

wurzeln.

leichen. In  
Callus ab-  
rovisorische  
gestaltungs-  
nen; wäh-  
Entstehung  
ie das nor-  
e Rolle des

### XVIII.

## Haben Temperaturschwankungen als solche einen ungünstigen Einfluss auf das Wachsthum?

Von

Dr. R. Pedersen.

Die Frage über die Bedeutung der Temperaturschwankungen für das Pflanzenwachsthum hat bis jetzt nur eine einzige experimentelle Beantwortung gefunden, nämlich von KÖPPEN<sup>1)</sup> (1870), welcher der Temperaturveränderung an und für sich einen verzögernden oder einen stark schädigenden Einfluss auf das Wachsthum zuschreibt (l. c. p. 7 und 20), indem nach ihm »während der Temperaturänderung das Wachsthum langsamer vor sich geht, als bei gleicher constanter Temperatur« (l. c. p. 22). Diese Anschauung scheint im Allgemeinen von den Pflanzenphysiologen adoptirt zu sein; doch hat SACHS<sup>2)</sup> (1872) gelegentlich Zweifel über deren Richtigkeit geäußert. Bei seinen Untersuchungen über den Einfluss der Lufttemperatur und des Tageslichtes auf die stündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachsthums der Internodien zeigt er, »dass zur Zeit der stärkeren Wachsthumfähigkeit der Pflanzen (in der Mitte der grossen Periode) Temperaturschwankungen von einem bis einigen Graden in der Stunde das Wachsthum mächtig verändern, und zwar so, dass dem Steigen der Temperatur ein Steigen, dem Fallen der Temperatur ein Fallen der Zuwachse entspricht«. Und hieraus folgert er: »Jedenfalls erleidet hierdurch die Angabe KÖPPEN'S, wonach Temperaturschwankungen an sich das Wachsthum verlangsamen, eine Einschränkung; denn dieser Satz im weiteren Sinne genommen, würde verlangen, dass einer Temperatursteigerung ein gleich-

1) KÖPPEN: Wärme und Pflanzenwachsthum. Bul. de la soc. imp. des naturalistes de Moscou 1870.

2) SACHS: Arbeiten d. bot. Instituts in Würzburg. Heft II. 1872. p. 164.

zeitiges Fallen der Zuwachscurve entspreche, was nicht der Fall ist.« Ja, wenn die Angabe KÖPPEN's richtig wäre, so wäre es ein Wunder, dass ausgiebiges Wachstum in der Natur überhaupt möglich ist, da constante Temperaturen im gewöhnlichen Lauf der Dinge strenggenommen nicht existiren. Bei diesen Zweifeln schien es gerathen, die Frage einer neuen sorgfältigen Prüfung zu unterwerfen; nach Aufforderung des Herrn Prof. SCHENK hatte ich schon in Leipzig einige darauf bezügliche Beobachtungen, welche der Annahme KÖPPEN's wenig entsprachen, gemacht; noch entschiedener zu Ungunsten des Letzteren gestaltete sich eine sehr ausführliche Untersuchungsreihe, welche ich im Würzburger Laboratorium ausgeführt habe.

KÖPPEN hat seine Anschauung theils auf sogenannte »phaenologische« Data, theils auf Experimente basirt. Was diese phaenologischen Beobachtungen betrifft, so soll denselben zwar ihr etwaiger Werth in anderer Richtung nicht abgesprochen werden; dass sie jedoch für die Beantwortung pflanzenphysiologischer Fragen werthlos sind, ist schon wiederholt ausgesprochen worden und liegt in der Natur der Sache. Ich lege daher den phaenologischen Theil von KÖPPEN's Abhandlung bei Seite und gehe auf den experimentellen Theil derselben ein, der mir jedoch in mehr als einer Richtung zu schweren Bedenken Anlass giebt.

1. KÖPPEN hat mit kranken Pflanzen experimentirt. Dass dieses der Fall gewesen, sieht man aus seiner Angabe (l. c. p. 13), dass von den zu jedem Versuche verwendeten Samen nur die Hälfte, höchstens drei Viertel gekeimt haben, und dass unter den Keimpflanzen sehr häufig mehrere so schlecht entwickelt waren, dass er bei Berechnung der Mittelzahlen keine Rücksicht auf diese »offenbar abnormen Exemplare« (l. c. p. 11) nehmen zu dürfen glaubte. Mehrere ihm unerklärbare Vorkommnisse bei seinen Versuchen werden hierdurch leicht verständlich, z. B. dass er (l. c. p. 40) in einem Versuch bei  $28,4^{\circ}$  constanter Temperatur in 48 Stunden einen Zuwachs von  $22,4^{\text{mm}}$  bei der Lupinenwurzel, und  $23^{\text{mm}}$  bei der Erbsenwurzel findet, während er in gleicher Zeit bei einer ebenso constanten Temperatur von  $28,5^{\circ}$  einen Zuwachs von  $50,1^{\text{mm}}$  bei der Lupinenwurzel und einen Zuwachs von  $40^{\text{mm}}$  bei der Erbsenwurzel findet.

Die Ursache der Erkrankung seiner Versuchskeimpflanzen war offenbar die, dass er einen allzu feuchten, nicht ordentlich durchlüfteten, ja bisweilen einen in Fäulniss begriffenen Keimboden, nämlich ein Gemisch von Sand und Sägespänen verwendete. Diese Mischung sättigte er »bei Beginn des Versuchs mit Wasser (l. c. p. 4). Er selbst sagt: »wohl möglich, dass für manche Samen ein weniger feuchter Boden zuträglicher gewesen wäre«; er meint aber, dass dieser der einzige Weg sei, auf dem gleichförmige Feuchtigkeitsbedingungen sich zu Wege bringen lassen, und ebenso, dass zur Vermeidung von Temperaturschwankungen eine spärliche

Durchlüftung des Bodens nothwendig sei. Dass er wirklich bisweilen faule Sägespäne verwendete, folgt aus seiner Aeusserung: »dagegen glaube ich jetzt, dass die langsame Fäulniss der Sägespäne dieselben für derartige Versuche ganz unpassend macht« (l. c. p. 5), und ferner daraus, dass er als Hauptursache der »Widersprüche zwischen scheinbar unter ganz gleichen Umständen angestellten Experimenten« — »den Uebelstand des Faulens der Sägespäne« angiebt (l. c. p. 8).

2. KÖPPEN hat bei den meisten seiner Versuche Temperaturen über dem Optimum, ja bisweilen über dem Maximum verwendet. Da jede Temperatur über dem Optimum für die Pflanze schädlich ist und desto schädlicher, je näher an dem Maximum und je feuchter der Boden ist, so versteht es sich von selbst, dass seine Versuchspflanzen krank und schlecht wachsende waren, ja bisweilen sind vielleicht die Pflanzen dadurch getödtet worden. Dieses war wahrscheinlich der Fall in der Versuchsreihe mit Sinapis, Lepidium, Linum und Convolvulus (l. c. p. 23); obgleich das Optimum für diese Pflanzen  $27^{\circ}$  C. ist, wurde doch zweimal täglich die Temperatur bis  $37^{\circ}$  erhöht, welche Temperatur das Maximum für Lepidium und wahrscheinlich auch für die anderen Pflanzen ist oder demselben doch nahe liegt. Kein Wunder also, dass Pflanzen, welche eine solche Behandlung erfuhren, schwächer wuchsen als andere, welche die ganze Zeit hindurch sich in  $23,5^{\circ}$  C. befanden, und dass er in zwei anderen parallelen Versuchen, wo die Temperatur nicht über  $25^{\circ}$  ging, das ganz entgegengesetzte Resultat erhielt. In seinen Versuchen No. 7, 9 und 15 sind die Pflanzen bei respective  $40^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$  und  $36,19^{\circ}$  gewachsen, also ebenfalls in Temperaturen, welche bedeutend über dem Optimum und in der Nähe des Maximums liegen.

Ueberhaupt leuchtet von selbst ein, dass bei Versuchen, welche unsere Frage beantworten sollen, nur solche Temperaturen verwendet werden dürfen, welche unterhalb des Optimums liegen. Denn da jede oberhalb des Optimums liegende Temperatur um so ungünstiger wirkt, je höher sie liegt, so folgt, dass bei derartigen Versuchen das Auftreten von Temperaturen oberhalb des Optimums den Gang des Wachstums nothwendig verlangsamten muss, und dass auf diese Weise gefundene Verminderung der Wachstumsgeschwindigkeit, nicht einen schädlichen Einfluss der Schwankung nützlicher Temperaturen zugeschrieben werden darf.

Unter den KÖPPEN'schen Versuchsreihen (l. c. p. 18) finde ich nur zwei: die bei  $14^{\circ}$  (No. 1, 2) und die bei  $16^{\circ}$ — $17^{\circ}$  (No. 3—6), welche nicht an diesem Fehler leiden, und nicht alle Versuche in diesen Reihen sprechen für seine Theorie; eigentlich nur zwei Versuche, der eine mit Lupine, der andere mit Erbse bei  $14^{\circ}$  angestellt (No. 12).

Aber weder diese zwei Versuche, noch der mit Erbsen in 444 Stunden angestellte Hauptversuch (l. c. p. 18) sprechen mit Nothwendigkeit

für seine Theorie, selbst wenn diese Versuche in allen anderen Beziehungen fehlerfrei wären.

3. KÖPPEN hat bei der Berechnung der Mitteltemperaturen die Dauer der einzelnen Temperaturdaten nicht berücksichtigt und in Folge dessen sind die von ihm als Mitteltemperaturen bezeichneten Zahlen nicht die wahren, für die Versuchspflanzen gültigen Mitteltemperaturen. Auf die Zeitdauer, worin die verschiedenen Temperaturen eingewirkt haben, hat er überhaupt nicht Rücksicht genommen, wie aus seinem Schweigen darüber zu schliessen ist, namentlich fällt auf, dass er bei den Versuchen, welche durch Ueberbringen der Pflanzen in Räume von höheren constanten Temperaturen angestellt worden sind, über die Dauer der letzteren schweigt. Bei Versuchen mit schwankender Temperatur kommt es gerade auf die Mitteltemperatur der Zeitintervalle an und nicht auf die Mitteltemperatur der Zeitpunkte, welche keinen wahren Ausdruck für die bei dem Versuch einwirkende Wärme giebt.

Schlechterdings unbegreiflich ist mir, was KÖPPEN mit dem hier folgenden Satze sagen wollte: »Waren die mittleren Temperaturen der beiden Versuchstage etwas verschieden, so gab ich bei Berechnung des Mittels der Temperatur des zweiten Tages einen höheren Werth, als der des ersten, je nach dem Gange der Temperatur im Verhältniss von 5 zu 3 oder von 2 zu 4.«

Da er keine Detailangaben über den Gang der Temperatur bei seinen Versuchen anführt, ist es leider auch mir unmöglich, die wahren Mitteltemperaturen seiner Versuche zu berechnen.

4. KÖPPEN hat nicht hinlänglich Rücksicht auf die individuellen Verschiedenheiten der Versuchspflanzen genommen. Bei seiner Methode zu experimentiren, konnte er diese Fehlerquelle nur »durch Anwendung sehr vieler Exemplare« eliminiren; statt dessen sind seine Versuche an Lupine, Erbse und Mais mit 3, höchstens 7 Pflanzen, und an Saubohnen mit 2, höchstens 6 Exemplaren thatsächlich angestellt, da von der »Normalzahl« der Versuchssamen (5—10) nur die Hälfte oder drei Viertel keimten. Da Detailangaben fehlen, kann man nicht sehen, wie viele und welche von seinen Versuchen mit bloss 2 oder 3 Exemplaren angestellt sind, um so ein Urtheil über den relativen Werth der einzelnen Versuche zu gewinnen.

Aus diesen Angaben wird der urtheilsfähige Leser hinreichend ersehen, welcher Werth den KÖPPEN'schen Angaben beizumessen ist.

### Eigene Untersuchungen.

Da bei Untersuchungen über die Bedeutung der Temperaturschwankungen für das Wachstum Keimwurzeln die zweckmässigsten und bequemsten Versuchsobjecte sind, so habe ich bei meinen Untersuchungen bloss Keimwurzeln verwendet. Selbstverständlich, und wie ich in meiner Kritik KÖPPEX's bereits angedeutet habe, kann ein reines Versuchsergebnis nur erreicht werden durch Anwendung von an und für sich dem Wurzelwachstum nützlichen Temperaturen, also Temperaturen, die nicht über der Optimaltemperatur und nicht zu nahe an der Minimaltemperatur des Versuchsobjectes liegen. Die Frage, welche ich experimentell beantworten will, kann folglich so formulirt werden:

Ist der Zuwachs, welchen eine Wurzel in schwankenden, für sie nützlichen Temperaturen erreicht, verschieden von dem Zuwachs, welchen sie in ebenso langer Zeit in der entsprechenden constanten Mitteltemperatur erreichen würde?

### Untersuchungsmethode im Allgemeinen und Fehlerquellen.

Alle meine Versuche sind mit Keimpflanzen von *Vicia Faba* ausgeführt. Um die individuellen Verschiedenheiten zu verkleinern, wurden bei jedem Versuche gute Samen von derselben Grösse ausgesucht. Diese wurden eingeweicht und in Sägespänen auf die von SACHS (Arbeiten d. bot. Instit. in Würzb. p. 386) angegebene Weise zum Keimen gebracht. Von den Keimpflanzen wurde wieder, um die individuellen Verschiedenheiten noch mehr zu zermindern, eine Auswahl der am besten und gleichmässigsten entwickelten getroffen, so dass zu den correspondirenden Versuchen Keimpflanzen von entsprechendem Entwicklungsgrade und möglichst gleicher Entwicklungsfähigkeit verwendet worden sind.

Da es von Wichtigkeit ist, die Feuchtigkeitsbedingungen constant zu halten, liegt es nahe, Wassercultur zu verwenden. Fast alle meine Versuche sind deshalb durch Wassercultur ausgeführt und zwar nach der von SACHS l. c. p. 387 beschriebenen Methode. Die Keimpflanzen werden auf lange Nadeln gesteckt und an Korkplatten, welche in den Deckeln grosser, theilweise mit Wasser gefüllter Cylindergläser eingelegt sind, so befestigt, dass die Keimblätter über dem Wasser in der feuchten Luft sich befinden.

Auch habe ich Versuche in Erde nach der von SACHS l. c. p. 388 angegebenen Methode angestellt. Zu diesen habe ich einen Zinkkasten mit schrägen, wasserdicht eingekitteten Wänden von dünnem Glas, hinter

welchem die Wurzeln sich beobachten lassen, und mit nicht durchlöcher-ten metallenen Seitenwänden verwendet.

Diese beiden Culturmethoden haben die Vortheile, dass die Feuchtigkeitsbedingungen für alle Pflanzen dieselben sind, und dass man den Zuwachs, welchen jede einzelne Wurzel erreicht hat, bestimmen kann. Die Erdcultur hat den Nachtheil, dass sie bei den Versuchen, wo man eine plötzliche, momentane Temperaturänderung haben will, nicht verwendbar ist, dass man nicht gut mit vielen Pflanzen auf ein Mal experimentiren kann und dass eine gleich zu erwähnende Fehlerquelle bei den Messungen sich geltend macht.

Um bei den Messungen einen festen Ausgangspunkt zu haben, wird bei den Wasserculturversuchen eine Tuschmarke 20 Millimeter von der Wurzelspitze beim Anfange des Versuchs angebracht. Die Länge der wachsenden Region der Fabawurzel erreicht niemals 20 mm, so dass der Zuwachs dieses Stückes der Zuwachs der ganzen Wurzel ist. Die Anbringung der Marke und die Messung geschieht wie l. c. p. 399 beschrieben. Bei den Erdculturversuchen wurde als Ausgangspunkt der Messungen auf der Glaswand, der Wurzelspitze gegenüber, beim Anfange des Versuchs eine Marke mit Asphaltlack angebracht. Um die Fehler des Absehens bei der Anbringung der Marke und bei den Messungen zu vermindern, muss man möglichst dünne Glasplatten an dem Erdkasten verwenden.

Da ich bei vorläufigen Versuchen fand, dass die Optimaltemperatur nicht unter 27° C. (21,6° R.) liegt, so ist 27° C. die höchste Temperatur, die ich bei meinen Versuchen verwende. Die niedrigste Temperatur, die ich verwendet habe, ist 12,5° C. (10° R.). Wie ich die Temperaturschwankungen vornahm, werde ich bei der Beschreibung der Versuche angeben.

Bei der Berechnung der Mitteltemperaturen muss, wie ich oben angedeutet habe, Rücksicht auf die Zeitdauer der Einwirkung der verschiedenen Temperaturen genommen werden. Ist die Temperatur  $a_1^{\circ}$  am Anfang und  $b_1^{\circ}$  am Ende des ersten Zeitintervalles  $i_1$  und  $a_2^{\circ}$  am Anfang und  $b_2^{\circ}$  am Ende des zweiten Zeitintervalles  $i_2$  u. s. w., so ist die Formel, nach welcher die Mitteltemperatur  $t$  des ganzen Zeitraumes berechnet werden muss, folgende:

$$t = \frac{\frac{1}{2}(a_1^{\circ} + b_1^{\circ}) i_1 + \frac{1}{2}(a_2^{\circ} + b_2^{\circ}) i_2 + \dots + \frac{1}{2}(a_p^{\circ} + b_p^{\circ}) i_p}{i_1 + i_2 + \dots + i_p} \quad (1)$$

Sind die Zeitintervalle gleich gross ( $i_1 = i_2 = i_p$ ), das heisst: sind die Temperaturbeobachtungen äquidistante, so nimmt diese Formel die folgende einfachere Form an:

$$t = \frac{\frac{1}{2}(a_1^{\circ} + b_1^{\circ}) + \frac{1}{2}(a_2^{\circ} + b_2^{\circ}) + \dots + \frac{1}{2}(a_p^{\circ} + b_p^{\circ})}{p} \quad (2)$$

Nach dieser Formel sind die mittleren Temperaturen in meiner ersten Versuchsreihe berechnet.

Sind die Temperaturbeobachtungen äquidistante und die Schluss-temperatur jedes Zeitintervalles gleich der Anfangstemperatur des nachfolgenden Zeitintervalles ( $b_1 = a_2, b_2 = a_3, b_p = a_{p+1}$ ), wird die Formel (2) noch einfacher nämlich:

$$t = \frac{\frac{1}{2}(a_1^0 + a_2^0) + \frac{1}{2}(a_2^0 + a_3^0) + \dots + \frac{1}{2}(a_p^0 + a_{p+1}^0)}{p} \quad (3)$$

Nach dieser Formel sind die mittleren Temperaturen in der zweiten Versuchsreihe berechnet.

In Bezug auf die Fehlerquelle, welche daher rühren könnte, dass die Versuchswurzeln in verschiedenen Phasen der grossen Wachstumsperiode sich befänden, bemerke ich, dass kein Versuch angefangen wurde, bevor die Wurzeln in dem neuen Wachstumsmedium (Wasser, Erde) in kräftigen und schnellen Wuchs gekommen waren, so dass die Wurzeln nicht im Anfange der grossen Wachstumscurve, aber noch in deren aufsteigendem Zweig sich befanden. Nun ist aber bei Wurzeln die grosse Wachstumscurve viel flacher, viel weniger steil als bei Stengeln (weitere Untersuchungen behalte ich mir vor), und folglich ist, wenn der Anfang und das Ende der grossen Periode ausgeschlossen werden, die Phasendifferenz der grossen Periode bei Wurzeln unbedeutend. Für *Vicia Faba* gilt dieses ganz besonders, wie aus früheren Beobachtungen von SACHS hervorgeht.

Bei der Berechnung der mittleren Zuwachse müssen natürlich alle die zum Versuche verwendeten gesunden Wurzeln in Betracht gezogen werden; wie es unerlaubt ist, gewisse Versuchspflanzen (z. B. die kürzesten oder die längsten oder die mittleren) willkürlich zu beseitigen, so ist es auch fehlerhaft, Pflanzen mit offenbar abnormem Wachstum mitaufzunehmen. Es giebt namentlich 4 Fälle, in welchen das Wurzelwachstum nicht normal ist.

- 1) Wenn über der Spitze eine Anschwellung sich bildet (Arbeit d. bot. Instit. p. 411), wächst die Wurzel mehrere Tage sehr langsam und sehr häufig gar nicht. Eine solche Wurzel muss ganz beseitigt werden.
- 2) Wenn die Wurzelhaube verschleimt, wächst die Wurzel abnorm langsam (l. c. p. 386). Eine solche Wurzel darf man bei der Mittelzahlberechnung nicht mitnehmen. Wird jedoch die Spitze abgetrocknet, so wächst die Wurzel normal weiter.
- 3) Wenn die Wurzelspitze sich stark krümmt, ist das Wachstum abnorm, bis die Wurzel gerade gestreckt wird.

4) SACHS: Physiol. Untersuch. üb. d. Abhängigkeit d. Keimung von d. Temperatur. Pringsh. Jahrb. II, p. 348. 1860.

4) Wenn die Wurzel nicht die verticale Stellung hat, ist das Wachstum auch verlangsamt.

Ueberhaupt darf man bei der Berechnung des mittleren Wachstums keine Wurzel mit hinzunehmen, bei welcher sich eine von der Temperatur unabhängige das Wachstum beschleunigende oder verzögernde Ursache vorfindet. Jede langsam-wachsende Wurzel als krank und abnorm zu betrachten, bloss deswegen weil sie langsam wächst, wäre aber nicht erlaubt.

#### Versuche und Resultate.

Die Temperaturänderung kann auf zwei verschiedene Weisen ausgeführt werden; entweder so, dass man die Pflanzen in verschiedenen constanten Temperaturen mit plötzlichem Wechsel derselben wachsen lässt, oder so, dass die Temperaturschwankung continuirlich ist, die Temperatur in jedem Augenblick eine andere wird.

a. Erste Versuchsreihe: Plötzlicher Wechsel zwischen zwei constanten Temperaturen. (Versuch 1—7.)

Diese Versuchsreihe wurde mit Hilfe von Wassercultur ausgeführt, wie oben beschrieben. In einem der Cylindergläser wurde das Wasser auf 10° Reaumur, in einem anderen auf 15° R. und in einem dritten auf 20° R. constant gehalten. Eine Partie der Pflanzen wuchs die ganze Versuchsdauer, 6 Stunden, in dem Wasser von 15° R., eine andere Partie aber abwechselnd in dem Wasser von 10° R. und von 20° R. Das Wechseln wurde ausgeführt, entweder stündlich (Versuch 1), oder halbstündlich (Vers. 2, 3, 5, 6, 7) oder viertelstündlich (Vers. 4) durch Vertauschung der Deckel, an welchen die Pflanzen befestigt sind, von einem zu dem anderen Cylinder. Durch Heizung wurde das Wasser auf die höheren Temperaturen gebracht und durch Umwicklung der Gläser mit Watte und Ueberstülpung eines Pappcylinders wurden die Temperaturen constant gehalten, indem das Cylinderglas mit dem zehngradigen Wasser in ein kaltes, die zwei anderen Gläser in ein geheiztes Zimmer gestellt wurden. Bei jedem Wechsel wurde die Temperatur an kleinen von den Deckeln ins Wasser herunterhängenden Thermometern beobachtet, so dass man die Anfangs und Schlusstemperatur jedes Zeitintervalles notirte. In keinem Falle hat die Differenz zwischem Maximum und Minimum in einem Glas  $\frac{1}{2}$ ° R. überschritten. Da bei dem Wechseln die Wurzeln einen Augenblick aus dem Wasser gehoben wurden und sich in der Luft befanden, und man a priori nicht wissen kann, ob dadurch ein Einfluss auf das Wachstum ausgeübt wird, so wurden bei jedem Wechsel auch die Wurzeln, welche in dem Wasser von constanter mittlerer Temperatur wuchsen, einen Augenblick aus dem Wasser gehoben. Hierdurch erreicht man auch eine Erneuerung

der im Glase eingeschlossenen Luft, die zu einem gesunden Wachstum beiträgt.

Bei der Wahl von 6 Stunden als Versuchsdauer ist die Rücksicht geltend gewesen, dass, je kürzer die Zeit, desto leichter die Temperatur constant gehalten werden kann, und desto leichter man zufälligen Störungen entgeht; auf der anderen Seite aber muss die Versuchsdauer auch so lang sein, dass die Zuwachse nicht zu klein im Vergleich mit den eventuellen Messungsfehlern werden.

Wenn der Versuch zu Ende ist, werden die Pflanzen alle in Wasser von derselben niedrigen Temperatur gestellt, um das Wachstum während der Zeit der Messung zu hindern. Ein stärkeres Wachstum in der Zeit, welche zur Messung nöthig ist, würde kleine Ungenauigkeiten veranlassen. Darum müssen die Messungen auch schnell ausgeführt werden, und so, dass abwechselnd eine Wurzel jeder Partie gemessen wird. Um jedoch Schnelligkeit in der Messung zu erreichen, darf man sich nicht dazu verleiten lassen, alle Pflanzen gleich auf ein Mal aus den Cylindern zu nehmen, denn die durch Austrocknung bewirkte Verkürzung der Wurzeln würde zu namhaften Messungsfehlern (Sachs l. c. p. 395) führen.

Die Versuche 2, 3 und 4 sind mit denselben Versuchspflanzen ausgeführt, die Pflanzen wurden aber bei jedem Versuch so umgetauscht, dass die, welche in Versuch 2 in constanter Temperatur wuchsen, in Versuch 3 in variabler und in Versuch 4 wieder in constanter Temperatur blieben. Auf ähnliche Weise sind die Versuche 5, 6 und 7 ausgeführt. Durch diese Umtauschung der Versuchspflanzen wird der Einfluss der individuellen Verschiedenheiten controllirt und geschwächt.

Das Versuchsergebnissat ersieht man aus folgender Uebersicht, in welcher  $V$  den Zuwachs, welcher in 6 Stunden bei wechselnder Temperatur erreicht worden ist, und  $K$  den in constanter Temperatur erreichten Zuwachs bezeichnet. Die eingeklammerten Zahlen geben die Anzahl der Exemplare an, aus denen die nebenstehenden Zuwachse (in Millimetern) gewonnen sind.

|                              | Vers. 1.    | Vers. 2.  | Vers. 3.  | Vers. 4.  | Vers. 5.   | Vers. 6.   | Vers. 7.   |
|------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| $V^{20-10^{\circ}\text{R.}}$ | $= 4,2$ (8) | $4,0$ (7) | $2,9$ (7) | $3,1$ (8) | $4,6$ (10) | $4,6$ (10) | $4,5$ (9)  |
| $K^{15^{\circ}\text{R.}}$    | $= 3,6$ (9) | $3,1$ (7) | $2,8$ (7) | $2,9$ (7) | $3,6$ (10) | $4,4$ (11) | $3,4$ (10) |

Berechnet man das Mittel von allen Versuchen, so hat man:

$$V = 4,0^{\text{mm}}$$

$$K = 3,4^{\text{mm}}$$

$$V : K = 117,6 : 100$$

$$\text{und } V - K = 0,6^{\text{mm}}$$

Demnach ist:

Der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei plötzlichem Wechsel zwischen verschiedenen nützlichen, con-

stanten Temperaturen erreicht, nicht kleiner, sondern grösser als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei der entsprechenden constanten Mitteltemperatur erreicht.

b. Zweite Versuchsreihe: Versuche mit continuirlichen Temperaturänderungen (Versuch 8—15).

Bei dieser Versuchsreihe ist die Temperatur immer in Veränderung gewesen. Die Versuche sind theils mit Wassercultur (Vers. 8—12), theils mit Erdecultur (Vers. 13—15) angestellt und auf verschiedene Weise variiert.

1. (Vers. 8.) Eine Partie Pflanzen wurde in eine niedere constante Temperatur gestellt; eine andere Partie in Wasser von einer höheren Temperatur gebracht und in ein kaltes Zimmer gestellt. Die Temperatur des Wassers nahm hier continuirlich ab. Bei jeder Thermometerbeobachtung berechnet man, wie gross nun die mittlere Temperatur ist, und der Versuch wird in dem Augenblick abgebrochen, wo die berechnete Mitteltemperatur gleich ist der constanten Temperatur, in welcher die anderen Pflanzen verweilt haben. (Vers. 8).

2. (Vers. 9.) Die Pflanzen wurden in Wasser von einer Temperatur nahe der Optimaltemperatur gebracht und in ein kaltes Zimmer gestellt. Wenn die continuirliche Abkühlung des Wassers im Begriff war aufzuhören, wurden die Pflanzen plötzlich in Wasser von einer höheren Temperatur gebracht und dann wieder continuirlich abgekühlt. Wenn der Versuch 12 Stunden gedauert, werden die Pflanzen in Wasser von der entsprechenden mittleren Temperatur gestellt, die Zuwächse gemessen und dieselben Pflanzen in den nachfolgenden 12 Stunden in der constanten Mitteltemperatur gehalten.

3. (Vers. 10—15.) Die Temperatur des Mediums (Wasser oder Erde), in welchem die Pflanzen sich befanden, wurde abwechselnd in continuirliches Steigen und Fallen gebracht, dadurch dass das Gefäss (Glas oder Zinkkasten), in welchem die Pflanzen wuchsen, abwechselnd in Wasser von höherer und niederer Temperatur gestellt wurde. Am Ende des Versuches wurden die Messungen vorgenommen und dieselben Pflanzen in die constante mittlere Temperatur gebracht. Die Versuche mit Erdecultur werden am besten abgebrochen zu einem Zeitpunkt, wo die Temperatur der Erde nicht sehr verschieden ist von der berechneten Mitteltemperatur.

Die Temperaturbeobachtungen sind bei allen diesen Versuchen mit Ausnahme von Vers. 8 viertelstündliche gewesen, auf Coordinatenpapier gleich eingetragen und die Temperaturcurve construirt worden, wodurch der ganze Gang der Temperaturänderung übersichtlich wurde. Der Versuch kann dann auch leicht so eingerichtet werden, dass einige Regelmässigkeit und Symmetrie in die Temperaturcurve kommen und dadurch die berechnete mittlere Temperatur ein besserer Ausdruck für die den Pflanzen zugeführte Wärme als sonst wird.

In allen diesen Versuchen mit Ausnahme von Vers. 8 ist der bei constanter Temperatur ausgeführte Controlversuch mit denselben Pflanzen wie der bei schwankender Temperatur ausgeführte Versuch vorgenommen. Nach dem, was ich oben (p. 569) über die Phasendifferenz ausgeführt habe, ist dieses Verfahren nicht bloss erlaubt, sondern gerade ein sehr gutes Mittel, um den Einfluss der individuellen Verschiedenheiten zu vermindern. Da der Controlversuch immer später als der bei schwankender Temperatur ausgeführte Versuch vorgenommen werden musste, so kommt ein eventuell von dem Phasenunterschied herrührender Vortheil in jedem Falle dem bei constanter Temperatur ausgeführten Versuche zu Gute.

Um den Gang der Temperatur, bei welchem die Zuwachse erreicht worden sind, übersichtlich zu machen, will ich mich folgender Bezeichnungsweise bedienen:  $V_{c-d}^a$  sei die Bezeichnung für den Zuwachs, welcher erreicht ist bei einer mittleren Temperatur von  $a^\circ$ , einer mittleren stündlichen Temperaturänderung von  $b^\circ$  und einer Schwankung zwischen der Maximumtemperatur von  $c^\circ$  und der Minimumtemperatur von  $d^\circ$ . Die Zuwächse sind für 6 Stunden berechnet.

1. Zuwächse bei raschem continuirlichem Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender, wo die mittlere stündliche Aenderung  $0,03^\circ$  Celsius nicht überschreitet, also als constant gelten darf:

| Vers. 8.                      | Vers. 9.                          | Vers. 12 und 10.               |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| $V_{24,4-15}^{19} = 4,2$ (8)  | $V_{24,5-13,1}^{17,5} = 4,3$ (12) | $K_{22,17}^{19,5} = 4,6$ (6)   |
| $K_{18,25}^{18,25} = 3,7$ (8) | $K_{18-17}^{17,5} = 3,6$ (12)     | $K_{20-19,5}^{19,7} = 4,2$ (5) |
| $V : K = 409 : 400.$          | $V : K = 449 : 400.$              | $V : K = 409 : 400.$           |

2. Zuwächse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender, wo die mittlere stündliche Aenderung  $0,03^\circ$  C. nicht überschreitet, also als constante gelten kann:

| Vers. 10.                      | Vers. 13.                         |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| $V_{25,7-14}^{19,9} = 4,5$ (5) | $V_{26,5-18,5}^{22,5} = 6,75$ (4) |
| $K_{20-19,5}^{19,7} = 4,2$     | $K_{23-22,5}^{22,75} = 6,3$       |
| $V : K = 407 : 400.$           | $V : K = 406 : 410.$              |

3. Zuwächse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei sehr langsam fallender Temperatur, wo die mittlere stündliche Aenderung zwischen  $0,17^\circ$  C. und  $0,34^\circ$  C. liegt.

| Vers. 11.                  | Vers. 12.                  | Vers. 14.                   |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| $V_{23,4-15}^{19,4} = 3,9$ | $V_{28-14,5}^{19,8} = 4,6$ | $V_{27-17,5}^{22} = 6,7$    |
| $K_{20-16}^{18} = 3,1$     | $K_{22-17}^{19,5} = 4,6$   | $K_{24-21,5}^{22,75} = 6,6$ |
| (7)                        | (6)                        | (6)                         |
| $V : K = 124 : 100.$       | $V : K = 100 : 100.$       | $V : K = 102 : 100.$        |

4. Zuwachse bei continuirlichem langsamem Fallen der Temperatur und bei continuirlichem langsamem Steigen.

Vers. 14 und 15.

$$K_{24-21,5}^{22,75} = 6,6 \quad (6)$$

$$K_{21,5-21}^{22,75} = 6,7 \quad (5)$$

$$K : K = 100 : 102.$$

5. Zuwachse bei abwechselndem starkem Steigen und Fallen der Temperatur und bei einem anderen Steigen und Fallen der Temperatur, wo aber die mittlere Temperatur in beiden Fällen dieselbe ist.

Vers. 12 und 10.

$$V_{28-14,5}^{19,8} = 4,6 \quad (6)$$

$$V_{25,7-14}^{19,9} = 4,5 \quad (5)$$

$$V : V = 101 : 100.$$

Vers. 13 und 14.

$$V_{26,5-18,5}^{22,5} = 6,7 \quad (4)$$

$$V_{17-17,5}^{22} = 6,7 \quad (6)$$

$$V : V = 100 : 100.$$

Vergleicht man den Zuwachs, welchen eine und dieselbe Wurzel bei variabler und constanter Temperatur in gleicher Zeit erreicht hat, so geben die Versuche Folgendes:

Vers. 9.

$V > K$  bei 11 Expl.

$V < K$  bei 4 Expl.

Vers. 10.

$V > K$  bei 5 Expl.

Vers. 11.

$V > K$  bei 6 Expl.

$V < K$  bei 3 Expl.

Vers. 12.

$V = K$  bei 2 Expl.

$V < K$  bei 3 Expl.

Vers. 13.

$V > K$  bei 4 Expl.

Vers. 14.

$V > K$  bei 3 Expl.

$V = K$  bei 1 Expl.

$V < K$  bei 2 Expl.

Im Ganzen ist also:

$V > K$  bei 29 Expl.

$V = K$  bei 3 Expl.

$V < K$  bei 7 Expl.

(Vers. 12 nicht mitgerechnet.)

$V > K$  bei 29 Expl.

$V = K$  bei 4 Expl.

$V < K$  bei 4 Expl.

Die Anzahl Fälle, bei welchen  $V > K$  war, verhalten sich also zu der Anzahl von Fällen, wo dieses nicht der Fall ist, wie 29 : 40 (corrigirt wie 29 : 5); und die Anzahl Fälle, in welchen  $V < K$ , verhalten sich zu der Anzahl Fälle, in welchen  $V < K$ , wie 29 : 7 (corrigirt wie 29 : 4).

Die Anzahl Fälle, in welchen der bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs derselben Wurzel grösser ist als der in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren, constanten Temperatur erreichte, ist wenigstens 3 mal grösser als die Anzahl Fälle, in welchen dieses nicht geschah, und wenigstens 4 mal grösser als die Anzahl Fälle, in welchen der bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs kleiner ist, als der in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren, constanten Temperatur erreichte.

Das Resultat der ganzen Versuchsreihe lässt sich so ausdrücken:

Der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei continuirlichen Schwankungen nützlicher Temperaturen erreicht, ist nicht kleiner, sondern grösser als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei der entsprechenden mittleren constanten Temperatur erreicht.

Das Resultat dieser Versuchsreihe stimmt also vollständig überein mit dem der ersten.

Es lässt sich leicht zeigen: wenn der Zuwachs proportional der Temperatur wäre oder wenn die Zuwachscurve eine gerade Linie wäre, so müsste der Zuwachs bei variabler Temperatur und der bei der constanten Mitteltemperatur gleich sein. Wäre ferner die Zuwachscurve eine krumme Linie, welche die concave Seite der Abscissenaxe zukehrt, so lässt sich zeigen, dass der Zuwachs bei variabler Temperatur kleiner sein muss, als der bei der constanten Mitteltemperatur. Meine Beobachtungsergebnisse widersprechen beiden Annahmen. — Es lässt sich aber ferner zeigen, wenn die Zuwachscurve eine krumme Linie ist, welche die convexe Seite der Abscissenaxe zukehrt, so muss der Zuwachs bei variabler Temperatur grösser sein als der bei der constanten Mitteltemperatur.

Mit dieser Annahme stimmen meine Versuchsergebnisse vollständig überein, d. h. also sie weisen darauf hin, dass die Zuwachscurve eine krumme Linie ist, welche ihre Convexität der Abscissenaxe zukehrt. Wenn nun directe Beobachtungen ergeben, dass die Zuwachscurve in der That diese Form besitzt, so ist damit bewiesen, dass die von mir gefundenen Ergebnisse nothwendig richtig sein müssen, und dass die Temperaturschwankung an sich weder einen günstigen noch ungünstigen Einfluss auf das Wachstum übt (vergl. auch Sachs, Jahrb. für wiss. Bot. II, p. 338).

Dritte Versuchsreihe: Zuwachse, welche die Fabawurzel in 6 Stunden bei einer constanten Temperatur von 40° R.

(12,5° C.), 15° R. (18,75° C.) und 20° R. (25° C.) erreichte. (Vers. 16—18).

Die 3 hierüber angestellten Versuche wurden mit Wassercultur (wie oben beschrieben) ausgeführt, mit 4 Culturcylindern, in welchen das Wasser constant auf 10° R., 15° R. und 20° R. gehalten wurde; um die individuellen Verschiedenheiten zu eliminiren, wurden die Pflanzen bei den Versuchen umgetauscht.

Bezeichnen wir die 3 Gruppen mit *A*, *B*, *C*, so ist die Umtauschung nach folgendem Schema vorgenommen:

|             | 10° R.     | 15° R.     | 20° R.     |
|-------------|------------|------------|------------|
| Versuch 16: | <i>A</i> . | <i>B</i> . | <i>C</i> . |
| Versuch 17: | <i>B</i> . | <i>C</i> . | <i>A</i> . |
| Versuch 18: | <i>C</i> . | <i>A</i> . | <i>B</i> . |

Indem die in den 6 Stunden bei 10° R., 15° R. und 20° R. erreichten Zuwachse mit respective  $K^{10}$ ,  $K^{15}$  und  $K^{20}$  bezeichnet werden, ist das Versuchsergebnis folgendes:

|                    | <i>A</i> .          | <i>B</i> .        | <i>C</i> .        | Mittel            |      |
|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| $K^{10^{\circ}R.}$ | = 1,9 <sup>mm</sup> | 1,8 <sup>mm</sup> | 1,8 <sup>mm</sup> | 1,9 <sup>mm</sup> | (17) |
| $K^{15^{\circ}R.}$ | = 3,2               | 3,6               | 3,4               | 3,4 <sup>mm</sup> | (18) |
| $K^{20^{\circ}R.}$ | = 5,9               | 6,2               | 5,8               | 6,0 <sup>mm</sup> | (17) |

$$\text{Oder: } K^{10} : K^{15} : K^{20} = 400 : 479 : 316.$$

Wie man sieht, haben wir hier für  $K^{15}$  denselben Werth, wie in der ersten Versuchsreihe gefunden, und haben darin eine Garantie für die Richtigkeit auch der anderen gefundenen Zahlen.

Wir kennen also nun 3 Punkte in der Zuwachscurve. Führen wir die Construction aus, dann sieht man:

Die Zuwachscurve, betrachtet als Function der Temperatur, ist eine krumme Linie, deren Steigung mit der Abscisse steigt und deren convexe Seite der Abscissenaxe sich zukehrt.

Mir ausführlichere Untersuchungen über diese Function vorbehaltend, gebe ich hier noch zwei Punkte in der Zuwachscurve an:

$$K^{26^{\circ}C.} = 6,6^{\text{mm}} (6), \quad K^{27^{\circ}C.} = 8,35^{\text{mm}} (6).$$

Aus dieser Form der Zuwachscurve lässt sich folgern:

Der in gleicher Zeit bei variabler Temperatur erreichte Zuwachs muss grösser sein, als der bei constanter Mitteltemperatur erreichte.

Das Resultat der ersten und zweiten Versuchsreihe musste folglich so ausfallen, wie es ausgefallen ist. In Folge der Natur der Abhängigkeit des Zuwachses von der Temperatur muss der Zuwachs bei variabler Temperatur einen Ueberschuss über den bei constanter Mitteltemperatur

haben, ohne dass die Temperaturschwankung als solche die geringste Rolle zu spielen braucht.

Aber daraus, dass die Temperaturschwankung keinen Einfluss auf das Wachstum zu haben braucht, folgt noch nicht, dass sie keinen hat; denn es ist ja möglich, dass der bei den Versuchen gefundene Ueberschuss grösser oder kleiner ist, als er nach der Berechnung sein soll, und in diesem Falle könnte die Annahme von einem fördernden oder zögernden Einfluss der Temperaturschwankungen in Betracht kommen, um die Differenz zu erklären.

Um zu entscheiden, ob diess der Fall ist, müssen einige Berechnungen ausgeführt werden. Die zweite Versuchsreihe ist zu einer solchen nicht geeignet, denn erstens sollte man den Zuwachs für jede in Betracht kommende Temperatur kennen, was nicht der Fall ist, und zweitens sind die bei den Versuchen gefundenen Zahlen nicht sicher genug, um eine Berechnung zu ertragen. Ich benutze daher die erste Versuchsreihe umso mehr, als ja kein principieller Unterschied zwischen den zwei Versuchsreihen existirt, so dass, was für die erste Reihe gilt, auch für die zweite gültig ist.

In der ersten Versuchsreihe hat die Temperatur so variirt, dass die Pflanzen im Ganzen 3 Stunden in 10° R. und 3 Stunden in 20° R. zugebracht haben.

Der berechnete Ueberschuss, welchen der Zuwachs der in variabler Temperatur wachsenden Wurzeln über den Zuwachs der in constanter Mitteltemperatur wachsenden haben soll, ist:

$$\frac{K^{10}}{2} + \frac{K^{20}}{2} - K^{15} = \frac{4,9}{2} + \frac{6}{2} - 3,4 = 0,55^{mm}.$$

Der bei der Versuchsreihe gefundene Ueberschuss ist:

$$V - K = 0,60^{mm}.$$

Berechnung und Versuch stimmen also mit einander so überein, dass die kleine Differenz noch innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt, der beobachtete Ueberschuss hat die Grösse des berechneten, und die Temperaturschwankung als solche hat keinen Einfluss auf das Wachstum.

Unter der Voraussetzung, dass die Schwankung als solche keinen Einfluss hat, kann man den Zuwachs berechnen, welcher erreicht werden soll durch eine solche Temperaturänderung, dass es im Ganzen einen dreistündigen Aufenthalt bei 10° R. und einen dreistündigen Aufenthalt bei 20° R. giebt.

$$\text{Der berechnete Zuwachs ist: } \dots \frac{K^{10}}{2} + \frac{K^{20}}{2} = 3,95^{mm}.$$

$$\text{Der bei den Versuchen gefundene Zuwachs ist: } \dots 4,00^{mm}.$$

Da der berechnete und der gefundene Zuwachs gleich sind, so ist die Voraussetzung, auf welcher die Berechnung beruht, richtig und also:

Die Temperaturschwankung als solche hat für das Wachstum weder einen fördernden noch einen verzögernden, sondern gar keinen Einfluss.

### Uebersicht der Beobachtungen.

A. **Erste Versuchsreihe.** Versuche mit plötzlichen Wechslungen zwischen  $10^{\circ}$  Reaumur und  $20^{\circ}$  Reaumur. Versuchsdauer 6 Stunden.  $V$  ist der Zuwachs bei variabler Temperatur,  $K$  der Zuwachs bei  $15^{\circ}$  R. in Millimeter. Wassercultur.

a. Versuch ohne Umtauschung der Versuchspflanzen.

Versuch 1. Stündliche Wechslung zwischen  $20^{\circ}$  R. (Max.  $20^{\circ}$  — Min.  $19,75^{\circ}$ ) und  $10^{\circ}$  R. ( $10,5^{\circ}$  —  $10^{\circ}$ ).

$$\begin{aligned} V &= 4,2^{\text{mm}} \quad (8 \text{ Exemplare}) \\ K &= 3,7^{\text{mm}} \quad (9 \text{ Exemplare}) \end{aligned} \quad V : K = 113 : 100.$$

b. Versuch mit Umtauschung der Versuchspflanzen.

Versuch 2. Halbstündliche Wechslung zwischen  $20^{\circ}$  R. ( $20^{\circ}$  —  $19,5^{\circ}$ ) und  $10^{\circ}$  R. ( $10,5^{\circ}$  —  $10^{\circ}$ ).

$$\begin{aligned} V &= 4. \quad (7) \\ K &= 3,1. \quad (7) \end{aligned} \quad V : K = 129 : 100.$$

Versuch 3. Halbstündliche Wechslung zwischen  $20^{\circ}$  R. ( $20^{\circ}$  —  $19,15^{\circ}$ ) und  $10^{\circ}$  R. ( $10,5^{\circ}$  —  $10^{\circ}$ ). Die Pflanzen, welche in Versuch 2. in constanter Temperatur waren, sind in diesem in variabler Temperatur und umgekehrt.

$$\begin{aligned} V &= 2,9. \quad (7) \\ K &= 2,8. \quad (7) \end{aligned} \quad V : K = 105 : 100.$$

Versuch 4. Viertelstündliche Wechslung zwischen  $20^{\circ}$  R. ( $20^{\circ}$  —  $19,5^{\circ}$ ) und  $10^{\circ}$  R. ( $10,5^{\circ}$  —  $10^{\circ}$ ). Dieselben Pflanzen wie in Vers. 2 und Vers. 3, aber nicht umgetauscht, so dass die Pflanzen, welche hier in constanter Temperatur sind, es auch waren in Vers. 2.

$$\begin{aligned} V &= 3,1. \quad (8) \\ K &= 2,9. \quad (7) \end{aligned} \quad V : K = 106 : 100.$$

Versuch 5. Halbstündliche Wechslung zwischen  $20^{\circ}$  R. ( $20^{\circ}$  —  $19,25^{\circ}$ ) und  $10^{\circ}$  R. ( $10,5^{\circ}$  —  $9,5^{\circ}$ ).

$$\begin{aligned} V &= 4,6. \\ K &= 3,6. \end{aligned} \quad V : K = 126 : 100.$$

Versuch 6. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,75°) und 10° R. (10,5° — 10°). Dieselben Pflanzen wie in Versuch 5, aber umgetauscht.

$$V = 4,6. \quad (10) \quad V = K \cdot 105 : 100.$$

$$K = 4,4. \quad (11)$$

Versuch 7. Halbstündliche Wechslung zwischen 20° R. (20° — 19,75°) und 10° R. (10° — 9,75°). Dieselben Pflanzen wie in Versuch 5 und 6 aber wieder umgetauscht.

$$V = 4,3. \quad (9) \quad V : K = 132 : 100.$$

$$K = 3,4. \quad (10)$$

B. Zweite Versuchsreihe. Continuirliche Temperaturänderungen.

a. Der Versuch in constanter Temperatur mit anderen Pflanzen als der Versuch in variabler Temperatur. Wassercultur.

Versuch 8. Continuirliches Fallen der Temperatur, von 19,5° R. bis 12° R. in 5 Stunden. Mitteltemperatur 15,2° R. In derselben Zeit stehen andere Pflanzen in 15° R.

$$V^{15,2R} = 3,5. \quad (8) \quad V : K = 109 : 100.$$

$$K^{15} = 3,1. \quad (8)$$

b. Der Versuch in constanter Temperatur mit denselben Pflanzen wie der Versuch in variabler Temperatur. Die Thermometerangaben sind nach Celsius.

α. Wassercultur.

Versuch 9. Continuirliches Fallen der Temperatur von 24,5°C. bis 13,1°C. in 8¾ Stunden, dann plötzliches Steigen zu 24°C. und continuirliches Fallen bis 19,8°C. in 3¼ Stunden. Mitteltemperatur 17,8°C. Versuchsdauer 12 Stunden. — Die constante Temperatur ging von 18°C. bis 17°C. in 12 Stunden. Mitteltemperatur 17,5°C. und die stündliche Temperaturänderung also  $\frac{1}{12}^\circ = 0,08^\circ$ .

$$V_{24,5-13,1}^{17,8} = 8,7. \quad (12) \quad V : K = 119 : 100.$$

$$K_{18-17}^{17,5, 0,08} = 7,3. \quad (12)$$

berechnet für 6 Stunden:

$$V_{24,5-13,1}^{17,8} = 4,3.$$

$$K_{18-17}^{17,5, 0,08} = 3,6.$$

Versuch 10. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 25,7° C. Min. 14° C. Mitteltemperatur 19,9° C. Versuchsdauer 6 Stunden. Die constante Temperatur ging von 20° bis 19,5° in 18 Stunden. Mitteltemp. 19,7°. Mittl. stündl. Aenderung  $\frac{0,5^{\circ}}{15} = 0,03^{\circ}$ .

$$V_{25,7-14}^{19,9} = 4,5. (5)$$

$$V : K = 107 : 100.$$

$$K_{20-19,5}^{19,7} = 4,2. (5)$$

Versuch 11. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 23,4° C. Min. 15° C. Mitteltemperatur 19,4° C. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 20° C. bis 16° C. in 15 Stunden, Mitteltemperatur 18° C. Mittlere stündliche Aenderung  $\frac{4}{15}^{\circ} = 0,27^{\circ}$ . Der Zuwachs reducirt zu 6 Stunden.

$$V_{23,4-15}^{19,4} = 3,9. (7)$$

$$V : K = 124 : 100.$$

$$K_{20-16}^{18} = 3,1. (7)$$

Versuch 12. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 28°. Min. 14,5°. Mitteltemperatur 19,8°. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 22° bis 17° in 16 Stunden. Mitteltemperatur 19,5°. Mittlere stündliche Aenderung  $\frac{5}{16}^{\circ} = 0,31^{\circ}$ . Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$$V_{28-14,5}^{19,8} = 4,6. (6)$$

$$V : K = 100 : 100.$$

$$K_{22-17}^{19,5} = 4,6. (6)$$

β. Cultur in Erde. Vers. 13—15 mit denselben Pflanzen ausgeführt.

Versuch 13. Abwechselnd starkes Steigen und Fallender Temperatur. Max. 26,5°. Min. 18,5°. Mitteltemperatur 22,5°. Versuchsdauer 8 Stunden. Die constante Temperatur ging von 23° bis 25° in 15 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung  $\frac{0,5^{\circ}}{15} = 0,03^{\circ}$ . Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$$V_{26,5-18,5}^{22,5} = 6,75. (4)$$

$$V : K = 106 : 100.$$

$$K_{23-22,5}^{22,75} = 6,3. (4)$$

Versuch 14. Abwechselnd starkes Steigen und Fallen der Temperatur. Max. 27°. Min. 17,5°. Mitteltemperatur 22°. Versuchsdauer 10 Stunden. Die constante Temperatur ging von 24° bis 21,5° in 15 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung  $\frac{2,1^{\circ}}{15} = 0,17^{\circ}$ . Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$$V_{27-17,5}^{22} = 6,7. (6)$$

$$V : K = 102 : 100.$$

$$K_{24-21,5}^{22,75} = 6,6. (6)$$

Versuch 15. Continuirliches Steigen der Temperatur von 21,5° bis 24° in 10 Stunden. Mitteltemperatur 22,75°. Mittlere stündliche Aenderung  $\frac{2,5^\circ}{10} = 0,25^\circ$ . Der Zuwachs berechnet für 6 Stunden.

$$K_{21,5-24}^{22,75} = 6,7. (5)$$

C. Dritte Versuchsreihe. Bestimmung des Zuwachses in 6 Stunden bei einer constanten Temperatur von 10° R., 15° R. und 20° R. Wassercultur. Umtauschung der Versuchspflanzen wie oben p. 576 angegeben.

|                         |                    |                    |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Versuch 16.             | Versuch 17.        | Versuch 18.        |
| $K^{10} = 1,9^{mm} (5)$ | $K^{10} = 1,9 (6)$ | $K^{10} = 1,8 (6)$ |
| $K^{15} = 3,6 (6)$      | $K^{15} = 3,4 (6)$ | $K^{15} = 3,2 (6)$ |
| $K^{20} = 5,8 (6)$      | $K^{20} = 5,9 (6)$ | $K^{20} = 6,2 (5)$ |

### Die Zuwächse bei den einzelnen Versuchen.

In den Versuchen 1—8 sind V und K von verschiedenen Pflanzen.

|        | Vers. 1. |      | Vers. 2. |     | Vers. 3. |      | Vers. 4. |      | Vers. 5. |      | Vers. 6. |      | Vers. 7. |      | Vers. 8. |      |
|--------|----------|------|----------|-----|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
|        | V.       | K.   | V.       | K.  | V.       | K.   | V.       | K.   | V.       | K.   | V.       | K.   | V.       | K.   | V.       | K.   |
|        | 4,5      | 4,5  | 3,28     | 3,5 | 3        | 2,25 | 2,5      | 3    | 4,5      | 5    | 4        | 5,25 | 4        | 3,5  | 3        | 3,25 |
|        | 4,5      | 3,5  | 3        | 3   | 2,75     | 3    | 3        | 3    | 5,25     | 4,25 | 5        | 5    | 3,5      | 3,5  | 3,5      | 3,25 |
|        | 4        | 3,25 | 3,25     | 3   | 2        | 2,5  | 3,75     | 2,5  | 5        | 3,5  | 3,5      | 4,5  | 5,25     | 4    | 3,25     | 3,5  |
|        | 4,5      | 3,75 | 3,5      | 3,5 | 3        | 3    | 3        | 3,5  | 3,5      | 3    | 4,5      | 4    | 3,5      | 3    | 3,25     | 2,25 |
|        | 3,5      | 3    | 4        | 2   | 3,5      | 2,5  | 2,75     | 3    | 6        | 3,25 | 5        | 5,25 | 5,5      | 2,75 | 4        | 3    |
|        | 4        | 4,5  | 4,5      | 4,5 | 4        | 3    | 3        | 2    | 5        | 5    | 4        | 5    | 5        | 3,75 | 4,25     | 2,75 |
|        | 4,5      | 3,5  | 4,5      | 2,5 | 2,5      | 3,5  | 3,5      | 3,75 | 5        | 3,5  | 5        | 4    | 5,5      | 3,5  | 3        | 3,25 |
|        | 4        | 4    | 3        |     |          |      | 2,5      | 2,5  | 2,5      | 4,5  | 3        | 4,5  | 3,25     | 3,5  | 3,5      |      |
|        |          |      |          |     |          |      |          | 3,75 | 3,5      | 5    | 5        | 4,5  | 3,5      |      |          |      |
|        |          |      |          |     |          |      |          | 3,5  | 3        | 5    | 3,25     | 3,5  |          |      |          |      |
| mittl. | 4,2      | 3,7  | 4        | 3,4 | 3        | 2,8  | 3,4      | 2,9  | 4,6      | 3,6  | 4,6      | 4,4  | 4,5      | 3,4  | 3,5      | 3,4  |

In den Versuchen 9—15 sind V und K in jedem Versuch von denselben Pflanzen.

| No. d. Pflanze | Vers. 9.  |      | Vers. 10. |      | Vers. 11. |     | Vers. 12. |     | Vers. 13. |      | Vers. 14. |      | Vers. 15. |      |
|----------------|-----------|------|-----------|------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
|                | 12 Stund. |      | 6 Stund.  |      | 8 Stund.  |     | 8 Stund.  |     | 8 Stund.  |      | 10 Stund. |      | 10 Stund. |      |
|                | V.        | K.   | V.        | K.   | V.        | K.  | V.        | K.  | V.        | K.   | V.        | K.   | V.        | K.   |
| 1              | 7         | 6,5  | 5,5       | 5,3  | 4         | 4,5 | 6,5       | 6,8 | 13        | 12,4 | 16        | 16   |           | 12,5 |
| 2              | 9,75      | 9    | 4         | 3,75 | 5,75      | 4,1 | 5,75      | 5,7 | 8         | 7,1  | 8,5       | 9    |           | 11   |
| 3              | 10,25     | 9,75 | 5,25      | 5    | 6         | 5   | 5,75      | 5,8 | 7,5       | 7,0  | 9         | 8,6  |           | 8    |
| 4              | 8,5       | 8    | 4,5       | 4    | 5         | 4   | 6,5       | 6,7 | 7,5       | 7,3  | 10,5      | 11   |           | 13   |
| 5              | 7,5       | 7    | 3,5       | 3    | 4,5       | 4   | 6         | 6,7 |           |      | 11,5      | 10,6 |           | 11   |
| 6              | 7,5       | 6,5  |           |      | 5,5       | 2,9 | 4,5       | 4,5 |           |      | 11,5      | 11,3 |           |      |
| 7              | 10,75     | 5    |           |      | 5,5       | 4,8 | 6,5       |     |           |      |           |      |           |      |
| 8              | 8,75      | 9    |           |      |           |     |           |     |           |      |           |      |           |      |
| 9              | 10        | 6,75 |           |      |           |     |           |     |           |      |           |      |           |      |
| 10             | 8,25      | 7,25 |           |      |           |     |           |     |           |      |           |      |           |      |
| 11             | 8,25      | 6,25 |           |      |           |     |           |     |           |      |           |      |           |      |
| 12             | 7,5       | 6,75 |           |      |           |     |           |     |           |      |           |      |           |      |
| mittl.:        | 8,7       | 7,3  | 4,5       | 4,2  | 5,2       | 4,2 | 6         | 6   | 9         | 8,4  | 11,2      | 10,9 |           | 11,1 |

| No. d. Pflanze | Versuch 46.     |                 |                 | Versuch 47.     |                 |                 | Versuch 48.     |                 |                 |    |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|
|                | K <sup>10</sup> | K <sup>15</sup> | K <sup>20</sup> | K <sup>10</sup> | K <sup>15</sup> | K <sup>20</sup> | K <sup>10</sup> | K <sup>15</sup> | K <sup>20</sup> |    |
| 1              | 2               | 4               | 4,5             | 1,25            | 2,75            | 6,75            | 2               | 4,25            | —               |    |
| 2              | 2               | 4,25            | 6               | 2,5             | 4               | 5,25            | 2               | 3               | 6,5             |    |
| 3              | 1,75            | 2,75            | 5,5             | 2,25            | 3,75            | 4,75            | 2               | 4               | 6               |    |
| 4              | 1,5             | 3,75            | 6               | 2,25            | 3,25            | 5,75            | 1,75            | 3,5             | 7,25            |    |
| 5              | —               | 3,75            | 6,5             | 1,5             | 3,5             | 5,25            | 1,75            | 3,5             | 6               |    |
| 6              | 2,25            | 3               | 6,5             | 2               | 3,25            | 7,75            | 1,5             | 4,75            | 5,5             |    |
|                |                 | A.              | B.              | C.              | B.              | C.              | A.              | C.              | A.              | B. |
| mittl.:        | 1,9             | 3,6             | 5,8             | 1,9             | 3,4             | 5,9             | 1,8             | 3,2             | 6,2             |    |

Der Gang der Temperatur bei den Versuchen mit schwankender Temperatur  
in der 2ten Versuchsreihe.

| Stunde.                              | Vers. 8. | Vers. 9. | Vers. 10. | Vers. 11. | Vers. 12. | Vers. 13. | Vers. 14. |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                      | Temp. R. | Temp. C. | Temp. C.  | Temp. C.  | Temp. C.  | Temp. C.  | Temp. C.  |
| 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> a. m.  |          | 24,5     |           |           |           |           | 22,5      |
| 10                                   |          | 23,5     |           |           |           |           | 23,4      |
| 10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>       |          | 22,6     |           |           |           |           | 24        |
| 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>       |          | 21,8     |           |           |           |           | 24,6      |
| 10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>       |          | 21,1     |           |           |           |           | 25,4      |
| 11                                   |          | 20,4     | 15        | 15        | 20        | 24        | 23,3      |
| 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>       |          | 19,8     | 16        | 20        | 19,5      | 22,3      | 21,3      |
| 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>       | 19,50    | 19,3     | 16,5      | 22,5      | 19        | 20        | 19,5      |
| 11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>       |          | 18,8     | 21,2      | 18,5      | 28        | 19,5      | 20,5      |
| 12                                   |          | 18,4     | 25,7      | 21,2      | 22,6      | 20,3      | 21,8      |
| 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> p. m. |          | 17,9     | 24,2      | 18,6      | 20,5      | 21,2      | 23,8      |
| 12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>       | 17,5     | 17,5     | 22        | 20,4      | 19        | 22,7      | 26,2      |
| 12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>       |          | 17,1     | 19,5      | 18,6      | 23,5      | 23,7      | 27        |
| 1                                    | 16,25    | 16,7     | 14        | 19,7      | 22—14,5   | 24,7      |           |
| 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          |          |           |           | 15,3      |           |           |
| 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          |          |           |           | 16        |           |           |
| 1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          |          |           |           | 16,9      |           |           |
| 2                                    |          |          |           |           | 17,6      |           |           |
| 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        | 14,75    |          |           | 19,5      | 18,5      |           |           |
| 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 15,2     | 21,7      | 17,3      | 19,2      | 26,5      | 26,9      |
| 2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 15       | 24,7      | 22,2      | 20        | 22,5      | 24,2      |
| 3                                    |          | 14,8     |           | 18,2      | 17,2      | 21,4      | 20,6      |
| 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        | 13,25    | 14,6     | 25,7      | 21,2      | 16,2      | 20,3      | 19,3      |
| 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 14,4     | 21,5      | 18        | 28        | 18,5      | 18,3      |
| 3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 14,2     | 20,4      | 19,8      | 22,4      | 18,5      | 17,5      |
| 4                                    |          | 14,1     | 18,6      | 18,5      | 19,3      | 19        | 18        |
| 4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        | 12,25    | 14       | 16,3      | 19,5      | 23,7      | 20,5      | 18,5      |
| 4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        | 12       | 13,9     | 19,5      | 16,2      | 20,6      | 21,3      | 18,3      |
| 4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 13,8     | 20,2      | 22        | 19,9      | 21,8      | 18,1      |
| 5                                    |          | 13,7     | 20,5      | 17,9      | 19,2      | 23,3      | 18        |
| 5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          | 13,6     |           | 20,8      | 18,5      | 24,6      | 18,5      |
| 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 13,5     |           | 18,4      | 20,2      | 26        | 20        |
| 5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 13,4     |           | 19,2      | 17,5      | 23,7      | 21        |
| 6                                    |          | 13,3     |           | 18,2      | 19        | 22        | 21,7      |
| 6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          | 13,2     |           | 23,4      | 19,5      | 21,3      | 23,3      |
| 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 13,1—24  |           | 17,4      | 18,9      | 21        | 24,7      |
| 6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 23,5     |           | 20        | 18,2      | 22,2      | 22,8      |
| 7                                    |          | 23       |           | 17,8      | 19,5      | 23        | 21,5      |
| 7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          | 22,6     |           |           |           |           | 22        |
| 7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 22,3     |           |           |           |           | 22,4      |
| 7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 22       |           |           |           |           | 22,5      |
| 8                                    |          | 21,7     |           |           |           |           | 22,8      |
| 8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          | 21,3     |           |           |           |           |           |
| 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 21       |           |           |           |           |           |
| 8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 20,7     |           |           |           |           |           |
| 9                                    |          | 20,4     |           |           |           |           |           |
| 9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>        |          | 20,2     |           |           |           |           |           |
| 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>        |          | 20       |           |           |           |           |           |
| 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>        |          | 19,8     |           |           |           |           |           |

enselben

|     |           |    |
|-----|-----------|----|
| 4.  | Vers. 15. |    |
| d.  | 10 Stand. |    |
| K.  | V.        | K. |
| 6   | 12,5      |    |
| 9   | 11        |    |
| 8,6 | 8         |    |
| 1   | 13        |    |
| 0,6 | 14        |    |
| 1,3 |           |    |
| 9   | 11,1      |    |

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1874

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Pedersen R.

Artikel/Article: [Haben Temperaturschwankungen als solche einen ungünstigen Einfluss auf das Wachstum? 563-583](#)