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

unterschied als solcher zu einseitiger Wachsthumsförderung führt, so kann dieser auch an einem orthotropen Organ zur Geltung kommen, wenn die Seiten desselben nur in entsprechender Weise beleuchtet sind.

Dass Epi- und Hypotrophie nur an zum Horizont geneigten Sprossen vorkommen können, liegt ja schon in diesen beiden Begriffen. Auch leuchtet ein, dass Geotrophie nur bei geneigter Lage des betreffenden Organs möglich ist. Hingegen schliesst, wie schon oben hervorgehoben wurde, die verticale Stellung eines Organs die exotrophe bezw. endotrophe Ausbildung desselben nicht aus.

Was schliesslich die Ursachen der erblich festgehaltenen Trophieen anlangt, so sind dieselben theils in anatomischen Verhältnissen begründet, welche durch äussere Verhältnisse nicht zu ändern sind (z. B. Einsatz des Seitensprosses in den Hauptspross bei Exotrophie), theils wurden sie durch äussere Einflüsse in der phylogenetischen Entwickelung oder in kürzeren, innerhalb der Individualentwickelung oder über diese hinaus gelegenen Zeiträumen inducirt.

Wien, im December 1895.

---

70. R. Kolkwitz: Beiträge zur Mechanik des Windens.

Mit Tafel XL.

Eingegangen am 26. December 1895.

Einleitung.

Diese Arbeit bezweckt vor allem eine Förderung der Frage, wie bleibende Windungen bei Schlingpflanzen entstehen. Hierbei ist die Hervorhebung des Wortes „bleibend“ von Wichtigkeit, weil nicht genug betont werden kann, dass alle Gestaltungen, welche die revolutive Nutation hervorbringt, etwas Formveränderliches bedeuten und nicht den Charakter des Fertigen und Beständigen an sich tragen.

Eine zweite Hauptfrage ist die nach den Kräften, welche den wachsenden Sprossgipfel um die Stütze herumführen, also die nach dem Zustandekommen der Windungen überhaupt, auch wenn dieselben noch keine bleibenden sind. Diese Frage schliesst sich eng an diejenige an, warum bei ungestörtem Winden einer Schlingpflanze der nutirende Sprossgipfel seine concave Seite immer der Stütze zukehrt.

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

Mit dem Vorstehenden ist der Kernpunkt der ganzen Aufgabe bezeichnet, denn die genannten Fragen verlangen klar und erschöpfend Aufschluss über die bewirkenden Ursachen der Erscheinung.

Eine allgemein anerkannte Erklärung unseres Problems ist, wie jedermann weiss, bisher noch nicht gegeben worden, obwohl die ersten Versuche dazu bis in das Jahr 1827 zurückreichen, und seitdem hervorragende Forscher ihr bestes Können zur Lösung dieser schwierigen Aufgabe eingesetzt haben.

Im Grossen und Ganzen, kann man sagen, stehen sich bis heute zwei vollständig entgegengesetzte Ansichten gegenüber. Nach der einen steckt in jeder Schlingpflanze von vornherein schon das Streben, die so zu sagen angeborene Neigung, bleibende Windungen durch Herumwachsen um die Stütze zu bilden; die andere dagegen lässt diese Schraubenform erst durch die Einwirkung äusserer Kräfte entstehen. Hiernach würde der Spross ohne das Eingreifen dieser Factoren geradegestreckt bleiben.

Die erste Erklärungsweise beantwortet also die beiden oben gestellten Fragen dahin, dass die in ihrem Mechanismus unbekannten Wachsthumsvorgänge die Windungen sowohl zu Stande bringen, als auch bleibend machen. Diese Ansicht wird von SACHS und, wenn man will, auch von BARANETZKI vertreten.

SCHWENDENER dagegen ist der Meinung, dass beides, Zustandekommen und Fixirung der Windungen, durch die sogenannte Greifbewegung bewirkt wird. Ohne dass die Stütze in gewissen Zeitabständen von dem nutirenden Spross ergriffen wird, kann nach ihm kein Winden zu Stande kommen.

Meine in den Monaten April bis October 1895 angestellten Untersuchungen beabsichtigen Förderung in der Lösung des Problems durch das Studium der verschiedenartigen Torsionen, welche beim Winden auftreten. Ich beobachtete dieselben in ihrem allmählichen Werden, während andere Autoren immer nur die fertigen Torsionen untersucht hatten. Dadurch gelang mir eine genaue quantitative Zergliederung der in Betracht kommenden Drehungen, die bis jetzt nur in qualitativer Beziehung näher bekannt waren. Aehnliches gilt für die krümmende Kraft der Greifbewegung, von welcher sich nicht sagen liess, ob sie für das Zustandebringen bleibender Windungen auch wirklich ausreichend sei.

Die grösste Zahl meiner Experimente wurde mit *Calystegia dahurica* ausgeführt, die seit Langem als sehr günstiges Versuchsobject bekannt ist. Die Pflanzen wurden in Töpfen bei genügender Luftfeuchtigkeit, Temperatur (25 bis 30 ° C.) und Belichtung im Zimmer gehalten. Wofern die Namen der Versuchspflanzen nicht besonders genannt sind, beziehen sich die Angaben immer auf *Calystegia*.

Bei der Ausführung meiner Versuche im botanischen Institut der

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

Universität zu Berlin hatte ich mich des bewährten Rathes meines vielverehrten Lehrers, des Herrn Geh. Reg.-Rathes Prof. Dr. SCHWENDENER, in dankenswerthester Weise zu erfreuen.

Verzeichniss der für meine Untersuchungen in Betracht kommenden Litteratur.

I. AMBRONN, H., Ueber heliotropische und geotropische Torsionen. Ber. der Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. II (Berlin 1884), S. 183 bis 190.

II. AMBRONN, H., Zur Mechanik des Windens. Ber. der math.-physik. Klasse der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wiss. 1884. Sep.-Abdr.

BARANETZKI, J., Die kreisförmige Nutation und das Winden der Stengel. Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St. Pétersbourg, VII. série, tome XXXI, No. 8 (1883).

I. SACHS, J., Notiz über Schlingpflanzen. Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg, Bd. II (Leipzig 1882), S. 719 bis 722.

II. SACHS, J., Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. 2. Auflage (Leipzig 1887), S. 702 bis 714.

I. SCHWENDENER, S., Ueber das Winden der Pflanzen. Aus dem Monatsbericht der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom December 1881, S. 1078 bis 1112.

II. SCHWENDENER, S., Zur Kenntniss der Schraubenwindungen schlingender Sprosse. Erwiderung. PRINGSHEIM's Jahrb. für wissensch. Botanik, Bd. 13 (Leipzig 1882), S. 372 bis 376.

VRIES, HUGO DE, Zur Mechanik der Bewegung von Schlingpflanzen. Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg, Bd. I (Leipzig 1874), S. 317 bis 342.

---

1. Kapitel.

Die beim Winden in Betracht kommenden Torsionen.

Die hier folgende Uebersicht über die verschiedenartigen Torsionen windendender Stengel (vergl. die Arbeiten von SCHWENDENER und und AMBRONN) soll ein leichteres Verständniss meiner im nächsten Abschnitt mitgetheilten Versuche ermöglichen, da in derselben alles zusammengefasst ist, was sich bisher als beachtenswerth für diesen Gegenstand erwiesen hat. Ausserdem schien, abgesehen von Gründen der Darstellung, eine solche Zusammenstellung schon deshalb gerathen, weil gerade bezüglich der hier behandelten Punkte in der botanischen Litteratur mancherlei Unklarheiten und Irrthümer zu finden sind.

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

Calystegia dahurica, von der in diesem Kapitel allein die Rede sein soll, ist bekanntlich eine nach botanischer Definition linkswindende Pflanze (vergl. Fig. 1). Dementsprechend erfolgt auch die revolutive Nutation im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers, also von *N* über *W* nach *S* und über *O* zurück nach *N*, denn es kann als sichergestellt gelten, dass Windung und Nutation immer gleich gerichtet sind.

In Fig. 1 ist ein gewundenes Stengelstück von *Calystegia dahurica* abgebildet, bei welchem eine Tuschlinie sich überall auf der convexen Seite befindet. Diese Tuschlinie verlief, als die Pflanze sich noch nicht um die Stütze herumgeschlungen hatte, in genau longitudinaler Richtung parallel zur Stengelachse[1]). In diesem Beispiel ist der Spross also gewunden, ohne gleichzeitig tordirt zu sein[2]), denn sonst könnte die schwarze Linie nicht an allen Stellen auf der convexen Seite verlaufen.

Wollte man die Fig. 1 künstlich nachbilden, so würde man etwa eine dünne Bleiröhre nehmen, auf dieselbe mit Tinte eine Längslinie auftragen und die Röhre dann so um eine Stütze herum legen, dass der Strich immer auf der convexen Seite bleibt. Wählt man dabei eine eckige Stütze (vergl. Fig. 2), so lässt sich leicht erkennen, dass die Krümmungsachsen, z. B. *cd*, zur Längsrichtung *ab* des Sprosses nicht, wie *ef*, senkrecht, sondern schief stehen. Ein Querstellung derselben ist für unser Beispiel, wo die schwarze Linie sich überall auf der convexen Seite befindet, nicht denkbar. Um dies klar einzusehen, stelle man sich ein Modell her, wo Krümmung um genau quere Achsen stattfinden muss, z. B. bei einem in Glieder zerschnittenen Holzstab, dessen einzelne Stücke durch quer bewegliche Gelenke wieder verbunden sind (vergl. Fig. 3). Hier verläuft die schwarze Linie zwar überall auf der convexen Seite, aber das Ganze lässt sich nur in einer Ebene nach Art einer Uhrfeder zusammenrollen. Wir haben somit den Satz gewonnen, dass immer Krümmung um zur Längenausdehnung schiefe Achsen erfolgt, wenn bei einem wendeltreppenförmig gestalteten Organe eine vorher longitudinal verlaufende Linie an allen Stellen auf der convexen Seite bleibt.

Darf man nun sagen, ein Stab mit genau queren Krümmungsachsen lässt sich überhaupt nicht in Form von Windungen um eine Stütze herumlegen? Diese Behauptung wäre unrichtig, denn eine kleine Aenderung an unserem Modell ermöglicht es uns, ihm Wendeltreppenform zu geben. So wie es jetzt ist, sind die Charniere, das Ganze geradegestreckt gedacht, in einer Longitudinalreihe angeordnet, und die schwarze Linie verläuft an der gegenüber liegenden Seite in gleicher Weise. Bleibt der Verlauf der letzteren unverändert, während

---

1) So verlaufen stets die 4 bis 5 Stengelkanten am ganz jugendlichen Sprossende.

2) Solche Fälle kommen wirklich vor, wenn die Stütze ein Faden ist. Vergl. S. 511.

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

man die Gelenke in einer linksläufigen[1]) Schraubenlinie auf dem Stabe anordnet (vergl. Fig. 5), so ist die gewünschte Aenderung erreicht, und das Modell lässt sich in Form von Windungen um die Stütze herumlegen (vergl. Fig. 6). Aber dann kann die schwarze Linie nicht mehr überall auf der convexen Seite verlaufen. Denn die Gelenke liegen zwar auch jetzt überall auf der concaven Seite (vergl. Fig. 6), aber da die schwarze Linie nicht mehr an allen Stellen den Charnieren gegenüber liegt (vergl. Fig. 5), hier und da sogar von ihnen überdeckt wird, muss auch sie an manchen Stellen sich auf der zur Stütze gekehrten Seite befinden, während sie an anderen auf der convexen Seite verläuft; kurz, die Linie geht jetzt um den Stab herum. Also unser Organ hat Wendeltreppenform, und auf ihm verläuft die schwarze Linie ebenfalls in Wendeltreppenform. Da die letztere im Vergleich zur ersteren, wie eine kurze Ueberlegung zeigt, in entgegengesetzter Richtung aufsteigen muss, haben wir eine antidrome (gegenläufige) Torsion des Stengels vor uns. Da diese nur durch Krümmungen (in verschiedenen Ebenen) und nicht durch gegenseitige Verschiebung der successiven Querschnitte zu Stande gekommen ist, heisst sie eine scheinbare[2]). Der Stab (Fig. 6) ist also scheinbar antidrom tordirt.

Scheinbare Drehungen sind nur bei einem Organ möglich, welches Wendeltreppenform besitzt; ein gerades Stengelstück kann niemals scheinbar tordirt sein, hier ist die Drehung, wenn vorhanden, immer ein wirkliche. Dazu kann gleich bemerkt werden, dass bei der scheinbaren antidromen Torsion nicht erst der Stengel Schraubenform annehmen und dann tordirt werden kann; beides geschieht immer gleichzeitig. Bei der später zu besprechenden wirklichen Torsion ist das anders; hier kann, und das geschieht auch immer, die Drehung auftreten, nachdem die Wendeltreppenform schon angenommen ist. Ob unser Modell rechts oder links gewunden ist, bleibt gleich; immer ist die scheinbare Torsion eine antidrome. Scheinbare homodrome Drehungen giebt es nicht (vergl. oben).

Das Ergebniss der bisherigen Erörterungen lässt sich dahin zusammenfassen, dass ein windender Stengel seine Stütze, abgesehen von wirklichen Torsionen, in zweierlei Weise umwinden kann: einmal nämlich bei Krümmung um schiefe Achsen (Fig. 2), wobei keinerlei Torsionen auftreten, und dann bei Krümmung um Querachsen, womit immer scheinbare antidrome Torsion verbunden ist (Fig. 6). Dass es zwischen diesen beiden Extremen allmähliche Uebergänge giebt, mag nur nebenbei erwähnt werden, weil es für die folgenden Betrachtungen ohne Bedeutung ist.

---

1) Linksläufig, weil ich die linkswindende *Calystegia* als Beispiel gewählt habe.

2) Bei einer wirklichen Torsion muss Verschiebung der Querschnitte stattfinden, wie bei der Bewegung eines Mühlsteines gegen den andern.

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

Dagegen ist es wichtig, hervorzuheben, dass der Betrag der scheinbaren Torsionen (und dasselbe gilt von den später zu besprechenden wirklichen antidromen) von der Neigung der Windungen abhängig ist, so zwar, dass er mit der Steilheit derselben zunimmt.

SCHWENDENER (I, S. 1099) hat eine Formel angegeben, nach der sich dieser Betrag, wie er dem jeweiligen Neigungswinkel entspricht, genau ermitteln lässt. Nach dieser Formel habe ich die beigefügte Tabelle berechnet, aus welcher man für alle in Betracht kommenden Neigungswinkel direct den entsprechenden Maximalbetrag der scheinbaren Torsion pro Windung ablesen kann. Für die Berechnung ist eine hundertkantige Stütze angenommen worden, weil man diese, ohne dabei einen nennenswerthen Fehler zu begehen, als rund bezeichnen kann. Die Secunden sind nicht angegeben, auch die Minuten hätten ohne Nachtheil unbedenklich fortgelassen werden können.

Neigungswinkel der Windungen	Scheinbare antidrome Torsion pro Windung	Neigungswinkel der Windungen	Scheinbare antidrome Torsion pro Windung	Neigungswinkel der Windungen	Scheinbare antidrome Torsion pro Windung
0°	0°	43°	245° 34′	62°	317° 53′
5°	31° 23′	44°	250° 7′	63°	320° 47′
10°	62° 32′	45°	254° 36′	64°	323° 35′
15°	93° 12′	46°	259° 0′	65°	326° 18′
20°	123° 10′	47°	263° 20′	66°	328° 53′
25°	152° 11′	48°	267° 34′	67°	331° 24′
30°	180° 3′	49°	271° 44′	68°	333° 48′
31°	185° 27′	50°	275° 48′	69°	336° 7′
32°	190° 49′	51°	279° 48′	70°	338° 18′
33°	196° 7′	52°	283° 43′	71°	340° 24′
34°	201° 21′	53°	287° 32′	72°	342° 24′
35°	206° 32′	54°	291° 17′	73°	344° 17′
36°	211° 39′	55°	294° 55′	74°	346° 3′
37°	216° 42′	56°	298° 29′	75°	347° 44′
38°	221° 41′	57°	301° 57′	80°	354° 32′
39°	226° 36′	58°	305° 19′	85°	358° 37′
40°	231° 27′	59°	308° 37′	89°	359° 57′
41°	236° 13′	60°	311° 48′		
42°	240° 56′	61°	314° 53′		

Ueber die scheinbaren Torsionen ist hiermit das Erforderliche gesagt. Gehen wir jetzt zu den wirklichen Drehungen über, welche beim Winden auftreten, so begegnen wir einer weit grösseren Mannigfaltigkeit, und zwar lassen sich folgende Arten unterscheiden:

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

Nr. 1. Wirkliche elastische antidrome (gegenläufige) Torsionen.
„ 2. „ bleibende „ „ „
„ 3. „ elastische homodrome (gleichsinnige) „
„ 4. „ bleibende „ „ „

Um zunächst von der unter Nr. 1 aufgeführten Drehung sprechen zu können, ist ein kurzer Hinweis auf die „Greifbewegung“ SCHWENDENER's erforderlich, die an Fig. 7 erläutert werden mag. Hier ist ein Stück Kautschukschlauch abgebildet, an dem bei *a* ein gebogener, elastischer Metalldraht unverrückbar so befestigt ist, dass derselbe den Schlauch bei *b* gerade berührt, ohne also dabei einen Druck auf ihn auszuüben. In dieser gegenseitigen Lage der beiden Theile zu einander stellt das Ganze die beginnende Greifbewegung dar. In einem etwas späteren Stadium würde durch sie am oberen Berührungspunkt (*b*) ein Druck auf die Stütze (Schlauch) ausgeübt werden. Unser Modell erlaubt aber nur, denselben dadurch hervorzubringen, dass wir den Schlauch durch Hineinpressen von Wasser erweitern und somit den Draht zurückdrängen. Der Erfolg der nun entstehenden Spannung äussert sich in einem Heranziehen des Drahtes an den Schlauch, dicht oberhalb des Punktes *a*, und in einem Heben (in der Pfeilrichtung) der bei *c* senkrecht zum Draht befestigten Nadel, in Folge der eintretenden Drehung. Diese ist eine wirkliche elastische und zwar antidrome Torsion, gegenläufig deshalb, weil der Fusspunkt der Nadel von der convexen Seite nach der oberen, zum Himmel gekehrten Flanke herumzurücken sucht.

Lässt man nun das Wasser ab, so nimmt der Schlauch seine ursprüngliche Weite wieder an, und die Spannung hört auf. Ganz ebenso verhält es sich mit der wieder nachlassenden Greifwirkung. Mit dem Schwächerwerden der Spannung geht auch, vermöge der Elasticität des Metallbügels, die obige Torsion allmählich wieder zurück, wie aus dem Sinken der Nadel bis zu ihrer alten Lage hervorgeht. Diese im umgekehrten Sinne erfolgende Torsion ist dann die unter Nr. 3 genannte wirkliche elastische homodrome Torsion.

Tritt jetzt an die Stelle unseres Modelles das obere, wachsthumsfähige Ende einer ihre Stütze umwindenden Schlingpflanze, so complicirt sich dadurch, wie leicht begreiflich, die Erscheinung um Einiges. Die Spannung, welche wir vorher künstlich (durch Erweitern der Stütze) in dem Metallbogen hervorbrachten, kommt jetzt durch den Druck in Folge des activ die Stütze umspannenden Sprossgipfels zu Stande. Die geometrischen Erscheinungen wiederholen sich dabei in gleicher Weise wie bei dem Modell. Das oberhalb des festen Punktes *a* gelegene Stengelstück wird zur Stütze herangezogen, und gleichzeitig damit tritt in dem greifenden Bogen die antidrome Torsion auf. Diesmal geht aber die Drehung nicht vollständig wieder zurück, sondern es ist ein Theil durch das etwa eine halbe Stunde währende Greifen bleibend

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

geworden, und wir haben hier eine wirkliche, bleibende antidrome Torsion des Stengels vor uns (Nr. 2). Diese besonders ist es, welche im Mittelpunkt der ganzen Arbeit steht. Ihre Richtung fällt mit der scheinbaren Torsion zusammen, weil beide antidrom sind. Hat man die Entstehung der Torsionen nicht schrittweise verfolgt, so sind beide Drehungen gar nicht von einander zu trennen, weil man es einem fertigen Spross nicht ansehen kann, ob er scheinbar oder wirklich tordirt ist.

Es bleibt jetzt nur noch die unter Nr. 4 genannte wirkliche bleibende homodrome Torsion, deren Verständniss nicht die geringsten Schwierigkeiten bietet. Dieselbe tritt bekanntlich immer an solchen Sprossgipfeln auf, welche keine Stütze gefunden haben oder über dieselbe hinausragen (Fig. 11). Solche, oft lang überhängenden Enden machen dann mit Ausnahme der jüngsten Internodien, welche immer vollkommen ungedreht sind, ganz den Eindruck einer stark homodrom tordirten Schnur und bleiben dauernd so gedreht. Hat man eine links windende Pflanze mit einem solchen Sprossende vor sich und hält, beiläufig bemerkt, eine Schnur oder ein Tau des Handels daneben, so sind beide im Vergleich zum Sprossende immer entgegengesetzt tordirt. Spricht man beim Winden von homodromen Torsionen, so ist es nicht nöthig gleichzeitig hinzuzufügen, dass diese wirklich sind, denn, wie schon S. 499 erwähnt wurde, giebt es scheinbare homodrome überhaupt nicht. Die gleichsinnigen Torsionen, welche beim Winden auftreten, gehen, sobald sie einmal entstanden sind, nicht wieder zurück, sondern werden sogleich durch Wachsthum fixirt. Sie verdanken inneren unbekannten Ursachen, nicht der Schwerkraft ihre Entstehung. Die wirklichen antidromen Drehungen dagegen haben äussere mechanische Kräfte als Ursache. Sie sind anfangs elastisch und werden erst später durch Wachsthum bleibend.

Wegen des Vorkommens bleibender homodromer Torsionen bei um Fäden schlingenden Windepflanzen verweise ich auf S. 511 des folgenden Kapitels. Dort wird auch noch von einigen Betrachtungen die Rede sein, die recht gut auch in dieses Kapitel passen würden, sich aber doch besser im Zusammenhang mit anderen Dingen an einer späteren Stelle einfügen lassen.

---

2. Kapitel.

Zur Kenntniss der durch die „Greifbewegung“ bewirkten Torsionen.

Im Freien, besonders an Teichufern, hat man oft Gelegenheit, unsere bekannte weissblühende Zaunwinde (*Convolvulus sepium* oder *Calystegia sepium*) die mannigfaltigsten Stützen umwinden zu sehen, wie

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

Rohrhalme, Binsen, niedrige Gräser, Gebüschzweige, Baumäste und dergleichen mehr. Sind die Windungen einigermassen regelmässig, so wird man sich durch den Verlauf der Längskanten leicht überzeugen können, dass die windenden Stengel antidrom tordirt sind und zwar um so stärker, je dicker die umwundene Stütze ist. Beträgt deren Durchmesser 2—3 *cm* und ihre Höhe ca. 3 *m*, so ist die sie umschlingende Pflanze im Ganzen um etwa 30 000° antidrom tordirt. Von diesen entfallen mindestens 18 000° auf wirkliche Torsion (vergl. S. 508). Untersucht man dagegen solche Exemplare, welche, ohne eigentlich zu winden, unregelmässig und in wirrem Durcheinander das Buschwerk durchdringen oder über dasselbe emporragen, so wird man vielfach starke homodrome Torsionen[1]) bemerken, weil diese immer dann auftreten, wenn das nutirende Sprossende keine Stütze findet.

Im Allgemeinen (vergl. S. 511) kann man sagen, dass jede Schlingpflanze, welche eine Stütze umwindet, immer tordirt ist und zwar meist antidrom (vergl. S. 511).

Die geometrischen Verhältnisse, welche wir im ersten Kapitel an leblosen Modellen beobachteten, treten uns also hier bei einer flüchtigen Umschau in der lebendigen Natur in ganz ähnlicher Erscheinung wieder entgegen.

Die Bewegungsvorgänge am nutirenden Sprossende kann man im Freien wegen zahlreicher störender Einflüsse nicht studiren. Man muss dieselben im Zimmer unter günstigen Bedingungen beobachten und sich an der Hand von Bleimodellen, durch welche man von Zeit zu Zeit den Sprossgipfel nachbildet, erst in das Problem hineinzuleben suchen. Hier sei einstweilen nur soviel gesagt, dass fast immer, auch wenn die Stütze einmal nicht ergriffen wird, die concave Seite des freien Endes dieser zugekehrt ist, und dass die äusserste Spitze im Verlauf von etwa zwei Stunden[2]) in annähernd verticaler Ebene eine kreisförmige Curve beschreibt, während dabei der zum Horizont schräg gestellte Krümmungsbogen, in der Horizontalprojection gesehen, sich während dieser Zeit abflacht, dann verstärkt und zum Beginn der dritten Stunde wieder abflacht. Von einer solchen revolutiven Nutationsbewegung, wie sie bei aufrecht stehenden Sprossen stattfindet, ist hier im Allgemeinen nichts zu sehen, weil sie in der geneigten Lage durch die Einwirkung des Geotropismus verändert ist (vergl. AMBRONN II, S. 69, § 3).

Hiermit seien die vorbereitenden Bemerkungen zu den nun folgenden Experimenten beendet. Dass diese mit nicht unerheblicher Schwierigkeit und Mühe verbunden sind, wird sich wegen der Complicirtheit des Problems leicht verstehen lassen.

---

1) Man muss zwischen gewunden und tordirt gut unterscheiden. Ein gewundenes Stengelstück hat immer Wendeltreppenform. Dabei kann es tordirt, und zwar scheinbar oder wirklich, oder untordirt sein.

2) Das ist die Zeit für eine revolutive Nutation.

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

Wenn ich nun auf Fig. 8 hinweise, so wird sich der Leser sofort der auf S. 501 kurz besprochenen „Greifbewegung“ SCHWENDENER's erinnern. Dieselbe ist an regelmässig windenden Exemplaren von *Calystegia* verhältnissmässig leicht zu beobachten. In dem Augenblick, wo der durch die Nutation mit der Stütze in Berührung gekommene obere Contactpunkt *b* einen Druck auf dieselbe auszuüben beginnt, tritt in dem greifenden Bogen eine wirkliche antidrome Torsion auf (vergl. S. 501). Um dieselbe beobachten und messen zu können, steckte ich etwa an der Stelle *c* eine ca. 25 *mm* lange, haarfeine Glasnadel[1]) genau senkrecht zur Längsachse des Sprosses und annähernd horizontal in diesen hinein. Dann stellte ich auf die Nadel das Fernrohr eines zum Winkelmesser umgewandelten Kathetometers ein, wie es in Fig. 8 dargestellt ist. Um einzig und allein die Vorgänge am nutirenden Sprossende, unabhängig von den Bewegungen in den weiter rückwärts gelegenen älteren Stengeltheilen, beobachten zu können, befestigte ich dasselbe, wie es schon SCHWENDENER und AMBRONN thaten, mittels eines Heftpflasters so, dass das freie Ende bequem greifen konnte. Später überzeugte ich mich, dass die zu schildernden Bewegungserscheinungen sich fast ebenso richtig beobachten lassen, wenn man das Heftpflaster ganz fortlässt.

Sobald der Spross im Punkte *b* auf die Stütze zu drücken beginnt, ist nun thatsächlich ein Heben der Nadel, also eine antidrome Torsion, zu beobachten (vergl. S. 501), und zwar tritt diese Erscheinung bei wiederholtem Greifen jedesmal auf.

Um die mit Hülfe der Nadel messbare, wirkliche antidrome Drehung ihrem wahren Betrage nach ermitteln zu können, müssen die Bewegungsebene der Nadel und die Ebene des Fadenkreuzes im Fernrohr genau parallel sein. Dazu ist nöthig, dass das letztere die gleiche Neigung der Windungen hat, so dass die Verlängerung seiner Achse Tangente an den zu beobachtenden Bogen wird. Jetzt hat man nur noch dafür zu sorgen, dass der Schnittpunkt des Fadenkreuzes mit der Basis (Befestigungsstelle) der Nadel zusammenfällt und sich die Nadel mit einem Arm des Kreuzes deckt. Man vergleiche hierzu die Fig. 9 nebst Erklärung. Fängt die Nadel jetzt an, sich zu heben, im Fernrohr also, weil dieses umkehrt, zu sinken (Fig. 9 *ce*), so braucht man den Tubus nur soweit nachzudrehen, bis die Glasnadel und der betreffende Arm des Fadenkreuzes sich wieder decken. Ist am Fernrohr ein Zeiger befestigt, der dem Drehen natürlich folgen muss, so kann man den wahren Betrag der Torsion auf der festen, unbeweglichen Skala, an welcher sich der Zeiger vorbei bewegt, direct ablesen.

---

1) Das Hineinstecken der Glasnadel in den Spross schadet diesem nichts, obwohl derselbe gegen äussere Eingriffe manchmal sehr empfindlich erscheint. Ebenso merkwürdig ist es, dass man von einem revolutiv nutirenden Sprossende die Spitze abschneiden kann, ohne dass dadurch die Bewegung aufhört.

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

Auf diese Weise liess sich ermitteln, dass die durch einmaliges Greifen verursachte wirkliche antidrome Torsion in dem kurzen Stengelstück ($a—c$) 8 bis 12° betrug, wenn nur die äusserste Spitze des Sprosses den oberen Contactpunkt bildete, dagegen einen Werth von etwa 20° erreichte, wenn ein weiter rückwärts liegender Punkt des Stengels griff, weil hier das Gewebe schon kräftiger geworden ist. Es ist wirklich merkwürdig, dass die Beträge dieser Torsionen eine so nennenswerthe Grösse erreichen, da doch der auf die Stütze ausgeübte Druck als nur gering zu bezeichnen ist (vergl. SCHWENDENER I, S. 1083).

Es vergeht eine Zeit von 20 bis 60 Minuten, bis die Torsion zu den genannten Werthen anwächst. Dann lässt, wie SCHWENDENER das l.c. S. 1084 geschildert hat, der Druck in Folge der die Stengelkrümmung ändernden Nutation (vergl. S. 503) wieder nach, und mit ihm geht auch die antidrome Torsion zum Theil wieder zurück; von den 8—12° sind 3—7° inzwischen bleibend geworden, von den 20° deren 8 bis 11°.

Man wird sogleich fragen, ob es wirklich Wachsthum allein ist, das diese Drehungen zum Theil fixirt hat. Diese Frage liess sich sehr einfach dadurch prüfen, dass ich ein junges Sprossende einige Secunden lang um etwa 10° mit den Fingern mechanisch tordirte[1]). Als hierbei die Nadel selbst nach längerer Zeit nicht um denselben Betrag zurück ging, sondern ca. 2° Drehung blieben, so war sicher, dass ausser Wachsthum auch noch eine zweite Ursache hier die Drehungen fixirt. Ich kann mir die Erscheinung nicht anders erklären, als dass das Collenchym der Rinde dabei über die Elasticitätsgrenze gedehnt wurde. Ganz anders verhält es sich in diesen Dingen mit alten ausgewachsenen Internodien. Ich tordirte ein solches eine halbe Stunde lang um 60° und schnitt dann den Spross dicht oberhalb der Anheftungsstelle der Nadel ab. Sofort schnellten 48° zurück, nach Verlauf von 50 Minuten waren 57° zurückgegangen, und endlich nach weiteren 4 Stunden waren die vollen 60° wieder ausgeglichen. (Nach 16 Stunden stand die Glasnadel noch in derselben Lage.) Also hier hat kein Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze stattgefunden (vergl. S. 507).

Es mag hier gleich noch erwähnt werden, dass man die von der Greifbewegung verursachte Torsion auch künstlich hervorbringen kann, indem man ein junges Sprossende unter Beibehalten seiner natürlichen Lage um 10—20° tordirt und so mittels einer Klemme etwa eine halbe Stunde lang einspannt. Man wird sich nach dem Losschneiden jedesmal leicht überzeugen können, dass ungefähr die Hälfte der Torsion bleibend geworden ist (von 12° blieben z. B. 6,5°).

---

1) Bei solchen Angaben ist immer gemeint, dass ein Stück wie ($a—c$) in Fig. 7 dabei tordirt wird, also die Stelle zwischen dem Befestigungspunkt und der Basis der Nadel. Natürlich wurde der Stengel in a immer gründlichst befestigt.

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

Wie bereits S. 502 erwähnt wurde, ist ein scheinbar tordirtes Stengelstück einer gewundenen Pflanze von einem wirklich tordirten gar nicht zu unterscheiden. Dennoch ist es sicher, dass die von mir gemessenen Grade immer wirkliche Torsion ausdrücken; die scheinbare Drehung lässt sich stets eliminiren. Diese kann nämlich am Sprossgipfel nur während der Zeit auftreten, wo derselbe nicht greift, denn in dem Augenblick, wo der obere Berührungspunkt *b* entsteht, haben wir den Beginn der Vorgänge, die am Modell Fig. 7 geschildert wurden. Vom Moment des Contactes an haben wir es nur mit wirklichen Torsionen zu thun. Diesen Zeitpunkt muss man also abpassen, und sogleich das Fadenkreuz des Fernrohres auf die Nadel einstellen. Man beobachtet nun die Bewegungen der Glasnadel so lange, bis in Folge der Nutation der Spross im Punkte *b* mit der Stütze ausser Contact tritt; sogleich wird der Versuch unterbrochen, und eine neue Beobachtung erst dann begonnen, wenn das Greifen von Neuem seinen Anfang nimmt. Die Nadel registrirt also vor den Augen des Beobachters genau die Wirkung der Greifbewegung; sie steht während der Zeit des Contactes niemals still.

Es ist klar, dass nur diejenigen Versuche Werth haben, bei denen sich der Process ungestört abspielte. Als hinderndes Moment tritt oft das Dazwischenkommen der Blätter auf.

Aus den auf den vorhergehenden Seiten mitgetheilten Versuchen erhellt, dass die Greifbewegung SCHWENDENER's mit allen ihren Consequenzen vorhanden ist und auf keinen Fall beim Problem des Windens ausser Acht gelassen werden kann. Denn, wie SCHWENDENER S. 1084 auseinander gesetzt hat, zerfällt die durch das Ergreifen der Stütze entstehende Spannung in zwei Componenten, eine krümmende, die sicher festzustellen, und eine drehende, welche jetzt zahlenmässig belegt ist. Wenn nun die drehende Componente bei jedesmaligem Greifen eine bleibende Drehung (3° bis 11°) bewirkt, so folgt mit unbedingter Nothwendigkeit, dass dann auch die krümmende zu bleibenden Krümmungen führt. Und hiermit ist gezeigt, wie bleibende Windungen entstehen. Also soviel ist sicher, dass die Greifbewegung aus Nutationskrümmungen bleibende Krümmungen herzustellen vermag.

Nun führt SCHWENDENER (S. 1089) noch weiter aus, dass in Folge des Geotropismus ein Aufrichten der anfänglich lockeren und ein Festdrücken der der Stütze bereits anliegenden Windungen eintritt. Dadurch entsteht naturgemäss auch ein Greifen (keine eigentliche Greifbewegung) in den älteren, aber noch wachsthumsfähigen Stengelregionen, weil ein Aufrichten oder Andrücken der Windungen gleichbedeutend ist mit einem Engerwerden derselben. Somit muss wieder eine wirkliche antidrome Torsion entstehen, die aber im Gegensatz zu den früheren nicht von Zeit zu Zeit ein Rückdrehen erfährt, sondern immer zunimmt, weil das Greifen continuirlich anhält.

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

Steckt man in eine junge, bereits vollständig fertig erscheinende Windung eine feine Glasnadel so hinein, dass dieselbe etwa senkrecht von der Stütze absteht, so wird man schon nach Ablauf von 12 bis 24 Stunden beobachten können, dass sich die Nadel bis zur Berührung mit der Stütze gehoben hat (vergl. Fig. 11). Gewöhnlich wird dieselbe sogar bei dem Bestreben des Stengels, sich noch weiter zu tordiren, gebogen und dann abgebrochen.

Ein Heben der Nadel in Folge antidromer Torsion findet sowohl bei rechts- als bei linkswindenden Pflanzen statt, denn immer verläuft eine Längskante derartig tordirter Stengel so, dass sie sich von der convexen Seite über die himmelwärts gelegene Flanke zur concaven hinzieht.

Die erwähnte Aufwärtsbewegung der Nadel stellte ich zunächst bei *Calystegia dahurica* fest. Ich schob den oberen Theil einer Pflanze über die Stütze hinaus, damit sich etwa vorhandene elastische Torsionen ausgleichen könnten. Nach Ablauf einer Stunde zog ich ihn wieder über die Stütze, fixirte einen Punkt einer überall anliegenden jungen Windung und steckte im Abstand (*ac*) Fig. 7 eine Nadel hinein. Nach 30 Stunden hatte sich die Nadel um 90° gehoben. Als ich dicht oberhalb ihrer Befestigungsstelle durchschnitt, schnellten sofort 10° der Torsion zurück, nach einer halben Stunde noch 5° und nach weiteren 2 Stunden noch 2°. Also entfielen auf eine Strecke von 3—5 *mm* 73° bleibende Torsion. Bei einem zweiten Beispiel waren von 104° in 14 Stunden 89° bleibend geworden, bei einem anderen von 100° in 48 Stunden 94°. Nach derselben Methode stellte ich fest, dass selbst in den ältesten, längst ausgewachsenen Internodien bei 1,2 *cm* Stützendicke stets noch eine elastische antidrome Torsion von 3° pro 3—5 *mm* Stengellänge vorhanden ist. Es stimmt dies mit der Thatsache, dass die Windungen der Schlingpflanzen beim Abziehen von der Stütze enger werden, wie dies bei homodromen Torsionen (zurückgehenden antidromen vergl. S. 501) eintreten muss (vergl. S. 512 und Fig. 4 nebst Erklärung). Es wird also nicht die ganze vorhandene antidrome Torsion durch Wachsthum bleibend gemacht.

Das beschriebene Heben der Nadel um mindestens 90° habe ich ausserdem noch an folgenden Pflanzen beobachtet: *Convolvulaceae: Convolvulus sepium, triflorus, Pharbitis hispida, Quamoclit coccinea, Mina (Ipomoea) lobata; Periploca graeca (Asclepiadaceae), Parsonia heterophylla (Apocynaceae), Lonicera Caprifolium; Lardizabalaceae: Akebia quinata, Hollboellia latifolia; Menispermum canadense, dahuricum; Schizandra chinensis (Magnoliaceae), Actinidia polygama (Ternstroemiaceae); Papilionaceae: Apios tuberosa, Phaseolus multiflorus, Wistaria (Glycine) polystachya; Polygonaceae: Muehlenbeckia rotundifolia, adpressa, Polygonum ribesioides* (winden alle rechts); *Boussingaultia baselloides (Basellaceae), Humulus Lupulus, japonicus* (rechtswindend).

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

Liliaceae: Bowiea volubilis, Geitonoplesium angustifolium; Dioscorea Batatas (linkswindend), *villosa* (rechtswindend). Unter den hier aufgezählten Pflanzen finden sich Vertreter aus allen Erdtheilen.

Das Vorhandensein sehr ausgiebiger wirklicher antidromer Torsionen unterliegt nach diesen Mittheilungen keinem Zweifel. So lange die Windungen einer Schlingpflanze überhaupt wachsthumsfähig sind, vollführen sie unausgesetzt wirkliche Torsionen (vergl. S. 510), und zwar müssen dieselben in jüngeren Windungen ergiebiger sein, als in älteren, weil sie ausser ihren eigenen Torsionen noch diejenigen der tiefer liegenden mitmachen müssen, soweit dies unter den obwaltenden Verhältnissen möglich ist. Bei einem sehr kräftigen, um eine stark daumesdicke Stütze windenden Exemplar von *Pharbitis hispida* = *Ipomoea purpurea* machte ich einen Tuschpunkt an eine jüngere, einen anderen an eine ältere Windung, ohne dieselben durch Heftpflaster zu befestigen. Nach 48 Stunden war der obere Punkt um 450°, der untere um 360° antidrom herumgerückt.

Will man an einer bereits völlig ausgewachsenen Schlingpflanze den Betrag an wirklicher antidromer Torsion bestimmen, so muss man berücksichtigen, dass ein Theil der nach dem Verlauf einer Stengelkante zu beobachtenden Torsion nur scheinbar ist (vergl. S. 502) und in Abzug gebracht werden muss. Wie gross dieser Betrag ist, lässt sich niemals angeben, weil wir nicht genau wissen, ob beim Winden die Krümmungen mehr um schiefe als um quere Achsen stattfinden (vergl. S. 498 bis S. 500). Alles das ist indessen vollkommen gleichgültig, denn selbst wenn wir von der beobachteten Torsion den Maximalbetrag der scheinbaren, wie er in der Tabelle S. 500 berechnet ist, abziehen, bleibt immer noch ein reichlicher Ueberschuss, der dann das Minimum der wirklichen Torsion bedeutet.

Ehe ich zur Besprechung einiger Beispiele übergehe, möchte ich auf eine Vorsichtsmassregel hinweisen, die beim Bestimmen der Torsionen beobachtet werden muss. Um den Verlauf einer bestimmten Stengelkante durch Tusche markiren zu können, muss man die Pflanze natürlich von der Stütze abwickeln. Dabei werden die antidromen Torsionen aber geringer (vergl. S. 507). Will man deren Betrag richtig ermitteln, so muss man die Pflanze erst wieder um die Stütze herumwickeln.

Das Nähere mögen die einzelnen Beispiele lehren.

1. *Calystegia dahurica.*

Dicke der hölzernen Stütze 2,6 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 45° [1]).

---

1) Die Neigungswinkel wurden unter Zugrundelegung des Satzes berechnet, dass Schraubenwindungen auf der abgerollten Cylinderfläche als Hypotenuse eines rechtwinkeligen Dreieckes zu betrachten sind.

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

Beobachtete antidrome Torsion für 6 Windungen	4320°
„ „ „ „ 1 Windung	720°
Maximum der scheinbaren[1]) antidromen Torsion pro Windung .	254° 36′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	465° 24′

2. *Calystegia dahurica.*

Dicke der hölzernen Stütze 2,7 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 42°.

Beobachtete antidrome Torsion für 8 Windungen	5400°
„ „ „ „ 1 Windung	675°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung. .	240° 56′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	434° 4′

3. *Calystegia dahurica.*

Dicke der gläsernen Stütze 1,1 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 52°.

Beobachtete antidrome Torsion für 14 Windungen	5810°
„ „ „ „ 1 Windung	415°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung. .	283° 43′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	131° 17′

4. *Calystegia dahurica.*

Dicke der hölzernen Stütze 1,2 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 45°.

Beobachtete antidrome Torsion für 7 Windungen	2880°
„ „ „ „ 1 Windung	411° 26′
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung . .	254° 36′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	156° 50′

5. *Calystegia dahurica.*

Dicke der hölzernen Stütze 1,2 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 54°.

Beobachtete antidrome Torsion für 8 Windungen	3600°
„ „ „ „ 1 Windung	450°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung . .	291° 17′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	158° 43′

6. *Calystegia dahurica.*

Dicke der gläsernen Stütze 0,9 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 47°.

Beobachtete antidrome Torsion für 4 Windungen	1080°
„ „ „ „ 1 Windung	270°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung . .	263° 20′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	6° 40′

1) Vergl. die Tabelle S. 500.

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

7. *Polygonum Convolvulus.*

Dicke der hölzernen Stütze 0,2 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 69°.

Beobachtete antidrome Torsion für 6 Windungen	2520°
„ „ „ „ 1 Windung	420°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung . .	336° 7′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	83° 53′

8. *Convolvulus sepium.*

Dicke der hölzernen Stütze 0,15 *cm*.
Neigungswinkel der Windungen 53°.

Beobachtete antidrome Torsion für 5 Windungen	1440°
„ „ „ „ 1 Windung	288°
Maximum der scheinbaren antidromen Torsion pro Windung . .	287° 32′
Minimum der wirklichen antidromen Torsion pro Windung . .	0° 28′

Diese Beispiele, welche noch um viele hätten vermehrt werden können, zeigen zugleich, dass mit der Dicke der Stütze auch die antidromen Torsionen zunehmen (vergl. SCHWENDENER I, S. 1096, § 7). Ueber die geringen wirklichen Drehungen bei *Convolvulus sepium* soll noch später (S. 511) Näheres gesagt werden.

Was bisher bei der Beschreibung der wirklichen antidromen Torsionen am greifenden Sprossende fast einzig in den Vordergrund der Erörterung trat, war die Drehung in dem Stück *a*—*c* (vergl. Fig. 7 und 8). Aber die Torsion ist nicht auf diese kleine Stelle beschränkt. Wie theoretische Betrachtungen und entsprechende Versuche lehren, muss dem so sein. Denn sobald die beiden Contactpunkte *a* und *b* entstanden sind, muss ebenso gut wie über *a* eine antidrome Torsion auch dicht unterhalb *b* entstehen; denkt man sich nämlich die Pflanze umgekehrt, mit dem Topf gegen den Himmel gewendet[1]), so wird der Contactpunkt *b*, welcher vorher oberer war, zum unteren, und se gelten dann in Bezug auf Torsion dieselben Betrachtungeu wie vorher bei der aufrechten, gewöhnlichen Stellung der Pflanze. Es tritt also auch an dem unterhalb des Punktes *b* der Fig. 8 befindlichen Stengeltheil und überhaupt in dem ganzen greifenden Bogen eine antidrome Torsion auf. Dies hat natürlich zur Folge, dass während des Greifens die Gipfelknospe passiv der Drehung folgen muss. Während eines einmaligen Greifens haben wir also unten einen bestimmten Contactpunkt *a*, oben bei *b* dagegen kommen eben wegen der Torsion nach und nach andere Punkte der Peripherie mit der Stütze in Berührung, und zwar so, dass ein bei *b* himmelwärts gelegener Punkt der oberen Stengelflanke gewissermassen unter Rollen des Sprosses

1) Auch in dieser veränderten Stellung ist die Pflanze linkswindend, ebenso wie bei gewöhnlicher Stellung. Man kehre zur Probe die Figur einmal um.

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

auf der Stütze (mit Reibung) mehr auf die concave Seite rückt. Der obere Contactpunkt ist also kein fester.

Dass wirklich die Gipfelknospe die Torsion der weiter rückwärts liegenden Stengeltheile mitmachen muss, zeigt die Bewegung einer Glasnadel, welche man durch die Knospe steckt (siehe Fig. 8 bei *f*). Da die Spitze wegen der Nutation ihre Neigung zum Horizont ändert, konnte ich mit dem Kathetometer nicht operiren. Ich klemmte deshalb eine mit Gradtheilung versehene Glasplatte in ein Stativ mit Kugelgelenk und sorgte durch eine auf der Scheibe befestigte Wasserlibelle dafür, dass ein bestimmter Durchmesser der Glasplatte immer dieselbe (horizontale) Lage hatte. Die Ebene der Platte musste dabei immer senkrecht zum nutirenden Ende stehen. Mit Hülfe dieser Vorrichtung liessen sich die obigen Auseinanderlegungen bestätigen. Zunehmender Druck des greifenden Bogens bewirkte antidrome Torsion der Endknospe, abnehmender Druck führte ein Zurückdrehen herbei. Im Laufe eines Vormittags wurde die Nadel einmal herumgedreht (360°).

Wir kommen jetzt zum Winden um Fäden und Glascapillaren[1]). Wer die hierauf bezügliche Litteratur näher kennt, wird wissen, dass gerade über diesen Punkt lebhafte Erörterungen stattgefunden haben. Schon für die blosse Feststellung der Thatsachen stimmen die Resultate nicht überein.

Nach meinen Beobachtungen ist nun ganz sicher, dass in diesem Falle auch homodrome Torsionen eine Rolle spielen. Betrachtet man das nutirende Sprossende einer *Calystegia*, welche einen Zwirnsfaden umschlingt, so wird man wie bisher bei jedesmaligem Greifen zunächst eine wirkliche antidrome Torsion mittelst einer Glasnadel feststellen können. Befestigt man aber, wie das in früheren Versuchen (S. 507) schon beschrieben wurde, die Glasnadel in einer jungen, scheinbar schon ausgewachsenen Windung, so beobachtet man nicht, wie früher, eine antidrome, sondern stets eine homodrome Torsion, welche der durch das Greifen bereits entstandenen antidromen Drehung entgegenwirkt. Die hier auftretende homodrome Drehung ist dieselbe, welche bei überhängenden Sprossenden zu beobachten ist und bereits S. 502 ausführlich erwähnt wurde. Mechanisch ist ihr Entstehen nicht zu erklären.

Der Wirkung der homodromen Torsionen ist es zuzuschreiben, dass ältere Stengel von um Fäden windenden Schlingpflanzen entweder untordirt oder ganz schwach, d. h. pro Windung bis zu ca. 100° antidrom tordirt erscheinen. In Wirklichkeit sind solche Stengel stark homodrom tordirt, was nur wegen der scheinbaren antidromen Drehungen nicht zum Ausdruck kommt. Beträgt z. B. bei einer Neigung der (beim Umschlingen von Fäden sehr steilen) Windungen von 80° die homodrome Torsion 255° pro Windung, so erscheint der Stengel

1) Solche Glascapillaren von $^1/_3$ bis 1 *mm* Durchmesser sind sehr haltbar. Man darf nicht glauben, dass sie etwa durch die Schlingpflanzen zerbrochen würden.

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

doch um 100° antidrom tordirt, weil in diesem Falle das Maximum der scheinbaren Torsion einen Werth von 355° erreicht (vergleiche die Tabelle S. 500).

Bei einer Stützendicke von etwa 2 *mm* ist eine Schlingpflanze überhaupt nicht wirklich tordirt. Die antidrome Drehung, welche man in diesem Falle beobachtet, ist nur eine scheinbare. Hier wird also die durch das Greifen entstehende wirkliche antidrome Torsion durch die später auftretende homodrome gerade aufgehoben.

Wie bereits hervorgehoben, sind beim Umschlingen von Fäden die Windungen sehr steil aufgerichtet. Beginnen nun in der Region *w* (Fig. 1), wo der Stengel der Stütze überall dicht anliegt, die homodromen Torsionen, so muss diese Windung mit den darüber liegenden um den Faden rechts herum rotiren und nach einer bestimmten Zeit den Punkt *a* der Stütze bedecken; dann wird der Punkt *b* dem Beschauer zugekehrt sein. Dieser Vorgang ist in der That zu beobachten, wenn die Stütze eine feine Glascapillare ist. Tritt an deren Stelle aber ein Zwirnsfaden, so wird dieser mittordirt, so dass der schwarze Punkt *a* nach rechts herum rückt. Es rührt das daher, weil die Reibung gegen den Faden nicht überwunden werden kann, dann weil der Faden, im Gegensatz zur Glascapillare, eine Drehung leicht zulässt, und weil er endlich etwas in die Schlingpflanze einschneidet.

An diese Beobachtungen möchte ich einige Erörterungen anschliessen, deren Richtigkeit sich aber aus später zu nennenden Gründen bis jetzt nicht beweisen lässt. Wie schon wiederholt erwähnt, treten bei Sprossen, welche keine Stützen finden, homodrome Torsionen aus bisher unbekannten Gründen auf. Bei um Fäden windenden Pflanzen sind dieselben Drehungen auch noch sicher festzustellen, offenbar deshalb, weil Fäden kaum noch als Stützen zu betrachten sind. Ich frage nun: Sollten die homodromen Drehungen der Sprosse sich nicht auch beim Umwinden 1 bis 3 *cm* starker Stäbe einstellen, nur erkennen wir sie nicht mehr? Diese Frage scheint mir auch deshalb erlaubt, weil bereits fertig erscheinende junge Windungen, die bei solcher Stützenstärke immer wirklich antidrom tordirt sind, durch Wachsthum sich homodrom zu tordiren anfangen, wenn man sie über die Stütze hinausschiebt, d. h. also doch wohl, von dem diese Torsion hemmenden Hinderniss frei macht. Angenommen also, das Bestreben zu diesen Drehungen bliebe auch bei dicken Stützen, worin würde sich dasselbe äussern, da es als homodrome Torsion sicherlich nicht hervortritt?

Zunächst sei darauf hingewiesen, dass ein schraubenförmiges Organ, wenn es homodrom tordirt wird, seine Windungen verengt; denn tordirt man eine wendeltreppenförmig gestaltete Bleiröhre in dieser Weise mit einer Zange, so werden die Windungen deutlich enger[1])

1) Vergl. AMBRONN II, S. 11.

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

(vergl. Fig. 4 nebst Figurenerklärung). Bei antidromer Torsion wird umgekehrt der Windungsdurchmesser weiter.

Die homodromen Torsionen an den jüngsten Windungen würden also ein Engerwerden derselben veranlassen. Der dadurch auf die Stütze ausgeübte Druck bewirkt eine Spannung in dem Stengel, und diese, wie immer, wirkliche antidrome Torsionen. Wir kommen also zu dem seltsam klingenden Ergebniss, dass aus homodromen Torsionen, die entstehen wollen, antidrome resultiren. Dass gegenläufige Drehungen auch wirklich in Windungen, die überall der Stütze dicht anliegen, entstehen können, haben wir bereits früher (S. 507) gesehen. Auch experimentell lässt sich diese Möglichkeit darthun. Man wähle von einer bereits ausgewachsenen Schlingpflanze einige gewundene Internodien aus, welche genau auf einen Kautschukschlauch hinauf passen. Hierauf befestigt man das eine Ende des Stengelstückes (etwa mittelst Siegellacks) auf dem Schlauch und steckt in dasselbe irgendwo eine Glasnadel hinein. Presst man jetzt Wasser in den Schlauch hinein, so entstehen in den Internodien Spannungen, gerade so, als ob die Windungen das Bestreben gezeigt hätten, sich zu verengen; die Folge hiervon ist eine deutliche antidrome Torsion, gleichviel ob man Internodien von rechts- oder linkswindenden Pflanzen verwendet. Beiläufig bemerkt tritt bei diesem Versuch eigentlich eine Zwangsdrehung des Schlauches auf, weil dessen Substanz nachgiebiger ist als die des Sprosses; diese Torsion lässt sich aber leicht durch Festhalten des Schlauches verhindern.

Die im Vorstehenden entwickelte Ansicht entbehrt deshalb eines strengen Beweises, weil sich nicht sicher zeigen lässt, dass die erst nach und nach durch Wachsthum entstehenden homodromen Torsionen ebenso wirken, als ob es elastische wären. Sind die Betrachtungen aber richtig, so hätten wir einen Einblick in die Bedeutung und Wirkungsweise der gleichsinnigen Drehungen; sie würden ebenso wie der Geotropismus dazu beitragen, die Windungen fest anzudrücken.

---

3. Kapitel.

Ueber freie Windungen.

Freie, bleibende Windungen an Sprossenden, welche über die Stütze hinausragen, kommen ohne Zweifel sehr häufig vor (Fig. 10); es ist sogar möglich, dass es keine einzige Schlingpflanze giebt, die nicht auch solche Windungen bildet. Dieselben sind im Herbst, wenn die Pflanzen ihre Vegetationsperiode beenden, entschieden häufiger als im Sommer, indessen ist bis jetzt nicht mit Sicherheit zu sagen, dass ihr Entstehen mit dem allmählich erlöschenden Wachsthum Hand in

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

Hand geht. Aeussere Ursachen ihres Auftretens sind nicht bekannt; meine Vermuthung, dass vielleicht nur diejenigen Sprossenden freie Windungen zeigen, deren Spitzen durch Insectenfrass beschädigt sind, erwies sich als irrig. Soviel scheint aber sicher, dass ein Spross sein Spitzenwachsthum einstellt, wenn er zwei bis drei bleibende, freie Windungen gebildet hat. Bei *Akebia quinata*, *Hollboellia latifolia*, *Menispermum canadense* und anderen sind diese freien Windungen sehr schön regelmässig und oft bis zur Zehnzahl vorhanden. (Dabei kann der so gewundene Stengel im fertigen Zustand ungedreht, schwach homodrom oder antidrom tordirt sein. Zweifellos ist dabei die gleichsinnige Drehung eine wirkliche, die gegenläufige eine scheinbare.)

Eine sehr beachtenswerthe Thatsache ist der Umstand, dass die freien Windungen immer in derselben Richtung ansteigen, wie die Stengelwindungen beim Vorhandensein einer Stütze; es folgen also auf linksgewundene Sprossinternodien niemals rechtsgewundene freie Windungen.

Mein Bemühen, für das Entstehen der letzteren irgend eine mechanische Erklärung zu finden, etwa durch das Feststellen einer unsymmetrischen Lage der Skelettzellen oder einer Art Dorsiventralität des Sprosses, blieb bei allen untersuchten Pflanzen erfolglos. Der Kolben von *Anthurium Scherzerianum* zeigt bisweilen 2—3 grosse, regelmässige Windungen (rechts oder links aufsteigend); auch hier war niemals ein anatomisches Merkmal zu finden, das irgend einen Anhalt zur Erklärung ihres Entstehens hätte geben können. Man kann also wohl mit Sicherheit sagen, dass beim Entstehen freier Windungen bei Schlingpflanzen das Protoplasma es ist, welches die Membranen zu einem derartigen Wachsthum anregt, dass der Spross Wendeltreppenform annimmt. Es wächst also hier eine bestimmte Seite der Windungen, und zwar die convexe, aus unbekannten inneren Gründen am stärksten.

Wie in der Region der freien Windungen, ebenso wenig zeigt sich auch in allen übrigen Stengelpartien windender Pflanzen ein Anzeichen von Dorsiventralität. Dasselbe gilt auch in physiologischer Hinsicht, da jede Stengelflanke gleichmässig befähigt ist, zur convexen Seite zu werden.

Man mache z. B. auf der convexen Seite einer ganz jungen Windung einen schwarzen Punkt, nachdem man sie vorher eine kurze Zeit über die Stütze hinausgeschoben hat, damit eventuell vorhandene elastische Torsionen zurückgehen können. Bald wird sich die Windung ungefähr gerade strecken, und nun neige man den betreffenden Sprosstheil so, dass bei erneuter Krümmung (durch Zusammenwirken von revolutiver Nutation und Geotropismus[1]) (vergl. AMBRONN II, S. 69.

---

1) BARANETZKI (l. c. S. 19) zeigte bereits, dass ein aufrecht stehender, revolutiv nutirender Spross, wenn man ihn schräg stellt, seine Concavität unter Beibehalten

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

§ 3) der Punkt auf die concave Seite zu liegen kommt. Dann ist die vorher convexe Seite zur concaven und umgekehrt die concave zur convexen geworden. Ebensogut hätte man es einrichten können, dass der Punkt auf die obere oder untere Flanke zu liegen gekommen wäre, kurz: jede Stengelseite kann zur convexen werden.

HUGO DE VRIES (l. c. S. 329) war bereits zu demselben Resultat gekommen, da aber zu seiner Zeit die Greifbewegung noch nicht bekannt war, musste die Frage noch einmal geprüft werden. Denn man muss den Punkt vor Eintreten des Greifens auf die concave Seite bringen, weil die Greifbewegung, selbst beim Vorhandensein einer Dorsiventralität, gewaltsam jede beliebige Flanke zur concaven macht.

SCHWENDENER hat im Gegensatz zu SACHS behauptet, dass die freien Windungen eine Erscheinung für sich seien und mit denjenigen Windungen, welche beim Vorhandensein einer Stütze entstehen, nichts zu thun hätten. Dafür sprechen zwei Erscheinungen. Erstlich die Thatsache, dass junge, bereits vollständig fertig erscheinende Windungen beim Hinausschieben über die Stütze sich durch die Wirkung des negativen Geotropismus wieder vollständig gerade strecken[1]), während freie Windungen von vornherein bleibend und von der Schwerkraft vollkommen unabhängig sind. Zweitens wächst, im Gegensatz zu den freien Windungen, bei gewöhnlichen Windungen um eine Stütze nicht eine bestimmte Linie des Stengels spontan am intensivsten, sondern durch nachträgliche Torsion gelangen schliesslich ganz andere Theile als zu Anfang auf die convexe Seite und werden schliesslich in dieser Lage durch passives Wachsthum in Folge des Greifens fixirt. Merkwürdig bleibt allerdings, dass die freien Windungen und die der Stütze anliegenden immer gleiche Richtung haben.

Schlussbemerkungen.

Auf S. 496 hiess es: „SCHWENDENER ist der Meinung, dass beides, Zustandekommen und Fixirung der Windungen, durch die Greifbewegung bewirkt wird.“ — Nach meinen Erfahrungen muss man dem beipflichten.

So gewiss es durch die Untersuchungen BARANETZKI's[2]) und AMBRONN's[2]) ist, dass der Spross deshalb wenigstens annähernd seine

---

der Nutation annähernd nach einer Seite kehrt; richtet man ihn in seine alte Lage auf, so nimmt die regelmässige Nutation wieder ihren Anfang.

1) Man ersieht hieraus, wie wichtig es ist, zwischen bleibenden und Nutationskrümmungen zu unterscheiden (vergl. S. 495).

2) Vergl. die sogenannte asymmetrische Nutation.

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

Concavität der Stütze zukehrt, weil dies einzutreten pflegt, wenn der negative Geotropismus auf die revolutive Nutation einwirkt, ebenso sicher ist, dass die immerfort sich in Folge des Greifens geltend machende wirkliche antidrome Torsion (vergl. S. 511 und in Fig. 8 die Nadel bei *f*) wesentlich dazu beiträgt, das Sprossende immer wieder zurückzudrehen, wenn sich die Concavität einmal nach aussen richtet[1]). Danach ist ein Einfluss der Greifbewegung beim Zustandebringen von Windungen wohl sicher. Auch ein weiterer Umstand spricht dafür. Hat man eine Reihe von Bleimodellen vor sich, welche die verschiedenen Stadien der Formveränderung eines und desselben nutirenden Sprossgipfels darstellen, so wird man über die reiche Fülle der mannigfaltigen Krümmungen staunen, die ein Sprossende durchmachen muss, ehe auch nur eine einzige Windung zu Stande kommt. Das Endergebniss aller dieser Krümmungen besteht aber doch in einer grossen Zahl der schönsten Windungen, eine so regelmässig, wie die andere. Daraus allein schon ergiebt sich mit grösster Wahrscheinlichkeit, dass ein äusserer mechanischer Factor vorhanden sein muss, der gewaltsam das Chaos von Krümmungen schliesslich in immer dieselbe Form zwingt,und dieser Factor ist die Greifbewegung.

Was die zweite, zu Anfang dieser Arbeit aufgestellte Frage betrifft, wie die einmal entstandenen Windungen bleibend gemacht werden, so ist nach dem Vorstehenden ausser Zweifel, dass das Greifen das Fixiren bewirkt.

Erklärung der Abbildungen.

(Die Blätter sind der Raumersparniss halber fortgelassen.)

Fig. 1. Stück einer linkswindenden Schlingpflanze. Dieselbe ist untordirt, weil die punktirte Linie überall auf der convexen Seite verläuft. Vergl. S. 498. Die Stütze ist absichtlich zu dick gezeichnet. Der Punkt *a* wird später, wenn in der unterhalb desselben befindlichen Stengelregion *w* homodrome Torsion eintritt, durch den Spross verdeckt und *b* dann dem Beobachter zugekehrt. Vergl. S. 512.

„ 2. Eine um eine eckige Stütze gelegte Bleiröhre, bei welcher die Krümmungen in den Kanten um zur Längsrichtung *ab* des Stengels schiefe (*cd*) und nicht senkrechte (*ef*) Achsen stattfinden. Vergl. S. 498.

„ 3. Ein Holzstab, dessen einzelne Glieder durch Gelenke verbunden sind. Diese liegen überall auf der concaven Seite; auf der convexen verläuft eine in der Zeichnung nicht sichtbare schwarze Linie. Das ganze Modell ist in einer Ebene uhrfederartig zusammengerollt und besitzt nicht Wendeltreppenform. Vergl. S 498.

„ 4. *a*) eine wendeltreppenförmig gebogene Bleiröhre; *b*) dieselbe, mittels einer Zange antidrom tordirt (in der Richtung des Pfeiles). Dadurch hat sich

---

1) Die Torsionen sind also zum Winden unentbehrlich.

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

der Durchmesser der Windungen erweitert; *c*) die Röhre *a* homodrom tordirt, wodurch ein Verengen der Windungen eingetreten ist. Vergl. S. 512 und 513.

Fig. 5. Ein gegliederter Holzstab, auf dem eine schwarze Längslinie gezogen ist und die Charniere in einer linksläufigen Schraubenlinie angeordnet sind. Vergl. S. 499.

„ 6. Derselbe Stab wie Fig. 5 um eine Stütze gelegt. Er erscheint antidrom tordirt, obwohl nur Krümmungen stattgefunden haben. In *a* verläuft die schwarze Linie auf der äusseren Seite, in *b* auf der oberen Flanke und in *c* auf der der Stütze zugekehrten Concavität. Vergl. S. 499. Fig. 5 und 6 sind im Wesentlichen nach SCHWENDENER copirt.

„ 7. Stück eines Kautschukschlauches, an welchem ein elastischer Bogen bei *a* befestigt ist, während derselbe oben bei *b* nur anliegt, ohne einen Druck auf die Stütze auszuüben. Bei *c* ist eine Glasnadel angebracht, durch deren Heben beim Erweitern des Schlauches die wirkliche antidrome Torsion angezeigt wird. Vergl. S. 501.

„ 8. Ein ähnliches Modell wie Fig. 7. Das Heben der Nadel *cd* kann mit einem Fernrohr beobachtet und mit Hülfe eines Zeigers und einer Gradskala gemessen werden. Vergl. S. 504. In Folge des Greifens vollführt die obere Nadel *f* passiv eine drehende Bewegung in antidromem Sinne. Vergl. S. 511.

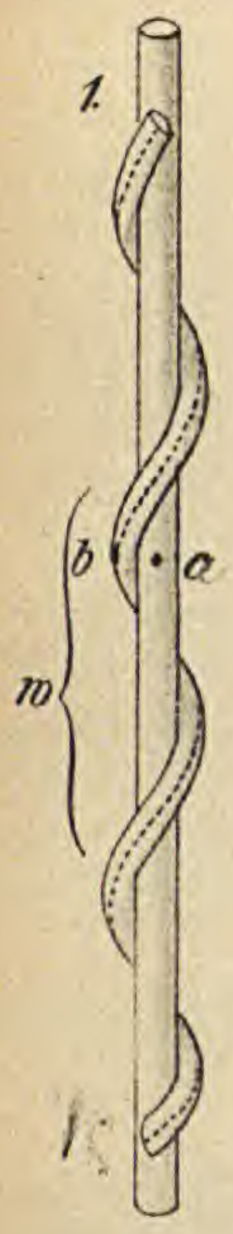
„ 9. Das Bild der Stelle in der Nähe von *c* (Fig. 8) im Fernrohr. Die Nadel *cd* fällt mit dem linken Arm des Fadenkreuzes zusammen. Der Zeiger steht auf 90°. Gemäss der Bewegung der Nadel in die Lage *ce* wurde der Tubus im Sinne des Pfeiles mitgedreht. Da der Zeiger jetzt auf 70° steht, beträgt die antidrome Torsion 20°. Vergl. S. 504.

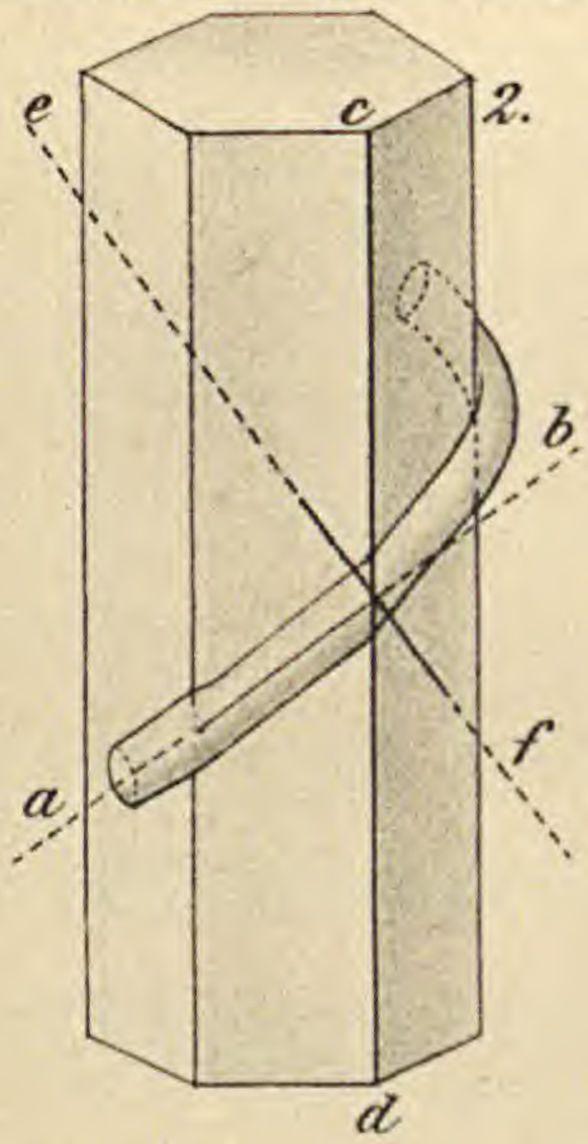
„ 10. Freie bleibende Windungen von *Menispermum canadense*. Vergl. S. 514.

„ 11. Homodrome Torsionen an einem über die Stütze hinausragenden Spross. Vergl. S. 502. In den der Stütze anliegenden Partien ist der Stengel wie immer antidrom tordirt. In Folge dieser Drehung ist die Nadel *cd* aus der horizontalen Lage in die verticale *ce* gekommen. Vergl. S. 507.

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

1.

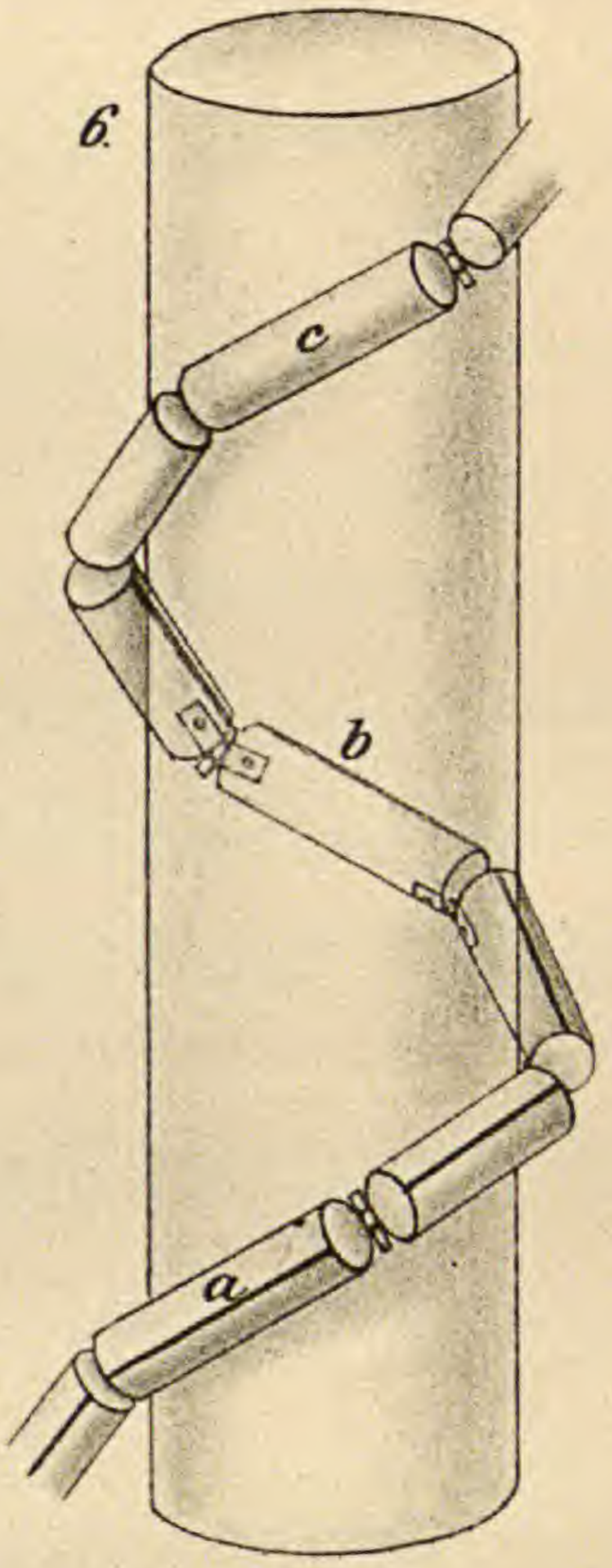


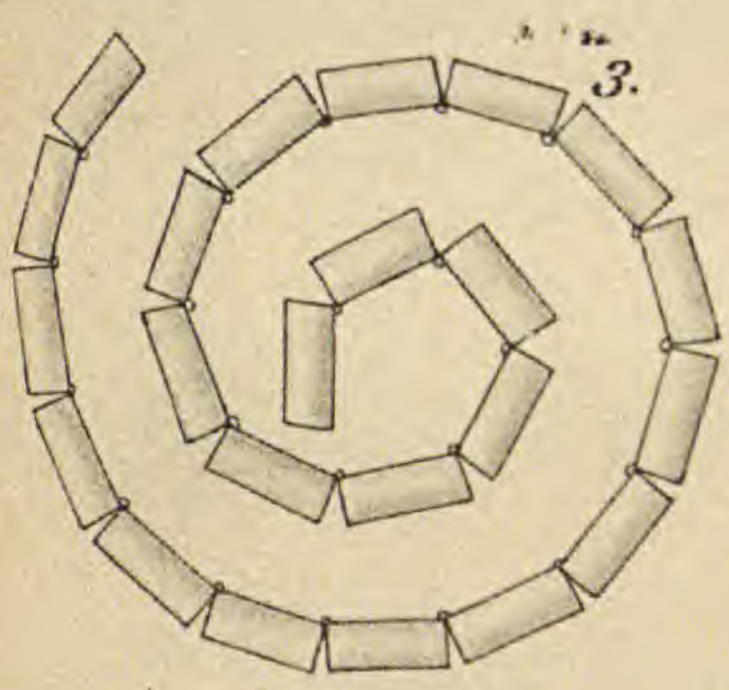


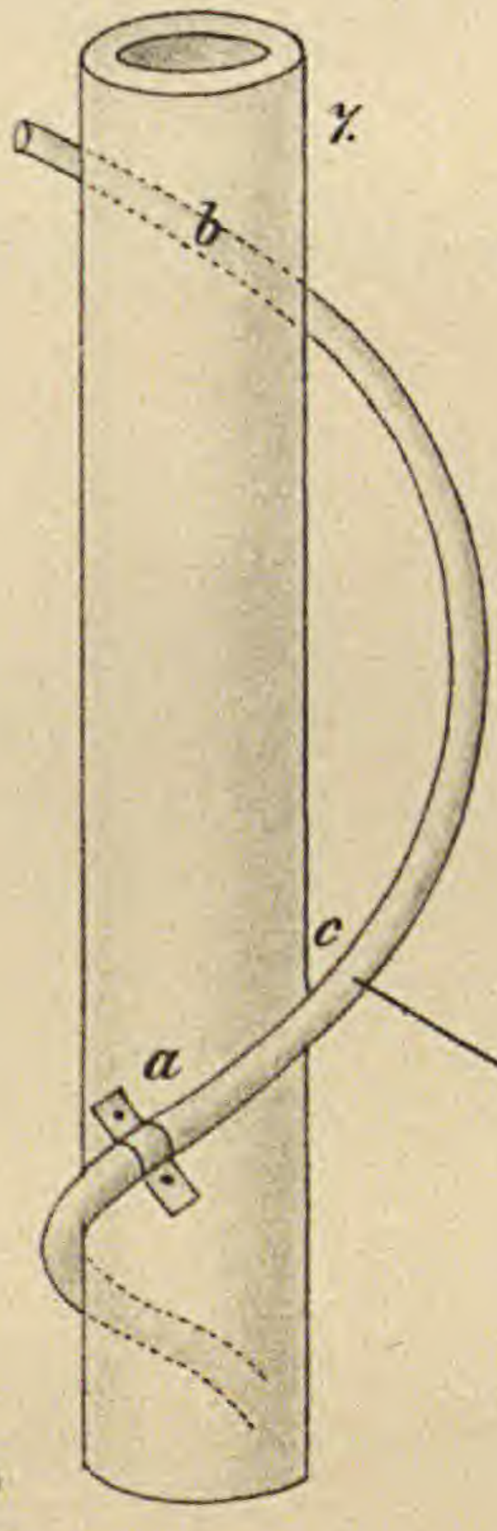
11.

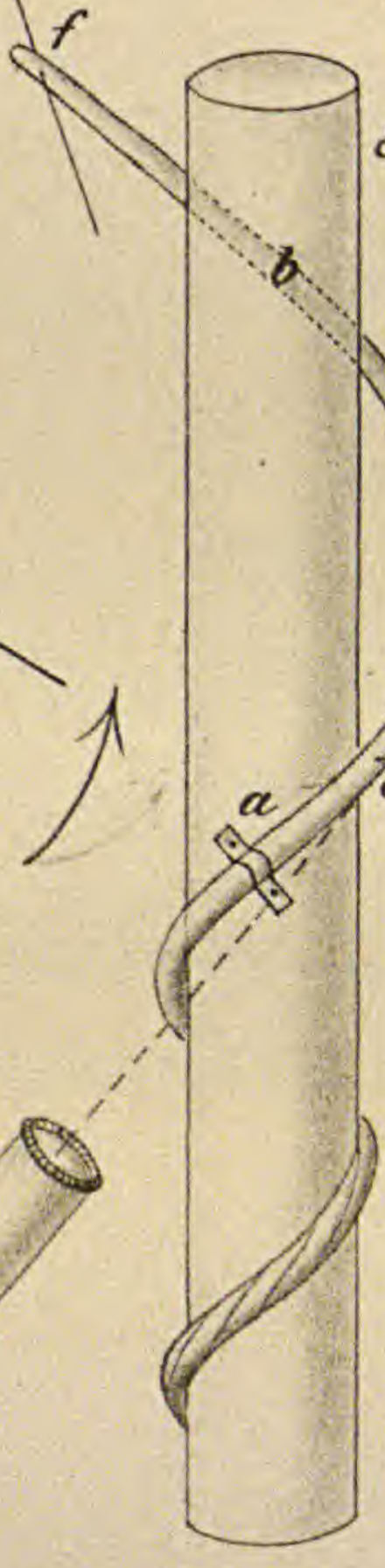
5.

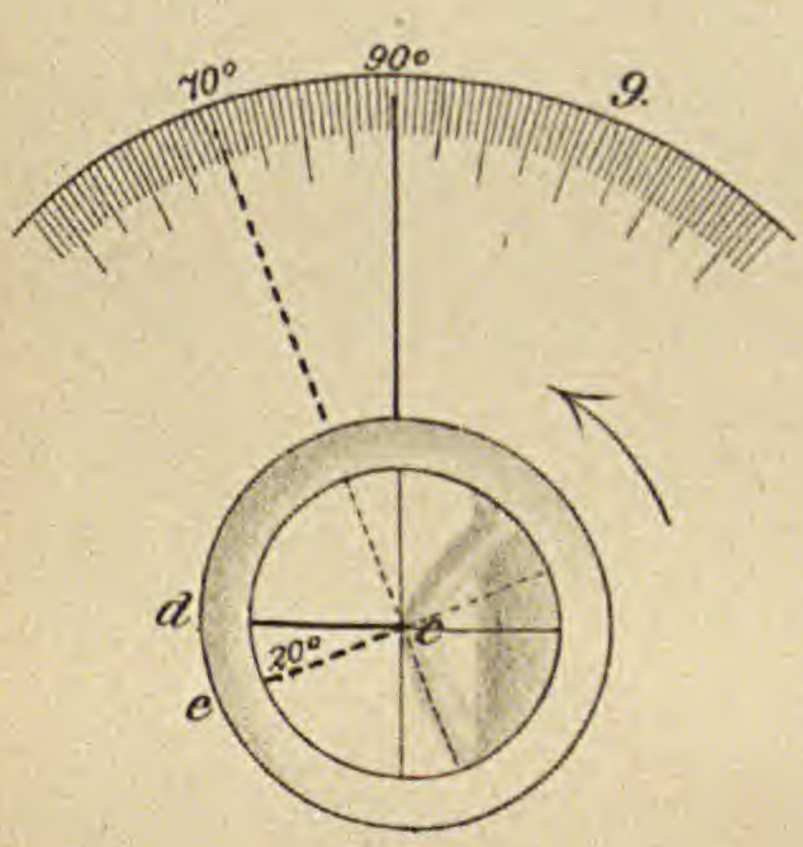
6.



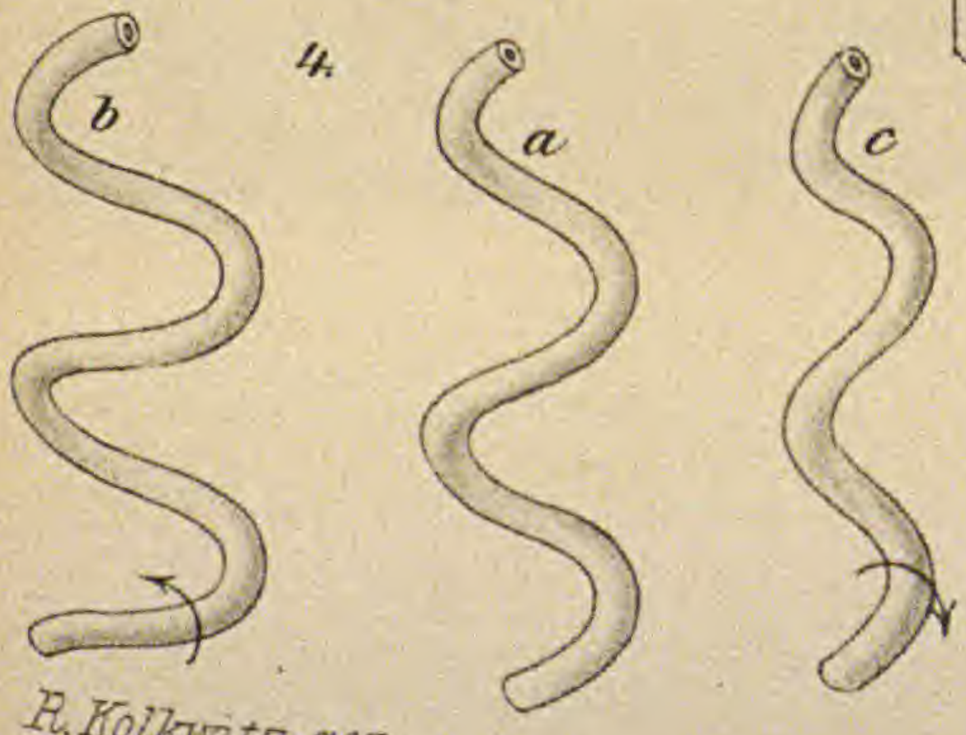








10.



R. Kolkwitz gez.

E. Laue lith.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Kolkwitz Richard Gustav Julius

Artikel/Article: Beitrage zur Mechanik des Windens 495-517