergang zur Wurzel markirte, aus bis zu dem Einschnitt der Cotyledonen. Das Messen geschah durch Auflegen eines in halbe Millimeter getheilten Maßstabes auf die Glaswand, und da ich mittelst einer Loupe ablas, so war eine Genauigkeit bis zu $\frac{1}{4}$ mm möglich. Das Messen von 36 Pflanzen dauerte in der Regel nicht länger als 45—20 Minuten.

Ich verwendete zu meinen Versuchen Wurzeln von *Vicia faba* und *Pisum sativum* und die hypocotylen Glieder von *Helianthus annuus*, *Lupinus luteus*, *Cucurbita pepo*. Diese Pflanzen wurden in Sägespännen cultivirt. Die Stengeltheile wuchsen am Lichte, was besonders bei *Helianthus* von Belang war, da die Pflanze im Dunkeln ihre Cotyledonen nicht aufrichtet und man daher nicht die ganze Länge des hypocotylen Gliedes messen kann. Die Samen wurden, nachdem sie erst in Wasser gequollen waren, mit der Micropyle nach abwärts in die Sägespägne eingesetzt, damit man gerade Wurzeln resp. gerade Stengel erhielt. Schon vor Beginn des Versuches, d. h. vor der ersten Messung, ließ ich die Pflanzen längere Zeit in den Holzkasten wachsen, damit sie sich den etwa veränderten Wachstumsbedingungen accomodiren konnten und die durch das Umsetzen hervorgerufenen Störungen ausgeglichen würden.

Will man den Einfluss einer äußeren Kraft auf das Wachsthum von Pflanzen studiren, so stehen zweierlei Methoden zur Verfügung. Vorausgesetzt, dass man alle anderen Bedingungen gleich und constant erhält, variirt man im ersten Falle die betreffende Kraft zu gleicher Zeit an verschiedenen Objecten. Da indessen die Objecte unter sich ziemlich bedeutende individuelle Ungleichheiten zeigen, ist man gezwungen, das Mittel aus einer größeren Anzahl von Individuen in Betracht zu ziehen. Der zweite Weg dagegen besteht darin, die Kraft zu verschiedenen Zeiten an demselben Objecte variiren zu lassen. Wir machen hier die Voraussetzung, dass die Pflanzen gleichmäßig weiter gewachsen wären, wenn nicht der Einfluss der zu untersuchenden Kraft hinzugetreten wäre. Letzteres ist nicht immer der Fall, und wir müssen uns erst davon überzeugen, indem wir die Pflanzen wieder in die ersten Bedingungen zurückversetzen. Bei der ersten Methode können die individuellen Verschiedenheiten so bedeutend sein, dass sie das wirkliche Resultat ganz verdecken, im zweiten Falle hat man nicht nur mit den Schwankungen, die durch

Tag- und Nachtperiode oder durch die große Periode hervorgerufen werden, zu rechnen, sondern auch mit den uncontrolierbaren sogenannten Stößen im Wachsthum. Ich fand es daher am vortheilhaftesten, beide Methoden zu vereinigen. Man konnte das erreichen, wenn man eine größere Anzahl von Pflanzen in Betracht zog, und sie abwechselnd eine Zeit lang im Rotationsapparate und in Ruhe keimen ließ, zum Vergleich aber noch Pflanzen daneben beobachtete, die immer in Ruhe wuchsen. Bei den Versuchen mit langsamer Rotation wuchsen 42 Pflanzen abwechselnd eine bestimmte Zeit lang in der normalen Lage zum Erdcentrum und eine gleiche Zeit horizontal gelegt bei langsamer Drehung, d. h. dem Einflusse der Schwerkraft entzogen. Ich konnte also an den einzelnen Individuen sehen, welche Veränderungen die Schwerkraft im Wachsthum hervorbringe. Da jedoch die Pflanzen auch in der normalen Lage verschiedene Schwankungen zeigten, so war es nothwendig, daneben 42 Pflanzen zu beobachten, bei denen die Schwerkraft immer in normaler Weise wirkte. An diesen Pflanzen ersah man, ob die Verschiedenheiten des Zuwachses in den einzelnen Perioden auf Rechnung der veränderten Schwerkraftwirkung zu setzen oder durch die Eigenthümlichkeit der Pflanzen bedingt seien. Außerdem konnte ich das Mittel aus dem Zuwachse der rotirenden 42 Pflanzen mit dem Mittel aus den 42 Pflanzen in Ruhe vergleichen. Im ersteren Falle hatte ich einen Vergleich derselben Individuen unter verschiedenen Bedingungen (d. h. mit oder ohne Schwerkraft). In dem zweiten Falle verglich ich verschiedene Individuen unter verschiedenen Bedingungen, aber zu gleicher Zeit. Ähnlich war es bei den Versuchen mit Centrifugalkraft, nur dass ich hier dreimal 42 Pflanzen in Betracht zu ziehen hatte, von denen 24 abwechselnd rotirend und in Ruhe wuchsen, 42 Stück jedoch immer in Ruhe blieben. Von den 24 Pflanzen war die eine Hälfte einer sehr großen Centrifugalkraft, die andere Hälfte einer geringen Centrifugalkraft ausgesetzt.

Was die fernere Ausführung dieser Methode anbelangt, sei hier kurz erwähnt, dass die Pflanzen immer im Dunkeln wuchsen, der Einfluss des Lichtes also gänzlich beseitigt war. Die Holzkasten, in denen immer je 6 Pflanzen wuchsen, befanden sich bei der schnellen Rotation in den Blechkasten. Die Holzkasten, in Ruhe ebenfalls in einem Blechkasten stehend, waren unmittelbar neben der rotirenden Achse aufgestellt. Der langsam rotirende Apparat stand zusammen mit den Controllpflanzen in einem Dunkelschrank. Die Temperatur wurde bei den Versuchen im Sommer durch das Öffnen einer Thür, welche auf einen kalten Gang führte, regulirt. In der kalten Jahreszeit erhielt ich die Temperatur durch einen sogenannten Regulirfüllofen auf der gleichen Höhe. Schwankungen, durch veränderte Temperatur oder Beleuchtung hervorgerufen, gab es also nicht, wohl aber hatte ich die Tagesperioden und die sogenannte große Periode zu berücksichtigen. Die Wurzeln wuchsen Tag und Nacht ziem-

lich gleichmäßig. Es stimmt dies mit den Angaben von R. STREHL¹⁾, der bei vollständig etiolirten Wurzeln wohl die große Periode beobachtete, die täglichen Schwankungen aber vermisste. Die große Periode der Wurzel steigt ziemlich steil an und fällt flach ab. Die Differenz zwischen den einzelnen Perioden (von 6 Stunden) ist selten sehr groß — ja, der Fall ist ziemlich häufig, wo Wurzeln während 3—4 auf einander folgender Perioden ganz gleich gewachsen sind. Die von mir verwendeten Wurzeln befanden sich bei Beginn der Versuche in dem aufsteigenden Aste der großen Periode. Später ist meist ein Herabgehen der Wachstumsgeschwindigkeit wahrzunehmen, ein Umstand, der mit dem absteigenden Arm der großen Periode zusammenhängt. Es scheint jedoch, als ob auch die verminderte Feuchtigkeit als ein zweiter Factor dabei thätig wäre.

Bedeutender sind die Schwankungen an Stengeln. Eigentlich sollten durchweg die Perioden der Nacht ein größeres Wachstum aufweisen, was jedoch nicht immer der Fall ist. Die Ursache mag darin zu suchen sein, dass die Pflanzen bei dem Versuche im Dunkeln wuchsen, während sie früher am Licht cultivirt worden waren. Durch diese Lichtwirkung wird eine Periodicität auf die Pflanze inducirt, die bei der nachherigen Verdunkelung nicht immer die normale Dauer einhält. Es kam dieser Umstand wenig in Betracht, da ich ja an den in Ruhe befindlichen Pflanzen eine genügende Controlle hatte. Die große Periode macht sich an den hypocotylen Gliedern weniger geltend.

Brachte die veränderte Schwerkraftwirkung irgend eine Beschleunigung oder Verlangsamung des Wachstums hervor, so musste dies am deutlichsten an der Wachstumscurve der zeitweise gedrehten Pflanzen hervortreten. Nehmen wir an, die Curve der normal wachsenden Pflanzen verlaufe geradlinig, so muss, wenn Centrifugalwirkung oder Horizontalstellung eingeschaltet werden, sich dies als eine Auszackung oder Einbuchtung bemerkbar machen, falls die Schwere überhaupt einen Einfluss ausübt. Das war nicht der Fall: beide Curven verliefen vollständig parallel. Eben so wenig war natürlich auch eine Veränderung zu bemerken, wenn die Curve der Pflanzen in Ruhe zackig oder ausgebuchtet war.

Außer diesen periodischen Schwankungen haben wir noch die sogenannten Stöße im Wachstum der einzelnen Pflanzen zu berücksichtigen. Es fragte sich, welche Zeit wohl genüge, diese Stöße zu eliminiren, ohne dabei auf einen möglichst häufigen Wechsel von Schwerkraft und Centrifugalkraft verzichten zu müssen. Das Übereinstimmen der Mittelwerthe einzelner Zeitabschnitte war wesentlich von der Zahl der verglichenen Pflanzen abhängig. Ich fand, dass die Mittelwerthe von je 12 Pflanzen selbst bei kürzerer Dauer einer Versuchsperiode eine genügende Über-

1) R. STREHL, Untersuchungen über das Längenwachsthum der Wurzeln und des hypocotylen Gliedes. 1874 (Dissertation) Leipzig.

einstimmung zeigten. Da ich aber auch darauf angewiesen war, die Wirkung der Centrifugalkraft resp. Horizontalstellung an dem einzelnen Individuum zu beobachten, so erschien mindestens ein Zeitraum von 5—6 Stunden nothwendig, um die einzelnen Stöße verschwinden zu machen. Bei langsam wachsenden Pflanzentheilen war es angezeigt, die Dauer einer Periode auf 9 Stunden auszudehnen. Wie groß die Differenzen an Pflanzen sind, die unter den gleichen normalen Bedingungen wachsen, zeigt der Versuch No. 4.

Ich arbeitete nicht gleich von Anfang an nach dieser soeben besprochenen Methode, sondern versuchte es, den Einfluss der Schwerkraft durch den Vergleich zahlreicher Individuen (rotirend gegen nicht rotirend) zu bestimmen. Da ich aber in der richtigen Auswahl von gleichen Objecten noch wenig geübt war, ergaben sich nur schwankende Resultate, auf die ich kein Gewicht lege. Einzelne davon werde ich weiter unten anführen.

Bevor ich auf die einzelnen Versuche eingehe, will ich noch einige Erklärungen zu den beifolgenden Tabellen geben. Die Pflanzen sind mit Nummern belegt, von denen immer No. 4—12 sich in den äußeren Kasten der Rotationsmaschine befanden, also der größten Centrifugalkraft ausgesetzt waren, während No. 13—24 in den inneren Kasten so nahe wie möglich an der rotirenden Achse angebracht waren, d. h. unter dem Einfluss der schwächsten Centrifugalkraft, die bei einer bestimmten Drehschnelligkeit zu ermöglichen war, standen. Die Pflanzen 25—36 dienten zur Controlle und wuchsen unter dem Einfluss der gewöhnlichen Schwere. Bei den Versuchen mit langsamer Drehung bedeuten No. 37—48 die rotirenden, No. 49—60 die ruhenden Pflanzen. Die zweite Quercolumne giebt an, wie lang die Pflanzen bei Beginn des Versuches, d. h. bei der ersten Messung gewesen sind. In der ersten Längscolumne ist die Zeit der Beobachtung angegeben, in der zweiten die Temperatur, in der dritten die Anzahl der Stunden einer Beobachtungsperiode. Die vierte Rubrik giebt an, wie viel Drehungen die Achse in der Minute machte. Aus der fünften Rubrik ersehen wir die Größe der Centrifugalkraft in Bezug auf g (die normale Erdattraction) berechnet¹⁾. Die Zahlen in den übrigen Columnen sind die Zuwachse der Pflanzen in den einzelnen Zeitabschnitten auf Stunden reducirt. Die Zuwachse während einer Rotationsperiode sind fett gedruckt, die übrigen mit gewöhnlicher Schrift. Der Leser sieht an den

1. Nach der Formel $F = \frac{4 \pi^2 R m}{g T^2}$, wobei R den Radius, T die Zeit einer Umdrehung, m die Masse des bewegten Körpers bezeichnen. Letztere setzen wir gleich 1. $\frac{4 \pi^2}{g} = 4.024$ ist dann die Constante, welche mit dem Radius in Meter ausgedrückt multiplicirt und durch das Quadrat der Zeit einer Umdrehung in Secunden ausgedrückt dividirt wird.

Tabellen öfters Lücken, dies sind theils Pflanzen, an denen die Markirung verwischt war, theils Pflanzen, die sich während des Versuches gekrümmt hatten. Beide wurden aus leicht begreiflichen Gründen weggelassen.

Versuch 4. Wurzel von *Vicia faba* in Ruhe.

(Hierzu Tabelle 4.)

In 4 der oben beschriebenen Holzkasten wurden je 6 Keimpflanzen von *Vicia faba* eingesetzt, deren Wurzeln ungefähr gleich lang waren. Es wurden immer je zwei vollkommen gleich lange Wurzeln ausgesucht und so vertheilt, dass den Pflanzen im ersten Kasten jene im dritten entsprachen, die Pflanzen im zweiten Kasten jenen im vierten. Ich ging hierbei von der Voraussetzung aus, dass diese Wurzeln, welche bisher in derselben Zeit gleich lang geworden waren, auch in der Zukunft gleiches Wachsthum zeigen sollten, was sich nur theilweise bewahrheitete. Das Licht war bei dem Versuch durch einen schwarzen Pappcylinder vollständig abgehalten.

Ein Blick auf die Tabelle 4 zeigt uns, dass die Wurzeln in den ersten zwei Perioden bedeutend weniger gewachsen sind, als in den folgenden, was theils mit der großen Periode dieser Wurzeln zusammenhängt, zum großen Theil jedoch seinen Grund darin findet, dass das Wachsthum der Wurzeln beim Umsetzen Störungen erlitten hat, die noch nicht ausgeglichen sind. Wir sind daher berechtigt, von diesen zwei ersten Zeitabschnitten abzusehen.

Betrachten wir zuerst die einzelnen Pflanzen für sich, so finden wir, dass das Wachsthum in den einzelnen auf einander folgenden Perioden ziemlich bedeutend schwankt. Der Grund liegt hauptsächlich darin, dass Perioden von $3-3\frac{1}{2}$ Stunden Dauer zu kurz sind, um die Stöße im Wachsthum auszugleichen. Nehmen wir jedoch das Mittel aus der 4. und 5. Periode einerseits, aus der 6. und 7. andererseits, d. h. das stündliche Wachsthum von $7\frac{1}{2}$ resp. 6 Stunden, so verringern sich diese Schwankungen sehr bedeutend. Ich habe in der Tabelle 4 zum Vergleich unter jene Zahlen, die bei der Beobachtung nach 3—4 Stunden erhalten sind, die Zahlen gesetzt, die ich aus längeren Perioden erhielt. Im ersteren Falle sind die Differenzen zwischen zwei auf einander folgenden Perioden viel größer, als bei längeren Zeitabschnitten. Das fiel jedoch weniger ins Gewicht, wenn wir ein regelmäßiges Auf- und Absteigen der Wachsthumscurve erkennen könnten. Dies wird jedoch bei zu kurzer Dauer der einzelnen Perioden durch die Wachsthumstöße vollständig verdeckt, während es bei einer Beobachtung nach 6 Stunden schon ganz deutlich hervortritt. Wir sehen an unserer Tabelle ferner, wie verschieden die Wachsthumsenergie der einzelnen Pflanzen ist. Die einen wachsen gleich von Anfang an nicht so viel, wie die anderen. Für den Vergleich der einzelnen

Individuen beim Wechsel von Rotation und Ruhe kommt dieser Umstand nicht weiter in Betracht, wohl aber ist es möglich, dass durch mehrere solcher langsam wachsender Individuen die Mittelwerthe aus sämtlichen verglichenen Pflanzen etwas alterirt werden.

Das zur Tabelle 1 gehörige Täfelchen mit den Mittelwerthen befindet sich S. 93. Wir sehen dort in der ersten Abtheilung die Mittelwerthe von je 6 Pflanzen; in der zweiten Abtheilung die Mittelwerthe von je 12 gleich langen Wurzeln. Ich konnte nun einerseits die Pflanzen aus dem ersten und zweiten Kasten mit jenen aus dem dritten und vierten Kasten vergleichen, andererseits die Pflanzen aus dem ersten und vierten Kasten mit jenen aus dem dritten und zweiten Kasten. Wir sehen, wie bei 6 Pflanzen die Mittelwerthe noch bedeutend auf- und abschwanken, während bei 12 Versuchsobjecten die größte Differenz 0,26 ist. Diese Differenz geht auf die Hälfte herab, wenn wir anstatt der kurzen dreistündigen Perioden das Mittel aus 6 Stunden nehmen (dritte Abtheilung des Täfelchens). Absichtlich habe ich bei dem Vergleich von 12 Individuen die Objecte verschieden gruppiert, und obgleich ich in jedem Falle Wurzeln verglich, die am Anfang des Versuches gleich lang waren, so erhielt ich doch verschieden große Werthe. Es ist das ein Beweis, wie viel von der zufälligen Gruppierung der Objecte abhängt, wenn man vollständig übereinstimmende Mittelwerthe erhält. Beim Vergleich der Pflanzen 1—12 mit No. 13—24 (letzte Columnne) sehen wir, dass mit Ausnahme einer einzigen Periode die Pflanzen ganz gleich gewachsen sind. Setzen wir aber die Pflanzen 4—6, 19—24 den Pflanzen 13—18, 7—12 entgegen, so finden wir, dass in allen Perioden die ersteren ein größeres Wachstum zeigen, als die letzteren, und doch sind es dieselben Pflanzen, nur in anderer Vertheilung. Hieraus folgt, dass wir auch solche Mittelwerthe vergleichen können, von denen die einen constant etwas größer sind als die anderen.

Versuch 2. Einfluss der Centrifugalkraft auf Wurzeln von *Vicia faba*.

(Hierzu Tabelle 2.)

Die Pflanzen wurden den 30. October Abends in die Kästen mit Sägespähen gebracht, am 31. Nachmittags markirt und um 5^h 45 Abends zum ersten Male gemessen. Während der ersten Periode befanden sich sämtliche Pflanzen in Ruhe, d. h. unter dem Einfluss der gewöhnlichen Schwerkraft. Während der nächsten Zeitabschnitte wurden die Pflanzen 1—24 abwechselnd der Centrifugalkraft und der normalen Schwere ausgesetzt. No. 25—36 dienten zur Controlle. Ein Blick auf die Tabelle 2 lehrt uns, dass die Wurzeln ohne Ausnahme in der zweiten Periode schneller gewachsen sind, als in der ersten. Es ist dies jedoch keineswegs durch die Einschaltung der Centrifugalkraft veranlasst, da auch die Pflanzen in Ruhe

dieselbe Beschleunigung zeigen. Bei den folgenden Perioden schwankt das Wachsthum hin und her, ohne dass wir jedoch einen Ausschlag nach einer bestimmten Seite wahrnehmen können. Einzelne Pflanzen, z. B. 10 und 14, sind gleichmäßig fortgewachsen, trotz Drehung und Centrifugalkraft. Bei einzelnen Pflanzen ist der Zuwachs während der Rotation ein etwas geringerer als während der Ruhe (z. B. 9 und 12). Dasselbe finden wir in den entsprechenden Perioden bei No. 31 der Normalpflanzen wieder. Bei No. 4 ist es gerade umgekehrt, aber auch hier finden wir unter den Normalpflanzen ein Analogon (No. 33).

Wie gering im Allgemeinen die Schwankungen sind, ersehen wir aus den Mittelwerthen einer Periode, die aus dem der Tabelle 2 beigelegten Täfelchen S. 88 zu ersehen sind. Die Wurzeln, welche der größten Centrifugalkraft ausgesetzt waren, sind bis auf die erste Periode vollkommen gleich weiter gewachsen. Ein ähnliches Bild zeigen die Pflanzen in Ruhe; die Differenz zwischen beiden erreicht nur ein einziges Mal 0.4 mm, ist sonst bedeutend geringer. Die Wurzeln in den inneren Kasten weisen gleich von Anfang an etwas größeren Zuwachs auf; da dies jedoch constant bleibt, so haben wir den Grund nicht in der Einwirkung der 3—4 fachen Schwere zu suchen, sondern in einer größeren Wachsthumenergie der Pflanzen. Besonders stark sind No. 16 und 20 gewachsen: ließen wir dieselben weg, so stellten sich auch diese Zahlen auf das Niveau der Normalpflanzen.

Versuch 3. Einfluss der Centrifugalkraft auf Wurzeln von *Vicia faba*.

(Hiezu Tabelle 3.)

Die Pflanzen wurden den 26. Juli Abends eingesetzt und markirt, am nächsten Morgen zum ersten Male gemessen. Es wurden bei diesem Versuche schon etwas ältere Wurzeln genommen, deren Länge bei der ersten Ableseung 52—63 mm betrug. Wir sehen in Folge dessen, dass das Wachsthum schon in dem ersten Zeitabschnitt so groß ist, wie in den folgenden. Ein Theil der Wurzeln, No. 1, 2, 40, ferner 16, 48, 20, endlich 29, 35, steht schon anfangs im Maximum der großen Periode und wir sehen an ihnen das Wachsthum gleichmäßig abnehmen, ob nun Centrifugalkraft eingeschaltet wird oder nicht. Andere Wurzeln erreichen ihr Maximum erst in der zweiten oder dritten Periode. Nirgends wird jedoch der Verlauf der Wachsthumcurve durch die Rotation in irgend einer bestimmten Richtung ausgebuchtet.

Ebenso beweisen uns diese Mittelwerthe aus den einzelnen Zeitabschnitten (auf S. 89), dass das Wachsthum durch die Centrifugalwirkung keineswegs verändert wird, ob nun diese Kraft 20 mal oder 4 mal die einfache Schwere an Stärke übertrifft. Ein Zufall ist es zu nennen, dass bei

diesem Versuche das Wachstum gerade in den Zeiten der Rotation besonders gut übereinstimmt, denn Differenzen von 0.03 und 0.05 mm pro Stunde sind jedenfalls durch die Individualität der Pflanzen zu erklären. Wenn die Ruheperioden weniger genau stimmen, so ist dies auf Rechnung einzelner ausnahmsweise im Wachstum zurückgebliebener Pflanzen zu setzen. In Tabelle 3 sind dieselben eingeklammert, bei der Berechnung der Mittelwerthe jedoch berücksichtigt. Die eingeklammerten Zahlen bei unserem oben gegebenen Tafelchen der Mittelwerthe bedeuten die Werthe ohne Hinzurechnung dieser ausnahmsweise schlecht gewachsenen Pflanzen.

Versuch 4. Einwirkung der Centrifugalkraft auf das hypocotyle Glied von *Helianthus annuus*.

(Hiezu Tabelle 4.)

Die Pflanzen hatten Zeit, sich vom Vormittag (des 5. August) bis 5^h 30^m Abends an ihr Medium zu gewöhnen. Wir ersehen aus Tabelle 4, wie das Wachstum in den zweiten 6 Stunden des Versuches bedeutend geringer ist, als in der ersten Periode, wo die Pflanzen in Ruhe standen. Die Verminderung findet bei allen Pflanzen in gleicher Weise statt, ob sie rotiren oder nicht, ist also nicht die Folge vermehrter Schwerkraft. In der dritten Periode steigt das Wachstum wieder und verändert sich nur wenig im vierten Zeitraum, obgleich hier eine sinkende Tendenz vorhanden ist. Das Herabgehen des Wachstums macht sich erst in den nächsten 6 Stunden geltend, während welcher Zeit die Pflanzen sich in Ruhe befanden. Es bleibt unverändert auch in dem folgenden Zeitabschnitte, wo die Pflanzen 9¹/₄ Stunde rotirten, bis es wieder in der letzten Periode steigt. Überall gehen die Schwankungen gleichmäßig vor sich. Besonders lehrreich ist der Vergleich zwischen der dritten und vierten Periode einerseits, der fünften und sechsten andererseits. Hier tritt ziemlich oft der Fall ein, dass die Pflanzen trotz Wechsel von Ruhe und Rotation in demselben Maße fortgewachsen sind. Das ist nur entscheidend, wenn die Normalpflanzen dasselbe zeigen.

Mittelwerthe.

Zeit	Temperatur	Außenkassen	Innenkassen	Ruhekassen
5 ^h 36 ab—11 ^h 36 n	49 ¹ / ₂ —20	0.86	0.75	0.86
11 ^h 36 n — 5 ^h 36 f	49 —20	0.37	0.26	0.39
5 ^h 36 f —11 ^h 36 m	48 ¹ / ₂ —49 ¹ / ₂	0.59	0.56	0.65
11 ^h 36 m — 5 ^h 36 ab	49 —24 ¹ / ₂	0.56	0.47	0.56
5 ^h 36 ab—11 ^h 36 n	49 —20	0.43	0.35	0.43
11 ^h 36 n — 8 ^h 54 f	49 —20	0.41	0.47	0.43
8 ^h 54 f — 2 ^h 54 m	49 —24	0.91	0.90	0.98

Die Mittelwerthe aus den Zuwachslängen stimmen ziemlich genau: 0.43 mm ist die größte Differenz zwischen den entsprechenden Pe-

rioden, wenn wir alle drei Kasten vergleichen. Die Außenkasten differiren von den Ruhekasten noch weniger. Die Differenz zwischen beiden beträgt:

1. Periode 0
2. - 0.02
3. - 0.06
4. - 0
5. - 0
6. - 0.02
7. - 0.07.

Ich hoffe, diese Zahlen sprechen genügend für sich selbst.

Versuch 5. Einwirkung der Centrifugalkraft auf das hypocotyle Glied von *Lupinus luteus*.

(Hiezu Tabelle 5.)

Die am Lichte erzeugten Keimpflanzen wurden am 21. Juli Vormittags in die Holzkasten gebracht, darauf dunkel gestellt und am Nachmittag 4 h 20 m zum ersten Male gemessen. Leider verlangsamte sich bei einzelnen Perioden der Gang der Maschine, so dass ich gezwungen war, das Mittel aus der größten Schnelligkeit am Anfang und der geringsten Schnelligkeit am Ende der Rotationsperiode als die wirkliche Rotationsgeschwindigkeit anzunehmen. Bei den hier verwendeten Pflanzen ist das Wachsthum in der ersten 46³/₄ stündigen Periode am größten. Von da an nimmt es bei allen Keimlingen, gleichviel ob sie rotiren oder nicht, bis zur vierten Periode ab, um in der nächsten ein zweites Maximum zu erreichen. Dabei kommt es ziemlich häufig vor, dass eine Pflanze in zwei auf einander folgenden Zeiträumen gleich viel gewachsen ist. Bei einzelnen tritt das zweite Maximum etwas früher oder später ein, ohne dass ein Einfluss der Centrifugalwirkung als die Ursache bezeichnet werden kann. Die Centrifugalkraft wirkte hier mehrmals durch längere Zeit, so 42 und 45 Stunden lang. Es änderte dies nichts am Resultate.

Zeit	Temperatur	Außenkassen	Innenkassen	Ruhekassen
4 h 20 ab—9 h 5 f	21 ¹ / ₂ —23 ¹ / ₂	0.65	0.76	0.69
9 h 5 f —3 h 5 m	23 —24	0.44	0.57	0.51
3 h 5 m —9 h 5 n	22 ¹ / ₂ —24	0.33	0.40	0.29
9 h 5 n —9 h 5 f	24 —23 ¹ / ₂	0.23	0.34	0.28
9 h 5 f —3 h 5 m	20 ¹ / ₂ —21 ¹ / ₂	0.40	0.54	0.40
3 h 5 m —9 h 5 n	24 —23	0.31	0.36	0.27
9 h 5 n —6 h 5 f	24 —23	0.10	0.16	0.17
6 h 5 f —3 h 5 m	24 —22	0.17	0.18	0.14
3 h 5 m —9 h 5 f	24 —23	0.10	0.14	0.08

Die hier gegebenen Mittelwerthe stimmen zwar nicht so genau wie beim vorigen Versuch, sind jedoch ebenfalls brauchbar. Gleich von An-

fang an, d. h. bei $16\frac{3}{4}$ stündiger Ruheperiode, sind die Pflanzen in den Innenkasten am meisten gewachsen; diesen folgen die Normalkasten; am wenigsten wuchsen die Keimlinge der Außenkasten; obgleich die Differenzen in der Wachstumsenergie nicht bedeutend sind, lassen sie sich dennoch in den übrigen Perioden deutlich verfolgen. Die einzige Ausnahme scheint die 6. und 7. Periode darzubieten. Vergleicht man aber die Mittel aus beiden Zeiträumen, so bleibt das ursprüngliche Verhältniss gewahrt. Die Pflanzen sind somit alle in gleicher Weise fortgewachsen.

Weitere Versuche hier tabellarisch anzuführen, wäre überflüssig, da alle dasselbe Resultat geben, das Resultat nämlich, dass durch die Einwirkung der Centrifugalkraft keinerlei Veränderungen im Wachstume stattfinden; dies gilt sowohl für positiv als negativ geotropische Organe.

Hiermit stimmen die Zahlen überein, welche ich durch den Vergleich verschiedener Individuen bei einer größeren oder geringeren Schwerkraftwirkung erlangt habe. Da ich im Anfang noch wenig Übung in solchen physiologischen Arbeiten besaß, machten sich bei diesen einleitenden Versuchen einzelne Fehler geltend, die das Resultat zweifelhaft erscheinen ließen. Dies war um so misslicher, als es Fehler gab, die mit gesteigerter Centrifugalkraft ebenfalls größer wurden, und man so zur Anschauung geführt werden konnte, der Unterschied im Wachstume sei durch die Einwirkung der Centrifugalkraft hervorgebracht. Ich ließ die Wurzeln anfangs ohne Rillen und in losen Sägespähnen wachsen. Da letztere durch die Fliehkraft besonders in den äußeren Kasten fester zusammengepresst wurden, fanden die Wurzeln hier einen größeren Widerstand. Außerdem wurde Wasser aus den rotirenden Kasten herausgeschleudert, was das Wachsthum ebenfalls verlangsamten musste. Dieser Fehler wirkte in geringerem Maße, sobald man nur mäßig feuchte Sägespähne nahm, beide Fehlerquellen aber wurden beseitigt, sobald ich die Pflanzen in Wasser wachsen ließ. Sollten die Keimlinge überhaupt gedeihen, so musste zu diesem Wasser Luft zutreten. Ein Umstand, der diese Versuche zum mindesten unbequem machte. Ich führe weiter unten einen derartigen Versuch an.

Da ich an meiner zuerst beschriebenen Art zu arbeiten einen guten Ersatz für diese Methode gefunden hatte, gab ich mir keine Mühe, letztere zu vervollkommen.

Versuch 6. Wurzel von *Vicia faba*.

Dauer der Rotation von 12^h Mittags bis 9^h Abends. Die Temperatur schwankte zwischen 20—27° C. Die Achse des Rotationsapparates machte 200 Umdrehungen in der Minute, was für die äußeren Kasten eine 29fache, für die inneren Kasten eine $5\frac{1}{2}$ fache Schwerkraftwirkung ergibt. Die

Pflanzen wurden vor dem Einsetzen und nach dem Herausnehmen aus den Sägespähnen gemessen und zwar immer in derselben Reihenfolge. Die hier angeführten Zahlen geben die ursprüngliche Länge und den Zuwachs in Millimetern an.

Außen (29 g)		Innen (5 $\frac{1}{2}$ g)		Ruhe g	
Ursprüngl.	Zuwachs	Ursprüngl.	Zuwachs	Ursprüngl.	Zuwachs
Länge		Länge		Länge	
31	41.5	34.5	9	30	8.5
33	40.5	38	11	35	13.5
37	44	39	13	37.5	10.5
40	9.5	41	12.5	42	13
44	41	44.5	9	43	14.5
45	40	45	17	44	44
46.5	43	46	9.5	44	46
48	44	48	12	45	40
49	44.5	49	11	46	42
50	41	50.5	18	48	12.5
53	9.5	54	14	55	17
Mittl. Zuwachs 44.13		42.36		42.82	

Aus dem Mittel der Zuwachse ersehen wir, dass die Pflanzen unter dem Einfluss der Centrifugalkraft um ein Geringes weniger gewachsen sind.

Versuch 7. Wurzel von *Pisum sativum*.

Die Centrifugalkraft war diesmal eine bedeutend geringere, indem die Achse nur 100 Umdrehungen per Minute machte. Eine kurze Zeit ging die Maschine bedeutend schneller (160 Umdrehungen), was ich nicht weiter in Rechnung bringe. Es genügte jedoch diese Unregelmäßigkeit, um aus den äußeren Kasten Wasser zu entfernen, so dass diese etwas trockener sein mussten. Dauer des Versuches von 12^h 15^m Mittags bis 2^h 15^m Mittags des nächsten Tages (26 $\frac{1}{4}$ Stunden), Temperatur 16—19° C.

Außen (7 $\frac{1}{3}$ g)		Innen (13 $\frac{3}{4}$ g)		Ruhe (1 g)	
Ursprüngl.	Zuwachs	Ursprüngl.	Zuwachs	Ursprüngl.	Zuwachs
Länge		Länge		Länge	
29.5	43	26.5	18.5	27	9
30	18.5	28	23	29	20.5
32	16.5	28	20	30	11.5
34	13	29	13	30	14.5
35	20.5	33	12.5	32.5	15.5
36	20	34	21	33.5	24

Außen (71/3 g)		Innen (43/4 g)		Ruhe (1 g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
36	19	35	22	34	20
36	22	36	23	35	21
37.5	11	37	23.5	35	24
38	10.5	38	16.5	37	20
39	16.5	40	20.5	37	19
42	18	40	21.5	43	21.5
Mittl. Zuwachs 16.54		42.5	15	Mittl. Zuw. 18.37	
Mittl. Zuw. 19.23					

Das geringste Wachstum ist wieder in den Außenkasten. Diesen folgen die Ruhelkasten, das größte Wachstum ist in den inneren Kasten.

Versuch 8. Wurzel von *Vicia faba*.

Dauer des Versuches von 7^h Abends bis 3^h 45 Nachmittags des nächsten Tages (20 1/4 Stunden), Temperatur 16—24° C.; 160 Drehungen per Minute. In einem äußeren, inneren und Ruhelkasten befinden sich je 7 Pflanzen, welche unter einander verglichen werden; in den anderen Kasten je 12 Pflanzen, die jedoch bei Beginn des Versuches etwas kürzer waren als die der ersten Serie.

I. Serie.

Äußere Kasten (16 g)		Innere Kasten (3 g)		Ruhelkasten (g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
54	24	38.5	18	47.5	24
55	25	42	25.5	54.5	22.5
56	20	47	19.5	56	22
56	24	53	26	60	22
59	23	54	31	61	21
61	17	56.5	33	62	19
Mittl. Zuwachs 22.16		62	21	21.75	
24.85					

II. Serie.

Äußere Kasten (16 g)		Innere Kasten (3 g)		Ruhelkasten (g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
13.5	16.5	11.5	11	13	20
15.5	13.5	15	20	14.5	18
15.5	21.5	16	24	15.5	15.5

Äußere Kasten (16 g)		Innere Kasten (3 g)		Ruhekasten (g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
17	13.5	16	16.5	15.5	18.5
17	15.5	16	25	15.5	18.5
17.5	21.5	17	19	16	16
18	17	17.5	21	17	18.5
18	15.5	18	23	19	18.5
19.5	20	18.5	14.5	21	17
21.5	22.5	21.5	20.5	21.5	19
22.5	17.5	22	25	22	19
24.5	21	23.5	19	24	21.5
Mittl. Zuwachs 47.79 mm			49.87	49.26	

In der ersten Serie ist das geringste mittlere Wachstum bei den Pflanzen in Ruhe. Etwas größer ist das Wachstum unter dem Einfluss einer 16 fachen Schwerkraft; am meisten sind die Pflanzen in den inneren Kasten gewachsen. Bei der zweiten Serie sind die Pflanzen unter dreifacher Schwerkraft wiederum am stärksten gewachsen, diesen zunächst stehen die Pflanzen in Ruhe und diesen folgen die Pflanzen der äußeren Kasten. Die beiden Serien unter einander verglichen, ergeben ein ziemlich bedeutendes Plus für die erste Serie, was auch natürlich ist, da hier die Wurzeln bei Beginn des Versuches schon länger, d. h. dem Maximum der großen Periode schon näher waren. Es wird uns aus diesem Versuche klar, wie viel darauf ankommt, nur gleich lange Wurzeln zu verwenden, ein Umstand, dem ich bei diesen Versuchen nicht immer Rechnung getragen habe.

Versuch 9. Wurzel von *Vicia faba* in Wasser.

Die Pflanzen befanden sich jede einzeln in weiten Eprovetten, die durch dünne, mit kleinen Löchern versehene Korke verschlossen wurden. Die Cotyledonen befanden sich in einem feuchten Raum, die Wurzeln in Wasser. Leider lief bei einigen Pflanzen beim Einsetzen das Wasser aus, andere waren fast gar nicht gewachsen. Dauer des Versuches vom 24. Juni 4^h 45 Mittags bis zum 25. Juni 4^h 45 Mittags (24 Stunden). Temperatur 18—21° C. Die Achse machte 140 Umdrehungen in der Minute.

Äußere Kasten (44½ g)		Innere Kasten (3 g)		Ruhe (g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
30	21.5	30	16	29	20.5
34	13	29.5	21.5	32	19
35.5	24	36.5	17.5	38	18
38	21	38	23	42	18

Äußere Kasten (44½ g)		Innere Kasten (3 g)		Ruhe (g)	
Ursprüngl.		Ursprüngl.		Ursprüngl.	
Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs	Länge	Zuwachs
41	23	39,5	21,5	41	21
41,5	21,5	40	13,5		19,30
42,5	19	41	21		
	20,00	43	15,5		
			18,79		

Wir sehen, wie die Pflanzen ungefähr gleich gewachsen sind, wenn auch die geringe Zahl der Pflanzen keine besondere Sicherheit des Resultates gewährt. —

Ich komme nun dazu, das Wachstum der Pflanzen zu untersuchen, die dem Einfluss der Schwere gänzlich entzogen sind, oder präziser ausgedrückt, indem ich die horizontal gelegten Pflanzen um eine horizontale Achse langsam rotiren ließ, wurde der Zug der Schwere in der Richtung des betreffenden Organes ganz aufgehoben. Da ich am Schluss meiner Arbeit ohnehin eine Kritik von Resultaten und Methoden gebe, sei es mir gestattet, gleich zu meinen Versuchen überzugehen.

Versuch 10. Aufhebung der Schwerkraftwirkung an Wurzeln von *Vicia faba*.

(Hierzu Tabelle 6.)

Die Pflanzen wurden am 30. October Abends in die Kasten gethan, am nächsten Morgen markirt und 4^h 15^m zum ersten Male gemessen. Wenn sich auch verhältnissmäßig viele Pflanzen krümmten, so wuchs die Mehrzahl doch recht regelmäßig, weshalb ich auch diesen Versuch hier anführen darf. In dem ersten Zeitabschnitte sind die Pflanzen bedeutend weniger gewachsen, als im zweiten. In der dritten Periode kommt sowohl ein weiteres Steigen, als ein Fallen des Wachstums vor. In der vierten Periode bleibt das Wachstum auf derselben Höhe. Es ist deshalb dieser Zeitabschnitt besonders dazu geeignet, zu zeigen, wie durch das Einschalten der Horizontalstellung keinerlei Veränderungen stattfinden. In der folgenden Periode fällt das Wachstum gleichmäßig ab. Da wir in allen Schwankungen, welche die zeitweise rotirenden Pflanzen zeigen, nur das getreue Abbild der Normalpflanzen finden, so ist es klar, dass die Schwerkraft in diesem Falle ohne Wirkung ist. Dasselbe zeigen die Mittelwerthe, die ebenfalls sehr gut stimmen.

Zeit	Temperatur	Rotirende Kasten	Ruhekasten
11 ^h 15 ^m — 5 ^h 45 ^{ab}	23 — 24	0.90	0.90
5 ^h 45 ^{ab} — 12 ^h 15 ⁿ	23 — 24 ¹ / ₂	1.50	4.48
12 ^h 15 ⁿ — 6 ^h 15 ^f	23 ¹ / ₂ — 23	4.42	4.52
6 ^h 15 ^f — 12 ^h 45 ^m	22 ¹ / ₂ — 24 ¹ / ₂	1.43	4.46
12 ^h 45 ^m — 6 ^h 45 ^{ab}	22 ¹ / ₂ — 24 ¹ / ₂	4.25	4.26

Versuch 11. Aufhebung der Schwerkraftwirkung an Wurzeln von *Vicia faba*.

(Hiezu Tabelle 7.)

Da die Pflanzen nur kürzere Zeit (vom Vormittag bis Nachmittag) in den Kasten gekeimt hatten, bevor sie gemessen wurden, so sind die Differenzen zwischen der ersten und zweiten Periode ziemlich groß und unregelmäßig. In den übrigen Zeitabschnitten verhalten sich rotirende und nicht rotirende Pflanzen vollkommen gleich. Die dritte Periode weist eine Senkung der Wachsthumscurve auf, die jedoch in der vierten und fünften Periode wieder ausgeglichen wird. In dem letzten und vorletzten Zeitabschnitte wachsen die Pflanzen entweder gleichmäßig fort oder ihr Wachstum verlangsamt sich etwas.

Zeit	Temperatur	Rotirende Kasten	Ruhe- kasten
4h 30 ab—10h 30 n	22 ¹ / ₂ —24	4.30	4.36
10h 30 n — 4h 30 f	24 —23	1.24	4.32
4h 30 f —10h 30 m	24 —22 ¹ / ₂	4.44	4.44
10h 30 m — 4h 30 ab	22 —23	1.31	4.23
4h 30 ab—10h 30 n	22 —23	4.36	4.36
10h 30 n — 7h 30 f	24 ¹ / ₂ —23	1.26	4.22
7h 30 f — 4h 30 m	24 ¹ / ₂ —24	4.40	4.45
Mittl. Gesamtwachsthum		4.24	4.25

Was die Mittelwerthe aus den einzelnen Zeiträumen anbelangt, sehen wir, wie bei der ersten Einschaltung der Drehung die rotirenden Pflanzen um ein Geringes (0.08 mm pro Stunde) weniger, die übrigen beiden Male aber etwas schneller gewachsen sind. Nimmt man das Mittel aus sämtlichen Perioden, so stimmen die Zahlen für zeitweise rotirende Pflanzen mit denen der ruhenden vollständig überein.

Versuch 12. Aufhebung der Schwerkraftwirkung an Stengeln von *Lupinus luteus*.

(Hiezu Tabelle 8.)

Ich pflanzte die Keimlinge am 6. November um 3^h Nachmittags in die Kasten, um sie Nachts 10^h 45^m zum ersten Male zu messen. Die Temperatur war anfangs etwas unregelmäßig. Die Sägespähne ziemlich feucht. Dieser Versuch hat besonderen Werth, weil die Wachsthumscurve jeder einzelnen Pflanze genau mit der Curve übereinstimmt, die uns durch die Mittelwerthe gegeben ist. Ausnahmen davon stehen nur vereinzelt da. Das erste Maximum liegt in der dritten Periode, von wo aus die Curve abfällt bis zur fünften Periode. Im sechsten Zeitraum (9 Stunden dauernd) ist eine Steigerung zu bemerken, die jedoch gleich wieder einer Verminderung des Wachsthum Platz macht. Die Zeit der Rotation fällt das eine Mal in

den aufsteigenden, das andere Mal in den absteigenden Arm der Curve, ohne irgend eine Änderung hervorzubringen.

Zeit	Temperatur	Rotirende Kasten	Ruhekasten
10 ^h 45 n — 4 ^h 45 f	22 ¹ / ₂ —27	0.31	0.36
4 ^h 45 f — 10 ^h 45 m	23 ¹ / ₂ —25 ¹ / ₂	0.41	0.44
10 ^h 45 m — 4 ^h 45 ab	23 ¹ / ₂ —24 ¹ / ₂	0.51	0.67
4 ^h 45 ab—10 ^h 45 n	22 ¹ / ₂ —24	0.35	0.39
10 ^h 45 n — 7 ^h 45 f	23 —24	0.22	0.27
7 ^h 45 f — 4 ^h 45 ab	23 —24	0.33	0.36
4 ^h 45 ab—12 ^h 45 n	23 —24	0.20	0.25

Die Mittelwerthe stimmen auch insofern überein, als die Normalpflanzen immer um etwas schneller gewachsen sind, als die anderen. Da dieses Verhältniss sich durch die Aufhebung der Schwere nicht ändert, so sind die Zahlen eben so beweisend, als ob sie vollkommen gleich wären. — Das Resultat dieser Versuche ist also wiederum: die Aufhebung der Schwerkraft hat keinen Einfluss auf das Längenwachsthum.

Ich schließe wiederum jene Versuche an, wo die Größe des Zuwachses in einem einzigen längeren Zeitraume bestimmt wurde. Die Pflanzen wurden vor dem Einsetzen und nach dem Herausnehmen aus den Holzkasten gemessen.

Versuch 43. Wurzel von *Pisum sativum*.

Dauer des Versuches von 5^h 15^m Abends (des 29. Juni) bis 2^h 30^m Mittags des nächsten Tages (21¹/₄ Stunden). Temperatur 20—21° C.

Horizontal gelegt		Vertical	
Ursprüngl. Länge	Zuwachs	Ursprüngl. Länge	Zuwachs
37	22	47	19
40	21	47	23
45	22	49	19
46	25.5	49	24
48	21	51	21
49	22	53	24
49	22	Mittl. Zuw. 21.66	
51	21		

Mittlerer Zuwachs 22.06

Die Differenz zwischen den Mittelwerthen ist so gering, dass man sich veranlasst sieht, das Wachsthum als gleich anzunehmen. Differenzen in Feuchtigkeit und Widerstand der Sägespäähne sind in diesem Falle nicht vorhanden.

Versuch 14. Wurzel von *Vicia faba*.

Der Versuch wurde in derselben Art wie der vorige angestellt. Beginn der langsamen Rotation Samstag 4^h 45 Abends, Ende Montag 10^h 15 41¹/₂ Stunde). Die Temperatur schwankte zwischen 14,5—17° C.

Horizontal gelegt		Vertical	
Ursprüngl.	Zuwachs	Ursprüngl.	Zuwachs
Länge		Länge	
24	29,5	17	24
25	27	21	17,5
26	28	26	14,5
27	33,5	28	31,5
29	27	30	27
33,5	28,5	34,5	35,5
33,5	27,5	32	18
34,5	31,5	33,5	34
36	26	34	29,5
39	24,5	35	35,5
39	31,5	39	36
41	23,5	40	28
42	38	41	32
43,5	31,5	42	38
55	25,5	43,5	33,5
Mittlerer Zuwachs	28,86 mm	52	35
			29,37 mm

Wir sehen dasselbe Resultat wie beim vorigen Versuch, nämlich dass das Wachstum sich nicht ändert. War beim vorigen Versuch ein kleines Plus im Wachstum der horizontal gelegten Wurzeln zu bemerken, so finden wir dies jetzt bei den vertical stehenden. Die Differenzen kommen also auf Rechnung individueller Verschiedenheiten.

Versuch 15. Stengel von *Lupinus luteus*.

Je 11 Pflanzen wurden gemessen und in Sägespäähne eingesetzt. Sowohl bei den horizontal gelegten, als bei den vertical stehenden Wurzeln waren je zwei Stück zu Grunde gegangen. Dauer des Versuches vom 1. Juli 10^h 30^m Vormittags bis 2. Juli 4^h Nachmittags (29¹/₂ Stunde). Temperatur 21—22¹/₂° C.

Horizontal gelegt		Vertical	
Ursprüngl. Länge	Zuwachs	Ursprüngl. Länge	Zuwachs
24	18	25	20
27.5	14.5	26	15
29	23	26.5	19.5
29.5	13.5	29	18
31	15	29	20
31	22	31	16
32	20	32	13
34	12	32	15
35.5	15.5	33	16
47.05		47.05	

Diese vollständige Übereinstimmung ist Zufall. Sie zeigt aber doch, wie der Zug der Schwerkraft keinerlei Hemmung am Stengel hervorbringt.

Ich komme nun zu der letzten Reihe von Versuchen, welche zeigen, dass nicht nur das Gesamtwachstum der Pflanzen trotz Centrifugalkraft und Horizontalstellung dasselbe bleibt, sondern dass auch in den einzelnen wachsenden Zonen durch die verschiedene Schwerkraftwirkung keinerlei Veränderungen hervorgerufen werden. Wenn man Wurzeln horizontal legt, so wächst vermöge der Schwerkraft die Oberseite schneller, die Unterseite langsamer, d. h. wenn wir uns die Pflanze in horizontal liegende Längsschichten zerlegt denken, so wird das Wachstum der oberen Schichten im Vergleich zu den unteren bedeutend begünstigt. Wirkt nun die Schwere nicht in transversaler Richtung, sondern in der Richtung der Organachse, d. i. in longitudinaler Richtung, so können wir uns vorstellen, dass das Wachstum der einzelnen Querschichten (Zonen) in gleicher Weise beeinflusst würde. Dem positiven Geotropismus der Wurzeln entsprechend, müsste bei vermehrter Schwerkraftwirkung das Wachstum der oberen Zonen vermehrt, das der unteren Zonen vermindert werden; die unmittelbare Folge davon wäre, dass durch dieses Plus im Wachstum das Wachstumsmaximum in eine andere Zone gerückt würde. Auch der Fall wäre denkbar, dass die oberen Zonen längere Zeit noch fortwachsen würden und somit die ganze wachsende Zone sich verlängerte. Bei den negativ geotropischen Stengeln mussten umgekehrt die unteren Zonen im Wachstum begünstigt werden. Trotz dieser Verschiebung des Wachstums konnte das Gesamtwachstum gleich bleiben, sobald sich die Abnahme und Zunahme in den einzelnen Zonen ausglich.

War durch die einfache Schwere ein Gleichgewichtszustand geschaffen, der sich darin aussprach, dass in einer bestimmten Zone das Maximum des Wachstums lag, so musste sich auch durch die Aufhebung oder Vermehrung der Schwere eine Änderung kundgeben. Nichts von

diesem trat ein. Das Zonenwachsthum blieb trotz Centrifugalkraft und Horizontalstellung dasselbe. Am deutlichsten konnte man dieses Resultat an den Wurzeln erkennen, da hier die wachsende Region ziemlich scharf abgeschlossen, das Maximum leicht und bestimmt zu erkennen ist. Bei den hypocotylen Gliedern von Helianthus, Lupinus u. s. w. wächst in der ersten Zeit die ganze Länge des Organes, und auch später ist die wachsende Strecke ziemlich ausgedehnt. Ich lege daher das Hauptgewicht auf die Versuche mit Wurzeln.

Stengel und Wurzeln wuchsen unter denselben Bedingungen, in den gleichen Kasten wie bei früheren Versuchen. Die Wurzeln wurden mit Hinweglassung der Wurzelhaube in der Länge von 2 cm durch Tuschstriche in Zonen von je 1 mm getheilt, die in den betreffenden Tabellen mit I bezeichnete Zone ist die der Spitze zugewendete. Bei den hypocotylen Gliedern von Cucurbita pepo wurde die ganze Länge in Zonen von je 2 mm eingetheilt. Zone I ist die am Einschnitte der Cotyledonen gelegene. Die Zahlen in den Tabellen geben die Länge einer einzelnen Zone nach dem Ablauf der bestimmten Zeit an.

Versuch 16. Einwirkung der Centrifugalkraft auf Wurzeln von *Vicia faba* (Zonen).

(Hiezu Tabelle 9.)

Das Markiren von Wurzeln dauerte von $\frac{1}{2}10$ — $\frac{1}{2}11$ Uhr Vormittags, um welche Zeit die Rotationsmaschine mit den Kasten in Gang gesetzt wurde. Sie machte 156 Umdrehungen in der Minute, was für die äußeren Kasten einer 18fachen, für die inneren Kasten einer $3\frac{1}{2}$ fachen Schwerkraft entspricht. Temperatur während des Versuches 23—24° C.

Wie wir aus der Tabelle 9 entnehmen, liegt bei sämtlichen Pflanzen das Wachsthummaximum zwischen der 4. und 5. Zone. Dasselbe ergibt sich, wenn wir die Summen von je 6 zusammengehörigen Pflanzen vergleichen. Das Wachsthum reicht in allen Fällen bis zur 10. Zone und nimmt in den letzten Zonen ungefähr gleichmäßig ab.

Versuch 17. Einwirkung der Centrifugalkraft auf Wurzeln von *Vicia faba* (Zonen).

(Hiezu Tabelle 10.)

Dieser Versuch bot ganz dieselben Resultate, wie der vorige. Die Pflanzen waren schon am Tage, bevor sie markirt wurden, in die Kasten gethan. Das Markiren dauerte von 9^h 15—10^h Vormittags, und zwar geschah dies in der Reihenfolge, dass ich immer je eine Pflanze aus jedem Kasten nahm, so No. 1, 13, 25, 2, 14, 26 u. s. w. Die Maschine war im Gang von 10^h früh bis 4^h 15 Nachmittags. Temperatur 23—24° C. Da von den

Pflanzen in den inneren Kasten eine zu Grunde ging, musste, um zu einem Vergleich zu kommen, bei der Summirung der Zuwachse angenommen werden, die sechste Pflanze sei ebenso wie die fünf anderen gewachsen.

Versuch 48. Einwirkung der Centrifugalkraft auf Stengel von *Cucurbita pepo* (Zonen).

(Hiezu Tabelle 44.)

Die Pflanzen wurden am 31. Januar Morgens eingesetzt, am 1. Februar (von 9^h 45^m Morgens bis 40^h 45^m) in Zonen getheilt und dann in den Rotationsapparat gethan, der 152 Drehungen in der Minute machte. Es ergab das für die äußeren Kasten eine Schwerkraftwirkung von 17½ g, für die inneren Kasten von 3½ g. Die Rotation dauerte bis zum 2. Februar 4^h 20 Nachmittags (29¾ Stunden). Temperatur 23—27° C.

Leider war das Gesamtwachsthum bei den Pflanzen in Ruhe etwas stärker, als bei den rotirenden Pflanzen. Der Grund hievon war, dass ich zu dem Versuche, um das Wachsthum zu beschleunigen, zu feuchte Sägespäähne nahm und in Folge dessen besonders aus den Außenkasten viel Wasser ausgetrieben wurde. Da es sich jedoch nicht um das Gesamtwachsthum handelte, sondern um Zonen, die ganz gut stimmten, so ist auch dieser Versuch verwendbar. Dass bei dem stärkeren Wachsthum das Maximum in einzelnen Fällen in der zweiten, statt in der dritten Zone erscheint, liegt in der Natur der Sache.

Versuch 49. Einwirkung der Horizontalstellung auf Wurzeln von *Vicia faba* (Zonen).

(Hiezu Tabelle 42.)

Die Pflanzen wurden am 17. Januar Vormittags in die Kasten gethan, am nächsten Tage markirt und sodann der langsamen Rotation unterworfen. Dauer des Versuches bis 6^h 20 Abends, Temperatur 19—21° C. Der Rotationsapparat blieb einmal kurze Zeit stehen, die Pflanzen zeigten jedoch keine Krümmungen. Bei den Pflanzen No. 50 und 54 waren die unteren Tuschstriche verwischt. Sie mussten daher bei der Berechnung der Summe weggelassen werden. Das Maximum liegt sowohl bei rotirenden, als bei nicht rotirenden Pflanzen in der 5. Periode. Ausnahmen davon sind ganz vereinzelt. Die Summe aus sämtlichen Pflanzen stimmt mit dieser Thatsache vollständig überein.

Versuch 20. Einfluss der Horizontalstellung auf Wurzeln von *Vicia faba* (Zonen).

(Hiezu Tabelle 43.)

Die Pflanzen wurden den 14. Januar (Abends) eingesetzt, am 15. von 4^h 45^m—11^h 55^m Mittags markirt. No. 37—42 wuchsen horizontal.

No. 49—54 unter normalen Bedingungen bis 9^h 30 Abends. Temperatur 19—21° C. Das Maximum des Wachsthums schwankt zwischen der 4. und 5. Zone, durch die Horizontalstellung keine Veränderung.

Versuch 21. Einfluss der Horizontalstellung auf das hypocotyle Glied von Cucurbita pepo (Zonen).

(Hiezu Tabelle 44.)

Das Umsetzen der Pflanzen in die Kasten erfolgte am 24. Januar Vormittags, die Eintheilung des Stengels in Zonen von je 2 mm ging am nächsten Tage vor sich (9^h 50—10^h 50 Vormittags). Dauer des Versuches 30³/₄ Stunden. Temperatur 18—24¹/₂° C. Die erste Zone ist meistens weniger gewachsen, als die nächsten zwei oder drei, die ungefähr gleiches Wachsthum zeigen. Die wachsende Zone ist sehr ausgedehnt und geht allmählich in die ausgewachsenen Theile über. Eine Verschiedenheit, die auf die Schwerkraftwirkung zurückgeführt werden könnte, ist nicht zu bemerken.

Das Resultat der eben beschriebenen Versuche ist also: die Geschwindigkeit des Wachsthums in den einzelnen Zonen wird durch den Einfluss der Schwere nicht geändert.

Erklärungen und Schlussfolgerungen aus den Versuchen.

Wenn wir den Einfluss der Schwerkraft auf die Pflanze betrachten, so wird uns klar, dass dieselbe eine zweifache Wirkung haben muss. Erstens wirkt das Gewicht der Pflanze, welches einen Zug ausübt, der als statisches Moment in Betracht kommt. Zweitens wirkt die Schwere als auslösende Kraft, indem sie Wachsthumsvorgänge hervorruft und Spannkraft, die in der Pflanze vorhanden sind, in Thätigkeit versetzt. Die daraus entstehenden Leistungen sind ansehnlich genug, um ziemlich bedeutende Lasten zu heben. Bekanntlich wird ja vielfach ein horizontal gelegter Stengel wieder aufgerichtet und die Wurzel dringt ein in Quecksilber, in die Erde, und diese Bewegungen kommen auch dann noch zu Stande, wenn ein gewisses Gewicht entgegenwirkt. Wenn die ausgelöste Wirkung auch verhältnissmäßig sehr groß ist im Vergleich zu der geringen auslösenden Wirkung, so vermag dieser Geotropismus doch nur eine bestimmte Arbeit zu leisten. Wir können einen Stengeltheil so belasten, dass er nicht nur nicht aufwärts, sondern sogar abwärts wächst, und auch die Wurzel kann in ein zu hartes Substrat nicht eindringen. Bei manchen Pflanzentheilen kommt noch der Umstand in Betracht, dass dieselben nicht die genügende Festigkeit besitzen, um sich aufrecht zu er-

halten. Dies ist z. B. bei den Windepflanzen der Fall, die ohne Stütze sich nicht aufrecht erhalten können. Hier übersteigt das Gewicht der Pflanze ihre geotropische Kraft. Solche durch das Eigengewicht hervorgerufene Krümmungen können durch das fernere Wachstum fixirt werden.

Stellen wir nun die Pflanze unter den Einfluss der Centrifugalkraft, so haben wir ebenfalls eine doppelte Wirkung. Erstens bringt das Eigengewicht einen stärkeren Zug hervor, zweitens wird die auslösende Wirkung gesteigert. Der Zug des Eigengewichtes steigt mit der Schwere, während die Steigerung der auslösenden Wirkung der gesteigerten Schwerkraftwirkung keineswegs proportional sein muss. In welchem Verhältnisse letztere zu einander stehen, ist unbekannt. Die Stellung, welche ein Pflanzentheil bei der Centrifugalkraft annimmt, wird die Resultante sein aus dem gesteigerten Eigengewicht und der in einem anderen Verhältniss gewachsenen geotropischen Kraft. Bei dem Anhängen von Gewichten an den Stengel wird das wirksame statische Moment ebenfalls erhöht, aber der Unterschied von der Centrifugalwirkung besteht darin, dass die auslösende Kraft dieselbe bleibt. Demgemäß ist eine größere geotropische Kraft thätig, wenn ein bestimmtes statisches Moment durch die Centrifugalwirkung erzielt, als wenn die gleiche Zugkraft durch Anhängen eines Gewichtes erreicht wird. In Folge dessen wird die geotropische Aufwärtskrümmung in letzterem Falle mit größerer Intensität angestrebt.

Zur Bestätigung des hier Gesagten kann ich folgenden Versuch anführen. Lupinenkeimlinge, deren Cotyledonen bekanntlich sehr groß sind, wurden so in den Centrifugalapparat eingesetzt, dass sie senkrecht auf dem Rotationsradius standen. Das Gewicht eines Cotyledonenpaares betrug 0.28 gr (Mittel aus 4 Pflanzen). Hierzu ist zu rechnen das Gewicht des über dem Boden erhobenen Stengelstückes, das in seiner ganzen Länge 0.29 gr ausmachte. Wollte man nun die auf den Stengel wirkende Last berechnen, so sind diese Zahlen mit der Größe der Centrifugalkraft (in diesem Falle 34 g) zu multipliciren. Der durch die Cotyledonen ausgeübte Zug, welcher dem Aufrichten des Stengels entgegenwirkte, betrug also 8.68 gr, die am Ende des hypocotylen Gliedes wirkten, das ferner noch durch die bezüglichlichen, aus dem Gewichte des Stengelgliedes entspringenden statischen Momente abwärts gebogen wurde. Der Erfolg war, dass sich sämmtliche Stengel nach neunstündiger Dauer des Versuches gegen die Rotationsachse gekrümmt hatten. Vermehrte ich nun in gleicher Weise das Gewicht der Cotyledonen durch Anhängen von 5 resp. 10 gr, ohne jedoch zu gleicher Zeit die Schwerkraftwirkung zu steigern, so sah ich, wie bei 10 gr Belastung die Aufrichtung des horizontal gelegten Stengels nur sehr unvollkommen gelang. Bei 5 gr Belastung, also bei geringerem statischen Momente, kam die Aufrichtung zwar auch zu Stande, aber nicht so schnell wie bei den rotirenden Stengeln. Die ausgelöste Wirkung ist also in diesem Falle zugleich mit der auslösenden Kraft gesteigert worden.

Die gekrümmten Theile nehmen in beiden Fällen S-form an, was uns ganz natürlich erscheinen muss. Das Gewicht der Cotyledonen bog den Basaltheil der Stengel in der Richtung der Last, die hier am längsten Hebelarm wirkte. Die Aufwärtskrümmung erfolgte, dem Zuge entgegen, nur in der Nähe der Cotyledonen, hauptsächlich aus dem Grunde, weil hier das statische Moment der Last am kleinsten war. Außerdem war hier das Wachsthum des Stengels am stärksten.

Ein anderes Beispiel giebt uns folgender Versuch mit den negativ geotropischen Fruchträgern von *Mucor mucedo*, deren specifischer Geotropismus ebenfalls durch die gesteigerte Schwerkraftwirkung vergrößert wird. Es ist eine schon seit DUTROCHET¹ bekannte Erscheinung, dass die Oberfläche des Substrates die Richtung gewisser Pflanzen, so lange sie noch nicht zu hoch sind, bestimmt. Man hat diese Erscheinung mit dem Namen der Eigenrichtung belegt. Diese Kraft ist es, welche unter Anderem auch die Fruchträger von *Mucor mucedo* bestimmt, senkrecht auf die Oberfläche des Substrates zu wachsen, oder die Mistel senkrecht auf den von ihr befallenen Ast stellt. Erreicht der *Mucor* eine gewisse Länge, so überwiegt sein negativer Geotropismus diese Eigenrichtung und der Sporangiumträger krümmt sich negativ geotropisch. Der *Mucor* war schon in den früheren Stadien seiner Entwicklung ebenfalls geotropisch, nur konnte dieser Geotropismus der Eigenrichtung entgegen nicht zur Geltung kommen. Wurde nun die auslösende Wirkung durch die Anwendung einer Centrifugalkraft von 47 g gesteigert, so bogen die Fruchträger schon bei einer Länge von 4—4 $\frac{1}{2}$ mm im Sinne ihres negativen Geotropismus um, während sie unter dem Einfluss der einfachen Schwere 5—7 mm und länger werden konnten, bevor sie sich krümmten.

Es sei mir gestattet, noch einige Details dieser Versuche zu geben. Die Mucorsporen wurden möglichst dünn auf Würfel von geknetetem Brod oder von Holz, das mit Mistdecoct getränkt war, ausgesät. Diese Würfel waren 2 $\frac{1}{2}$ cm hoch, 4 $\frac{3}{4}$ cm breit und 4 $\frac{1}{2}$ cm lang und auf einem Gestell befestigt, das sich in einem 4 $\frac{1}{2}$ cm weiten Glaseylinder befand. Am Boden des Cylinders sowie an der durch Kork verschlossenen Oberseite waren feuchte Torfplatten befestigt, um in dem Cylinder eine dampfgesättigte Atmosphäre herzustellen. Durch den, den Cylinder verschließenden Kork war ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr geführt, das auf der oberen Torfplatte endigte und den Zweck hatte, die Communication mit der äußeren Luft herzustellen, ohne dass im Cylinder ein Austrocknen stattfände. Bei einigen Versuchen ließ ich den Pilz so lange unter dem Einfluss der gewöhnlichen Schwerkraft keimen, bis die Fruchträger eben über dem

1) Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux. Paris 1824. p. 92 ff. Weiteres bei Sachs, Arbeiten des Bot. Instituts in Würzburg. 1879. Bd. 2. p. 221.

Substrate erschienen, und unterwarf sie erst dann der Centrifugalkraft. Bei anderen Versuchen ließ ich die Würfel mit dem Pilze unmittelbar nach der Aussaat rotiren. Ein in derselben Art mit *Coprinus lagopus* angestellter Versuch ergab das gleiche Resultat.

Betrachten wir nun das Verhalten der Wurzeln. Wir haben hier ganz die analogen Kräfte wie bei dem Stengel, nur mit dem Unterschiede, dass bei der Wurzel durch den mechanischen Zug der Schwere eventuell eine Beschleunigung hervorgerufen werden kann. Das Gewicht der ausgewachsenen Wurzelstrecken kommt natürlich gar nicht in Betracht, da dasselbe auf die übrigen Theile ohne Einfluss ist. Nur der Zug der wachsenden Zonen kann von Bedeutung sein. Bei der einfachen Schwere ist dieser Zug so minimal, dass man ihn als mechanischen Zug vernachlässigen kann. Auch in unseren Centrifugalversuchen hatte der natürlich entsprechend gesteigerte mechanische Zug offenbar keine Bedeutung für eine Beschleunigung des Wachsens. Bei einem Gewicht der wachsenden Wurzelzonen von 0,014 gr im Mittel würde bei einer Centrifugalkraft von 20 g als Maximum auf den von der Spitze fernsten Theil ein Zug von 0,05 gr per \square mm herauskommen. Diese Zahlen ergaben sich, wenn ich die Wurzelspitze von *Vicia faba* in einer Länge von 40 mm wog und den Zug für den mittleren Querschnitt von 5,56 \square mm (Radius = 4,33 mm) berechnete. Erst bei einer Centrifugalkraft von 400 g haben wir eine Belastung von 1 gr per \square mm, also für den betreffenden Querschnitt einer Wurzel 5,56 gr. Natürlich kann man sich die Centrifugalkraft und den mechanischen Zug noch weiter gesteigert denken, so dass zuletzt ein Zerreißen der Wurzel herbeigeführt würde. Eine andere Frage ist es aber, ob dann überhaupt noch Wachstum stattfindet. Der mechanische Zug kann ebenfalls auslösend wirken, und dies müsste wohl auch der Fall sein, wenn J. BARANETSKI'S Angabe¹⁾ zutrifft, dass bei Stengeln ein in ihrer Wachstumsrichtung ausgeübter Zug eine Verlangsamung des Wachsens zur Folge hat. Thatsächlich haben wir bei unseren Experimenten keinen Erfolg des mechanischen Zuges gefunden, so dass wir dieserhalb eine derartige auslösende Wirkung nicht anzunehmen haben.

Die Theorie von HOFMEISTER, dass der positive Geotropismus in einem Herabsinken plastischer Massen bestände, hat längst seine Widerlegung gefunden. Auch das aus dieser Theorie erklärte²⁾ Ausziehen und Dünnerwerden der Wurzeln bei der Centrifugalwirkung, verbunden mit einer Anschwellung nach der Rotation, ist kein mechanischer Zugeffect. Schon J. SACHS³⁾ hat erwähnt, dass solche Anschwellungen auch durch vorübergehende Benetzung hervorgerufen würden. Bei meinen zahlreichen Ver-

1) Die tägliche Periodicität im Längenwachstum der Stengel. *Mém. de l'acad. imp. d. sc. de St. Pétersbourg. VII^e Série. Tome XXVII. No. 2. 1879. p. 20.*

2) HOFMEISTER, *Lehre von der Pflanzenzelle*, p. 283.

3) *Arbeiten des Würzburger Instituts. Bd. I. (1873) p. 712.*

suchsreihen zeigten nur jene Wurzeln die besprochene Erscheinung, die längere Zeit an der Luft gelegen hatten, oder in ein bedeutend feuchteres oder trockeneres Medium kamen. Beim Wechsel von Rotation und Ruhe, die ich so häufig angewendet hatte, wuchsen die Wurzeln stets in der normalen Dicke fort, sobald sie nicht aus den Sägespähen herausgenommen wurden.

Wollte ich ein vollständiges Bild der Einwirkung der Schwerkraft auf das Längenwachsthum erlangen, so durfte es mir nicht genügen, den Einfluss der Schwerkraft in der Stärke von g bis $30 g$ zu untersuchen, sondern ich musste mir auch die Frage vorlegen, ob eine Schwere von 0 — g eine Bedeutung hätte. Die Methode, die Wurzeln horizontal zu legen und sie langsam rotiren zu lassen, hat uns gezeigt, dass die Schwere auch dann nicht wirkt. Nichtsdestoweniger waren dies nicht ganz commensurable Verhältnisse, und wenn wir bisher den Ausdruck gebraucht haben, die Schwerkraft wirke bei der langsamen Rotation um eine horizontale Achse gar nicht, so dürfen wir nicht vergessen, dass dies eigentlich bloss eine Redewendung ist, die uns sagt, sie wirkt nicht krümmend. In facta ist sie noch immer thätig, nur dass sie nicht in die Richtung der Längsachse der Organe fällt.

Wie es möglich ist, dass keine Krümmungen zu Stande kommen, ist leicht einzusehen. Die Schwerkraft bedarf ebenso, wie das Licht, einer gewissen Zeit, bevor sie eine Veränderung an der Pflanze hervorbringen kann. Bei der Drehung um eine horizontale Achse bietet jedoch die Pflanze der Schwerkraft schon wieder eine neue Seite dar, bevor noch die Wirkung an der ersten Stelle eingetreten ist. In diesem Falle fehlt also der Schwerkraft jedenfalls die geotropische Wirkung.

Nun wäre aber auch folgender Fall denkbar. Wie bekannt, erfährt bei der Horizontallegung von Pflanzentheilen (ohne Drehung) das Wachsthum der einen Seite eine Beschleunigung, das der anderen Seite eine Verlangsamung. Man könnte sich nun denken, dass z. B. die Beschleunigung früher eintrete, als die Verlangsamung. Wenn nun bei der Drehung dasselbe stattfand, so musste das Gesamtwachsthum entschieden gesteigert werden, denn die erst nach längerer Zeit wirkende Verlangsamung konnte diese Beschleunigung zwar hemmen, aber nicht beseitigen. Das Resultat meiner Versuche hat bewiesen, dass dies nicht stattfand. Hätte ich bei meinen Experimenten die Stengel nicht in Rillen, sondern frei in Luft schwebend wachsen lassen, so wäre es ebenfalls möglich gewesen, dass durch das Gewicht der Cotyledonen eine geringe einseitige Dehnung hervorgerufen wurde, welche immerhin schon eine gewisse Vermehrung des Wachstums hätte erzielen können. Doch diesem Fehler war, wie gesagt, schon vorgebeugt.

Wie ich schon am Anfange meiner Abhandlung angedeutet, hatte ich mir vorgenommen, nur den Einfluss der Schwerkraft auf normal liegende Organe zu prüfen. Davon streng zu trennen ist die Frage, welchen Effect die Schwerkraft hervorruft, wenn das Pflanzenorgan in einer anderen als der

durch ihren specifischen Geotropismus bedingten Richtung weiterwächst. Die Versuche FRED. ELFVING's¹⁾ haben gezeigt, dass diese Ablenkung von der normalen Richtung in der That einen nicht unbedeutenden Einfluss ausübt. Er arbeitete mit den Fruchträgern von *Phycomyces nitens*. Dieselben sind negativ geotropisch und dabei stark positiv heliotropisch. Abwärts gerichtete Fruchträger krümmen sich in ziemlich kurzer Zeit nach aufwärts, wenn sie im Finstern wachsen; werden sie dagegen von unten beleuchtet, wachsen sie vermöge der stärkeren Lichtwirkung gerade fort gegen die Lichtquelle. Es war indessen schwierig, Licht von derselben Intensität bald von oben nach unten, bald von unten nach oben fallen zu lassen, was nothwendig gewesen wäre, sollten nicht durch die verschiedene Intensität der Beleuchtung Differenzen im Wachstum entstehen. ELFVING wählte daher die Beleuchtung von der Seite unter gleichzeitiger langsamer Drehung der Pflanzen um eine verticale Axe. Da die Beleuchtung von allen Seiten gleich stark ist, wächst die Pflanze ohne jegliche Krümmung gerade aus. Aus den stündlichen Zuwachsen construirte der Verfasser die Wachsthumscurve des Pilzes, der gerade so wie höhere Pflanzen eine große Periode besitzt. Bei Einschaltung der Inversstellung fand fast jedesmal eine Verlangsamung des Wachsthums statt. Diese Einwirkung kann sich unmittelbar oder als Nachwirkung kundgeben. Wenn nun diese Thatsache zunächst nur für einzellige Organismen gilt, so ist es doch mehr als wahrscheinlich, dass sich, gerade so wie in anderen Beziehungen, auch hier dieselben gleich verhalten wie höhere Pflanzen. Mit positiv geotropischen Organen hat ELFVING keine Versuche angestellt.

Mit diesen Angaben stimmt die von VÖCHTING²⁾ erwähnte Thatsache überein, dass die abwärts gerichteten Zweige der Trauerbäume durch die Einwirkung der Schwerkraft gehemmt werden, während das Wachstum aufwärts gerichteter Zweige der normalen Arten gefördert wird, und zwar betrifft diese Hemmung und Förderung sowohl das Längen- als das Dickenwachstum der Zweige. VÖCHTING sieht in der Schwerkraft die alleinige Ursache, wenn die Trauerbäume hinter der aufrecht wachsenden Stammform zurückbleiben. Er sagt ferner am angeführten Orte über diesen Punkt: der Unterschied im jährlichen Wachstum der auf- und abwärts gerichteten Zweige tritt dann am wenigsten hervor, wenn man von den letzteren solche zum Vergleich wählt, welche in der Nähe der Veredlungsstelle auf der Oberseite der gekrümmten Mutterzweige entspringen; er wird dagegen deutlich und manchmal auffallend sichtbar, wenn man die späteren Zweiggenerationen an der Spitze der abwärts gerichteten Zweige ins Auge fasst. Es bleiben diese Triebe und zwar meist erheblich kürzer

1) Beitrag zur Kenntnis der physiologischen Einwirkung der Schwerkraft auf die Pflanzen. Abdruck aus Acta Soc. Scient. Fenn. T. XII. 1880. p. 5—17.

2) Bot. Zeitung 1880. p. 599.

und dünner, als die ihnen entsprechenden Glieder der aufwärts wachsenden Generationen.

Die Richtigkeit der Thatsachen anerkannt, ist doch zu bedenken, dass man hier Zweige verschiedener Varietäten vergleicht. Außerdem ist es noch etwas Anderes, ob die Einwirkung der Schwerkraft auf inversgestellte Organe lange Zeit oder nur kurze Zeit dauert. Im ersten Falle werden sich leicht Unterschiede in der Ernährung und der Beschaffenheit des Pflanzentheiles geltend machen, die in Folge der langen Zeit sich vermehren müssen und größere Unterschiede im Wachsthum zur Folge haben können. Immerhin sind diese Angaben im hohen Grade beachtenswerth.

Eine Hemmung des Wachsens durch die Schwerkraft ergiebt sich auch aus den von W. PFEFFER¹⁾ an den Brutknospen von *Marchantia polymorpha* beobachteten Erscheinungen. Die Zellen der freien Oberfläche der Brutknospen, welche zu Wurzelhaaren auszuwachsen die Fähigkeit haben, sind an den Brutknospen schon durch Inhalt und Form gekennzeichnet. Dieselben haben, sobald ihnen genügende Feuchtigkeit, Temperatur und Licht geboten ist, das Bestreben, zu Wurzelhaaren auszuwachsen. Diese, der Brutknospe innewohnende Kraft wird nun durch die Schwerkraft aufgehoben, wenn diese in einer entgegengesetzten Richtung thätig ist. Auf der dem Erdcentrum zugekehrten Seite und ebenso in horizontaler Richtung werden unter allen Umständen Wurzelhaare gebildet, während auf der dem Zenith zugekehrten Seite die Zellen nur dann auswachsen, sobald der hemmende Einfluss der Schwerkraft durch eine andere Kraft (längere Berührung mit einem feuchten Körper) beseitigt wird. Vergleichen wir unsere Resultate mit diesem Beispiel: die Wurzelhaare sind positiv geotropisch, die Zellen resp. jungen Wurzelhaare, welche an der erdwärts gekehrten Seite der Brutknospen stehen, befinden sich also in normaler Lage, während die Wurzelhaare auf der entgegengesetzten Seite invers stehen. Bei der normalen Lage der betreffenden Zellen zur Schwere hat die den Brutknospen innewohnende Kraft, welche dieselben hervorwachsen lässt, freien Lauf. Im anderen Falle tritt eine in die Augen springende Hemmung ein.

Dasselbe wurde von H. LEITGEB²⁾ für die Wurzelhaare von *Lunularia* angegeben.

In dieselbe Kategorie gehört die von VÖCHTING³⁾ angeführte Thatsache, dass an abgeschnittenen Zweigen das Auswachsen der Knospen auf der Oberseite (bei Horizontalstellung), der Wurzelanlagen auf der Unterseite durch die Schwerkraft gefördert wird, während das Auswachsen auf der entgegengesetzten Seite eine Hemmung erleidet. Der Einfluss der Schwer-

1) Arbeiten des Würzburger Instituts. Bd. I. 4874. p. 77.

2) Bot. Zeitung 1872. p. 766 (Bericht der Naturforscherversammlung zu Leipzig.)

3) Organbildung im Pflanzenreiche. Bd. I. 1878.

kraft kann auch hier durch andere Kräfte verdeckt werden. So wohnt abgeschnittenen Weidenzweigen die morphologische Function inne, an dem apicalen Ende leichter Knospen, am basalen Ende leichter Wurzeln zu entwickeln.

Es erübrigt noch zum Schluss den so nahe liegenden Vergleich zwischen Schwere und Licht anzustellen. Beide Kräfte bringen, wie bekannt, bei einseitigem Angriff unter bestimmten Umständen Krümmungen zu Wege, die wesentlich von der Intensität der äußeren Kraft abhängen. Für Licht und Schwerkraft ist dies schon länger bekannt. Die geotropische resp. heliotropische Kraft nimmt mit der Größe der auslösenden Wirkung zu, ohne jedoch proportional derselben steigen zu müssen. Dass auch eine andere Art auslösender Vorgänge möglich ist, zeigen uns die durch Reiz hervorgerufenen Krümmungen und Bewegungen, wobei es gleichgültig ist, wie stark die auslösende Kraft ist und ein Minimum des Reizes genügt, die ganze mögliche Bewegung auszulösen. Steigert man beim Licht die Intensität über eine gewisse Grenze, so wird die Krümmung allmählich schwächer und hört endlich ganz auf¹⁾. Ob dasselbe auch bei der Schwerkraft stattfindet, ist nach der Analogie des Lichtes nicht zu entscheiden.

Beim Licht kommt ferner auch noch die Wirkung in Betracht, welche die Steigerung des allseitig gleichen Lichtes bewirkt. Auf dieselbe Weise wirkt natürlich auch einseitig einfallendes Licht, wenn die Pflanze gedreht wird, also thatsächlich gleich beleuchtet ist. Die analoge Wirkung bei der Schwerkraft ist noch nicht untersucht. Man könnte die Pflanzen einer verschieden großen Centrifugalkraft unterwerfen, die senkrecht auf die Organachse wirkt. Damit sich die Pflanzen nicht geotropisch krümmten, müssten dieselben zu gleicher Zeit um die eigene Achse gedreht werden. Auf diese Art käme eine allseitig gleiche Schwerkraftswirkung zu Stande. Bei der Unbekanntschaft mit den inneren Ursachen der diesbezüglichen Erscheinungen kann hier nur das Experiment entscheiden, das mit geeigneten Apparaten wohl ausführbar wäre. Eher möchte man übrigens glauben, dass kein Erfolg herauskommt, weil Horizontalstellung mit Drehung und Längsstellung keinen Unterschied im Wachstum ergeben.

¹⁾ WIESNER, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreich. 1878. I. p. 37. Separatabzug aus Denkschr. der Wiener Akademie.

Tabelle 1.

Kasten I.

Kasten II.

Zeit	Temperatur	Stunden	Kasten I.						Kasten II.					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ursprüngliche Länge in mm			46	52	40	39.5	49	47	51	52.5	53	56.5	56	60
3h50 m — 6h50 ab	20 — 21 $\frac{1}{2}$	3	1.00	1.00	0.75	0.25	0.41	0.41	0.25	0.08	0.50	0.16	0.50	0.16
6h50 ab — 9h35 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21	2 $\frac{3}{4}$	1.17	1.27	1.17	0.45	0.27	0.54	0.36	0.09	0.63	0.18	0.36	0.48
9h35 n — 8h35 f	19 $\frac{1}{2}$ — 21	11	1.38	1.68	1.27	0.98	1.22	1.34	0.86	0.36	0.84	0.39	0.81	1.04
8h35 f — 12h5 m	20 — 21	3 $\frac{1}{2}$	1.42	1.35	1.07	0.92	1.35	1.35	1.07	0.35	1.00	1.00	1.35	1.42
12h5 m — 4h5 ab	20 — 20 $\frac{1}{2}$	4	1.37	1.31	1.31	1.18	1.62	1.31	1.06	1.12	0.81	1.12	1.31	1.12
4h5 ab — 7h5 ab	20 — 21 $\frac{1}{2}$	3	1.00	1.83	1.50	1.33	1.75	1.50	0.91	0.75	1.16	1.16	1.33	1.16
7h5 ab — 10h5 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21	3	1.00	1.08	1.08	1.16	1.16	1.25	1.25	1.00	1.16	1.25	1.41	0.83
10h5 n — 9h5 f	19 — 21	11	1.13	1.25	1.29	1.31	0.77	1.18	1.15	0.84	1.25	1.27	1.29	0.93
3h50 m — 9h35 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{3}{4}$	1.08	1.13	0.96	0.35	0.34	0.47	0.30	0.08	0.56	0.17	0.43	0.17
9h35 n — 9h35 f	19 $\frac{1}{2}$ — 21	11	1.38	1.68	1.27	0.98	1.22	1.31	0.86	0.36	0.84	0.39	0.81	1.04
8h35 f — 4h5 ab	20 — 21	7 $\frac{1}{2}$	1.39	1.33	1.19	1.05	1.48	1.33	1.06	0.73	0.90	1.06	1.33	1.27
4h5 ab — 10h5 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21 $\frac{1}{2}$	6	1.00	1.45	1.29	1.24	1.48	1.37	1.08	0.87	1.16	1.20	1.37	0.99
10h5 n — 9h5 f	19 — 21	11	1.13	1.25	1.29	1.31	0.77	1.18	1.15	0.84	1.25	1.27	1.29	0.93

Kasten III.

Kasten IV.

Zeit	Temperatur	Stunden	Kasten III.						Kasten IV.					
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ursprüngliche Länge in mm			46	52	40	40	48	44	50	52	54	55	56.5	61
3h50 m — 6h50 ab	20 — 21 $\frac{1}{2}$	3	1.00	1.25	0.25	0.58	0.25	0.25	0.16	0.50	0.50	0.50	0.56	0.16
6h50 ab — 9h35 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21	2 $\frac{3}{4}$	1.00	1.36	0.90	0.63	0.36	0.45	0.09	0.84	0.54	0.45	0.90	0.18
9h35 n — 8h35 f	19 $\frac{1}{2}$ — 21	11	1.48	1.43	1.40	1.04	0.84	1.04	0.25	0.38	1.36	1.18	1.48	0.86
8h35 f — 12h5 m	20 — 21	3 $\frac{1}{2}$	1.14	1.14	1.42	1.07	0.64	1.24	0.57	1.21	1.28	1.28	1.14	1.21
12h5 m — 4h5 ab	20 — 20 $\frac{1}{2}$	4	1.00	1.75	1.56	1.37	1.06	1.43	0.81	1.50	1.37	1.12	1.18	1.06
4h5 ab — 7h5 ab	20 — 21 $\frac{1}{2}$	3	0.83	1.33	1.16	1.41	0.75	0.91	0.83	1.58	1.25	1.16	0.91	1.25
7h5 ab — 10h5 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21	3	0.83	1.50	1.50	1.33	1.08	1.08	0.75	1.44	1.44	1.25	1.08	1.16
10h5 n — 9h5 f	19 — 21	11	0.88	1.38	1.22	1.27	1.06	1.00	1.11	1.25	1.33	1.25	0.86	1.36
3h50 m — 9h35 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{3}{4}$	1.00	1.30	0.57	0.60	0.30	0.35	0.12	0.65	0.52	0.47	0.78	0.17
9h35 n — 8h35 f	19 $\frac{1}{2}$ — 21	11	1.48	1.43	1.40	1.04	0.84	1.04	0.25	1.38	1.36	1.18	1.48	0.86
8h35 f — 4h5 ab	20 — 21	7 $\frac{1}{2}$	1.07	1.44	1.49	1.22	0.85	1.32	0.69	1.35	1.32	1.20	1.16	1.13
4h5 ab — 10h5 n	19 $\frac{1}{2}$ — 21 $\frac{1}{2}$	6	0.83	1.41	1.33	1.37	0.91	0.99	0.79	1.49	1.33	1.20	0.99	1.20
10h5 n — 9h5 f	19 — 21	11	0.88	1.38	1.22	1.27	1.06	1.00	1.11	1.25	1.33	1.25	0.86	1.36

Tabelle 2.

Aussenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ursprüngliche Länge in mm					62	38	39	58½	40½	58	54	49	38	43½	53	52
5h45 ab—11h45 n	23 —24½	6	0	1	—	—	0.75	1.25	1.04	0.94	1.21	1.16	1.00	1.00	—	0.50
11h45 n—5h45 f	23½—25	6	456	15¾	—	—	0.83	1.83	1.33	1.54	1.54	1.66	1.33	1.29	—	0.83
5h45 f—11h45 m	22 —23½	6	0	1	—	—	1.12	1.71	1.46	1.21	1.46	1.58	1.50	1.29	—	0.96
11h45 m—5h45 ab	22½—24½	6	139	2.0	—	—	1.04	1.87	1.54	1.12	1.41	1.62	1.33	1.29	—	0.87
5h45 ab—11h45 n	23 —24	6	0	1	—	—	1.08	1.58	1.44	1.29	1.37	1.50	1.58	1.37	—	0.96

Innenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ursprüngliche Länge in mm					52	62½	52½	40	39½	53	53½	44	51	42	59	47
5h45 ab—11h45 n	23 —24½	6	0	1	0.91	1.00	—	1.46	1.21	1.08	—	1.21	1.00	—	1.25	0.71
11h45 n—5h45 f	23½—25	6	456	3½	1.37	1.71	—	1.58	1.71	1.37	—	1.50	1.37	—	1.75	1.12
5h45 f—11h45 m	22 —23½	6	0	1	1.58	1.62	1.08	1.96	1.83	1.54	—	1.91	1.54	—	1.83	1.00
11h45 m—5h45 ab	22½—24½	6	139	1½	1.29	1.62	1.33	1.75	1.79	1.46	—	1.96	1.33	—	1.54	1.16
5h45 ab—11h45 n	23 —24	6	0	1	1.12	1.62	1.33	1.41	1.46	1.33	—	1.58	1.50	—	1.00	1.08

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ursprüngliche Länge in mm					40	55½	34½	42	53	52	28	59½	57½	25	38	55
5h45 ab—11h45 n	23 —24½	6	0	1	—	—	0.83	—	1.29	1.16	0.62	1.16	1.29	—	0.75	0.71
11h45 n—5h45 f	23½—25	6	0	1	—	—	1.08	—	1.66	1.58	0.66	1.83	1.71	—	1.08	1.46
5h45 f—11h45 m	22 —23½	6	0	1	—	—	1.16	—	1.37	2.12	0.75	1.75	1.58	—	1.25	1.44
11h45 m—5h45 ab	22½—24½	6	0	1	—	—	1.50	1.58	—	1.75	0.58	1.75	1.66	—	1.44	1.54
5h45 ab—11h45 n	23 —24	6	0	1	—	—	1.54	1.50	—	1.66	0.71	1.62	1.54	—	1.44	1.25

Mittelwerthe.

Zeit	Temperatur	Aussenkasten	Innenkasten	Ruhekasten
5h45 ab—11h45 n	23 —24½	0.98	1.09	0.97
11h45 n—5h45 f	23½—24	1.35	1.49	1.38
5h45 f—11h45 m	22 —23½	1.36	1.58	1.42
11h45 m—5h45 ab	22½—24½	1.35	1.52	1.45
5h45 ab—11h45 n	23 —24	1.35	1.34	1.40

Tabelle 3.
Aussenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
					ursprüngliche Länge in mm											
5h45 f — 11h45 m	21½ — 22½	6	0	1	1.62	1.08	—	1.50	1.41	1.04	1.46	—	1.62	1.62	1.66	1.25
11h45 m — 5h45 ab	21½ — 22½	6	144	15½	1.37	1.08	—	1.75	1.37	1.29	1.71	—	1.50	1.50	1.87	1.29
5h45 ab — 11h45 n	22 — 23	6	0	1	1.37	1.08	—	1.66	1.54	1.58	1.71	—	1.46	1.33	1.75	1.25
11h45 n — 5h45 f	22 — 23	6	144	16	1.21	0.87	—	0.87	1.16	1.25	1.29	—	1.16	1.00	1.33	0.96
5h45 f — 11h45 m	21 — 22½	6	0	1	1.16	0.79	—	0.54	1.21	1.00	1.33	—	1.04	0.96	1.29	0.66
11h45 m — 5h45 ab	22 — 23	6	156	19½	1.08	0.66	—	0.25	1.12	1.08	1.37	—	0.91	1.16	1.04	0.16

Innenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					ursprüngliche Länge in mm											
5h45 f — 11h45 m	21½ — 22½	6	0	1	1.54	(0.50)	(0.79)	1.37	1.00	1.29	1.46	1.46	1.25	1.41	1.25	1.21
11h45 m — 5h45 ab	21½ — 22½	6	144	3	1.83	1.66	1.71	1.37	1.58	1.16	1.54	1.08	1.50	1.46	1.16	1.29
5h45 ab — 11h45 n	22 — 23	6	0	1	1.62	1.79	1.79	1.33	1.46	1.12	1.58	1.16	1.50	1.87	1.37	1.54
11h45 n — 5h45 f	22 — 23	6	144	3½	1.04	1.37	1.12	1.12	1.04	0.96	1.16	0.79	1.33	1.33	1.29	1.00
5h45 f — 11h45 m	21 — 22½	6	0	1	1.33	1.33	1.50	0.91	1.04	0.79	1.25	1.08	1.21	1.25	1.08	1.16
11h45 m — 5h45 ab	22 — 23	6	156	4½	1.33	1.37	1.25	0.87	0.66	0.16	1.33	1.12	1.41	1.12	1.04	0.83

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
					ursprüngliche Länge in mm											
5h45 f — 11h45 m	21½ — 22½	6	0	1	1.44	1.08	1.46	1.16	1.54	1.33	(0.66)	1.08	—	1.44	1.66	(0.58)
11h45 m — 5h45 ab	21½ — 22½	6	0	1	1.58	1.37	1.44	1.33	1.50	1.62	1.16	1.50	—	1.50	1.62	0.75
5h45 ab — 11h45 n	22 — 23	6	0	1	1.58	1.33	1.04	1.58	1.54	—	1.33	1.37	—	1.46	1.37	1.00
11h45 n — 5h45 f	22 — 23	6	0	1	1.16	1.12	0.79	1.25	1.25	—	0.91	1.37	—	1.46	1.29	0.91
5h45 f — 11h45 m	21 — 22½	6	0	1	0.66	1.08	0.83	1.08	1.12	—	0.58	1.21	—	—	1.04	0.71
11h45 m — 5h45 ab	22 — 23	6	0	1	1.16	0.96	1.00	0.71	1.16	—	0.71	1.33	—	—	1.04	0.54

Mittelwerthe.

Zeit	Temperatur	Aussenkasten	Innenkasten	Ruhekasten
5h45 f — 11h45 m	21½ — 22½	4.43	4.21 (4.32)	4.21 (4.34)
11h45 m — 5h45 ab	21½ — 22½	1.44	1.44	1.39
5h45 ab — 11h45 n	22 — 23	1.47	1.51	1.46
11h45 n — 5h45 f	22 — 23	1.11	1.12	1.45
5h45 f — 11h45 m	21 — 22½	0.99	1.16	0.92
11h45 m — 5h45 ab	22 — 23	0.88 (1.04)	1.04 (1.12)	0.95

Tabelle 4.

Aussenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
					ursprüngliche Länge in mm											
5b36 ab—11b36 n	19½—20	6	0	1	0.75	0.75	1.00	0.91	—	0.87	0.79	0.96	0.87	1.04	0.62	0.96
11b36 n—5b36 f	19—20	6	132	12½	0.25	0.50	0.54	0.41	—	0.37	0.29	0.37	0.41	0.33	0.33	0.33
5b36 f—11b36 m	18½—19½	6	0	1	0.50	0.50	0.79	0.71	—	0.54	0.50	0.75	0.79	0.62	0.54	0.58
11b36 m—5b36 ab	19—21½	6	144	15	0.41	0.46	0.79	0.75	—	0.75	0.41	0.75	0.62	0.54	0.46	0.37
5b36 ab—11b36 n	19—20	6	0	1	0.29	0.37	0.54	0.50	—	0.54	0.29	0.66	0.58	0.37	0.44	0.25
11b36 n—8b51 f	19—20	9¼	153	17	0.29	0.43	0.48	0.51	—	0.48	0.29	0.64	0.40	—	0.32	0.29
8b51 f—2b51 m	19—21	6	0	1	0.79	1.00	0.96	1.16	—	0.91	1.00	—	0.62	—	0.87	0.91

Innenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					ursprüngliche Länge in mm											
5b36 ab—11b36 n	19½—20	6	0	1	0.62	0.75	0.75	0.79	0.75	0.87	0.66	0.91	0.75	0.71	1.00	0.71
11b36 n—5b36 f	19—20	6	132	2	0.25	0.25	0.33	0.33	0.21	0.25	0.21	0.21	0.46	0.21	0.33	0.16
5b36 f—11b36 m	18½—19½	6	0	1	0.41	0.50	0.62	0.62	0.41	0.44	0.50	0.62	0.91	0.58	0.75	0.46
11b36 m—5b36 ab	19—21½	6	144	2½	0.37	0.41	0.51	0.66	0.46	0.33	0.29	0.46	0.83	0.37	0.50	0.50
5b36 ab—11b36 n	19—20	6	0	1	0.21	0.50	—	0.50	0.33	0.04	0.50	0.37	0.62	0.29	0.29	0.29
11b36 n—8b51 f	19—20	9¼	153	3	0.43	0.43	—	0.59	—	—	0.48	0.35	0.51	—	0.56	—
8b51 f—2b51 m	19—21	6	0	1	0.75	1.04	—	0.87	—	—	0.96	0.96	—	—	0.87	—

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
					ursprüngliche Länge in mm											
5b36 ab—11b36 n	19½—20	6	0	1	0.83	1.04	0.71	0.83	0.96	1.12	0.83	0.75	0.91	0.54	0.79	1.00
11b36 n—5b36 f	19—20	6	0	1	0.41	0.46	0.29	0.33	0.41	0.50	0.25	0.50	0.46	0.41	0.29	0.41
5b36 f—11b36 m	18½—19½	6	0	1	0.71	0.75	0.50	0.75	0.66	0.71	0.33	0.58	0.66	0.75	0.62	0.75
11b36 m—5b36 ab	19—21½	6	0	1	0.50	0.75	0.41	0.66	0.66	0.83	0.33	0.75	0.79	0.41	0.41	0.50
5b36 ab—11b36 n	19—20	6	0	1	0.54	0.50	0.37	—	—	0.75	0.25	0.41	0.46	0.41	0.33	0.33
11b36 n—8b51 f	19—20	9¼	0	1	0.58	0.54	0.46	—	—	0.81	0.18	0.40	0.48	0.21	0.43	0.32
8b51 f—2b51 m	19—21	6	0	1	1.04	1.08	1.08	—	—	1.50	0.46	0.79	1.08	—	—	0.83

Tabelle 5.

Aussenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	1	2	3	4	5	5	7	8	9	10	11	12
ursprüngliche Länge in mm					24	26	27 $\frac{1}{2}$	27 $\frac{1}{2}$	26	24 $\frac{3}{4}$	35	36 $\frac{3}{4}$	35	37 $\frac{1}{2}$	28	26 $\frac{3}{4}$
4h20 ab—9h5 f	21 $\frac{1}{2}$ —23 $\frac{1}{2}$	16 $\frac{3}{4}$	0	1	0.59	0.73	0.73	0.52	0.92	0.30	0.49	0.70	0.61	0.65	0.77	0.80
9h5 f—3h5 m	23—24	6	135	13 $\frac{1}{2}$	0.25	0.46	0.50	0.46	0.58	0.46	0.37	0.41	0.37	0.37	0.62	0.46
3h5 m—9h5 n	22 $\frac{1}{2}$ —24	6	0	1	0.29	0.25	—	0.46	0.66	0.50	0.16	0.35	0.16	0.46	0.54	0.25
9h5 n—9h5 f	21—23 $\frac{1}{2}$	12	112	9 $\frac{3}{4}$	0.23	0.21	—	0.33	0.33	0.33	0.14	0.21	0.18	0.12	0.27	0.21
9h5 f—3h5 m	20 $\frac{1}{2}$ —21 $\frac{1}{2}$	6	0	1	0.25	0.44	—	0.34	0.91	0.50	0.29	0.29	0.12	0.29	0.54	0.33
3h5 m—9h5 n	24—23	6	120	10 $\frac{1}{2}$	0.41	0.16	—	0.29	0.29	0.62	0.25	0.25	0.12	—	0.46	0.25
9h5 n—6h5 f	21—23	9	130	12 $\frac{3}{4}$	0.11	0.05	—	0.22	0.16	0.11	0.11	0.11	0.02	—	0.08	0.08
6h5 f—3h5 m	21—22	9	0	1	0.44	0.16	—	0.44	0.38	0.08	0.19	0.14	—	0.11	0.30	0.14
3h5 m—9h5 f	21—23	18	0	1	0.12	0.05	—	0.20	0.07	0.41	0.07	0.08	—	0.05	0.20	0.08

Innenkasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	43	44	45	46	47	18	49	20	24	22	23	24
ursprüngliche Länge in mm					25	27 $\frac{1}{2}$	29	25 $\frac{3}{4}$	28	20 $\frac{1}{2}$	32	32	32 $\frac{3}{4}$	20 $\frac{1}{2}$	29	33
4h20 ab—9h5 f	21 $\frac{1}{2}$ —23 $\frac{1}{2}$	16 $\frac{3}{4}$	0	1	0.88	1.40	0.64	0.86	0.49	0.64	0.80	0.63	0.79	0.80	0.77	0.84
9h5 f—3h5 m	23—24	6	135	21 $\frac{1}{2}$	0.45	0.58	0.37	0.58	0.71	0.71	0.50	0.50	0.66	0.66	0.54	0.46
3h5 m—9h5 n	22 $\frac{1}{2}$ —24	6	0	1	0.33	0.66	0.44	0.37	0.74	0.29	0.33	0.21	0.33	0.29	0.29	0.66
9h5 n—9h5 f	21—23 $\frac{1}{2}$	12	112	9 $\frac{3}{4}$	0.33	0.56	0.39	0.41	0.50	0.29	0.35	0.29	0.35	0.41	0.21	0.08
9h5 f—3h5 m	20 $\frac{1}{2}$ —21 $\frac{1}{2}$	6	0	1	0.25	0.79	0.33	0.66	0.79	0.62	0.54	0.33	0.46	0.71	0.50	0.50
3h5 m—9h5 n	24—23	6	120	10 $\frac{1}{2}$	0.33	0.25	0.58	0.33	0.75	0.37	0.29	0.21	0.37	0.41	0.29	0.16
9h5 n—6h5 f	21—23	9	130	2 $\frac{3}{4}$	0.16	0.55	0.14	0.14	0.30	0.11	0.14	0.08	0.08	0.16	0	0.14
6h5 f—3h5 m	21—22	9	0	1	0.22	0.16	0.16	0.25	0.30	0.05	0.19	0.14	0.16	0.44	0.08	0.16
3h5 m—9h5 f	21—23	18	0	1	0.15	0.12	0.43	0.08	0.26	0.05	0.08	0.07	0.44	0.49	0.05	0.09

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	25	26	27	28	29	30	34	32	33	34	35	36
ursprüngliche Länge in mm					22	29 $\frac{1}{2}$		24	22	26 $\frac{3}{4}$	32 $\frac{3}{4}$	32 $\frac{1}{2}$	34	35 $\frac{1}{4}$	29 $\frac{1}{2}$	35 $\frac{1}{4}$
4h20 ab—9h5 f	21 $\frac{1}{2}$ —23 $\frac{1}{2}$	16 $\frac{3}{4}$	0	1	0.89	0.68	—	0.59	0.76	0.98	0.31	0.74	0.71	0.83	0.65	0.55
9h5 f—3h5 m	23—24	6	0	1	0.66	0.50	—	0.33	0.79	0.79	0.46	0.66	0.50	0.66	0.33	0.29
3h5 m—9h5 n	22 $\frac{1}{2}$ —24	6	0	1	0.50	0.25	—	0.21	0.50	0.54	0.04	0.25	0.25	0.33	0.25	0.12
9h5 n—9h5 f	21—23 $\frac{1}{2}$	12	0	1	0.45	0.23	—	0.23	0.50	0.60	0.04	0.33	0.21	0.34	0.14	0.08
9h5 f—3h5 m	20 $\frac{1}{2}$ —21 $\frac{1}{2}$	6	0	1	0.58	0.37	—	0.25	0.62	0.50	0.12	0.33	0.58	0.50	0.46	0.16
3h5 m—9h5 n	24—23	6	0	1	0.37	0.33	—	0.04	0.58	0.46	0.42	0.33	0.16	0.29	0.21	0.12
9h5 n—6h5 f	21—23	9	0	1	0.22	?	—	0.11	0.33	0.44	0	0.14	0.16	0.19	0.14	0.05
6h5 f—3h5 m	21—22	9	0	1	0.30	0.08	—	0.05	0.27	0.30	0.02	0.16	0.19	0.08	0.08	0.05
3h5 m—9h5 f	21—23	18	0	1	0.09	0.05	—	0.05	0.18	0.15	0.08	0.04	0.04	0.13	0.05	0.05

Tabelle 6.
Rotirende Kasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
					ursprüngliche Länge in mm											
4h15m—5h15ab	23—24	6	0	4	0.87	1.00	—	—	1.04	—	0.58	0.83	0.91	—	1.08	—
5h15ab—12h15n	23—24½	7	Dr.	0	1.43	1.60	—	—	1.78	—	1.11	1.35	1.68	—	1.53	—
4h15n—6h15f	23½—25	6	0	4	1.54	1.29	—	—	1.83	—	1.00	1.46	—	1.33	1.54	—
6h15f—12h15m	22½—24½	6	Dr.	0	1.46	1.75	—	—	1.75	—	0.91	1.41	—	1.37	1.41	—
12h15m—6h15ab	22½—24½	6	0	4	1.29	1.87	—	—	1.25	—	0.75	1.33	1.16	1.08	1.33	—

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
					ursprüngliche Länge in mm											
4h15m—5h15ab	23—24	6	0	4	0.79	1.04	0.83	0.87	0.79	—	0.71	—	0.83	—	1.29	0.96
5h15ab—12h15n	23—24½	7	0	4	1.35	1.23	1.46	1.60	1.39	—	1.53	—	1.78	—	1.75	1.25
12h15n—6h15f	23½—25	6	0	4	1.46	1.58	1.71	1.83	1.04	—	1.29	—	1.66	—	1.83	1.33
6h15f—12h15m	22½—24½	6	0	4	1.50	1.58	1.46	1.50	1.42	—	1.21	—	1.58	—	1.87	1.33
12h15m—6h15ab	22½—24½	6	0	4	1.08	1.44	1.46	1.50	1.21	—	1.16	—	1.33	—	1.54	0.83

Tabelle 7.
Rotirende Kasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
					ursprüngliche Länge in mm											
4h30ab—10h30n	22½—24	6	0	4	0.91	1.12	1.41	1.29	1.50	1.16	1.33	1.62	1.12	1.50	1.71	1.00
10h30n—4h30f	21—23	6	Dr.	0	1.12	0.79	1.33	1.37	0.83	1.41	1.58	1.37	0.79	1.50	1.75	1.04
4h30f—10h30m	21—22½	6	0	4	1.08	1.08	1.00	1.37	0.71	1.46	1.37	1.21	0.96	1.29	1.37	0.87
10h30m—4h30ab	22—23	6	Dr.	0	1.12	1.33	1.29	1.41	—	1.50	1.46	1.50	0.83	1.16	1.58	1.25
4h30ab—10h30n	22—23	6	0	4	1.33	1.33	1.00	1.41	—	1.37	1.62	1.58	1.00	1.21	1.62	1.54
10h30n—7h30f	21½—23	9	Dr.	0	1.19	1.11	1.05	1.44	—	1.47	1.58	1.22	1.00	1.22	1.41	1.25
7h30f—4h30m	21½—24	6	0	4	1.08	1.08	1.04	1.29	—	—	1.37	1.21	0.79	1.04	1.21	0.96

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
					ursprüngliche Länge in mm											
4h30ab—10h30n	22½—24	6	0	4	1.12	1.62	1.29	1.41	—	1.54	1.44	1.37	1.29	1.25	1.25	1.46
10h30n—4h30f	21—23	6	0	4	1.04	1.58	1.50	1.50	1.33	1.46	1.21	1.04	1.16	1.37	1.25	1.50
4h30f—10h30m	21—22½	6	0	4	1.00	1.29	1.37	1.21	1.25	1.42	1.29	0.83	1.04	1.16	1.04	1.16
10h30m—4h30ab	22—23	6	0	4	1.21	1.33	1.29	1.42	1.33	1.33	1.33	0.91	1.16	1.25	1.37	1.12
4h30ab—10h30n	22—23	6	0	4	1.37	1.62	1.50	1.41	1.58	1.41	1.37	1.16	1.16	1.25	1.29	1.25
10h30n—7h30f	21½—23	9	0	4	1.38	1.22	1.56	0.78	1.41	1.27	1.36	1.16	0.94	1.13	1.25	1.27
7h30f—4h30m	21½—24	6	0	4	0.96	1.12	1.33	0.79	1.41	—	1.08	1.16	1.12	1.33	1.21	1.25

Tabelle 8.

Rotirende Kasten.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10h45 n—4h45 f	22½—27	6	0	1	0.25	0.46	0.46	0.37	0.21	0.29	0.44	0.21	0.37	0.37	0.33	0.33
4h45 f—10h45 m	23½—25½	6	Dr.	0	0.37	0.41	0.50	0.50	0.37	0.50	0.46	0.29	0.37	0.54	0.41	0.21
10h45 m—4h45 ab	23½—24½	6	0	1	0.33	0.46	0.30	0.66	0.50	0.54	0.62	0.44	0.62	0.46	0.54	0.54
4h45 ab—10h45 n	22½—24	6	Dr.	0	0.25	0.37	0.46	0.37	0.29	0.33	0.46	0.29	0.50	0.29	0.21	0.46
10h45 n—7h45 f	23—24	9	0	1	0.11	0.16	0.27	0.30	0.16	0.22	0.27	0.16	0.27	0.16	0.30	0.27
7h45 f—4h45 ab	23—24	9	Dr.	0	0.22	0.36	0.38	0.44	0.25	0.30	0.36	0.11	0.44	0.27	0.38	0.44
4h45 ab—12h45 n	23—24	8	0	1	0.09	0.12	0.23	0.34	0.18	0.22	0.34	0.09	0.31	0.12	0.18	0.23

Kasten in Ruhe.

Zeit	Temperatur	Stunden	Drehungen	Schwere	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
10h45 n—4h45 f	22½—27	6	0	1	0.44	0.50	0.29	0.44	0.33	0.37	0.29	0.25	0.21	0.50	0.46	0.33
4h45 f—10h45 m	23½—25½	6	0	1	0.54	0.54	0.37	0.50	0.33	0.41	0.41	0.41	0.29	0.58	0.54	0.41
10h45 m—4h45 ab	23½—24½	6	0	1	0.83	0.66	0.83	0.66	0.44	0.58	0.66	0.54	0.66	0.71	0.96	0.54
4h45 ab—10h45 n	22½—24	6	0	1	0.50	0.37	0.46	0.29	0.21	0.44	0.33	0.44	0.44	0.44	0.50	0.37
10h45 n—7h45 f	23—24	9	0	1	0.44	0.25	0.38	0.19	0.14	0.30	0.30	0.16	0.30	0.27	0.33	0.25
7h45 f—4h45 ab	23—24	9	0	1	0.52	0.36	0.50	0.22	0.19	0.33	0.36	0.25	0.36	0.44	0.50	0.33
4h45 ab—12h45 n	23—24	8	0	1	0.37	0.22	0.40	0.22	0.12	0.28	0.25	0.09	0.22	0.28	0.43	0.18

Beilage zu Tabelle 1 (pag. 87).

Stunden	4—6	13—18	7—12	19—24	1—12	13—24	4—6	19—24	13—18	7—12	Stunden	1—12	13—24	Stunden	4—6	19—24	13—18	7—12
3	0.63	0.59	0.27	0.44	0.45	0.50	0.52	0.43										
2½	0.84	0.78	0.30	0.49	0.55	0.63	0.65	0.54	5¼	0.47	0.56	5¼	0.58	0.48				
14	1.30	1.20	0.74	1.08	1.04	1.14	1.19	0.95	11	1.04	1.14	11	1.19	0.95				
3½	1.24	1.10	1.03	1.11	1.13	1.40	1.17	1.06	7½	1.17	1.18	7½	1.21	1.14				
4	1.35	1.36	1.09	1.17	1.22	1.26	1.26	1.22	6	1.20	1.20	6	1.23	1.12				
3	1.48	1.06	1.07	1.16	1.28	1.19	1.32	1.06										
3	1.12	1.22	1.15	1.17	1.13	1.19	1.14	1.18										
11	1.15	1.13	1.12	1.19	1.13	1.16	1.17	1.12	11	1.13	1.16	11	1.17	1.12				

Tabelle 9.

Kasten in Ruhe.

Aussenkasten.			Innenkasten.					Kasten in Ruhe.						
No.	1	2	3	4	5	6	No.		No.		No.		Zuwachs f. 6 Pflanzen	
Urspr. Länge in mm	γ	54	42	49	53	46	Urspr. Länge in mm	γ	36	53	50	38	48	Zuwachs f. 6 Pflanzen
XI	4	4	4	4	4	4	XI	4	4	4	4	4	4	0
X	1	1	1	1	1	1	X	4	4	4	4	4	4	0
IX	4	4	4	4	4	4	IX	4	4	4	4	4	4	3
VIII	4	4	4	4	4	4	VIII	4	4	4	4	4	4	4
VII	4	4	4	4	4	4	VII	4	4	4	4	4	4	4
VI	4	4	4	4	4	4	VI	4	4	4	4	4	4	2
V	2	1	1	3	2	3	V	2	2	2	2	2	2	3
IV	3	2	2	2	2	2	IV	2	2	2	2	2	2	3
III	1	2	2	2	2	2	III	2	2	2	2	2	2	2
II	1	2	1	1	4	3	II	4	4	4	4	4	4	3
I	4	4	4	4	4	4	I	4	4	4	4	4	4	10
														7
														3

Tabelle 10.

Kasten in Ruhe.

Aussenkasten.			Innenkasten.					Kasten in Ruhe.						
No.	1	2	3	4	5	6	No.		No.		No.		Zuwachs f. 6 Pflanzen	
Urspr. Länge in mm	γ	64	76	60	57	65	Urspr. Länge in mm	γ	66	73	59	47	62	Zuwachs f. 6 Pflanzen
XI	4	4	4	4	4	4	XI	4	4	4	4	4	4	0
X	4	4	4	4	4	4	X	4	4	4	4	4	4	3
IX	4	4	4	4	4	4	IX	4	4	4	4	4	4	4
VIII	4	4	4	4	4	4	VIII	4	4	4	4	4	4	4
VII	4	4	4	4	4	4	VII	4	4	4	4	4	4	4
VI	2	2	3	2	2	2	VI	2	2	2	2	2	2	6
V	2	2	2	2	2	2	V	3	2	2	2	2	2	8
IV	2	2	2	2	2	2	IV	2	2	2	2	2	2	7
III	2	2	2	2	2	2	III	4	2	2	2	2	2	5
II	1	1	2	1	1	1	II	4	2	2	2	2	2	3
I	4	4	4	4	4	4	I	4	4	4	4	4	4	0
														8
														3

Aussenkasten.

Innenkasten.

ging schief

Tabelle 11.

Kasten in Ruhe.

Innenkasten.

Aussenkasten.

No.	Aussenkasten.							Innenkasten.							Kasten in Ruhe.							
	1	2	3	4	5	6	7	13	14	15	16	17	18	19	25	26	27	28	29	30	31	Zuwachs f. Pflanzen
Urspr. Länge in mm	24	24	22	26	28	30	36	24	22	24	32	26	32	40	24	24	30	22	26	34	40	
I	2 $\frac{3}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	3	4	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4	4	5 $\frac{1}{2}$	6	15 $\frac{1}{2}$
II	4	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	4	5	2 $\frac{3}{4}$	5	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	20 $\frac{3}{4}$	
III	5	3 $\frac{3}{4}$	4	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{3}{4}$	5	3	4 $\frac{3}{4}$	4	4	4	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	19 $\frac{3}{4}$	
IV	4	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4	5	5	15 $\frac{1}{2}$	
V	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	3	4	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	14 $\frac{1}{2}$	
VI	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	3	4	4	8 $\frac{1}{2}$	
VII	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	
VIII	2 $\frac{1}{2}$	2	2	2	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	2	2 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	2	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	
IX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	2	2	2	2	2	2	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{1}{2}$
X	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2 $\frac{1}{2}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$
XI	etc.	etc.	2	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	2	etc.	2 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$										

Tabelle 12.

Rotirende Kasten.								Kasten in Ruhe.									
No.	37	38	39	40	41	42	43	Zuwachs f. 5 Pflanzen	No.	49	50	51	52	53	54	55	Zuwachs f. 5 Pflanzen
Urspr. Länge in mm	64	53	73	57	53	73	77		Urspr. Länge in mm	63	55	76	46	50	80	75	
XI	1	1	4	1	1	4	4	0	XI	1	4	4	4	1	1	1	0
X	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	1	1	0
IX	1	1	1	1	1	1	1	1	IX	1	1	1	1	1	1	1	1
VIII	1	1	1	1	1	1	1	1	VIII	1	1	1	1	1	1	1	1
VII	1	1	1	1	1	1	1	1	VII	1	1	1	1	1	1	1	1
VI	1	1	1	1	1	1	1	1	VI	1	1	1	1	1	1	1	1
V	2	2	3	2	2	3	3	2	V	2	3	2	2	2	2	2	2
IV	2	2	2	2	2	2	2	2	IV	2	2	2	2	2	2	2	2
III	2	2	2	2	2	2	2	2	III	2	2	2	2	2	2	2	2
II	4	4	1	1	1	1	1	1	II	4	1	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	4	4	0	I	1	1	1	1	1	1	1	0

Tabelle 13.

Rotirende Kasten.								Kasten in Ruhe.									
No.	37	38	39	40	41	42	43	Zuwachs f. 5 Pflanzen	No.	49	50	51	52	53	54	55	Zuwachs f. 5 Pflanzen
Urspr. Länge in mm	46	51	49	43	44	46	48		Urspr. Länge in mm	49	41	44	39	61	49	40	
XI	1	4	4	1	1	4	1	0	XI	1	1	4	4	1	1	1	0
X	1	4	4	1	1	4	1	1	X	1	1	4	4	1	1	1	1
IX	1	4	4	1	1	4	1	1	IX	1	1	4	4	1	1	1	1
VIII	1	4	4	1	1	4	1	1	VIII	1	1	4	4	1	1	1	1
VII	1	4	4	1	1	4	1	1	VII	1	1	4	4	1	1	1	1
VI	2	2	2	2	2	2	2	2	VI	2	2	2	2	2	2	2	2
V	3	3	3	3	3	3	3	9	V	3	3	3	3	3	3	3	9
IV	3	3	3	3	3	3	3	8	IV	3	3	3	3	3	3	3	8
III	4	4	4	4	4	4	4	5	III	4	4	4	4	4	4	4	5
II	1	1	1	1	1	1	1	2	II	1	1	1	1	1	1	1	2
I	1	1	1	1	1	1	1	1	I	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle 14.

Rotirende Kasten.								Kasten in Ruhe.									
No.	37	38	39	40	41	42	43	Zuwachs f. 6 Pflanzen	No.	49	50	51	52	53	54	55	Zuwachs f. 6 Pflanzen
Urspr. Länge in mm	20		28	38	38	46	60		Urspr. Länge in mm	30	32	38	38		38	44	
I	2		3	2	3	2	2	5	I	2	?	2	3				5
II	2		3	2	3	2	2	4	II	2	3	2	3				4
III	3		3	2	3	2	2	5	III	3	3	3	3				5
IV	3		3	2	3	2	2	5	IV	3	3	3	3				5
V	3		3	2	3	2	2	5	V	3	3	3	3				5
VI	3		3	2	3	2	2	4	VI	3	3	3	3				4
VII	3		3	2	3	2	2	3	VII	3	3	3	3				3
VIII	2		2	2	2	2	2	3	VIII	2	2	2	2				2
IX	2		2	2	2	2	2	3	IX	2	2	2	2				2
X	2		2	2	2	2	2	1	X	2	2	2	2				1
XI	2		2	2	2	2	2	1	XI	2	2	2	2				1
XII	2		2	2	2	2	2	0	XII	2	2	2	2				0
XIII	2		2	2	2	2	2	0	XIII	2	2	2	2				0
XIV	etc.		2	etc.	etc.	etc.	etc.		XIV	etc.	etc.	etc.	etc.				