

XVI.

**Ueber die Dehnbarkeit wachsender Sprosse.**

Von

**Dr. Hugo de Vries.**

In Anschluss an die von SACHS in der 3. Auflage des Lehrbuchs des Botanik S. 683—694. veröffentlichten Untersuchungen über die allgemeinen Eigenschaften wachsender Pflanzentheile, habe ich im botanischen Institut zu Würzburg einige Versuche gemacht über die Vertheilung der Dehnbarkeit und der mit dieser verwandten mechanischen Eigenschaften der wachsenden Strecke der Stengel, und die Beziehung der Vertheilung dieser Eigenschaften zu der Curve der Partialzuwächse aufgesucht. Der Zweck dieser Arbeit war die Gewinnung von Anhaltspunkten für eine Untersuchung derjenigen physikalischen Eigenschaften der wachsenden Zelle, welche bei der Theorie des Wachsthum die bedeutendste Rolle spielen. Ich theile die durch diese vorläufigen Versuche gewonnenen Resultate hier mit, weil die Untersuchung selbst lange Zeit in Anspruch nehmen dürfte, und die Kenntniss der gefundenen Thatsachen, wie ich glaube, in manchen Punkten zur Vermeidung von Irrthümern und zu einer klareren Einsicht in die zu lösenden Probleme führen kann. Aus dem nämlichen Grunde sei es mir erlaubt, einige theoretische Auseinandersetzungen voraus zu schicken, deren Zweck wesentlich nur der ist, eine genaue Fragestellung zu ermöglichen. Ich schliesse mich dabei ganz an die von SACHS l. c. S. 699. dargelegten Principien an.

Nach der von ihm gegebenen Darstellung hat man sich die Vorgänge in einer wachsenden Zelle folgendermaassen vorzustellen. Der Inhalt der Zelle zieht aus der Umgebung mit bedeutender Kraft Wasser an sich, und sucht sich dadurch zu vergrössern. Dieses verursacht einen Druck auf die Zellhaut, welcher diese ausdehnen wird. Giebt die Zellhaut nach, so nimmt der Inhalt von Neuem Wasser auf und vergrössert sich. Da aber die

Zellhaut elastisch ist, d. h. ihren früheren Zustand zurück zu erlangen strebt, setzt sie der Ausdehnung einen Widerstand entgegen, welcher bei stets zunehmender Dehnung endlich der dehrenden Kraft gleich werden kann. Der Inhalt übt also einen Druck auf die Haut aus, vermöge seiner Anziehungskraft zum Wasser, die Haut übt vermöge ihrer Elasticität einen, selbstverständlich im Gleichgewichtszustande jenem gleich grossen Druck auf den Inhalt aus. In diesem Zustand heisst die Zelle turgescent, der Druck des Inhaltes auf die Haut heisst der Turgor.

Aus einfachen Versuchen und Beobachtungen lassen sich nun folgende für die Beurtheilung der Vorgänge in einer solchen Zelle, werthvolle That-sachen folgern.

1. Die Turgescenz ist eine Bedingung des Wachsthum. Dieser Satz lässt sich daraus folgern, dass das Wachsthum im welken Zustand aufhört oder doch sehr gering wird, dass es aber durch reichliche Wasserzufuhr gesteigert wird.
2. Wachsende Zellhäute sind in hohem Maasse dehnbar. Man kann sich von dieser Thatsache bei jedem nicht spröden Spross mit grosser wachsenden Strecke durch Dehnung mit den Händen leicht überzeugen; beim langsamen Ziehen beobachtet man vor dem Zerreißen des Sprosses oft eine schon ohne Messung sichtbare Verlängerung. Derselbe rohe Versuch lehrt aber auch, dass zu dieser Dehnung eine ziemlich beträchtliche Kraft erforderlich ist (vergl. auch SACHS, l. c. S. 689).
3. Wachsende Zellhäute sind sehr elastisch. Führt man in dem letzt-erwähnten Versuch die Dehnung nicht bis zum Zerreißen, so verkürzt sich der Spross sofort nach dem Aufhören der Dehnung. Die Verkürzung ist anfangs rasch und bedeutend, wird aber bald sehr langsam; diese langsame Verkürzung kann ziemlich lange anhalten, wie man durch Auftragen von Marken auf den Spross vor der Dehnung und durch Messung der Distanzänderungen dieser Marken beobachten kann. Es scheint, dass bei einigermaassen beträchtlicher Dehnung die Sprosse auch durch diese langsame, nachträgliche Zusammenziehung nie wieder genau auf ihre frühere Länge zurückkehren, m. a. W., dass ihre Elasticität keine vollkommene ist.

Es leuchtet ein, dass sowohl die Dehnbarkeit der Sprosse als ihre Elasticität in erster Linie auf den nämlichen Eigenschaften der Zellhäute beruhen.

4. Beim Welken verkürzen sich wachsende Pflanzentheile sehr beträchtlich. Die einfachste Messung genügt zur Feststellung dieser Thatsache, aus welcher sich folgern lässt, dass die Zellen im wachsenden Spross durch die Wasseraufnahme des Zellinhaltes sehr stark gedehnt sind. Beim Welken verliert der Inhalt einen Theil des Wassers, den er an die verdunstenden Zellhäute abgeben muss;

dadurch wird das Volumen des Inhalts kleiner und können sich die Zellhäute vermöge ihrer Elasticität zusammenziehen. Nachträgliche Wasseraufnahme dehnt die Zellen wieder auf die frühere Länge aus.

5. Spannungen wachsender Pflanzentheile können durch das Wachstum ausgeglichen werden. Den besten Beweis dafür liefert die Thatsache, dass Biegungen, welche wachsenden Stengeltheilen künstlich aufgenöthigt werden, fast ganz bleiben, wenn die beugende Ursache weggenommen wird, nachdem die betreffende Strecke ausgewachsen ist. Die bei der Biegung convexe Seite war künstlich gedehnt und ist durch das Wachstum in diesem Zustande wirklich länger geworden, als die übrigen Seiten. Die nickenden Stiele vieler Blütenknospen verdanken ihre Krümmung allein dem Gewicht ihrer Gipfelknospe; schneidet man die Knospe ab, so beobachtet man, dass wenigstens ein sehr beträchtlicher Theil der Krümmung bleibt. Hieraus ergiebt sich, dass diese Krümmung durch das Wachstum dauernd geworden ist, und erst durch weiteres Wachstum wieder aufgehoben werden kann.

Hält man diese Thatsachen mit der obigen Darstellung des Zustandes einer wachsenden Zelle zusammen, so wird es wenigstens sehr wahrscheinlich, dass die Dehnung der Zellhäute durch den Turgor auf das Wachstum dieser Häute fördernd einwirken wird. Die Zellhaut der wachsenden Zelle ist stark gedehnt, das Wachstum sucht die Dehnung auszugleichen. Sobald dieses auch nur theilweise geschehen ist, ist dadurch die Spannung der Haut geringer geworden. Diese elastische Spannung hielt aber dem Streben des Inhaltes, Wasser aufzunehmen und sich dadurch zu vergrößern, das Gleichgewicht. Die Verminderung der entgegenwirkenden Spannung der Haut muss also eine neue Wasseraufnahme des Inhaltes veranlassen, wodurch die Haut abermals gespannt wird, bis der höchste Turgor wieder erreicht ist. Dabei ist nun die Haut länger als kurz vorher, im Zustande höchster Spannung, da sie ja gewachsen ist. Die neue Dehnung der Haut verursacht auf's Neue eine Ausgleichung durch das Wachstum, und so geht es weiter. Die Dehnung verursacht das Wachstum, und das Wachstum ermöglicht die weitere Dehnung.

Aus dieser von Sachs gegebenen Schilderung des Wachstums einer Zelle sieht man, dass diejenigen Eigenschaften der wachsenden Zellen, deren Kenntniss in erster Linie für eine Theorie des Wachstums erforderlich ist, die Dehnbarkeit und Dehnungselasticität der Zellhäute, sowie die wasseranziehende Kraft des Zellinhaltes sind. Weiter wären zu erforschen: die Grösse der im turgescenzen Sprosse wirklich vorhandenen Dehnung und der Wassergehalt des Zellinhaltes; dann aber der Einfluss der Dehnung auf das Wachstum. Bei diesen Untersuchungen kann es selbstverständlich nicht der Zweck sein, absolute Zahlen für alle diese Werthe zu erlangen;

vergleichende Beobachtungen reichen vollkommen hin. Hauptsache ist es aber, die Aenderungen zu erforschen, welche diese Eigenschaften im Laufe der Entwicklung, d. h. mit zunehmendem Alter erfahren. Nur die Kenntniss des Einflusses des Alters auf die fraglichen Eigenschaften kann zur Erklärung der merkwürdigen Thatsache führen, dass das Wachstum einer Zelle erst zunimmt, dann ein Maximum erreicht, und später wieder abnimmt, um endlich ganz aufzuhören.

Neben den obengenannten Eigenschaften, deren Kenntniss man für die Erklärung der Erscheinungen des normalen Wachstums braucht, sind dann für die sehr wichtigen Erscheinungen der durch das Wachstum entstehenden Krümmungen und Torsionen Untersuchungen über die Biegsamkeit und Torsionsfähigkeit, und über die durch Beugung und Torsion in's Spiel gerufene Elasticität erwünscht. Auch bei diesen werden die Beziehungen zum Alter eine Hauptaufgabe sein.

Unter allen den hier angeregten Fragen ist die nach der Dehnbarkeit der Zellhäute ohne Zweifel die wichtigste. Es sei daher erlaubt, noch einige theoretische Beobachtungen über diese hier einzuschalten.

Die Dehnbarkeit kann an verschiedenen Stellen einer Zellhaut eine verschiedene Grösse besitzen. So lässt sich erwarten, dass in gestreckten oder cylindrischen Zellen in die Länge wachsender Pflanzentheile die Dehnbarkeit der auf der Zellachse senkrechten Theile der Haut eine andere sein wird als die der der Achse parallelen Partien. Und zwar wird erstere im Allgemeinen eine geringere sein. Vielleicht beruht der bedeutende Unterschied zwischen dem Längenwachstum und dem Dickenwachstum solcher jungen Pflanzentheile hauptsächlich auf einer derartigen Verschiedenheit.

Betrachtet man die Längswände einer in die Länge wachsenden Zelle, so muss der Querschnitt der ganzen Zelle und die Dicke der Zellhaut, oder genauer die gesammte Flächenausdehnung des Querschnittes der Zellhaut einen Einfluss auf die Dehnbarkeit ausüben. Bei gleicher Beschaffenheit zweier Häute wird dem grösseren Querschnitt der einen Haut die geringere Dehnbarkeit entsprechen. Im Laufe der Entwicklung einer Zelle von ihrem Entstehen bis zur Erreichung des ausgewachsenen Zustandes ändern sich beide genannten Eigenschaften und zwar in der Regel immer in der nämlichen Richtung. Der Querschnitt der Zelle wird grösser, was bei gleich bleibender Dicke der Zellhaut schon eine Verringerung der Dehnbarkeit der Zelle verursachen würde. Dabei nimmt aber auch die Zellhaut an Dicke zu, was gleichfalls die Dehnbarkeit mit zunehmendem Alter verringern muss.

Während des Längenwachstums erfährt die Zellhaut auch in ihrer chemischen Zusammensetzung Aenderungen, welche wohl allgemein zu einer Abnahme des Procentgehaltes an Cellulose, und Zunahme des Gehaltes an verschiedenen andern Körpern führt. Im letzten Stadium des Längenwachstums führt diese chemische Aenderung ohne Zweifel zu einer be-

deutenden Verminderung der Dehnbarkeit; es erscheint aber als wahrscheinlich, dass ihr Einfluss in dem jüngeren Stadium ein ähnlicher ist.

Demnach würden also die Dickenzunahme der ganzen Zelle, diejenige der Zellhaut, und die chemischen Aenderungen mit zunehmendem Alter eine Abnahme der Dehnbarkeit verursachen.

In den wachsenden Zellen ist die Zellhaut durch den Turgor gedehnt. Das Maass dieser Dehnung hängt nicht nur von der Dehnbarkeit der Zellhaut, sondern auch von der dehnenden Kraft, d. h. also der Grösse der Anziehung des Zellinhaltes zum Wasser ab. Denkt man sich, dass diese Anziehung entweder fortwährend zunimmt, oder erst zunimmt und später wieder abnimmt, so kann das Maximum der Dehnung an einer andern Stelle des Sprosses als in der unmittelbaren Nähe des Vegetationspunktes liegen. Ueber die Richtigkeit der einen oder der andern Vorstellung hat der Versuch zu entscheiden.

In beiden Fällen aber ist anzunehmen, dass die Dehnung der Zellhäute an verschiedenen alten Stellen eines wachsenden Sprosses einen verschiedenen Werth haben wird. Dehnt man nun einen solchen, in voller Turgescenz befindlichen Spross, und misst man an vorher darauf aufgetragenen Marken die Verlängerungen der einzelnen kleinen Abtheilungen, so leuchtet ein, dass die beobachteten Ausdehnungen durch zwei Ursachen bestimmt werden. Die erste ist die Dehnbarkeit der Zellhaut, im isolirten Zustand gedacht; die zweite ist die schon vorhandene Dehnung; je grösser die letztere ist, desto geringer wird bei gleicher wirklicher Dehnbarkeit die beobachtete Ausdehnung sein. Diese Betrachtung zeigt, dass Versuche über die Dehnbarkeit turgescenter Sprosse keineswegs einen directen Schluss über die Dehnbarkeit der Zellhäute erlauben. Wäre es möglich, Sprosse in völlig turgorfreiem Zustand zu bekommen, und hätte man dabei die Sicherheit, dass die Häute zugleich faltenlos wären, so würden sich solche Gegenstände (z. B. isolirte erschlafte Markprismen) für diese Versuche besser eignen. Doch wäre dabei zu beachten, dass die Dehnung das Volumen der von den Zellen umschlossenen Räume ändert<sup>1)</sup>, und dass dadurch wieder eine Spannung zwischen Inhalt und Haut durch den Versuch selbst herbeigeführt werden könnte.

Eine directe Lösung der Frage nach der Dehnbarkeit wird man also nur auf mikroskopischem Wege erwarten dürfen, wo es möglich sein wird, den Turgor in den Versuchen ganz auszuschliessen. Auch die Dehnungselasticität wird nur durch solche Versuche genau studirt werden können.

Die obigen Auseinandersetzungen mögen hinreichen um zu zeigen, welche Zwecke sich die Forschung zu stellen hat, um empirische Grundlagen für eine mechanische Wachstumstheorie zu erlangen. Neben den bedeutenden zu überwindenden Schwierigkeiten möchte ich noch einen

<sup>1)</sup> Vergl. SACHS, l. c. S. 687.

Umstand zum Schlusse hervorheben. Wie die Dehnbarkeit und Dehnungs-elasticität nicht eher hinreichend bekannt sein werden, bevor man die einzelnen Zellen und isolirten Zellhäute, oder doch kleinere, vom Turgor befreite Zellhautpartieen der mikroskopischen Forschung unterziehen kann, so wird auch die endgültige Entscheidung anderer einschlägigen Fragen nur auf diesem Wege gefunden werden können. Die Theorie des Wachstums der Zelle fordert mikroskopische Untersuchungen an einzelnen Zellen und isolirten Zellentheilen. Bevor man aber zu diesen schreitet, soll man sich makroskopisch über die einschlägigen Erscheinungen so genau wie möglich orientiren, um dadurch eine genaue Fragestellung für die mikroskopische Forschung zu erhalten. Nur bei einer hinreichenden vorläufigen Kenntniss derjenigen Erscheinungen, welche dem unbewaffneten Auge sichtbar gemacht werden können, darf man von der mikroskopischen Forschung wesentliche Resultate erwarten.

Um in dieser Richtung wenigstens einen Schritt weiter zu machen, und dadurch eine klarere Einsicht in die zu lösenden Fragen zu bekommen, habe ich vorläufig versucht, auf experimentellem Weg einige einfache einschlagende Fragen zu beantworten. Sie beziehen sich alle auf die Aenderungen, welche die Eigenschaften eines wachsenden Sprosses während des Wachstums erleiden, und zwar suchte ich speciell die Lage des Maximums dieser Eigenschaften in Beziehung zu der Curve der Partialzuwachs der Sprosse auf. Die untersuchten Eigenschaften sind die Dehnbarkeit, die Biagsamkeit und die Torsionsfähigkeit; diese wurden deshalb zusammen vorgenommen, weil von ihnen ein ähnliches Verhalten im Voraus zu erwarten war. Dabei wurde zugleich die der Dehnung, der Beugung und der Torsion entgegenwirkende Elasticität beobachtet. Dann aber wurden Versuche gemacht zur Beantwortung der oben angeregten Frage, an welcher Stelle des Sprosses die Zellhäute durch den Turgor am stärksten gedehnt sind. Die Beantwortung dieser Frage erschien mir in mehr als einer Hinsicht wünschenswerth, da sie nicht nur zur Beurtheilung der Resultate der übrigen nothwendig ist, sondern zumal auch eine wichtige Stütze abgeben soll für die oben auseinandergesetzte SACHS'sche Ansicht, dass die Dehnung der Zellhäute eine bedeutende Rolle beim Wachstum spielt. Die Methode ihrer Lösung war die Messung der Partialzusammenziehungen wachsender Sprosse während des Welkens.

#### Zusammenziehung beim Welken.

Bei Versuchen über die Dehnbarkeit wachsender Sprosse ist nach den obigen Erörterungen in erster Linie die Thatsache zu berücksichtigen, dass die den Versuchen unterworfenen Sprosse nicht im ungedehnten Zustand zur Verwendung kommen, sondern dass ihre Zellhäute durch den Turgor gespannt sind, und dass diese Dehnung wahrscheinlich an verschiedenen

Stellen eine verschieden grosse ist. Die Aufhebung des Turgors durch Wasserverlust wird den elastisch gedehnten Zellhäuten die Gelegenheit geben, sich auf diejenige Länge zusammenzuziehen, welche dem spannungslosen Zustand entspricht. Die dabei eintretende Verkürzung kann als Maass der im turgescenzen Zustande vorhandenen Dehnung benutzt werden.

Eine annähernde Vorstellung von dieser Dehnung kann man dadurch erlangen, dass man den Turgor durch Verdunstung aufhören lässt und die Zusammenziehung der einzelnen Abtheilungen des Sprosses während der Verdunstung, also beim Welken, beobachtet. Diese Methode liefert zwar, aus unten ausführlich zu besprechenden Gründen, nur annähernde Resultate, sie scheint aber die einzige zu sein, welche auf makroskopischem Wege zum Ziele führt.

Es handelt sich zunächst darum, die Vertheilung der Verkürzung beim Welken in wachsenden Sprossen kennen zu lernen, und sie mit dem Wachstumszustand des Sprosses zu vergleichen. Da aber während des Welkens kein oder nur ein unbedeutendes Wachstum stattfindet, muss der Wachstumszustand während des Welkens aus demjenigen kurze Zeit vor und demjenigen kurze Zeit nach dem Welken abgeleitet werden. Sowohl um diese Zuwachse, als auch um die Zusammenziehung in ihrer Vertheilung über den Spross kennen zu lernen, ist es nothwendig, diesen mittelst Marken in einzelne kurze gleichlange Abtheilungen einzutheilen und die Längenveränderung dieser zu messen. Die nach dieser Methode für das Wachstum erhaltenen Zahlen sind die Partialzuwächse<sup>1)</sup>, sie werden bekanntlich in Stengeln von mittlerem Alter von der Gipfelknospe aus erst grösser, erreichen ein Maximum und nehmen dann wieder ab. Die nach der nämlichen Methode für das Welken erhaltenen Zahlen könnte man Partialzusammenziehungen nennen. Nach dieser Auseinandersetzung lässt sich nun die zu beantwortende Frage specieller in folgender Weise fassen: Fällt das Maximum der Partialzusammenziehung mit dem Maximum der Partialzuwachse zusammen, oder liegt es in jüngeren oder in älteren Theilen des Sprosses?

Unter den Bedingungen, denen die experimentelle Lösung dieser Frage zu genügen hat, muss zuerst die Benutzung von Sprossen geeignetem Alter und mit geeignetem Wachstum hervorgehoben werden. Je länger die wachsende Strecke ist, desto genauer wird die Vergleichung der Lage beider Maxima sein können. Die Lage des Maximums der Partialzuwachse auf der wachsenden Strecke ist bei verschiedenen Arten eine sehr verschiedene. Arten mit einer grösseren Entfernung dieser Stelle von der Gipfelknospe werden zumal dazu geeignet sein, zu entscheiden, ob das Maximum der Verkürzung beim Welken irgendwo auf der aufsteigenden Seite der Curve der Partialzuwachse liegt, oder ob es mit dem Maximum

<sup>1)</sup> SACHS, Arb. d. Würzb. Bot. Inst. Heft III. p. 449; Flora 1873. p. 323.

dieser zusammenfällt. Bei der Wahl der Arten sind also diese beiden Eigenschaften in Betracht zu ziehen. Auch sind ältere Zweige, deren Längenwachsthum nahezu beendet ist, auszuschliessen, da bei ihnen das Maximum der Partialzuwachse zu nahe bei der Gipfelknospe liegt.

Soll die Verkürzung beim Welken in den einzelnen Abschnitten nicht vorherrschend von äusseren, die Geschwindigkeit der Verdunstung beeinflussenden Umständen bestimmt werden, so ist es nothwendig, dass deren Einwirkung auf die verschiedenen Theile des Sprosses eine möglichst gleichmässige sei. Die Temperatur und der Feuchtigkeitsgrad der Luft kommen hierbei kaum in Betracht, da sie wohl immer für sämtliche Querschnitte eines Sprosses dieselben sind. Einen bedeutenden Einfluss dagegen haben die Dicke des Sprosses und die Beschaffenheit der Epidermis. Die meisten Sprosse sind nach ihrem Gipfel zu verjüngt, an dem Gipfel ist also die Verdunstungsfläche in Beziehung zum Volumen grösser, oft viel grösser als in den älteren noch wachsenden Theilen. Die Zahl der Stomata auf den Quadratmillimeter berechnet ist selbstverständlich in der jungen Epidermis grösser als in der ausgewachsenen. Auch ist in den jüngeren Theilen die Epidermis weniger vollständig cuticularisirt und zarter als in älteren. Diese Ursachen führen eine raschere Verdunstung in den jüngeren Theilen herbei, welche dort eine stärkere Zusammenziehung verursachen kann. Bei sehr stark conischen Sprossen kann sogar der Unterschied in der Verdunstung so gross werden, dass die jüngsten dünnsten Theile durch den Wasserverlust sterben, ehe die älteren noch wachsenden das Minimum ihrer Verkürzung auch nur annähernd erreicht haben. Arten, deren Sprosse diese Unterschiede in der Beschaffenheit der Epidermis und zumal in der Dicke in geringem Maasse besitzen, sind also für diese Versuche den übrigen vorzuziehen.

Der Wasserverlust der einzelnen Abschnitte beim Welken wird nicht allein durch die Verdunstung bestimmt, sondern auch durch die Bewegung des Wassers innerhalb des welkenden Pflanzentheils. Erstens werden die am raschesten das Wasser verlierenden Theile aus den benachbarten, weniger rasch verdunstenden Strecken das Wasser an sich ziehen. Diese Ursache wird offenbar dahin zielen, den Einfluss der ungleichen Verdunstung der einzelnen Abtheilungen auf die Zusammenziehung zu verringern. Zweitens aber findet in wachsenden nicht vollkommen mit Wasser gesättigten Pflanzentheilen immer eine Bewegung des Wassers statt, welche im Allgemeinen das Wasser aus den älteren Theilen in die jüngeren überführt. Es ist vorläufig unbekannt, welchen Einfluss diese Ursache auf die Partialzusammenziehungen haben wird. Jedenfalls aber ist dieser Einfluss so gering, dass er bei den vorliegenden Versuchen nicht in Betracht gezogen zu werden braucht. Ich schliesse dieses daraus, dass das Maximum der Partialzusammenziehungen an der nämlichen Stelle gefunden wird, wenn man die einzelnen Abschnitte vor dem Anfang des Welkens von einander

trennt, als wenn man sie, wie dieses bei meinen Versuchen gewöhnlich der Fall war, mit einander in normaler Verbindung lässt. Ebenso habe ich mich durch directe Versuche überzeugt, dass das Abschneiden der Gipfelknospe keinen merkbaren Einfluss auf die Curve der Verkürzung hat. Bei sämtlichen in dieser Arbeit mitgetheilten Versuchen blieb die Gipfelknospe an der Sprosse, um die Wachstumsfähigkeit des Sprosses nicht zu sehr zu beeinträchtigen. Immerhin empfiehlt es sich, bei den Versuchen die älteren, nicht mehr wachsenden Theile möglichst zu entfernen, weil diese sonst, bei ihrer geringen Transpiration, fortwährend bedeutende Quantitäten Wasser an die welkenden Theile abgeben können.

Um bei den Versuchen immer von einem bestimmten und leicht wieder herzustellenden Wassergehalt auszugehen, habe ich die Sprosse vor dem Welken stets in den Zustand des höchst möglichen Turgors gebracht. Dazu wurden sie nicht nur mit der frischen Schnittfläche in Wasser gestellt, sondern ganz untergetaucht, um jedem Wasserverlust durch Verdunstung vorzubeugen. Erst nachdem sie mehrere Stunden in diesem Zustande hingebraucht hatten, wurden sie abgetrocknet, und nachdem ihr Wachstum vor dem Welken gemessen worden war, in der Luft aufgehängt und zwar mit der Gipfelknospe nach unten.

Es erübrigt noch, Einiges über die Bestimmung des Wachstumszustandes mitzutheilen. Bei meinen sämtlichen Versuchen wurden die Sprosse in Abtheilungen von je 2 Cm. Länge getheilt, da man bei den betreffenden Arten dadurch eine hinreichend genaue Kenntniss der Lage des Wachstumsmaximums erreicht. Sowohl vor als nach dem Versuche wurden die Zuwächse in möglichst kurzer Zeit, meist in 6—18 Stunden bestimmt. Als Wachstum nach dem Welken wurde die Differenz der Länge der Abtheilungen, kurz vor dem Welken, und ihrer Länge betrachtet, nachdem sie nach dem Welken mehrere Stunden in Wasser untergetaucht gewesen waren, wobei selbstverständlich jedesmal die eingetrocknete Schnittfläche durch eine neue ersetzt worden war.

Die Messung geschah mittelst auf steifes Papier gedruckter Millimetertheilungen; die Messungsfehler können etwa 0,1 Mm. betragen. Während der Versuche wurden die Marken nicht erneuert, wodurch die Anfangslänge der einzelnen Abtheilungen beim Welken und bei der Bestimmung des Wachstums nach dem Welken nicht genau 2 Cm. beträgt. Die Tabellen zeigen, dass man ohne beträchtlichen Fehler die direct gemessenen Zuwächse oder Verkürzungen als für gleichlange Abtheilungen geltend, betrachten darf. Die Dicke wurde mittelst einer Mikrometerschraube in der Mitte der einzelnen Abtheilungen gemessen. Die Sprosse wurden immer vor den Versuchen abgeschnitten, und falls sie Blätter oder Seitenzweige hatten, von diesen befreit; die Gipfelknospe wurde immer gelassen. Da bei vielen Arten die Sprosse nach dem Abschneiden bald zu wachsen aufhören, muss man immer vorher untersuchen, ob in diesem Zustande für

die Messung hinreichende Partialzuwächse erhalten werden; sonst sind die Arten von den Versuchen auszuschliessen. Aus demselben Grunde wurde die ganze Dauer des Versuchs, von dem Abschneiden des Sprosses bis zur letzten Messung der Zuwächse fast nie über mehr als 26—27 Stunden ausgedehnt. Es konnte also für das Welken selbst nur eine geringe Zahl von Stunden benutzt werden. Um dennoch eine bedeutende Verkürzung der einzelnen Abtheilungen zu erhalten, wählte ich ausschliesslich dünne Sprosse aus. Ferner sind lange Blüthenschäfte ohne Knoten bei Weitem den aus vielen, zumal den aus scharf abgegrenzten Internodien bestehenden Sprossen vorzuziehen, doch wurden die letzteren nicht ganz von der Untersuchung ausgeschlossen<sup>1)</sup>.

Die zu den folgenden Versuchen benutzten Sprosse sind sämmtlich Stiele von jungen Inflorescenzen und von Blüthenknospen. Die Temperatur betrug 20—23° C. Die Zahlen der Tabellen sind Millimeter.

#### I. *Papaver dubium*.

Blüthenstiele, welche durch das Gewicht der Knospe in einer Entfernung von 2 bis 4 Cm. von der Knospe gebogen waren. Für die Eintheilung und die ersten Messungen wurden sie gerade gebogen; beim Welken verschwand die Krümmung der hangenden Lage zufolge.

Ich habe mit dieser Art, welche sich wegen ihrer dünnen, rasch wachsenden und sehr wenig conischen Blüthenstiele sehr zu dieser Untersuchung eignet, eine ziemlich grosse Reihe von Versuchen gemacht, in denen immer das Maximum der Zusammenziehung beim Welken mit dem Maximum des Wachsthums zusammenfiel. Ich wähle als Beispiel folgenden Versuch aus.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Zuwächse vor nach dem Welken.		Verkürzung beim Welken in	
		(7 Stund.)	(15 Stund.)	4 St. 40 Min.	2 St. 30 Min.
I oben	4.6	4.0	4.3	4.7	2.0
II	4.6	2.0	4.2	2.1	2.2
III	4.7	4.5	2.7	3.2	3.8
IV	4.7	2.5	0.0	4.0	4.2
V	4.7	0.3	0.0	0.3	0.3

<sup>1)</sup> Ueber die Curve der Partialzuwächse der aus scharf getrennten Internodien bestehenden Sprosse, vergl. SACHS, Flora. 1873. S. 323.

II. *Thrinicia hispida*.

Nickende Blütenstiele, meist gegen die Inflorescenzenknospe ziemlich stark verjüngt, und dort mit anscheinend weniger cuticularisirter Epidermis. Diesen Eigenschaften zufolge ist anfangs die Verdunstung in den jüngsten Theilen bedeutend stärker als in den älteren. Dieses beeinflusst die Curve der Zusammenziehung beim Welken stark, wie folgende, aus einer grösseren Reihe ausgewählte Versuche zeigen. In den beiden letzten Tabellen fehlt zwar die Angabe der Partialzuwächse, doch zeigt die Vergleichung dieser Sprosse mit denjenigen, deren Wachstum gemessen wurde, dass auch in diesen, während des Versuchs, das Wachstumsmaximum die jüngste, 2 Cm. lange Abtheilung nicht erreicht hatte.

II α. *Thrinicia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach dem Welken.		Verkürzung beim Welken während	
		(5 Stund.)	(13 Stund.)	2½ St.	4½ St.
I oben	4.3	4.0	0.4	1.0	1.2
II	4.5	4.6	0.3	1.0	1.4
III	4.7	4.5	0.2	1.0	1.4
IV	4.8	1.7	0.0	1.0	1.0
V	4.8	0.4	0.0	0.4	0.3
VI	4.8	0.2	0.0	0.1	0.4

II β. *Thrinicia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachstum während 6 St. nach dem Welken.	Verkürzung beim Welken während	
			1 St.	3 St.
I oben	4.4	0.8	1.7	1.9
II	4.4	1.7	0.7	1.3
III	4.4	1.0	0.2	0.9
IV	4.4	0.4	0.2	0.7
V	4.2	0.0	0.2	0.3
VI	4.2	0.0	0.0	0.1

II γ. *Thrinicia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Verkürzung beim Welken während	
		1 St.	15 Stund.
I oben	4.6	1.1	4.5
II	4.8	0.8	1.9
III	2.4	0.2	1.6
IV	2.2	0.0	1.1
V	2.2	0.0	0.6
VI	2.3	0.0	0.3

II  $\delta$ . *Thrinicia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Verkürzung beim Welken während	
		4 St.	16 St.
I	1.8	0.8	1.0
II	2.1	0.4	0.9
III	2.3	0.3	1.2
IV	2.4	0.7	1.5
V	2.5	0.6	0.6
VI	2.5	0.4	0.8

Construirt man nach diesen Tabellen Curven für die Partialzusammenziehungen beim Welken, so zeigt sich, dass diese Curven sehr verschiedene Formen besitzen. Erstens eine mit der nämlichen Curve bei Papaver übereinstimmende Form, welche ein Maximum in einer gewissen Entfernung von der Gipfelknospe zeigt, welches in der Tabelle II  $\alpha$  annähernd mit dem Wachstumsmaximum zusammenfällt. Die zweite Form liefern die in der fünften Spalte der 4. Tabelle enthaltenden Zahlen; die Curve ist sehr flach und fällt hinter dem Maximum der Partialzuwaxse ziemlich rasch. Die Curven der dritten Form besitzen ihr Maximum in der Nähe der Spitze des Sprosses und zeigen bisweilen (II  $\delta$  Spalte 3) ein secundäres Maximum in einiger Entfernung der Endknospe.

Ferner zeigen meine Versuche, wie auch in den mitgetheilten Tabellen ersichtlich ist, dass die Curven der dritten Form bei längerer Dauer des Versuchs flacher werden (II  $\beta$ ) und noch später in die der ersten Form übergeführt werden (II  $\gamma$ ). Wo sie ein secundäres Maximum besitzen, liegt dieses in der Regel an der Stelle des Maximums der später entstehenden Curve der ersten Form. Auch die flachen Curven verändern sich auf die Dauer in die Curven der ersten Form (II  $\alpha$ ).

Es leuchtet ein, dass die anfangs raschere Verdunstung des Wassers in der jüngsten Strecke die Ursache davon ist, dass in dieser anfangs die Zusammenziehung rascher vor sich geht als in den älteren Theilen. Dadurch wird aber der Wassergehalt sehr vermindert, und da der Verlust durch die Bewegung des Wassers aus den älteren Theilen nicht hinreichend ersetzt wird, so wird diese Ursache allmählig aufhören. Diese Betrachtung erklärt die von der zuerst genannten Curve abweichenden Formen und wird durch ihren Uebergang in die erste Curvenform bei längerer Versuchsdauer bewiesen.

Eine von diesen Ursachen unabhängige oder wenigstens fast unabhängige Curve bekommt man also erst bei hinreichend langer Dauer der Versuche. Die mit Rücksicht hierauf erhaltenen Curven zeigen aber ihr

Maximum immer in einer gewissen Entfernung von der Endknospe und zwar mit dem Wachstumsmaximum zusammenfallend.

Benutzt man Sprosse, deren Verjüngung an der Spitze bedeutend stärker ist, als in den hier ausgewählten, so kann der Fall eintreten, dass die dünnsten Theile zu stark austrocknen und sterben, ehe die Verwelkungscurve die normale Form bekommen hat. Mit solchen Sprossen ist es also nicht möglich auf diese Weise die vorliegende Frage zu entscheiden.

Diese Resultate wurden durch die Versuche mit anderen Arten vielfach bestätigt; für diese möge es jedoch genügen, die bei hinreichend langer Dauer des Welkens erhaltenen Zahlen, und zwar nur in je einem Versuche mitzutheilen und am Schluss ein paar Versuche nachzutragen, in denen die erhaltene Curve in auffälliger Weise von der conischen Form des Sprosses beeinflusst worden ist.

### III. *Froelichia floridana*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor dem Welken in 6 Stund.	Verkürzung beim Welken während 4 St. 30 Min.
I oben	4.6	0.0	4.5
II	4.6	0.2	4.3
III	4.7	0.8	2.0
IV	4.8	1.0	2.2
V	2.1	1.0	2.0
VI	2.2	0.8	1.2
VII	2.3	0.3	0.9
VIII	2.3	0.1	0.4

### IV. *Garidella Nigellastrum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor dem Welken in 7 $\frac{1}{2}$ Stund.	Verkürzung beim Welken in 2 Stund.
I oben	0.8	2.2	2.2
II	0.9	2.8	3.0
III	1.2	2.0	2.5
IV	1.3	1.8	2.1
V	1.3	0.6	0.8
VI	1.3	0.0	0.0

V. *Saponaria officinalis*.

Hauptstiel einer jungen Inflorescenz; die wachsende Strecke besteht aus drei Internodien.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachstum vor dem Welken in 7 St.	Verkürzung beim Welken in 4 St.
I oben	2.4	0.5	2.5
II	2.4	1.1	2.3
III	2.4	1.4	3.7
IV	2.7	0.9	3.4
V	2.8	0.4	1.2
VI	2.8	0.1	0.1
VII	2.9	0.0	0.0

Die Messung des Wachstums nach dem Welken zeigt in diesem und in dem vorigen Versuche, dass alle vor dem Welken in Wachstum begriffenen Abtheilungen, mit Ausnahme der ältesten, auch nachher noch gewachsen waren.

VI. *Helenium mexicanum*.

Blüthenstiel, gegen die Inflorescenz conisch dicker werdend.

No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach dem Welken.		Verkürzung beim Welken in 2 Stund.
		(7 Stund.)	(15 Stund.)	
I oben	4.9	1.5	0.7	4.5
II	4.7	1.7	1.3	2.2
III	4.7	0.8	0.3	0.9
IV	4.6	0.0	0.1	0.0
V	4.6	0.0	0.0	0.0

VII. *Allium microcephalum*.

Bei sehr conischer Form und grosser Entfernung des Wachstumsmaximums von der Inflorescenzknospe liegt das Maximum der Verkürzung beim Welken in folgendem Versuche selbst nach 18 Stunden noch zwischen beiden genannten Stellen.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach dem Welken.		Verkürzung beim Welken während 48 Stund.
		(7 Stund.)	(7 Stund.)	
I oben	1.6	0.3	0.4	0.3
II	1.9	0.8	0.3	0.8
III	2.2	0.9	0.5	0.0
IV	2.4	1.0	0.7	0.2
V	2.7	1.1	0.7	0.2
VI	2.9	0.9	0.6	0.4
VII	2.9	1.0	0.3	0.2
VIII	3.0	0.6	0.4	0.2
IX	3.1	0.4	0.4	0.2
X	3.2	0.0	0.4	0.0

VIII. *Sanguisorba officinalis*.

Die bedeutende Verjüngung an der Spitze verursacht in folgendem Versuche dort ein starkes Maximum der Verkürzung, während das mit dem Wachsthummaximum zusammenfallende viel weniger ausgeprägt ist.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach dem Welken.		Verkürzung beim Welken während 3 Stund.
		(7 Stund.)	(15 Stund.)	
I oben	1.9	0.9	0.3	1.0
II	2.4	1.1	0.8	0.9
III	2.5	1.0	1.1	0.4
IV	2.5	1.3	1.5	0.2
V	2.6	1.7	1.5	0.5
VI	2.8	1.0	0.9	0.4
VII	2.9	0.4	0.6	0.4
VIII	2.9	0.0	0.4	0.4

Die Versuche zeigen übereinstimmend, dass bei hinreichend langer Versuchsdauer die am raschesten wachsende Stelle auch diejenige ist, welche beim Welken die stärkste Zusammenziehung erfährt. Hieraus folgt, dass die Stelle der grössten durch den Turgor verursachten Dehnung der Zellhäute wenigstens annähernd mit der Stelle des raschesten Wachstums zusammenfällt.

### Dehnbarkeit.

Um die Verlängerung bei der Dehnung zu bestimmen, wurden die in Abtheilungen von je 2 Cm. mittelst Tuschstriche getheilten Sprosse horizontal auf eine Korkplatte gelegt, die Endknospe mit einer kleinen Korkplatte bedeckt, und dann diese letztere mittelst einer Klemmschraube gegen die erstere Platte angedrückt. Die Knospe konnte durch diese Einrichtung so stark festgeklemmt werden, dass sie auch von den grössten zu benutzenden Kräften nicht losgerissen wurde; bei immer stärkerem Zug am älteren Ende des Sprosses zerriss eher dieser in seinem dünnsten, der Knospe am nächsten liegenden, aber freien Theil, als dass die Knospe zwischen den Korkplatten verrückt worden wäre. Am älteren Ende des Sprosses wurde einfach ein Bindfaden mit einer Schlinge befestigt; dieser wurde angezogen und, sobald die gewünschte Dehnung erreicht war, mit einer Nadel auf der Korkplatte festgesteckt. Die Messung der Entfernung der Tuschstriche vor und nach der Dehnung geschah durch Anlegen einer auf dickem Papier gedruckten Mm.-Eintheilung.

Um möglichst grosse Verlängerungen zu bekommen, wurden auch hier dünne Sprosse benutzt, und ferner die Dehnung so stark wie möglich vorgenommen, ohne dass die Sprosse zerrissen. Immer wurde der Spross langsam bis auf die gewünschte Länge gedehnt, dann aber nur so lange in diesem Zustande gelassen, als grade zur Messung nothwendig war. Diese Vorsicht ist deshalb nöthig, weil durch die Dehnung die Sprosse eine bedeutende Erhöhung ihrer Dehnbarkeit erfahren, und es nicht bekannt ist, ob vielleicht diese Erhöhung in den verschiedenen Abtheilungen in verschiedenem Maasse stattfindet. Nach jeder Dehnung wurde der Spross einige Zeit sich selbst überlassen und wieder gemessen. Dabei zeigte sich im Allgemeinen, dass er sich verkürzte, aber die ursprüngliche Länge nicht genau wieder annahm; es war eine bleibende Verlängerung durch die Dehnung eingetreten. Die ganze Verlängerung bei der Dehnung muss also als aus zwei Theilen bestehend betrachtet werden; der eine Theil, der sofort nach dem Aufhören des Zugs ausgeglichen wird, kann mit dem Namen »elastischer Theil« angedeutet werden; der andere ist der bleibende oder permanente Theil. Verglichen mit den übrigen Messungen giebt also die Messung des nach der Dehnung kurze Zeit sich selbst überlassenen Sprosses diese beiden Werthe; sie finden sich in den nachfolgenden Tabellen neben der totalen Verlängerung verzeichnet. Ich lege aber diesen Zahlen keinen grossen Werth bei. Eine Reihe von Beobachtungen hat nämlich dargethan, dass, wie zu erwarten war, die elastische Zusammenziehung des Sprosses nach der Dehnung im ersten Augenblick sehr rasch und bedeutend ist, dann zwar rasch abnimmt, aber nicht plötzlich, sondern sehr allmählig aufhört. Obgleich diese letzte, allmähliche Verkürzung in kurzer Zeit fast unmerklich ist, dauert sie doch so lange, dass sie im Ganzen

nicht vernachlässigt werden darf. Meine Messungen geben nun nur die anfängliche, nicht auch diese nachträgliche Zusammenziehung. Diese zu bestimmen erlaubte die oben erörterte Nothwendigkeit einer kurzen Versuchsdauer nicht.

Aus demselben Grunde ist eine Bestimmung der Wachsthumscurve nach der Dehnung nicht möglich, die beobachtete nachherige Verlängerung ist dem wirklichen Wachsthum, nach Abzug des Werthes dieser nachträglichen Zusammenziehung gleich. Die in der betreffenden Spalte in den Tabellen angeführten Zahlen sollen nur beweisen, dass noch Wachsthum stattfand, d. h. dass die Sprosse während der Dehnung nicht ausgewachsen waren. Eine annähernde Kenntniss der Wachsthumscurve nach der Dehnung bekommt man durch Vergleichung der Summe des beobachteten Wachsthum und der bleibenden Verlängerung, mit dem beobachteten Wachsthum selbst; es ist aber zu beachten, dass diese Wachsthumscurve höchst wahrscheinlich von der Dehnung beeinflusst worden ist.

Das Resultat von sämmtlichen, von mir über die vorliegende Frage angestellten Versuchen ist, dass die Stelle der grössten totalen Dehnbarkeit immer in der unmittelbaren Nähe der Gipfelknospe lag, obgleich das Wachsthummaximum immer in einiger Entfernung von dieser beobachtet wurde, und obgleich in den Versuchsobjecten diese Stelle immer nur sehr wenig dünner, in einigen sogar dicker war, als die nächst älteren Theile. Dass dieses Resultat nicht nur für die einzelnen 2 Cm. langen Abtheilungen gilt, sondern dass auch innerhalb der jüngsten Abtheilung die Dehnbarkeit nach der Gipfelknospe zu stetig zunimmt, davon habe ich mich mittelst innerhalb dieser Abtheilung angebrachter Marken bei mehreren Arten überzeugt. Man darf also sagen, dass unabhängig von dem Verlauf der Wachsthumscurve und unabhängig von der Verlängerung des Sprosses gegen den Gipfel, die Dehnbarkeit von der Gipfelknospe aus nach den älteren Theilen stetig, und zwar anfangs ziemlich rasch, abnimmt.

Als Erläuterung zu diesem Satze theile ich hier die beobachteten Zahlen für einige Arten mit; ich wähle dazu für jede Art aus mehreren nur einen Versuch aus. Bei diesen Versuchen blieben die Sprosse vor der Dehnung immer längere Zeit in Wasser, um bei gänzlich ausgeschlossener Verdunstung den höchst möglichen Grad von Turgor zu erreichen. Dieses geschah zumal deshalb, weil durch die Verdunstung die Dehnbarkeit der einzelnen Abtheilungen in sehr verschiedenem Maasse zunimmt. Diese Thatsache wurde durch einige Vorversuche festgestellt; sie findet ihre einfache Erklärung durch den in der ersten Abtheilung bewiesenen Satz, dass die Zellen im turgescenzen Sprosse verschieden stark gedehnt sind. Nimmt diese Dehnung der Zellhäute durch den Wasserverlust der Zellen ab, so nimmt selbstverständlich die Dehnbarkeit der Zellen zu; die am stärksten gedehnten Zellen werden also bei der Verdunstung (unter gewissen äusseren Bedingungen) am meisten an Dehnbarkeit gewinnen. Nach den oben

mitgetheilten Versuchen ist es also die Stelle des raschesten Längenwachstums, in der der Wasserverlust durch Verdunstung die stärkste Aenderung der Dehnbarkeit verursachen wird.

Das Wachstum nach der Dehnung wird durch Subtraction der Länge kurz nach der Dehnung von der nachher in der in den Tabellen angegebenen Stundenzahl erreichten Länge berechnet. Die Bedeutung dieser Zahlen wurde oben besprochen. Die benutzten Theile sind Blüthenschäfte, die Temperatur war 20—23° C. In den übrigen Hinsichten waren die Versuche und die Messungen ganz ähnlich eingerichtet, wie die über die Verkürzung beim Welken.

I. *Plantago lanceolata*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(24 St.)	(24 St.)			
I oben	4.0	4.3	0.7	3.5	0.7	2.8
II	4.4	4.5	4.9	0.8	0.5	0.3
III	4.4	2.2	0.0	0.7	0.5	0.2
IV	4.4	0.9	0.0	0.5	0.4	0.4
V	4.2	0.4	0.0	0.4	0.0	0.4

II. *Froelichia floridana*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(6 St.)	(17 St.)			
I oben	4.4	0.4	0.8	3.1	0.8	2.3
II	4.4	0.5	0.0	4.2	0.6	0.6
III	4.8	0.6	0.4	0.5	0.2	0.3
IV	4.9	4.4	0.9	0.4	0.2	0.2
V	2.0	2.5	4.4	0.4	0.0	0.4
VI	2.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0.2
VII	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

III. *Thrinchia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(6 St.)	(17 St.)			
I oben	4.3	0.5	0.7	2.8	4.1	4.7
II	4.4	4.3	0.8	4.4	0.7	0.7
III	4.5	2.0	4.5	0.4	0.3	0.4
IV	4.6	4.4	0.4	0.4	0.3	0.4
V	4.6	0.7	0.0	0.2	0.0	0.2
VI	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

IV. *Allium microcephalum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(18 St.)			
I oben	4.6	0.1	0.0	2.9	1.8	1.1
II	4.7	0.7	0.2	1.8	0.9	0.9
III	4.8	0.9	0.4	1.6	1.0	0.6
IV	2.0	0.6	1.7	0.9	0.6	0.3
V	2.3	0.7	1.7	0.6	0.3	0.3
VI	2.5	1.0	2.1	0.3	0.3	0.0
VII	2.6	1.2	1.7	0.6	0.3	0.3
VIII	2.8	1.0	2.0	0.3	0.1	0.2
IX	2.9	0.8	0.8	0.3	0.2	0.1
X	3.0	0.5	0.4	0.2	0.0	0.2

V. *Helenium mexicanum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(17 St.)			
I oben	4.8	1.2	0.7	2.8	1.0	1.8
II	4.6	2.0	1.1	1.8	1.0	0.8
III	4.6	1.0	0.2	1.2	0.7	0.5
IV	4.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
V	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VI. *Valeriana officinalis*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(17 St.)			
I oben	4.7	0.2	0.5	2.6	1.7	0.9
II	2.4	0.9	0.4	0.3	0.3	0.2
III	2.2	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0
IV	2.3	1.4	0.0	0.5	0.4	0.1
V	2.4	0.6	0.1	0.8	0.5	0.3
VI	2.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0

Die Unregelmässigkeit der Curven wurde durch die Knoten verursacht.

VII. *Alisma Plantago.*

No. der 2-Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Dehnung.		Totale Dehnung.	Bleibende Ver- längerung.	Elastische Dehnung.
		(7 St.)	(18 St.)			
I oben	2.3	1.2	1.8	1.8	1.0	0.8
II	3.5	3.0	2.8	0.8	0.7	0.1
III	3.5	3.2	3.1	0.5	0.4	0.1
IV	4.9	1.0	0.6	0.3	0.0	0.3
V	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Biagsamkeit.**

Meine Versuche wurden nach der folgenden Methode gemacht: Auf eine dünne, mit weissem Papier überzogene Korkplatte wird der gerade Spross auf eine vorher mit Bleistift gezogene grade Linie gelegt. Die Schnittfläche wird mit feuchtem Tuch umgeben, damit der Wasserverlust durch Verdunstung während des im Mittel 20 Minuten dauernden Versuches ganz ausser Betracht gelassen werden könne. Der Spross trägt, von der Gipfelknospe aus in Entfernungen von je 1 Cm. Tuschstriche. Das Wachsthum wird nur für Abtheilungen von je 2 Cm. Länge bestimmt; die Biagsamkeit wird in der Mitte dieser Abtheilungen untersucht. Dazu wird der Spross an den in der Mitte dieser je 2 Cm. langen Abtheilungen gelegenen Marken durch Nadeln an den Kork befestigt, und zwar so, dass eine Nadel auf der einen Seite des Sprosses, die andere auf der andern Seite steht, und beide zusammen den Spross möglichst fest an den Kork andrücken, aber ohne ihn zu verletzen. Indem in der Mitte jeder Abtheilung eine solche Befestigung hergerichtet wird, liegt der ganze Spross hinreichend fest, um auch bei der Biegung des freien Endstückes seine gerade Lage zu behalten.

Jetzt wird die Korkplatte auf einem Halter senkrecht gestellt, und zwar so, dass der Spross dabei horizontal bleibt. Ein feiner Faden wird genau an der Stelle des ersten, der Gipfelknospe am nächsten liegenden Tuschstriches um den Spross geschlagen und mit einem Gewichte beschwert. Hierdurch biegt sich der Spross an der durch die Nadeln befestigten Stelle der zweiten Marke, also in der Mitte der ersten 2 Cm. langen Abtheilung. Die Richtung des herabgebogenen Endes wird mit Bleistift auf das Papier angegeben, das Gewicht entfernt und die durch die bleibende Biegung verursachte Lage ebenso auf das Papier aufgetragen. In der nämlichen Weise wird auch für die übrigen Abtheilungen die Biagsamkeit bestimmt. Die Belastungen und Entlastungen geschehen so langsam wie möglich; jeder Stoss muss vermieden werden.

Nachdem dieses geschehen und der Spross vom Papier entfernt ist, werden die punktirten Linien ausgezogen und verlängert und die Winkel, welche sie mit der ursprünglichen Lage des Sprosses machen, gemessen. Zum letzteren Zweck eignet sich am besten eine auf eine Glimmerplatte eingeritzte Grad-Eintheilung. Die in den Tabellen verzeichneten Winkel liefern also ein Bild von der Senkung der Sprosstheile bei gleicher Belastung und gestatten dadurch ein Urtheil über die Biegsamkeit in den einzelnen Abtheilungen.

Während des Versuchs wurde die Endknospe nicht abgeschnitten. Sie verursacht eine desto grössere Senkung, je länger der Hebelarm ist, an dem sie wirkt, je weiter also die untersuchte Stelle von der Gipfelknospe entfernt ist. Ebenso werden von der Knospe aus bis zu der Stelle des Maximums der Partialzuwachse die Hebelarme um ein Geringes länger, da ja die Marken während der Wachstumsbestimmung vor Anfang des Versuchs auseinandergertückt sind und sie nicht erneuert wurden. Beide Fehler vergrössern den beobachteten Winkel in der Nähe des Wachstumsmaximums; da aber das Resultat der Versuche dennoch ein stetiges Abnehmen der Biegsamkeit vom Gipfel aus ist, so brauchen sie bei der Schlussfolgerung nicht in Betracht zu kommen.

Um die Reibung der Endknospe an dem Papier zu beseitigen, empfiehlt es sich, die Korkplatte ein wenig über zu neigen, dieses schadet der Genauigkeit nicht, da man ohnehin die Fehler nicht kleiner als 5 Grad machen kann.

Für die Kenntniss der verschiedenen mit dem Wachsthum zusammenhängenden Biegungen ist es von Werth die Stelle zu kennen, wo ein Spross sich am stärksten krümmt, wenn er durch eine an der Knospe angreifende Kraft gebogen wird, während der untere Theil befestigt ist<sup>1)</sup>. Ich habe deshalb bei jedem Versuch sofort nach der Biegung nach obiger Methode auch diese Frage untersucht, und zwar wurde der Spross in der Ebene der beschriebenen Biegungen, einmal in der Richtung dieser und dann in der entgegengesetzten gebogen. In beiden Lagen wurde die Krümmung auf das Papier verzeichnet und dann die Lage der am stärksten gekrümmten Stelle, nebst dem Radius ihrer Krümmung bestimmt. Die Biegungen in den beiden entgegengesetzten Richtungen ergaben immer ungefähr dieselbe Entfernung der stärkst gekrümmten Strecke von der Gipfelknospe. Diese Strecke ist nicht als der Ort der stärksten absoluten Biegsamkeit zu betrachten, was sich u. A. auch daraus ergibt, dass sie, wie schon von Sachs gefunden wurde, immer an einer von der Knospe ziemlich weit entfernten Stelle liegt, während, wenn man die Knospe festhält und das ältere Ende des abgeschnittenen Sprossgipfels zieht, immer der der Gipfelknospe am nächsten liegende Theil die stärkste Krümmung zeigt.

1) Vergl. SACHS, Lehrb., 3. Aufl. S. 694.

Elastische  
Dehnung.

0.8  
0.4  
0.4  
0.3  
0.0

cht: Auf  
er gerade  
egt. Die  
sserverlust  
Versuches  
von der  
as Wachs-  
die Bieg-  
wird der  
gelegenen  
eine Nadel  
eite steht,  
ndrücken,  
lung eine  
inreichend  
rade Lage

stellt, und  
aden wird  
liegenden  
beschwert.  
gten Stelle  
btheilung.  
das Papier  
e Biegung  
nämlichen  
bestimmt.  
möglich;

Als Resultat aus meinen Versuchen ergab sich, dass, obgleich das Maximum der Partialzuwächse in den Versuchsobjecten den Gipfel noch nicht erreicht hatte, und die Dicke entweder nicht oder nur sehr allmählig von der Spitze aus zunahm, das Maximum der Biegsamkeit stets in der unmittelbaren Nähe der Spitze liegt. Die Stelle, in der sich die Sprosse beim Ziehen an der Endknospe biegen, lag, wie erwähnt, immer in einer gewissen Entfernung von der Spitze, ohne eine bestimmte Beziehung zur Lage des Maximums der Partialzuwächse erkennen zu lassen.

Ich führe jetzt beispielsweise einige, aus einer grösseren Versuchsreihe ausgewählte Versuche an; die dazu benutzten Sprosse sind Blüthenschäfte; die Temperatur war 18—23° C. Im Uebrigen ist für die Beschreibung der Messung und der Bedingungen der Versuche auf das in der ersten Abtheilung Mitgetheilte zu verweisen.

#### I. *Papaver dubium*.

Nickender Blütenstiel; vor dem Abschneiden von der Pflanze wurde dieser dadurch gerade gemacht, dass die Last der Endknospe während eines halben Tages durch ein kleines, über eine Rolle die Knospe hinaufziehendes Gewicht aufgehoben wurde.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Biegung.		Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
		(6 St.)	(16 St.)			
I oben	4.6	1.6	0.6	35°	25°	40°
II	4.6	2.2	1.6	25°	20°	5°
III	4.6	1.9	0.2	15°	10°	5°
IV	4.6	0.3	0.2	5°	0°	5°
V	4.6	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 4 Cm. langen Hebelarm 2 Gramm. Beim Ziehen an der Knospe lag die am stärksten sich krümmende Strecke in einer Entfernung von 4—6 Cm. von der Knospe, bei einem Krümmungsradius von 1.5 Cm.

#### II. *Dipsacus fullonum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Biegung.		Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
		(26 St.)	(8 St.)			
I oben	4.0	4.8	0.6	30°	15°	15°
II	4.0	2.1	0.6	20°	10°	40°
III	4.2	2.9	0.2	20°	10°	10°
IV	4.3	2.3	1.0	20°	5°	45°
V	4.3	1.6	0.2	10°	5°	5°
VI	4.3	0.1	0.0	10°	5°	5°
VII	4.3	0.2	0.0	5°	0°	5°
VIII	4.2	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 80 Grm. Stärkste Krümmung beim Herabziehen der Knospe zwischen 4 und 8 Cm. von der Inflorescenz entfernt (Krümmungsradius  $2\frac{1}{2}$  Cm.).

III. *Froelichia floridana*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Biegung.		Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
		(7 St.)	(16 St.)			
I oben	1.3	0.1	0.3	60°	30°	30°
II	1.4	0.2	0.6	40°	20°	20°
III	1.5	0.7	1.0	20°	10°	10°
IV	1.9	1.0	0.4	15°	10°	5°
V	2.0	0.7	0.2	10°	5°	5°
VI	2.0	0.1	0.0	5°	0°	5°
VII	2.0	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 5 Gramm. Stärkste Krümmung beim Ziehen an der Inflorescenz zwischen 3 und 5 Cm. von dieser entfernt (Krümmungsradius 4.5 Cm.).

IV. *Allium acutangulum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Biegung.		Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
		(22 St.)	(23 St.)			
I oben	1.3	0.0	0.0	55°	20°	35°
II	1.4	0.0	0.2	40°	20°	20°
III	1.6	0.9	0.7	30°	20°	10°
IV	1.6	1.3	1.9	25°	15°	10°
V	1.7	2.4	1.6	20°	15°	10°
VI	1.8	2.0	1.0	15°	10°	5°
VII	1.9	1.6	0.0	10°	5°	5°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 7 Gramm. Ort der stärksten Krümmung beim Ziehen der Inflorescenzknospe zwischen 2 und 6 Cm. von dieser entfernt (Krümmungsradius 3 Cm.).

V. *Oxalis lasiandra*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Biegung		Totale Ablenkung.	Bleibende Ablenkung.	Elastische Ablenkung.
		(6 1/2 St.)	(17 St.)			
I oben	1.8	0.3	1.7	50°	20°	30°
II	2.0	0.7	2.3	20°	10°	10°
III	2.1	0.9	1.7	10°	5°	5°
IV	2.3	0.8	1.6	5°	0°	5°
V	2.3	1.1	0.9	2 1/2°	0°	2 1/2°
VI	2.4	0.4	0.4	0°	0°	0°
VII	2.4	0.0	0.0	0°	0°	0°

Gewicht am 1 Cm. langen Hebelarm 10 Grm. Stärkste Krümmung beim Ziehen an der jungen Inflorescenz in einer Entfernung von 5.8 Cm. von dieser (Krümmungsradius 2 Cm.).

## Torsionsfähigkeit.

Der zu diesen Versuchen benutzte Apparat war der nämliche wie bei der Dehnung. Indem die Endknospe zwischen den beiden Korkplatten festgeschraubt ist, kann man leicht den älteren Theil des Sprosses mit der Hand um seine Achse drehen, wobei die jüngeren Theile eine entsprechende Torsion erfahren. Als feste Punkte zur Bestimmung der Grösse dieser Torsion in den einzelnen, je 2 Cm. langen Abtheilungen des Sprosses, wurden die Mitten der Querstriche benutzt, welche auch zur Messung des Wachstums auf den Spross gemacht wurden. Es war unter diesen Umständen leicht, bis auf Achtel eines Kreises die Torsion zu messen, und wie die Versuche zeigen, genügt diese Genauigkeit vollständig. Während der Beobachtung wurde also die Anzahl der Achtel eines Kreises, welche die Torsion betrug, notirt, und hieraus später die Torsionswinkel in Graden berechnet.

Die Versuche führten zu folgendem Satze: Sowohl bei nach der Spitze verjüngten als bei cylindrischen oder an der Spitze keulenförmig angeschwollenen Sprossen nimmt die Torsionsfähigkeit vom Gipfel aus nach den älteren Theilen immer ab, auch wenn das Maximum der Partialzuwächse diesen Gipfel noch nicht erreicht hat. Ich überzeugte mich bei diesen Versuchen, dass auch innerhalb der jüngsten, 2 Cm. langen Strecke die Torsionsfähigkeit gegen die Spitze zunimmt.

Die Einzelheiten der Versuche waren die nämlichen wie bei den Versuchen über die Dehnung. Die benutzten Sprosse sind junge Stiele von Blüten- oder Inflorescenzknospen. Temperatur 20—23° C. Von jeder Art führe ich auch nur einen Versuch an; die übrigen ergaben stets das nämliche Resultat.

I. *Plantago lanceolata*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(24 St.)	(24 St.)			
I oben	1.4	1.3	0.2	540°	135°	405°
II	1.4	1.9	2.2	135°	0°	135°
III	1.6	1.8	0.0	90°	0°	90°
IV	1.6	0.9	0.0	0°	0°	0°
V	1.6	0.1	0.0	0°	0°	0°

Krümmung  
von 5.8 Cm.

II. *Froelichia floridana*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(12 St.)	(11 St.)			
I oben	1.4	0.2	0.4	360°	90°	270°
II	1.4	0.4	0.0	135°	25°	110°
III	1.6	0.7	1.0	45°	0°	45°
IV	1.8	1.9	2.4	45°	0°	45°
V	2.0	2.2	1.4	25°	0°	25°
VI	2.2	2.3	0.4	25°	0°	25°
VII	2.2	0.5	0.2	0°	0°	0°

III. *Helenium mexicanum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(8 St.)	(18 St.)			
I oben	1.6	1.1	0.2	270°	90°	180°
II	1.3	1.6	1.1	270°	90°	180°
III	1.5	0.9	0.5	135°	90°	45°
IV	1.5	0.0	0.0	45°	0°	45°
V	1.5	0.0	0.0	0°	0°	45°

IV. *Allium microcephalum*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(8 St.)	(18 St.)			
I oben	4.5	0.6	0.6	450 <sup>0</sup>	435 <sup>0</sup>	345 <sup>0</sup>
II	4.6	1.2	0.7	315 <sup>0</sup>	435 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>
III	2.0	1.8	1.8	135 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	110 <sup>0</sup>
IV	2.4	1.5	2.3	90 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
V	2.8	0.9	4.0	25 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>
VI	2.9	0.9	0.5	25 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>
VII	3.0	0.2	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
VIII	3.4	0.4	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>

V. *Thrinicia hispida*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(12 St.)	(11 St.)			
I oben	4.6	0.7	0.2	315 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>	225 <sup>0</sup>
II	4.7	2.8	1.0	435 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
III	4.9	3.2	0.7	90 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>
IV	4.9	2.8	0.5	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
V	2.0	0.1	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>

VI. *Saponaria officinalis*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(8 St.)	(17 St.)			
I oben	2.0	0.0	0.2	135 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
II	2.3	0.3	0.5	90 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
III	2.5	0.7	0.4	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
IV	2.6	0.7	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
V	2.7	0.4	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>

VII. *Valeriana officinalis*.

No. der 2 Cm. langen Ab- theilungen.	Dicke.	Wachsthum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
		(8 St.)	(17 St.)			
I oben	4.8	0.9	0.4	360 <sup>0</sup>	435 <sup>0</sup>	225 <sup>0</sup>
II	2.2	3.9	0.7	180 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	135 <sup>0</sup>
III	2.2	2.2	0.2	90 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
IV	2.4	0.8	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
V	2.6	0.4	0.0	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>

VIII. *Alisma Plantago.*

Elastische Torsion.	No. der 2 Cm. langen Abtheilungen.	Dicke.	Wachstum vor nach der Torsion.		Totale Torsion.	Bleibende Torsion.	Elastische Torsion.
			(7 St.)	(18 St.)			
3450	I oben	2.9	0.7	—	1800	900	900
1800	II	3.9	1.6	1.4	900	250	650
1400	III	4.2	2.7	2.1	250	00	250
900	IV	4.4	3.5	2.7	250	00	250
250	V	4.4	4.5	0.5	250	00	250
250	VI	4.4	3.0	0.3	00	00	00
00	VII	4.6	1.0	0.0	00	00	00

Vergleicht man zum Schluss die aus den drei Versuchsreihen gewonnenen Resultate mit einander, so zeigt sich eine vollständige Uebereinstimmung. Man kann sie also in einem Satze zusammenfassen: In wachsenden, stark turgescirenden Sprossen besitzen die Dehnbarkeit, Biegsamkeit und Torsionsfähigkeit in der unmittelbaren Nähe der Endknospe ein Maximum und nehmen mit zunehmender Entfernung von dieser stetig ab. Dieser Satz gilt unabhängig von dem Alter des wachsenden Sprosses. Die mitgetheilten Versuche bezogen sich auf den Zustand, wo das Maximum der Partialzuwache den Gipfel noch nicht erreicht hatte; dass der Satz auch für den späteren Zustand der Sprosse, wo das Wachstumsmaximum bereits den Gipfel erreicht hat, seine Gültigkeit hat, bedarf wohl keines weiteren Beweises; in manchen Versuchen, wo die Sprosse schon älter waren als sich voraussehen liess, bestätigte sich übrigens diese Folgerung.

Elastische Torsion.  
3450  
1800  
1400  
900  
250  
250  
00  
00

Elastische Torsion.  
2250  
900  
450  
00  
00

Elastische Torsion.  
900  
900  
00  
00  
00

Elastische Torsion.  
2250  
1350  
900  
00  
00

# 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): de Vries Hugo

Artikel/Article: [Ueber die Dehnbarkeit wachsender Sprosse 519-545](#)