

Der Thermotropismus der Leinpflanze.

Von

Josef Pohl,

Oberlehrer d. R. in Iglau.

Mit 6 Abbildungen im Text.

I. Vorbemerkungen.

Die im Nachstehenden zu schildernden Beobachtungen und Versuche sind an jener Varietät des Saatileins (*Linum usitatissimum* L.) angestellt worden, welche blaublütiger Schließlein genannt und zum Zwecke der Fasergewinnung bei uns allgemein im großen angebaut wird.

Das Wachstum dieser Pflanze ist in den ersten 30—34 Tagen ein zögerndes. Sie sendet während dieser Zeit eine fadenförmige Wurzel in die Tiefe. Ihr Stengel erreicht bis dahin nur eine Höhe von 17—24 cm. Während eben derselben Zeit leisten die ergrüneten Cotylen der ganzen Pflanze ernährungsphysiologische Dienste.

Hat die Hauptwurzel die angestrebte (oft sehr erhebliche) Länge erreicht, so stellen die Samenblätter ihre Tätigkeit ein. Dies gibt sich äußerlich in der Verfärbung derselben zu erkennen. Aus ihrem dunklen Grün wird ein unscheinliches Gelb. Sie schrumpfen zusammen und fallen nach einiger Zeit ab.

Um dieselbe Zeit beginnt der Stengel sich ausgiebig in die Länge zu strecken. Sein Gipfel neigt sich horizontal seitwärts (Figur 1), anfangs mit einem nur 4—5 cm langen Stücke, später auf eine Länge von 10—12 cm.

Diese horizontale Überneigung ist indessen an der Pflanze nicht unter allen Umständen zu beobachten. An Tagen mit hellem Sonnenschein z. B. wird sie von einer anderen, an den auf solche folgenden Abenden von einer dritten Form der Überneigung abgelöst. Beide werden geschildert werden. Durchschneidet man einen Leinstengel, dessen Gipfel sich übergeneigt hat, nahe an der Erde und hält ihn dann mit der Schnittfläche nach oben, so sinkt das übergeneigte Stück unter seinem eigenen Gewichte eine Strecke weit herab. Allein gänzlich wird die Krümmung nicht ausgeglichen. Sie ist also nicht ausschließlich das Ergebnis der Belastung des Sprosses durch die Gipfelknospe.

Eine solche (rein mechanische) Erklärung könnte immerhin aus dem Grunde versucht werden, weil die genannte Gipfelknospe zur Zeit der Überneigung sichtlich erstarkt. Die Pflanze bereitet sich auf die Anthese vor, ihre Gipfelknospe auf die Ausbildung zum Blütenstand.

Unverändert bleibt während des in Rede stehenden Zeitabschnittes erstlich der dichte Anschluß der (jetzt noch kurzen und schmalen) Blätter der Gipfelknospe an den Inhalt der letzteren. Man wird aus diesem Verhalten auf eine Schutzleistung derselben schließen dürfen.

Ungeändert bleibt auch der abendliche (nyktitropische) Schluß der oberen Stengelblätter. Diese „Schlafbewegung“, die schon an



Fig. 1.

Leinpflanze mit horizontal übergeneigtem Gipfel (eines Ersatztriebes).

den ersten Abenden nach dem Aufgange der Pflanzen an den Keimblättern zu bemerken war, tritt bis zu einer später zu bezeichnenden Zeitgrenze allabendlich um die Zeit der Dämmerung ein. Die Stengelzone, welche die sich in die Schlafstellung begebenden Blätter trägt, rückt mit dem Wachstum des Stengels allmählich an diesem hinauf.

Die Überneigung des Gipfels der Leinpflanze ist von den Landwirten schon längst bemerkt worden. Sie nennen das übergeneigte Stück „den Kragen“. Sie erblicken in dem Auftreten desselben ein Zeichen des Wertes der Pflanze. Lein mit „Kragern“ gibt nach ihrer Aussage gutes Produkt. Bei kümmerlich wach-

senden Pflanzen bleibt der „Kragen“ aus. Doch gelangen auch solche zur Blüte.

II. Beobachtungen, im Garten angestellt.

Eine vierte Veränderung, welche mit unseren Pflanzen vor sich ging, konnte infolge der besonderen Umstände, unter welchen ihr Wachstum erfolgte, vom Beginne der Überneigung ihrer Gipfel an beobachtet werden. Auf dem freien Felde wäre diese Veränderung wohl niemals festgestellt worden. Von jenen besonderen Umständen besteht der erste in der eingeschlossenen Lage des Gartens, in welchem sie erzogen wurden, der zweite im Anbau der Leinpflanzen an den Längsrändern von Beeten, welche zwischen diesen beiden Reihen nur niedrig bleibende Pflanzen trugen und nahe bei einer während des Nachmittags stundenlang besonnten Mauer lagen.

Zum Zwecke des besseren Verständnisses der einschlägigen Verhältnisse wird eine Planskizze dieses Gartens beigelegt (Fig. II). Aufgenommen sind in die Zeichnung nur diejenigen Details, welche für den Zweck der vorliegenden Abhandlung in Betracht kommen. Die Distanzen, die Richtungen und die ungefähren Mauerhöhen sind für die Beurteilung der Reizempfindlichkeit der Leinpflanze von Wichtigkeit.

MN ist die (weißgetünchte) Wand des von dieser Seite gesehenen zweistöckigen Schulhauses. Auch *NO* ist eine hohe Mauer. Weit niedriger sind die Mauern *OP*, *PQ* und die insbesondere in Betracht kommende etwa zwei Meter hohe Schuppenmauer *RS*. Alle fünf bestehen aus Ziegeln. Die Vierecke *abcd*, *lmno* und die denselben benachbarten bezeichnen Gemüsebeete. An den Rändern *abcd* usw. wurde zu verschiedenen Zeiten Lein angebaut. Dasselbe geschah zu anderer Zeit auf der Zeile *ik*.

Die Zeichnung zeigt die eingeschlossene Lage des Gartens. Nur nach Südosten, wo der Abschluß desselben auf der Skizze ausgelassen ist, begrenzt denselben keine Mauer, sondern (vor dem Zaune) eine Baumreihe, deren Schatten aber niemals bis zu den bezeichneten Beeten reicht.

Während der Vegetationszeit des Leins sind die Wände *RS* (des Schuppens) und *MN* (des Schulhauses) bis in die Nachmittagsstunden den Strahlen der Sonne zugänglich. Von drei Uhr nachmittags an fallen die letzteren gar nicht mehr auf die Schulhauswand *MN*, dagegen ungefähr senkrecht auf die Schuppenwand *RS*. Etwa 2 $\frac{1}{2}$ bis 3 $\frac{1}{2}$ Stunden später sinkt die Sonne hinter eine Anhöhe. Die Wand *WX* (einem ebenerdigen Gebäude angehörig) ist für unsere Erörterungen belanglos. Sie liegt ungefähr von 9 $\frac{1}{2}$ Uhr vormittags an im Schatten.

Die erwähnte vierte Veränderung, welche mit unseren Pflanzen vor sich ging, besteht nun in Folgendem: An Abenden nach sonnenhellen Tagen bemerkte der Verfasser, daß die an den beiden Längsrändern des Beetes *abcd* wachsenden Leinpflanzen sich zur Zeit der Dämmerung und der beginnenden Abkühlung sämtlich, die einen früher, die anderen etwas später, mit ihren Gipfeln

näherungsweise in die Nordrichtung einstellten (in der Planskizze nur für den Beetrand *cd* durch Pfeile ersichtlich gemacht).

Der Verfasser glaubte dieses Verhalten der Leinpflanzen durch die Annahme erklären zu können, daß dieselben auf den

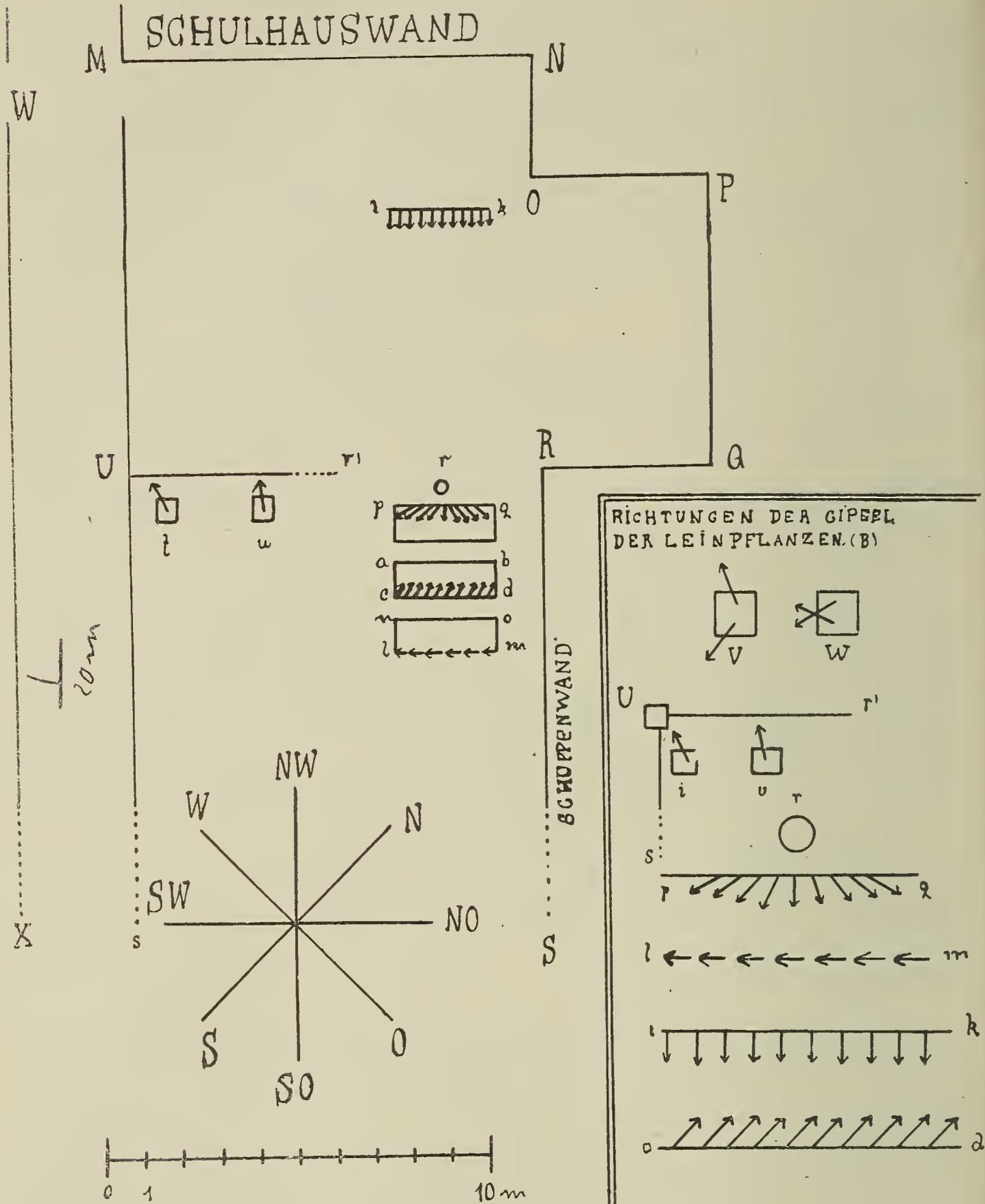


Fig. 2.

Reiz strahlender Wärme mit Bewegungen antworten, daß sie thermotropisch empfindlich sind. Wenn diese Annahme richtig war, dann hatte man sich das Gesehene folgendermaßen zu deuten:

Die Richtung, in welche sich alle diese Pflanzengipfel zu stellen suchten, ungefähr die nordsüdliche, ist diejenige der Diagonale eines Kräfteparallelogrammes, dessen Seitenkräfte in den

Richtungen der Wärmestrahlungen aus den vorher besonnten Wänden liegen. Von der Schulhausmauer MN ging die intensivste Strahlung in der Richtung von Nordwest nach Südost vor sich (parallel der Schuppenwand RS und dem Zaune UT). Die von der Schuppenwand (RS) ausgehende Strahlung wirkte am intensivsten in der Richtung von Nordost nach Südwest, parallel der Wand MN und den Beeträndern ab und cd . Nun hat man es in den (angenommenen) Wirkungen dieser Strahlung allerdings mit Auslösungen durch Reize und nicht mit rein mechanischen Erfolgen zu tun. Wohl aber darf man sich die beiden intensivsten Strahlungen in einer Resultierenden zusammenwirkend denken. Das Er-



Fig. 3.

Leinpflanze mit thermotropisch gesenktem Gipfel. Diesem zunächst Blätter in „Schlafstellung“.

gebnis der ganzen Untersuchung hat die Richtigkeit dieser Auffassung bewiesen. Jene Resultierende wirkt etwa von Norden nach Süden und löst in den Pflanzen das Bestreben aus, ihre Gipfel in die Richtung einzustellen, aus welcher die Gesamtstrahlung erfolgt, also ungefähr nach Norden.

Eine verwandte Erscheinung gelangte erst einige Jahre nach der oben geschilderten zur Beobachtung, wird aber hier wegen der sachlichen Übereinstimmung angeführt. Es war nämlich nachträglich zwischen U und R ein Steckenzaun gezogen worden, der in der Planskizze mit Ur' angedeutet ist. In der Nähe dieses Zaunes befanden sich (bei t und e) Leinpflanzen. Mehrmals wurde

beobachtet, wie sich dieselben gegen den Zaun hin drehten. Es geschah dies jedesmal an Vormittagen, wenn beide Wände desselben durch längere Zeit von den Sonnenstrahlen erwärmt worden waren und dann der Himmel sich bewölkte. Die dem Scheitel des Winkels U und beiden Zaunwänden nahe Pflanze (t) stellte dann ihren Gipfel in die Mittelrichtung zwischen U_s und U_r' . Die von der Wand U_s weiter entfernte Pflanze u drehte sich der Wand U_r' zu, von der Wand U_s nur wenig beeinflusst.

Mit Einbruch der Dunkelheit, also zur Zeit fortschreitender Abkühlung, senkten sich die Gipfel der Leinpflanzen aus ihrer



Fig. 4 a.

Leinpflanze mit thermotropisch geneigtem Gipfel.



Fig. 4 b.

Leinpflanzen, welche ihre Gipfel in die Richtung der Sonnenstrahlen eingestellt haben.

vorigen horizontalen Lage weiter nach abwärts. Diesen Zustand zeigt die Figur 3, ebenso 4a. Wurden die Pflanzen nach Mitternacht von neuem beobachtet, so war die Senkung keine so tiefe mehr wie am Abend. Auch wiesen nunmehr die Gipfel nach allen möglichen Richtungen, nicht mehr sämtlich nach Norden wie zur Zeit des Anbruchs der Dunkelheit.

Der Verfasser erblickte die Veranlassung der abendlichen Senkung der Gipfel in dem Wärmeüberschusse des Bodens gegenüber der sich abkühlenden Luft. Um die Mitternachtszeit war dieser Überschuss durch Ausstrahlung aufgebraucht, mit ihm war der Anlaß zur tieferen Senkung der Gipfel verloren gegangen.

Noch mehr änderte sich das Bild, wenn auf eine Nacht, in welcher die geschilderten Erscheinungen eingetreten waren, ein

sonnenheller Morgen folgte. An trüben Tagen fielen alle die beschriebenen Erscheinungen aus. Nur die Seitwärtsneigung der Gipfel blieb erhalten.

In demselben Jahre und in den darauf folgenden wurde noch an den Rändern anderer, dem ersterwähnten (*a b c d*) benachbarten Beete (z. B. auf *l m* und *n o*) Lein angebaut. Die oben geschilderten Erscheinungen wiederholten sich nach Eintritt der Seitwärtsneigung der Gipfel jedesmal entsprechend den äußeren Verhältnissen (Sonneschein oder Trübung, Tageshelle oder Nacht), so wie sie oben dargestellt wurden.

Die Annahme, daß in den angeführten Erscheinungen Wirkungen von positivem Thermotropismus vorliegen, war nun durch Versuche auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Zum Zwecke der Anstellung derselben wurden in den folgenden Jahren Leinpflanzen in prismatischen Holzhöhren von je 60 cm Länge und 15×15 cm² innerem Querschnitte erzogen, meist deren mehrere in einer Röhre. Mit diesen einfachen Kulturgefäßen konnten nun beliebige Veränderungen des Standortes und der Richtungen der Pflanzen vorgenommen werden.

III. Versuche. Positiver Thermotropismus.

Als zuerst eine Pflanze in einem der erwähnten Kulturgefäße durch Umlegen ihres Gipfels den Eintritt in die Phase thermotropischer Reizbarkeit zu erkennen gab, suchte der Verfasser zunächst den Erfolg der Strahlung aus einer Wärmequelle von einigermaßen höherer, jedoch nicht exzessiver Temperatur zu ermitteln.

An einem Augusttage wurde nach Eintritt vollkommener Dunkelheit im Garten (in der Nähe von *Q*), etwa 19,5 dm von der Schuppenwand (*R S*) entfernt, ein schwarzer eiserner Topf von 20 cm Höhe und 25 cm mittlerem Durchmesser auf einen Untersatz gestellt und zwischen Topf und Wand, von ersterem (mit Rücksicht auf die Dimensionen der Holzhöhre) etwa 10 dm, von letzterer 8 dm entfernt, das Kulturgefäß so postiert, daß die Pflanzengipfel in gleicher Höhe mit der Mitte des Topfes zu stehen kamen. Letzterer war zu mehr als drei Vierteln mit heißem Wasser gefüllt worden. Tatsächlich vollzog jene Pflanze, welche ihren Gipfel gesenkt hatte, mit demselben eine Drehung gegen den Topf. Eine zweite, im selben Gefäße wachsende Pflanze änderte dagegen ihre Lage in keiner Weise. Diese Pflanze hatte ihren Gipfel noch nicht übergeneigt.

Bald darnach an einem mäßig kühlen Tage, an welchem die Sonne nur selten und nur für Augenblicke aus den Wolken trat, wurde der Versuch wiederholt (diesmal also bei Tageslicht). Es wurde derselbe Topf verwendet und dasselbe Kulturgefäß, auch die Distanzen waren dieselben. In dem Gefäße war zu dieser Zeit auch schon die zweite Pflanze in den reizempfindlichen Zustand getreten. Der Topf war wieder so wie das erstemal mit heißem Wasser gefüllt worden. Zu Anfang des Versuches konnte man zur Not die Hand an die Außenfläche anlegen.

Beide Pflanzen antworteten auf den Reiz der Wärmestrahlung. Die Richtungen der zwei Sproßgipfel schlossen anfangs, nach rückwärts verlängert gedacht, einen Winkel von 130° ein. Das Kulturgefäß war so gedreht worden, daß die Verbindungslinie zwischen seiner Mitte und derjenigen des Topfes den von den beiden Pflanzengipfeln eingeschlossenen Winkel halbierte. (Siehe Fig II rechts bei *V*.) Um $8\frac{1}{2}$ Uhr vormittags begann die Drehung der beiden Sproßgipfel gegen den Topf. Um $11\frac{1}{2}$ Uhr waren beide gegen die Mitte desselben gewendet. Um 12 Uhr hatten sie sich, jeder in der von ihm anfänglich eingeschlagenen Richtung, um so viel weiter gedreht, daß ihre Gipfel untereinander in Kreuzstellung standen (Fig. II bei *W*). Der Scheitel des von den Sproßgipfeln eingeschlossenen Winkels war von seinem ursprünglichen Orte auf der Rückseite des Kulturgefäßes nach einem Punkte vor dem letzteren und zuletzt nach der Kreuzungsstelle gewandert. Die Pflanzen hatten sich, wie es in ähnlichen Fällen ganz allgemein beobachtet wird, nach Erreichung der angestrebten Lage, dem erhaltenen Antriebe weiter folgend, noch über diese hinausbewegt (bis zur erwähnten Kreuzstellung). Ein Nachfüllen von heißem Wasser hatte bei keinem der beiden Versuche stattgefunden. Zur Mittagszeit wurde der Topf weggestellt. Um 3 Uhr nachmittags nahmen die beiden Sproßgipfel ganz andere Lagen ein als mittags, und um 8 Uhr abends wieder andere. Sie hatten nicht mehr die während des Vormittags eingeschlagene Drehungsrichtung beibehalten, sondern sich von 12 Uhr an ohne erkennbares Gesetz bewegt.

Durch beide Versuche hatte sich herausgestellt, daß die Leinpflanzen tatsächlich in demjenigen Lebensabschnitte, in welchem sie zu diesem Versuche verwendet wurden, auf den Reiz strahlender Wärme durch Drehungen ihrer Gipfel gegen die Wärmequelle antworteten, daß diese Drehungen aber erst dann erfolgen, wenn die Pflanzen ihre Sproßgipfel selbsttätig geneigt haben. Weiterhin angestellte Versuche lieferten sämtlich die gleichen Ergebnisse.

An einem anderen Tage zeigten die reizempfindlichen Pflanzen ein anscheinend abweichendes Verhalten. Während eines warmen Regens wendeten sich die auf dem Beetrande *lm*, also in der Nähe des Schuppens, wachsenden Leinpflanzen mit ihren Gipfeln sämtlich von dessen Wand hinweg. Ihre Richtungen standen alle senkrecht auf der Fläche derselben. In der Nähe des Schulhauses wuchs (auf der Zeile *ik*) zu dieser Zeit gleichfalls Lein. Auch die hier erzogenen Pflanzen wendeten sich, genau zur selben Stunde, mit ihren Sproßgipfeln von der Schulhauswand unter rechten Winkeln weg. Die vordem (auf *ab* und *cd*) konstatierte Nordrichtung war jetzt auch an den beim Schuppen wachsenden Pflanzen nicht zu beobachten. Ihre Einstellung in diese Richtung wäre um diese Zeit (bei Tageslicht und trübem Wetter) in einem nicht minder auffallenden Gegensatze zu dem früher wahrgenommenen Verhalten gestanden, wie das an diesem Tage zu verzeichnende. Diese Richtungen der Sproßgipfel sind in der Figur 2 durch Pfeile gekennzeichnet. Beide Zeilen (*lm* und *ik*) sind rechts auf dieser Figur nochmals dargestellt,

Der Verfasser brachte, um eine Erklärung dieser Erscheinung zu finden, zwei Gefäße mit reizbaren Leinpflanzen in ein Zimmer, dessen Temperatur wenig um 17° C herum schwankte. Er stellte in die Mitte desselben auf einen Stuhl einen Sack, der mit Sägespänen gefüllt und dann in Wasser getaucht worden war. Die Kulturgefäße wurden in einiger (und für beide Röhren gleicher) Entfernung von diesem Sacke so aufgestellt, daß die Pflanzengipfel mit demselben in gleicher Höhe standen.

Tatsächlich trat jetzt Drehung ein, aber nur an der Pflanze in einem der beiden Kulturgefäße. Dieses stand in der Linie des kürzesten (also senkrechten) Abstandes zwischen dem Sacke und der nächsten Zimmerwand. Letzterer Abstand betrug 150 cm. Die Pflanzen in diesem Gefäße waren von der Wand 85 cm entfernt, vom Sacke 65 cm. Die andere Röhre war seitlich vom Sacke (gleichfalls 65 cm von demselben entfernt) so aufgestellt, daß die Verbindungslinie zwischen den Mitten beider in ihrer Verlängerung die Wand erst in einem Abstände von fünf Metern (vom Sacke aus gemessen) unter einem sehr schiefen Winkel traf.

Die Pflanze in diesem Gefäße erfuhr keine Ablenkung.

Der Verfasser schloß, daß die Strahlung zwischen der wärmeren Wand und dem durch Wasserverdunstung abgekühlten Sacke der die Drehung auflösende Reiz gewesen sei, ferner, daß dieser Reiz auf die Pflanzen in dem zweiten Gefäße wegen der (der weitaus größeren Distanz entsprechenden) vielmal geringeren Intensität der Wärmestrahlung nicht mit einer zur Auslösung einer Bewegung hinreichenden Stärke wirkte.

Die Bestätigung dieser Ansicht wurde seither dadurch geliefert, daß der Verfasser von da an regelmäßig zur Hervorrufung des Strahlungsreizes für den thermotropischen Versuch den oben erwähnten eisernen Topf, aber nicht mit heißem Wasser gefüllt, sondern mit kaltem (frisch aus dem Brunnen geholten) mit Erfolg verwenden konnte. Die Pflanzen wurden dann jedesmal in die Linie des senkrechten Abstandes des Topfes von der Wand gestellt, ungefähr 65 cm von ersterem und 85 cm von letzterem entfernt.

Die Erklärung des Verhaltens der Pflanzen im Garten während des Regens war nun gegeben. Die beiden Wände waren vom Regen getroffen worden. An ihrer Oberfläche verdunstete Wasser unter Wärmebindung. Die Pflanzen wendeten sich von der kälteren Wand hinweg der wärmeren Luft zu. Es lag also wieder ein Fall von Thermotropismus vor.

Die im Garten und bei den Versuchen beobachteten Erscheinungen gestatten einen Schluß auf die Empfindlichkeit der Leinpflanze für strahlende Wärme während der Phase ihrer Reizbarkeit. Wie gering ist die Wärmedifferenz zwischen einer Zimmerwand und der Außenfläche eines mit kaltem Wasser gefüllten Topfes! Und noch kleiner ist wohl der Wärmeunterschied zwischen dem Pflanzen tragenden Gartenboden und der des Abends sich abkühlenden Luft. Und doch reichten diese Unterschiede hin, um die Gipfel der Leinpflanzen zu Drehungen zu veranlassen. Selbst

die Strahlung aus den Stecken eines Zaunes vermochte sie zu drehen. Aber weitaus geringer als diese Wärmeunterschiede ist sicher derjenige zwischen der Schulhauswand (*MN*) und der Luft zur Zeit des Anbruches der Dunkelheit. Von 3 Uhr an bis zum Eintritte der thermotropischen Erscheinung auf *ab* und *cd* unter dem Einflusse der Wärmedifferenz während der Dämmerung (zwischen 7 und 8 Uhr abends), war kein Sonnenstrahl auf diese Wand gefallen. Und doch reichte der Rest von Wärme, der ihr geblieben war, hin, um auf eine Entfernung von $13\frac{1}{2}$ m die Gipfel der Leinpflanzen auf *ab* und *cd* so zu beeinflussen, daß sie nicht ausschließlich der Strahlung aus der ihnen so nahe gelegenen und viel wärmeren Schuppenwand (*RS*) gehorchten, sondern auch derjenigen, welche von ihr selbst (von *MN*) ausging, und daß sie sich in eine Mittelrichtung (gegen Norden) stellten. Hierbei kommt jedoch auch in Betracht, daß die Fläche der Schulhauswand viel größer ist als diejenige der Schuppenwand.

Im Folgenden wird, wie es zum Teile auch im Vorhergehenden geschehen ist, die Fähigkeit der Leinpflanze, auf den Reiz strahlender Wärme durch Drehbewegungen ihres Gipfels zu antworten, meist kurz mit „Reizempfindlichkeit, Empfindlichkeit oder Reizbarkeit“ bezeichnet werden, um eine schleppende Ausdrucksweise zu vermeiden.

IV. Negativer Thermotropismus.

Der Verfasser wollte in einem späteren Jahre die Wirkung exzessiver Temperaturen auf die Leinpflanze untersuchen. Er stellte zu diesem Zwecke wieder zwischen dem gewöhnlich verwendeten eisernen Topfe und der Zimmerwand ein Kulturgefäß mit einer reizbaren Pflanze auf. Der Topf wurde zu drei Vierteln mit Wasser gefüllt. In dieses wurden Stücke gebrannten Kalkes geworfen. Sowie die intensive Wärmeentwicklung begann, drehte sich der Gipfel der Pflanze langsam vom Topfe hinweg. Der Verfasser wollte dem Einwande begegnen, daß diese Bewegung nur die Fortsetzung einer aus irgend einem andern Anlasse begonnenen sei. Er drehte daher das Kulturgefäß um 180° . Drehungsachse war eine vertikale Kante dieses Gefäßes. War die Bewegung des Sproßgipfels nur die Fortsetzung einer schon früher begonnenen, so mußte sich derselbe jetzt dem Topfe nähern. Allein abermals wich er von demselben zurück.

Im Garten war um diese Zeit eine Zeile von Leinpflanzen (auf dem Beetrande *pq*) in den reizempfänglichen Zustand getreten. Siebzig Zentimeter von dieser Zeile in senkrechtem Abstände entfernt, der Mitte derselben gegenüber (bei *R*) wurde an einem Abende wieder derselbe Topf aufgestellt und zum Teile mit Wasser gefüllt. In demselben wurde durch Löschen von Kalk eine große und andauernde Hitze erzeugt.

Der Erfolg war ein sehr auffallender. Die Pflanzen stellten sich im Verlaufe von weniger als zwei Stunden mit ihren Gipfeln sämtlich in wohl definierbare Lagen ein. Ihre Richtungen entsprachen nämlich genau den Radien eines aus dem Mittelpunkte

des Topfes beschriebenen Kreises. Sie hatten sich alle vom Topfe weggewendet. Die Linien ihrer (gedachten) rückwärtigen Verlängerungen wiesen sämtlich gegen die Mitte desselben. So ist es auch rechts auf der Planskizze bei $p q$ dargestellt.

V. Autonome Drehungen.

Eine fünfte Veränderung, welche sich sowie die bisher besprochenen genau vom Beginn der horizontalen Überneigung der Gipfel an in den Lebensäußerungen der Leinpflanze bemerkbar macht, konnte wegen der Schwierigkeit der Analyse, hervorgerufen durch mitspielende Erscheinungen, erst spät vom Verfasser konstatiert werden. Dieselbe besteht in einer eigentümlichen Unruhe, welche zur Zeit des Eintrittes in die Reizbarkeitsphase über die Pflanze kommt. Diese führt von da an ohne irgendwelche erkennbare äußere Veranlassung mit ihrem horizontal übergeneigten Gipfel Drehbewegungen aus. Aber das geschieht nur unter besonderen Umständen. An sonnenhellen Tagen unterbleiben diese Drehungen, weil die Sonne an diesen Tagen einen lenkenden Einfluß auf die Pflanze ausübt. An den auf solche Tage folgenden Abenden gehorchten die im Garten nahe bei den Wänden stehenden Leinpflanzen dem von den Mauern ausgehenden Strahlungsreize. Hierdurch wurden wieder die autonomen Drehungen verhindert. Diese waren dagegen während der Dauer der feineren Reizempfindlichkeit an allen trüben Tagen an sämtlichen, dagegen jeden Abend an jenen Pflanzen zu bemerken, welche wegen größeren Abstandes von den Mauern nicht unter dem Einflusse nächtlicher Strahlung aus diesen standen. War jedoch die Temperatur sehr niedrig, so fielen diese Drehbewegungen aus.

Durch autonome Drehungen hatten sich beim zweiten Versuche (siehe Kapitel III) die zwei reizempfindlichen Pflanzen in der Zeit von 12h mittags bis 3h nachmittags und später noch weiter bis um 8h abends aus den ihnen durch Strahlung aufgezungenen Lagen nach Aufhören des Wärmereizes wegbegeben. Gleichfalls durch autonome Drehungen hatten die bei der Schuppenwand wachsenden Pflanzen (s. Kap. II) nach Aufhören der Strahlung aus derselben ihre Gipfel fortbewegt, so daß sie, wie oben erwähnt, um Mitternacht nach den verschiedensten Richtungen wiesen.

Allein, wenn die Feststellung dieser autonomen Drehungen infolge mehrerer Umstände mit Schwierigkeiten verbunden war, so wurde dieselbe doch andererseits erleichtert. Diese Drehungen werden nämlich dadurch auffällig, daß sie an einem so weit übergeneigten Gipfelstücke des Stengels vor sich gehen. Man könnte den Vergleich mit einer Uhr versuchen. Dann ist die horizontal gedachte Erdoberfläche das Zifferblatt, der übergeneigte Sproßteil ist der Zeiger und der ihn tragende aufrechte Stengel seine Drehungsachse. Durch die Länge des Zeigers wird seine an sich (infolge ihrer meist geringen Winkelgeschwindigkeit) sehr wenig auffällige Bewegung der Beobachtung und selbst der Messung zugänglich. Das Gleiche gilt von den durch Strahlungsreize hervorgerufenen Drehbewegungen der Leinpflanze.

Die in diesem Abschnitte besprochenen Zirkumnutationen sind auf autonome Wachstumskrümmungen zurückzuführen, wie sie auch sonst an jungen, rasch in die Länge wachsenden Organen auftreten. Sie sind verwandt den kreisenden Bewegungen der Ranken. Am nächsten stehen sie vielleicht denjenigen der Klee-seidesprosse. Zwar fehlt ihnen die Beziehung zu einer Stütze. Aber mit jenen Pflanzenteilen haben die nutierenden Leingipfel gemeinsam das Absuchen der Umgebung nach neuen Möglichkeiten und das zeitliche Zusammenfallen der Periode ihrer kreisenden Bewegungen nach Rankenart mit derjenigen des Besitzes feinerer Empfindlichkeit.

VI. Einstellung des Gipfels in die Richtung der Sonnenstrahlen.

Schon oben wurde erwähnt, daß während der Phase der Reizbarkeit (klaren Himmel vorausgesetzt) an jedem Morgen ein Wechsel in der Richtung des übergeneigten Gipfels der Leinpflanze stattfindet. Dies geschieht so, daß sich derselbe mit einem Stücke, welches kürzer ist als das vorher horizontal übergeneigte, schief aufwärts gegen die Sonne wendet und der Strahlungsrichtung derselben während ihrer scheinbaren Bewegung folgt (s. Figur 4b)¹⁾. Nur an trüben Tagen unterbleibt dieser Wechsel. Bei solchem Wetter sind die Gipfel unserer Pflanzen den ganzen Tag horizontal übergeneigt.

Man ist zunächst versucht, die Einstellung der Gipfel in die Insolationsrichtung als einen phototropischen Erfolg zu deuten. Um zu erfahren, ob nicht auch hier Thermotropismus vorliege, deckte der Verfasser nach dem Vorgange Vöchting's (s. dessen Abhandlung „Über den Einfluß der Wärme auf die Blütenbewegungen der *Anemone stellata*“) eine inwendig geschwärzte Glasglocke über eine reizempfindliche Pflanze und setzte sie dann der Sonnenstrahlung aus. Es wurde wieder die Vorsicht beobachtet, das Kulturgefäß so zu wenden, daß die von der Strahlung etwa bewirkte Drehung des Gipfels nicht als die Fortsetzung einer schon begonnenen, aber anderweitig veranlaßten Bewegung erscheinen konnte. Die Pflanze drehte ihren Gipfel bei diesem Versuche (und andere Pflanzen die ihrigen bei Wiederholung desselben) so weit, bis er näherungsweise in die Richtung der Sonnenstrahlen gelangt war. Jedoch neigten sich die Gipfel der zu diesen Versuchen verwendeten Pflanzen nicht schief aufwärts der Sonne zu wie diejenigen freistehender Artgenossen, sondern sie behielten ihre horizontale Überneigung bei, wie es in ihrem Falle den Umständen entsprach. Denn die Sonne erhitzte selbstverständlich mit ihren Strahlen nicht einen einzelnen Punkt oder einen engen Bezirk auf der Oberfläche des Glassturzes, sondern den ganzen ihr jeweils zugewendeten vertikalen Streifen auf demselben von oben bis unten.

¹⁾ Für die photographische Aufnahme der thermotropisch beeinflussten Leinpflanzen ist der Verfasser seinem Kollegen, Herrn Alfons Seibert, Schulleiter in Liebental, zu Dank verpflichtet.

Zur Erklärung jener scheinbar phototropischen Erscheinung genügt also der Thermotropismus der Leinpflanze, den wir schon vorher konstatiert haben. Dazu freilich berechtigen die Versuchsergebnisse uns nicht, die Mitwirkung der leuchtenden Sonnenstrahlen bei der Hervorrufung jener Erscheinung zu leugnen. Doch darf aus der Winkelgeschwindigkeit der Drehung unter dem Glassturze auf die entweder ausschließliche oder doch vorwiegende Wirksamkeit der dunklen Strahlen bei ihrer Erzeugung geschlossen werden.

VII. Folgen der Entgipfelung.

Unter I wurde bereits erwähnt, daß die Leinpflanzen, wenn sie einen Monat alt geworden sind, ihre Gipfel horizontal überneigen und daß die so entstehende Krümmung bei Umkehrung der Pflanze gegen den Boden nicht gänzlich ausgeglichen wird.

Dieses Verhalten der Pflanze führte den Verfasser auf die Vermutung, es könne hier einer jener Fälle vorliegen, von denen Vöchting in seiner Abhandlung über die „Bewegungen an Blüten und Früchten“ eine größere Zahl beschrieben hat. Die Zugehörigkeit wäre freilich insofern, wenigstens dem Wortlaute nach, keine vollständige, als ja die besprochene Bewegung in unserem Falle an Pflanzen vor sich geht, welche sich erst auf die Anthese vorbereiten.

Wenn obige Vermutung richtig war, so mußte die Pflanze nach Entfernung der Gipfelknospe die vorgenommene Seitwärtsneigung rückgängig machen.

Die Gipfelknospe einer Pflanze wurde abgeschnitten. Sie wurde dann sogleich wieder an dem Stumpfe bei der Schnittstelle befestigt. Der zum Anbinden verwendete Faden wurde so lang genommen, daß sein Gewicht hinreichte, um den Gewichtsverlust zu kompensieren, welchen die Gipfelknospe nunmehr durch Verdunstung erleiden mußte. In mechanischer Hinsicht hatte sich somit nichts geändert, wohl aber war der organische Zusammenhang zwischen der Gipfelknospe und ihrem früheren Träger aufgehoben. Der übergeneigte Gipfel dieses letzteren richtete sich im Verlaufe der folgenden Nacht lotrecht empor. Es war also die Gipfelknospe gewesen, welche während ihres Zusammenhanges mit dem ganzen Sprosse den Gipfel desselben zur horizontalen Überneigung vermocht hatte. Mit ihrer Loslösung aus dem organischen Verbande erwachte der negative Geotropismus des Sproßgipfels und streckte ihn lotrecht aufwärts.

Dieser Versuch bewies, daß die oben ausgesprochene Vermutung richtig war.

Der Verfasser glaubt vorschlagen zu dürfen, es möge die mehrerwähnte Seitwärtsneigung des Leinpflanzengipfels „Blühnutation“ genannt werden. Denn sie tritt, wie das eben geschilderte Versuchsergebnis lehrt, der Gipfelknospe zuliebe ein. Diese aber ist wesentlich der, um diese Zeit allerdings noch unfertige, Blütenstand.

Den Verfasser interessierte noch ein anderer Umstand. Er glaubte mehrfach bemerkt zu haben, daß solche geköpfte Leinpflanzen, obwohl sie die Empfindlichkeit für schwachwirkende Strahlung, z. B. aus einer vorher besonnt gewesenen Mauer, verloren hatten, doch noch auf den Reiz der Sonnenstrahlen durch ungefähre Einstellung in die Richtung derselben antworteten.

Er köpfte, um darüber Gewißheit zu erlangen, drei Pflanzen in einem Kulturgefäße. Nach vollzogener Aufrichtung ihrer Gipfel neigten sich, am genauesten gegen zwei Uhr, alle drei Stengel der Sonne zu, wie es unverletzte Pflanzen taten. Die hierbei auftretenden Krümmungen besaßen jedoch einen weit größeren Halbmesser als die an uneingekürzten Pflanzen unter gleichen Verhältnissen zu beobachtenden.

Am nächsten Tage, um 10 Uhr vormittags, wurde die Röhre mit den entgipfelten Pflanzen so gedreht, daß diese mit ihren ein wenig schief geneigten Gipfelstümpfen nach Osten sahen. Sie wanderten mit denselben dem Sonnenstande nach und holten ihn endlich ein. Unter dem geschwärzten Glassturze erfolgen gleichfalls Drehungen der geköpften Pflanzen als Wirkungen der Sonnenstrahlung¹⁾.

VIII. Die zweite Phase der Blührotation.

Die feine Empfindlichkeit der Leinsprosse für strahlende Wärme verliert sich eines Tages. Während einer Spanne von 11 bis 14 Tagen (je nach den Wärmeverhältnissen) erstarkt die Knospe an dem übergeneigten Gipfel immer mehr und zu Ende dieser Zeit bemerkt man, wie sie sich allmählich auflockert, besonders deutlich am letzten dieser 11, beziehentlich 14 Tage. Jetzt stecken kleine, noch durchaus grüne Blütenknospen ihre Köpfchen an ganz kurzen Stielen hervor. Die Gipfelknospe ist nunmehr durch den Auflösungsprozeß in die Breite gegangen. Jene schmalen Blättchen, welche vordem, dicht anliegend, den Schutz des noch unfertigen, gleichsam embryonalen Blütenstandes besorgten, sind erheblich länger und breiter geworden und haben sich einigermaßen nach rückwärts umgeschlagen. Durch die gesteigerte Flächenentwicklung und die geänderte Lage sind sie jetzt weit mehr als vordem zur Assimilation befähigt (siehe Figur 5). Die horizontale Überneigung der Gipfel bleibt noch bestehen bis zum Eintritte der eigentlichen Blütezeit, welcher, je nach der Witterung, 11 bis 20 Tage später erfolgt.

Mit einer Pflanze, welche sich diesem Wendepunkte in der Entwicklung näherte, welcher durch die beginnende Auflösung der Gipfelknospe gekennzeichnet ist, also mit dem Eintritte der Blütezeit keineswegs zusammenfällt, sondern diesem selbst um Wochen vorausgeht, wurde der thermotropische Versuch in der oben (III) geschilderten Weise, also unter Verwendung des eisernen Topfes

¹⁾ Des Abends zeigten die geköpften Pflanzen, noch gerade so wie vor ihrer Entgipfelung, den nyktitropischen Schluß der Blätter unterhalb der Schnittstelle, u. z. noch ebensoweit herabreichend, wie vor der Verletzung.

mit kaltem Wasser, angestellt. Der Gipfel dieser Pflanze drehte sich, aber viel langsamer als derjenige jüngerer Pflanzen, nämlich nur durch 30 Bogengrade in $1\frac{1}{2}$ Stunden. Tags darauf war die Gipfelknospe aufgelöst, grüne Blütenknospen zeigten sich. Als nun der thermotropische Versuch wiederholt wurde, antwortete die Pflanze nicht mehr auf die Strahlung. Es trat nicht die geringste Drehung ein.

Der gleiche Wechsel des Verhaltens ist im Garten an allen in dieser Hinsicht ins Auge gefaßten Leinpflanzen von neuem festgestellt worden. Sowie die Auflösung der Gipfelknospe begann, fielen die abendlichen Drehbewegungen aus, welche bis dahin als Erfolge der Strahlung aus den tagsüber erwärmten Mauern zustande gekommen waren. Dagegen stellten sich die Pflanzen auch noch fernerhin während eben derselben Entwicklungsphase in die Strahlungsrichtung der Sonne. Es war also nur die feinere, nicht



Fig. 5.

Gipfelknospe der Leinpflanze im Stadium der Entfaltung (Beginn der zweiten Phase der Blühnutation). Etwas vergrößert.

die gröbere Empfindlichkeit für Wärmestrahlung verloren gegangen (vorausgesetzt, daß nicht Phototropismus vorlag).

Die Leinpflanze überträgt von dem Augenblicke an, in welchem sie in dieses Entwicklungsstadium getreten ist, den Schutz ihrer noch unfertigen Blüten den eigenen Decken derselben, den Kelchblättern. Dadurch entfällt die Notwendigkeit des Gipfelschlusses seitens der höchststehenden Blätter, die sich nunmehr ganz der Assimilationsarbeit zugewendet haben. Aber auch der nyktitropische Schluß, der an den der Gipfelknospe zunächst stehenden Blättern bis dahin allabendlich eingetreten war, ist, genau zur selben Zeit, mit einem Schlage verloren gegangen.

Verloren gegangen, oder doch sehr geschwächt ist endlich zur selben Zeit, gleichfalls mit einem Schlage, die Befähigung zu autonomen Drehungen. Erhalten bleibt von den in den Abschnitten II bis V erwähnten Veränderungen nur die Überneigung des Gipfels. Es liegt ein weit schrofferer Wechsel in den inneren Eigenschaften der Pflanze vor als in ihrer äußeren Erscheinung.

Diese bleibt bis auf die durch das Wachstum geänderten Dimensionen (von welchen auch diejenigen der Gipfelknospe zu nennen sind) bestehen. Aus diesem Grunde haben wir den ganzen Lebensabschnitt, in welchem der Gipfel der Leinpflanze übergeneigt erscheint, mit dem einheitlichen Namen der „Periode der Blühnutation“ belegt. Allein während dieser Periode, etwa in der Mitte derselben, ändern sich, wie wir sahen, wichtige Eigenschaften der Pflanze. Man wird daher berechtigt sein, diesen Lebensabschnitt, der von der Funktionseinstellung der Samenblätter bis zum Eintritte der Blütezeit, gekennzeichnet durch das erste Blau einer Knospe, reicht, in zwei Teilphasen zu zerlegen. Die erste Phase der Blühnutation beginnt mit dem Eintritte der thermotropischen Befähigung und reicht bis zur beginnenden Auflösung der Gipfelknospe, die zweite von da bis zum Beginne der Blütezeit. Beim Anbruche derselben richtet die Pflanze in kürzester Zeit (z. B. in einer Nacht) ihren Gipfel auf und entfaltet den Blütenstand.

Auch der Mohn hebt die bis dahin abwärts geneigte Blütenknospe unmittelbar vor der Entfaltung derselben lotrecht aufwärts. In der Aufrichtung des Gipfels zu Beginn der Blütezeit liegt wieder eine Analogie zwischen dem Verhalten des Leins und demjenigen der Pflanzen vor, an welchen Vöchting die in seiner oben zitierten Schrift geschilderten Wahrnehmungen gemacht hat.

Bemerkenswert ist der Zusammenhang zwischen den schwindenden Lebenseigenschaften. Erstens verliert sich die feinere thermotropische Empfindlichkeit zugleich mit der Befähigung zum thermonastischen Schlusse (also zum Übergange in die Schlafstellung). Die Pflanze büßt also gleichzeitig in doppelter Hinsicht an thermischer Reizbarkeit ein. Zweitens geht mit diesen beiden Befähigungen auch diejenige zu autonomen Drehbewegungen ganz oder doch zu einem ansehnlichen Teile verloren. Das erinnert an das Verhalten des Kleeseidesprosses, welcher „am Klinostaten nicht nur die zirkumnutierende Bewegung einstellt, sondern auch die Reizbarkeit durch Kontakt verliert“ (W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie II. Band S. 393).

Die Reihenfolge der Entwicklungszustände, welche sich am Hauptstengel zeigt, nämlich a) erste Phase der Blühnutation mit Umbiegung der vorher durchaus gradlinigen Hauptachse, b) zweite Phase der Blühnutation, c) Blüte, d) Reife wiederholt sich, abgesehen von den beiden letztgenannten, selbstverständlichen Abschnitten auch hinsichtlich der beiden Hälften der Phase der Blühnutation an gewissen Seitenachsen der Leinpflanze. Solche entspringen namentlich in der Nähe der Cotylen, zunächst aus den Achselknospen derselben, aber auch an höheren Stellen, insbesondere nach Einkürzung des Stengels.

IX. Winkelgeschwindigkeiten.

Der Anblick, welchen die dem Strahlungsreize oder auch dem inneren Bewegungsantriebe folgende unverletzte Leinpflanze bei Drehung ihres Gipfels darbietet, wurde schon oben mit der

Drehung eines Uhrzeigers auf dem Zifferblatte verglichen. Es lag der Wunsch nahe, die Geschwindigkeiten der ausgeführten Drehungen kennen zu lernen. Die Ermittlung geschah bisweilen durch Schätzung, in anderen Fällen mit dem Transporteur, häufig aber in der Weise, daß ein Kulturgefäß so gestellt wurde, daß eine der darin befindlichen Pflanzen mit ihrem Gipfel gegen eine feste Marke wies. Dann wurde die Zeit ermittelt, welche verlief, bis dieser Gipfel einen Bogen von 90° oder 180° beschrieben hatte.

Die im Folgenden angegebenen Kreisbogen wurden in jenen Fällen, bei denen nichts anderes angegeben ist, in je einer Stunde durchmessen.

Es zeigten sich die allerverschiedensten Verhältnisse. In allen Fällen spielt, wie zu erwarten war, die Lufttemperatur eine maßgebende Rolle.

Die autonomen Drehungen während der ersten Phase der Blührotation erfolgten (im Freien) abends mit Geschwindigkeiten von 30 bis 40° , über Tags mit etwas höheren, einmal, bei besonders günstiger Wärme, sogar mit einer solchen von etwas über 70 Bogengraden. Da in der Nacht und tagsüber bei bewölktem Himmel selten die zu einer intensiven Lebenstätigkeit der Pflanzen hinreichenden Temperaturen herrschen, gehen die autonomen Drehungen, deren Auftreten ja auf die Stunden mit teilweise oder ganz fehlender Sonnenstrahlung beschränkt ist, fast durchweg langsam vor sich.

Die Drehungen infolge des von Mauern ausgehenden Strahlungsreizes wurden im Freien (also des Abends) meist mit Geschwindigkeiten von 30° vollzogen, im Zimmer gewöhnlich mit solchen von etwa 45° . Die Luftwärme im Zimmer betrug dabei 17 bis 18° C. Bei der Schulhauswand, also im Freien, beschrieb an zwei aufeinander folgenden Abenden (14. und 15. August) bei einer mittleren Luftwärme von 19 , beziehungsweise 20° C eine und dieselbe Pflanze mit ihrem Gipfel jedesmal einen Bogen von 270° in $2\frac{3}{4}$ Stunden. Sie antwortete auf die während der abendlichen Abkühlung wechselnden Wärmeunterschiede zwischen Mauer und Luft und bewies hierdurch ihre außerordentliche Empfindlichkeit.

Die abendliche Senkung der Gipfel kam in weniger als einer halben Stunde zustande. Ihr Maß ist aus der Abbildung (4a) ersichtlich.

Weit ausgiebiger waren die Drehungen unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung. Es wurden 108 , 180 , 200 , ja auch 240° (auf die Dauer einer Stunde umgerechnet) zurückgelegt. Bei jenem Versuche, der das letztangeführte Resultat gab, war die Pflanze so gedreht worden, daß die Sonnenstrahlung sie aus der eingeschlagenen Drehungsrichtung zurücklenken mußte. Ähnliche Geschwindigkeiten wie die eben angegebenen wurden an unverletzten Pflanzen auch unter dem geschwärzten Glassturze beobachtet. Die undurchsichtige Glaswand vermochte also nicht die Drehungsgeschwindigkeit wesentlich herabzusetzen.

So große Geschwindigkeiten konnten naturgemäß nur dann auftreten, wenn empfindlich gewordene Leinpflanzen mit ihren Gipfeln vom Verfasser in eine Richtung gedreht worden waren, die sich um

ein Bedeutendes von derjenigen unterschied, in welcher in demselben Augenblicke die Sonnenstrahlen einfielen. Letztere zwangen dann die Gipfel zu beschleunigter Bewegung. Ohne Rückwärts- oder Vorwärtsdrehung wäre ihre Geschwindigkeit nur die der scheinbaren Sonnenbewegung geblieben. Man erinnert sich hierbei des Umstandes, daß eine andere Bewegung, die geotropische, am ausgiebigsten vor sich geht, wenn die Schwerkraft unter einem Winkel von 90° angreift. Ähnliches dürfte wohl auch vom Einflusse der Strahlungsrichtung gelten. Allein auch der andere Gedanke ist nicht abzuweisen, daß sich in der so hochgradig gesteigerten Winkelgeschwindigkeit unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen der Einfluß der so vielmal größeren Reizstärke zeigt. Endlich kommt auch in Betracht, daß die Lufttemperatur gerade zur Zeit intensiver Strahlung der Sonne in der Regel eine hohe ist.

Die infolge von negativem Thermotropismus zurückgelegten Bogen wurden nicht gemessen. Die Pflanzen hatten sich aus ihren untereinander sehr verschiedenen Lagen binnen weniger als zwei Stunden in die neuen ihnen aufgezwungenen Richtungen begeben.

Wie das Entwicklungsstadium der Pflanzen die Drehungsgeschwindigkeit beeinflußt, zeigte sich, als eine ihre Gipfelknospe eben auflockernde Pflanze (die also an der Grenze zwischen der ersten und zweiten Phase der Blührotation stand) dem Strahlungsreize nur zögernd folgte (in $1\frac{1}{2}$ Stunden nur einen Bogen von 30° beschreibend, siehe VIII).

Die Beobachtungen über die thermotropischen Erscheinungen am unverletzten Leinsprosse weisen sämtlich auf die Gipfelknospe, den werdenden Blütenstand, hin. Mit ihrem positiven Thermotropismus, so muß man annehmen, begünstigt die Pflanze diesen, wo sie kann, mit dem negativen schützt sie ihn, wo sie muß. Art und Maß der bewirkten Förderung oder der vermiedenen Schädigung wären freilich erst festzustellen.

Das Verhalten des Leins, wie es oben geschildert wurde, erinnert an animalische Verhältnisse. Zuerst das so außerordentlich feine thermische Empfindungsvermögen, demjenigen des Menschen an Schärfe möglicherweise überlegen. Zum zweiten die Befähigung zu gleichsam freier Wahl der Gangrichtung (nach Bedarf zur Wärmequelle hin oder von derselben hinweg). Und endlich der unruhvolle Bewegungsdrang, welcher, mit der feinen Empfindung zugleich kommend, mit ihr zugleich erlischt. Wie beim Tiere so sind auch bei der Pflanze Empfindung und Bewegung innig verkettet.

Anhang.

Mit dem Namen Thermotropismus hat van Tieghem „die Eigenschaft von Pflanzenteilen, durch ungleiche Erwärmung zu Krümmungen veranlaßt zu werden“, belegt. Er war der Ansicht,

daß die einseitig erwärmten Pflanzenteile nach Maßgabe des Gesetzes vom Minimum, Optimum und Maximum in die Länge wachsen, so daß die einer günstigeren Temperatur ausgesetzte Flanke sich stärker, die gegenüberliegende in schwächerem Maße verlängert und daß infolgedessen der Pflanzenteil sich von der Seite der günstigeren Wachstumswirkung wegwendet. Man versteht derzeit unter Thermotropismus die durch Temperaturdifferenzen ausgelösten tropistischen Reizungen (Krümmungsreaktionen).

Es werden solche Bewegungen sowohl durch den Reiz strahlender wie durch denjenigen geleiteter Wärme hervorgerufen. Es empfiehlt sich, beide Formen der Reizung getrennt zu besprechen.

I. Erfolge strahlender Wärme.

Wortmann¹⁾ untersuchte, durch die Angabe von van Tieghem angeregt, die Sporangienträger von *Phycomyces nitens*, ferner Keimpflanzen von *Lepidium sativum* und *Zea mays* auf ihr Verhalten strahlender Wärme gegenüber. Er fand bei *Phycomyces* und *Lepidium* negativen Thermotropismus (Abwendung von der Wärmequelle), bei *Zea mays* dagegen positiven (Hinwendung zu derselben). Ein einziger mit Keimpflanzen von *Linum usitatissimum* angestellter Versuch ergab für diese Spezies in dem angegebenen Entwicklungsstadium negativen Thermotropismus.

Steyer²⁾ hat auf einen Fehler in Wortmann's Versuchsanstellung hingewiesen, nämlich auf die unzureichende Ausschaltung des Heliotropismus. Er fand bei *Phycomyces* gar keinen, bei *Lepidium* und *Zea* positiven Thermotropismus. Steyer's Einwand wird auch bezüglich der Keimpflanzen von *Linum* erhoben werden dürfen, welche so wie diejenigen von *Lepidium* starke heliotropische Empfindlichkeit besitzen. Daß die Keimpflanzen von *Linum usitatissimum* bei derselben Temperatur negativ thermotropisch reagieren sollen, bei welcher Keimpflanzen von *Lepidium* und *Zea* sich als positiv thermotropisch erwiesen, bei derselben Temperatur, bei welcher die nur um 14 Tage ältere Leinpflanze positiv thermotropisch reagiert, darf als unwahrscheinlich bezeichnet werden. Ganz sicher ist aber die von Wortmann angenommene thermotropische Erscheinung an der Leinpflanze nicht identisch mit den vom Verfasser in den obigen Darlegungen vorgeführten. Schon das Entwicklungsstadium, in welchem die von Wortmann der Wärmestrahlung ausgesetzte Leinpflanze stand, ist ein früheres als das der ersten Blühnutation.

Ein interessantes Objekt hat uns Vöchting³⁾ in der an der Riviera heimischen *Anemone stellata* kennen gelehrt. Diese trägt ihre Blüten an Stielen, welche in der Nacht und auch sonst bei

¹⁾ Wortmann, Über den Einfluß der strahlenden Wärme auf wachsende Pflanzenteile. (Botanische Zeitung 1883).

²⁾ Steyer, Reizkrümmungen bei *Phycomyces nitens*.

³⁾ Vöchting, Über den Einfluß der Wärme auf die Blütenbewegungen der *Anemone stellata*.

kühlem Wetter abwärts geneigt sind. Durch steigende Wärme wird der Stiel veranlaßt, die Blüte zu heben, und diese öffnet sich zugleich. Die Pflanze ist also thermonastisch empfindlich (führt Schlafbewegungen aus). An heiteren Tagen folgt die Blüte dem Stande der Sonne. Auch wenn über die Pflanze ein geschwärzter Rezipient gedeckt ist, führt der Stiel die Blüte dem Sonnenstande nach. Die Pflanze ist also auch thermotropisch empfindlich. Die Empfindlichkeit erlischt mit dem Schlusse der Blütezeit und von da an ist der Stiel lotrecht aufgerichtet. In den Schlafbewegungen, in der Nachwanderung nach der Sonne, in der Reizbarkeit auch durch dunkle Wärme und in der Beschränkung der thermotropischen Empfindlichkeit auf eine engbegrenzte Zeit liegt eine Reihe von Analogien zu dem oben geschilderten Verhalten der Leinpflanze vor. Beide Objekte, der Saatilein wie die *Anemone stellata*, bieten ihre Reaktionen unter den in der freien Natur gegebenen Verhältnissen dar, gestatten also die Beobachtung auch unter einfachen Bedingungen. Beide reagieren auf bescheidene Wärmedifferenzen. Unter den natürlich gegebenen Verhältnissen erweisen sich beide Pflanzen als positiv thermotropisch. Bei beiden steht der Thermotropismus, wie aus der zeitlichen Einengung der Reaktionsfähigkeit hervorgeht, in Beziehung zur Sexualität, tritt aber beim Lein schon vor der Blütezeit ein, bei *Anemone stellata* gleichzeitig mit derselben.

II. Erfolge von Wärmedifferenzen, welche durch Leitung zustande gekommen sind.

Wortmann¹⁾ untersuchte auch mit Erfolg Wurzeln auf ihre thermotropische Reizbarkeit. Er hat sich vergebens bemüht, „bei Wurzeln, welche in Wasser oder feuchter Luft kultiviert und einseitig erwärmt wurden, einen Thermotropismus zu konstatieren.“ Dies gelang ihm erst, als er Keimpflanzen in einem aus Sägemehl hergestellten Boden wachsen ließ und in diesem Temperaturdifferenzen herstellte. Er fand, daß Keimwurzeln von *Zea Mays*, *Ervum Lens* und *Pisum sativum*, wenn sie einseitig auf eine nicht zu hohe Temperatur erwärmt wurden, nach der wärmeren Seite hin wuchsen. Oberhalb einer für die verschiedenen Objekte nicht übereinstimmenden „Grenztemperatur“ kehrte sich das Verhalten der Wurzeln um. Die Grenztemperatur beträgt bei *Ervum Lens* 27.5° C, bei *Pisum sativum* 32—33°.

„Nach den Untersuchungen von Klercker²⁾ scheint es aber auch Wurzeln zu geben, die nur negativ thermotropisch reagieren“ (zitiert nach W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Band S. 580).

In Hinsicht auf Verbreitung und biologische Bedeutung des Thermotropismus dürfte derjenige der Wurzeln an erster Stelle stehen.

¹⁾ Wortmann, Über den Thermotropismus der Wurzeln, Botanische Zeitung 1885.

²⁾ J. A. Klercker, Die calorotropischen Erscheinungen bei einigen Keimwurzeln.

Daß die Ansicht von van Tieghem über das Zustandekommen der thermotropischen Krümmung nicht stichhaltig ist, geht direkt aus den Beobachtungen Wortmann's hervor. Die Wurzeln mußten sich, wenn sie der von van Tieghem aufgestellten Regel folgten, in einer Richtung krümmen, welche der von ihnen tatsächlich eingeschlagenen gerade entgegengesetzt gewesen wäre.

Bei dem durch Strahlung angeregten Thermotropismus, z. B. bei demjenigen der Leinpflanze unter den im Freien gegebenen Verhältnissen, sind die erzielten Wärmeunterschiede der beiden Flanken so geringfügig, daß auch hier die Regel van Tieghem's versagt. Die Heranziehung einer Transpirationsdifferenz zur Erklärung der thermotropischen Bewegung des Leinstengels stößt auf dieselbe Schwierigkeit.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [BH_24_1](#)

Autor(en)/Author(s): Pohl Josef J.

Artikel/Article: [Der Thermotropismus der Leinpflanze. 111-131](#)