

MONATSBERICHT

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN.

December 1881.

Vorsitzender Secretar: Hr. Auwers.

1. December. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Hr. Schwendener las:

Über das Winden der Pflanzen.

§ 1.

Historisches.

Unsere Kenntnisse über die Erscheinung des Windens im Pflanzenreich beruhen im Wesentlichen auf den gleichzeitigen älteren Arbeiten von Mohl und Palm und auf den Untersuchungen neueren Datums von Ch. Darwin und H. de Vries¹⁾. Nach Mohl, dessen Darstellung sich längere Zeit der allgemeinsten Anerkennung erfreute, liegt bekanntlich das entscheidende Moment in der stumpfen Reizbarkeit windender Stengel, welche sich angeblich

¹⁾ Die hier angedeuteten, im Folgenden öfter citirten Veröffentlichungen mögen an dieser Stelle ein für allemal speciell bezeichnet werden.

- 1) Mohl, Über den Bau und das Winden der Ranken und Schlingpflanzen, 1827.
- 2) Ludwig H. Palm, Über das Winden der Pflanzen, 1827.
- 3) Ch. Darwin, Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen. Aus dem Englischen von J. V. Carus. 1876.
- 4) H. de Vries, Zur Mechanik der Bewegung von Schlingpflanzen. In den Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg. Band I, p. 317. 1874.

in Folge des Contactes mit der Stütze bleibend gegen dieselbe krümmen und somit immer auf deren Oberfläche weiter wachsen. Die Mechanik wäre hiernach dieselbe wie bei den Ranken; auch sagt Mohl ausdrücklich, dass die krümmende Wirkung des Contactes sich sowohl nach vorwärts als nach rückwärts fortpflanzt (l. c. p. 148). Die Nutationsbewegung, welche nach Mohl durch die mit der Windungsrichtung gleichsinnige Torsion bewirkt wird, wäre hiernach bloss für das Suchen der Stütze, nicht für das Winden selbst, wesentliche Bedingung.

Diese Auffassung war unzweifelhaft klar und mechanisch Punkt für Punkt construierbar, — aber sie war unrichtig. Die angenommene Reizbarkeit ist nicht vorhanden. Schon Palm hatte dieselbe bestritten und unter Anderem geltend gemacht, dass überhaupt „die Bewegungen der Pflanzen auf einem ganz andern Principe beruhen, als die Irritabilitätsbewegungen der Thiere“ (l. c. p. 93).

Entscheidendere Beobachtungen hierüber stellte aber erst Ch. Darwin an, immer mit demselben negativen Erfolg; es war keine Spur von Reizbarkeit nachweisbar. Überdies zeigte Darwin in endgültiger Weise, dass die Nutation eine Erscheinung für sich ist und keineswegs durch die Torsion der Internodien bedingt wird.

Da indess die negativen Resultate Darwin's bezüglich der Reizbarkeit noch nicht als vollgültige Beweise für das Fehlen derselben betrachtet werden dürfen, so war es nothwendig, diese Frage noch eingehender zu prüfen. H. de Vries hat sich dieser Aufgabe unterzogen und durch sinnreiche Experimente bewiesen:

1) dass sich die verschiedenen Seiten oder Kanten windender Stengel in Bezug auf Reizbarkeit gleich verhalten, wobei indessen vorerst dahin gestellt bleibt, ob sie sämmtlich gleich reizbar oder überhaupt gar nicht reizbar sind;

2) dass ein dauernder Contact der Rückenseite nutirender Internodien — obschon dieselbe nach 1) von der Bauchseite nicht verschieden ist — niemals eine Krümmung nach aussen, d. h. nach der Contactstelle hin bedingt, selbst dann nicht, wenn die mechanische Kraft, die auf diese Stelle drückt, eine sehr erhebliche ist. Als besonders instructiv betrachte ich in dieser Hinsicht das Experiment mit der Drehwaage (l. c. p. 321), auf das ich weiterhin zurückkommen werde (s. vorläufig die Abbildung in meiner Fig. 7; *pd* ein gedrehter Faden).

Die Mechanik des Schlingens lässt de Vries durch zwei Factoren bedingt sein, die ich im Folgenden kurz formuliren und zugleich auf Grund meiner eigenen Untersuchungen kritisch beleuchten werde. Als wesentliche Bedingung des Windens wird zunächst aufgeführt (ich gruppire nach eigener Wahl) das Drehungsmoment der frei vorstehenden Spitze in Verbindung mit der Nutation. Die Spitze müsste offenbar vermöge ihres Eigengewichtes sich mehr und mehr senken, wenn sie nicht durch die Nutation in entgegengesetzter Richtung bewegt, also gehoben würde. Durch die Annahme, dass diese beiden Wirkungen sich gegenseitig aufheben, wird die bekannte Thatsache erklärt, dass das freie Ende des Stengels, trotz der Nutation, seine Concavität fast immer der Stütze zuwendet.

Diese Bedingung ist klar gedacht; es fehlt aber der Nachweis, dass das Drehungsmoment der Spitze auch quantitativ ausreicht, das angenommene Gleichgewicht herzustellen, und meine eigenen Untersuchungen haben ergeben, dass dies entschieden nicht der Fall ist. Das fragliche Drehungsmoment gehört überhaupt, wie weiterhin ausführlich gezeigt werden soll, nicht zu den Bedingungen des Windens.

Als zweiten Factor und zwar als den eigentlichen Grund des Windens bezeichnet de Vries die „Verhinderung der Nutation“. Es wird aber nicht angegeben, wie diese „Verhinderung“ zu geschehen hat. Halten wir uns an die Experimente, welche de Vries selbst in dieser Richtung anstellte, so wurde hierbei die Nutationsbewegung gar nicht verhindert, sondern bloss von Zeit zu Zeit, in beliebig gewählten Momenten, ein Punkt des nutirenden Stengels fixirt. Nach den Resultaten zu schliessen, fand allerdings die Fixirung theilweise in der Art statt, dass normale Windungen entstehen mussten; sie hätte aber auch ganz anders geschehen können. Ich habe z. B. bei Wiederholung dieser Experimente eine linkswindende *Calystegia*, die eben am Ende ihrer Stütze angekommen war, gezwungen, eine halbe rechtsläufige Windung zu beschreiben. Es kommt hierbei nur auf das Stadium an, in welchem die Nutationsbewegung des zu fixirenden Punktes sich befindet. Denken wir uns diese Bewegung in der Horizontalprojection als Kreis und bezeichnen wir die verschiedenen Punkte dieses Kreises nach den Himmelsgegenden, so ist klar, dass die Fixirung des Stengels sowohl im Süden als im Norden, im Osten und Westen etc. mög-

lich ist; aber je nachdem das eine oder andere geschieht, windet die Pflanze normal oder sie thut es nicht.

So wie de Vries diese zweite Bedingung formulirt hat, ist sie also mechanisch unbestimmt und darum schlechterdings nicht construirbar; sie könnte höchstens als eine Art unbekannter Reizwirkung gedacht werden. Es wird sich überdies herausstellen, dass hier nicht bloss eine bestimmtere Fassung nöthig ist, sondern dass die Bedingungen des Windens thatsächlich anderswo liegen.

An einigen Stellen seiner Abhandlung geht übrigens de Vries von etwas abweichenden Vorstellungen aus, die aber ebenfalls verschiedener Deutungen fähig sind. Er sagt l. c. p. 323: „Diese Windung (eine Schraubenwindung, welche durch Nutation entstanden war) war meist nur wenig ansteigend; später wurde sie steiler und dabei enger, bis sie sich von unten ab allmählig der Spitze anlegte“.

Hiernach hätte man sich das freie Ende der Schlingpflanze in revolutiver Nutationsbewegung zu denken; die Basis wäre im obersten Contactpunkt des windenden Stengels fixirt und das nächstangrenzende, noch freie Stück des Gipfels würde sich in bekannter Weise nach verschiedenen Seiten krümmen und hierbei eine spitze Kegelfläche beschreiben. Diese Krümmungen sind nun aber, wie ich hier einschaltend bemerke, bloss Nutationskrümmungen, die mit dem Aufhören der Nutation verschwinden müssten; allein de Vries lässt die nach der Stütze concave Krümmung sich immer wieder ganz oder zum Theil in eine bleibende verwandeln und erklärt so das Vorrücken des Contactpunktes, worauf beim Winden ja Alles ankommt. Darin liegt aber gerade die Unklarheit, auf welche schon im „Mikroskop“ in aller Kürze hingewiesen wurde¹⁾. Das frei nutirende Ende erfährt nach de Vries ganz unerwartet eine bleibende Krümmung nach der Stütze hin, während doch vorher nur von Nutationskrümmungen die Rede war, und wir fragen vergeblich nach der Kraft, die diese bleibende Krümmung bewirken könnte. Suchen wir aber die angedeuteten mechanischen Bedingungen in Gedanken zu vervollständigen, so gelangen wir unwillkürlich zu der Annahme, dass die krümmende Kraft in der Stütze ihren Sitz habe, womit zugleich gesagt ist, dass die Pflanze hierfür empfänglich sei. Eine solche Empfänglichkeit ist aber offen-

¹⁾ Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, 2. Aufl. S. 419 Anm.

bar nichts Anderes als die stumpfe Reizbarkeit Mohl's oder, was dasselbe bedeutet, eine besondere Art von Dorsiventralität, beides Dinge, die nach de Vries nicht vorhanden sein sollen.

Hin und wieder, so z. B. nach S. 324, 325 und 339 der citirten Abhandlung, möchte man beinahe vermuthen, de Vries lasse die Windungen in bleibender Form einfach durch die Nutation zu Stande kommen, so dass andern Kräften nur noch eine nachträgliche Verengung derselben vorbehalten bliebe. Von diesem Gesichtspunkt aus würde sich auch die Parallele erklären, welche der Autor (S. 325) zwischen den normalen Windungen um eine Stütze und den gelegentlich beim Aufhören des Wachsthums zu Stande kommenden freien Schraubenwindungen zieht. Eine solche Auffassung hätte indessen keine bessere Grundlage als die vorhin besprochene. Denn erstens entstehen durch Nutation keine bleibenden Schraubenwindungen und zweitens sind die ohne Stütze entstandenen bleibenden Windungen als Ausnahmen zu betrachten, welche mit dem normalen Winden um eine Stütze in keinem Zusammenhang stehen.

Es kann nach alledem nicht bezweifelt werden, dass in der Darstellung von de Vries gerade der wichtigste Vorgang beim Winden, das Zustandekommen bleibender Krümmungen, absolut unerklärt bleibt; von Componenten, die solche Krümmungen wirklich veranlassen könnten, ist gar nicht die Rede.

Die Mechanik des Windens gehört also immer noch zu den ungelösten Aufgaben. Wenn ich im Folgenden eine Lösung versuche, so glaube ich wenigstens das Wesentliche vom Unwesentlichen schärfer, als es bisher geschehen, getrennt und sowohl die geometrische als die mechanische Seite der Frage klarer beleuchtet zu haben. Die Untersuchungen, auf welche meine Darstellung sich stützt, wurden im Winter 1880/81 begonnen und im Sommer 1881 zum Abschluss gebracht. Während der letzteren Zeit erfreute ich mich der Unterstützung meines Assistenten, des Hrn. Dr. H. Ambronn.

§ 2.

Das Ergreifen der Stütze in Folge der Nutationskrümmungen.

Beobachtet man eine Schlingpflanze von dem Augenblicke an, wo sie zu winden beginnt, so kann man leicht die Wahrnehmung

machen, dass die nutirende Spitze sich zeitweise stark nach innen krümmt und dann ihre Endknospe gegen die Stütze drückt, während gleichzeitig ein um ca. $120\text{--}200^\circ$ weiter rückwärts liegender Punkt ebenfalls mit der Stütze in Berührung tritt oder, wenn diese schon vorher zu Stande gekommen, darin verharret. In der Horizontalprojection stellt sich dieser doppelte Contact unmittelbar nach der Herstellung so dar, wie er in Fig. 1—3 abgebildet ist. Der schattirte Kreis entspricht der Stütze; a und b sind die beiden Contactpunkte, zwischen welchen der nutirende Stengel um einige Millimeter von der Stütze absteht. Die junge Schlingpflanze ergreift also die Stütze in ähnlicher Weise, wie man etwa mittelst Daumen und Zeigefinger eine cylindrische Glasröhre oder ein leichtes Weinglas u. dgl. anzufassen pflegt. In beiden Fällen beträgt die für das Festhalten günstigste Divergenz der Contactpunkte einen halben Kreisumfang oder $= 180^\circ$.

Genau dasselbe Verhalten zeigt aber auch das nutirende Ende älterer Pflanzen, welche bereits eine beliebige Zahl von Windungen gebildet haben. Die Endknospe wird von Zeit zu Zeit mit der Stütze in Berührung gebracht und bildet dann mit den obersten Internodien den in Fig. 1—3 dargestellten Bogen ba , welcher bei a in die fertigen, mehr oder weniger angedrückten Windungen übergeht. Die Stütze wird also im Verlauf des Windens immer wieder in derselben Weise gefasst.

Mit der Herstellung des erwähnten Doppelcontactes hat indess die Nutationskrümmung des Bogens ab noch nicht den höchsten Grad erreicht; das Bestreben, den Krümmungsradius zu verkleinern, dauert noch eine Zeit lang fort. Da jedoch die Stütze Widerstand leistet, so findet die zunehmende Spannung bloss darin ihren Ausdruck, dass der sichelförmige Raum zwischen Stütze und Bogen allmählig kleiner wird und oft vollständig verschwindet; der Bogen erscheint dann in seiner ganzen Länge an die Stütze ange-drückt.

Die Grösse der Kraft, mit welcher die Endknospe gegen die Stütze gedrückt wird, lässt sich leicht durch die Gegenkraft bestimmen, welche nothwendig ist, um den bestehenden Contact aufzuheben. Am besten bedient man sich hierzu kleiner Gewichte, die man mittelst eines Fadens mit der Endknospe verbindet, wobei der unbequeme lothrechte Zug durch eine feine Rolle leicht in einen wagrechten, zur Stütze rechtwinkligen umgesetzt werden

kann (man denke sich z. B. die Rolle in Fig. 11 rechts neben der Endknospe fixirt). Bei *Calystegia dahurica* ergaben die in dieser Weise ausgeführten Messungen eine Spannung, welche im Maximum einem Gewicht von ca. 1 Gramm das Gleichgewicht hielt; je kräftiger übrigens die Versuchspflanze, desto grösser die bei der Nutation wirksame Kraft.

Das Vorhandensein einer erheblichen Spannung lässt sich übrigens schon aus dem Umstande schliessen, dass die Endknospe oft um mehrere Millimeter nach innen schnellte, wenn der zwischen den Contactpunkten *a* und *b* befindliche Theil der Stütze entfernt wird. Man sieht überdies leicht ein, dass die Spannung nach erfolgter Herstellung des Contactes ganz allmählig zunehmen und mit dem Aufhören desselben wieder auf Null heruntersinken muss.

Wie diese Spannung auf die Form des Bogens *ab* einwirkt, kann am besten mit Hülfe elastischer Drähte veranschaulicht werden, die man in ähnliche Spannungen versetzt. In Fig. 1 und 2 sind die betreffenden Formveränderungen nach solchen Drähten, deren Krümmung der nutirenden Spitze einer *Calystegia* nachgebildet wurde, dargestellt. Der punktirte Bogen entspricht dem spannungslosen, der mit ausgezogenen Linien gezeichnete dem gespannten Zustand; der Contactpunkt *a* ist dabei unbeweglich mit der Stütze verbunden gedacht. Durchaus übereinstimmende Veränderungen wurden übrigens wiederholt auch an der lebenden Pflanze constatirt.

Man sieht sofort, dass die beiden Bogenlinien, nämlich die punktirte und die ausgezogene, vom Punkte *a* aus etwas divergiren, sich dann im Punkte *i* schneiden und zuletzt wieder divergiren. Ist also *a* im spannungslosen Zustande, während die Spitze *b* noch frei in der Luft schwebt, der oberste Contactpunkt der Windungen, so rückt dieser Punkt in Folge der Spannung ein wenig nach links, d. h. der Stengel wird an dieser Stelle durch den mechanischen Zug gegen die Stütze bewegt und an dieselbe angeedrückt. Allerdings ist diese Verschiebung zunächst noch keine bleibende; das angeedrückte Stück würde sofort elastisch zurückschnellen, wenn man die Spannung durch Entfernung der Stütze beseitigte. Man weiss aber, dass Spannungen, die längere Zeit dauern oder periodisch wiederkehren und jedesmal während eines endlichen Bruchtheils der Periode wirksam bleiben, sich theilweise in Wachsthum umsetzen. Dies geschieht auch in unserem Falle.

Die ganze Nutationsperiode dauerte z. B. bei *Calystegia dahurica* unter den gegebenen Verhältnissen $1\frac{1}{2}$ —2 Stunden; davon kamen bei einem Stützendurchmesser von 1 Centimeter ca. 15—30 Minuten auf die Zeit zwischen der Herstellung des in Rede stehenden Contactes und dem Aufhören desselben. Je dicker die Stütze, desto länger dauert der jedesmalige Contact; erreicht sie das Maximum der zulässigen Dicke, so hebt sich die Endknospe niemals von der Stütze ab.

Es ist sonach klar, dass bei windenden Pflanzen ein Theil dieser periodisch wiederkehrenden, zu- und abnehmenden Spannungen sich in bleibende Krümmung umsetzen muss, und damit ist im Spiel der wirksamen Kräfte die erste Componente gegeben, welche das nutirende Ende oberhalb der fertigen Windungen nach der Stütze hinzieht und folglich ein Vorrücken des Contactpunktes bedingt.

In der Horizontalprojection Fig. 1 und 2, ebenso in allen thatsächlich gegebenen Fällen, in welchen der Bogen *ab* ausnahmsweise in die Querschnittsebene fällt, ist die angedeutete Krümmung die einzige bleibende Wirkung, welche sichtbar zur Erscheinung kommt. Sobald dagegen die Endknospe *b*, wie es gewöhnlich der Fall, merklich höher liegt als der Punkt *a*, so verursacht die vorhandene Spannung ausser der Krümmung zugleich eine der Windungsrichtung entgegengesetzte Torsion des Stengels in *a* und der ganzen rechts und links angrenzenden Region. Um sich hiervon zu überzeugen, braucht man nur einen beliebigen Bogen aus federn-dem Draht am einen Ende *a* so zu befestigen, dass derselbe in eine ca. 45° gegen den Horizont geneigte Ebene zu liegen kommt, und dann auf das obere freie Ende eine Horizontalkraft wirken zu lassen, welche dem Widerstand der Stütze entspricht; man wird alsdann direct beobachten und schon aus der ganzen Sachlage leicht entnehmen können, dass diese Kraft krümmend und drehend zugleich wirkt und dass die Drehung mit Bezug auf die Richtung des aufsteigenden Bogens gegenläufig ist.

Selbstverständlich ist diese Drehung, ebenso wie die Krümmung, zunächst keine bleibende, wird aber aus denselben Gründen allmählig in eine bleibende verwandelt. Jede Schlingpflanze, die regelmässig windet, erscheint daher in den ältern, ausgewachsenen Internodien stets gegenläufig gedreht, also bei linksläufigen Windungen nach rechts, bei rechtsläufigen nach links. Diese anti-

drome Drehung ist ohne alle Beziehung zu den störenden localen Drehungen, welche durch den Druck der Blattstiele gegen die Stütze u. dgl. bedingt sind. Diese letztern sind zufällig und darum ohne bestimmte Richtung; jene erstere dagegen ist mit dem Mechanismus des Windens untrennbar verknüpft.

Ebensowenig dürfen die starken homodromen Drehungen, die schon in den Arbeiten von Mohl und Palm erwähnt sind, in Rechnung gebracht werden, wenn die mittlere antidrome Torsion, soweit sie mit dem Winden nothwendig zusammenhängt, durch Beobachtung bestimmt werden soll. Denn jene mit der Windungsrichtung gleichsinnigen Drehungen finden nur statt, wenn die Pflanze an der Stütze ausgleitet oder über dieselbe hinauswächst oder aus irgend welchen andern Gründen an der regelmässigen Herstellung des Contactes verhindert wird; sie fallen also in die Zeit des Nichtwindens und müssen folglich als Störungen bezeichnet werden, die bei regelmässigem Winden gar nicht vorkommen.

Ohne diese antidromen Drehungen hätten auch die erwähnten bleibenden Krümmungen nicht die Bedeutung, die ich ihnen vorhin zugeschrieben habe. Denn streng genommen, kann der Bogen *amb* (Fig. 3) in zwei Hälften *am* und *mb* zerlegt werden, welche annähernd symmetrische, aber entgegengesetzte Krümmungen erfahren. Während z. B. das Stück *ac*, wie oben dargelegt wurde, nach der Stütze gezogen wird, wobei natürlich die Aussenseite des Stengels sich etwas verlängert und die Innenseite verkürzt, so findet umgekehrt im Stück *db* eine bleibende Verlängerung der Innenseite und eine Verkürzung der Aussenseite statt. Dieses Stück *db* kommt aber später, nachdem die Stengelspitze sich um den halben Umfang der Stütze weiter vorgeschoben, in die Lage von *ac* und würde dann ungefähr ebenso stark nach innen gekrümmt, wie vorher nach aussen, wenn nicht inzwischen eine Verschiebung der Krümmungsebene durch Drehung des Stengels stattfände. In Folge der Drehung aber erhält die Krümmung in *ac* das Übergewicht; es muss also mindestens ein Theil derselben zur bleibenden Krümmung werden.

§ 3.

Das Ergreifen der Stütze unter erschwerenden Bedingungen.

Die gewöhnlichen Stützen, welche den Schlingpflanzen sich darbieten, sind feste Objecte, die einer seitlichen Verschiebung Widerstand leisten; sie verhalten sich im Wesentlichen wie absolut starre, unbewegliche Stäbe. Solche Stützen gewähren für das Winden die günstigsten Bedingungen. Sobald nämlich das vorge-streckte nutirende Ende einer Schlingpflanze auf eine solche Stütze stösst und dadurch in seiner Bewegung gehemmt wird, ist der Anfang des Windens gegeben; zwar hat noch kein Ergreifen der Stütze stattgefunden, es wird aber mit Nothwendigkeit herbeigeführt.

Wie verhält sich nun aber die Pflanze, wenn die Stütze zwar ein festes Object ist, aber jedem seitlichen Druck widerstandslos nachgiebt? Offenbar werden dadurch die Bedingungen des Windens erheblich ungünstiger; denn bevor ein wirkliches Ergreifen durch die hierzu allein befähigten oberen Internodien stattgefunden hat, kann von einem Beginn des Windens selbstverständlich nicht die Rede sein. Dazu kommt, dass die bereits ergriffene Stütze sich wieder von der Pflanze entfernen kann, sobald die Nutationskrümmung schwächer geworden, die Greifwirkung also aufgehört hat. Nichtsdestoweniger muss das Winden nach dem Vorhergehenden auch unter solchen Verhältnissen möglich sein, sofern man dafür Sorge trägt, dass die Pflanze jedesmal, wenn sie sich zum Greifen anschickt, ihr Object wieder findet und nicht etwa in die leere Luft greift.

Um diese theoretische Folgerung empirisch zu prüfen, wurde ein Cylinder aus zusammengerolltem Papier (P in Fig. 9) an einem ca. anderthalb Meter langen Faden hg aufgehängt und einer *Calystegia*, die eben am obern Ende einer gewöhnlichen Stütze angekommen war, als neue Stütze dargeboten. Der Papiercylinder war etwa 15 Centimeter lang, 2 Centimeter dick und wog etwas weniger als 1 Gramm; sein Widerstand gegen seitliche Verschiebung war, wie bei einem Pendel, durch den Sinus des Winkels gegeben, den der Aufhängefaden mit der Verticalen bildete, betrug also stets nur einen kleinen Bruchtheil des Gewichts. Bei 15 Millimeter seitlicher Verschiebung erhält man z. B. einen Widerstand von $\frac{1}{15} \times 1 \text{ Gramm} = 10 \text{ Milligramm}$, den man füglich gleich Null setzen darf.

Wie zu erwarten war, fasste der nutirende Stengel, nachdem er sich hinlänglich verlängert hatte, den Papiercylinder in gewohnter Weise an zwei ungefähr um 180° von einander abstehenden Punkten und hielt ihn eine Zeit lang fest. Als dann aber die Nutationskrümmung schwächer und der Contact wieder aufgehoben wurde, entzog sich der Cylinder, weil er inzwischen aus der Gleichgewichtslage verschoben worden war und nun in diese zurückkehrte, einer neuen Umschlingung; die Pflanze blieb also einweilen ohne Stütze.

Um solche Störungen zu vermeiden, wurde bei den folgenden Versuchen zwischen den beiden Contactpunkten ein Bindfaden oder ein feiner Draht (*ts* in Fig. 9) über die Aussenseite des greifenden Bogens gezogen, wodurch dem Herausfallen des Papiercylinders nach dem Aufhören des Contactes vorgebeugt war. Die Versuchspflanze war also jetzt in der Lage, die losgelassene Stütze immer wieder von Neuem zu fassen, so oft die Nutationsbewegung in dasselbe Stadium trat. Soweit also die Möglichkeit des Greifens maassgebend ist, waren die zu stellenden Bedingungen erfüllt. Und in der That erfolgte unter solchen Verhältnissen ein regelmässiges Winden.

Schon diese Versuche mit dem frei herabhängenden, am obern Ende befestigten Papiercylinder zeigen zuweilen recht deutlich, dass beim Ergreifen ein nicht ganz unerheblicher Druck auf die Oberfläche wirksam ist, denn die Axe des Cylinders stellt sich, sofern die beiden Contactpunkte in ungleicher Höhe liegen, merklich schief. Aber noch augenfälliger tritt diese Schiefstellung hervor, wenn der Cylinder nur wenig über seinem Schwerpunkte mittelst einer Queraxe aufgehängt wird, so zwar, dass der eine Contactpunkt unter, der andere über diese Axe zu liegen kommt. Die Neigung erreicht alsdann $10-20^\circ$ und sie würde voraussichtlich noch grösser ausfallen, wenn es möglich wäre, die hierfür günstigsten Bedingungen empirisch herzustellen.

Ich unterlasse es, über weitere Variationen dieses Experiments zu berichten, da die Erscheinungen des Greifens in der Hauptsache immer dieselben waren. Der Contact kam gewöhnlich an zwei ungefähr opponirten Punkten zu Stande; zwischen denselben, einerseits von der Stütze und andererseits vom greifenden Stengel begrenzt, befand sich der Eingangs erwähnte mondsichelartige Raum, welcher mit zunehmender Spannung schmaler, mit abnehmender

wieder breiter wurde, und immer erfolgte normales Winden, wenn die Möglichkeit des wiederholten Greifens gegeben war.

§ 4.

Der Einfluss des Geotropismus.

Die Schwerkraft wirkt bekanntlich in zweierlei Weise auf die jüngeren Internodien der Stammorgane, sofern dieselben von der lothrechten Richtung abweichen, nämlich erstens durch die geotropische Aufwärtskrümmung (die nach unten concaven Krümmungen können hier vernachlässigt werden) und zweitens durch den nach dem Centrum der Erde gerichteten Zug, welcher zur Vermeidung von Verwechslungen und Unklarheiten als Wirkung des Eigengewichts bezeichnet werden mag. Beide Wirkungen kommen nun auch bei Schlingpflanzen in Frage und es bleibt zu ermitteln, ob sie zu den wesentlichen Bedingungen des Windens gehören oder nicht.

Lässt man eine Schlingpflanze sammt dem Topf, in welchem sie gezogen wurde, mittelst des Klinostats langsam rotiren, in der Art, dass die Stütze horizontal steht und sich um ihre eigene Axe dreht, so werden, wie leicht einzusehen, beide Wirkungen der Schwerkraft, der Geotropismus und das Eigengewicht, vollständig eliminirt. Bezüglich des Eigengewichts muss freilich noch die besondere Bedingung gestellt werden, dass das frei vorstehende Ende, so oft es über der Stütze liegt, keine andern Contactpunkte zeige, als wenn es nach einer halben Umdrehung nach unten gekehrt ist. Diese Bedingung erfüllt jedoch die Pflanze, wenn auch nicht immer, so doch in vielen Fällen von selbst.

Derartige Rotationsversuche ergaben nun stets ein negatives Resultat; die Pflanze nutirt nach allen Seiten, aber sie windet nicht, sondern wächst in ungefähr geradliniger Richtung und nahezu parallel mit der Stütze weiter (s. Fig. 6; *a* oberster Contactpunkt). Damit ist bewiesen, dass entweder die geotropische Krümmung, oder die Wirkung des Eigengewichtes, oder beide zugleich für den Vorgang des Windens wesentlich sind. Aus den Versuchen, welche im folgenden Paragraphen beschrieben sind, geht nun aber hervor, dass die Pflanze auch dann zu winden fortfährt, wenn das Eigengewicht der Spitze vollständig oder sogar mehr als vollständig contrebancirt wird, so dass weder ein Drehungsmoment, noch ir-

gend ein nach unten gerichteter Zug sich geltend machen kann. Von den beiden Wirkungen der Schwerkraft fällt also das Eigengewicht ausser Betracht, der Geotropismus allein ist Bedingung des Windens.

Nachdem dies festgestellt, erübrigt nur noch, die mechanischen Wirkungen der geotropischen Krümmung darzulegen. Wir werden bald erkennen, dass sich hieraus dieselben Momente ergeben, die schon beim Ergreifen der Stütze zur Wirkung kamen, nämlich ein Drehungsmoment und ein Biegungs- oder Krümmungsmoment. Auch wirken beide in demselben Sinne wie oben; das Drehungsmoment bedingt antidrome Torsion, das Biegungsmoment Krümmung nach der Stütze hin.

Um sich hiervon zu überzeugen, denke man sich ein nutirendes Ende in der Stellung Fig. 10, A. Der Punkt a sei der oberste Contactpunkt, der Bogen ab bilde in der Horizontalprojection (Fig. 10, B) ungefähr einen Halbkreis, der Punkt b stehe um einige Millimeter von der Stütze ab. Dann leuchtet ein, dass der Geotropismus aufrichtend auf den Bogen ab wirken muss; namentlich wird die Aufwärtskrümmung zwischen p und q ganz direct dazu beitragen, das Ende b der Stütze näher zu bringen und endlich den Contact mit derselben herbeizuführen. Der Bogen ab zeigt alsdann die Lage $a b_1$. Damit ist indessen die Wirkung des Geotropismus noch nicht abgeschlossen; dieselbe dauert auch nach Herstellung des Contactes fort und verursacht nun dieselben Spannungen, wie sie beim Ergreifen der Stütze in Folge der Nutationskrümmung entstehen. Wäre die Stütze frei und ohne Widerstand beweglich, so würde sie sich etwas schief stellen; da sie es nicht ist, so wirkt ihr Widerstand in b_1 drehend und krümmend zugleich auf den bei a liegenden Stengeltheil.

Geotropische und Nutationskrümmungen addiren sich also in ihren Wirkungen. Beide sind für das Winden gleich unentbehrlich, wenn sie auch quantitativ ungleich theilhaftig sein mögen. Ihr Gesamteffect in Bezug auf Torsion ist gerade gross genug, um eine Auswärtskrümmung in Folge der Nutation zu verhüten. So oft der Contact zwischen Endknospe und Stütze hergestellt wird, geht die Krümmung zunächst mehr oder weniger genau nach innen, was sich natürlich bloss durch Vergrösserung der Spannung verräth, dann in schiefer oder zur Stütze paralleler Richtung nach oben, wobei die Endknospe thatsächlich und meist ruckweise auf-

wärts gleitet. Aber während dies geschieht, vollzieht sich auch die in Rede stehende antidrome Torsion, so dass die ursprüngliche Innenseite, auf welche nun im weitem Verlauf der Nutationsbewegung die Convexität übergeht, sich gleichzeitig mehr nach unten verschiebt. Es kommt deshalb nicht zu einer nach aussen concaven Krümmung, sondern höchstens zur Aufhebung des Contactes. Ausser dem Gegendruck der Stütze trägt übrigens auch die Reibung der Endknospe an der Oberfläche dazu bei, die antidrome Torsion zu steigern und dadurch die Auswärtskrümmung derjenigen Internodien zu verhindern, welche dabei irgendwo den Reibungswiderstand zu überwinden hätten.

Eine vollständig klare Einsicht in diese complicirten mechanischen Vorgänge lässt sich indessen nur gewinnen, wenn man die successiven Stadien der fraglichen Krümmungs- und Torsionsbewegungen von Zeit zu Zeit, etwa alle Viertelstunden, durch geeignete Nachbildungen fixirt. Ich wählte hierzu Bleiröhren, wie man sie bei Luftdrucktelegraphen anwendet. Dieselben sind hinlänglich biegsam und haben überdies den erforderlichen Durchmesser, um die an der Pflanze selbst angebrachten Tuschpunkte oder Tuschlinien mit der nöthigen Genauigkeit nachzubilden (beispielsweise mittelst Silbernitrat). Hat man in dieser Weise alle wichtigeren Bewegungszustände während 2 bis 3 Nutationsperioden naturgetreu modellirt, so hält es bei sorgfältiger Vergleichung der Modelle nicht schwer, die während der Beobachtung eingetretenen Veränderungen auf ihre mechanischen Ursachen zurückzuführen. Blosser Beschreibungen und Skizzen dagegen erweisen sich für diesen Zweck als ungenügend.

Es liegt nämlich die Gefahr nahe, die hier zu erörternden mechanischen Probleme für einfacher zu halten, als sie wirklich sind. Man darf sich z. B. nicht vorstellen, dass die antidrome Torsion für einen gegebenen Punkt auf der Stengeloberfläche innerhalb 24 Stunden soviel Kreisumläufe betrage, als die Nutationsbewegung in entgegengesetzter Richtung beschreibt. Wäre dies richtig, so müsste z. B. eine Schlingpflanze mit zweistündiger Nutationsperiode, wenn sie nach 24 Stunden eine neue Windung gebildet hat, auf die Gesamtlänge dieser Windung 12 Torsionsumläufe zeigen, während sie in Wirklichkeit vielleicht nur um 300 bis 400° gedreht erscheint. Aus diesem Grunde ist auch die Ansicht von de Vries, nach welcher die constant nach innen gerich-

tete Concavität der nutirenden Spitze durch das Drehungsmoment derselben bedingt sein soll, von vorne herein zu verwerfen. Denn die wirkliche, angeblich vom Drehungsmoment herrührende Torsion ist pro Längeneinheit stets viel kleiner, als der in Graden ausgedrückte Betrag der Nutationsbewegung während der Herstellung einer solchen Einheit durch Wachsthum.

Auch die Annahme, dass die Nutation bei regelmässigem Winden durch irgend eine Ursache verhindert werde, steht mit den Thatsachen im Widerspruch. Die Pflanze nutirt vielmehr in sehr augenfälliger Weise fort. Ihre Endknospe erscheint bald steil aufgerichtet, bald bis zur Horizontalen niedergedrückt; jetzt hebt sie sich von der Stütze ab, dann tritt sie wieder mit ihr in Contact. Verhindert wird also nicht die Nutation, sondern nur die nach aussen concave Krümmung und auch dies nur theilweise durch die erwähnte antidrome Torsion. Diejenigen Stengeltheile, welche von der Endknospe oder irgend einem andern Contactpunkte in acro-fugaler Richtung um eine halbe Windung abstehen, können einfach deshalb sich nicht nach aussen krümmen, weil die biegende Componente der Contactwirkung nach innen zieht. Die Contactwirkung selbst aber erstreckt sich von der Endknospe mindestens auf eine ganze Umwindung nach rückwärts. Denn sobald man die Pflanze in der oben geschilderten Weise langsam rotiren lässt und dadurch den Geotropismus eliminirt, rollt sich die oberste Windung wieder ab und die etwa noch bleibenden schwachen Krümmungen werden durch die starke, gleichsinnige Torsion, die beim Nichtwinden sofort eintritt, bald vollständig verwischt. Ältere Windungen dagegen, welche längere Zeit den krümmenden und drehenden Kräften ausgesetzt gewesen, zeigen keine oder doch nur geringe Veränderungen.

Nach dem Gesagten ist nun auch vorauszusehen, dass das Winden in all' den Fällen unmöglich ist, in welchen das Zustandekommen des Contactes auf irgend eine andere Weise, statt durch Rotation, verhindert wird. Setzt man z. B. den obern Theil der Stütze aus kurzen Stücken zusammen, die man mittelst axilen Drahtstiften auf einander befestigt, und entfernt jedesmal, so oft ein Contact der Endknospe bevorsteht und so lange er dauern würde, das in gleicher Höhe befindliche Stück der Stütze sammt den darüber liegenden, so verhält sich die Pflanze als ob gar keine

Stütze vorhanden wäre, d. h. sie windet nicht, sondern richtet sich auf und zeigt gleichsinnige Drehung.

§ 5.

Über den vermeintlichen Einfluss des Eigengewichtes der Spitze.

Schon oben wurde die Behauptung aufgestellt, dass das Drehungsmoment des frei vorstehenden Sprossgipfels nicht zu den wesentlichen Bedingungen des Windens gehöre. Hier soll nun die Richtigkeit dieser Behauptung durch experimentelle Belege erwiesen werden.

Das Drehungsmoment des frei nutirenden Gipfels lässt sich in zwei Factoren zerlegen, nämlich in das Eigengewicht desselben und in die Länge des wirksamen Hebelarmes. Ist z. B. ab (Fig. 12) der Gipfel, p dessen Schwerpunkt, G das Eigengewicht, so beträgt das Drehungsmoment für den Punkt $a = G \times pr$, wenn pr das Perpendikel auf die Tangente von a darstellt.

Die Grösse des Eigengewichtes variirt natürlich sehr je nach der Beschaffenheit der Versuchspflanze. Für *Calystegia dahurica* gestatten jedoch die nachstehend verzeichneten Ergebnisse verschiedener Wägungen eine approximative Schätzung. Die Sprossgipfel rührten sämmtlich von Exemplaren her, welche unter denselben Bedingungen (in dunstgesättigter Luft bei c. 30° C.) vegetirt hatten, wie die eigentlichen Versuchsobjecte. Freilandpflanzen sind kräftiger gebaut, die Enden oft mehr als doppelt so schwer.

- 1) Sprossgipfel von 8^{cm} Länge, frisch abgeschnitten und gewogen: 103 Milligramm.
- 2) Sprossgipfel von 5^{cm} Länge, nach Entfernung eines Blattes frisch gewogen: 45 Milligramm.
- 3) Sprossgipfel von 6,5^{cm} Länge, aussergewöhnlich dünn: 20 Milligramm.
- 4) Sprossgipfel von 14^{cm} Länge: 125 Milligramm.

Da nun die Gesamtlänge ab des frei nutirenden Gipfels gewöhnlich nicht über 4—5 Centimeter beträgt, so ist klar, dass das durchschnittliche Eigengewicht, welches bei *Calystegia dahurica* zur Geltung kommt, mit 80 Milligramm jedenfalls vollständig contrabalancirt werden kann. Demgemäss wurde ein etwas grösseres Gewicht, nämlich 100 Milligramm, an einen Coconfaden oder auch an einen Bindfaden gehängt, der über eine feine Rolle gezogen und

mit dem andern Ende an der Spitze der Versuchspflanze befestigt war (Fig. 11). Die Rolle selbst wog nur 2,7 Gramm, hing an einem etwa anderthalb Meter langen Faden und konnte somit von der fortwachsenden Spitze fast widerstandslos gedreht oder im Kreise herumgeführt werden. Sie war auch so empfindlich, dass ein Übergewicht von 10 Milligramm bei einer Belastung von 100 Milligramm und bei Anwendung des weniger biegsamen, aber bequemeren Bindfadens genügte, um unter allen Umständen eine Bewegung hervorzurufen. Der thatsächlich auf die Endknospe wirkende Zug betrug also mindestens 90 Milligramm. Auch bemerke ich noch, dass die Empfindlichkeit der Rolle durch das Hängen im feuchten Raum während 7 Tagen nicht merklich verändert wurde.

Diesen Versuch habe ich mehrere Male wiederholt und stets dasselbe Resultat erhalten: das Winden wurde nicht gestört. Die einzelnen Versuchspflanzen blieben dem Zug des Gegengewichts jedesmal so lange ausgesetzt, bis sie wenigstens eine ganze Windung gebildet hatten.

Übrigens giebt es noch ein viel einfacheres Mittel, um sich von der Wirkungslosigkeit des Eigengewichtes zu überzeugen. Lässt man nämlich eine Schlingpflanze um eine Stütze winden, deren Dicke ungefähr dem zulässigen Maximum gleichkommt, so bleibt die Endknospe ununterbrochen mit der Oberfläche im Contact, und die durch den Druck bedingte Reibung ist gross genug, um das Eigengewicht vollständig ausser Wirkung zu setzen; die Endknospe bleibt unbeweglich an ihrer Stelle, wenn sie durch ein entsprechendes Gewicht contrebalancirt wird. Für *Calystegia dahurica* genügt schon ein Durchmesser von 2,5 Centimeter, um dieses Ziel zu erreichen. Die Pflanze wächst auf der Oberfläche einer solchen Stütze gleichsam kriechend, mit stetig angeschmiegttem Gipfel, fort und bildet regelmässige Windungen.

Für Diejenigen, welche diese Versuche zu wiederholen beabsichtigen, füge ich noch bei, dass die Anwendung einer feinen Rolle behufs Herstellung eines genau bekannten Zuges nach oben nicht wohl zu umgehen ist. Glasstäbe, Drahtstücke etc., über welche der belastete Bindfaden gezogen wird, verursachen eine viel zu starke und namentlich eine viel zu variable Reibung, als dass auf diesem Wege ein sicheres Experimentiren möglich wäre. Man weiss nie genau, ob die thatsächlich wirksame Zugkraft auch gross genug ist, um das Eigengewicht der Spitze zu eliminiren. Ein

allzugrosses Übergewicht, das allerdings solche Zweifel nicht aufkommen liesse, darf aber andererseits unter keinen Umständen angewandt werden, weil dasselbe vermöge seines Drehungsmomentes starke homodrome Torsionen und zuletzt ein Abgleiten von der Stütze herbeiführen würde. Es ist also nothwendig, das Eigengewicht der Spitze approximativ zu bestimmen und das Gegengewicht nicht mehr als höchstens bis zum doppelten Betrag zu steigern.

Bei meinen vorläufigen Versuchen mit *Calystegia* erwies sich z. B. schon ein Gegengewicht von 200 Milligramm als zu hoch gegriffen. Der untere Theil der nutirenden Spitze zeigte am andern Tage starke homodrome Torsion, welche nur durch den allzu kräftigen Zug nach oben bedingt sein konnte, und zuletzt erfolgte Abgleiten der Endknospe nach rückwärts. In gleicher Weise sind zum Theil auch die von de Vries (l. c. p. 325) beschriebenen, durch ein Gewicht von 2,5 Gramm veranlassten oder doch voraussichtlich sehr gesteigerten Torsionen zu erklären.

§ 6.

Der Durchmesser der Stütze und die Neigung der Windungen.

Nach dem, was oben über das Ergreifen der Stütze gesagt wurde, besteht zwischen der Länge des nutationsfähigen Gipfels, sowie der Stärke der Nutationskrümmungen einerseits und der maximalen Dicke der Stütze, um welche die Pflanze noch winden kann, andererseits eine leicht zu überblickende Wechselbeziehung. Soll z. B. ein Baum von 4 Fuss Umfang als Stütze umschlungen werden, so muss der nutationsfähige Theil der Pflanze jedenfalls etwas mehr als 2 Fuss lang sein, um in schief aufstrebender Stellung einen mechanisch wirksamen Doppelcontact herstellen zu können; auch muss der Radius der Nutationskrümmungen demjenigen der Stütze einigermassen angepasst sein.

In der That bilden die Bäume umschlingenden Lianen der Tropen, soweit ich nach den in unsern Gärten cultivirten Repräsentanten derselben mir ein Urtheil erlauben darf, sehr lange Triebe, welche einen ziemlich dicken Stamm im Halbkreis zu umspannen vermögen, und auch der einheimische Hopfen und vielleicht in noch höherem Grade *Lonicera Periclymenum* sind vermöge der nämlichen Eigenschaft für dickere Stützen angepasst, als z. B. *Calystegia*,

Ipomoea oder *Phaseolus*. Der nutirende Bogen, welcher das Greifen bewerkstelligen soll, befindet sich einer zu dicken Stütze gegenüber in derselben Lage, wie z. B. eine menschliche Hand, welche mit Daumen und Finger ein cylindrisches Object von ca. 15 bis 20 Centimeter Durchmesser oder darüber zu fassen bemüht ist; er ist zu kurz, um den Contact an zwei annähernd opponirten Punkten herzustellen, und gleitet daher leicht aus, wodurch das Winden unmöglich wird.

Wie steil die Windungen einer Schlingpflanze ansteigen, wenn die Stütze die grösstmögliche Dicke besitzt, ist eine Frage, die sich wohl nur empirisch lösen lässt. Nach Beobachtungen an *Calystegia* beträgt dieser Grenzwert der Neigung, gemessen an Stützen von 2,5 Centimeter Durchmesser, ungefähr 40—45 Grad. Von diesem Werthe ausgehend, ist dagegen aus theoretischen Gründen vor auszusehen, dass die Windungen mit abnehmender Dicke der Stütze steiler werden müssen, weil alsdann der Spielraum für die geotropische Aufwärtskrümmung sich mehr und mehr vergrössert. Das Maximum der Steilheit muss bei einem schlaff gespannten Bindfaden eintreten, der nicht bloss eine minimale Dicke, sondern überdies noch eine gewisse Biegsamkeit besitzt.

Die Erfahrung bestätigt diese theoretischen Folgerungen. Bei *Calystegia dahurica* erreicht die Neigung der Windungen schon bei einer Stütze von 4 Millimeter Durchmesser ca. 70—75°, differirt also von dem beobachteten Minimalwerth um volle 30 Grad. Noch dünnere Stützen ergeben eine Steigerung bis auf ca. 85° und darüber.

Mit der Neigung variirt natürlich auch der gegenseitige Abstand der Windungen. Derselbe betrug bei *Calystegia*, wenn die Stütze = 2,5 Centimeter dick war, ca. 7 Centimeter und sank beim Winden um eine 4 Millimeter dicke Glasröhre auf 2,5 Centimeter herunter.

Ähnliche Differenzen in Bezug auf Neigung und Abstand der Windungen beobachtet man auch bei andern Schlingpflanzen. So betrug z. B. die Neigung einer *Ipomoea*, die sich um eine hölzerne Stütze von 6 Millimeter Durchmesser gewunden hatte, ca. 76° und der durchschnittliche Abstand der Windungen = 7 Centimeter, während ein anderes Exemplar derselben Pflanze, das eine 1,5 Centimeter dicke Stütze umwand, nur ca. 58° gegen die Horizontale ge-

neigt war, wobei die Höhe der Windungen ca. 7,5 Centimeter erreichte.

Ein nachträgliches Steilerwerden der fertigen Windungen, wie es de Vries als wahrscheinlich hinstellt, habe ich bei meinen Versuchen niemals beobachtet. Die Windungen blieben in allen maassgebenden Fällen absolut unverändert; man kann sich auch leicht überzeugen, dass sie durch die biegenden Componenten der Contactwirkung fest an die Stütze angeedrückt werden, so dass in der Regel jede Verschiebung durch die gewöhnlichen, beim Winden wirksamen Kräfte ausgeschlossen ist.

§ 7.

Zur Bestimmung der antidromen Torsion.

Obschon die bisherigen Beobachter ihr Augenmerk mehr auf die gleichsinnige Torsion nicht windender Sprosse, als auf die durch das Winden bedingte gegenläufige gerichtet haben¹⁾, so ist doch leicht zu constatiren, dass der Stengel schlingender Pflanzen bei regelmässigem Winden stets antidrom gedreht ist und folglich homodrome Drehungen in diesem Falle gar nicht vorkommen. Man braucht nur einen der bessern Schlinger unter Verhältnissen zu cultiviren, welche etwaige Störungen zu beseitigen oder doch zu controliren gestatten, um die Richtigkeit dieser Thatsache durch unmittelbare Beobachtung ausser Zweifel zu stellen.

Ich halte es deshalb für überflüssig, die scheinbar widersprechenden Angaben früherer Autoren hier speciell zu berücksichtigen; denn die Frage, ob die beobachteten homodromen Drehungen wirklich bei regelmässigem Winden oder vielmehr während der Zeit des Nichtwindens entstanden, ist von keinem derselben gestellt worden. Doch bemerke ich noch ausdrücklich, dass ich *Lygodium scandens*, von welchem bei Darwin (l. c. p. 31) die Rede ist, ebenfalls untersucht und an den gewundenen Stellen stets antidrome Torsion beobachtet habe. Die entgegengesetzten Drehun-

¹⁾ Vgl. die einschlägigen historischen Notizen bei de Vries (l. c. p. 330). Die mechanischen Betrachtungen Darwin's (l. c. p. 128) und die von Nägeli und mir im „Mikroskop“ (2. Aufl. p. 419 unter e) aufgestellte Beziehung bedürfen, wie aus dem Folgenden erhellt, der Ergänzung und theilweise der Berichtigung.

gen kommen also voraussichtlich auch hier nur während der Zeit des Nichtwindens zu Stande¹⁾).

In diesem Sinne erklärt sich auch die bekannte Angabe Léon's, dass *Phaseolus multiflorus* constant antidrom tordirt sei, während *Convolvulus* bald rechts- und bald linksläufige Drehungen zeige²⁾. Nach meiner Auffassung ist damit gesagt, dass *Phaseolus* regelmässig, *Convolvulus* dagegen unregelmässig gewunden hatte und deshalb neben antidromen auch homodrome Torsionen zeigte, welche letztere natürlich bloss während der Zeit des Nichtwindens entstanden.

Soweit wäre also die Sachlage klar. Sobald es sich aber darum handelt, den Betrag der antidromen Drehung mit möglicher Genauigkeit zu ermitteln, wird es nothwendig, die geometrische Seite der Frage etwas genauer zu prüfen, als es bisher geschehen ist.

Nehmen wir zunächst an, es werde ein cylindrischer Stab durch successive Biegungen in verschiedenen Ebenen schraubenlinig um eine Stütze herumgeführt. Die Einrichtung sei so getroffen, dass jede Biegung durch ein Charniergelenk mit quer gestellter Drehungsaxe (s. Fig. 13 u. 14) ausgeführt werden kann. Wie verläuft alsdann eine ursprüngliche Longitudinallinie des geraden Stabes im gewundenen Zustand?

Man ersieht sofort aus den citirten Figuren, welche die beiden Zustände veranschaulichen, dass eine solche Krümmung einen scheinbar spiraligen Verlauf der Seitenlinie *ab* bedingt; denn während der untere Endpunkt (bei *a* in Fig. 14) auf der Aussenseite der

¹⁾ Damit in Übereinstimmung schreibt mir Hr. Dr. H. Ambronn, der inzwischen nach Leipzig übersiedelte, von dort aus: „*Lygodium scandens* ist im hiesigen Garten nicht vorhanden. An einem Exemplare des hiesigen Herbariums, welches mit der Stütze gesammelt war, fanden sich zwei gut erhaltene Windungen, die beide deutlich antidrome Torsion zeigten.“ Ebenso verhält sich, nach weiteren Mittheilungen Ambronn's zu schliessen, *Lygodium volubile* und *Blechnum volubile*, welche beide im Leipziger Garten cultivirt werden.

²⁾ Léon, Bull. Soc. Bot. de France, Tome V (1858), p. 356. Die betreffende Angabe lautet wörtlich: La direction de la torsion des axes n'est pas invariable, même sur la même tige; elle est très souvent en sens inverse de la volubilité dans les Liserons, constamment dans le Haricot d'Espagne (*Phaseolus multiflorus* Willd.).

Windung liegt, erscheint b nach oben und jeder noch höher gelegene Punkt mehr oder weniger nach innen gerückt. Es hat also von a bis b eine scheinbare Torsion von ca. 90° stattgefunden, was für eine ganze Windung ca. 180° ergibt. Von einer wirklichen Torsion, d. h. von einer Verschiebung der successiven Querschnittsscheiben in der Art, wie ein laufender Mühlstein auf dem andern sich verschiebt, kann jedoch unter den gegebenen Umständen nicht die Rede sein; der Stab ist bloss nach verschiedenen Seiten gekrümmt, beziehungsweise zwischen je zwei Stücken durch Bewegung der Charniergelenke quer gebrochen worden.

Für die genauere Berechnung dieser scheinbaren Drehungen, welche beim Biegen um eine Queraxe immer eintreten, ist es zweckmässig, zwei- bis vielkantige Stützen vorauszusetzen und die Windungen so herzustellen, dass sie sich der jedesmaligen Stütze dicht anlegen. Die successiven Biegungen mittelst der Gelenke finden alsdann nur in den Kanten statt, wodurch die Aufgabe etwas vereinfacht wird.

Sei also AB (Fig. 5) ein reguläres dreikantiges Prisma und ms die Kante, um welche die bezeichnete Biegung vollzogen werden soll. Denken wir uns jetzt den gegebenen Stab (Fig. 13) in der Richtung qr so auf das Prisma gelegt, dass eines der Gelenke auf die Kante ms fällt, und drücken wir hierauf den rechts und links liegenden Theil nach unten, bis sich beide an die in ms zusammenstossenden Prismenflächen angelegt haben. Dann wird eine Seitenlinie des Stabes, welche auf der links liegenden Prismenfläche genau nach aussen gewendet ist, auf der benachbarten etwas nach oben zu stehen kommen, und es fragt sich nun, wie viele Grade diese scheinbare Drehung beträgt.

Um diesen Drehungswinkel zu bestimmen, legen wir durch die beiden in der Kante ms zusammenstossenden Theile des Stabes eine auf der hintern Prismenfläche AB senkrechte Ebene pqr , welche mit den beiden andern Flächen eine dreikantige körperliche Ecke bildet; die drei Kantenwinkel derselben sind qpr , qps und spr . Es leuchtet nun ein, dass der zu bestimmende Drehungswinkel gleich ist der Differenz zwischen den beiden Winkeln, welche unsere Schnittfläche qpr mit den beiden Prismenflächen qps und spr bildet. Diese Winkel sind aber nichts anderes als die Flächenwinkel der genannten körperlichen Ecke für die Kanten qp und pr . Setzen wir jetzt noch die Neigung der

Windungen = 45° , so wird der Kantenwinkel qps ebenfalls = 45° und $spr = 135^\circ$. Da ferner der Prismenwinkel in der Kante ps gleich 60° ist, so ist hiermit die Aufgabe in die gewünschte mathematische Form gebracht und kann nun sowohl auf geometrischem Wege als mit Hülfe der sphärischen Trigonometrie gelöst werden. Ich wähle die letztere Lösung.

Das sphärische Dreieck, welches unserer Aufgabe entspricht, ist in Fig. 8 veranschaulicht und in üblicher Weise bezeichnet. Gegeben sind der Winkel $C = 60^\circ$ und die Seiten $b = 135^\circ$ und $a = 45^\circ$; gesucht wird die Differenz $A - B$, welche nach der Formel

$$\operatorname{tang} \frac{A-B}{2} = \cot \frac{1}{2} C \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}(a-b)}{\sin \frac{1}{2}(a+b)} = \cot 30^\circ \cdot \frac{\sin -45^\circ}{\sin 90^\circ}$$

zu berechnen ist. Man erhält für die Kante ms eine scheinbare Drehung von $101^\circ 32'$, folglich für alle drei Kanten oder eine ganze Windung = $304^\circ 36'$.

In gleicher Weise lassen sich nun auch die scheinbaren Torsionen für vier-, fünf- bis vielkantige Prismen berechnen; man hat nur nöthig, in obiger Formel die entsprechenden Winkelwerthe einzusetzen. Nachstehend sind die Ergebnisse der Rechnung für einige Fälle zusammengestellt.

Stütze	Scheinbare Torsion bei 45° Neigung	
	pro Windung	pro Kante
3 kantig	$304^\circ 36'$	$101^\circ 32'$
4 kantig	$282^\circ 8'$	$70^\circ 32'$
5 kantig	$271^\circ 50'$	$54^\circ 22'$
6 kantig	$266^\circ 24'$	$44^\circ 24'$
10 kantig	$258^\circ 40'$	$25^\circ 52'$
20 kantig	$256^\circ -$	$12^\circ 48'$
100 kantig	$254^\circ 26'$	$2^\circ 32' 40''$
200 kantig	$254^\circ 26'$	—

Für die cylindrische Stütze beträgt hiernach die scheinbare Drehung, wenn wir die Secunden vernachlässigen, ebenfalls $254^{\circ}26'$ pro Windung, d. h. eine ursprüngliche Seitenlinie rückt beispielsweise von der Aussenseite eines windenden Stengels nach oben, dann nach innen und unten, und erreicht nach 1,4 Windungen wieder die Aussenseite.

Der Betrag der scheinbaren Drehung nimmt unter gleichen Umständen mit der Neigung der Windungen zur Horizontalen ab und zu. Je steiler die Windungen, um so stärker die Drehungen. Dies lässt sich sowohl durch Rechnung beweisen, als auch mit Hilfe des Apparates (Fig. 13 u. 14) veranschaulichen, indem der letztere verschieden geneigte Windungen nachzubilden gestattet. Nur darf hierbei nicht übersehen werden, dass die Bestimmung der Torsionsgrösse durch unmittelbare Beobachtung auf Genauigkeit keinen Anspruch erheben darf, sondern einzig und allein den Zweck haben kann, das Steigen und Fallen der Werthe im Allgemeinen darzuthun.

Einige der auf diesem Wege erhaltenen Winkelwerthe sind in folgender Übersicht zusammengestellt. Der Neigungswinkel wurde aus der gemessenen Höhe und Länge eines Schraubenganges berechnet und die Lage der schwarzen Linie am Ausgangs- und Endpunkt auf einem Kreise so genau als möglich angegeben; der gegenseitige Abstand konnte alsdann mit dem Transporteur gemessen werden. Die letzte Columne enthält überdies die genaueren berechneten Werthe des Drehungswinkels. Die Berechnung wurde, um den Einfluss des Neigungswinkels recht augenfällig hervortreten zu lassen, für 10kantige, also annähernd runde Stützen auf verschiedene Neigungen zwischen 45° und 85° ausgedehnt.

Stütze oder deren Raum	Neigung der Windungen	Scheinbare Torsion pro Windung	
		beobachtet	berechnet
3 kantig	10°40'	ca. 100°	106°42'
4 kantig	15°33'	ca. 115°	120°—
5 kantig	21°20'	ca. 140°	148°—
6 kantig	28°45'	ca. 180°	186°—
7 kantig	35°33'	ca. 200°	219°20'
8 kantig	38°41'	ca. 225°	232°16'
9 kantig	43°15'	ca. 245°	252°—
[10 kantig	45°—	—	258°40']
10 kantig	55°32'	ca. 280°	300°—
10 kantig	65°—	—	328°20'
10 kantig	75°—	—	348°20'
10 kantig	85°—	—	358°40'

Ganz anders stellt sich dagegen der Verlauf der Seitenlinien eines gewundenen Stengels heraus, wenn die jedesmaligen Biegungen um schiefe, statt um quergestellte Axen stattfinden. Wählen wir zur Orientirung wieder drei- bis mehrkantige Stützen und setzen wir den extremen Fall voraus, dass die Axen der Charniergelenke, die wir uns auch hier in den Kanten angebracht denken wollen, mit den letzteren parallel verlaufen. Dann verhält sich der windende Stengel wie ein Papierstreifen (Fig. 15), welcher um die Stütze gewunden und über jeder Kante, dem Verlaufe derselben entsprechend, gebrochen wird: die scheinbare Drehung unterbleibt, alle Seitenlinien behalten ihre relative Lage zur Stütze. In dieser Art sind z. B. auch die Ranken von *Bryonia* gewunden, wo bekanntlich die morphologisch obere Seite durchgehends die Aussenseite der Windungen bildet.

Wie verhält sich nun die windende Pflanze gegenüber diesen Extremen? Offenbar nähert sie sich dem letztern Extrem (das denn auch die Autoren stillschweigend als gegeben betrachten),

jedoch ohne demselben ganz zu entsprechen. Wir wissen ja, dass der greifende Bogen des nutirenden Gipfels nicht die constante Neigung der fertigen Windungen besitzt. Derselbe nutirt vielmehr nach oben und unten und ist demgemäss bald steil aufgerichtet, bald quer oder nahezu quer gestellt, und auch der zum Greifen nöthige Doppelcontact kommt bei sehr verschiedener Neigung zu Stande. Die biegenden Componenten der Contactwirkung treffen also jedesmal einen etwas veränderten Hebelapparat. Steht der Bogen horizontal, so findet die Biegung um eine zu seiner Längsrichtung quer gestellte Axe statt; steht er dagegen schief, so verschiebt sich begreiflicherweise auch die Axe, um welche die Biegung erfolgt. Da nun die einzelnen Biegungsvorgänge sich einer genauen Bestimmung entziehen, so folgt aus dem Gesagten, dass auch die Berechnung der scheinbaren Torsionen keineswegs mit mathematischer Schärfe durchführbar ist. Es kann folglich vorkommen, dass es unmöglich ist zu sagen, ob ein Internodium wirklich gedreht oder nicht gedreht ist; denn der Nullpunkt, von dem aus zu rechnen wäre, ist unbekannt.

Da indess die biegenden Componenten, wie schon oben betont wurde, auf eine ganze Windung zurückwirken und die untere Hälfte dieses Windungsumlaufes sich doch schon mehr der mittleren Neigung nähert, so ist es wahrscheinlich, dass die bleibenden Krümmungen durchschnittlich unter Verhältnissen stattfinden, welche dem zweiten der oben erwähnten Extreme näher stehen als dem ersten.

Man wird sich also nicht allzuweit von der Wahrheit entfernen, wenn man in Übereinstimmung mit den bisherigen Beobachtungen einen gewundenen Stengel, an welchem durchgehends die nämliche Kante auf der Aussenseite der Windungen verläuft, als nicht gedreht bezeichnet. Aber genauer genommen, erscheinen die ursprünglichen Seitenlinien der Internodien nach Herstellung der Windungen in ihrer Lage zur Stütze etwas verschoben, d. h. schwach gedreht und zwar mit Bezug auf die Windungen gegenläufig. Die wirkliche antidrome Torsion ist daher immer etwas kleiner, als sie beim Abmessen von der Aussenseite der Windungen aus gefunden wird.

Beobachtungen über die Grösse der antidromen Torsion habe ich nur an *Calystegia dahurica* mit einiger Sorgfalt angestellt und zwar der grösseren Sicherheit wegen an Versuchsexemplaren, welche eine

Zeit lang regelmässig gewunden hatten. Die Torsionsgrösse erreichte hier ungefähr 430 Grad pro Windung. Frei in der Natur vorkommende Schlingpflanzen sind für solche Messungen im Allgemeinen nicht günstig, da hier ein Winden ohne Störungen zu den Seltenheiten gehört. Sobald beispielsweise das nutirende Ende, nachdem es sich vorher steil aufgerichtet, an der Stütze rückwärts ausgleitet, treten die bekannten homodromen Torsionen ein, die stets so lange dauern, bis das regelmässige Winden wieder fortgesetzt wird. Es ist einleuchtend, dass die Zuverlässigkeit der Beobachtungen, die man nachträglich am gewundenen Stengel anstellt, durch solche Störungen beeinträchtigt wird. Noch weniger sind cultivirte Pflanzen zu gebrauchen, bei welchen die Hand des Gärtners nachgeholfen hat.

Man darf übrigens nicht erwarten, dass der Betrag der antidromen Torsion eine constante Grösse sei. Denn das Verhältniss zwischen biegenden und drehenden Componenten ist in den verschiedenen Punkten des noch nicht fixirten Gipfeltheils, dessen Länge nach Früherem ungefähr eine Windung beträgt, jedenfalls merklich verschieden. Der greifende Bogen entwickelt zuweilen, so oft er nämlich horizontal gestellt und mit der Stütze im Doppelcontact ist, nur krümmende Kräfte, der mehr aufgerichtete, rückwärts liegende Theil dagegen stets auch drehende, und zwar nehmen diese letztern mit der Steilheit der Windungen an Grösse zu. Drehend wirkt überdies, wenn auch als entbehrlicher Factor, das Eigengewicht der Spitze. Es ist demnach sicher, dass weder die Drehung, noch die Krümmung gleich Null werden kann; aber beide sind innerhalb gewisser Grenzen variabel.

Es leuchtet überdies ein, dass die relative Dauer des Contacts, welche ihrerseits vom Durchmesser der Stütze abhängig ist, die Grösse der antidromen Torsion mitbeeinflusst. Die letztere erreicht bei gegebener Neigung der Windungen ihr Maximum, wenn die Stütze die grösstmögliche Dicke besitzt, indem alsdann der Contact zwischen ihr und der Endknospe niemals aufgehoben wird. Dies scheint auch dann noch der Fall zu sein, wenn der Durchmesser der Stütze und die Neigung der Windungen, wie es in Wirklichkeit geschieht, entgegengesetzt variiren. So beobachtete ich z. B. an einer *Calystegia*, welche sich gleichsam kriechend um eine Stütze von 2,5 Centimeter gewunden hatte, Drehungen von 700—800° pro Windung.

Die directeste Art, solche Drehungen zu constatiren und annähernd richtig zu bestimmen, besteht darin, den windenden Stengel im obersten Contactpunkt oder in dessen Nähe mit einer feinen Stecknadel oder sonst wie zu befestigen¹⁾ und dann die Drehbewegung einer mit Tusche bezeichneten Stelle, welche sich oberhalb jenes Punktes befindet, zu beobachten. Beträgt z. B. der Abstand der zu beobachtenden Stelle vom Befestigungspunkt $\frac{1}{4}$ des Stützenumfangs und rückt das mit Tusche gemachte Zeichen allmählig von der Unterseite des Stengels nach der Aussen- und dann nach der Oberseite, so ist die Torsion pro Windung auf $4 \times 180 = 720^\circ$ zu veranschlagen.

§ 8.

Ist vielleicht doch ein Reiz vorhanden?

Nach dem Vorhergehenden ist klar, dass die beim Winden der Schlingpflanzen vorkommenden Krümmungen durch wesentlich andere Kräfte zu Stande kommen, als die analogen Krümmungen der Ranken, bei welchen bekanntlich der Reiz die biegenden Componenten liefert. Schon die stets vorhandenen antidromen Drehungen, durch welche jene sich auszeichnen, weisen auf einen principiell verschiedenen Mechanismus hin.

Man kann indess immer noch den Einwand erheben, dass die Arbeitsleistung dieses eigenthümlichen Mechanismus, deren genaue Berechnung ja anerkannter Maassen unmöglich sei, vielleicht nicht ganz hinreiche, um den vollen Betrag der vorhandenen Krümmungen zu decken. Und wenn dies der Fall, so liege die Vermuthung nahe, dass der übrig bleibende Rest am Ende doch auf Rechnung einer stumpfen Reizbarkeit im Sinne Mohl's zu setzen sei.

Um diesen Einwand zu entkräften, ist zunächst daran zu erinnern, dass die schon Eingangs erwähnten Versuche von Charles Darwin und H. de Vries auch nicht die Spur einer Reizbarkeit ergeben haben. Meine eigenen, in gleicher Weise angestellten Experimente lieferten dasselbe Resultat. Und doch scheint mir namentlich die Anwendung der Drehwaage, welche einen continuir-

¹⁾ Um die zuweilen schädlichen Wirkungen der Verwundung zu vermeiden, habe ich später mit Vortheil, zumal bei Schlingpflanzen mit dünnen Internodien, Streifen von Heftpflaster angewendet.

lichen Druck auf die convexe Rückenseite des nutirenden Gipfels herzustellen gestattet, ein sicheres Mittel zu sein, um eine etwaige Reizbarkeit zu constatiren; ich lasse deshalb eine kurze Beschreibung dieses Versuches folgen.

An einer dünnen, ca. meterlangen Schnur pd (Fig. 7) hängt der horizontale Waagebalken bc , an welchem in b die Stütze ab lothrecht befestigt ist; nöthigenfalls kann dieselbe in c durch ein entsprechendes Gewicht contrebalancirt werden. Wird jetzt durch Drehung der Schnur eine ansehnliche Torsionsspannung erzeugt, so übt die Stütze ab offenbar einen entsprechenden Druck auf jeden Gegenstand aus, welcher einer Rückwärtsdrehung im Wege steht, somit auch auf den nutirenden Gipfel $\alpha\beta$, dessen Bewegungen sie folgt, ohne an Druckkraft merklich zu verlieren. Man kann sich nun leicht überzeugen, dass dieser continuirliche und mit Druck verbundene Contact nicht die geringste Krümmung nach der Stütze hin zur Folge hat.

Ebenso beobachtete ich an einem Sprossgipfel, welcher in der Region des obersten Contactpunktes zwischen zwei Papiercylinder eingeklemmt und also von beiden Seiten gleich stark gedrückt war, nicht die geringste Tendenz, sich nach demjenigen Cylinder hinzuwenden, mit welchem die convexe Seite in Berührung war. Die Pflanze wand ungestört um den andern Cylinder, den sie durch Herstellung des Doppelcontactes ergreifen konnte.

Aber auch abgesehen von diesen Versuchen, welche behufs einer directen Beantwortung der gestellten Frage ausgeführt wurden, spricht schon die Art und Weise, wie die bleibenden Krümmungen zu Stande kommen, gegen die Annahme einer wenn auch noch so geringen Reizbarkeit. Während nämlich bei den Ranken, wo der Reiz unzweifelhaft die Entstehung der Windungen bedingt, die Contactzone sich ganz allmählig und ohne Unterbrechungen verlängert, etwa wie beim Aufrollen eines Seiles um eine Walze, beobachten wir im Verlaufe der obersten noch nicht fixirten Windung schlingender Stengel an zwei oder mehreren Stellen eine periodische Herstellung und Wiederaufhebung des Contactes, bedingt durch die gleichzeitige Wirkung der Nutation und des Geotropismus. Hätte nun der Reiz an diesen Contactstellen irgend welchen Einfluss auf die Krümmungen, so müsste derselbe sich jedesmal nach Aufhebung des Contactes durch eine schwache Nachwirkung, wie wir

sie bei den Ranken wahrnehmen, bemerklich machen, — was nicht der Fall ist.

Solche Nachwirkungen kommen bekanntlich auch bei geotropischen und heliotropischen Krümmungen, desgleichen bei den paratonischen Bewegungen der Blätter vor, während wir sie den rein mechanischen Componenten, welche aus der Contactwirkung entspringen, selbstverständlich nicht zuschreiben dürfen; denn diese letzteren verhalten sich wie die Kräfte, die irgend eine Feder spannen. Geotropische Nachwirkungen lassen sich nun gerade bei den Schlingpflanzen leicht constatiren. Die ursprüngliche Aufwärtskrümmung erfolgt nämlich, wie leicht einzusehen, in lothrechter Ebene; aber man kann stets die Wahrnehmung machen, dass die Wirkung noch fort dauert, nachdem diese Ebene sich in Folge der Torsion etwas schief gestellt hat. In gleicher Weise müsste auch die Krümmung durch Reiz, sofern eine solche stattfindet, jedesmal nach derjenigen Seite hin fort dauern, welche während des Contactes nach innen gerichtet war; aber eben diese Inductionskrümmung kommt nicht zum Vorschein. Wir gelangen also auch auf diesem Wege zu dem Resultat, dass eine Reizwirkung nicht vorhanden ist.

Überdies spricht auch das Verhalten der Pflanze bei langsamem Rotiren um eine horizontale Axe (vgl. § 4 und Fig. 6) gegen die Möglichkeit einer Reizwirkung. Denn wäre eine solche vorhanden, so müsste der Contactpunkt *a* auch ohne Mitwirkung des Geotropismus etwas vorrücken, da ja der Reiz durch die Rotation nicht beseitigt wird. Das ist nun aber entschieden nicht der Fall. Vielmehr rollt sich die letzte halbe oder ganze Windung, soweit nämlich die Krümmung noch keine bleibende geworden, wieder ab und die etwa noch übrig bleibende schwache Biegung wird durch die allmählig stärker hervortretende homodrome Drehung bald vollständig verwischt. Der Contactpunkt wird also bald nach Beginn des Experiments nach rückwärts verschoben und ein nachträgliches Vorrücken desselben findet nicht statt.

§ 9.

Über einige Fragen untergeordneter Art.

In den citirten Abhandlungen über das Winden findet man ausser den bereits behandelten noch einige Erscheinungen hervor-

gehoben, die nach dem Gesagten theils selbstverständlich, theils zufällig oder von untergeordneter Bedeutung sind. Die wichtigeren derselben sollen im Folgenden kurz besprochen werden.

Schon Mohl und Palm haben festgestellt, dass die Pflanzen um horizontale Stützen nicht winden können. Diese Thatsache erklärt sich von selbst, sobald man weiss, dass der Geotropismus Bedingung des Windens ist. Denn es ist einleuchtend, dass die geotropischen Krümmungen des nutirenden Gipfels mit Bezug auf die horizontale Stütze convex oder concav sind, je nachdem derselbe oben oder unten zu liegen kommt. Die beiderlei Krümmungen sind nun aber offenbar aequivalent, sofern die Rotation eine gleichmässige ist, heben sich also gegenseitig auf; der Geotropismus ist eliminirt.

Ferner ist constatirt, dass die Schlingpflanzen an lothrechten oder geneigten Stützen niemals in der Richtung von oben nach unten winden. Auch dieses Verhalten erklärt sich aus der Mitwirkung des Geotropismus, welcher das nutirende Ende immer wieder nach oben krümmt, wenn etwa das Eigengewicht eine Senkung herbeigeführt hatte. Gäbe es Pflanzen, deren nutirende Stengel nach Art der Wurzeln positiv geotropisch wären, oder gäbe es Wurzeln (z. B. Luftwurzeln) mit entsprechenden Nutationskrümmungen, so müssten dieselben umgekehrt in der Richtung von oben nach unten, nicht aber in der entgegengesetzten winden können¹⁾.

Lässt man eine Schlingpflanze um eine zweischneidige Stütze, beispielsweise um einen Papierstreifen winden, so hängt es von der Breite dieses Streifens ab, ob ein regelmässiges Winden möglich ist oder nicht. Beträgt diese Breite 30—35 Millimeter, so braucht z. B. eine *Calystegia* längere Zeit, bis sie von einer Kante zur andern hinübergewachsen und diese letztere zu ergreifen im Stande ist. Während dieser Zeit nutirt die Spitze begreiflicher Weise ziemlich frei, da die breite Seite der Stütze keine fassbaren Punkte darbietet; es treten daher die bekannten gleichsinnigen Torsionen ein, wie sie beim Nichtwinden immer stattfinden, und erst wenn die Kante ergriffen ist, sind vorübergehend die normalen Bedin-

¹⁾ Nach Beobachtungen von Fritz Müller, mitgetheilt von Ch. Darwin (l. c. p. 144), besitzen die Luftwurzeln eines brasilianischen *Philodendron* in der That das Vermögen, um die Stämme gigantischer Bäume zu winden.

gungen des Windens wieder hergestellt. In solchen Fällen ist natürlich die schliessliche Torsion im Mittel eine ganz andere, als bei regelmässigem Verlauf des Wachstumsprocesses.

Ähnliche Unregelmässigkeiten stellen sich natürlich auch dann ein, wenn die Pflanze um mehrkantige Stützen von ansehnlicher Dicke oder um mehrere benachbarte Stützen windet, wie es z. B. bei den Mohl'schen Versuchen (l. c. § 81) der Fall war.

Ob ein windender Stengel, der eben eine Stütze gefunden und dieselbe im Punkte a (Fig. 4) berührt, auch rückwärts von diesem Punkte sich concav gegen die Stütze krümmt, was schon Mohl (l. c. p. 148) nicht selten beobachtet hat, hängt nach der im Vorhergehenden entwickelten Theorie von den Umständen ab. Unter den in unserer Figur dargestellten Verhältnissen würde z. B. der Bogen ab das Bestreben zeigen, sich geotropisch aufwärts zu krümmen. Dieses Bestreben kann jedoch, da a ein Contactpunkt ist, nur dadurch zur Geltung kommen, dass b sich senkt und in die Lage b_1 übergeht. In diesem Falle findet also allerdings ein Anlegen des rückwärts vom Punkte a befindlichen Stengeltheils an die Stütze statt; aber selbstverständlich liegt hierin kein Beweis zu Gunsten der Reizbarkeit.

Dass Schlingpflanzen in ihren wachstumsfähigen Theilen einem mechanischen Zuge leicht nachgeben, lässt sich ohne Weiteres erwarten. Ebenso ist es eine allgemein gültige Regel, dass gewaltsame Krümmungen, welche durch solche Kräfte hervorgerufen sind, im Verlaufe des Wachstums allmählig in bleibende übergehen. Dessenungeachtet mag als specieller Beleg hierfür noch erwähnt werden, dass es möglich ist, eine linkswindende Pflanze zu rechtsläufigen Windungen zu veranlassen, wenn die Endknospe mit einer über die Stütze geschobenen feinen Drahtspirale verbunden wird, welche in Folge schwacher Torsion einen dauernden, nach rechts gerichteten Zug ausübt. Auf diese Weise behandelt, machte z. B. eine *Calystegia* 2 bis 3 rechtsläufige Windungen, wobei die federnde Spirale nur mit einer Kraft von ca. 5 bis 10 Gramm wirksam war (d. h. die Federkraft konnte mit 5 bis 10 Gramm aequilibrirt werden). Das rechtsläufig gewundene Stück war in seinem untern Theil links gedreht, d. h. so, wie sonst an nichtwindenden Sprossen, oben dagegen rechts. Diese letztere Drehung ist offenbar nur die mechanische Folge der acti-

ven Linksdrehung im untern Theil, da das obere Ende — ähnlich wie bei den Ranken — nicht frei rotiren konnte.

Endlich sei hier noch einer angeblichen Beobachtung von Dutrochet gedacht, wonach die Blattspirale schlingender Gewächse mit der Windungsrichtung übereinstimmen soll. Linkswindende Pflanzen würden sich also durch eine linksläufige Grundspirale auszeichnen, und umgekehrt. Diese in der einschlägigen Literatur wiederholt betonte Übereinstimmung besteht jedoch in Wirklichkeit durchaus nicht; die Blattspirale ist von der Windungsrichtung unabhängig.

§ 10.

Wechselbeziehung zwischen Nutation und gleichsinniger Drehung.

Dass die kreisende Nutationsbewegung eine gleichsinnige Richtung der Windungen bedingen muss, ist nach dem Vorhergehenden klar. Da nun auch die Torsionen, welche während der Zeit des Nichtwindens eintreten, die nämliche Richtung einhalten, so drängt sich die Frage auf, ob vielleicht zwischen Nutation und homodromer Torsion ein Causalnexus bestehe, in dem Sinne etwa, dass die Torsion als die unvermeidliche Folge der Nutationsbefähigung zu betrachten wäre.

Nun ist allerdings keine Aussicht vorhanden, diese Frage definitiv beantworten zu können, da ja die Nutation selbst ein sehr wenig aufgeklärter Vorgang ist; aber es mag doch gestattet sein, auf eine nahe liegende Möglichkeit hinzuweisen. Wir wissen, dass die convexe Seite nutirender Stengel die grösste Wachstumsintensität besitzt und dürfen mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit annehmen, dass diesem maximalen Wachsthum eine maximale Turgescenz entspreche. Da nun die Curve, welche der nutirende Theil einer Schlingpflanze bildet, höchstens vorübergehend ein einfacher Bogen, in der Regel aber eine Schraubenlinie ist, welche mit Bezug auf rechts und links mit der Windungsrichtung übereinstimmt, so ist damit auch ein schraubenliniger Gewebestreifen mit maximalem Turgor gegeben. Ein solcher Gewebestreifen muss folgerichtig auch das grösste Verlängerungsbestreben zeigen und da dieses Streben in eine longitudinale und eine transversale Componente zerlegbar ist, so ist eine wirkliche Verlängerung nur möglich, indem der

Streifen sich zugleich stärker gegen die Horizontale neigt. Daraus folgt aber die Nothwendigkeit einer homodromen Torsion.

Man kann diese drehende Wirkung des Turgors veranschaulichen, wenn man mehrere schraubenlinig gewundene Kautschukröhren zu einem seilartigen System verbindet und dann eine derselben oder auch zwei neben einander liegende durch Hineinpressen von Luft oder Wasser unter höhern Druck versetzt als die übrigen. Dieser Überdruck verursacht alsdann in den betreffenden Röhren ebenfalls ein Streben nach Verlängerung, von welchem auch hier ein Theil durch gesteigerte Torsion des ganzen Systems zum Ausdruck gelangt.

Während des Windens kann natürlich dieses Streben nach homodromer Torsion nicht zur Geltung kommen, weil der Widerstand der Stütze, wenigstens für die Dauer des Contactes, ein absolutes Hinderniss ist und ein etwaiger Rest durch die vom Winden untrennbare antidrome Torsion verdeckt wird.

In wie weit Blattkletterer und Rankenträger, welche nach Darwin (l. c. p. 6) ebenfalls deutlich nutiren, aber dessenungeachtet keine Torsionen zeigen, von den eigentlichen Schlingpflanzen sich unterscheiden, ist mir nicht bekannt. Von dem angedeuteten mechanischen Gesichtspunkt aus muss natürlich auf die Möglichkeit hingewiesen werden, dass die nicht tordirten Internodien bezüglich der Art der Nutationsbewegung von den tordirten abweichen. Ob dies in Wirklichkeit zutrifft, müssen weitere Untersuchungen lehren.

Erklärung der Abbildungen.

- Fig. 1—3. Horizontalprojection des Sprossgipfels einer linkswindenden Pflanze nebst Stütze. Der oberste Contactpunkt der Windungen bei freinutirender Spitze ist mit *a* bezeichnet, die Endknospe, welche hier ebenfalls mit der Spitze in Berührung getreten ist, mit *b*. Der punktirte Umriss in Fig. 1 und 2 bezeichnet die Lage, welche der greifende Bogen nach eingetretener Spannung einnehmen würde, wenn die Stütze in *b* keinen Widerstand leistete.
- Fig. 4. Horizontalprojection einer Schlingpflanze, welche die Stütze im Punkt *a* berührt. Der punktirte Umriss bezeichnet die Lage, welche durch getropische Krümmung herbeigeführt werden kann.

- Fig. 5. Dreiseitiges Prisma, durch welches die Ebene qpr senkrecht zur hintern Prismafläche gelegt wurde. Die Neigung ist so gewählt, dass die Schnittlinien qp und pr Winkel von 45° mit der Horizontalen bilden. Die Figur bietet die geometrischen Anhaltspunkte zur Berechnung der scheinbaren Torsion.
- Fig. 6. Sprossgipfel einer *Calystegia*, welche einige Zeit bei horizontaler Lage der Stütze langsam rotirt hatte. Die Stütze war zugleich Rotationsaxe. a oberster Contactpunkt der fertigen Windungen.
- Fig. 7. Veranschaulichung des Versuchs mit der Drehwaage. Der Querbalken der Waage ist mit bc , der Aufhängefaden mit pd , die Stütze mit ba , der Sprossgipfel der Schlingpflanze mit $\alpha\beta$ bezeichnet.
- Fig. 8. Sphärisches Dreieck zur Berechnung der scheinbaren Torsion.
- Fig. 9. Veranschaulichung des Versuches mit dem frei herabhängenden Papiercylinder P . Derselbe hängt an dem Faden hg und ist seitlich mit einem feinen Draht oder Faden ts versehen, welcher die Entfernung des Cylinders von dem greifenden Bogen verhindert.
- Fig. 10. Veranschaulichung der Wirkungen des Geotropismus. A schematisirte Seitenansicht eines Sprossgipfels ab nebst Stütze; B Horizontalprojection des nämlichen Gipfels. In Folge der geotropischen Aufwärtskrümmung nimmt der Gipfel die Lage ab_1 an, d. h. die Endknospe wird gegen die Stütze gedrückt.
- Fig. 11. Veranschaulichung des Versuches mit der feinen Rolle, mittelst welcher das Eigengewicht des Gipfels in zweckmässiger Weise contrebalancirt werden konnte.
- Fig. 12. Horizontalprojection der frei vorstehenden Spitze nebst Stütze; p Schwerpunkt derselben. Das in p concentrirt gedachte Eigengewicht, multiplicirt mit der Hebellänge pr , giebt das Drehungsmoment.
- Fig. 13. Ein cylindrischer Stab, aus kurzen Gliedern bestehend, welche durch Charniergelenke verbunden sind. Die letzteren stehen in einer Schraubenlinie, wodurch das Herumführen des Stabes um eine Stütze möglich wird. ab eine schwarze Linie.
- Fig. 14. Derselbe Stab im gewundenen Zustande, wobei eine Glasröhre als Stütze dient. Der Stab erscheint jetzt tordirt, indem die schwarze Linie bei a auf der Aussenseite, bei b dagegen auf der Oberseite der Windung liegt.

Fig. 15. Ein Papierstreifen, welcher um eine mehrkantige Stütze gewunden wurde, so zwar, dass die Biegung des Streifens in den Kanten um eine hierzu parallele Axe stattfand.

1. December. Sitzung der philosophisch-historischen Klasse.

Hr. Weber las über die heilige Litteratur der Dschaina.

