© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ueber das Längenwachsthum von Pflanzenorganen bei niederen Temperaturen.

Von

Professor Dr. **Oskar Kirchner** in Hohenheim.

I. Einleitung.

Unsere Kenntniss von den äusseren Erscheinungen, aus denen sich das Längenwachsthum von Pflanzenorganen zusammensetzt, sowie von der Einwirkung äusserer Agentien auf dieses Wachsthum beruht in seiner jetzigen Gestalt in erster Linie auf den auch auf diesem Gebiete der Pflanzenphysiologie grundlegenden Arbeiten von J. Sachs. Ihm verdanken wir auch die bemerkenswerthesten Beobachtungen über den Einfluss der Temperatur auf den Gang des Längenwachsthums [1]). Er lieferte zuerst an der Hand ausgedehnter Versuche den Beweis, dass das Längenwachsthum der Organe höherer Pflanzen in engere Temperaturgrenzen eingeschlossen ist, als diejenigen sind, welche dem pflanzlichen Leben schlechthin Schranken setzen, insbesondere, dass für jene Erscheinung obere und untere Grenztemperaturen vorhanden sind, welche für verschiedene Pflanzenarten und für verschiedene Entwickelungsstadien derselben Pflanze in verschiedener Höhe liegen. Zwischen diesen beiden extremen Temperaturen beobachtete Sachs eine dritte, bei welcher (dieselbe als constant gedacht) das Längenwachsthum am intensivsten von statten geht, um von ihr aus gerechnet nach beiden Grenzen hin an Intensität zu verlieren. Diese drei für verschiedene Pflanzenarten verschieden liegenden festen Punkte am Thermometer nannte Sachs Minimum, Optimum und Maximum für das Längenwachsthum der betreffenden Pflanzenart. Er schlug zur Feststellung dieser drei Cardinalpunkte den Weg ein, Samen verschiedener Pflanzenarten möglichst lange

---

[1]) J. Sachs: Physiologische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. (Jahrb. für wissensch. Bot. II. S. 383.) — Experimentalphysiologie S. 55. — Lehrbuch 4. S. 801.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zeit constanten Temperaturen bei im Uebrigen gleichen, für die Keimung günstigen Verhältnissen auszusetzen; er machte sodann aus der Länge der Zeit, binnen welcher die Keimung eintrat, auf die Art der Einwirkung der Temperatur einen Schluss. Unterblieb bei gewissen, dem Nullpunkt nahe liegenden Temperaturen die Keimung vollständig, so wurde geschlossen, dass diese Temperaturen unterhalb des Minimum lagen; trat bei verhältnissmässig hohen (d. h. + 50° C. sich nähernden) Temperaturen Keimung nicht mehr ein, so wurden diese als oberhalb des Maximum liegend angesehen. Durch fortgesetzte Versuche in dieser Richtung liessen sich die drei Cardinalpunkte, wenn auch nicht immer genau feststellen, so doch in ziemlich enge Grenzen einschliessen. Die mit dieser Methode an Keimwurzeln gewonnenen Resultate verallgemeinert Sachs mit Recht und wendet sie auf das Längenwachsthum der Pflanzen überhaupt an, da ein Wachsthum auf Kosten der im Samen aufgespeicherten Reservestoffe aller Voraussicht nach nicht wesentlich von demjenigen Wachsthum abweichen dürfte, welches unter Verwendung der von der heranwachsenden Pflanze selbst bereiteten Baustoffe vor sich geht.

Spätere Untersuchungen von Sachs selbst[1]), sowie von Anderen[2]) bestimmten das Optimum und Maximum nicht nach der bis zum Hervorbrechen der Keimwurzeln verstreichenden Zeit, sondern durch Vergleichung der Wurzellängen, welche bei verschiedenen Temperaturen in gleichen Zeiträumen erzielt wurden. Zur Feststellung des Minimum liess diese Methode sich natürlich nicht verwenden, daher ist man zur Vervollständigung der von Sachs angegebenen Zahlen genöthigt, wiederum aus dem Eintreten oder Unterbleiben der Keimung bei niederen Temperaturen Schlüsse zu ziehen. Derartige Versuche wurden namentlich von A. de Candolle[3]), Uloth[4]) und Fr. Haberlandt[5]) angestellt.

Vergleicht man nun die von diesen Forschern gewonnenen Resultate bezüglich des Minimum bei denselben Pflanzenarten miteinander, so findet man, dass bei einigen derselben die Lage dieses Minimum am Thermometer um so niederer liegend constatirt wird, je vorsichtiger die betreffenden Beobachtungen angestellt werden. So giebt z. B. Sachs als untere Temperaturgrenze für *Triticum vulgare* + 5° C. an, wobei er allerdings bemerkt, sie liege nach

---

1) Lehrbuch 4. S. 803.

2) H. de Vries in Archives néerlandaises 1870. T. V. (nach Sachs). — W. Köppen: Wärme und Pflanzenwachsthum. Moskau 1870. S. 79 ff.

3) s. Sachs, Lehrbuch 4. S. 801 Anm. 4) Flora 1871 No. 12. — 1875. S. 266.

5) Landwirthschaftl. Versuchsstationen, Bd. 17. S. 104. — Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues, I. S. 109—122.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

neueren Beobachtungen eines seiner Schüler noch tiefer[1]); Haberlandt, der bei seiner ersten Untersuchung nur mit einer Temperatur von + 4,8° C. als niederster experimentirte, beobachtete, dass hierbei Keimung der Weizenkörner nach 6 Tagen eintrat; später fand er, dass bei Temperaturen zwischen 0 und + 1° C. der Weizen nicht mehr keimte, während dagegen Uloth[2]) Weizenkörner, die immer auf Eis lagen, also in einer sehr nahe bei ± 0° liegenden Temperatur, noch keimen sah.

Diese und andere ähnliche Differenzen in den Angaben verschiedener Beobachter legen den Gedanken nahe, dass in der Nähe der unteren Temperaturgrenze die Streckung mit so geringer Energie und Geschwindigkeit vor sich geht, dass sie erst nach längerer Zeit für das unbewaffnete Auge bemerkbar und mit gröberen Instrumenten messbar wird. Hieran knüpft sich die Erwägung, ob zur Feststellung einer so langsam verlaufenden Streckung das Hervorbrechen des Würzelchens aus einem keimenden Samen noch verwendbar ist. Sachs selbst hebt schon in seiner ersten Publikation die Mängel seiner Untersuchungsmethode gebührend hervor, die wesentlich in der Schwierigkeit, längere Zeit constante niedere Temperaturen zu erhalten, begründet sind; und in der That ist man, wenn man die Resultate späterer Forschungen mit den seinigen vergleicht, berechtigt, anzunehmen, dass er im ganzen mit zu kurzen Zeiträumen operirte. So zieht er in vielen Fällen bereits aus dem Unterbleiben der Keimung nach 8—19 Tagen den Schluss, dass die bei den betreffenden Versuchen in Anwendung gekommene Temperatur unterhalb des Minimum gelegen sei. Die längste Versuchsdauer beträgt bei ihm 34 Tage und bezieht sich auf Temperaturen, die wohl sicher unter dem Minimum liegen. Dagegen ergiebt sich aus den Versuchen von Haberlandt (vgl. besonders S. 119 und 120 a. a. O.) mit Sicherheit, dass die Keimung in der Nähe des Minimum mit ausserordentlicher Langsamkeit vor sich geht.

Dieser Einwurf, die Versuche nicht hinreichend lange fortgesetzt zu haben, lässt sich Uloth und Haberlandt gegenüber nicht erheben; wohl aber ist hier (und ebenso in Bezug auf die Versuche von Sachs) die weitere Frage am Platze, ob die Keimungsresultate ohne weiteres auf die Streckung überhaupt übertragen werden dürfen. Denn wenn auch der Prozess der Quellung der Samen bei Vorhandensein von tropfbar flüssigem Wasser in jeder Temperatur von statten geht, so ist doch nicht von vorn herein sicher, ob der Anstoss zu jener Reihe che-

[1]) Experimentalphysiologie S. 54. — Dennoch ist im Lehrbuch 4 S. 802 wieder obige Zahl angegeben. [2]) Flora 1875. S. 266.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mischer Umsetzungen und Neubildungen, die dem Zellenwachsthum vorhergehen müssen, bei einer ebenso niederen Temperatur erfolgen kann, welche später die einmal begonnene Streckung noch zu unterhalten im Stande ist. Mit dem Ausdruck „Wachsthum" wird bekanntlich eine Summe von Stoffumsetzungen und Volumenveränderungen zusammengefasst, deren jede einzelne, theils nachweislich, theils sehr wahrscheinlich, an unter einander verschiedene untere Grenztemperaturen gebunden ist. Wenn eine zur Anwendung kommende Temperatur nur für einen einzigen das Wachsthum mit bedingenden Factor unterhalb des Minimum liegt, wahrend alle anderen Factoren bei eben dieser Temperatur in Wirksamkeit treten könnten, so muss dennoch in diesem Falle der Eintritt der Gesammterscheinnng unterbleiben. Nun wissen wir durch Wiesner's Untersuchungen, dass ein für das Zustandekommen normalen Wachsthums grüner Gewächse unumgänglich nothwendiger Factor, nämlich die Entstehung des Chlorophylls, bei einer und derselben Pflanzenart an ein höher liegendes Temperatur-Minimum gebunden ist, als der Eintritt der Streckung der embryonalen Organe der Keimpflanze. So liegt z. B. nach seinen Beobachtungen [1]) das Minimum für das Ergrünen von Gersten- und Erbsenkeimlingen bei $+ 4 - 5^0$ C., während die Keimung bei diesen Pflanzen nach Uloth [2]) schon bei ca. $\pm 0^0$, allerdings sehr langsam, vor sich geht. Für die Erbse bestätigt Haberlandt die Angabe von Uloth, jedoch mit der Beschränkung, dass in 4 Monaten bei $0 - 1^0$ C. nur $6\frac{0}{0}$ der ausgelegten Erbsen keimten, und auch diese schliesslich zu Grunde gingen; die Keimung der Gerste sah er bei $0 - 1^0$ C. auch in 4 Monaten noch nicht eintreten [3]). Ich selbst machte bei Gelegenheit der später angeführten Untersuchungen die Beobachtung, dass die zum Ergrünen nothwendigen Temperatur-Minima für Erbse, Hanf und weissen Senf höher liegen, als die das Längenwachsthum bei diesen Pflanzen begrenzenden Minima.

Allein auch wenn man bei dem einfacheren Fall des Wachsthums auf Kosten bereits vorhandener Assimilationsprodukte stehen bleibt, wie er sich bei der Keimung darbietet, so scheint auch hier die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass verschiedene, bei normaler Keimung Hand in Hand mit einander verlaufende Vorgänge durch verschiedene Temperatur-Minima bedingt sind. Es ist im Gegentheil wahrscheinlich, dass beim Erwachen der Organe des Embryos aus dem Ruhezustande sich Vorgänge abspielen, die nach einmal begonnenem Wachsthum nicht mehr eintreten; man wird in dieser Beziehung

[1]) J. Wiesner, Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze. 1877. S. 95.
[2]) Flora 1875. [3]) Wissensch.-prakt. Unters. I. S. 113.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

namentlich an das Auftreten von Fermenten, die in keimenden Samen beobachtet worden sind, zu denken haben. Würde nun irgend eine dieser specifischen Keimungs-Umbildungen sich bezüglich des Bedürfnisses an Wärmezufuhr anders verhalten, als die das weitere Wachsthum bedingenden Factoren, so könnten aus diesem Grunde die an keimenden Samen gewonnenen Resultate nicht verallgemeinert werden. Ja, man kann sich sogar vorstellen, dass auch die gequollene und durchfeuchtete Samenschale oder Fruchthülle für die bei sehr niederen Temperaturen ausserordentlich langsam sich streckende Keimwurzel ein so grosses, lediglich mechanisches Hinderniss ist, dass dieselbe nicht herausbrechen kann, und doch vielleicht innerhalb dieser Hüllen ein nicht wahrnehmbares Wachsthum beginnt [1]).

II. Untersuchungsmethode.

Diese Erwägungen veranlassten mich, einige Versuche zur Feststellung der unteren Temperaturgrenze für die Streckung nach einer andern, als der bisher angewendeten Methode anzustellen.

Als Versuchspflanzen dienten Keimlinge verschiedener Art in verschiedenen Stadien ihrer ersten Ausbildung; sie waren beim Beginn der Versuche je nach der Pflanzenart in der Regel 3 — 6 Tage alt, und waren in einer Temperatur von 18—20° C. zur Entwickelung gebracht worden. Von ihren Organen wurde die Verlängerung der Wurzel, des hypokotylen Stengelgliedes, und bei Gräsern des ersten Scheidenblattes beobachtet.

Es ist von allen Beobachtern der Wachsthumsvorgänge bei niederen Temperaturen darauf hingewiesen worden, von wie grosser Wichtigkeit eine constante Temperatur des Raumes sei, in welchem die wachsenden Pflanzen während der Dauer der Versuche aufbewahrt werden. Denn da bei einer bestimmten niederen Temperatur ein Wachsthum nicht mehr eintritt, ohne dass zunächst die weitere Wachsthumsfähigkeit der Organe beeinträchtigt wird, so findet bei späterer Erhöhung der Temperatur wieder Streckung statt, und man kann deshalb bei schwankenden Temperaturen, während deren noch Wachsthum beobachtet wurde, leicht in den Fall kommen, aus den verschiedenen beobachteten Temperaturen ein Mittel zu berechnen,

[1]) Durch spätere Versuche überzeugte ich mich, dass die Samen verschiedener Pflanzen sich bezüglich des Widerstandes, welchen die Samenschale dem auskeimenden Würzelchen entgegensetzt, verschieden verhalten. So liess sich z. B. bei weissen Schminkbohnen nachweisen, dass unter sonst ganz gleichen Verhältnissen die Streckung des Würzelchens von solchen keimenden Samen, deren Samenschale nach der Quellung entfernt worden war, mit grösserer Energie erfolgte, als bei unversehrten Samen; bei Erbsen dagegen war ein solcher Unterschied nicht zu bemerken.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

das in Wirklichkeit bereits unter dem Minimum liegt. Es stand mir nun zur Anstellung der Beobachtungen ein Raum zur Verfügung, welcher innerhalb längerer Zeit, namentlich während der lange anhaltenden Kälte des vergangenen Winters sehr constante Temperaturen behielt: ein geräumiges, nie geheiztes Zimmer mit sehr dicken Mauern im hiesigen Akademiegebäude, dessen beide an der Südwand befindlichen Fenster nach einem kleinen, von so hohen Gebäuden umschlossenen Hofe führen, dass sie im Winter nie von der Sonne getroffen werden. Bei den Beobachtungen, die ich bei Temperaturen oberhalb + 1° C. anstellte, wurden die Versuchspflanzen (Keimlinge) in diesem Zimmer frei oder in Recipienten aufgestellt; es liess sich durch passende Auswahl der Versuchszeit und durch eventuelles Ausmerzen verunglückter Versuche die Benützung einer Temperatur erreichen, die innerhalb mehrerer Tage nur um 0,5° C. schwankte. In diesem Zimmer wurden die Versuchspflanzen 3 — 4 Stunden lang belassen, ehe sie für den Versuch vorbereitet und demselben unterworfen wurden, sodass sie immer die Temperatur der umgebenden Luft vollständig angenommen hatten. Auch zum Zweck der Messungen wurden die Pflanzen aus diesem Zimmer nicht entfernt. Für Temperaturen zwischen 0 und + 1° C. wurde ein Eiskasten benützt, der in dem oben beschriebenen Zimmer aufgestellt wurde. Es war seiner ursprünglichen Bestimmung nach ein Thermostat mit doppelter Wandung und durch einen aufzulegenden Glasdeckel verschliessbar. Der Raum zwischen den doppelten Wänden wurde mit Wasser gefüllt, in das Innere des Kastens Glasschalen mit den Versuchspflanzen und Thermometern gebracht, diese durch Glasdeckel verschlossen, und der Raum um sie herum mit Eisstücken ausgefüllt, über die etwas Wasser gegossen wurde, und die so langsam aufthauten, dass nur alle 5 — 6 Tage ein Nachlegen nothwendig wurde. Die geräumigen Glasschalen wurden mit den Versuchspflanzen derart beschickt, dass entweder der Boden der Gefässe mit nassem Fliesspapier bedeckt wurde, auf welches man ohne weiteres die numerirten Keimlinge brachte, oder es wurden kleine mit Wasser gefüllte Reagirgläschen, der Grösse des Keimlings angemessen, aufgestellt, und die Keimlinge mit Hilfe von Baumwollenstopfen so in ihnen angebracht, dass das Würzelchen sich im Wasser befand, der Same und die Plumula von Luft umgeben waren. In dem Eiskasten betrug die Temperatur lange Zeit hindurch 0 — 0,5° C. und konnte auch dann nicht unter 0° sinken, wenn, was zwei Male vorkam, die Zimmertemperatur sich unter 0° abkühlte, weil das im Kasten befindliche Wasser nie völlig gefror.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Vor Beginn der Versuche wurde der Eiskasten mit den Glasschalen, ebenso das zur Verwendung kommende destillirte Wasser 24 Stunden lang in dem kalten Zimmer sich selbst überlassen.

Für die Messung bediente ich mich eines anderen Verfahrens, als Sachs, Köppen, H. de Vries u. a. es gewählt hatten. Ich hatte mich nämlich durch Vorversuche davon überzeugt, dass in der Nähe des Temperatur-Minimum das Wachsthum unmerklich langsam vor sich geht, sodass dasselbe sich durch Anlegen grober Maassstäbe durchaus nicht mit der nothwendigen Genauigkeit messen lässt; auch ein sehr fein gearbeiteter, mit Nonius versehener Calibermassstab reichte nicht hin, um die in etwa 24 Stunden zu Stande kommenden sehr geringen Verlängerungen festzustellen. Ich nahm daher meine Zuflucht zu mikroskopischen Messungen. Die zu messenden Organe wurden zu diesem Zwecke mit feinen Marken von Asphaltlack in so geringen Entfernungen (meist etwa $1\frac{1}{2}$ mm.) versehen, dass im Gesichtsfelde des Mikroskopes bei schwachen Vergrösserungen mindestens 2 benachbarte Marken zugleich gesehen werden konnten. Die Marken nahmen bei den Keimwurzeln von der Spitze an gerechnet eine so lange Strecke nach aufwärts ein, dass ich sicher sein konnte, die ganze der Streckung fähige Gewebspartie in Zonen zerlegt zu haben; die spätere Beobachtung der Zuwachse innerhalb der einzelnen Zonen bestätigte dies, da die oberen Zonen keine Streckung mehr zeigten. Um die (übrigens bei dem geringen Zuwachs, um den es sich in der Regel handelt, zu vernachlässigenden) Ungenauigkeiten auszuschliessen, die sich hätten ergeben können, wenn die wachsenden Organe sich in verschiedenen Stadien der grossen Periode befunden hätten, wurden zu jeder Versuchsreihe immer gleich alte und möglichst gleichmässig entwickelte Exemplare benützt, deren Wachsthum sich immer im Anfange des aufsteigenden Astes der Streckungscurve befand. Bei der Messung von hypokotylen Stengelgliedern oder von Blättern der Plumula wurde die ganze ausserhalb des Samens befindliche Partie durch Marken eingetheilt. Das Messen unter dem Mikroskop, welches mit Hülfe eines verstellbaren Ocular-Mikrometers bei einer 20fachen Vergrösserung vorgenommen wurde, bietet einige Unzuträglichkeiten, deren Vernachlässigung leicht bedeutende Beobachtungsfehler herbeiführen kann. Wenn auch die Messung selbst jedesmal nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, namentlich wenn das Notiren der abgelesenen Zahlen von einem Gehilfen ausgeführt wird, so muss man doch beim Operiren mit Wurzeln dafür sorgen, dass auf dem Objectträger sich ein Wassertropfen befindet, damit nicht während der Beobachtung eine Verkürzung in Folge von Verdunstung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

eintritt. Von der grössten Wichtigkeit ist aber, dass man bei der Messung auf eine vollkommen horizontale Lage der zu messenden Strecke achtet, sonst werden Beobachtungsfehler veranlasst, die bei der meist sehr geringfügigen Grösse der Zuwachse schwer ins Gewicht fallen. Zwar wurde beim Beginn der Versuche immer dafür Sorge getragen, nur möglichst grade gewachsene Wurzeln etc. zu verwenden, allein später traten doch, namentlich an den horizontal auf Fliesspapier gelegten, geotropische Krümmungen auf, welche das Messen erschwerten. Indessen gelang es fast immer, durch Unterlegen kleiner Korkstückchen jede Zone horizontal zu legen. Davon dass dies gelungen ist, überzeugt man sich sehr leicht durch das mikroskopische Bild selbst: es sind bei derselben Einstellung die Contoure der die Zone einschliessenden Marken völlig scharf sichtbar. Bei einiger Uebung erlangt man in dieser Art des Messens bald eine solche Geschicklichkeit dass die Beobachtungsfehler ausserordentlich klein werden; ich überzeugte mich durch massenhafte Messungen, dass diese Fehler nicht höher als auf einen halben Theilstrich des Mikrometers (= 0,028 mm) zu veranschlagen sind. Wollte es trotz aller Mühe nicht gelingen, die Zone in eine horizontale Lage zu bringen, so wurde das Würzelchen vom Samen abgeschnitten, in einigen wenigen Fällen dann noch durch scharfe Schnitte in einzelne Partien getheilt, die sich dann in eine für die Messung geeignete Lage bringen liessen. Die abgeschnittenen, aber nicht weiter zerlegten Wurzeln konnten noch eine Zeit lang zum Versuche verwendet werden, da ich gefunden hatte, dass sie, so lange die in ihnen enthaltene Baustoffe zureichen, eine gleiche Streckung zeigten, wie solche, die noch mit dem Samen in Verbindung standen[1]). Solche abgeschnittene Wurzeln sind bei den unten angeführten Versuchsreihen durch * bezeichnet.

---

[1]) Z. B. eine ca. 20 mm lange Keimwurzel von *Vicia Faba* wurde vom Samen abgeschnitten und ihr letztes 13,88 mm langes Stück in 7 Zonen getheilt. Dieselben zeigten in einer Temperatur von + 18—20° C. in 24 Stunden (von oben nach unten gerechnet) folgende Zuwachse:

1.	Zone,	anfangs	1,70	mm	lang,	wuchs	um 0	mm
2.	=	=	1,82	=	=	=	= 0	=
3.	=	=	1,87	=	=	=	= 0,06	=
4.	=	=	2,13	=	=	=	= 0,94	=
5.	=	=	2,39	=	=	=	= 2,84	=
6.	=	=	2,27	=	=	=	= 2,90	=
7.	=	=	1,70	=	=	=	= 0,17	=
							Summa:	6,91 mm.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zur Untersuchung dienten im warmen Zimmer gewachsene Keimlinge von: *Sinapis alba, Vicia Faba, Pisum sativum, Phaseolus vulgaris, Lupinus albus, Helianthus annuus, Cucurbita Pepo, Cannabis sativa, Triticum vulgare, Secale cereale, Zea Mays leucodon.* An allen diesen Species wurde das Wurzelwachsthum, an *Sinapis alba* auch die Streckung des hypokotylen Stengelgliedes und an *Triticum* und *Secale* die Streckung des ersten Scheidenblattes beobachtet.

III. Streckung von Keimwurzeln bei niederen Temperaturen.

Die in dieser Richtung angestellten Versuche ergaben sehr bald, in Bestätigung zahlreicher bereits vorliegender Untersuchungen, dass die Streckung der Keimwurzeln bei Temperaturen, die nicht weit über $\pm 0^0$ liegen, bei verschiedenen Pflanzenspecies in verschiedener Weise vor sich geht; doch findet bei allen untersuchten Keimlingen selbst bei Temperaturen zwischen 0 und $+ 1^0$ C. ein mehr oder weniger ausgiebiges Wachsthum zunächst noch statt.

In Bezug auf die Zeitdauer desselben treten aber Unterschiede hervor, welche gestatten, die untersuchten Pflanzen in zwei Kategorien zu ordnen, von denen die eine bei Temperaturen von $0-1^0$ C. andauernde, in gleichen Zeiträumen ungefähr gleich ausgiebige Streckung zeigt *(Sinapis, Secale, Triticum)*; während bei der anderen ein allmähliches Sinken der Zuwachse innerhalb gleicher Zeiträume zu beobachten ist, welches in manchen Fällen erst nach einigen Wochen, in andern schon nach einem bis wenigen Tagen mit völligem Wachsthums-Stillstande, resp. mit dem Turgorverlust der Wurzel endigt.

1. *Sinapis alba* keimte nach F. Haberlandt[1]) bei einer constanten Temperatur von $0 - 1^0$ C. und zeigte bei derselben andauerndes Wachsthum. Uloth[2]) beobachtete die Keimung von Senfkörner auf Eisplatten, und auch De Candolle[3]) giebt als die niederste für die Keimung des weissen Senfes erforderliche Temperatur $\pm 0^0$ an.

Ein mit den Keimwurzeln von 10 angekeimten Samen bei einer Temperatur von $+ 2{,}75 - 3^0$ C. angestellter Vorversuch hatte bei 22stündiger Dauer folgendes Resultat:

---

1) Wissensch.-prakt. Unters. I. S. 113.
2) Flora 1875.
3) Citirt aus Sachs, Lehrb. 4. S. 803.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

(Versuch 1; 7. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachs in 22 St.
No. 1.	5,46 mm	1,59 mm
2.	7,10 =	1,19 =
3.	5,40 =	1,19 =
4.	6,42 =	0,74 =
5.	4,55 =	0,34 =
6.	4,73 =	0,44 =
7.	5,40 =	1,87 =
8.	6,87 =	0,57 =
9.	3,07 =	0,63 =
10.	3,81 =	0,74 =
		Durchschnitt: 0,93 mm.

Da hierbei noch eine verhältnissmässig beträchtliche Streckung eingetreten war, so wurde ein Versuch bei niederer Temperatur gemacht. Es wurden 5 Keimlinge nach den oben beschriebenen Vorbereitungen in den Eiskasten gebracht, in welchem während der 15 Tage langen Dauer des Versuches eine constante Temperatur von + 0,25—0,75°C herrschte; nur am 2. Tage stieg sie einmal auf + 1°.

(Versuch 2; 16 Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je: 24 St.	48 St.	72 St.	48 St.	7 X 24 St.
Temperatur:	+ 0,75°	+ 0,1°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,25° C.
No. 1.	11,48 mm	0,46 mm	1,36 mm	2,05 mm	1,53 mm	3,81 mm
2.	5,91 =	0,28 =	0,91 =	0,74 =	0,77 =	—
3.	7,59 =	0,23 =	0,97 =	1,99 =	2,41* =	—
4.	8,25 =	0,40 =	0,99 =	0,88 =	0,80* =	—
5.	8,07 =	0,23 =	0,97 =	1,67 mm		4,15 mm
	Durchschnitt:	0,32 mm	1,04 mm	1,33 mm	1,15 mm	3,98 mm.

Nach dem 8. Tage mussten 2 Wurzeln zum Zwecke der Messung abgeschnitten und dann entfernt werden.

Im Durchschnitt ergiebt sich aus diesem Versuch, auf je 24 Stunden berechnet, folgende Reihe von Zuwachsen:

0,32. 0,52. 0,52. 0,44. 0,44. 0,44. 0,57. 0,57. 7 × 0,57.

Bei Abschluss des Versuches sahen die 3 noch übrigen Keimlinge bezüglich der Gestalt völlig normal aus, die Wurzeln waren mit einem weissen Filz von Wurzelhaaren überzogen, Chlorophyll hatte sich aber weder in den Kotyledonen, noch in dem hypokotylen Stengelgliede gebildet[1]).

[1]) Bemerkenswerth erscheint, dass bei einem Keimling (No. 4) die nach oben gekehrten Flächen der beiden Kotyledonen eine schön rothe Färbung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Abgesehen von einer Depression am ersten Tage und einer geringeren vom 4.—6. Tage, zeigte sich also eine ziemlich gleichmässig verlaufende langsame Streckung, die nach 8 Tagen durchschnittlich 3,93 mm, nach 15 Tagen 8,11 mm betrug.

Weitere Versuche wurden mit den Wurzeln des weissen Senf nicht angestellt, da sich aus den bereits vorliegenden Beobachtungen über die Keimungsminima, mit Hinzunahme des obigen Ergebnisses der Schluss ziehen lässt, dass die Keimwurzeln von *Sinapis alba* bei Anwesenheit genügender Mengen von Baustoffen noch in Temperaturen bis gegen $\pm 0^0$ hin eine Streckung zeigen.

2. *Secale cereale* verhält sich ebenso wie *Sinapis alba,* nur ist der Zuwachs im Ganzen etwas weniger ausgiebig.

Roggenkörner keimten nach der Beobachtung von F. Haberlandt bei 0—1°C. nur kümmerlich und ohne sich normal entwickeln zu können, nach Uloth im Eise sehr langsam.

Drei Keimlinge, von denen jeder 2—3 Würzelchen entwickelt hatte, wurden auf feuchtem Fliesspapier anfangs im kalten Zimmer, später im Eiskasten, ausgesetzt, nachdem je eine ihrer Wurzeln mit Marken versehen worden war. Die Temperatur betrug am ersten Tage $+ 1{,}5^0$, schwankte aber im weiteren Verlauf nur noch zwischen 0 und $+ 0{,}75^0$ bis zum 14. Tage, worauf wieder eine Erhöhung eintrat.

(Versuch 3; 23. Jan.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je: 24 St.	48 St.	24 St.	24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	96 St
Temp.	$+1{,}5^0$.	$+0{,}75^0$.	$+0{,}25^0$.	$\pm 0^0$.	$\pm 0^0$.	$+0{,}5^0$.	$+0{,}25^0$.	$+0{,}5^0$.	$+0{,}75^0$.	$+1^0$.	$+4^0$
No. 1. 4,58 mm	0,40	0,57	0,11	0,11		0,60	abgestorben.				
2. 7,50 "	1,34	0,05	0,54	0,20		0,63	0,48*				
3. 9,09 "	0,85	0,63	0,40	1,08	0,80	0,71	0,88	0,65	0,48	1,42	3,47.
Durchschnitt:	0,86	0,42	0,35	0,46	0,40	0,51	0,68	0,65	0,48	1,42	3,47.

Bei dem theilweisen Abschluss des Versuches nach 10 Tagen sahen 2 von den gemessenen Wurzeln ganz gesund aus, und hatten geotropische Krümmungen ausgeführt, welche das Messen so sehr erschwerten, dass die eine abgeschnitten werden musste; die dritte

zeigten. Es geht daraus hervor, dass zur Ausbildung dieses rothen, am Lichte sich bildenden Pigmentes eine niedrigere Temperatur ausreicht, als für die Ausbildung des Chlorophylls erforderlich ist. Ein ähnliches Verhältniss hat Batalin (Ueber die Einwirkung des Lichtes auf die Bildung des rothen Pigmentes. Acta Horti Petrop. VI. II. S. 279 ff. Citirt aus dem Bot. Centralblatt, 1. Jahrg. S. 966) bezüglich der Lichtintensität an keimenden Samen des Buchweizens nachgewiesen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wurzel (No. 1) hatte ihren Turgor verloren und schien abgestorben. Es stellen sich für diese zehn Tage, auf je 24 Stunden berechnet, folgende Zuwachse heraus:

0,86. 0,21. 0,21. 0,35. 0,46. 0,40. 0,25. 0,26. 0,34. 0,34.

Die verhältnissmässig bedeutende Streckung am ersten Tage ist jedenfalls durch die höhere Temperatur in dieser Zeit verursacht.

Der überlebende Keimling wurde noch weitere zehn Tage hindurch beobachtet, und wies in den ersten 4 Tagen bei einer Temperatur von + 0,5—0,75° die Zuwachse: 0,32. 0,32. 0,24. 0,24. auf. Dann trat eine Temperaturerhöhung auf + 1°, und am letzten Tage sogar auf + 4° ein, da das Nachlegen von Eis versäumt worden war. Demgemäss betragen die Zuwachse in dieser Zeit: 0,71. 0,71. 4 × 0,87; ein Beweis, dass die Wurzel noch völlig lebenskräftig war und zu ausgiebigerem Wachsthum nur einer geringen Temperaturerhöhung bedurfte.

3. *Triticum vulgare.* Die untere Temperaturgrenze für die Keimung liegt nach Sachs bei + 5° C., nach den Untersuchungen von Haberlandt zwischen + 1 und + 4,8° C.; dagegen fand Uloth, dass Weizenkörner im Eise in derselben Weise keimten, wie Roggenkörner.

Drei analoge Versuche sollten das Wachsthum der Keimwurzeln bei niederen Temperaturen feststellen. Bei dem ersten wurde nur ein Keimling verwendet, von dessen 3 etwa 2 cm. langen Würzelchen das eine gemessen wurde. Die Temperatur betrug während des ersten Versuchstages + 1,5° C., hielt sich später aber immer (mit Ausnahme des letzten Tages) zwischen ± 0 und + 1°, und betrug im Mittel + 0,5° C.

(Versuch 4; 23. Jan.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes:		14,43 mm.	Temperat.	+ 1,5° C.
Zuwachse in je:	24 St.	0,28 =		+ 1,5°
	48 =	0,77 =		+ 0,75°
	24 =	0,28 =		+ 0,25°
	24 =	0,14 =		+ 0°
	72 =	0,63 =		+ 0,5°
	48 =	0,23 =		+ 0,25°
	48 =	0,51 =		+ 0,5°
	48 =	0,54 =		+ 0,75°
	48 =	0,60 =		+ 1°
	96 =	1,36 =		+ 4°

Innerhalb 16 Tagen ergaben sich für je 24 St. folgende Zuwachse: 0,28. 0,38. 0,39. 0,28. 0,14. 0,21. 0,21. 0,21. 0,11. 0,12. 0,25. 0,26. 0,27. 0,27. 0,30. 0,30 mm. Die Schwankungen der täglichen Zuwachse gehen, wie man sieht, mit den Temperaturschwankungen parallel.

© Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nach weiteren 4 Tagen, an deren letztem eine Temperaturerhöhung auf + 4° C. eingetreten war, ergab sich ein Zuwachs von 1,36 mm, der sich aber sicher nicht gleichmässig auf diese 4 Tage vertheilt.

Ein zweiter Versuch wurde mit den Wurzeln von 5 schwächlichen Keimlingen ausgeführt, von denen jeder nur eine einzige Wurzel besass; die Temperatur betrug + 0,25—0,75° C.

(Versuch 5; 19. Jan.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachs in je 24 St.	24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	72 St.	72 St.	48 St.
Temp.	+0,75°	+0,25°	+0,25°	+0,75°	+0,75°	+0,5°	±0°	+0,25°	+0,25° C.
No. 1. 10,54 mm.	0	0,20	—0,03	0,03	0,11	—0,03	0,17	—0,08
2. 9,69 „	0,43	0,23	0,06	0,20	0,14	—0,03	0,20	—0,03
3. 7,22 „	0,40	0,20	0,11	0,17	0,17	—0,08	0	0
4. 11,11 „	0	0,40	0,17	0,26*	—	—	—	—
5. 7,87 „	0,14	0,20	—0,08	0,17	0,23	0	0,11	—0,06
Durchschnitt:	0,19	0,24	0,05	0,16	0,16	—0,035	0,12	—0,04

Hierbei ergaben sich durchschnittlich sehr geringe tägliche Zuwachse, ein Umstand, den man mit Recht der anfänglichen Schwächlichkeit der verwendeten Keimpflänzchen wird zuschreiben dürfen. Aus diesem Grunde wurde der Versuch mit kräftigeren, mit mehreren Würzelchen versehenen Keimlingen wiederholt, von deren Wurzeln je eine gemessen wurde. Die Temperatur schwankte während der ersten 6 Versuchstage zwischen + 0,25 und + 1° C., und betrug im Mittel + 0,85°; am letzten (7.) Tage stieg sie auf 4° C.

(Versuch 6; 5. Febr.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	48 St.	72 St.	Summa der Zuwachse:
Temperat. + 0,25°	+ 0,75°	+ 1°	+ 0,75°	+ 4° C.	
No. 1. 10,23 mm	0,40	0,08	0,31	1,65	2,44
2. 6,36 „	0,28	0,06	0,28	0,48	1,10
3. 6,90 „	0,37	0,34	1,53	1,82	4,06
Durchschnitt:	0,35	0,16	0,71	1,32	2,53

Folgendes sind die täglichen Zuwachse: 0,35. 0,16. 0,35. 0,36. 0,44. 0,44. 0,44. Die vorletzten 2 Zahlen, die nicht direct beobachtet, sondern berechnet sind, dürften in Wirklichkeit etwas niederer, die letzte dagegen höher gewesen sein. Im allgemeinen stimmen diese Zuwachse mit den beim ersten Versuch erhaltenen überein, und zeigen, abgesehen von einer Depression gegen Anfang der Reihe, ziemlich constante Zahlen; hier, ebenso wie bei *Sinapis* und *Secale* lässt sich kein allmähliches Sinken der Zuwachse bemerken.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Anders verhält es sich nun mit allen andern, im weiteren Verlauf der Untersuchung beobachteten Pflanzen, insofern bei ihnen theils ein langsames, theils ein rasches Herabsinken der auf einander folgenden Zuwachse bemerkt wurde.

4. *Pisum sativum.* Köppen fand die untere Temperaturgrenze für die Keimung bei + 6,7° C., während nach Haberlandt die ersten, allerdings geringfügigen Keimungserscheinungen bei einer 4 Monate lang constanten Temperatur von 0—1° C. sich zeigten, und nach Uloth sogar langsame Keimung im Eise eintrat.

Es ergab sich zunächst bei einem mit 9 Hauptwurzeln in einer constanten Temperatur von + 4° C. angestellten Versuch, dass innerhalb 24 Stunden noch ein nicht unbeträchtlicher durchschnittlicher Zuwachs stattfand:

(Versuch 7; 9. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in 24 St.	Temperatur + 4° C.
No. 1.	4,60 mm	2,27	
2.	3,30	0,34	
3.	4,77	1,05	
4.	5,40	1,36	
5.	3,64	0,40	
6.	5,62	0,57	
7.	4,98	0,68	
8.	2,50	0,77	
9.	4,49	0,91	
	Durchschnitt:	0,93	

Es wurde demnach ein neuer länger andauernder Versuch bei niederer Temperatur eingeleitet. Bei einer nur zwischen +0,5 und 1° C. schwankenden Temperatur wurden 4 Keimwurzeln, von denen eine (No. 4) vom Samen getrennt war, 10 Tage lang beobachtet:

(Versuch 8; 14. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je 24 St.	24 St.	72 St.	120 St.	168 St.	Summe der Zuwachse in 14 T.
Temperat.		+ 1°	+ 0,9°	+ 0,9°	+ 0,5°	+ 0,6°	+ 0,5° C.
No. 1.	10,29 mm	0,74	0	0,54	0,26	0,26	1,79
2.	11,19	0,28	0,20	0,57	0,34	0,71	2,10
3.	15,40	0,28	0,25	0,34	0,77*	—	—
4.	13,44*	0,57	0,14	0,14	0,06	0,08	0,99
	Durchschnitt:	0,47	0,15	0,40	0,36	0,35	1,73

Die täglichen Zuwachse stellen sich folgendermassen: 0,47. 0,15. 0,13. 0,13. 0,13. 5 × 0,7. Da die eine Wurzel (No. 3) nach diesen 10 Tagen bei der Messung zerschnitten werden musste, so wurden

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nur die übrigen nach Verlauf von 7 Tagen wieder gemessen, währenddem die gleiche Temperatur herrschte. Sie zeigten nur einen durchschnittlichen Zuwachs von 7 × 0,05 mm. — Bei Beendigung des Versuches sahen sämmtliche Wurzeln normal aus und hatten geotropische Krümmungen ausgeführt. Obwohl ein factischer Stillstand nicht beobachtet worden ist, so schliesse ich doch aus den constant fallenden Zuwachsgrössen, dass ein solcher bei längerer Andauer des Versuches erfolgt wäre. Diese Annahme steht allerdings im Widerspruch mit der Beobachtung Uloths, indessen wird man vielleicht für verschiedene Erbsenrassen ein ungleiches Verhalten annehmen dürfen.

5. *Cannabis sativa* keimte langsam und kümmerlich, wie die Erbse, bei 0—1° C. nach Haberlandt, im Eise nach Uloth.

Zunächst wurde ein Versuch mit 10 Keimwurzeln bei einer zwischen + 4,25 und 4,5° C. schwankenden Temperatur angestellt:

(Versuch 9; 9. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in 24 St.	Temperatur. + 4,25—4,5° C.
No. 1.	4,82 mm	1,15	
2.	4,94	0,97	
3.	5,40	2,02	
4.	3,12	1,75	
5.	12,16	1,99	
6.	4,66	1,25	
7.	7,56	0,91	
8.	7,38	1,37	
9.	5,34	1,19	
10.	5,80	1,53	
		Durchschnitt: 1,41	

Ein weiterer Versuch bei niedrigerer Temperatur ergab ein ähnliches Zuwachsverhältniss, wie bei den Erbsenwurzeln. Verwendet wurden 5 Hauptwurzeln, von denen die eine (No. 5) vom Samen abgeschnitten war; die Temperatur betrug während der ersten 10 Versuchstage fast constant + 0,75° C., nur am dritten Tage stieg sie auf + 1°.

(Versuch 10; 14. Jan.)

	Anfangslänge des gemess. Stückes.	Zuwachse in je 24 St.	24 St.	24 St.	48 St.	72 St.	48 St.	168 St.	Summe der Zuwachse in 17 T.
Temp.	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 1°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,25° C.	
No. 1.	10,74 mm	0,40	0,28	— 0,20	0,06	0,37	0,31	0,23	1,45
2.	14,91	0,34	0,23	abgestorben.					
3.	11,42	0,45	—0,20	0,77		0,41	abgestorben.		
4.	6,42	0,68	—0,03	1,28		1,39		0,65	3,97
5.	9,01*	1,31	0,17	0,61		0,28		0,17	2,54
Durchschnitt:		0,63	0,09	0,17	0,46	0,40	0,29	0,35	2,39

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Folgendes sind die Zuwachse für je 24 Stunden: 0,63. 0,09. 0,17. 0,23. 0,23. 0,13. 0,13. 0,13. 0,14. 0,14.

Während dieser Zeit starben 2 Wurzeln ab, die 3 übrigen zeigten nach Verlauf von 7 Tagen, während welcher die Temperatur zwischen + 0,25 und 0,75° C. schwankte, einen durchschnittlichen Zuwachs von 0,05 mm pro Tag. Sie waren bei Beendigung des Versuches von normalem Aussehen.

6. *Vicia Faba.* Die Keimung erfolgt nach Haberlandt noch bei einer Temperatur von + 4,8° C. innerhalb 7 Tagen.

Ein Versuch mit 3 Keimwurzeln zeigte, dass bei einer Temperatur von + 3,25—3,75° C. in 48 Stunden noch ein Zuwachs von 2,43 mm im Durchschnitt erfolgte.

(Versuch 11; 11. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	Summe der Zuwachse.
Temp.	+ 3,75°	+ 3,25°	+ 3,5° C.	
No. 1.	12,87* mm	1,42	0,88	2,30
2.	10,11	0,63	0,74	1,37
3.	11,59	3,61		3,61
			Durchschnitt:	2,43

Ein zweiter Versuch wurde mit 4 Hauptwurzeln angestellt, welche zur Erleichterung des grade bei diesen dicken Wurzeln schwierigen Messens von den Samen abgeschnitten worden waren. Die Temperatur schwankte während 10 Tagen zwischen + 0,5 und + 1° C.

(Versuch 12; 14. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je 24 St.	24 St.	48 St.	24 St.	120 St.	Summe der Zuwachse in 10 Tagen.
Temp.	+ 1°	+ 0,9°	+ 0,9°	+ 1°	+ 0,5°	+ 0,6°	
(No. 1.	16,82* mm	0,46	0,28	— 0,03	— 0,03	—)	
2.	11,42*	0,77	0,03	0,03	0,23	0,37	1,43
3.	11,96*	0,82	0,14	0,37		0,03	1,36
4.	12,33*	1,31		0,34		0,26	1,91
	Durchschnitt:	1,02		0,32		0,22	1,56

Da die eine Wurzel (No. 1.) sich als ungeeignet erwies, weil sie bei fortdauerndem Wachsthum der jüngeren Zonen eine starke Verkürzung der älteren zeigte, die den Zuwachs übertraf, so wurde sie bei der Durchschnittsberechnung ausser Acht gelassen. Die Zuwachse für je 24 Stunden stellen sich folgendermassen heraus: 0,51. 0,51. 0,11. 0,11. 0,11. 0,055 0,055. 0,055. 0,055.

Um dem Einwand zu begegnen, dass in diesem Falle das Wachs-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

thum nur wegen des Fehlens der in den Kotyledonen abgelagerten Reservestoffe dem Erlöschen nahe gewesen sei, wurde der Versuch mit der Abänderung wiederholt, dass solche Wurzeln verwendet wurden, die noch mit dem Samen im Zusammenhang standen. Die Temperatur schwankte von ± 0—0,6° C.

(Versuch 13; 19. Jan.)

	Anfangslänge des gemess. Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	72 St.	48 St.	Summe der Zuwachse:
Temp.	+0,5°	±0°	±0°	+0,25°	+0,6°	+0,5°	±0°	+0,5°	
No. 1.	13,75 mm	0,54	0,43	—0,54	0,14	—0,06			0,51 (in 7 T.)
2.	9,97	1,45	—0,03	—0,03	0,11	0,23	0,06	0	1,79 (= 12 =)
3.	9,21	1,02	0,31	0,14	0,11				1,58 (= 5 =)
4.	14,77	2.07	0,51	0,17	0,28	0,06	abgestorben		3,09 (= 7 =)
Durchschnitt:		1,27	0,30	—0,04	0,16	0,08	0,06	0	

Der Durchschnitt aus den Zuwachsen ergiebt folgende Zahlen für je 24 Stunden: 1,27. 0,30. —0,04. 0,08 0,08. 0,04. 0,04. 0,02. 0,02. 0,02. 0. 0. Es zeigte sich also nur nach dem ersten Tage ein ausgiebigerer Zuwachs, als bei dem vorhergehenden Versuche, sodann aber, nach einer eigenthümlichen Depression am 3. Tage, ein immerwährendes Sinken bis zu dem am 11. Tage eintretenden Stillstand.

Die 4 zu diesem Versuche verwendeten Keimlinge wichen in ihrem Verhalten bedeutend unter einander ab. Die niedere Temperatur der ersten Versuchstage bewirkte bei zweien derselben (No. 1 und 2) schon nach 2 resp. 3 Tagen eine Verkürzung, d. j. ein Nachlassen des Turgors; als sich indessen die Temperatur nachher um ein geringes hob, so zeigten diese beiden Wurzeln wieder einen kleinen Zuwachs, der bei der einen (No. 2), die auch vorher eine weit geringere Verkürzung gezeigt hatte, längere Zeit fortdauerte, bei der andern dagegen schon nach 2 Tagen wiederum einem Rückgange Platz machte. Diese Wurzel (No. 1) wurde in ein warmes Zimmer (von ca. + 18—20° C.) gebracht, zeigte nach 24 Stunden daselbst einen Zuwachs von 0,42 mm, und wuchs dann in 2 Tagen um ca. 42 mm. Auch No. 2, welche noch bis zum 11 Tage Zuwachse gezeigt hatte, wurde am 12. in eine Temperatur von ca. + 18 ° C. gebracht; die Hauptwurzel wuchs indessen nicht weiter, nach 5 Tagen war sie völlig abgestorben und missfarbig, aus ihr hatten sich zahlreiche Nebenwurzeln entwickelt, und die Plumula war in kräftiger Entfaltung begriffen.

Von den beiden letzten Keimwurzeln (No. 3 und 4), welche in den ersten Tagen des Versuches keine Verkürzung erfahren hatten, wurde die eine (No. 4) mit No. 1 zusammen nach 7 Tagen in das

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

warme Zimmer gebracht und erwies sich daselbst als abgestorben, obwohl eine Verkürzung auch in den letzten Versuchstagen an ihr nicht bemerkt werden konnte.

Derartige Unterschiede bestätigen die alte Erfahrung, dass bei den Wachsthumserscheinungen in der Nähe der unteren Temperaturgrenze individuelle Verschiedenheiten eine grosse Rolle spielen.

Von besonderem Interesse sind die Ergebnisse der Versuche mit solchen Pflanzen, deren untere Temperaturgrenze für die Keimung bestimmt um ein beträchtliches oberhalb ± 0° liegt, nämlich mit Keimlingen von Sonnenrose, Pferdezahnmais und Kürbis.

7. *Helianthus annuus.* Das Minimum für die Keimung liegt nach Haberlandt zwischen + 4,8 und + 10,5° C.

Bei dem ersten Versuch, welcher mit 4 Keimlingen angestellt wurde, herrschte während des ersten Tages eine Temperatur von + 1,5°, später schwankte dieselbe zwischen ± 0 und + 1° während 18 Tagen und stieg am letzten Tage auf + 4° C.

(Versuch 14; 23. Jan.)

	Anfangslänge des gemess. Stückes.	Zuwachse in je 24 St.	48 St.	24 St.	24 St.	24 St.	24 St.	72 St.	48 St.	48 St.	48 St.	96 St.	Summe der Zuwachs in 20 T.
Temp.		+1,5°	+1,5°	+0,75°	+0,25°	±0°	±0°	+0,75°	+0,25°	+0,5°	+0,75°	+1°	+4° C.
No. 1.	8,56 mm	0,77	0,74	0,14	0,26	0,20	0,08	0,60	0,28	0,28	0,71	0,91	4,97
2.	9,32	0,65	0,60	0,34	0,37	0,11	0,06	0,43	0,23	0	0,51	0,26	3,56
3.	9,43	0,68	0,28	0,17	0,14	0,11	0,14	0,26	0,40	0	0,85	0,34*	3,37
4.	9,18	0,46	0,14	0,20	0,51	0,34							
Durchschnitt:		0,64	0,44	0,26	0,32	0,19	0,09	0,43	0,30	0,09	0,69	0,50	3,97

Hiernach sind die durchschnittlichen Tageszuwachse folgende: 0,64. 0,22. 0,22. 0,26. 0,32. 0,19. 0,09. 0,14. 0,14. 0,14. 0,15. 0,15. 0,045. 0,045. 0,34. 0,34. 4 × 0,125.

Da einige Male an zwei auf einander folgenden Tagen Temperaturschwankungen von 0,5 — 0,75° stattgefunden hatten, die gewiss auf den Verlauf der Streckung Einfluss übten, so wurde der Versuch bei einer Temperatur, die im Ganzen in 14 Tagen nur zwischen + 0,25 und 0,75° C. schwankte, mit 5 Keimlingen wiederholt. Nur am letzten Tage stieg die Temperatur auf 4° C.

(Versuch 15; 28. Jan.)

	Anfangslänge des gemess. Stückes.	Zuwachse in je 24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	48 St.	96 St.	72 St.	Summe der Zuwachse.
Temp.		+0,25°	±0°	+0,5°	+0,25°	+0,25°	+0,75°	+4° C.	
No. 1.	7,41mm	0,34	0,26*						0,60 (in 2 T.)
2.	9,43	0,62	0,28	0,26	0,14	0			1,30 (= 8 =)
3.	11,36	0,82	0,34	0,06	0				1,22 (= 6 =)
4.	6,76	0,91	0,31	—0,08	abgestorben				1,14 (= 4 =)
5.	8,86	0,85	0,48	0,20	0,51	0,20	0,06	0,08	2,38 (= 15 =)
Durchschnitt:		0,71	0,33	0,08	0,22	0,10	0,06	0,08	

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Das Resultat ist folgende Zuwachsreihe pro Tag: 0,71. 0,33. 0,04. 0,04. 0,11. 0,11. 0,05. 0,05. 4 × 0,015.

Das Verhalten der einzelnen Keimwurzeln ist lehrreicher, als die Durchschnittszahlen, da die einzelnen Exemplare sich bezüglich der Zeitdauer der Streckung verschieden verhielten. Mit No. 1 musste der Versuch vorzeitig abgebrochen werden, bei No. 4 war am 4., bei No. 3 am 6., bei No. 2 am 8. Tage Stillstand resp. Verkürzung eingetreten; die Wurzeln waren leicht gebräunt und turgorlos, ins warme Zimmer gebracht erwiesen sie sich als abgestorben. Bei diesen 3 Nummern ist ein stetiges Sinken der Zuwachse bis zum Stillstand zu bemerken. Anders verhielt sich No. 5, welche noch am 15. Tage lebensfähig war; zwar findet auch bei ihr zunächst ein Sinken der Zuwachse bis zum 4. Tage statt, hierauf aber kommt eine Beschleunigung der Streckung, und von dieser aus ein allmähliches stetiges Fallen. Ein ähnlicher Gang im Verlaufe der Streckung konnte auch bei andern Pflanzen nicht selten beobachtet werden.

Für sämmtliche Keimlinge beider Versuchsreihen bleibt es auffällig, dass bei einer weit unterhalb des Keimungs-Minimum liegenden Temperatur noch eine mehr oder weniger lange andauernde Streckung überhaupt stattfindet.

Ein analoges Resultat ergab:

8. *Zea Mays leucodon.* Die untere Temperaturgrenze für die Keimung wurde von Sachs als bei + 9,4° C. liegend bestimmt; nach De Candolle liegt sie bei + 9°, nach Haberlandt zwischen + 4,8 und + 10,5°C.

Eine Reihe von Versuchen wurde durch einen solchen eingeleitet, bei dem 9 Keimlinge verwendet wurden; die Temperatur betrug + 4° C.

(Versuch 16; 9. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	Temperatur + 4° C.
No. 1.	5,17* mm	0,06	— 0,34	
2.	4,26*	— 0,11	— 0,23	
3.	10,73	0,11		
4.	4,66	0	0,17	
5.	5,74	0,06	— 0,23	abgestorben.
6.	3,35	0	0,11	dgl.
7.	3,35	0,06		
8.	10,97	0,17		
9.	7,10	— 0,28	— 0,23	abgestorben.
	Durchschnitt:	0,01	— 0,16	

Der Versuch ergab schon nach den ersten 24 Stunden bei zwei Nummern einen Stillstand, bei zwei anderen Verkürzung, während

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die übrigen sehr geringe Zuwachse zeigten. Nach weiteren 24 Stunden wurden 6 von den 9 Nummern gemessen, und von diesen zeigten fünf eine Verkürzung, eine einen geringen Zuwachs. Als diese 6 Nummern darauf in ein warmes Zimmer gebracht wurden, erwiesen sich nach $43\frac{1}{2}$ Stunden 3 als abgestorben (No. 5, 6, 9), die 3 andern waren gewachsen, und zwar:

No. 1 um 0,68 mm.
2 „ 2,87 „
4 „ 1,96 „

Bei den beiden ersten Nummern hatte also das vorherige Nachlassen des Turgors die Lebensfähigkeit der Wurzel noch nicht aufgehoben.

Ein zweiter Versuch hatte den Zweck, festzustellen ob bei einer noch niedrigeren Temperatur, nämlich ± 0—0,5° C. der Stillstand in der Streckung früher einträte.

(Versuch 17; 26. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes.	Zuwachse in je: $18\frac{1}{2}$ St.	$4\frac{1}{2}$ St.	25 St.	24 St.	48 St.	
Temp.	+ 0,5°	± 0°	± 0°	± 0°	± 0°	+ 0,5° C.	
No. 1.	12,90 mm	1,16	0,08	0,23	— 0,06	— 0,17	abgestorben.
2.	4,66	0,79	0	— 0,11	— 0,11	— 0,23	
3.	12,87	0,40	0,03	0,03	0,14	— 0,06	
	Durchschnitt:	0,78	0,04	0,05	— 0,01	— 0,15	

Es ergab sich, dass von den verwendeten drei Keimwurzeln die eine (No. 2) nach $18\frac{1}{2}$ St., die zweite (No. 1) nach 48, die dritte (No. 3) nach 72 Stunden aufgehört hatte, sich zu strecken. Am Ende des 5tägigen Versuches zeigten alle 3 Wurzeln eine deutliche Verkürzung, und waren, wie ein Versuch bei einer Temperatur von + 18° C. ergab, abgestorben.

Ferner schien es von Interesse, zu untersuchen, wie sich das Wachsthum bei einer beträchtlich höheren, aber noch unterhalb des Keimungs-Minimum liegenden Temperatur gestalten würde. Zu diesem Zweck wurden 4 Keimlinge bei einer zwischen + 7 und 10° C. schwankenden Temperatur 14 Tage lang auf nassem Fliesspapier ausgelegt.

(Versuch 18; 20 Febr.)

	Anfangslänge des gem. Stückes:	Zuwächse in je: 48 St.	48 St.	48 St.	72 St.	24 St.	24 St.	24 St.	48 St.
Temp.	+ 8,5°	+ 9°	+ 8,75°	+ 8,5°	+ 7,75°	+ 7,75°	+ 7,75°	+ 8,5°	+ 9,5° C.
(No. 1.	10,20 mm	1,28	0,31	0,26	0,80	— 0,11	0,17	0,11	0,12)
2.	7,50	2,27	2,02	1,48	1,31	0,31	0,26	0,65	1,19
3.	10,28	2,81	3,72	2,50	1,31	0,85	0,23	0,54	0,34
4.	11,70	2,22	3,55	1,08	2,16	0	0	0,34	0,34
Durchschnitt:		2,43	3,10	1,69	1,66	0,39	0,16	0,51	0,63

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bei der Durchschnitts-Berechnung blieb No. 1 unberücksichtigt, da sie zufällig so ungünstig zu liegen kam, dass die Wurzel mit dem feuchten Fliesspapier nicht in Berührung stand. Während der Dauer dieses Versuches wurde täglich einmal der Stand des Maximum- und Minimum-Thermometers im Zimmer, die sich in nächster Nähe der Versuchspflanzen befanden, aufgezeichnet:

	Maximum.	Minimum.	Mittel.
21./2.	+ 8,5°	8°	8,25° C.
22./2.	9	8,25	8,62
23./2.	9	8,75	8,87
24./2.	9	8	8,5
25./2.	9	7,5	8,25
26./2.	8,5	7	7,75
27./2.	8	7	7,5
28./2.	8,25	7	7,62
29./2.	8	7	7,5
1./3.	7,75	7	7,37
2./3.	7,75	7,25	7,5
3./3.	8,5	7,5	8
4./3.	8,75	7,5	8,12
5./3.	10	9,25	9,62

Es ergaben sich durchschnittlich die folgenden Tageszuwachse: 1,21. 1,21. 1,55. 1,55. 1,35. 1,35. 0,55. 0,55. 0,55. 0,39. 0,16. 0,51. 0,31. 0,31 mm. Es ist demnach auch bei dieser Temperatur noch im allgemeinen ein constantes Fallen der Zuwachsgrössen ersichtlich, welches bei hinreichend langer Dauer des Versuches gewiss zum völligen Stillstand geführt haben würde. Die in den letzten Tagen wieder bemerkbare Steigerung der Streckung geht parallel mit einer Temperaturerhöhung.

Ganz ähnliche Resultate ergab

9. *Cucurbita Pepo,* für welche die untere Temperaturgrenze für die Keimung noch höher liegt, als bei *Zea Mays,* nämlich nach Sachs bei + 13,7°, nach Haberlandt zwischen + 15,6 und 18,5° C.

Es wurde eine Anzahl von Versuchen angestellt, um zu beobachten, wie sich bei der Erhöhung der Temperaturen, die sich sämmtlich unterhalb jenes Minimum bewegten, die Grösse der Zuwachse verhalten würde.

Zunächst wurde dies bei einer Temperatur von ± 0—0,5° C. geprüft.

(Versuch 19; 26. Jan.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes:		Zuwachse in je: 18⅔ St.	4½ St.	24 St.
Temp.	+ 0,5°	± 0°	± 0°	± 0° C.
No. 1.	10,51 mm	0,62	— 0,31	— 0,06
2.	12,58	0,79	0,06	0
	Durchschnitt:	0,71	— 0,12	— 0,03

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Von den beiden verwendeten Keimwurzeln zeigte die eine schon nach 23 Stunden eine Verkürzung, die andere am zweiten Versuchstage keinen Zuwachs mehr.

Ein zweiter, mit 5 Keimlingen bei nur wenig höherer Temperatur, die zwischen + 0,25 und 0,75° C. schwankte, angestellter Versuch hatte ziemlich denselben Erfolg:

(Versuch 20; 19. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.
Temp.	+ 0,75°	+ 0,25°	+ 0,25° C.
No. 1.	11,02 mm	0,79	0,11
2.	15,00	0,57	0,31
3.	9,43	0,77	— 0,23
4.	13,24	1,42	— 0,26
5.	11,93	0,46	0
	Durchschnitt:	0,80	— 0,01

Es fand durchschnittlich nur während der ersten 24 Stunden Streckung statt; nur bei 2 Nummern zeigte sich auch innerhalb des zweiten Tages noch ein Zuwachs.

Bei einer wiederum etwas höher liegenden Temperatur, nämlich von + 0,75—1° C, dauerte die Streckung auch innerhalb der zweiten 24 Stunden noch bei sämmtlichen 5 beobachteten Keimwurzeln an.

(Versuch 21; 14. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	48 St.	Summe der Zuwachse in 4 Tagen:
Temp.	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 1° C.	
No. 1.	11,22 mm	0,23	0,03	— 0,11*	0,08
2.	11,85	0	0,09	— 0,34*	— 0,25
3.	8,27	0,08	0,11	— 0,03*	0,17
4.	11,22	0,34		— 0,08*	0,25
5.	8,61	0,23		— 0,03	0,20
	Durchschnitt:	0,12 (?)	0,10 (?)	— 0,12	0,10

Nach 4tägiger Exposition war bei allen Keimlingen eine Verkürzung eingetreten.

Bei einer Temperatur von + 3,25—3,5° C. ergab sich folgendes:

(Versuch 22; 13. Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.
Temp.	+ 3,25°	+ 3,25°	+ 3,5° C.
No. 1.	13,84 mm	1,65	0
2.	9,12	1,60	0,51
3.	9,80	0,11	0,17
4.	9,52	0,94	0,11
5.	13,07	0,85	0,25
6.	8,66	1,11	0,08
7.	10,97	1,19	0
8.	6,36	0,97	0,14
	Durchschnitt:	1,05	0,16

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Von den verwendeten 8 Keimlingen zeigten 6 noch innerhalb des zweiten Tages einen Zuwachs, die beiden anderen Stillstand.

Eine weitere Beobachtung wurde bei einer Temperatur von + 3,25—4,5° C. gemacht.

(Versuch 23; 11 Jan.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	24 St.	24 St.
Temp.	+ 4,5°	+ 3,25°	+ 3,25°	+ 3,25°	+ 3,5° C.
No. 1.	8,18 mm	0,88	0,43	0,23	0,17
2.	9,37	0,99	0,99		

Bei den beiden Keimlingen hatte auch nach 2×24 Stunden die Streckung noch nicht aufgehört; bei No. 1 ist vier Tage lang ein constantes Sinken der Zuwachse, aber noch kein völliger Stillstand bemerkbar.

Endlich wurde noch ein Versuch bei einer zwischen + 7 und 9° C. schwankenden Temperatur ausgeführt. Die beim 18. Versuch (mit Mais) angegebenen Beobachtungen des Maximum und Minimum der Lufttemperatur (s. S. 355) haben auch für den vorliegenden Versuch Geltung.

(Versuch 24; 20. Febr.)

	Anfangslänge des gemessenen Stückes:	Zuwachse in je: 48 St.	48 St.	48 St.	72 St.	24 St.	24. St.	Summe der Zuwachse in 11 T.:
Temp.	+ 8,5°	+ 9°	+ 8,75°	+ 8,5°	+ 7,75°	+ 7,75°	+ 7,75° C.	
No. 1.	7,50 mm	1,71	0,85	0,26	— 0,08	0,03	0	2,77
2.	6,02	1,50	0,99	0,28	0,14	— 0,06	— 0,03	2,82
3.	7,58	1,08	0,97	0,14	0,17	0	0	2,36
	Durchschnitt:	1,43	0,94	0,23	0,08	— 0,01	— 0,01	

Wie sich erwarten liess, fand nun ein längeres Andauern der Streckung statt; dieselbe war durchschnittlich erst nach 9 Tagen erloschen. Es betrugen, auf je 24 Stunden berechnet, die aufeinanderfolgenden Zuwachse: 0,71. 0,71. 0.47. 0,47. 0,11. 0,11. 0,03. 0,03. 0,02. — 0,01. — 0,01.

Hier hörte also bei gleichen Temperaturverhältnissen die Streckung bedeutend eher auf als beim Mais, in Uebereinstimmung mit dem tiefer liegenden Keimungs-Minimum des letzteren.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

IV. Streckung oberirdischer Organe bei niederen Temperaturen.

Die Beobachtung von Sachs[1]), dass der Keimungsact, in manchen Fällen sogar verschiedene Phasen desselben, und das weitere Wachsthum derselben Pflanzen an verschiedene Temperatur-Minima gebunden sind, liess es als wünschenswerth erscheinen, das Wachsthum oberirdischer Organe bei niederen Temperaturen mit demjenigen der Keimwurzel derselben Pflanze zu vergleichen. Es ist zwar aus der Darstellung von Sachs deutlich ersichtlich, dass er in jener Arbeit den Begriff des Wachsthums noch nicht so scharf präcisirt und in seine einzelnen Factoren zerlegt hat, wie in späteren Abhandlungen und in seinem Lehrbuch, und dass aus diesem Grunde seine Beobachtung nur für die Gesammtentfaltung der Organe einer Pflanze, nicht aber speciell für den Vorgang der Streckung von Bedeutung ist. Insbesondere seit Wiesner[2]) gezeigt hat, dass die Ausbildung des Chlorophylls gleichfalls an Temperatur-Minima gebunden ist, die in allen von ihm angeführten Fällen oberhalb der Minima für die Keimung derselben Pflanzen liegen, wird man berechtigt sein, anzunehmen, dass für eine bestimmte Pflanzenart in verschiedener Höhe liegende untere Temperaturgrenzen für einzelne das Gesammtwachsthum bestimmende Vorgänge vorhanden sind, z. B. für Wasseraufnahme, Ergrünung, Umsetzung von Stärke in Cellulose, Flächenwachsthum der Zellmembranen u. a.; nicht aber, dass etwa einer dieser Vorgänge, z. B. das Wachsthum der Zellmembranen, in verschiedenen Entwickelungsphasen derselben Pflanze von verschiedenen Temperaturgrenzen eingeschlossen sei. Ist diese Voraussetzung richtig, so lässt sich z. B. der Wachsthums-Stillstand, den Sachs häufig nach der Entfaltung aller im Embryo bereits angelegten Theile bei nur wenig das Minimum überschreitenden Temperaturen beobachtete, sehr leicht durch die Annahme erklären, dass jene Temperatur eben noch unterhalb des für die Assimilation geltenden Minimum lag, oder doch eine ausgiebige Production von plastischen Stoffen noch nicht zu unterhalten im Stande war.

Meine auf derartige Erwägungen begründete Vermuthung, dass die Streckung oberirdischer Organe bei niederen Temperaturen in Uebereinstimmung mit der entsprechenden bei Keimwurzeln derselben Pflanzen beobachteten verlaufen würde, liess sich für die in dieser Richtung untersuchten Organe, hypokotyle Stengel des weissen Senfes

---

[1]) Abhängigkeit der Keimung etc. S. 365 ff.

[2]) J. Wiesner, die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze. S. 91 ff.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und Plumula-Theile von Roggen und Weizen, durch die folgenden Versuche bestätigen.

1. *Sinapis alba.* Die hypokotylen Glieder (vom Wurzelhalse bis zur Ansatzstelle der Kotyledonen) von 4 im warmen Zimmer hinreichend herangewachsenen Keimlingen wurden 20 Tage lang bei einer mittleren Temperatur von + 0,75° C., die niemals + 1° C. überstieg, beobachtet.

(Versuch 25; 12. Febr.)

Anfangslänge des gemessenen Stückes:		Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	72 St.	72 St.
Temp.	+ 1°	+ 1°	+ 1°	+ 0,5°	+ 0,75°	+ 0,5°	+ 0,8°	+ 0,5°	+ 0,5°	+ 0,6°	+ 0,75° C.
No. 1.	8,75 mm	0,23	0,20	0,54	0,74	0,76	0,37	0,68	0,48	1,16	0,26
2.	9,60	0,14	0,34	0,34	0,17	0,12	0,60	Wurzel abgestorben.			
3.	17,33	0,08	0,31	0,62	0,65	0,46	0,65	0,68	0,37	1,48	0,62
4.	16,79	0,40	0,54	0,23	0,34	0,62	Wurzel abgestorben.				
Durchschnitt:		0,21	0,35	0,43	0,47	0,49	0,54	0,68	0,42	1,32	0,44

Es ergaben sich hieraus folgende tägliche Zuwachse: 0,21. 0,35. 0,21. 0,21. 0,23. 0,23. 0,24. 0,24. 0,27. 0,27. 0,32. 0,32. 0,21. 0,21. 0,44. 0,44. 0,44. 0,15. 0,15 mm. Wenn sich im Ganzen hier geringere tägliche Zuwachse herausstellten, als bei den möglichst gleich behandelten Keimwurzeln (vgl. S. 344), so dürfte dies einmal von der an sich grösseren Wachsthumsintensität der Wurzeln, sodann aber auch von dem weiter vorgeschrittenen Wachsthumsstadium der verwendeten Stengel, und dem Uebelbefinden der Wurzeln, die bei den Messungen litten, (2 starben ganz ab), herzuleiten sein.

Bei einem zweiten Versuche sollten die Zuwachse der Wurzeln und hypokotylen Stengelglieder je an einer und derselben Pflanze gemessen werden, indessen gelang dies nicht in der wünschenswerthen Weise, weil in Folge des Fehlens des sonst zum Festhalten sehr geeigneten Samens die der Beobachtung unterzogenen Organe selbst beim Messen beeinträchtigt wurden.

(Versuch 26; 18. Febr.)

Anfangslänge der Wurzel + des hypok. Gliedes		Zuwachse in je: 48 St. Wurzel. Hyp. G.	48 St. Wurzel. Hyp. G.	48 St. Wurzel. Hyp. G.	48 St. Wurzel. Hyp. G.
Temp.	+ 0,75°	+ 0,5°	+ 0,75°	+ 0,5°	+ 0,5° C.
No. 1.	24,35 + 11,51 mm	1,25 + 0,48	0,82 + 0,11	0,40 + 1,25	0,23 + 0,17
2.	16,73 + 14,94	1,40 + 0,46	0,14 + 0,37	Wurzel abg. + 1,11	— + 1,00
Durchschnitt:		1,32 + 0,47	0,48 + 0,24	0,40 + 1,18	0,23 + 0,58

Der Zuwachs an Wurzel und Stengel nach je 48 Stunden war also sehr verschieden, bald überwog der an der Wurzel, bald um-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gekehrt. Die Summe der Zuwachse nach 8 Tagen betrug bei der Wurzel 2,73 mm, bei dem hypokotylen Stengelglied 2,51 mm.

2. *Secale cereale.* Gemessen wurde das weisse Scheidenblatt der Plumula von 3 im warmen Zimmer herangewachsenen, kräftigen, mit mehreren Wurzeln versehenen Keimlingen. Die Temperatur schwankte während der 14 Tage des Versuches zwischen 0 und + 1,5° C.

(Versuch 27; 26. Jan.)

Anfangslänge des Scheidenblattes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	96 St.	Summe der Zuwachse in 14 T.
Temp. + 1,5°	+ 1,25°	± 0°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 1°	+ 1,25° C.	
No. 1. 11,53 mm	0,40	0,23	0,51	1,45	0,77	1,31	3,32	7,99
2. 19,91	1,31	0,91	0,74	1,08	0,94	0,74	3,07	8,79
3. 7,22	0,60	0,17	0,77	1,11	0,82	0,94	2,67	7,08
Durchschnitt:	0,77	0,43	0,67	1,21	0,84	1,00	3,02	7,95

Auf je 24 Stunden berechnet ergeben sich durchschnittlich die folgenden Zuwachse: 0,77. 0,43. 0,33. 0,33. 0,60. 0,60. 0,42. 0,42. 0,50. 0,50. 4 × 0,75. Dieselben übertreffen die an den Keimwurzeln bei ungefähr gleichen Temperaturen beobachteten (vgl. S. 346).

Bei einem der verwandten Keimlinge (No. 1.) zeigte sich vom 8. Versuchstage an bei der jedesmaligen Revision an der Spitze des Scheidenblattes ein ausgepresster Wassertropfen als Anzeichen normaler Vegetation. Bei Abschluss des Versuches waren die von dem Scheidenblatt eingeschlossenen ersten Laubblätter der Plumula sämmtlicher 3 Keimpflänzchen entsprechend herangewachsen und lebhaft grün, bei No. 1 und 2 an der Spitze röthlichbraun gefärbt.

3. *Triticum vulgare,* von welchem gleichfalls die Scheidenblätter dreier Keimlinge gemessen wurden, verhielt sich ganz ähnlich wie *Secale cereale,* nur dass unter sonst ganz gleichen Verhältnissen der Zuwachs im Ganzen etwas weniger ausgiebig war. Die Temperatur betrug auch hier während der 14tägigen Versuchsdauer 0 — 1,5° C.

(Versuch 28; 26. Jan.)

Anfangslänge des Scheidenblattes:	Zuwachse in je: 24 St.	24 St.	48 St.	48 St.	48 St.	48 St.	96 St.	Summe der Zuwachse in 14 T.
Temp. + 1,5°	+ 1,25°	± 0°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 0,75°	+ 1°	+ 1,25° C.	
No. 1. 8,95 mm	0,03	0,08	0,34	0,66	0,71	0,62	2,10	4,54
2. 15,94	0,66	0,1[illegible]	0,91	0,74	1,42	1,08	3,47	8,39
3. 6,65	0,26	0,[illegible]	0,17	0,43	0,68	0,43	2,44	4,52
Durchschnitt:	0,32	0,10	0,47	0,61	0,94	0,71	2,67	5,82

Folgendes ist demnach die Reihe der durchschnittlichen täglichen Zuwachse: 0,32. 0,10. 0,23. 0,23. 0,30. 0,30. 0,47. 0,47. 0,35. 0,35. 4 × 0,47 mm.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Am Ende des Versuches zeigten die Keimlinge No. 1 und 2 an der Spitze des Scheidenblattes ausgepresste Wassertropfen; die vom Scheidenblatt noch eingeschlossenen Blätter waren bei No. 1 und 3 in der oberen Hälfte grün, in der unteren gelb gefärbt, bei No. 2 fast ganz grün, nur an der Basis mit einer gelben Zone.

Die erhaltenen Zahlen der Zuwachse stimmen recht gut mit den bei den Wurzeln des Weizens aufgefundenen überein (vgl. S. 347).

V. Allgemeine Ergebnisse.

1. Durch die mitgetheilten Versuche an bereits in Streckung begriffenen Pflanzenorganen konnte zunächst festgestellt werden, dass für eine Reihe einheimischer Pflanzen diejenige untere Grenztemperatur, welche als constant gedacht einen völligen Stillstand der Streckung verursachen würde, tiefer liegt, als man früher, insbesondere auf Grund der Untersuchungen von Sachs, annahm. Dieses von im Wachsthum begriffenen Organen gewonnene Resultat bestätigt und erweitert die von Haberlandt und Uloth an auskeimenden Samen gemachten diesbezüglichen Untersuchungen.

2. Für einige der untersuchten Pflanzen (weisser Senf, Roggen, Weizen) muss die untere Temperaturgrenze für die Streckung dicht bei $\pm 0^0$, für andere (Erbse, Hanf) wenig höher liegen, da die letzteren bei Temperaturen zwischen $+ 0{,}5$ und $+ 1^0$ C. noch lange Zeit, 10—20 Tage lang, einen geringen Zuwachs erkennen liessen. Dass jene Temperatur aber schon unterhalb der unteren Grenze liegt, darf daraus geschlossen werden, dass die Zuwachse constant herabsanken.

Man wird kaum fehl gehen, wenn man das an den vorstehend genannten Pflanzen gewonnene Resultat auf die grosse Masse der bei uns einheimischen Gewächse überträgt. Dass jener langsame Zuwachs in der Nähe des Nullpunktes, wenn er längere Zeit fortdauert, häufig ausgiebig genug ist, um ohne weiteres in die Augen zu fallen, lehrt die alte Erfahrung der Landwirthe, dass z. B. Wintersaaten, sobald der Boden nicht gefroren ist, unter einer dichten Schneedecke, unter welcher eine Temperatur von etwa $\pm 0^0$ herrschen muss, weiter wachsen. Nicht nur Stengel und Blätter zeigen unter derartigen Verhältnissen ein Wachsthum, sondern nach der Beobachtung Kerners[1]) entwickeln Alpenpflanzen unter der Schneedecke bei einer Temperatur von $\pm 0^0$ sogar Blüthen, die häufig

---

[1]) Berichte des naturwissenschaftlich-medicinischen Vereines in Innsbruck. 15. Mai 1873. Bot. Zeitung S. 438.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von ihren sich streckenden Stielen durch Canäle im Eis, welche sie sich selbst herausschmelzen, über die Schnee- oder Eisdecke emporgehoben werden. Ebenso wie die oberirdischen Organe werden bei unsern einheimischen Pflanzen auch die Enden der Haupt- und Nebenwurzeln ein langsames Längenwachsthum im Winter zeigen, so lange der sie umgebende Erdboden nicht gefroren ist; und damit würde wenigstens eine theilweise Bestätigung der uralten Behauptung vorliegen, „dass die Wurzeln der Bäume im Herbst und Winter wüchsen“[1]). Bezüglich der Fortdauer des Dickenwachsthums der Wurzeln während des Winters liegen bereits Untersuchungen von H. von Mohl und Th. Hartig vor. Ersterer[2]) stellte fest, dass das Wurzelholz einiger unserer einheimischen Laubhölzer „während des Winters keine Unterbrechung in seinem Wachsthum erleidet, sondern dass dasselbe, wenn auch langsam, doch ununterbrochen die Ausbildung des im Sommer begonnenen Jahresringes vollendet.“ Hieraus geht hervor, dass sowohl Flächen- und Dickenwachsthum der Zellwände, wie auch die Zelltheilung bei den niederen den Winter über im Erdboden bei uns herrschenden Temperaturen, welche in der Tiefe von 1 Meter nur wenige Grade über 0^0 betragen, noch von Statten geht. Die näheren Bedingungen dieses winterlichen Dickenwachsthumes sind freilich noch unbekannt, allein Mohl selbst schreibt die Verschiedenheit in der Zeit der Vollendung des Jahresringes in den oberirdischen und unterirdischen Pflanzentheilen der Verschiedenheit der in der Umgebung herrschenden Temperatur zu[3]). Dass indessen dabei noch mehr Factoren in Rechnung gezogen werden müssen, und dass nicht immer sämmtliche Bedingungen für das Dickenwachsthum im Winter erfüllt sind, beweisen die Einwürfe Th. Hartigs[4]) gegen die Mohl'schen Beobachtungen, welcher eine Reihe von Beispielen dafür anführt, dass das Dickenwachsthum der Wurzeln im Winter still steht.

3. Auch diejenigen Pflanzen, deren unterste Keimungs-Temperatur bedeutend oberhalb des Nullpunktes liegt, zeigen bei wenig über $\pm 0^0$ liegenden Temperaturen noch ein geringes Längenwachsthum, welches jedoch allmählich herabsinkt, um endlich stillzustehen.

4. Die auf einander folgenden Zuwachse zeigen ein um so rapideres Herabsinken, je tiefer die Temperatur, die bei dem Versuche

---

[1]) Dies erwähnt schon Theophrast, caus. plant. I. 12, 1.
[2]) Bot. Zeitg. 1862. S. 313 ff.
[3]) l. c. S. 321.
[4]) l. c. 1863. S. 288.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verwendet wird, unterhalb des Keimungs-Minimum für die betreffende Pflanzenart liegt.

5. Das Fortdauern einer einmal begonnenen Streckung auch bei solchen Temperaturen, welche unterhalb des Minimum für den Beginn der Streckung (bei der Keimung) liegen, hat man als eine Nachwirkung der einmal eingeleiteten für das Wachsthum erforderlichen Bewegungen aufzufassen. Es gelingt, sich von dem Grunde dieser Nachwirkung eine Vorstellung zu machen, wenn man den Process der Streckung in seine einzelnen Momente einigermassen zu zerlegen versucht. Man kann so, gewissermassen als die letzten Phasen jener Umänderungen, die in einer wachsenden Pflanzenzelle vor sich gehen müssen, zwei Vorgänge von einander unterscheiden: die Bildung der fertigen, zum Bau der Zellwandung sofort verwendbaren Stoffe, und den rein physikalischen Process der Einlagerung der Moleküle dieser im Protoplasma bereiteten Zellhaut-Substanz in und zwischen die Micelle der ihre eigene Fläche vergrössernden Membran. Es wird nun auf Grund der vorliegenden Beobachtungen als sehr wahrscheinlich anzunehmen sein, dass die Einlagerung der Moleküle selbst bei jeder Temperatur vor sich gehen kann, bei welcher das Wasser noch nicht gefriert; dagegen ist der chemische Process der Ausbildung der Zellhaut-Moleküle bei verschiedenen Pflanzen an verschiedene Minimal-Temperaturen gebunden. Wird ein in der Streckung begriffenes Pflanzenorgan in eine unterhalb des Minimum für jenen chemischen Process liegende Temperatur gebracht, so kann zunächst noch ein Flächenwachsthum der Membranen unter Verwendung der bei der früher herrschenden günstigeren Temperatur vorgebildeten Baustoffe andauern; dasselbe erlischt erst, wenn jene vorgebildeten Stoffe verbraucht sind.

Ob bei der Erklärung geotropischer und heliotropischer Nachwirkungen nicht ähnliche Gesichtspunkte massgebend sein dürften, möchte ich vorläufig nur als Vermuthung aussprechen, da die Ursachen des Geotropismus und Heliotropismus bei Weitem noch nicht genügend aufgeklärt sind.

6. Das Flächenwachsthum der Zellmembranen unterhalb des Keimungs-Minimum geht nicht gleichmässig langsam vor sich, sondern sinkt: erstens bei andauernd gleicher Temperatur im Verlaufe des Versuches; zweitens im Verhältniss zu der sinkenden Temperatur. Erstere Erscheinung ist in dem fortschreitenden Verbrauche des Materials zum Aufbau der Membranen bei mangelnder Neubildung desselben begründet. Dass mit weiter sinkender Temperatur eine weitere Verlangsamung des Flächenwachsthums der Membranen eintritt, wird man

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

auf ein Nachlassen des Turgors in den einzelnen Zellen, der beim Flächenwachsthum eine Hauptrolle spielt, mit um so grösserem Rechte zurückführen dürfen, als im Verlaufe der oben angeführten Versuche vor dem Tode der wachsenden Organe nicht selten eine direct messbare Verkürzung in Folge von Turgor-Verlust beobachtet werden konnte.

7. Fasst man nur den Process der Streckung wachsender Organe ins Auge, ohne die Vorgänge zu berücksichtigen, welche zur Einleitung und Unterhaltung der Streckung unumgänglich nothwendig sind, so lässt sich bezüglich der erforderlichen Temperatur-Minima ein Unterschied in der Streckung oberirdischer und unterirdischer Organe einer und derselben Pflanzenart nicht constatiren.

Hohenheim den 7. December 1880.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Beiträge zur Biologie der Pflanzen

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: 3_3

Autor(en)/Author(s): Kirchner Oskar

Artikel/Article: Ueber das Längenwachsthum von Pflanzenorganen bei niederen Temperaturen 335-364