

*Kaiser-Wilhelm-Institut
für Züchtungsforschung*

Ch. Darwin's
gesammelte Werke.

Aus dem Englischen übersetzt

von

J. Victor Carus.

Autorisirte deutsche Ausgabe.

Dreizehnter Band.

Das Bewegungsvermögen der Pflanzen.

* Mit 196 Holzschnitten.

STUTTGART.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch).

1881.

Das

Bewegungsvermögen der Pflanzen

von

Charles Darwin

mit Unterstützung von

Francis Darwin.

Aus dem Englischen übersetzt

von

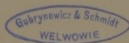
J. Victor Carus.

Mit 196 Holzschnitten.

STUTTGART.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch).

1881.



Inhalt.

Einleitung S. 1

Erstes Capitel.

Die circumnutirenden Bewegungen von Sämlingen.

Brassica oleracea, Circumnutation des Würzelchens, des gekrümmten Hypocotyls, solange er noch unter der Erde eingegraben, im Begriffe sich zu erheben und gerade zu strecken ist und wenn er aufrecht steht. — Circumnutation der Cotyledonen. — Schnelligkeit der Bewegung. — Analoge Beobachtungen über verschiedene Organe bei Arten von *Githago*, *Gossypium*, *Oxalis*, *Tropaeolum*, *Citrus*, *Aesculus*, von verschiedenen Leguminosen- und Cucurbitaceen-Gattungen, *Opuntia*, *Helianthus*, *Primula*, *Cyclamen*, *Stapelia*, *Cerithe*, *Nolana*, *Solanum*, *Beta*, *Ricinus*, *Quercus*, *Corylus*, *Pinus*, *Cycas*, *Canna*, *Allium*, *Asparagus*, *Phalaris*, *Zea*, *Avena*, *Nephrodium* und *Selaginella* S. 8

Zweites Capitel.

Allgemeine Betrachtungen über die Bewegungen und das Wachstum von Pflanzensämlingen.

Allgemeinheit der circumnutirenden Bewegung. — Würzelchen, ihre Circumnutation ist von Nutzen. — Art und Weise, in welcher sie den Boden durchdringen. — Die Art, in welcher die Hypocotyle und andere Organe durch ihr Gekrümmtsein den Boden durchbrechen. — Eigenthümliche Keimungsweise bei *Megarhiza* etc. — Fehlschlagen der Cotyledonen. — Circumnutation der Hypocotyle und Epicotyle, während sie noch unter der Erde und gekrümmt sind. — Ihr Vermögen sich zu strecken. — Bersten der Samenhüllen. — Vererbte Wirkung des Krümmungsprocesses bei unterirdischen Hypocotylen. — Circumnutation von Hypocotylen und Epicotylen im aufrechten Zustande. — Circumnutation der Cotyledonen. — Pulvini oder Gelenke der Cotyledonen, Dauer ihrer Thätigkeit, rudimentär bei *Oxalis corniculata*, ihre Entwicklung. — Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen das Licht und davon abhängige Störung ihrer periodischen Bewegungen. — Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen Berührung S. 55

Drittes Capitel.

Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen Berührung und gegen andere Reize.

Art und Weise, in welcher die Würzelchen sich biegen, wenn sie im Boden auf ein Hindernis treffen. — *Vicia faba*. Die Spitzen der Würzelchen im hohen Grade gegen Berührung und andere Reize empfindlich. — Wirkungen einer zu hohen Temperatur. — Vermögen, zwischen auf gegenüberliegenden Seiten angehefteten Gegenständen zu unterscheiden. — Die Spitzen secundärer Würzelchen sensitiv. — *Pisum*. Spitzen der Würzelchen sensitiv. — Wirkungen einer derartigen Empfindlichkeit bei der Überwindung des Geotropismus. — Secundäre Würzelchen. — *Phaseolus*. Spitzen der Würzelchen gegen Berührung kaum empfindlich, gegen Ätzmittel aber in hohem Grade empfindlich, ebenso wie gegen die Entfernung eines Schnittchens. — *Tropaeolum*. — *Gossypium*. — *Cucurbita*. — *Raphanus*. — *Aesculus*. Die Spitze gegen leichte Berührung nicht empfindlich, gegen Ätzmittel in hohem Grade empfindlich. — *Quercus*. Spitze gegen Berührung in hohem Grade empfindlich. — Unterscheidungsvermögen. — *Zea*. Spitze in hohem Grade empfindlich, secundäre Würzelchen. — Empfindlichkeit der Würzelchen gegen feuchte Luft. — Zusammenfassung des Capitels S. 109

Viertes Capitel.

Die circumnutirenden Bewegungen der verschiedenen Theile erwachsener Pflanzen.

Circumnutation der Stämme: Schlussbemerkungen hierüber. — Circumnutation von Stolonen: dadurch für das Winden zwischen den Stämmen umgebender Pflanzen dargebotene Hülfe. — Circumnutation der Blätter von Dicotyledonen. — Eigenthümliche oscillatorische Bewegung der Blätter von *Dionaea*. — Die Blätter von *Cannabis* senken sich des Nachts. — Blätter von Gymnospermen, — von Monocotyledonen, — Cryptogamen. — Schlussbemerkungen über die Circumnutation von Blättern: heben sich allgemein am Abend und senken sich am Morgen S. 172

Fünftes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Kletterpflanzen; epinastische und hypnastische Bewegungen.

Circumnutation durch innere Ursachen oder durch die Wirkung äusserer Bedingungen modificirt. — Innere Ursachen. — Kletterpflanzen; Ähnlichkeit ihrer Bewegungen mit denen gewöhnlicher Pflanzen; vermehrte Amplitude; gelegentliche Differenzpunkte. — Epinastisches Wachstum junger Blätter. — Hypnastisches Wachstum der Hypocotyle und Epicotyle von Sämlingen. — Hakenförmige Spitzen von kletternden und anderen Pflanzen, Folge modificirter Circumnutation. — *Ampelopsis tricuspidata*. — *Smithia Pfundii*. — Geradestreckung der Spitze, Folge der Hyponastie. — Epinastisches Wachstum und Circumnutation der Blütenstiele von *Trifolium repens* und *Oxalis carnosa* S. 222

Sechstes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Schlaf- oder nyctitropische Bewegungen, ihr Nutzen: Schlaf der Cotyledonen.

Vorläufige Skizze der nyctitropischen Bewegungen von Blättern. — Anwesenheit von Polstern. — Die Verringerung der Strahlung als Endursache der nyctitropischen Bewegungen: Art und Weise, in welcher Experimente an den Blättern von *Oxalis*, *Arachis*, *Cassia*, *Melilotus*, *Lotus* und *Marsilea* und an den Cotyledonen von *Mimosa* angestellt wurden. — Schlussbemerkungen über die Strahlung von Blättern. — Kleine Verschiedenheiten in den Bedingungen bringen eine große Verschiedenheit in dem Resultate hervor. — Beschreibung der nyctitropischen Stellung und Bewegungen der Cotyledonen verschiedener Pflanzen. — Liste der Species. — Schlussbemerkungen. — Unabhängigkeit der nyctitropischen Bewegungen der Blätter und der Cotyledonen einer und derselben Species. — Gründe für die Annahme, dass die Bewegungen zu einem speciellen Zwecke erlangt worden sind S. 237

Siebentes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Nyctitropische oder Schlafbewegungen der Blätter.

Für diese Bewegungen nothwendige Bedingungen. — Liste der Gattungen und Familien, welche schlafende Pflanzen enthalten. — Beschreibung der Bewegungen in mehreren Gattungen. — *Oxalis*: Blättchen des Nachts gefaltet. — *Averrhoa*: rapide Bewegungen der Blättchen. — *Portieria*: Blättchen schlieszen sich, wenn die Pflanze sehr trocken gehalten wird. — *Tropaeolum*: Blätter schlafen nicht, wenn sie während des Tages nicht gut beleuchtet worden sind. — *Lupinus*: Verschiedene Weisen des Schlafs. — *Melilotus*: eigenthümliche Bewegungen des terminalen Blättchens. — *Trifolium*. — *Desmodium*: rudimentäre seitliche Blättchen, deren Bewegungen, an jungen Pflanzen nicht entwickelt; Polster. — *Cassia*: complicirte Bewegungen der Blättchen. — *Bauhinia*: Blättchen des Nachts gefaltet. — *Mimosa pudica*: zusammengesetzte Bewegungen der Blätter, eine Wirkung der Dunkelheit. — *Mimosa albida*: verkümmerte Blättchen. — *Schrankia*: Abwärtsbewegung der Fiedern. — *Marsilea*: die einzige cryptogame Pflanze von der bekannt ist, dass sie schläft. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung. — Nyctitropismus besteht in modificirter Circumnutation, durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit regulirt. — Gestalt der ersten wahren Blätter S. 270

Achstes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Durch das Licht angeregte Bewegungen.

Unterschied zwischen Heliotropismus und den Wirkungen des Lichts auf die Periodicität der Bewegungen von Blättern. — Heliotropische Bewegungen von *Beta*, *Solanum*, *Zea* und *Avena*. — Heliotropische Bewegungen nach einem schwachen Lichte hin bei *Apios*, *Brassica*, *Phalaris*, *Tropaeolum* und *Cassia*. — Apheliotropische Bewegungen der Ranken von *Bignonia*. — Der Blütenstengel von *Cyclamen*. — Eingraben der Samenkapsel. — Heliotropismus und Apheliotropismus modificirte Formen von Circumnutation. — Schritte, durch

welche eine Bewegung in die andere umgewandelt worden ist. — Transversaler Heliotropismus oder Diaheliotropismus, beeinflusst von Epinastie, dem Gewichte des Theils und Apogeotropismus. — Apogeotropismus während der Mitte des Tags von Diaheliotropismus überwältigt. — Wirkungen des Gewichts der Cotyledonscheiben. — Sogenannter Tagesschlaf. — Chlorophyll durch intensives Licht geschädigt. — Bewegungen um intensives Licht zu vermeiden. S. 356

Neuntes Capitel.

Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Licht; seine fortgeleiteten Wirkungen.

Nutzen des Heliotropismus. — Insectenfressende und kletternde Pflanzen nicht heliotropisch. — Ein und dasselbe Organ auf einer Altersstufe heliotropisch und auf einer andern nicht. — Ausserordentliche Empfindlichkeit einiger Pflanzen gegen das Licht. — Die Wirkungen des Lichts entsprechen nicht seiner Intensität. — Wirkungen vorausgehender Beleuchtung. — Für die Wirkung des Lichts erforderliche Zeit. — Nachwirkungen des Lichts. — Apogeotropismus wirkt sobald das Licht fehlt. — Genauigkeit, mit welcher Pflanzen sich nach dem Lichte biegen. — Dies hängt von der Beleuchtung der einen ganzen Seite des Theils ab. — Localisirte Empfindlichkeit gegen das Licht und seine fortgeleiteten Wirkungen. — Cotyledonen von *Phalaris*, Art sich zu biegen. — Resultate des Ausschlusses des Lichts von ihren Spitzen. — Unter die Oberfläche des Bodens fortgeleitete Wirkungen. — Seitliche Beleuchtung der Spitze bestimmt die Richtung der Krümmung der Basis. — Cotyledonen von *Avena*, die Krümmung des basalen Theils, Folge der Beleuchtung des oberen Theils. — Ähnliche Resultate bei den Hypocotylen von *Brassica* und *Beta*. — Würzelchen von *Sinapis* apheliotropisch, Folge der Empfindlichkeit ihrer Spitzen. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung des Capitels. — Mittel, durch welche die Circumnutation in Heliotropismus und Apheliotropismus umgewandelt worden ist S. 383

Zehntes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Durch Gravitation angeregte Bewegungen.

Beobachtungsmittel. — Apogeotropismus. — *Cytisus*. — *Verbena*. — *Beta*. — Allmähliche Umwandlung der Circumnutationsbewegung in Apogeotropismus bei *Rubus*, *Lilium*, *Phalaris*, *Avena* und *Brassica*. — Apogeotropismus durch Heliotropismus verlangsamt, — durch Hülfen von Gelenken oder Polstern ausgeführt. — Bewegungen der Blütenstengel von *Oxalis*. — Allgemeine Bemerkungen über Apogeotropismus. — Geotropismus. — Bewegungen der Würzelchen. — Eingraben von Samenkapseln. — Nutzen des Vorgangs. — *Trifolium subterraneum*. — *Arachis*. — *Amphicarpaea*. — Diageotropismus. — Schluss S. 422

Elftes Capitel.

Localisirte Empfindlichkeit gegen die Schwerkraft und ihre fortgeleiteten Wirkungen.

Allgemeine Betrachtungen. — *Vicia faba*: Wirkungen der Amputation der Spitzen der Würzelchen. — Regeneration der Spitzen. — Wirkung der geotropischen

Einwirkung, wenn die Spitzen kurze Zeit derselben ausgesetzt sind, und deren späterer Amputation. — Wirkungen einer schrägen Amputation ihrer Spitzen. — Wirkungen der Ätzung der Spitzen. — Wirkungen eines Fettüberzuges auf die Spitzen. — *Pisum sativum*: Spitzen der Würzelchen quer und auf ihren oberen und unteren Seiten cauterisirt. — *Phaseolus*: Cauterisation und Fettüberzug der Spitzen. — *Gossypium*. — *Cucurbita*: Spitzen quer und auf ihren oberen und unteren Seiten cauterisirt. — *Zea*: Spitzen cauterisirt. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung des Capitels. — Vortheil der in den Spitzen der Würzelchen localisirten Empfindlichkeit für Geotropismus S. 448

Zwölftes Capitel.

Zusammenfassung und Schlussbemerkungen.

Natur der circumnutirenden Bewegung. — Geschichte eines keimenden Samenkorns. — Das Würzelchen tritt zuerst hervor und circumnutirt. — Seine Spitze in hohem Grade empfindlich. — Hervorbrechen des Hypocotyls und des Epicotyls aus der Erde unter der Form eines Bogens. — Seine Circumnutation und die der Cotyledonen. — Der Sämling treibt einen blatttragenden Stamm. — Die Circumnutation sämmtlicher Theile oder Organe. — Modificirte Circumnutation. — Epinastie und Hyponastie. — Bewegungen kletternder Pflanzen. — Nyctitropische Bewegungen. — Durch Licht und Gravitation angeregte Bewegungen. — Localisirte Empfindlichkeit. — Ähnlichkeit zwischen den Bewegungen der Pflanzen und Thiere. — Die Spitze des Würzelchens wirkt wie ein Gehirn S. 469

Einleitung.

Der hauptsächlichste Zweck des vorliegenden Werkes ist, mehrere grosse Gruppen von Bewegungserscheinungen, welche beinahe allen Pflanzen gemeinsam zukommen, zu beschreiben und mit einander in Verbindung zu bringen. Die am weitesten verbreitete Bewegung ist wesentlich von derselben Art wie die des Stammes einer kletternden Pflanze, welcher sich nach einander nach allen Punkten der Windrose hin bewegt, so dass die Spitze rotirt. Diese Bewegung hat SACHS „revolutive Nutation“ genannt; ich habe es aber für zweckmässiger gefunden, die Ausdrücke *Circumnutation* und *circumnutiren* zu brauchen. Da wir über diese Bewegung Vieles zu sagen haben, dürfte es von Nutzen sein, hier kurz ihre Natur zu schildern.

Wenn wir einen *circumnutirenden* Stamm beobachten, welcher zur Zeit zufällig, wir wollen sagen, nach Norden gebogen ist, so werden wir finden, dass er sich nach und nach immer mehr nach Osten biegt, bis er Osten gegenübersteht, und so fort nach Süden, dann nach Westen und endlich wieder nach Norden. Wenn die Bewegung ganz regelmässig gewesen wäre, würde die Spitze einen Kreis beschrieben haben, oder vielmehr, da der Stengel immer nach oben wächst, eine kreisförmige Spirale. Sie beschreibt aber meistens unregelmässige, elliptische oder ovale Figuren; denn nachdem die Spitze nach irgend einer Richtung hin gewiesen hat, bewegt sie sich gewöhnlich zwar nach der entgegengesetzten Seite, indessen nicht auf demselben Wege zurückkehrend. Später werden andere unregelmässige Ellipsen oder Ovale nach einander beschrieben, deren längere Achsen nach verschiedenen Punkten der Windrose hingerichtet sind. Während die Spitze derartige Figuren beschreibt, bewegt sie sich oft in einer Zickzacklinie oder beschreibt kleine, untergeordnete Schlingen oder Dreiecke. Bei den Bewegungen der Blätter sind die Ellipsen meist eng.

Bis vor kurzem glaubte man, dass die Ursache aller solcher Beugebewegungen Folge des vermehrten Wachsthums derjenigen Seite sei, welche eine Zeit lang convex wird. Dass diese Seite dann zeitweise schneller wächst als die concave Seite, ist sicher ermittelt worden; aber DE VRIES hat vor kurzem gezeigt, dass ein derartiges, vermehrtes Wachsthum einem vorausgehenden Zustande erhöhter Turgescenz auf der convexen Seite folgt¹. In den Fällen, wo Pflanzentheile mit einem sogenannten Gelenk, Kissen oder pulvinus versehen sind, welches aus einer Anhäufung kleiner Zellen besteht, die von einem sehr frühen Alter an aufgehört haben an Grösze zuzunehmen, treffen wir ähnliche Bewegungen; und hier folgt, wie PFEFFER gezeigt hat², und wie wir im Verlaufe dieses Werkes sehen werden, der erhöhten Turgescenz der Zellen auf gegenüberliegenden Seiten kein vermehrtes Wachsthum. WIESNER bestreitet für gewisse Fälle die Richtigkeit von DE VRIES' Schlussfolgerung in Bezug auf die Turgescenz und behauptet³, dass die vermehrte Ausdehnbarkeit der Zellwandungen das bedeutungsvollere Element ist. Dass eine derartige Ausdehnungsfähigkeit die erhöhte Turgescenz begleiten muss, damit sich der Theil biegen kann, ist offenbar, und dies haben verschiedene Botaniker hervorgehoben; aber bei einzelligen Pflanzen muss es selbstverständlich das bedeutungsvollere Element sein. Im Ganzen können wir für jetzt folgern, dass vermehrtes Wachsthum zuerst auf der einen und dann auf der andern Seite eine secundäre Wirkung ist, und dass die vermehrte Turgescenz der Zellen in Verbindung mit der Ausdehnbarkeit ihrer Wandungen die primäre Ursache der Bewegung der Circumnutation ist⁴.

Im Verlaufe des vorliegenden Bandes wird sich zeigen, dass allem Anscheine nach jeder wachsende Theil einer jeden Pflanze beständig in Circumnutation ist, wenn schon häufig in einem geringen Masse. Selbst

¹ Sachs wies zuerst (Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. p. 762) den innigen Zusammenhang zwischen Turgescenz und Wachsthum nach. Wegen de Vries' interessanter Abhandlung „Wachsthumskrümmung mehrzelliger Organe“ s. Botan. Zeitung, 19. Dec. 1879. p. 830.

² Die periodischen Bewegungen der Blattorgane. 1875.

³ Untersuchungen über den Heliotropismus, in: Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. Wien, Math. nat. Cl. 81. Bd. 1. Abth. (Jan. 1880). p. 7.

⁴ S. Vine's ausgezeichnete Erörterung dieses verwickelten Gegenstands (Arbeit. d. botan. Instituts Würzb. 2. Bd. 1878. p. 142, 143). Hofmeister's Beobachtungen über die merkwürdigen Bewegungen von *Spirogyra*, einer aus einer einzigen Reihe von Zellen bestehenden Pflanze (Jahreshefte d. Ver. vaterl. Naturk. in Württemberg, 1874. p. 211), sind werthvoll in Bezug auf diesen Gegenstand.

die Stämme von Sämlingen circumnutiren, ehe sie den Erdboden durchbrochen haben, ebenso wie ihre eingegrabenen Würzelchen, soweit es der Druck der umgebenden Erde gestattet. In dieser allgemein vorhandenen Bewegung haben wir die Basis oder die Grundlage für das Erlangen der verschiedenartigsten Bewegungen in Übereinstimmung mit den Bedürfnissen der Pflanze. So sind die groszen Schwingungen, welche die Stämme windender Pflanzen und die Ranken anderer Kletterpflanzen beschreiben, das Resultat einer einfachen Zunahme der Amplitude der gewöhnlichen Bewegung der Circumnutation. Die Stellung, welche junge Blätter und andre Organe endlich annehmen, wird dadurch erlangt, dass die circumnutirende Bewegung in irgend einer bestimmten Richtung vermehrt war. Die Blätter verschiedener Pflanzen schlafen des Nachts, wie man sagt, und es wird sich zeigen, dass ihre Blattscheiben dann eine senkrechte Stellung durch eine modificirte Circumnutation annehmen, um ihre obere Fläche gegen das Erkälten infolge der Ausstrahlung zu schützen. Die Bewegungen verschiedener Organe nach dem Lichte hin, welche durch das ganze Pflanzenreich so allgemein sind, und gelegentlich vom Lichte ab oder quer auf das Licht, sind alle modificirte Formen der Circumnutation, wie ebenso die gleichfalls allgemein verbreiteten Bewegungen der Stämme u. s. w. nach dem Zenith und der Wurzeln nach dem Mittelpunkt der Erde hin. In Übereinstimmung mit diesen Folgerungen ist eine beträchtliche Schwierigkeit in Bezug auf die Entwicklung beseitigt; denn man hätte fragen können, wie sind alle diese verschiedenartigen Bewegungen zu den verschiedensten Zwecken zuerst entstanden? Wie der Fall liegt, so wissen wir, dass beständig Bewegung im Gange ist, und ihre Weite oder Richtung oder beides braucht nur zum Besten der Pflanze in Beziehung zu inneren oder äusseren Reizen modificirt zu werden.

Es werden die verschiedenen, modificirten Formen der Circumnutation beschrieben, aber ausserdem noch einige andere Punkte erörtert werden. Die zwei, welche uns am meisten interessirt haben, sind erstens die Thatsache, dass bei einigen Pflanzensämlingen nur der oberste Theil für das Licht empfindlich ist und einen Einflusz auf den unteren Theil fortpflanzt, welcher diesen zu biegen veranlaszt. Wenn daher der obere Theil gänzlich gegen das Licht geschützt ist, kann der untere ihm stundenlang ausgesetzt werden, und doch wird er nicht gebogen, obschon dies schnell eingetreten sein würde, wenn der obere Theil durch das Licht gereizt worden wäre. Zweitens ist bei den

Würzelchen von Sämlingen die Spitze gegen verschiedene Reize empfindlich, besonders gegen sehr geringen Druck, und wenn sie so gereizt wird, pflanzt sie diesen Reiz auf den oberen Theil fort und veranlaszt ihn, sich von der gedrückten Seite abzubiegen. Wenn andererseits die Spitze Wasserdampf ausgesetzt wird, welcher von einer Seite her kommt, so biegt sich der obere Theil des Würzelchens nach dieser Seite hin. Ferner ist es die Spitze, welche, wie CIESIELSKI angegeben hat, ob schon es von anderen gelegnet wird, für die Anziehung der Schwerkraft empfindlich ist und durch Überlieferung dieser Einwirkung die benachbarten Theile des Würzelchens sich nach dem Mittelpunkt der Erde hin zu biegen veranlaszt. Diese verschiedenen Fälle einer Wirkung der Berührung, anderer Reize, des Dampfes, Lichtes und der Anziehung der Schwerkraft, welche von dem gereizten Theile eine geringe Entfernung weit dem in Frage stehenden Organ entlang geleitet werden, haben in Bezug auf die Theorie aller derartiger Bewegungen eine bedeutende Tragweite.

Terminologie. — Eine kurze Erklärung einiger Ausdrücke, welche hier gebraucht werden, musz jetzt eingeschaltet werden. Bei Sämlingen ist der Stamm, welcher die Cotyledonen (d. h. die Organe, welche die ersten Blätter darstellen) trägt, von vielen Botanikern der hypocotyledone Stamm genannt worden. Der Kürze wegen werden wir aber von ihm nur als dem Hypocotyl sprechen; der Stamm unmittelbar über den Cotyledonen wird der Epicotyl oder die plumula genannt werden. Das Würzelchen kann vom Hypocotyl nur durch das Vorhandensein von Wurzelhaaren und durch die Beschaffenheit ihrer Bedeckung unterschieden werden. Die Bedeutung des Wortes Circumnutation ist bereits erklärt worden. Die Botaniker sprechen von positivem und negativem Heliotropismus⁵, d. h. dem Biegen eines Organs nach oder von dem Lichte; es ist aber viel zweckmäßiger, den Ausdruck Heliotropismus auf die Biegung nach dem Lichte hin zu beschränken und die Biegung vom Lichte weg als Apheliotropismus zu bezeichnen. Es gibt noch einen anderen Grund für diese Änderung; denn, wie wir beobachtet haben, lassen die Schriftsteller gelegentlich die Adjectiva positiv und negativ fallen und bringen daher Verwirrung in ihre Discussionen. Diapheliotropismus mag eine mehr oder weniger quer zum Lichte stehende und von ihm veranlaszte Stellung bezeichnen. In gleicher Weise wird der positive Geotropismus oder das Biegen nach dem Mittelpunkte der Erde hin von uns einfach Geotropismus genannt werden; Apogeotropismus bezeichnet das Biegen im Gegensatz zur Schwerkraft oder von dem Mittelpunkt der Erde weg, und Diageotro-

⁵ Die höchst brauchbaren Ausdrücke Heliotropismus und Geotropismus sind zuerst von Dr. A. B. Frank angewendet worden, s. dessen beachtenswerthe „Beiträge zur Pflanzenphysiologie“, 1868.

pismus eine mehr oder weniger quer auf den Radius der Erde gerichtete Stellung. Die Worte Heliotropismus und Geotropismus bezeichnen eigentlich den Act der Bewegung in Beziehung zum Lichte oder zur Erde; aber in derselben Weise, in welcher die Gravitation, obschon sie den Act des Strebens nach dem Mittelpunkte bezeichnet, häufig benutzt wird, um die Ursache des Fallens eines Körpers zu bezeichnen, wird sich auch als zweckmässig herausstellen, gelegentlich Heliotropismus und Geotropismus als die Ursache der in Rede stehenden Bewegungen zu bezeichnen.

Der Ausdruck Epinastie wird jetzt häufig in Deutschland gebraucht und drückt aus, dass die obere Fläche eines Organs schneller wächst als die untere Fläche und hierdurch dasselbe nach unten zu biegen veranlaszt. Hyponastie ist das Umgekehrte hiervon und bezeichnet vermehrtes Wachsthum der unteren Fläche entlang, wodurch der Theil nach oben zu biegen veranlaszt wird⁶.

Beobachtungsmethoden. — Die von uns beobachteten, zuweilen sehr geringen, zuweilen in der Ausdehnung sehr beträchtlichen Bewegungen der verschiedenen Organe wurden in der Weise aufgezeichnet, welche wir nach vielen Versuchen als die zweckmässigste erkannten, und welche wir beschreiben müssen. In Töpfen wachsende Pflanzen wurden ganz gegen das Licht geschützt oder erhielten das Licht von oben oder von einer Seite, wie es der Fall erforderte, und wurden von oben durch eine grosse horizontale Glasplatte mit einer anderen senkrechten Platte an der einen Seite bedeckt. Ein Glasfaden, nicht dicker als ein Pferdehaar und von einem bis drei Viertel Zoll Länge, wurde an den zu beobachtenden Theil mittelst in Alkohol aufgelösten Schellacks befestigt. Wir lieszen die Lösung soweit verdunsten, bis sie so dick wurde, dass sie in zwei oder drei Sekunden hart wurde, und sie verletzte niemals die Gewebe, selbst nicht die Spitzen zarter Würzelchen, auf welche sie applicirt wurde. An das Ende des Glasfadens wurde ein auszerordentlich kleines Tröpfchen schwarzen Siegelacks gekittet, unter oder hinter welchem ein Stückchen Cartons mit einem schwarzen Punkt an einem in die Erde gesteckten Stock befestigt wurde. Das Gewicht des Fadens war so unbedeutend, dass selbst kleine Blätter nicht merkbar niedergedrückt wurden. Eine andere Methode der Beobachtung, wo keine bedeutende Vergrößerung der Bewegung erfordert wurde, soll sofort beschrieben werden. Der Lacktropfen und der Punkt auf dem Carton wurden durch die horizontale oder verticale Glasscheibe (je nach der Stellung des Gegenstandes) beobachtet, und wenn das eine genau das andere deckte, wurde ein Punkt auf die Glasscheibe mit einem scharf zugespitzten, in dicke Tusche eingetauchten Stäbchen gemacht. Weitere Punkte wurden in kurzen Zeitzwischenräumen gemacht, und diese dann später durch gerade Linien verbunden. Die auf diese Weise gezeichneten Figuren waren daher winklig. Wenn aber alle ein oder zwei Minuten Punkte gemacht worden wären, würden die Linien mehr gekrümmt sein, wie es eintrat, wenn man die Würzelchen ihren eigenen Lauf an beruszten Glasplatten zeichnen liesz. Die Punkte genau zu machen, war die ganze Schwierigkeit und erforderte einige Übung.

⁶ Diese Ausdrücke werden in dem angegebenen Sinne gebraucht von de Vries, in: Arbeit. d. bot. Inst. Würzburg, 1872. 2. Heft. p. 252.

Auch konnte dies nicht völlig genau gemacht werden, wenn die Bewegung stark vergrößert wurde, wie z. B. 30mal oder mehr. Aber selbst in diesem Falle konnte man sich auf den allgemeinen Gang der Bewegung verlassen. Um die Genauigkeit der obigen Beobachtungsmethode zu prüfen, wurde ein Faden an einem unbelebten Gegenstand befestigt, den man an einem geraden Rande hin gleiten liesz, wobei wiederholt auf eine Glasscheibe Punkte gemacht wurden. Wurden diese verbunden, so hätte das Resultat eine vollkommene gerade Linie sein müssen, und die Linie war auch sehr nahezu gerade. Ich will noch hinzufügen, dasz, wenn der Punkt auf dem Carton einen halben Zoll unter oder hinter dem Tropfen von Siegelack gemacht wurde, und wenn die Glasscheibe (vorausgesetzt, dasz sie gehörig gekrümmt gewesen wäre) in einer Entfernung von 7 Zoll davor gestanden hatte (die gewöhnliche Entfernung), dann die Zeichnung die Bewegung des Siegelacktropfens 15mal vergrößert darstellte.

Wenn keine bedeutende Vergrößerung der Bewegung erfordert wurde, wurde eine andere und in manchen Beziehungen noch bessere Methode der Beobachtung befolgt. Diese bestand darin, dasz zwei sehr kleine Dreiecke dünnen Papiers, ungefähr $\frac{1}{20}$ Zoll hoch, an die beiden Enden des angehefteten Glasfadens befestigt wurden, und sobald ihre Spitzen in eine Linie gebracht wurden, so dasz sie sich einander deckten, wurden wie vorhin Punkte auf die Glasscheibe gemacht. Nehmen wir an, dasz die Glasscheibe in einer Entfernung von 7 Zoll von dem Ende des Schöszlings, welcher den Glasfaden trägt, absteht, so werden die Punkte, wenn sie verbunden werden, nahezu dieselbe Figur wiedergeben, als wenn ein 7 Zoll langer in Tinte eingetauchter Faden an den sich bewegenden Schöszling befestigt worden wäre und seinen eignen Verlauf auf die Scheibe niedergeschrieben hätte. Die Bewegung wird hierdurch beträchtlich vergrößert; wenn z. B. ein 1 Zoll langer Schöszling sich biegt, und die Glasscheibe steht in der Entfernung von 7 Zoll ab, so wird die Bewegung 8mal vergrößert werden. Es würde indessen sehr schwierig gewesen sein in jedem Falle zu ermitteln, ein wie langer Theil des Schöszlings sich bog, und dies ist zur Ermittlung des Grades, in welcher die Bewegung vergrößert wird, unentbehrlich.

Nachdem nach einer der beiden obigen Methoden Punkte auf die Glasscheiben gemacht worden waren, wurden diese auf Pauspapier copirt, durch gezogene Linien verbunden und durch Pfeile die Richtung der Bewegung angedeutet. Die nächtlichen Bewegungen sind durch gerade, unterbrochene (punktirte) Linien dargestellt. Der erste Punkt ist immer größer gemacht, als die übrigen, um das Auge sofort zu fesseln, wie man in den Figuren sehen wird. Die Figuren auf den Glasscheiben wurden oft in einem zu groszen Maszstabe gezeichnet, als dasz sie auf den Seiten des vorliegenden Buches hätten reproducirt werden können. Das Verhältniß, in welchem sie verkleinert worden sind, ist aber immer angegeben⁷. Sobald sich nur annähernd sagen liesz, um wie vielmal die Bewegung vergrößert worden war, wurde es angegeben. Ich habe vielleicht eine zu grosze Anzahl von Zeichnungen hier eingefügt, aber sie nehmen

⁷ Wir sind Mr. Cooper für die Sorgfalt, mit welcher er die Zeichnungen reducirt und geschnitten hat, sehr verbunden.

weniger Raum ein als eine ausführliche Beschreibung der Bewegungen. Beinahe alle Skizzen der schlafenden Pflanzen u. s. w. sind sorgfältig von Mr. GEORGE DARWIN für uns gezeichnet worden.

Da Schöszlinge, Blätter u. s. w. bei dem Circumnutiren immer mehr und mehr erst in der einen Richtung und dann in der andern sich biegen, so wurden sie nothwendiger Weise in verschiedenen Zeiten mehr oder weniger schräg betrachtet, und da die Punkte auf einer ebenen Fläche gemacht wurden, ist der scheinbare Betrag der Bewegung je nach dem Grade der Schrägheit des Gesichtspunktes übertrieben. Es würde daher ein viel besserer Plan gewesen sein, hemisphärisches Glas zu benutzen, wenn wir solches von allen Gröszen gehabt hätten, und wenn der sich biegende Theil des Schöszlings sich deutlich hätte einlenken und so stellen lassen, dasz er einen der Halbmesser der Kugel gebildet hätte. Aber selbst in diesem Falle würde es nothwendig gewesen sein, später die Figuren auf Papier zu projiciren, so dasz vollständige Genauigkeit nicht hätte erreicht werden können. Wegen der Verzerrung unserer Figuren in Folge der obigen Ursachen sind sie für diejenigen, welche den genauen Betrag der Bewegung oder den genauen Weg, der eingeschlagen wurde, zu kennen wünschen, von keinem Nutzen; sie dienen aber ausgezeichnet dazu, zu ermitteln, ob ein Theil sich überhaupt bewegte oder nicht, ebenso wie für den allgemeinen Character der Bewegung.

In den folgenden Capiteln werden die Bewegungen einer beträchtlichen Anzahl von Pflanzen beschrieben, und die Species sind hier nach dem von HOOKER in LE MAOUT und DECAISNE's »Descriptive Botany« angenommenen System geordnet worden. Niemand, der den vorliegenden Gegenstand nicht selbst untersucht, braucht alle die Einzelheiten zu lesen, welche wir indessen aufzuführen für räthlich gehalten haben. Um dem Leser Mühe zu ersparen, sind die Schlussfolgerungen und das Meiste der wichtigeren Theile in gröszerer Schrift gedruckt worden als die andern Theile. Er mag, wenn er es für passend hält, das letzte Capitel zuerst lesen, da es eine Zusammenfassung des ganzen Buches enthält, und er wird daraus sehen, welche Punkte ihn interessieren, und über welche er das volle Beweismaterial zu kennen wünscht.

Endlich können wir uns die Freude nicht versagen, unseren aufrichtigsten Dank Sir JOSEPH HOOKER und Mr. W. THISELTON DYER für ihre grosze Freundlichkeit abzustatten, indem sie uns nicht blosz Pflanzen von Kew schickten, sondern auch andere aus verschiedenen Quellen her verschafften, wenn wir sie für unsere Beobachtungen bedurften, wie sie gleichfalls so freundlich waren, viele Arten uns zu bestimmen und über verschiedene Punkte uns Aufschlüsse zu geben.

Erstes Capitel.

Die circumnutirenden Bewegungen von Sämlingen.

Brassica oleracea, Circumnutation des Würzelchens, des gekrümmten Hypocotyls, solange er noch unter der Erde eingegraben, im Begriffe sich zu erheben und gerade zu strecken ist und wenn er aufrecht steht. — Circumnutation der Cotyledonen. — Schnelligkeit der Bewegung. — Analoge Beobachtungen über verschiedene Organe bei Arten von *Githago*, *Gossypium*, *Oxalis*, *Tropaeolum*, *Citrus*, *Aesculus*, von verschiedenen Leguminosen- und Cucurbitaceen-Gattungen, *Opuntia*, *Helianthus*, *Primula*, *Cyclamen*, *Stapelia*, *Cerithe*, *Nolana*, *Solanum*, *Beta*, *Ricinus*, *Quercus*, *Corylus*, *Pinus*, *Cycas*, *Canna*, *Allium*, *Asparagus*, *Phalaris*, *Zea*, *Avena*, *Nephradium* und *Selaginella*.

Das folgende Capitel ist den circumnutirenden Bewegungen der Würzelchen, Hypocotylen und Cotyledonen von Sämlingen gewidmet, und wo die Cotyledonen sich nicht über den Boden erhoben, den Bewegungen des Epicotyls. In einem späteren Capitel werden wir aber auf die Bewegungen gewisser Cotyledonen, welche des Nachts schlafen, zurückzukommen haben.

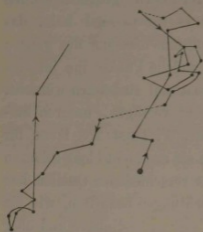


Fig. 1.

Brassica oleracea: Circumnutation des Würzelchens, auf einer horizontalen Glasplatte verfolgt, vom 31. Jan. 9 a. m. bis 2. Febr. 9 p. m. Bewegung des Lacktropfens am Ende des Fadens ungefähr 40mal vergrößert.

Brassica oleracea (Cruciferae).

— In diesem Falle werden ausführlichere Details in Bezug auf die Bewegungen gegeben werden, als in irgend einem anderen, da schliesslich hierdurch Raum und Zeit erspart wird.

Würzelchen. — Ein Same, dessen Würzelchen 0,05 Zoll vorsprang, wurde mit Schellack auf eine kleine Zinkplatte so befestigt, dass das Würzelchen senkrecht in die Höhe stand und dann wurde ein feiner Glasfaden in der Nähe seiner Basis, d. h. dicht bei den Samenhüllen, befestigt. Der Same wurde mit kleinen Stückchen feuchten Schwammes umgeben und die Bewegung des Tropfens am Ende des Fadens während 60 Stunden aufgezeichnet (Fig. 1). In dieser Zeit nahm das Würzelchen an

Länge von 0,05 Zoll bis zu 0,11 Zoll zu. Wäre der Faden zu Anfang dicht an der Spitze des Würzelchens befestigt worden und hätte er die ganze Zeit über da bleiben können, so würde die sich anbietende Bewegung viel grösser gewesen sein; denn am Ende unsrer Beobachtungen war die Spitze selbst, anstatt senkrecht in die Höhe zu stehen, durch Geotropismus so nach unten gebogen worden, dass sie beinahe die Zinkplatte berührte. Soweit es sich durch Messungen, die mit dem Zirkel an anderen Samen ausgeführt wurden, in roher Weise ermitteln liess, wurde allein die Spitze für eine Länge von nur $\frac{2}{1000}$ tel bis $\frac{3}{1000}$ tel Zoll von Geotropismus beeinflusst. Die Zeichnung zeigt aber, dass der basale Theil des Würzelchens während der ganzen Zeit unregelmässig zu circumnutiren fortfuhr. Der factische äusserste Betrag an Bewegung des Tropfens am Ende des Fadens war beinahe 0,05 Zoll. Um wie viel aber die Bewegung des Würzelchens durch den Faden, welcher nahezu $\frac{3}{4}$ Zoll lang war, vergrössert wurde, war unmöglich zu schätzen.

Ein anderer Same wurde in derselben Weise behandelt und beobachtet; das Würzelchen ragte aber in diesem Falle um 0,1 Zoll vor und wurde nicht so befestigt, dass es ganz senkrecht nach oben vorsprang. Der Faden wurde dicht an seiner Basis befestigt. Die Zeichnung (Fig. 2, um die Hälfte verkleinert) zeigt die Bewegung vom 31. Januar früh 9 Uhr (a. m.) bis 2. Februar 7 Uhr Abends (p. m.). Aber dieselbe dauerte wäh-

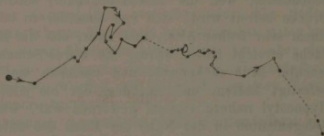


Fig. 2. *Brassica oleracea*: Circumnutirende und geotropische Bewegung des Würzelchens, durch 46 Stunden an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet.

rend des ganzen zweiten Februar in derselben allgemeinen Richtung und in derselben ähnlichen Zickzack-Art und Weise fort. Weil das Würzelchen, als der Faden angeheftet wurde, nicht vollständig senkrecht stand, kam sofort Geotropismus ins Spiel, aber der unregelmässige Zickzackverlauf zeigt, dass Wachstum (wahrscheinlich nach vorausgegangener Turgescenz) zuweilen auf der einen und zuweilen auf der andern Seite mit eintrat. Gelegentlich blieb der Tropfen für ungefähr 1 Stunde stationär, und dann war wahrscheinlich Wachstum auf der Seite vorhanden, welche derjenigen gegenüberlag, die die geotropische Krümmung verursachte. In dem zuerst beschriebenen Falle wurde der basale Theil des sehr kurzen Würzelchens, weil er vertical aufwärts gewendet war, anfangs sehr wenig von Geotropismus beeinflusst. In zwei anderen Fällen wurde der Faden an verhältnissmässig längere und schräg vorspringende Würzelchen befestigt, und zwar an Samen, welche mit der oberen Seite nach unten gekehrt waren; und in diesem Falle waren die auf den horizontalen Glasplatten verzeichneten Linien nur unbedeutend zickzackförmig, und die Bewegung fand immer in derselben allgemeinen Richtung statt, und zwar durch die Wirkung des Geotropismus. Alle diese Beobachtungen sind aus mehreren Ursachen Irrthümern ausgesetzt. Wir glauben aber nach dem, was später in Bezug auf die Bewegungen der Würzelchen anderer Pflanzen gezeigt werden wird, dass man sich in grosser Ausdehnung auf sie verlassen kann.

Hypocotyl. — Der Hypocotyl durchbricht die Samenhüllen als ein rechtwinkliger Vorsprung, welcher schnell zu einem Bogen auswächst, wie der lateinische Buchstabe **U** umgekehrt, **∩**. Die Cotyledonen sind dabei noch innerhalb des Samens eingeschlossen. In welcher Stellung auch der Same in die Erde eingelegt oder auf andre Weise fixirt werden mag, beide Arme biegen sich durch Apogeotropismus nach oben und erheben sich hierdurch senkrecht über den Boden. Sobald dies stattgefunden hat oder selbst noch eher, wächst die innere oder concave Fläche des Bogens schneller als die obere oder convexe Fläche, und dies führt dazu, die zwei Schenkel von einander zu entfernen und hilft die Cotyledonen aus den sie umfassenden Samenhüllen hervorziehen. Durch das Wachstum des ganzen Bogens werden die Cotyledonen schliesslich aus dem Boden herausgezogen, selbst aus einer beträchtlichen Tiefe, und nun streckt sich der Hypocotyl schnell infolge des vermehrten Wachstums der concaven Seite.

Selbst während der gebogene oder auf sich selbst zurückgekrümmte Hypocotyl noch unter der Erde ist, circumnutirt er, soviel als der Druck des umgebenden Erdreichs es gestatten will; dies war aber schwierig zu beobachten, weil die beiden Schenkel, sobald der Bogen von seitlichem Drucke befreit wird, sich von einander zu entfernen beginnen, selbst in einem sehr frühen Alter, und zwar, ehe der Bogen naturgemäss die Oberfläche erreicht haben würde. Es wurde Samen gestattet an der Oberfläche feuchter Erde zu keimen, und nachdem sie sich durch ihre Würzelchen befestigt hatten, und nachdem der bis jetzt nur unbedeutend gebogene Hypocotyl nahezu vertical geworden war, wurde ein Glasfaden bei zwei Gelegenheiten in der Nähe der Basis des unteren Schenkels (d. h. des in Verbindung mit den Würzelchen stehenden) befestigt, und seine Bewegungen wurden in der Dunkelheit an einer horizontalen Glasscheibe verzeichnet. Das Resultat war, dass lange, beinahe in der Ebene des verticalen Bogens laufende Linien gebildet wurden, und zwar in Folge der frühen Trennung der zwei nun vom Drucke befreiten Schenkel. Da aber die Linien im Zickzack verliefen, was eine seitliche Bewegung andeutet, muss der Bogen circumnutirt haben, während er sich durch Wachstum seiner inneren oder concaven Fläche entlang gestreckt hatte.

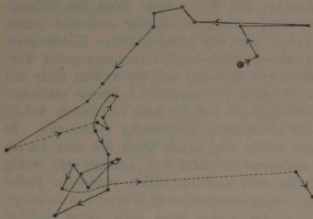


Fig. 3. *Brassica oleracea*: Circumnutirende Bewegung des eingegrabenen und gekrümmten Hypocotyls (trübe von oben beleuchtet), während 45 Stunden an einer horizontalen Glasscheibe aufgezeichnet. Die Bewegung des Lactropfens am Faden ungefähr 25mal vergrößert und hier auf die Hälfte der Originalzeichnung reducirt.

folgt: Sobald die Erde oberhalb der Samen in einem Topfe zu bersten begann, wurde die Oberfläche stellenweise bis zur Tiefe von 0,2 Zoll entfernt, und ein Faden wurde an den basalen Schenkel eines noch ein-

verticalen Bogens laufende Linien gebildet wurden, und zwar in Folge der frühen Trennung der zwei nun vom Drucke befreiten Schenkel. Da aber die Linien im Zickzack verliefen, was eine seitliche Bewegung andeutet, muss der Bogen circumnutirt haben, während er sich durch Wachstum seiner inneren oder concaven Fläche entlang gestreckt hatte.

Eine etwas verschiedene Beobachtungsmethode wurde nun zunächst be-

gegrabenen und gebogenen Hypocotyls dicht oberhalb der Spitze des Würcelchens befestigt. Die Cotyledonen waren noch beinahe vollständig innerhalb der vielzerklüfteten Samenhüllen eingeschlossen, und diese wiederum wurden von feuchter, klebriger, ziemlich fest niedergedrückter Erde bedeckt. Die Bewegung des Fadens wurde (Fig. 3) vom 5. Februar 11 Uhr a. m. bis zum 7. Februar 8 Uhr a. m. verfolgt. Zu dieser letzteren Zeit waren die Cotyledonen von unterhalb der niedergedrückten Erde in die Höhe gezogen worden, aber der obere Theil des Hypocotyls bildete noch immer nahezu einen rechten Winkel mit dem unteren Theil. Die Zeichnung zeigt, dasz der gekrümmte Hypocotyl in diesem frühen Alter die Neigung darbietet, unregelmäßig zu circumnutiren. Am ersten Tage war die gröszere Bewegung (in der Figur von rechts nach links) nicht in die Ebene des senkrechten und gebogenen Hypocotyls, sondern unter rechten Winkeln zu ihm oder in der Ebene der beiden Cotyledonen, welche noch immer in dichter Berührung waren. Der basale Schenkel des Bogens war zu der Zeit, als der Faden an ihm befestigt wurde, bereits beträchtlich rückwärts gebogen oder von den Cotyledonen ab; wäre der Faden befestigt worden, ehe diese Biegung eintrat, so würde die hauptsächlichste Bewegung rechtwinklig zu der in der Figur dargestellten verlaufen sein. Ein Faden wurde an einen anderen eingegrabenen Hypocotyl von demselben Alter befestigt und bewegte sich in einer ähnlichen allgemeinen Art, aber der zurückgelegte Weg war nicht so complicirt. Dieser Hypocotyl wurde beinahe gerade, und die Cotyledonen wurden am Abend des zweiten Tages von unterhalb des Bodens emporgezogen.

Ehe die obigen Beobachtungen gemacht wurden, wurden einige gekrümmte Hypocotyle, welche in der Tiefe von $\frac{1}{4}$ Zoll unter der Erde waren, freigemacht; und um es zu verhindern, dasz die beiden Schenkel des Bogens sofort auseinander zu weichen begannen, wurden sie mit feiner Seide zusammengebunden. Dies wurde zum Theil deshalb gethan, weil wir zu ermitteln wünschten, wie lange der Hypocotyl in seinem gebogenen Zustande sich zu bewegen fortfahren würde und ob die Bewegung, wenn sie nicht durch den Proceß des Geradewerdens maskirt und gestört würde, Circumnutation anzeigte. Zuerst wurde ein Faden an den basalen Schenkel eines gebogenen Hypocotyls dicht oberhalb der Spitze des Würcelchens befestigt. Die Cotyledonen waren noch immer theilweise innerhalb der Samenhülle eingeschlossen. Die Bewegung (Fig. 4) wurde vom 23. December

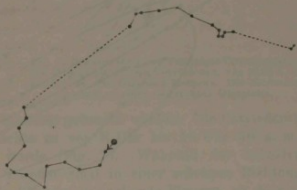


Fig. 4. *Brassica oleracea*: Circumnutirende Bewegung eines eingegrabenen und gekrümmten Hypocotyls, dessen beide Schenkel zusammengebunden waren, während $33\frac{1}{2}$ Stunden an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Die Bewegung des Lactropfens am Faden ungefähr 26mal vergrößert und hier auf die Hälfte der Originalzeichnung reducirt.

(Fig. 4) wurde vom 23. December 9 Uhr 20 a. m. bis zum 25. December 6 Uhr 45 a. m. aufgezeichnet. Ohne Zweifel wurde die natürliche Bewegung dadurch, dasz die beiden Schenkel zusammengebunden waren, bedeutend gestört, wir sehen aber,

dasz sie deutlich zickzackförmig war, und zwar erst in einer Richtung und dann in einer beinahe entgegengesetzten. Nach 3 Uhr p. m. am 24. blieb der gekrümmte Hypocotyl zuweilen eine beträchtliche Zeit lang stationär und bewegte sich, wenn er überhaupt in Bewegung kam, viel langsamer als vorher. Es wurde daher am Morgen des 25. der Glasfaden von der Basis des basalen Schenkels entfernt und horizontal am Scheitel des

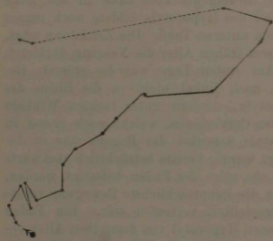


Fig. 5. *Brassica oleracea*: Circumnutation des Scheitels eines eingegrabenen und gebogenen Hypocotyls, dessen beide Schenkel zusammengebunden waren, an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet, 23 Stunden lang. Bewegung des Lactropfens am Faden ungefähr 58mal vergrößert und auf den halben Masstab des Originals reducirt.

gebogenen befestigt, welcher, weil die Schenkel zusammengebunden waren, breit und beinahe flach ausgewachsen war. Die Bewegung wurde nun während 23 Stunden (Fig. 5) verzeichnet, und wir sehen, dasz der Verlauf noch immer zickzackförmig war, was auf eine Neigung zur Circumnutation hinweist. Die Basis des basalen Schenkels hatte zu dieser Zeit beinahe vollständig aufgehört sich zu bewegen.

Sobald die Cotyledonen auf natürliche Weise über die Erde emporgezogen worden sind und der Hypocotyl sich durch das Wachstum entlang der inneren oder concaven Fläche gestreckt hat, ist nichts mehr vorhanden, die freie Bewegung der Theile zu stören, und die Circumnutation wird nun regelmässiger und deutlicher entfaltet, wie sich in den folgenden Fällen zeigt: Ein Sämling wurde nahe vor ein nach Nordost

gehendes Fenster so gestellt, dasz eine die beiden Cotyledonen verbindende Linie dem Fenster parallel verlief. Er wurde den ganzen Tag so gelassen, damit er sich an das Licht accommodire. Am folgenden Morgen wurde ein

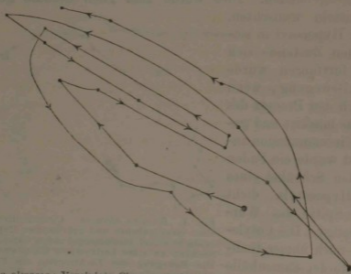


Fig. 6. *Brassica oleracea*: Vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen während 10 Stunden und 45 Minuten. Die Abbildung auf den halben Masstab des Originals reducirt.

gehendes Fenster so gestellt, dasz eine die beiden Cotyledonen verbindende Linie dem Fenster parallel verlief. Er wurde den ganzen Tag so gelassen, damit er sich an das Licht accommodire. Am folgenden Morgen wurde ein

Faden an die Mittelrippe des größeren und längeren Cotyledonen (welcher den anderen und kleineren, so lange sie noch in dem Samen sind, umhüllt) befestigt, und nachdem ein Zeichen dicht dahinter angebracht worden war, wurde die Bewegung der ganzen Pflanze, d. h. des Hypocotyls und Cotyledons, bedeutend vergrößert an einer senkrechten Glasplatte verzeichnet. Anfangs beugte sich die Pflanze so stark nach dem Lichte zu, dasz es nutzlos war, einen Versuch zum Darstellen der Bewegung zu machen; aber um 10 Uhr des Morgens hörte der Heliotropismus beinahe gänzlich auf, und es wurde nun der erste Punkt auf das Glas gemacht; der letzte wurde 8 Uhr 45 p. m. gemacht; im Ganzen wurden 17 Punkte in diesem Verlaufe von 10 Stunden 45 Minuten gemacht (s. Fig. 6). Es musz beachtet werden, dasz, als ich kurz nach 4 Uhr p. m. nachsah, der Tropfen von dem Glase weg zeigte; er kam aber um 5 Uhr 30 p. m. wieder zurück, und der Verlauf während dieses Intervalls von $1\frac{1}{2}$ Stunden ist nach Güt-dünken ausgefüllt worden; dies kann aber nicht sehr falsch sein. Der Tropfen bewegte sich siebenmal von einer zur andern Seite und beschrieb hierbei $3\frac{1}{2}$ Ellipsen in $10\frac{3}{4}$ Stunden. Eine jede wurde im Mittel in 3 Stunden 4 Minuten vollendet.

Am vorhergehenden Tage war ein andrer Sämling unter ähnlichen Bedingungen beobachtet worden, ausgenommen dasz die Pflanze so gestellt war, dasz eine die beiden Cotyledonen verbindende Linie nach dem Fenster hinwies; auch war der Faden an dem kleineren Cotyledonen an der vom Fenster entferntesten Seite befestigt worden. Überdies war die Pflanze

jetzt zum ersten Male in diese Stellung gebracht worden. Die Cotyledonen bewegten sich bedeutend dem Lichte zu von 8 Uhr bis 10 Uhr 50 a. m., wo der erste Punkt gemacht wurde (Fig. 7). Während der nächsten 12 Stunden bewegte sich der Tropfen 8mal in einer schrägen Richtung auf und nieder und beschrieb 4, Ellipsen darstellende Figuren, so dasz er ziemlich mit derselben Schnelligkeit sich bewegte, wie im früheren Falle. Während der Nacht bewegte er sich infolge der Schlafbewegung der Cotyledonen aufwärts und fuhr fort in derselben Richtung sich zu bewegen bis 9 Uhr des Morgens am folgenden Tage; diese letztere Bewegung würde aber bei Sämlingen unter natürlichen Bedingungen und dem Lichte voll ausgesetzt nicht eingetreten sein.

Um 9 Uhr 25 a. m. an diesem zweiten Tage hatte derselbe Cotyledon angefangen zu sinken, und es wurde an einer frischen Glasplatte

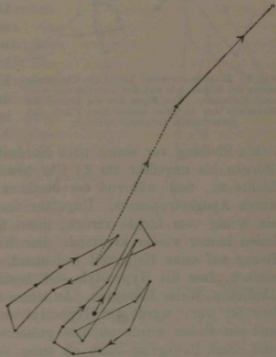


Fig. 7. *Brassica oleracea*: Vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen, von 10.50 a. m. bis 8 a. m. des folgenden Morgens. Die Zeichnung geschah an einer senkrechten Glasplatte.

ein Punkt gemacht. Die Bewegung wurde bis 5 Uhr 30 p. m. verfolgt, wie in Fig. 8 dargestellt ist, welche mitgetheilt wird, weil der hier eingeschlagene Verlauf viel unregelmässiger als in den zwei früheren Fällen war. Während dieser 8 Stunden veränderte der Tropfen 10mal bedeutend seinen Verlauf. Die nach oben gerichtete Bewegung des Cotyledons während des Nachmittags und des ersten Theils der Nacht ist hier deutlich ausgedrückt.

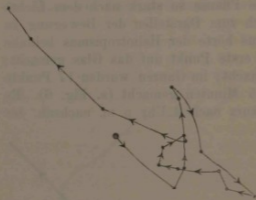


Fig. 8. *Brassica oleracea*: Vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen während 8 Stunden. Die Figur auf ein Drittel des Maszstabs des an einer senkrechten Platte aufgezeichneten Originals reducirt.

Da die Fäden in den drei letzten Fällen an einem der Cotyledonen befestigt waren, und da der Hypocotyl freigelassen war, so zeigen die Darstellungen die Bewegungen beider Organe in Verbindung, und wir wünschten nun zu ermitteln, ob beide circumnutirten. Es wurden daher Fäden horizontal an zwei Hypocotyle dicht unter dem Stengel ihrer Cotyledonen befestigt. Diese Sämlinge hatten zwei Tage lang in der nämlichen Stellung vor einem nach Nordost gelegenen Fenster gestanden. Am Morgen bis ungefähr um 11 Uhr bewegten sie sich in Zickzacklinien dem Lichte zu, und während der Nacht wurden sie wieder beinahe aufrecht durch Apogeotropismus. Ungefähr nach 11 Uhr a. m. bewegten sie sich ein wenig vom Lichte zurück, ihren früheren Weg häufig in Zickzacklinien immer wieder kreuzend. Der Himmel wechselte an diesem Tage in Bezug auf seine Helligkeit bedeutend, und diese Beobachtungen bewiesen einfach, dass die Hypocotyle sich beständig in einer der Circumnutation ähnlichen Weise bewegten. An einem früheren Tage, welcher gleichförmig bewölkt war, wurde ein Hypocotyl an einem kleinen Stabe fest gemacht, und ein Faden wurde an dem grösseren der beiden Cotyledonen befestigt und seine Bewegung dann an einer senkrechten Glasscheibe verzeichnet. Er sank bedeutend von 8 Uhr 52 a. m., wo der erste Punkt gemacht wurde, bis 10 Uhr 55 a. m.; dann erhob er sich bedeutend bis 12 Uhr 17 p. m.; später sank er wieder ein wenig und beschrieb eine Schlinge, aber um 2 Uhr 22 p. m. hatte er sich etwas erhoben und fuhr bis 9 Uhr 23 p. m. sich zu erheben fort, wo er eine andre Schlinge beschrieb, und um 10 Uhr 30 p. m. war er wieder in steigender Bewegung. Diese Beobachtungen zeigen, dass die Cotyledonen sich den ganzen Tag lang senkrecht auf und nieder bewegen, und da eine geringe seitliche Bewegung dabei war, circumnutiren sie.

Der Kohl war eine der ersten Pflanzen, deren Sämlinge von uns beobachtet wurden, und wir wussten damals nicht, wie stark die Circumnutation der verschiedenen Theile durch das Licht beeinflusst wurde. Es wurden daher junge Sämlinge in vollkommener Dunkelheit gehalten mit Ausnahme von ein oder zwei Minuten während jeder Beobachtung, wo sie von einem kleinen Wachskerzenchen, welches fast senkrecht über sie gehalten wurde, beleuchtet wurden. Während des ersten Tags veränderte der

Hypocotyl des einen seinen Verlauf 13mal (s. Fig. 9), und es verdient Beachtung, dass die längeren Axen der hier beschriebenen Figuren häufig einander unter rechtem oder beinahe rechtem Winkel kreuzen. Ein anderer Sämling wurde in derselben Weise beobachtet; er war aber viel älter, denn er hatte bereits ein echtes, einen Viertel Zoll langes Blatt gebildet und der Hypocotyl war $1\frac{3}{8}$ Zoll hoch. Die aufgezeichnete Figur war eine sehr complicirte, obschon die Bewegung der Ausdehnung nach nicht so grosz war, wie in dem letzten Falle.

Der Hypocotyl eines anderen Sämlings von demselben Alter wurde an einem kleinen Stabe fest gemacht; und nachdem ein Faden an die Mittelrippe eines der Cotyledonen befestigt worden war, wurde die Bewegung des Tropfens während 14 Stunden 15 Minuten in der Dunkelheit aufgezeichnet (s. Fig. 10). Es ist zu beachten, dass die hauptsächlichste Bewegung der Cotyledonen, nämlich die auf und nieder, an einer horizontalen Glasscheibe nur dadurch sich darstellt, dass die Linien in der Richtung der Mittelrippe (d. h. auf und nieder, wie die Fig. 10 hier steht) ein wenig verlängert oder verkürzt werden, während jede seitliche Bewegung sehr deutlich ausgedrückt werden wird. Die vorliegende Darstellung zeigt, dass der Cotyledon sich wirklich in dieser Richtung seitlich (d. h. von einer Seite zur andern in der Darstellung) 12mal in den 14 Stunden 15 Minuten der Beobachtung bewegte. Es circumnutirten die Cotyledonen daher wirklich, obschon die hauptsächlichste Bewegung auf- und abwärts in einer verticalen Ebene war.

Schnelligkeit der Bewegung. — Die Bewegungen der Hypocotyle und Cotyledonen von Kohlsämlingen verschiedenen Alters sind nun hinreichend erläutert worden. Was die Schnelligkeit betrifft, so wurden Sämlinge unter das Microscop gebracht, dessen Tisch entfernt und welches mit einem Ocularmicrometer so abgemessen versehen war, dass jeder Theilstrich $\frac{1}{500}$ Zoll gleich war. Die Pflanzen wurden durch Licht erleuchtet, welches durch

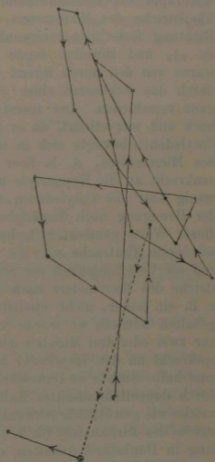


Fig. 9. *Brassica oleracea*: Circumnutation des Hypocotyls in Dunkelheit, an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet von 9.15 a. m. bis 8.30 a. m. des folgenden Morgens; der Glasfaden mit dem Lactropfen war quer auf den Gipfel befestigt. Die Figur hier ist auf den halben Massstab des Originals reducirt.

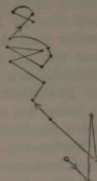


Fig. 10. *Brassica oleracea*: Circumnutation eines Cotyledonen (der Hypocotyl war an einen Stab befestigt) auf einer horizontalen Glasplatte in der Dunkelheit von 8.15 a. m. bis 10.30 p. m. aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens am Faden 13mal vergrößert.

eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali gieng, um Heliotropismus zu eliminiren. Unter diesen Umständen war es interessant zu beobachten, wie rapid die circumnutirende Spitze eines Cotyledonen quer über die Theilstriche des Micrometers hinweggieng. Während die Spitze in einer Richtung fortschritt, schwankte sie meist rückwärts und vorwärts bis zu $\frac{1}{300}$ und zuweilen sogar bis nahe $\frac{1}{200}$ Zoll. Diese Schwankungen waren von den durch irgend welche Störungen in demselben Zimmer oder durch das Schlieszen einer entfernten Thür verursachten Erzitterungen ganz verschieden. Der zuerst beobachtete Sämling war nahezu zwei Zoll hoch und war etiolirt, da er in Dunkelheit gezogen war. Die Spitze des Cotyledonen bewegte sich in 6 Minuten 40 Sekunden über 10 Theilstriche des Micrometers, d. h. über $\frac{1}{30}$ Zoll. Kurze Glasfäden wurden dann senkrecht an die Hypocotyle mehrerer Sämlinge so befestigt, dasz sie ein wenig über die Cotyledonen vorsprangen und dadurch die Schnelligkeit der Bewegung noch übertrieben. Es sind aber nur wenige von den in dieser Weise gemachten Beobachtungen der Mittheilung werth. Die merkwürdigste Thatsache war die oben beschriebene oscillatorische Bewegung und die Verschiedenheit der Schnelligkeit, mit welcher die Spitze die Theilstriche des Micrometers nach kurzen Zeitzwischenräumen kreuzte. Es war z. B. ein hoher, nicht etiolirter Sämling 14 Stunden lang in Dunkelheit gehalten worden; er wurde vor einem nach Nordost gelegenen Fenster nur zwei oder drei Minuten dem Lichte ausgesetzt, während ein Glasfaden senkrecht an den Hypocotyl befestigt wurde. Dann wurde er wieder für eine halbe Stunde in Dunkelheit gebracht und später unter Licht, welches durch doppeltchromsaures Kali gegangen war, beobachtet. Die Spitze, welche wie gewöhnlich schwankte, kreuzte in 1 Minute 30 Sekunden 5 Theilstriche des Micrometers (d. h. $\frac{1}{120}$ Zoll). Der Sämling wurde dann 1 Stunde lang in Dunkelheit gehalten, und er bedurfte jetzt 3 Minuten 6 Sekunden einen Theilstrich zu kreuzen, d. h. 15 Minuten 30 Sekunden würde er gebraucht haben 5 Theilstriche zu kreuzen. Ein anderer Sämling, welcher gelegentlich im hinteren Theile eines nach Norden gelegenen Zimmers beobachtet und halbe Stunden lang in völliger Dunkelheit gelassen worden war, kreuzte fünf Theilstriche in der Richtung des Fensters in 5 Minuten, so dasz wir zu dem Schlusse kamen, die Bewegung sei heliotropisch. Dies war aber wahrscheinlich nicht der Fall; denn er wurde dicht an ein Nordostfenster gestellt und hier 25 Minuten gelassen, nach welcher Zeit er, statt sich noch schneller nach dem Lichte hin zu bewegen, wie sich hätte erwarten lassen, nur mit der Geschwindigkeit von 12 Minuten 30 Sekunden für fünf Theilstriche sich bewegte. Er wurde dann wieder 1 Stunde lang in völliger Dunkelheit gehalten, und die Spitze bewegte sich nun in derselben Richtung wie vorher, aber mit der Geschwindigkeit von 3 Minuten 18 Sekunden für fünf Theilstriche.

Wir werden auf die Cotyledonen der Kohlpflanzen in einem späteren Capitel zurückzukommen haben, wenn wir von deren Schlafbewegungen handeln werden. Auch die Circumnutation der Blätter völlig entwickelter Pflanzen wird später beschrieben werden.

Githago segetum (Caryophylleae). — Ein junger Sämling wurde schwach von oben beleuchtet und die Circumnutation des Hypocotyls während 28 Stunden beobachtet, wie in Fig. 11 dargestellt ist. Er bewegte

sich nach allen Richtungen; die Linien von rechts nach links in der Figur sind den Blattflächen der Cotyledonen parallel. Die wirkliche Entfernung, welche von dem Gipfel des Hypocotyls von einer Seite zur andern zurückgelegt wurde, betrug ungefähr 0,2 Zoll; es war aber unmöglich in Bezug hierauf genau zu sein, da, je schräger die Pflanze, nachdem sie

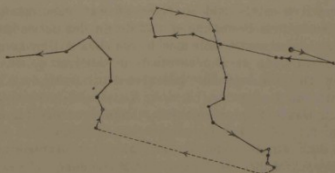


Fig. 11. *Githago vegetum*: Circumnutation des Hypocotyls, von 8.15 a. m. bis 12.15 p. m. am folgenden Tage an einer horizontalen Glasplatte mittelst eines quer auf seinen Gipfel befestigten Fadens gezeichnet. Bewegung des Lactropfens am Faden ungefähr 13mal vergrößert, hier auf den halben Maszstab des Originals reducirt.

sich eine Zeit bewegt hatte, gesehen wurde, die Entfernung auch um so mehr übertrieben wurde.

Wir bemühten uns die Circumnutation der Cotyledonen zu beobachten, da sie sich aber dicht an einander legen, wenn sie nicht einem mäszig hellen Lichte ausgesetzt werden, und da der Hypocotyl auszerordentlich heliotropisch ist, so waren die nothwendigen Einrichtungen zu mühsam. Wir werden auf die nächtlichen oder Schlafbewegungen der Cotyledonen in einem späteren Capitel zurückkommen.

Gossypium (Var. Nanking-Baumwolle) (Malvaceae). — Die Circumnutation eines Hypocotyls wurde im Warmhaus beobachtet. Die Bewegung wurde aber so stark übertrieben, dasz der Lactropfen zweimal eine Zeit lang auszer Gesicht kam. Es war indessen offenbar, dass zwei etwas



Fig. 12. *Gossypium*: Circumnutation des Hypocotyls an einer horizontalen Glasplatte von 10.30 a. m. bis 9.30 a. m. am folgenden Morgen mittelst eines quer auf seinem Gipfel befestigten Fadens aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens am Faden ungefähr zweimal vergrößert; der Sämling von oben beleuchtet.

unregelmäszige Ellipsen in 9 Stunden ziemlich vollendet wurden. Es wurde dann ein anderer, ziemlich $1\frac{1}{2}$ Zoll hoher Sämling während 23 Stunden beobachtet; die Beobachtungen wurden aber nicht in hinreichend kurzen Zwischenräumen gemacht, wie die wenigen Punkte in Fig. 12 angeben, und die Zeichnung wurde auch jetzt nicht hinreichend vergrößert. Nichts desto weniger konnte über die Circumnutation des Hypocotyls, welcher in 12 Stunden eine, drei unregelmäszige Ellipsen von ungleicher Grösze darstellende Figur beschrieb, kein Zweifel bestehen.

Die Cotyledonen sind während des ganzen Tages in beständiger Bewegung auf und nieder, und da sie den ungewöhnlichen Fall darbieten, sich spät am Abend und in dem ersten Theile der Nacht abwärts zu bewegen, wurden viele Beobachtungen über dieselben angestellt. Ein Faden wurde in der Mitte des einen befestigt und seine Bewegung an einer senkrechten Glasplatte verzeichnet; die Zeichnung wird aber nicht mitgetheilt, da der Hypocotyl nicht so befestigt war, dasz es unmöglich war, deutlich zwischen seinen Bewegungen und denen des Cotyledonen zu unterscheiden. Die Cotyledonen erhoben sich von 10,30 Uhr a. m. bis ungefähr 3 Uhr p. m.; dann sanken sie aber bis 10 Uhr p. m., stiegen aber in dem letzten Theile der Nacht bedeutend in die Höhe. Die Winkel oberhalb des Horizontes, in welchen die Cotyledonen eines andern Sämlings zu verschiedenen Stunden standen, werden in der folgenden kurzen Tabelle angeführt:

Oct. 20.	2,50 p. m.	. . .	25 ⁰	über dem Horizont
> >	4,20 >	. . .	22 ⁰	> > >
> >	5,20 >	. . .	15 ⁰	> > >
> >	10,40 >	. . .	8 ⁰	> > >
Oct. 21.	8,40 a. m.	. . .	28 ⁰	> > >
> >	11,15 >	. . .	35 ⁰	> > >
> >	9,11 p. m.	. . .	10 ⁰	unter dem Horizont.

Die Stellung der beiden Cotyledonen wurde in verschiedenen Stunden mit demselben allgemeinen Resultate skizzirt.

Im folgenden Sommer wurde der Hypocotyl eines vierten Sämlings an einen kleinen Stab befestigt und ein Glasfaden mit Dreiecken von Papier an einen der Cotyledonen fixirt. Seine Bewegungen wurden nun auf einer senkrechten Glasscheibe unter einem doppelten Oberlichte im Hause verzeichnet. Der erste Punkt wurde um 4,20 p. m. am 20. Juni gemacht, und der Cotyledon fiel in einer nahezu geraden Linie bis 10,15 p. m. Unmittelbar nach Mitternacht wurde er ein wenig niedriger und etwas nach einer Seite gesenkt gefunden. Am zeitigen Morgen um 3,45 a. m. war er bedeutend gestiegen, aber um 6,20 a. m. ein wenig wieder gefallen. Während dieses ganzen Tages (21.) fiel er in einer unbedeutend zickzackförmigen Linie, aber sein normaler Verlauf wurde durch den Mangel hinreichender Beleuchtung gestört; denn während der Nacht erhob er sich nur wenig und bewegte sich während des ganzen folgenden Tages und der ganzen Nacht bis 22. Juni unregelmäßig. Die auf- und absteigenden Linien, welche während dieser drei Tage gezeichnet wurden, fielen nicht zusammen, so dasz die Bewegung eine Circumnutationsbewegung war. Dieser Sämling wurde dann in das Warmhaus zurückgebracht und nach fünf Tagen um 10 Uhr p. m. besichtigt, wo die Cotyledonen so nahezu senkrecht herabhängend gefunden wurden, dasz man mit vollem Rechte sagen könnte, sie seien eingeschlafen. Am folgenden Morgen hatten sie ihre gewöhnliche horizontale Stellung wieder eingenommen.

Oxalis rosea (Oxalideae). — Der Hypocotyl wurde an einen kleinen Stab befestigt und ein äußerst dünner Glasfaden mit zwei Dreiecken von Papier an einen der Cotyledonen angebracht, welcher 0,15 Zoll lang war. In dieser und der folgenden Species ist das Ende des Blattstieles, wo er sich mit der Scheibe verbindet, zu einem Kissen entwickelt. Die Spitze

des Cotyledons stand nur 5 Zoll von der senkrechten Glasscheibe ab, so dasz seine Bewegung, so lange sie nahezu horizontal blieb, nicht bedeutend vergrößert wurde; aber im Verlaufe des Tages erhob sie sich sowohl beträchtlich über eine horizontale Stellung als sie auch unter dieselbe sank, und dann wurde natürlich die Bewegung bedeutend übertrieben. In Fig. 13 wird ihr Verlauf von dem 17. Juni 6,45 a. m. bis 7,40 a. m. am folgenden Morgen verzeichnet. Wir sehen hier, dasz sie während des Tages im Verlaufe von 11 Stunden 15 Minuten dreimal nach unten und

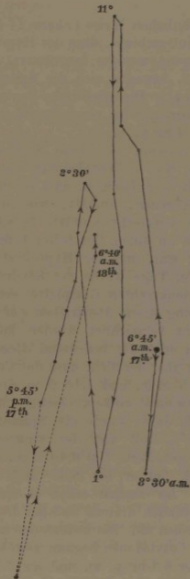


Fig. 13. *Oxalis rosea*: Circumnutation der Cotyledonen, der Hypocotyl an einem Stabe befestigt; Beleuchtung von oben. Figur hier im halben Maszstab des Originals gegeben.

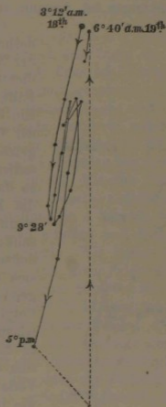


Fig. 14. *Oxalis rosea*: Vereinigte Circumnutation der Cotyledonen und des Hypocotyls, von 8.12 a. m. am 18. Juni bis 7.30 a. m. am 19. verzeichnet. Die Spitze des Cotyledon stand nur $3\frac{3}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte ab. Die Figur hier im halben Maszstab des Originals gegeben.

zweimal nach oben sich bewegte. Nach 5,45 p. m. bewegte sie sich sehr schnell abwärts und hieng in einer oder zwei Stunden senkrecht nach unten. In dieser Weise blieb sie die ganze Nacht schlafend. Diese Stellung

konnte an der verticalen Glasscheibe eben so wenig wie in der hier mitgetheilten Figur dargestellt werden. Um 6,40 a. m. am folgenden Morgen (18.) waren beide Cotyledonen bedeutend gestiegen und fuhren bis 8 Uhr a. m. zu steigen fort, wo sie beinahe horizontal standen. Ihre Bewegung wurde während dieses ganzen Tags und bis zum nächsten Morgen aufgezeichnet; eine Darstellung wird aber nicht mitgetheilt, da sie der Fig. 13 äusserst ähnlich ist, ausgenommen, dass die Linien noch mehr im Zickzack verliefen. Die Cotyledonen bewegten sich 7mal entweder auf- oder abwärts, und ungefähr um 4 Uhr p. m. begann die bedeutende nächtliche Senkungsbewegung.

Ein anderer Sämling wurde in einer ähnlichen Weise nahezu 24 Stunden hindurch beobachtet, jedoch mit dem Unterschiede, dass der Hypocotyl frei gelassen wurde. Auch wurde die Bewegung weniger vergrößert. Zwischen 8,12 a. m. und 5 Uhr p. m. am 18. bewegte sich die Spitze des Cotyledon 7mal auf- und abwärts (Fig. 14). Die nächtliche Senkungsbewegung, welche nur eine bedeutende Vergrößerung einer der täglichen Schwankungen ist, begann ungefähr um 4 Uhr p. m.

Oxalis Valdiviana. — Diese Species ist deshalb interessant, weil die Cotyledonen während der Nacht senkrecht so aufsteigen, dass sie in eine dichte Berührung kommen, anstatt, wie in dem Falle von *O. rosea*, senkrecht abwärts zu sinken. Ein Glasstab wurde an einem Cotyledon befestigt, der 0,17 Zoll lang war, und der Hypocotyl freigelassen. Am ersten Tage wurde der Sämling zu entfernt von der senkrechten Glasplatte gestellt, so dass die Zeichnung enorm übertrieben war, und die Bewegung nicht verzeichnet werden konnte, wenn der Cotyledon entweder bedeutend stieg oder sank; es zeigte sich aber deutlich, dass die Cotyledonen zwischen 8,15 a. m. und 4,15 p. m. dreimal sich erhoben und zweimal sanken. Zeitig am folgenden Morgen (19. Juni) wurde die Spitze eines Cotyledonen nur $1\frac{7}{8}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte entfernt gehalten. Um 6,40 a. m. stand er horizontal, dann fiel er bis 8,35 und erhob sich dann wieder. Im Ganzen erhob er sich im Verlaufe von 12 Stunden dreimal und fiel dreimal, wie in Fig. 15 zu sehen ist. Die bedeutende nächtliche Erhebung des Cotyledonen begann gewöhnlich ungefähr um 4 oder 5 Uhr p. m. und am folgenden Morgen waren sie ausgebreitet oder standen um ungefähr 6,30 a. m. horizontal. Indessen begann in dem vorliegenden Falle die bedeutende nächtliche Steigung nicht vor 7 Uhr p. m.; dies war aber eine Folge davon, dass der Hypocotyl aus irgend einer unbekanntem Ursache zeitweise

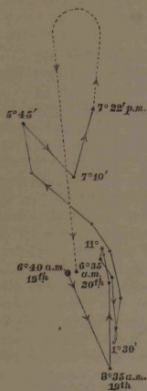


Fig. 15. *Oxalis Valdiviana*: Vereinigte Circumnutation eines Cotyledonen und des Hypocotyls 24 Stunden lang an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet. Die Figur hier im halben Maszstab des Originals; der Sämling von oben beleuchtet.

nach der linken Seite gebogen war, wie in der Darstellung sich zeigt. Um positiv zu ermitteln, dass der Hypocotyl circumnutirte, wurde um

8,15 p. m. hinter die beiden nun genäherten und senkrechten Cotyledonen ein Zeichen angebracht, und die Bewegung eines Glasfadens, welcher aufrecht an die Spitze des Hypocotyls befestigt war, wurde bis 10,40 p. m. verzeichnet. Während dieser Zeit bewegte er sich von einer Seite zur andern ebenso wie vorwärts und rückwärts, hiermit deutlich Circumnutation anzeigend; doch war die Bewegung in ihrer Ausdehnung gering. Es stellt daher Fig. 15 ziemlich richtig die Bewegungen der Cotyledonen allein dar mit Ausnahme der einen groszen Nachmittagskrümmung nach der linken Seite.

Oxalis corniculata (var. *cuprea*). — Die Cotyledonen erheben sich des Nachts bis zu einem bedeutenden Grade über den Horizont, meist ungefähr 45° , diejenigen an einigen zwischen 2 und 5 Tage alten Sämlingen ergaben sich als den ganzen Tag lang in beständiger Bewegung begriffen; die Bewegungen waren aber einfacher als in den letzten zwei Species. Dies kann zum Theil ein Resultat davon sein, dasz sie, während sie beobachtet wurden, nicht hinreichend beleuchtet wurden, was sich daraus ergibt, dasz sie nicht eber als sehr spät am Abend sich zu erheben begannen.

Oxalis (Biophytum) sensitiva. — Die Cotyledonen sind wegen der Weite und Schnelligkeit ihrer Bewegungen während des Tages im hohen Grade merkwürdig. Die Winkel, unter denen sie über oder unter dem Horizont standen, wurden in kurzen Zeitzwischenräumen gemessen, und wir bedauern, dasz ihr Verlauf nicht während des ganzen Tages verzeichnet wurde. Wir wollen nur wenige von den Messungen anführen, welche angestellt wurden, als die Sämlinge einer Temperatur von $22\frac{1}{2}$ bis $24\frac{1}{2}^{\circ}$ C. ausgesetzt waren. Ein Cotyledon erhob sich in 11 Minuten um 70° , ein anderer an einem verschiedenen Sämling fiel in 12 Minuten um 80° . Unmittelbar vor dieser letzten Senkung hatte sich derselbe Cotyledon von einer senkrechten, nach abwärts gerichteten Stellung in 1 Stunde 48 Minuten zu einer senkrecht nach oben gerichteten erhoben und hatte sich daher in weniger als 2 Stunden durch 180° bewegt. Wir haben keinen andern Fall einer circumnutirenden Bewegung von einer gleichgroszen Amplitude von 180° angetroffen, eben so wenig eine ähnliche Schnelligkeit der Bewegung wie der Durchgang durch 80° in 12 Minuten. Die Cotyledonen dieser Pflanze schlafen des Nachts in der Weise, dasz sie sich senkrecht erheben und in dichte Berührung mit einander kommen. Diese Bewegung nach oben weicht von einer der bedeutenden täglichen, oben beschriebenen Schwankungen nur darin ab, dasz die Stellung während der Nacht permanent ist, und dasz sie periodisch eintritt, da sie immer spät am Abend beginnt.

Tropaeolum minus (?) (var. Thom Thumb) (Tropaeoleae). — Die Cotyledonen sind unterirdisch (hypogäisch) oder erheben sich niemals über den Boden. Bei Entfernung der Erde fand sich ein eingegrabener Epicotyl oder Plumula, dessen Spitze sich plötzlich nach unten krümmte wie der gekrümmte Hypocotyl des früher beschriebenen Kohlsämlings. Ein Glasstab mit einem Lacktropfen am Ende wurde an die basale Hälfte oder den basalen Schenkel dicht oberhalb des unterirdischen Cotyledons befestigt, welcher wiederum beinahe rings mit loser Erde umgeben wurde. Die Zeichnung (Fig. 16) zeigt den Verlauf des Tropfens während 11 Stun-

den. Nachdem die letzten Punkte in der Figur gemacht worden waren, bewegte sich der Tropfen bis zu einer bedeutenden Entfernung und endlich von der Glasscheibe in einer Richtung ab, welche durch die punktirte Linie angedeutet wurde. Diese bedeutende Bewegung, Folge des vermehrten Wachsthumts entlang der concaven Fläche des Bogens, wurde dadurch veranlaszt, dasz der basale Schenkel von dem oberen Theile zurückgebogen wurde, d. h. in einer der herabhängenden Spitze entgegengesetzten Richtung, in derselben Weise, wie es bei dem Hypocotyl des Kohls eintrat. Ein anderer vergrabener und gekrümmter Epicotyl wurde in derselben Weise beobachtet, ausgenommen, dasz die zwei Schenkel des Bogens mit feiner Seide zu dem Zwecke zusammengebunden wurden, die grosze eben erwähnte Bewegung zu verhüten. Er bewegte sich indessen am Abend in derselben Richtung wie vorher, die eingehaltene Linie ist aber nicht so gerade. Während des Morgens bewegte sich der zusammengebundene Bogen in einem unregelmässigen, kreisförmigen, stark zickzackartigen Verlauf und bis zu einer grösseren Entfernung als im früheren Falle, wie es sich in einer 18mal vergrösserten Darstellung zeigte. Die Bewegungen einer jungen, einige wenige Blätter tragenden und einer reifen Pflanze werden später beschrieben werden.

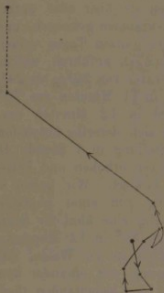


Fig. 16. *Tropaeolum minus* (?): Circumnutation des vergrabenen und gekrümmten Epicotyls, von 9.20 a. m. bis 8.15 p. m. an einer horizontalen Glasscheibe aufgezeichnet. Die Bewegung des Lactropfens am Faden 27mal vergrössert.

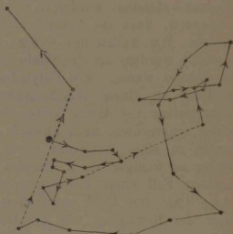


Fig. 17. *Citrus aurantium*: Circumnutation des Epicotyls mit einem in der Nähe der Spitze quer angebrachten Glasfaden, von 12.13 p. m. am 20. Febr. bis 8.55 a. m. am 22. an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Die Bewegung des Lactropfens am Faden wurde zuerst 21mal, oder in der hier gegebenen Figur $10\frac{1}{2}$ mal, später 36mal, oder hier 18mal vergrössert; der Sämling wurde von oben beleuchtet.

Citrus aurantium (Orange) (Aurantiaceae). — Die Cotyledonen sind hypogäisch. Die Circumnutation eines Epicotyls, welcher beim Schlusse unserer Beobachtungen 0,59 Zoll (15 mm) über den Boden hoch war, ist in der beistehenden Figur (Fig. 17) nach einer Beobachtungsperiode von 44 Stunden 40 Minuten dargestellt.

Aesculus hippocastanum (Hippocastaneae). — Keimende Samen wurden in einen innen feucht gehaltenen Zinnkasten gethan mit einer schrä-

gen Schicht feuchten, thonigen Sandes, auf welcher 4 berusste Glasplatten in einer Neigung von 70° und 65° gegen den Horizont lagen. Die Spitzen der Würzelchen waren so gestellt, dass sie eben das obere Ende der Glasplatten berührten, und da sie nach abwärts wuchsen, drückten sie in Folge des Heliotropismus leicht auf die berusteten Flächen und hinterlieszen die Spuren ihres Verlaufs. In dem mittleren Theile einer jeden solchen Spur wurde das Glas reingewischt, die Ränder waren aber stark gestört und unregelmässig. Copien von zweien dieser Züge (alle vier waren nahezu gleich) wurden auf Pauspapier angefertigt, welches auf die Glasplatten gelegt wurde, nachdem sie gefirnisset worden waren, und sie sind so genau wie möglich, in Anbetracht der Beschaffenheit der Ränder (Fig. 18). Sie



Fig. 18. *Aesculus hippocastanum*: Umrisse der auf berusteten Glasplatten von den Spitzen der Würzelchen zurückgelassenen Spuren. Bei A war die Platte unter 70° gegen den Horizont geneigt, das Würzelchen war 1,9 Zoll lang und 0,23 Zoll an der Basis im Durchmesser. Bei B war die Platte unter 65° gegen den Horizont geneigt, das Würzelchen war unbedeutend grösser.

genügen, um zu zeigen, dass etwas Seitenbewegung, beinahe schlangenartig gewunden, dabei vorhanden war, und dass die Spitzen in ihrer Abwärtsbewegung mit ungleicher Kraft auf die Glasplatten drückten, so dass die Spuren in der Breite variirten. Die vollkommener serpentinigen Züge, welche die Würzelchen von *Phaseolus multiflorus* und *Vicia faba* (die sofort beschrieben werden sollen) auf den Glasplatten hinterlieszen, machen es beinahe sicher, dass die Würzelchen der vorliegenden Pflanze circumnutirten.

Phaseolus multiflorus (Leguminosae). — Vier berusste Glasplatten wurden in derselben Weise, wie unter *Aesculus* beschrieben wurde, angeordnet, und die von den Spitzen von vier Würzelchen der genannten Pflanze während ihres Abwärtswachsens hinterlassenen Spuren wurden als

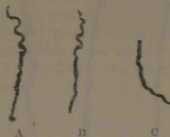


Fig. 19. *Phaseolus multiflorus*: Von den Spitzen der Würzelchen beim Abwärtswachsen auf geneigten berusteten Glasplatten zurückgelassene Spuren. Bei A und C waren die Platten unter 60° , bei B unter 68° gegen den Horizont geneigt.

durchsichtige Gegenstände photographirt. Drei von ihnen sind hier genau copirt worden (Fig. 19). Ihr serpentiniger Verlauf zeigt, dass die Spitzen sich regelmässig von einer Seite zur andern bewegten; sie drückten auch abwechselnd mit grösserer oder geringerer Kraft auf die Glasplatten, erhoben sich zuweilen und verlieszen sie für eine sehr kurze Entfernung

zu wachsen, genau in derselben Weise wie bei *Aesculus* und *Phaseolus*. Einige von den Platten waren nur wenige Grade unter den Horizont geneigt, die meisten von ihnen aber zwischen 60° und 75° . In den letzteren Fällen wurden die Würzelchen bei dem Abwärtswachsen nur wenig von ihrer Richtung abgelenkt, welche sie bei dem Keimen in Sägespänen eingeschlagen hatten, und sie drückten unbedeutend auf die Glasplatten (Fig. 21). Fünf der deutlichsten Züge sind hier copirt, und sie sind alle unbedeutend sinuös, sie zeigen Circumnutation. Überdies ergab eine genaue Untersuchung beinahe jedes einzelnen von diesen Zügen deutlich, dasz die Spitzen in ihrem Verlaufe nach abwärts abwechselnd mit grösserer oder geringerer Kraft auf die Platten gedrückt und zuweilen sich so erhoben hatten, dasz sie dieselben für kurze Zeit beinahe verlassen hatten. Die Entfernung zwischen den äussersten rechten und linken Stellungen des Würzelchens A betrug 0,7 mm, in derselben Weise ermittelt wie bei *Phaseolus*.

Epicotyl. — An dem Punkte, wo das Würzelchen von einer auf ihre Seite gelegten Bohne vorgetrieben hatte, sprang ein abgeplattetes, solides Klümpchen 0,1 Zoll in derselben horizontalen Ebene mit der Bohne vor. Diese Vorragung bestand aus dem convexen Gipfel des gebogenen Epicotyls und als er sich entwickelte, krümmten sich die beiden Schenkel des Bogens seitwärts nach oben und zwar in Folge des Apogeotropismus in einer solchen Schnelligkeit, dasz der Bogen nach 14 Stunden stark geneigt und in 48 Stunden senkrecht stand. Ein Glasstab wurde an dem Gipfel der Vorragung, ehe noch irgend ein Bogen sichtbar war, befestigt, aber die basale Hälfte wuchs so schnell, dasz am zweiten Morgen das Ende des Stabes bedeutend nach abwärts gebogen war. Er wurde daher entfernt und weiter nach unten befestigt. Die während dieser zwei Tage aufgezeichnete Linie verlief in derselben allgemeinen Richtung, war stellenweise nahezu gerade und an anderen Stellen deutlich zickzack und ergab damit einen gewissen Beleg für Circumnutation.

Da der gebogene Epicotyl, in welche Stellung er auch gebracht werden mag, schnell durch Apogeotropismus sich nach oben biegt, und da die beiden Schenkel in einem sehr frühen Alter sich von einander zu entfernen streben, sobald sie von dem Drucke der umgebenden Erde befreit werden, so war es schwer, mit Sicherheit zu ermitteln, ob der Epicotyl, so lange er gekrümmt blieb, circumnutirte. Es wurden daher einige ziemlich tief vergrabene Bohnen frei gemacht, und die beiden Schenkel des Bogens wurden zusammengebunden, wie es mit dem Epicotyl von *Tropaeolum* und dem Hypocotyl des Kohls geschehen war. Die Bewegungen der zusammengebundenen Bogen wurden in der gewöhnlichen Weise bei zwei Gelegenheiten während dreier Tage verzeichnet. Die Zeichnungen wurden aber unter so unnatürlichen Bedingungen gemacht, dasz es sich nicht verlohnt sie mitzutheilen; es braucht nur gesagt zu werden, dasz die Linien entschieden zickzackförmig waren, und dass gelegentlich kleine Schlingen gebildet wurden. Wir können daher schlieszen, dasz der Epicotyl circumnutirt, so lange er noch gekrümmt ist, und ehe er lang genug gewachsen ist, um durch die Oberfläche des Bodens durchzubrechen.

Um die Bewegungen des Epicotyls in einem etwas vorgeschrittenen Alter zu beobachten, wurde ein Stab in der Nähe der Basis eines befestigt, welcher nicht mehr gekrümmt war; denn seine obere Hälfte bildete

nun mit der unteren einen rechten Winkel. Diese Bohne hatte auf bloßem feuchten Sande gekeimt, und der Epicotyl begann sich viel früher gerade zu strecken, als es eingetreten sein würde, wenn sie gehörig gepflanzt worden wäre. Der während 50 Stunden eingeschlagene Verlauf (von 9 Uhr a. m. des 26. December bis 11 Uhr a. m. des 28.) ist hier dargestellt (Fig. 22); und wir sehen, dasz der Epicotyl während dieser ganzen Zeit circumnutirte. Sein basaler Theil wuchs während dieser 50 Stunden so bedeutend, dasz der Faden beim Ende unsrer Beobachtungen in der Höhe von 0,4 Zoll oberhalb der Oberfläche der Bohne befestigt war, statt dicht an ihr. Wenn die Bohne ordentlich gepflanzt gewesen wäre, würde dieser Theil des Epicotyls noch immer unterhalb der Erde gewesen sein.

Spät am Abend des 28., einige Stunden nachdem die obigen Beobachtungen vollendet wurden, war der Epicotyl viel gerader gewachsen; denn der obere Theil bildete nun mit dem unteren einen weit offenen Winkel. Ein Faden wurde an den aufrechten basalen Theil höher hinauf als vorher befestigt, dicht unterhalb des untersten schuppenartigen Vorsprungs

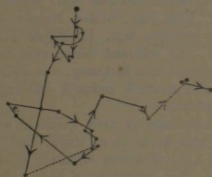


Fig. 22. *Vicia faba*: Circumnutation eines jungen Epicotyls im Dunkeln während 50 Stunden an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens am Glasfaden 20mal vergrößert, hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.



Fig. 23. *Vicia faba*: Circumnutation desselben Epicotyls, wie in Fig. 22, etwas weiter im Alter vorgeschritten, unter ähnlichen Bedingungen wie vorher von 8.40 a. m. am 28. Dec. bis 10.50 a. m. am 30. aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens hier 20mal vergrößert.

oder des Homologon eines Blattes; seine Bewegung wurde während 38 Stunden verfolgt (Fig. 23). Auch hier haben wir wieder deutliche Beweise einer fortdauernden Circumnutation. Wäre die Bohne gehörig eingepflanzt worden, so würde der Theil des Epicotyls, an welchem der Faden befestigt wurde, und dessen Bewegung hier dargestellt ist, wahrscheinlich soeben über die Oberfläche des Bodens emporgestiegen sein.

Lathyrus nissolia (Leguminosae). — Die Pflanze wurde deshalb zur Beobachtung ausgewählt, weil sie eine abnorme Form mit grasartigen Blättern ist. Die Cotyledonen sind hypogäisch und der Epicotyl durchbricht den Boden in einer gekrümmten Form. Die Bewegungen eines 1,2 Zoll hohen Stammes, welcher aus drei Internodien bestand, dessen

unterer beinahe ganz subterran war, während der obere ein kurzes schmales Blatt trug, sind in Fig. 24 dargestellt. Es wurde kein Glasfaden angebracht, sondern unter die Spitze des Blattes wurde ein Zeichen gemacht. Die factische Länge der längeren der beiden Ellipsen, welche den Stamm beschrieb, war ungefähr 0,14 Zoll. Am vorhergehenden Tage war die

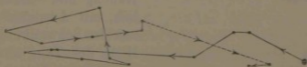


Fig. 24. *Lathyrus nissolia*: Circumnutation des Stammes eines jungen Sämlings, in der Dunkelheit auf einer horizontalen Glasplatte von 6.45 a. m., 22. Nov., bis 7 a. m., 23. Nov., aufgezeichnet. Bewegung des Blattendes ungefähr 12mal vergrößert, hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

Hauptlinie der Bewegung beinahe rechtwinklig auf die in der Figur dargestellte und war einfacher.

*Cassia tora*¹ (Leguminosae). — Ein Sämling wurde vor ein nach Nordosten gelegenes Fenster gestellt; er bog sich sehr wenig nach ihm hin, da der Hypocotyl, welcher freigelassen wurde, ziemlich alt und daher nicht in hohem Grade heliotropisch war. Ein Faden war an die Mittelrippe eines der Cotyledonen befestigt worden, und die Bewegung des ganzen Sämlings wurde während zweier Tage aufgezeichnet. Die Circumnutation des Hypocotyls ist völlig unbedeutend verglichen mit der der Cotyledonen. Diese erheben sich des Nachts senkrecht nach oben und kommen in dichte Berührung, so dass man sagen kann sie schlafen. Dieser Sämling war so alt, dass ein sehr kleines echtes Blatt entwickelt worden war, welches des Nachts von den geschlossenen Cotyledonen vollständig verhüllt wurde. Am 24. September zwischen 8 Uhr a. m. und 5 Uhr p. m. bewegten sich die Cotyledonen fünfmal aufwärts und fünfmal abwärts; sie beschrieben daher fünf unregelmäßige Ellipsen im Verlaufe von 9 Stunden. Die große nächtliche Erhebung fieng ungefähr um 4,30 p. m. an.

Am folgenden Morgen (25. Sept.) wurde die Bewegung des nämlichen Cotyledons wiederum in derselben Weise während 24 Stunden aufgezeichnet, und eine Copie der Zeichnung wird hier mitgetheilt (Fig. 25). Der Morgen war kalt und das Fenster war zufällig eine kurze Zeit lang offengelassen worden, was die Pflanze erkältet haben mag; dies hinderte sie wahrscheinlich, sich ebenso stark zu bewegen wie am vorausgehenden Tage. Denn während des Tags stieg sie nur viermal in die Höhe und sank nur viermal, wobei eine der Schwankungen sehr klein war. Um 7,10 a. m., als der erste Punkt gemacht wurde, waren die Cotyledonen noch nicht vollständig geöffnet oder erwacht; sie fuhren sich zu öffnen fort bis ungefähr 9 Uhr a. m., um welche Zeit sie etwas unter den Horizont gesunken waren: um 9,30 a. m. waren sie gestiegen und schwankten dann auf- und abwärts, aber die nach oben und unten gerichteten Linien fielen nie vollständig zusammen. Ungefähr um 4,30 p. m. begann die starke nächtliche

¹ Samen dieser Pflanze, welche in der Nähe des Strandes wuchs, wurden uns von Fritz Müller aus Süd-Brasilien geschickt. Die Sämlinge gediehen und blühten bei uns nicht gut; sie wurden nach Kew geschickt und für von *C. tora* nicht zu unterscheiden erklärt.

Erhebung. Um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen (26. Sept.) nahmen sie nahezu dieselbe Höhe ein wie am vorausgehenden Morgen, wie es in der Figur dargestellt ist: dann begannen sie sich zu öffnen, oder in der gewöhnlichen Weise zu sinken. Die Zeichnung veranlaszt zu der Annahme,

dass die grosse periodische tägliche Hebung und Senkung nicht wesentlich, mit Ausnahme der Amplitude, von den Schwankungen während der Mitte des Tags abweicht.

Lotus Jacobaeus (Leguminosae). — Die Cotyledonen dieser Pflanze erheben sich nach den wenigen ersten Tagen ihres Lebens so, dass sie beinahe, obschon selten vollkommen, des Nachts senkrecht stehen. Sie fahren eine lange Zeit selbst nach der Entwicklung einiger der wahren Blätter sich in derselben Weise zu benehmen fort. Bei 3 Zoll hohen Sämlingen, welche fünf oder sechs Blätter tragen, erheben sie sich des Nachts um ungefähr 45° . Sie fuhren hiermit fort für ungefähr weitere vierzehn Tage. Später blieben sie des Nachts horizontal, obschon sie noch immer grün waren, und fielen zuletzt ab. Ihre Erhebung des Nachts, so dass sie beinahe senkrecht standen, scheint in hohem Grade von der Temperatur abzuhängen. Denn als die Sämlinge in einem kühlen Hause gehalten wurden, wurden die Cotyledonen, obschon sie noch fortfuhren zu wachsen, doch des Nachts nicht senkrecht.

Fig. 25. *Cassia tora*: Vereinigte Circumnutation der Cotyledonen und des Epicotyls, auf einer senkrechten Glasplatte von 7.10 a. m., 25. Sept., bis 7.30 a. m., 26., aufgezeichnet. Die hier gegebene Figur ist auf die Hälfte des Maszstabes des Originals reducirt.

Es ist merkwürdig, dass die Cotyledonen nicht ganz allgemein während der ersten vier oder fünf Tage nach dem Keimen sich des Nachts in irgend einem auffallenden Masze erheben; es war aber bei Sämlingen, die unter den nämlichen Bedingungen gehalten wurden, die Periode äusserst veränderlich, und viele wurden beobachtet. Glasfäden mit sehr kleinen Papierdreiecken wurden an die Cotyledonen ($1\frac{1}{2}$ mm breit) zweier Sämlinge, die nur 24 Stunden alt waren, befestigt, und der Hypocotyl wurde an einen Stab fest gemacht; ihre Bewegungen wurden bedeutend vergrößert aufgezeichnet, und sie circumnutirten sicherlich die ganze Zeit in einem sehr kleinen Maszstabe; sie boten aber keinerlei deutliche nächtliche und tägliche Bewegung dar. Als die Hypocotylen frei gemacht wurden, circumnutirten sie in einem sehr weiten Umfange.

Ein anderer und viel älterer Sämling, welcher ein halbes entwickeltes Blatt trug, wurde mit seinen Bewegungen in einer ähnlichen Weise

während der ersten drei Tage und Nächte des Juni aufgezeichnet; es scheinen aber Sämlinge dieses Alters gegen Lichtmangel sehr empfindlich zu sein; sie wurden unter einem ziemlich trüben Oberlichte in einer Temperatur von zwischen $16-17\frac{1}{2}^{\circ}$ C. beobachtet; und allem Anschein nach in Folge dieser Umstände hörte die grosse Tagesbewegung der Cotyledonen am dritten Tage auf. Während der ersten zwei Tage begannen sie zeitig am Nachmittag sich in einer nahezu geraden Linie zu erheben, bis sie zwischen 6 und 7 Uhr p. m. beinahe senkrecht standen. Während des späteren Theiles der Nacht oder wahrscheinlicher am zeitigen Morgen fiengen sie an zu sinken oder sich zu öffnen, so dasz sie um 6,45 a. m. voll entfaltet und horizontal standen. Sie fuhren eine Zeit lang langsam zu sinken fort und beschrieben während des zweiten Tages eine einzige kleine Ellipse zwischen 9 a. m. und 2 Uhr p. m., auszer der grossen täglichen Bewegung. Der während der ganzen 24 Stunden eingeschlagene Lauf war weit weniger complicirt, als in dem vorhergehenden Falle bei der *Cassia*. Am dritten Morgen fielen sie sehr bedeutend und circumnutirten dann in einem geringen Masze um den nämlichen Punkt; um 8,20 p. m. zeigten sie keinerlei Neigung sich Nachts zu erheben. Auch erhoben sich die Cotyledonen keines der vielen anderen, in dem nämlichen Topfe gehaltenen Sämlinge; so verhielt es sich auch in der folgenden Nacht des 5. Juni. Der Topf wurde dann in das Warmhaus zurückgebracht, wo er der Sonne ausgesetzt wurde; und in der folgenden Nacht erhoben sich die sämmtlichen Cotyledonen wiederum bis zu einem beträchtlichen Winkel, standen aber nicht vollständig senkrecht. An jedem der oben erwähnten Tage fiel die die grosse nächtliche Erhebung darstellende Linie nicht mit der der grossen täglichen Senkung zusammen, so dasz schmale Ellipsen beschrieben wurden, wie es die gewöhnliche Regel bei circumnutirenden Organen ist. Die Cotyledonen sind mit einem Pulvinus versehen und ihre Entwicke lung wird später beschrieben werden.

Mimosa pudica (Leguminosae). — Die Cotyledonen erheben sich des Nachts senkrecht, so dasz sie sich vollständig schlieszen. Zwei Sämlinge wurden im Gewächshaus beobachtet (Temperatur $16-17^{\circ}$ C.). Ihre Hypocotyle wurden an Stäbe befestigt, und Glasfäden, welche kleine Papierdreiecke trugen, wurden an die Cotyledonen beider angebracht. Ihre Bewegungen wurden an einer senkrechten Glasscheibe während 24 Stunden am 13. November aufgezeichnet. Der Topf hatte eine Zeit lang in der nämlichen Stellung gestanden, und sie waren hauptsächlich durch das Glasdach beleuchtet worden. Die Cotyledonen eines dieser Sämlinge bewegten sich des Morgens bis 11,30 a. m. nach abwärts und erhoben sich dann, wobei sie sich am Abend rapid bewegten, bis sie senkrecht standen, so dasz in diesem Falle einfach eine einzige grosse tägliche Erhebung und Senkung vorhanden war. Der andere Sämling benahm sich ziemlich verschieden. Denn des Morgens sank er bis 11,30 a. m. und erhob sich dann, sank aber nach 12,10 p. m. wiederum, und die grosse Abenderhebung begann nicht vor 1,22 p. m. Am folgenden Morgen war dieser Cotyledon von seiner verticalen Stellung um 8,15 a. m. bedeutend gesunken. Zwei andere Sämlinge (einer sieben und der andere acht Tage alt) waren früher unter ungünstigen Umständen beobachtet worden, wo die Temperatur nur zwischen $13,3^{\circ}$ und $13,8^{\circ}$ betrug. Sie muszten

überdies gegen Seitenlicht geschützt werden und waren vielleicht nicht hinreichend beleuchtet. Unter diesen Umständen bewegten sich die Cotyledonen einfach von 7 Uhr a. m. bis 2 Uhr p. m. abwärts, nach welcher Zeit und während eines groszen Theils der Nacht sie fortfuhren sich zu erheben. Zwischen 7 und 8 Uhr a. m. des folgenden Morgens sanken sie wieder; aber an diesen zwei und gleichfalls am dritten Tage wurden die Bewegungen unregelmässig und zwischen 3 und 10,30 p. m. circumnutirten sie in einem geringen Grade um einen und den nämlichen Fleck, sie erhoben sich aber nicht des Nachts. Nichts desto weniger erhoben sie sich in der folgenden Nacht wie gewöhnlich.

Cytisus fragrans (Leguminosae). — An dieser Pflanze wurden nur wenige Beobachtungen angestellt. Der Hypocotyl circumnutirte in einer beträchtlichen Ausdehnung, aber in einer einfachen Weise, — nämlich zwei Stunden lang in einer Richtung und dann viel langsamer in einem Zickzackverlauf wieder rückwärts fast parallel der ersten Linie und bis jenseits des Ausgangspunktes hin. Er bewegte sich die ganze Nacht in derselben Richtung, fieng aber am Morgen an zurückzukehren. Die Cotyledonen bewegten sich fortwährend aufwärts und abwärts und seitlich; sie erhoben sich aber des Nachts nicht in einer augenfälligen Weise.

Lupinus luteus (Leguminosae). — Es wurden Sämlinge dieser Pflanze deshalb beobachtet, weil die Cotyledonen so dick sind (ungefähr 0,08 Zoll), dasz es unwahrscheinlich schien, dasz sie sich überhaupt bewegen. Unsere Beobachtungen waren nicht sehr erfolgreich, da die Sämlinge stark heliotropisch sind, und ihre Circumnutation in der Nähe eines Nordostfensters nicht genau beobachtet werden konnte, obschon sie während des vorausgehenden Tages in derselben Stellung gehalten worden waren. Es wurde dann ein Sämling in Dunkelheit gebracht und sein Hypocotyl an einen Stab befestigt; beide Cotyledonen erhoben sich anfangs ein wenig und sanken dann während des übrigen Tages; am Abend zwischen 5 und 6 Uhr p. m. bewegten sie sich sehr langsam; während der Nacht fuhr der eine fort zu sinken, und der andere erhob sich, obschon nur ein wenig. Die Aufzeichnung wurde nicht sehr vergrössert, und da die Linien deutlich zickzack waren, müssen sich die Cotyledonen ein wenig seitwärts bewegt haben, d. h. sie müssen circumnutirt haben.

Der Hypocotyl ist ziemlich dick, ungefähr 0,12 Zoll, nichts desto weniger circumnutirte er in einem complicirten Verlaufe, obschon in geringer Ausdehnung. Die Bewegung eines alten Sämlings mit zwei echten, zum Theil schon entwickelten Blättern wurde im Dunkeln beobachtet. Da die Bewegung ungefähr 100mal vergrössert wurde, ist sie nicht zuverlässig und wird nicht mitgetheilt. Es konnte aber darüber kein Zweifel bestehen, dasz der Hypocotyl sich nach allen Richtungen während des Tages bewegte, wobei er seinen Lauf 19mal veränderte. Die äusserste factische Entfernung von einer Seite zur andern, durch welche der obere Theil des Hypocotyls im Verlaufe von $14\frac{1}{2}$ Stunden hindurchgieng, betrug nur $\frac{1}{6}$ Zoll, er bewegte sich zuweilen mit der Geschwindigkeit von $\frac{1}{6}$ Zoll in der Stunde.

Cucurbita ovifera (Cucurbitaceae). — Würzelchen: Ein Same, welcher auf feuchtem Sande gekeimt hatte, wurde so befestigt, dasz das unbedeutend gekrümmte Würzelchen, welches nur 0,07 Zoll lang war, fast

senkrecht nach oben stand, in welcher Stellung der Geotropismus zunächst mit geringer Kraft nur wirken kommt. Ein Faden wurde in der Nähe seiner Basis angebracht und stand in ungefähr einem Winkel von 45° über den Horizont vor. Der allgemeine Gang, welcher während der 11 Stunden der Beobachtung und während der folgenden Nacht eingehalten wurde, ist in der beistehenden Zeichnung angegeben (Fig. 26) und



Fig. 26. *Cucurbita ovifera*: Der von einem Würzelchen beim geotropischen Abwärtsbiegen zurückgelegte Weg, an einer horizontalen Glasplatte zwischen 11.25 a. m. und 10.25 p. m. aufgezeichnet; die Richtung während der Nacht ist durch die unterbrochene Linie angedeutet. Bewegung des Laktropfens 14mal vergrößert.

war offenbar Folge des Geotropismus; es war aber gleichfalls deutlich, dass das Würzelchen circumnutirte. Am nächsten Morgen hatte sich die Spitze so viel nach abwärts gekrümmt, dass der Faden statt 45° über den Horizont vorzuspringen, nahezu horizontal stand. Ein anderer keimender Same wurde mit der Oberseite nach unten gedreht und mit feuchtem Sand bedeckt; ein Faden wurde an das Würzelchen so befestigt, dass er in einem Winkel von ungefähr 50° über den Horizont vorsprang; dieses Würzelchen war 0,35 Zoll lang und ein wenig gekrümmt. Der eingeschlagene Weg wurde wie in dem letzten Falle hauptsächlich durch Geotropismus bestimmt, aber die während 12 Stunden aufgezeichnete und wie vorhin vergrößerte Linie war noch stärker im Zickzack, wiederum auf Circumnutation hinweisend.

Vier Würzelchen wurde gestattet, über Platten von berusstem Glas, die unter einem Winkel von 70° zum Horizont geneigt waren, unter den nämlichen Bedingungen wie bei *Aesculus*, *Phaseolus* und *Vicia* nach abwärts zu wachsen. Von zwei dieser Züge werden hier Facsimiles mitgeteilt (Fig. 27); und ein dritter kurzer war beinahe ebenso deutlich schlangenförmig wie der bei A. Die grözere oder geringere Menge von Rusz, welche von den Glasplatten abgefegt worden war, machte es offenbar, dass die Spitzen abwechselnd mit grözterer oder geringerer Kraft auf dieselbe aufgedrückt hatten. Es musz daher mindestens in zwei aufeinander rechtwinklig stehenden Ebenen Bewegung eingetreten sein. Diese Würzelchen waren so zart, dass sie nur selten so viel Kraft hatten, die Glasplatte ganz rein zu fegen. Eines von ihnen hatte einige seitliche oder secundäre Wurzelfädchen entwickelt, welche einige wenige Grade unter dem Horizont vorsprangen; und es ist eine bedeutungsvolle Thatsache, dass drei von ihnen deutlich schlangenförmige Züge auf der beruszten Oberfläche zurückkieszen, was über allen Zweifel beweist, dass sie, wie das Haupt- oder Primär-Würzelchen auch circumnutirt hatten. Aber die Züge waren so unbedeutend,

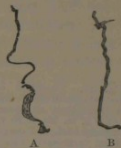


Fig. 27. *Cucurbita ovifera*: Von den Spitzen von Würzelchen beim Abwärtsachsen über beruszte, unter 70° gegen den Horizont geneigte Glasplatten zurückgelassene Spuren.

dass sie nicht nachgezeichnet und copirt werden konnten, nachdem die berusste Fläche mit Firnisz überzogen war.

Hypocotyl. — Ein auf feuchtem Sand liegender Same wurde durch zwei kreuzweis gezogene Drähte und durch sein eigenes wachsendes Würzelchen sicher befestigt. Die Cotyledonen waren noch innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen, und der kurze Hypocotyl, zwischen der Spitze des Würzelchens und den Cotyledonen, war bis jetzt nur unbedeutend gekrümmt. Ein Glasfaden (0,85 Zoll lang) wurde unter einem Winkel von 35° über den Horizont an die den Cotyledonen naheliegende Seite des Bogens befestigt. Dieser Theil stellt schliesslich das obere Ende des Hypocotyls dar, nachdem er sich gerade gestreckt hat und vertical aufgewachsen ist. Wäre der Same ordentlich gepflanzt worden, so würde der Hypocotyl in diesem Wachstumsstadium tief unter die Oberfläche eingegraben worden sein. Der von dem Lacktropfen des Glasfadens eingeschlagene Weg ist in Fig. 28 dargestellt. Die hauptsächlichsten Bewegungslinien von links nach rechts in der Figur waren der Ebene der beiden vereinigten Cotyledonen und des abgeplatteten Samens parallel; und diese Bewegung würde ihr Herausziehen aus den Samenhüllen unterstützt haben, welche durch eine specielle Structureinrichtung, die später beschrieben werden soll, niedergehalten werden. Die rechtwinklig auf die obigen Linien eintretende Bewegung war Folge davon, dass der gebogene Hypocotyl bei der Zunahme

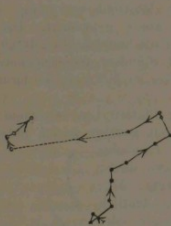


Fig. 28. *Cucurbita ovifera*: Circumnutation des gebogenen Hypocotyls in sehr frühem Alter, in Dunkelheit an einer horizontalen Glasplatte von 8 a. m. bis 10.20 a. m. am folgenden Tage aufgezeichnet. Bewegung des Lacktropfens 20mal vergrößert, hier auf die Hälfte des Maststabes des Originals reducirt.

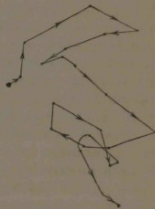


Fig. 29. *Cucurbita ovifera*: Circumnutation eines gerade gestreckten und senkrechten Hypocotyls mit einem quer auf sein oberes Ende befestigten Faden, in Dunkelheit von 8.30 a. m. bis 8.30 p. m. auf einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Die Bewegung des endständigen Lacktropfens ursprünglich 18mal, hier nur $4\frac{1}{2}$ mal vergrößert.

an Höhe noch mehr gebogen wurde. Die vorstehenden Beobachtungen beziehen sich auf den den Cotyledonen zunächst gelegenen Schenkel des Bogens, aber der andere, dem Würzelchen anliegende Schenkel circumnutirte gleichfalls in einem gleich frühen Alter.

Die Bewegung des nämlichen Hypocotyls, nachdem er gerade und senkrecht geworden war, aber bei nur theilweise entfaltenen Cotyledonen, ist in Fig. 29 dargestellt. Der während 12 Stunden eingehaltene Lauf stellt $4\frac{1}{2}$ Ellipsen oder Ovale dar, wobei die längere Axe der ersten unter nahezu rechtem Winkel zu denen der andern stand. Die längeren

Axen aller standen zu einer die gegenständigen Cotyledonen verbindenden Linie schräg. Die factische äusserste Entfernung von einer Seite zur andern, welche der Gipfel des längern Hypocotyls im Verlaufe von 12 Stunden durchmessen hatte, war 0,28 Zoll. Die Originalfigur wurde im grossen Maszstabe aufgezeichnet, und wegen der Schrägheit der Gesichtslinie sind die äusseren Theile der Zeichnung bedeutend übertrieben.

Cotyledonen. — Bei zwei Gelegenheiten wurden die Bewegungen der Cotyledonen auf einer senkrechten Glasplatte verzeichnet, und da die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht vollständig zusammenfielen, wurden sehr enge Ellipsen beschrieben, daher circumnutirten dieselben. Solange sie jung sind, steigen sie des Nachts senkrecht in die Höhe, ihre Spitzen bleiben aber immer zurückgebogen; am folgenden Morgen sinken sie wieder nach abwärts. Bei einem in vollständiger Dunkelheit gehaltenen Sämling bewegten sie sich in derselben Weise; denn von 8,45 a. m. bis 4,30 p. m. sanken sie; dann begannen sie sich zu erheben und blieben bis 10 Uhr p. m. dicht bei einander, um welche Zeit sie zuletzt beobachtet wurden. Um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen waren sie so weit entfaltet, wie in irgend einer Stunde des vorhergehenden Tages. Die Cotyledonen eines anderen jungen dem Lichte ausgesetzten Sämlings waren vollständig eröffnet zum ersten Male an einem bestimmten Tage, wurden aber um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen vollständig geschlossen gefunden. Sie begannen bald sich wieder auszubreiten und fuhren damit bis ungefähr 5 Uhr p. m. fort; dann fiengen sie wieder an zu steigen und standen um 10,30 p. m. senkrecht und waren beinahe geschlossen. Um 7 Uhr a. m. am dritten Morgen waren sie nahezu senkrecht und entfalteten sich wiederum während des Tages; am vierten Morgen waren sie dicht geschlossen, sie öffneten sich aber im Verlaufe des Tags ein wenig und stiegen in der folgenden Nacht wieder ein wenig. Um diese Zeit war ein sehr kleines echtes Blatt entwickelt worden. Bei einem andern noch älteren, ein wohl entwickeltes Blatt tragenden Sämlinge wurde ein scharfer steifer Faden an einen seiner Cotyledonen (85 mm lang) befestigt, welcher seine eigenen Bewegungen an einer sich umdrehenden mit berusstem Papier überzogenen Trommel niederschrieb. Die Beobachtungen wurden im Warmhause angestellt, wo die Pflanze gelebt hatte, so dasz weder in Temperatur noch Licht eine Veränderung eintrat. Die Niederschrift begann um 11 Uhr a. m. am 18. Februar, und von dieser Stunde an bis 3 Uhr p. m. fiel der Cotyledon; dann erhob er sich rapid bis 9 Uhr p. m., stieg dann sehr allmählich bis 3 Uhr a. m. am 19. Februar, nach welcher Zeit er allmählich bis 4,30 p. m. sank, aber die Bewegung nach abwärts wurde durch eine unbedeutende Erhebung oder Schwankung ungefähr um 1,30 p. m. unterbrochen. Nach 4,30 p. m. (19.) stieg der Cotyledon bis 1 Uhr a. m. (in der Nacht zum 20. Februar) und sank dann sehr allmählich bis 9,30 a. m., wo wir unsere Beobachtungen schlossen. Der Betrag an Bewegung war am 18. bedeutender als am 19. oder am Morgen des 20.

Cucurbita aurantia. — Ein bogenförmig gekrümmter Hypocotyl wurde ein wenig unter der Oberfläche des Bodens eingegraben gefunden, und um seine schnelle Streckung zu verhindern, wenn er von dem umgebenden Drucke der Erde befreit würde, wurden die zwei Schenkel des Bogens

zusammengebunden. Dann wurde der Same leicht mit loser feuchter Erde bedeckt. Ein Glasfaden mit einem Lacktropfen am Ende wurde an den basalen Schenkel befestigt, dessen Bewegungen während zweier Tage in der gewöhnlichen Weise beobachtet wurden. Am ersten Tage bewegte sich der Bogen in einer Zickzacklinie nach der Seite des basalen Schenkels hin. Am nächsten Tage, in welcher Zeit die herabhängenden Cotyledonen über die Fläche der Erde herausgezogen worden waren, veränderte der zusammengebundene Bogen neunmal im Verlaufe von $14\frac{1}{2}$ Stunden seinen Lauf bedeutend. Er beschrieb eine grosse, äusserst unregelmässige, kreisförmige Figur, wobei er des Nachts nahezu auf denselben Fleck zurückkam, von dem er zeitig am Morgen ausgegangen war. Die Linie war so stark zickzackförmig, dass sie dem Anscheine nach fünf Ellipsen darstellte, deren längere Axen nach verschiedenen Richtungen hinwiesen. In Bezug auf die periodischen Bewegungen der Cotyledonen bildeten diejenigen mehrerer jungen Sämlinge um 4 Uhr p. m. zusammen einen Winkel von ungefähr 60° und um 10 Uhr p. m. standen ihre unteren Theile senkrecht und waren in Berührung; ihre Spitzen waren indessen, wie es gewöhnlich bei dieser Gattung der Fall ist, zurückgebogen. Diese Cotyledonen waren um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen wiederum gut ausgebreitet.

Lagenaria vulgaris (var. Miniaturflaschenkürbis) (Cucurbitaceae). — Ein Sämling öffnete seine Cotyledonen, deren Bewegungen allein beobachtet wurden, unbedeutend am 27. Juni und schloss sie des Nachts; am nächsten Tage, des Mittags (28.), schlossen sie einen Winkel von 50° ein und um 10 Uhr p. m. waren sie in dichter Berührung, so dass jeder von ihnen $26\frac{1}{2}^\circ$ sich erhoben hatte. Am Mittag des 29. schlossen sie einen Winkel von 118° und um 10 Uhr p. m. einen Winkel von 54° ein, jeder war daher 32° gestiegen. Am folgenden Tage waren sie noch weiter geöffnet und die nächtliche Erhebung war bedeutender, die Winkel wurden aber nicht gemessen. Es wurden noch zwei andere Sämlinge beobachtet, die sich während dreier Tage in einer sehr ähnlichen Weise benahmen. Es öffnen sich daher die Cotyledonen an jedem folgenden Tage immer mehr und mehr und erheben sich in jeder Nacht ungefähr um 30° , in Folge dessen stehen sie während der ersten zwei Nächte ihres Lebens vertical und kommen in Berührung.

Am noch genauer die Natur dieser Bewegungen zu ermitteln, wurde der Hypocotyl eines Sämlings, dessen Cotyledonen gut entfaltet waren, an einem kleinen Stab befestigt und ein Faden mit Papierdreiecken an

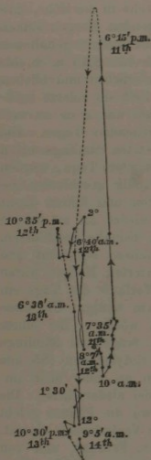


Fig. 30. *Lagenaria vulgaris*: Circumnutation eines $1\frac{1}{2}$ Zoll langen Cotyledonen; die Spitze stand nur $\frac{3}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte ab, auf welcher seine Bewegungen von 7.35 a. m., 11. Juli, bis 9.5 a. m., 14., aufgezeichnet wurden. Die hier mitgetheilte Figur ist auf ein Drittel des ursprünglichen Massstabes reducirt.

Am noch genauer die Natur dieser Bewegungen zu ermitteln, wurde der Hypocotyl eines Sämlings, dessen Cotyledonen gut entfaltet waren, an einem kleinen Stab befestigt und ein Faden mit Papierdreiecken an

Am noch genauer die Natur dieser Bewegungen zu ermitteln, wurde der Hypocotyl eines Sämlings, dessen Cotyledonen gut entfaltet waren, an einem kleinen Stab befestigt und ein Faden mit Papierdreiecken an

einen der Cotyledonen angebracht. Die Beobachtungen wurden unter einem ziemlich trüben Oberlichte angestellt und die Temperatur betrug während der ganzen Zeit zwischen $17\frac{1}{2}$ — 18° C. Wäre die Temperatur höher und das Licht heller gewesen, würden die Bewegungen wahrscheinlich grösser gewesen sein. Am 11. Juli (s. Fig. 30) sank der Cotyledon von 7,35 a. m. bis 10 Uhr a. m.; dann erhob er sich (nach 4 Uhr p. m. rapid), bis er um 8,40 p. m. vollständig senkrecht stand. Während des frühen Morgens des nächsten Tages (12.) sank er und fuhr bis 8 Uhr a. m. fort zu sinken, nach welcher Stunde er sich wieder erhob, dann sank und sich wieder erhob, so dasz er um 10,35 p. m. viel höher stand, als er am Morgen gestanden hatte, war aber nicht senkrecht wie in der vorhergehenden Nacht. Während des folgenden zeitigen Morgens und des ganzen Tages (13.) sank und circumnutirte er, war aber, als er spät am Abend noch beobachtet wurde, nicht gestiegen; und dies war wahrscheinlich Folge des Mangels von Wärme oder Licht oder von beidem. Wir sehen hieraus, dasz die Cotyledonen um Mittag an jedem folgenden Tage immer weiter geöffnet wurden, und dasz sie jede Nacht beträchtlich stiegen, obschon sie mit Ausnahme der ersten zwei Nächte keine senkrechte Stellung erreichten.

Cucumis dudaim (Cucurbitaceae). — Zwei Sämlinge hatten ihre Cotyledonen zum ersten Male während des Tages geöffnet, — einer bis zu 90° und der andere eher noch weiter. Sie blieben nahezu in derselben Stellung bis um 10,40 p. m.; aber um 7 Uhr a. m. am folgenden Tage waren die Cotyledonen des einen, welche vorher bis zu 90° offen gewesen waren, senkrecht und vollständig geschlossen, und die Cotyledonen des andern Sämlings waren nahezu geschlossen. Später am Morgen öffneten sie sich in der gewöhnlichen Weise. Es geht daher hieraus hervor, dasz die Cotyledonen dieser Pflanze sich in etwas verschiedenen Perioden von denen der vorhergehenden Species der verwandten Gattungen *Cucurbita* und *Lagenaria* öffnen und schlieszen.

Opuntia basilaris (Cacteeae). — Ein Sämling wurde deshalb sorgfältig beobachtet, weil es in Anbetracht seiner äusseren Erscheinung und der Natur der reifen Pflanze sehr unwahrscheinlich schien, dasz entweder der Hypocotyl oder die Cotyledonen in einer merkbaren Ausdehnung circumnutirten. Die Cotyledonen waren gut entwickelt, 0,9 Zoll lang, 0,22 breit und 0,15 dick. Der beinahe cylindrische Hypocotyl, der jetzt eine minutiöse dornartige Knospe an seinem Gipfel trug, war nur 0,45 Zoll hoch und 0,19 im Durchmesser. Die Zeichnung (Fig. 31) zeigt die combinirte Bewegung des Hypocotyls und eines der Cotyledonen von 4,45 p. m. am 28. Mai bis 11 Uhr a. m. am 31. Am 29. wurde eine nahezu vollkommene Ellipse vollendet. Am 30.

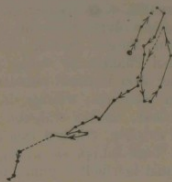


Fig. 31. *Opuntia basilaris*: Vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und Cotyledons; der Glasfaden war langswise auf dem Cotyledon befestigt und die Bewegung wurde 66 Stunden an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet. Bewegung des terminalen Lactropfens ungefähr 30mal vergrößert, hier auf ein Drittel des Maszstabs reducirt. Der Sämling wurde im Warmhause gehalten und schwach von oben beleuchtet.

bewegte sich der Hypocotyl aus irgend einer Ursache in derselben allgemeinen Richtung zickzackförmig; aber zwischen 4,30 und 10 Uhr p. m. vollendete er beinahe eine zweite Ellipse. Die Cotyledonen bewegten sich nur wenig auf und nieder: so standen sie um 10,15 p. m. nur 10° höher als um Mittag. Der Hauptsitz der Bewegung liegt daher, wenigstens wenn die Cotyledonen ziemlich alt sind, wie in dem vorliegenden Falle im Hypocotyl. Die am 29. beschriebene Ellipse hatte ihre längere Axe nahezu rechtwinklig auf eine Linie gestellt, welche die beiden Cotyledonen verband. Der factische Betrag an Bewegung des Lacktropfens am Ende des Glasfadens war, so weit ermittelt werden konnte, ungefähr 0,14 Zoll.

Helianthus annuus (Compositae). — Der obere Theil des Hypocotyls bewegte sich während der Tagzeit in der in der beistehenden Figur dargestellten Weise (Fig. 32). Da die Linie nach verschiedenen Richtungen hingeht und sich mehrere Male selbst kreuzt, so kann die Bewegung als eine Circumnutationsbewegung betrachtet werden. Die äusserste factische Entfernung, welche durchlaufen wurde, betrug mindestens 0,1 Zoll. Es wurden die Bewegungen der Cotyledonen zweier Sämlinge beobachtet. Der eine stand einem Nordostfenster gegenüber und der andere war so schwach von oben beleuchtet, dass er beinahe im Dunkeln war. Sie fuhren bis ungefähr um Mittag zu sinken fort, um welche Zeit sie sich zu erheben begannen; aber zwischen 5 und 7 oder 8 Uhr

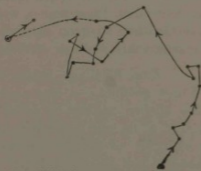


Fig. 32. *Helianthus annuus*: Circumnutation des Hypocotyls, mit quer an seinem Gipfel angebrachtem Faden, an einer horizontalen Glasscheibe im Dunkeln aufgezeichnet, von 8,45 a. m. bis 10,45 p. m. und eine Stunde lang am folgenden Morgen. Bewegung des Lacktropfens 2mal vergrößert, hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

p. m. sanken sie entweder ein wenig oder bewegten sich nach der Seite und fiengen dann wiederum an sich zu erheben. Um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen hatten sich diejenigen der vor dem Nordostfenster stehenden Pflanzen so wenig geöffnet, dass sie unter einem Winkel von 73° über dem Horizont standen, und wurden nicht länger beobachtet; die an dem Sämlinge, welcher in beinahe vollständiger Dunkelheit gehalten worden war, sanken während des ganzen Tages ohne um die Mittagszeit sich zu erheben, erhoben sich aber während der Nacht. Am dritten und vierten Tage fuhren sie zu sinken fort, ohne irgend eine dazwischen tretende aufsteigende Bewegung, und dies war ohne Zweifel Folge des Mangels an Licht.

Primula sinensis (Primulaceae). — Ein Sämling wurde mit den beiden Cotyledonen parallel einem Nordostfenster an einem Tage gestellt, als das Licht nahezu gleichförmig war, und an einem derselben wurde ein Glasfaden befestigt. Nach später an einem anderen Sämlinge, dessen Stamm an einen Stab befestigt war, angestellten Beobachtungen musz der grözere Theil der in der beigegebenen Figur (Fig. 33) dargestellten Bewegung die des Hypocotyls gewesen sein, obschon sich die Cotyledonen bestimmt bis zu einer gewissen Ausdehnung sowohl während des Tages

als der Nacht auf und nieder bewegten. Die Bewegungen des nämlichen Sämlings wurden mit nahezu demselben Resultat am anderen Tage

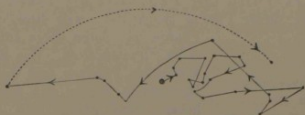


Fig. 33. *Primula sinensis*: Vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und Cotyledons, an einer senkrechten Glasscheibe, von 8.40 a. m. bis 10.45 p. m. aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens ungefähr 26mal vergrößert.

beobachtet, und hier kann über die Circumnutation des Hypocotyls kein Zweifel bestehen.

Cyclamen persicum (Primulaceae). — Es wird allgemein angenommen, dass diese Pflanze nur einen einzigen Cotyledon hervorbringt. Dr. H. GRESSNER² hat aber gezeigt, dass nach einem langen Zeitintervall ein zweiter entwickelt wird. Der Hypocotyl wird in einen kugligen Stammestheil verwandelt, selbst ehe der erste Cotyledon mit seiner dicht zusammengefalteten Scheibe und mit seinem in der Form eines Bogens gekrümmten Stengel, ähnlich dem gekrümmten Hypocotyl oder Epicotyl irgend einer gewöhnlichen dicotyledonen Pflanze, die Erde durchbrochen hat. Ein Glasfaden wurde an einen 0,55 Zoll hohen Cotyledon befestigt, dessen Stiel sich gerade gestreckt hatte und nahezu senkrecht stand, dessen Scheibe aber noch nicht vollständig entfaltet war. Seine Bewegungen wurden während 24 $\frac{1}{2}$ Stunden an einer horizontalen Glasscheibe 50mal vergrößert aufgezeichnet, und in diesem Zeitabschnitte beschrieb er zwei unregelmäßige kleine Kreise; er circumnutirte also, obschon in einem äusserst kleinen Maszstabe.

Stapelia sarpedon (Asclepiadeae). — Wenn diese Pflanze reif ist, ist sie einem Cactus ähnlich. Der abgeplattete Hypocotyl ist fleischig, im oberen Theile verdickt und trägt zwei rudimentäre Cotyledonen. Er durchbricht die Erde in einer gebogenen Form mit den rudimentären

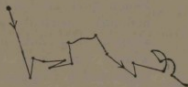


Fig. 34. *Stapelia sarpedon*: Circumnutation des Hypocotyls, von oben beleuchtet, an einer horizontalen Glasplatte von 6.45 a. m., 26. Juni, bis 8.45 a. m., 28., aufgezeichnet. Temperatur 23–24° C. Bewegung des Lactropfens 21mal vergrößert.

Cotyledonen geschlossen oder in Berührung. Ein Glasfaden wurde beinahe senkrecht an den Hypocotyl eines einen halben Zoll hohen Sämlings befestigt; und seine Bewegungen wurden während 50 Stunden an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet (Fig. 34). Aus irgend einer unbekanntem Ursache beugte er sich nach einer Seite, und da dies in einem Zickzackverlaufe geschah, circumnutirte er wahrscheinlich; aber bei kaum irgend

² Botan. Zeitung, 1874. p. 837.

einem anderen von uns beobachteten Sämlinge stellte sich diese Bewegung so undeutlich dar.

Ipomoea coerulea oder *Pharbitis nil* (Convolvulaceae). — Es wurden Sämlinge dieser Pflanze beobachtet, weil dieselbe eine windende Pflanze ist, deren obere Internodien augenfällig circumnutiren. Wie aber bei anderen windenden Pflanzen sind die ersten wenigen Internodien, welche sich über den Grund erheben, steif genug sich zu tragen und circumnutiren daher nicht in irgend einer deutlich erkennbaren Weise³. In diesem besonderen Falle war das fünfte Internodium (mit Einschluß des Hypocotyls) das erste, welches deutlich circumnutirte und sich um einen Stab wand. Wir wünschten daher zu erfahren, ob Circumnutation am Hypocotyl beobachtet werden könnte, wenn er in unserer gewöhnlichen Art und Weise sorgfältig beobachtet würde. Zwei Sämlinge wurden im Dunkeln beobachtet, bei denen Glasfäden an den oberen Theil ihrer Hypocotyle befestigt waren. Aber in Folge von Umständen, die nicht einer Auseinandersetzung werth sind, wurden ihre Bewegungen nur eine kurze Zeit hindurch verfolgt. Der eine bewegte sich im Laufe von 3 Stunden 15 Minuten dreimal vorwärts und zweimal rückwärts in einander nahezu entgegengesetzten Richtungen, der andere in 2 Stunden 22 Minuten zweimal vorwärts und zweimal rückwärts. Der Hypocotyl circumnutirte daher in einer merkwürdig rapiden Geschwindigkeit. Es mag noch hinzugefügt werden, dasz ein Faden quer an den Gipfel des zweiten Internodiums oberhalb der Cotyledonen einer kleinen $3\frac{1}{2}$ Zoll hohen Pflanze befestigt wurde, und seine Bewegungen auf einer horizontalen Glasplatte verfolgt wurden. Er circumnutirte und die factische, von ihm von der einen Seite zur andern zurückgelegte Distanz betrug einen Viertelzoll, was ein zu kleiner Betrag war, um ohne die Hilfe von Zeichen bemerkt zu werden.

Fig. 35. *Ipomoea coerulea*: Circumnutation des Cotyledon an einer verticalen Glasscheibe verzeichnet, von 6.10 a. m., 21. Juni, bis 6.45 a. m., 22. Juni. Der Cotyledon mit Stiel 1,6 Zoll lang, Spitze seiner Scheibe 4,1 Zoll vom senkrechten Glase entfernt, die Bewegung daher nicht bedeutend vergrößert. Temperatur 20° C.

Die Bewegungen der Cotyledonen sind wegen ihrer Complexität und Schnelligkeit und in einigen anderen Beziehungen interessant. Der (2 Zoll hohe) Hypocotyl eines kräftigen Sämlings wurde an einen Stab befestigt und ein Glasfaden mit Papierdreiecken

³ Ch. Darwin, *Beweg. u. Lebensweise d. kletternden Pflanzen*. Übersetz. p. 26.

an den einen der Cotyledonen angebracht. Die Pflanze wurde den ganzen Tag im Warmhause gehalten, und um 4,20 p. m. (20. Juni) im Hause unter ein Oberlicht gebracht und gelegentlich während des Abends und der Nacht beobachtet. Der Hypocotyl sank in einer unbedeutenden Zickzacklinie in einer mäszigen Ausdehnung von 4,20 p. m. bis um 10,15 p. m. Als kurz nach Mitternacht (12,30 a. m.) nach ihm gesehen wurde, hatte er sich ein wenig erhoben und um 3,45 a. m. beträchtlich. Als um 6,10 a. m. am 21. wieder nach ihm gesehen wurde, war er beträchtlich gefallen. Es wurde nun eine neue Zeichnung begonnen (s. Fig. 35), und bald darauf, um 6,42 a. m. hatte sich der Cotyledon ein wenig erhoben. Während des Vormittags wurde er ungefähr alle Stunden einmal beobachtet, aber zwischen 12,30 und 6 Uhr p. m. jede halbe Stunde. Wenn die Beobachtungen während des ganzen Tags in diesen kurzen Zwischenräumen angestellt worden wären, würde die Figur zu verwickelt geworden sein, um copirt werden zu können. Wie sie sich darstellte, bewegte sich der Cotyledon im Laufe von 16 Stunden 20 Minuten (d. h. zwischen 6,10 a. m. und 10,30 p. m.) 13mal auf und nieder.

Die Cotyledonen dieses Sämlings sanken während beider Abende und des ersten Theils der Nacht nach abwärts, stiegen aber während des späteren Theils der Nacht wieder empor. Da dies eine ungewöhnliche Bewegung ist, wurden die Cotyledonen zwölf anderer Sämlinge beobachtet; sie standen um Mittag beinahe oder vollständig horizontal und waren um 10 Uhr p. m. sämmtlich nach verschiedenen Winkeln geneigt. Der gewöhnlichste Winkel betrug zwischen 30 und 35° , aber drei standen unter ungefähr 50° und einer selbst unter einem Winkel von 70° unter dem Horizont. Die Blattscheiben aller dieser Cotyledonen hatten beinahe ihre vollständige Grösze erreicht, nämlich von $1-1\frac{1}{2}$ Zoll Länge der Mittelrippe entlang gemessen. Es ist eine merkwürdige Thatsache, dasz so lange sie jung sind — d. h. wenn sie weniger als $\frac{1}{2}$ Zoll lang sind in derselben Weise gemessen —, sie am Abend nicht nach abwärts sinken. Es kam daher wahrscheinlich ihr Gewicht, welches, wenn sie beinahe vollständig entwickelt sind, beträchtlich ist, bei der ursprünglichen Anregung zu der nach abwärts gerichteten Bewegung mit ins Spiel. Die Periodicität dieser Bewegung wird durch den Grad der Beleuchtung, welcher die Sämlinge während des Tages ausgesetzt sind, bedeutend beeinflusst; denn drei an einem dunklen Orte gehaltene fiengen ungefähr um Mittag an zu sinken, anstatt erst spät am Abend; und diejenigen eines anderen Sämlings waren beinahe gelähmt, weil sie während zweier ganzen Tage in ähnlicher Weise gehalten worden waren. Die Cotyledonen mehrerer anderer Species von *Ipomoea* sinken gleichfalls spät am Abend nach abwärts.

Cerinthe major (Boragineae). — Die Circumnutation des Hypocotyls eines jungen Sämlings mit kaum entfaltetem Cotyledonen ist in der beistehenden Figur (Fig. 36) dargestellt, welche allem Anscheine nach vier oder fünf unregelmäszige, im Verlaufe von wenig über 12 Stunden beschriebene Ellipsen zeigt. Zwei ältere Sämlinge wurden in ähnlicher Weise beobachtet, ausgenommen, dasz einer von ihnen im Dunkeln gehalten wurde; ihre Hypocotyle circumnutiren gleichfalls, aber in einer einfacheren Weise. Die Cotyledonen eines dem Lichte ausgesetzten Sämlings sanken vom zeitigen Morgen bis ein wenig nach Mittag und fuhren

dann fort bis um 10,30 p. m. oder noch später sich zu erheben. Die Cotyledonen dieses nämlichen Sämlings benahmen sich in derselben allgemeinen Art während der zwei folgenden Tage. Es waren vorher mit ihm im Dunkeln Versuche angestellt worden und nachdem er nur 1 Stunde

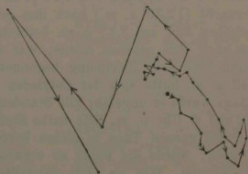


Fig. 36. *Cerinthe major*: Circumnutation des Hypocotyls, mit einem quer am Gipfel befestigten Glasstab, von oben beleuchtet, an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet, von 9.26 a. m. bis 9.53 p. m., am 25. Oct. Bewegung des Lacktropfens 30mal vergrößert, hier auf ein Drittel des ursprünglichen Maßstabs reducirt.

40 Minuten so gehalten worden war, fiengen die Cotyledonen um 4,30 p. m. zu sinken an, anstatt bis spät am Abend mit dem Steigen fortzufahren.

Nolana prostrata (Nolaneae). — Die Bewegungen wurden nicht aufgezeichnet. Es wurde aber ein Topf mit Sämlingen, welcher 1 Stunde lang im Dunkeln gehalten worden war, unter das Microscop gebracht, wobei das Micrometerocular so eingestellt wurde, dass jeder Theilstrich $\frac{1}{300}$ Zoll gleich kam. Die Spitze eines der Cotyledonen durchkreuzte etwas schräg in 13 Minuten vier Theilstriche, auch sank er, was dadurch erwiesen wurde, dass er aus dem Gesichtsfelde heraustrat. Die Sämlinge wurden wieder eine zweite Stunde in Dunkelheit gebracht, und nun durchkreuzte die Spitze zwei Theilstriche in 6 Minuten 18 Sekunden, d. h. beinahe in genau derselben Schnelligkeit wie vorher. Nach einer andern Stunde, in welcher der Sämling wieder in Dunkelheit gehalten wurde, kreuzte die Spitze zwei Theilstriche in 4 Minuten 15 Sekunden, daher mit einer grösseren Geschwindigkeit. Nach einem längeren Aufenthalte im Dunkeln am Nachmittag war die Spitze bewegungslos, fieng aber nach einiger Zeit, wenn auch langsam, sich wieder zu bewegen an; vielleicht war das Zimmer zu kalt. Nach früheren Fällen zu urtheilen lässt sich kaum daran zweifeln, dass dieser Sämling circumnutirte.

Solanum lycopersicum (Solaneae). — Die Bewegungen des Hypocotyls zweier Tomatensämlinge wurden während sieben Stunden beobachtet, und es liesz sich nicht zweifeln, dass beide circumnutirten. Sie wurden von oben beobachtet, aber durch einen Zufall fiel ein wenig Licht von der einen Seite ein und in der beistehenden Figur (Fig. 37) lässt sich erkennen, dass der Hypocotyl sich nach dieser Seite (der oberen in der Figur) bewegte, indem er kleine Schlingen und Zickzacke in seinem Verlaufe beschrieb. Die Bewegungen der Cotyledonen wurden gleichfalls sowohl an verticalen als horizontalen Glasplatten verzeichnet, auch wurden ihre Winkel gegen den Horizont zu verschiedenen Stunden gemessen. Sie fielen von 8,30 a. m. (17. Oct.) bis ungefähr um Mittag, bewegten sich dann in einer Zickzacklinie nach der Seite und fiengen ungefähr um 4 Uhr p. m.

welche das Herausziehen der Cotyledonen aus den eingegrabenen Samenhüllen zu unterstützen scheint, ist Folge der beginnenden Streckung des Hypocotyls. Um diese letztere Bewegung zu verhindern, wurden die beiden Schenkel eines Bogens, dessen Gipfel in einem Niveau mit der Oberfläche des Bodens lag, zusammengebunden; die Erde war vorher bis eine geringe Tiefe ringsum entfernt worden. Die Bewegung des Bogens unter diesen unnatürlichen Bedingungen während 47 Stunden ist in der umstehenden Figur (Fig. 38) dargestellt.

Die Cotyledonen einiger Sämlinge im Warmhause waren ungefähr um Mittag am 13. December horizontal; um 10 Uhr p. m. waren sie bis zu einem Winkel von 27° über den Horizont gestiegen; um 7 Uhr a. m. am folgenden Morgen, ehe es hell war, waren sie bis zu 59° über den Horizont gestiegen und am Nachmittage desselben Tages wurden sie wieder horizontal gefunden.

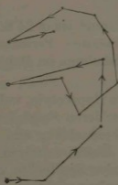


Fig. 39. *Beta vulgaris*: Circumnutation des Hypocotyls, mit einem schräg am Gipfel befestigten Glasfaden, an einer horizontalen Glasplatte im Dunkeln, von 8.25 a. m. bis 5.30 p. m., 4. Nov., verzeichnet. Bewegung des Lactropfens 23mal vergrößert, hier auf ein Drittel des Maßstabs des Originals reducirt.

Beta vulgaris (Chenopodeae). — Die Sämlinge sind gegen das Licht äusserst empfindlich, so dass sie, obschon sie am ersten Tage nur während zwei oder drei Minuten bei jeder Beobachtung unbedeckt blieben, sich sämtlich beharrlich nach der Seite des Zimmers hin bewegten, von wo das Licht herkam, und die Aufzeichnungen bestanden nur aus unbedeutenden Zickzacklinien, die nach dem Lichte hingerichtet sind. Am nächsten Tage wurden die Pflanzen in ein vollständig dunkles Zimmer gebracht und wurden bei jeder Beobachtung so viel als möglich senkrecht von oben her mit einem kleinen Wachsziender beleuchtet. Die beistehende Figur (Fig. 39) zeigt die Bewegung des Hypocotyls während 9 Stunden unter diesen Umständen. Ein zweiter Sämling wurde zu derselben Zeit in ähnlicher Weise beobachtet, und die Aufzeichnung hatte denselben eigenthümlichen Character in Folge davon, dass der Hypocotyl sich häufig in nahezu parallelen Linien bewegte und wieder zurückkehrte. Die Bewegung eines dritten Hypocotyls wich bedeutend hievon ab.

Wir gaben uns Mühe die Bewegungen der Cotyledonen zu verfolgen, und zu diesem Zwecke wurden einige Sämlinge im Dunkeln gehalten; sie bewegten sich aber in einer abnormen Weise; sie stiegen beständig von 8,45 a. m. bis 2 Uhr p. m., bewegten sich dann nach der Seite und sanken dann von 3—6 Uhr p. m., während Cotyledonen, welche den ganzen Tag dem Lichte ausgesetzt worden waren, am Abend sich so erhoben, dass sie zur Nacht senkrecht stehen. Doch gilt diese Angabe nur für junge Sämlinge. An sechs Sämlingen im Gewächshause waren z. B. die Cotyledonen zum erstem Male am Morgen des 15. November zum Theil geöffnet, und um 8,45 p. m. waren sie sämtlich vollständig geschlossen, so dass man eigentlich hätte sagen können, sie schiefen. Ferner waren am Morgen des 27. November die Cotyledonen vier anderer Sämlinge, welche mit einem Kragen von braunem Papier umgeben waren, so

dasz sie das Licht nur von oben erhielten, bis zu 39^o geöffnet; um 10 Uhr p. m. waren sie vollständig geschlossen; am nächsten Morgen (27. November) um 6,45 a. m., während es noch dunkel war, waren zwei von ihnen theilweise geöffnet, und alle öffneten sich im Laufe des Morgens; aber um 10,20 p. m. waren alle vier (neun anderer nicht zu gedenken, welche am Morgen, und sechs anderer, welche bei einer andern Gelegenheit geöffnet waren) wiederum vollständig geschlossen. Am Morgen des 29. waren sie offen, aber des Nachts waren nur die von einem unter den vieren geschlossen; bei den drei andern waren die Cotyledonen viel mehr gestiegen. In der Nacht des 30. hatten sich die Cotyledonen nur unbedeutend erhoben.

Rcinus borboniensis (Euphorbiaceae). — Es wurden unter dem vorstehenden Namen Samen gekauft, wahrscheinlich eine Varietät der gemeinen Ricinuspflanze. Sobald ein gebogener Hypocotyl sich rein über dem Boden erhoben hatte, wurde ein Glasfaden an den oberen, die Cotyledonen tragenden Schenkel, welche noch immer unter die Oberfläche eingegraben waren, befestigt, und die Bewegung des Lacktropfens wurde an einer horizontalen Glasplatte während einer Periode von 34 Stunden beobachtet. Die aufgezeichneten Linien waren stark zickzackartig, und da der Tropfen zweimal nahezu parallel zu seinem ersten Verlaufe in zwei verschiedenen Richtungen zurückkehrte, lässt sich daran nicht zweifeln, dasz der gebogene Hypocotyl circumnutirte. Bei dem Schlusse der 34 Stunden fieng der obere Theil an sich zu erheben und zu strecken und zog die Cotyledonen aus dem Boden empor, so dasz die Bewegungen des Lacktropfens nicht länger an der Glasplatte beobachtet werden konnten.

Quercus (Americanische Species). (Cupuliferae). — Eicheln einer americanischen Eiche, welche in Kew gekeimt hatten, wurden im Gewächs-

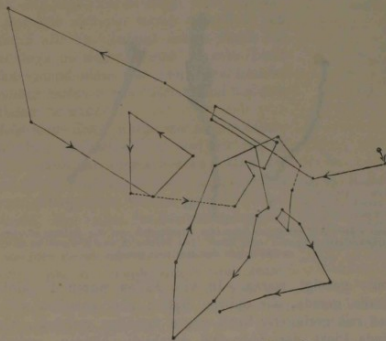


Fig. 40. *Quercus* (Americanische Sp.): Circumnutation eines jungen Stammes, an einer horizontalen Glasplatte von 12.50 p. m., 22. Febr., bis 12.50 p. m., am 24., aufgezeichnet. Bewegung des Lacktropfens zuerst bedeutend, gegen das Ende der Beobachtung nur unbedeutend, im Mittel ungefähr 10mal vergrößert.

hause in einen Topf gepflanzt. Diese Umpflanzung unterbrach ihr Wachstum; aber nach einiger Zeit wuchs die eine bis zur Höhe von 5 Zoll, bis zu den Spitzen der kleinen zum Theil nicht entfaltetten Blätter am Gipfel gemessen, und sah nun ganz kräftig aus. Sie bestand aus sechs sehr dünnen Internodien von ungleicher Länge. In Anbetracht dieser Umstände und der Natur der Pflanze erwarteten wir kaum, dass sie circumnutiren würde, aber die umstehende Figur (Fig. 40) zeigt, dass sie dies in einer augenfälligen Weise that, sie veränderte ihren Lauf während der 48 Beobachtungsstunden vielfach und gieng nach allen Richtungen hin. Die Figur scheint fünf oder sechs unregelmässige Ovale oder Ellipsen darzustellen. Der factische Betrag an Bewegung von einer Seite zur andern (mit Ausschluss einer grossen Biegung nach links hin) war ungefähr 0,2 Zoll; dies war jedoch schwer abzuschätzen, da infolge des rapiden Wachstums des Stammes der angeheftete Glasfaden beim Schlusse der Beobachtung viel weiter von dem Zeichen unterhalb entfernt war, als er am Anfange derselben gestanden hatte. Es verdient Beachtung, dass der Topf in einem nach Nordost gelegenen Zimmer innerhalb einer tiefen Kiste stand, deren Deckel anfangs nicht bedeckt war, so dass die Seite ihres Innern, welche nach dem Fenster hinsah, etwas mehr beleuchtet wurde, als die gegenüberliegende Seite; und während des ersten Morgens bewegte sich der Stamm eine grössere Strecke weit in dieser Richtung hin (nach links in der Figur), als er später that, wo die Kiste vollständig gegen das Licht geschützt wurde.

Quercus robur. — Es wurden Beobachtungen angestellt über die Bewegungen der Würzelchen an keimenden Eicheln, denen gestattet wurde in der früher beschriebenen Weise nach abwärts über Platten von berusstem Glas zu wachsen, die unter Winkeln von zwischen 65° und 69°

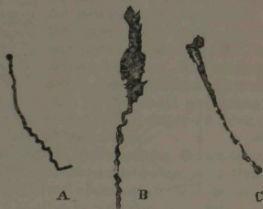


Fig. 41. *Quercus robur*: Auf geneigten berussten Glasplatten von den Spitzen abwärts wachsender Würzelchen zurückgelassene Spuren oder Züge. Die Platten A und C waren zu 65° , die Platte B zu 68° gegen den Horizont geneigt.

zum Horizonte geneigt waren. In vier Fällen waren die hinterlassenen Spuren beinahe gerade, die Spitzen hatten aber zuweilen mit grösserer und zuweilen mit geringerer Kraft gegen das Glas gedrückt, wie es durch die wechselnde Dicke der Züge und durch die kleinen, zwischen ihnen zurückgelassenen Brücken von Rusz dargestellt wird. Im fünften Falle war die Spur in unbedeutendem Grade schlangenförmig, d. h. die Spitze

hatte sich ein wenig von der einen zur andern Seite bewegt. Im sechsten Falle (Fig. 41 A) war sie deutlich schlangenförmig, und die Spitze hatte während ihres ganzen Verlaufs beinahe gleichförmig auf das Glas gedrückt. Im siebenten Falle (B) hatte sich die Spitze sowohl seitlich bewegt, als auch abwechselnd mit ungleicher Kraft auf das Glas gedrückt, so dasz sie sich ein wenig in zwei rechtwinklig aufeinander stehenden Ebenen bewegt hatte. Im achten und letzten Falle (C) hatte sie sich sehr wenig seitlich bewegt, hatte aber abwechselnd die Glasscheibe verlassen und war dann wieder mit ihr in Berührung gekommen. Es kann darüber kein Zweifel bestehen, dasz in den letzten vier Fällen das Würzelchen der Eiche während seines Abwärtswachsthums circumnutirte.

Corylus avellana (Corylaceae). — Der Epicotyl bricht in einer gekrümmten Form durch die Erde; in dem Exemplar aber, welches zuerst untersucht wurde, war die Spitze abgestorben, und der Epicotyl wuchs eine Strecke lang in einer gewundenen, beinahe horizontalen Richtung wie eine Wurzel durch den Boden. Infolge dieser Verletzung hatte er in der Nähe der unterirdischen Cotyledonen zwei secundäre Schößlinge getrieben, und es war merkwürdig, dasz diese beiden gebogen waren gleich dem normalen Epicotyl in gewöhnlichen Fällen. Der Boden wurde rings um einen dieser gekrümmten secundären Schößlinge entfernt und ein Glasfaden an den basalen Schenkel befestigt. Das Ganze wurde unter einem Metallkasten mit einer Glasdecke feucht gehalten und in dieser Weise nur von oben beleuchtet. Augenscheinlich infolge davon, dasz der seitliche Druck der Erde entfernt war, fieng der terminale und niedergebogene Theil des Schößlings auf einmal an sich nach oben zu bewegen, so dasz er nach 24 Stunden mit dem unteren Theile einen rechten Winkel bildete. Auch dieser untere Theil, an welchem der Glasfaden befestigt war, streckte sich und bewegte sich ein wenig rückwärts von dem oberen Theile ab. Infolge dessen wurde auf der horizontalen Glasplatte eine längere Linie aufgezeichnet, und diese war zum Theil gerade, zum Theil entschieden zickzackförmig und dadurch Circumnutation anzeigend.

Am folgenden Tage wurde der andere secundäre Schößling beobachtet; er war ein wenig weiter im Wachsthum vorgeschritten, denn der obere Theil stand, anstatt senkrecht nach abwärts zu hängen, unter einem Winkel von 45° über dem Horizont. Die Spitze des Schößlings sprang schräg 0,4 Zoll über den Boden vor, aber am Schlusse unserer Beobachtungen, welche 47 Stunden dauerten, war er, hauptsächlich nach seiner Basis zu, bis zu einer Höhe von 0,85 Zoll gewachsen. Der Glasfaden war quer auf die basale und beinahe aufrechte Hälfte des Schößlings befestigt, dicht unter dem untersten schuppenartigen Anhang. Der hier eingeschlagene circumnutirende Verlauf ist in der beistehenden Figur (Fig. 42) dargestellt. Die factische, von einer Seite zur andern durchmessene Entfernung betrug ungefähr 0,04 Zoll.

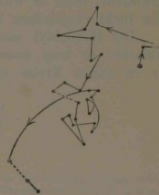


Fig. 42. *Corylus avellana*: Circumnutation eines jungen vom Epicotyl, dessen Spitze verletzt war, getriebenen Schößlings, von 9 a. m., 2. Febr., bis 8 a. m. am 4., an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens ungefähr 27mal vergrößert.

Pinus pinaster (Coniferae). — Ein junger Hypocotyl, an dem die Spitzen der Cotyledonen noch innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen waren, war anfangs nur 0,35 Zoll hoch; der obere Theil wuchs aber so schnell, dasz er am Ende unserer Beobachtungen 0,6 Zoll hoch war, und um diese Zeit wurde der Glasfaden eine Strecke abwärts am kleinen Stengel

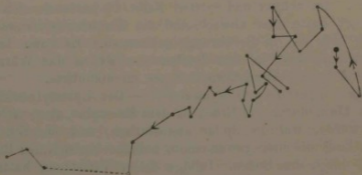


Fig. 43. *Pinus pinaster*: Circumnutation des Hypocotyls, an dessen Spitze der Glasfaden quer befestigt war, an einer horizontalen Glasplatte von 10 a. m., 21. März, bis 9 a. m., 23., aufgezeichnet. Sämling im Dunkeln gehalten. Bewegung des Lacktöpfens ungefähr 35mal vergrößert.

befestigt. Aus irgend einer unbekanntem Ursache bewegte sich der Hypocotyl weit nach links hin; es konnte aber nicht daran gezweifelt werden (Fig. 43), dasz er circumnutirte. Ein anderer Hypocotyl wurde in ähnlicher Weise beobachtet, und auch er bewegte sich in einer starken Zickzacklinie nach derselben Seite. Diese seitliche Bewegung war nicht durch die Befestigung der Glasfäden, auch nicht durch die Einwirkung des Lichtes verursacht; denn es wurde, als jede der Beobachtungen angestellt wurde, kein Licht eingelassen, ausgenommen senkrecht von oben.

Der Hypocotyl eines Sämlings wurde an einen kleinen Stab festgemacht; er trug neun, dem Anschein nach verschiedene Cotyledonen, die in einem Kreise angeordnet waren. Es wurden die Bewegungen

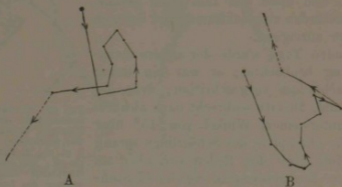


Fig. 44. *Pinus pinaster*: Circumnutation zweier gegenüberstehender Cotyledonen, von 8.45 a. m. bis 8.35 p. m., 25. Nov., im Dunkeln an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Die Bewegung der Spitze bei A ungefähr 22mal vergrößert, hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

zweier nahezu gegenständiger beobachtet. Die Spitze des einen wurde weisz angestrichen mit einem darunter angebrachten Zeichen, und die von ihm beschriebene Figur (Fig. 44 A) zeigt, dasz er im Verlaufe von

ungefähr 8 Stunden einen unregelmässigen Kreis beschrieb. Während der Nacht bewegte er sich bis zu einer beträchtlichen Entfernung in der durch die punktirte Linie angedeuteten Richtung. Ein Glasfaden wurde der Länge nach an den anderen Cotyledon angeheftet, und dieser beschrieb in ungefähr 12 Stunden nahezu vollständig (Fig. 44 B) eine unregelmässige, kreisförmige Figur. Auch er bewegte sich während der Nacht bis zu einer beträchtlichen Entfernung in der durch die unterbrochene Linie angedeuteten Richtung. Die Cotyledonen circumnutiren daher unabhängig von der Bewegung des Hypocotyls. Obgleich sie sich während der Nacht viel bewegten, näherten sie sich doch nicht so, dass sie senkrechter standen als während des Tages.

Cycas pectinata (Cycadeae). — Die groszen Samen dieser Pflanze treiben beim Keimen zuerst ein einziges Blatt vor, welches den Boden mit einem zu einem Bogen gekrümmten Stengel und mit eingerollten Blättchen durchbricht. Ein in diesem Zustande befindliches Blatt, welches am Ende unserer Beobachtungen $2\frac{1}{2}$ Zoll hoch war, verzeichnete seine Bewegungen in einem warmen Gewächshause mittelst eines Papierdreiecke

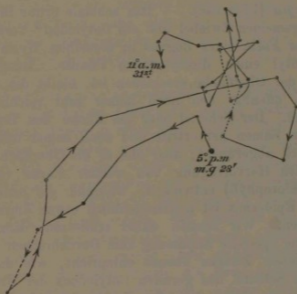


Fig. 45. *Cycas pectinata*: Circumnutation eines jungen Blattes beim Hervortreten aus der Erde, schwach von oben beleuchtet, von 5 p. m., 28. Mai, bis 11 a. m., 31., an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet. Die Bewegung 7mal vergrössert, hier auf zwei Drittel des Originals reducirt.

tragenden, quer an seiner Spitze angehefteten Glasfadens. Die Zeichnung (Fig. 45) zeigt, wie grosz, complicirt und rapid die circumnutirenden Bewegungen waren. Die äusserste Entfernung von einer Seite zur andern, welche es durchlief, betrug zwischen 0,6 und 0,7 Zoll.

Canna Warszewiczii (Cannaceae). — Ein Sämling, dessen Plumula einen Zoll über den Boden vorragte, wurde beobachtet, aber nicht unter günstigen Bedingungen, da er aus dem Warmhause gebracht worden war und in einem nicht hinreichend warmen Zimmer gehalten wurde. Nichtsdestoweniger zeigt die Zeichnung (Fig. 46), dass er im Verlaufe von 48 Stunden zwei oder drei unvollständige unregelmässige

Kreise oder Ellipse beschrieb. Die Plumula ist gerade, und dies war der erste von uns beobachtete Fall, in welchem dieser Theil zuerst den Boden nicht gekrümmt durchbricht.

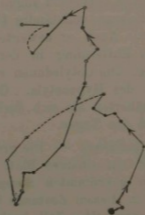


Fig. 46. *Canna Warszewiczii*: Circumnutation der Plumula, der Glasfaden schräg an das äussere scheidenartige Blatt befestigt, an einer horizontalen Glasplatte von 8.45 a. m., 9. Nov., bis 8.10 $\frac{1}{2}$ a. m., am 11., im Dunkeln aufgezeichnet. Die Bewegung des Lactropfens 6mal vergrößert.

Allium cepa (Liliaceae). — Das schmale grüne Blatt, welches aus dem Samen der gemeinen Zwiebel als ein Cotyledon⁴ vortritt, durchbricht den Boden in der Form eines Bogens in derselben Weise wie der Hypocotyl oder Epicotyl einer dicotyledonen Pflanze. Lange nachdem der Bogen oberhalb der Oberfläche erschienen ist, bleibt die Spitze innerhalb der Samenhüllen, offenbar den noch immer sehr reichlich vorhandenen Inhalt aufsaugend. Der Scheitel oder die Krone des Bogens ist, wenn er zuerst aus dem Samen hervortritt und noch immer unter der Erde begraben ist, einfach abgerundet; aber ehe er die Oberfläche erreicht, ist er zu einer conischen Hervorragung von weisser Farbe (infolge der Abwesenheit von Chlorophyll) entwickelt, während die benachbarten Theile grün sind, seine Epidermis ist augenscheinlich etwas dicker und zäher als an anderen Stellen. Wir können daher schliessen, dass diese conische Hervorragung eine specielle Anpassung zum Durchbrechen des Bodens ist⁵, und dass sie diesem Zwecke ebenso entspricht, wie die messerförmige weisse Leiste am Scheitel des geraden Cotyledons der Gramineen. Nach einiger Zeit wird die Spitze aus den leeren Samenhüllen hervorgezogen und hebt sich in die Höhe, einen rechten Winkel oder noch häufiger einen noch grösseren Winkel mit dem unteren Theile bildend, und gelegentlich wird das Ganze nahezu gerade. Die conische Protuberanz, welche ursprünglich den Scheitel des Bogens bildete, sitzt nun an einer Seite und erscheint wie ein Gelenk oder Knie, welches, weil es nun Chlorophyll erhält, grün wird und an Grösze zunimmt. Darin, dass diese Cotyledonen selten oder nie vollkommen gerade werden, weichen sie merkwürdig von

⁴ Dies ist der von Sachs in seinem Lehrbuch der Botanik gebrauchte Ausdruck.

⁵ Haberlandt hat (Die Schutzrichtungen der Keimpflanze, 1877, p. 77) kurz dies merkwürdige Gebilde und den Zweck, dem es dient, beschrieben. Er führt an, dass gute Abbildungen des Cotyledon der Zwiebel von Tittmann und von Sachs in seiner Experimental-Physiologie p. 93 gegeben worden sind.

dem endlichen Zustande der gekrümmten Hypocotyle oder Epicotyle dicotyledoner Gewächse ab. Es ist aber ein eigenthümlicher Umstand, dasz die verdünnte Extremität der oberen, gebogenen Partie ausnahmslos verwelkt und abstirbt.

Ein 1,7 Zoll langer Glasfaden wurde nahezu aufrecht unterhalb des Knies an den basalen und senkrechten Theil eines Cotyledons befestigt, und seine Bewegungen wurden während 14 Stunden in der gewöhnlichen Weise aufgezeichnet. Die hier gegebene Zeichnung (Fig. 47) zeigt Circumnutation an. Die Bewegung des oberen Theils, oberhalb des Knies des nämlichen Cotyledons, welcher ungefähr unter einem Winkel von 45° über den Horizont vorsprang, wurde zu gleicher Zeit beobachtet. Es wurde kein Glasfaden an ihn befestigt, sondern ein Zeichen wurde unter die Spitze angebracht, welche, weil sie zu verwelken begann, beinahe weisz war, und in dieser Weise wurden seine Bewegungen aufgezeichnet. Die beschriebene Figur war ziemlich nahe der oben gegebenen ähnlich, und dies zeigt, dasz der Hauptsitz der Bewegung in dem unteren oder basalen Theile des Cotyledon sich befindet.



Fig. 47. *Allium cepa*: Circumnutation der basalen Hälfte eines gekrümmten Cotyledon, im Dunkeln an einer horizontalen Glasplatte von 8.15 a. m. bis 10 p. m. am 31. Oct., aufgezeichnet. Die Bewegung des Lacktropfens ungefähr 17mal vergrößert.

Asparagus officinalis (Asparageae). — Die Spitze einer geraden Plumula oder eines Cotyledons (denn wir wissen nicht, wie der Theil genannt werden musz) wurde in einer Tiefe von 0,1 Zoll unter der Oberfläche gefunden, und die Erde wurde dann ringsum bis zur Tiefe von 0,3 Zoll entfernt. Ein Glasfaden wurde schräg an denselben befestigt, und die Bewegung des Lacktropfens wurde 17mal vergrößert in der Dunkelheit aufgezeichnet. Während der ersten 1 Stunde 15 Minuten bewegte sich die Plumula nach rechts, und während der nächsten zwei Stunden kehrte sie in einer ungefähr parallelen, aber stark zickzackförmigen Route zurück. Aus irgend einer unbekanntten Ursache war sie in einer geneigten Richtung durch die Erde emporgewachsen und bewegte sich nun durch Apogeotropismus nahezu 24 Stunden lang in derselben allgemeinen Richtung aber in einer unbedeutend zickzackförmigen Weise, bis sie aufrecht wurde. Am folgenden Morgen veränderte sie ihren Lauf vollständig. Man kann daher kaum zweifeln, dasz die Plumula circumnutirt, während sie im Boden begraben ist, soweit es der Druck der Erde gestattet. Die Oberfläche der Erde im Topfe wurde nun mit einer dünnen Schicht sehr feinen thonigen Sandes bedeckt, welcher feucht gehalten wurde; und nachdem die spitz zulaufenden Sämlinge einige wenige Zehntel-Zoll an Höhe gewachsen waren, fand sich ein jeder von einem kleinen offenen Raume oder kreisförmigen Spalt umgeben; und dies konnte nur dadurch erklärt werden, dasz sie circumnutirt und dabei den Sand auf allen Seiten fortgeschoben hatten. Denn es fand sich keine Spur eines Spaltes an irgend einer anderen Stelle.

Um zu beweisen, dasz Circumnutation stattfand, wurden die Bewegungen von fünf Sämlingen, die in der Höhe von 0,3 Zoll bis zu 2 Zoll

variirten, verfolgt. Sie wurden in einen Kasten gestellt und von oben beleuchtet; aber in allen fünf Fällen waren die längeren Axen der beschriebenen Figuren nahezu auf denselben Punkt gerichtet, so dasz mehr Licht durch das Glasdach des Gewächshauses auf einer Seite eingedrungen zu sein schien, als auf allen anderen. Alle fünf Zeichnungen waren einander in einer gewissen Ausdehnung ähnlich, und es wird hinreichen zwei von ihnen zu geben. In A (Fig. 48) war der Sämling nur 0,45 Zoll

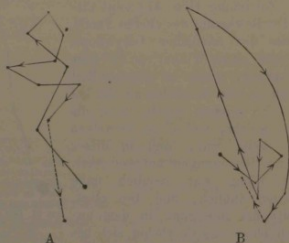


Fig. 48. *Asparagus officinalis*: Circumnutation der Plumulae, deren Spitzen weiss gefärbt und darunter mit Zeichen versehen waren, an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. A junge Plumula, Bewegung von 8.30 a. m., 30. Nov., bis 7.15 a. m. des nächsten Morgens gezeichnet, ungefähr 35mal vergrößert. B ältere Plumula; Bewegung von 10.15 a. m. bis 8.10 p. m., am 29. Nov., gezeichnet, 9mal vergrößert, aber hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

hoch und bestand aus einem einzigen an seinem Scheitel eine Knospe tragenden Internodium. Die Spitze beschrieb zwischen 8,30 a. m. und 10,20 p. m. (d. h. während nahezu 14 Stunden) eine Figur, welche wahrscheinlich aus $3\frac{1}{2}$ Ellipsen bestanden haben würde, wäre der Stengel nicht bis 1 Uhr p. m., nach welcher Stunde er sich zurückbewegte, nach einer Seite gezogen worden. Am folgenden Morgen war er von dem Punkte, von dem er zuerst ausgegangen war, nicht weit entfernt. Der factische Betrag an Bewegung der Spitze von einer Seite zur andern war sehr klein, nämlich ungefähr $\frac{1}{18}$ Zoll. Der Sämling, dessen Bewegungen in Fig. 48B dargestellt sind, war $1\frac{3}{4}$ Zoll hoch und bestand ausser der Knospe am Gipfel aus drei Internodien. Die Figur, welche während 10 Stunden beschrieben wurde, stellt offenbar zwei unregelmässige und ungleiche Ellipsen oder Kreise dar. Der factische Betrag an Bewegung der Spitze in der nicht vom Lichte beeinflussten Richtung war 0,11 Zoll, und in der vom Lichte beeinflussten 0,37 Zoll. Bei einem zwei Zoll hohen Sämling war es selbst ohne die Hilfe irgend einer Zeichnung offenbar, dasz der oberste Theil des Stengels nach einander sich nach allen Punkten der Windrose hinbog, wie der Stengel einer windenden Pflanze. Eine geringe Zunahme in dem Vermögen zu circumnutiren und in der Biegsamkeit des Stengels würde den gemeinen Spargel in eine windende Pflanze umwandeln, wie es bei einer Species dieser Gattung, nämlich bei *A. scandens* eingetreten ist.

Phalaris canariensis (Gramineae). — Bei den Gramineen ist der Theil, welcher sich zuerst über den Boden erhebt, von einigen Autoren der Pileolus genannt worden, und verschiedene Ansichten sind über die homologe Bedeutung desselben vorgebracht worden. Er wird von einigen bedeutenden Autoritäten als ein Cotyledon angesehen, welchen Ausdruck wir gebrauchen werden, ohne damit wagen zu wollen, irgend eine Meinung über diesen Gegenstand auszudrücken⁶. Er besteht im vorliegenden Falle aus einer unbedeutend abgeplatteten, röthlichen Scheide, welche nach oben in eine scharfe weisse Kante ausgeht; er schlieszt ein echtes grünes Blatt ein, welches durch eine schlitzförmige Öffnung dicht unter und rechtwinklig zum scharfen Rande an der Spitze aus der Scheide vortritt. Diese Scheide ist nicht gebogen, wenn sie zuerst den Boden durchbricht.

Es wurden zuerst die Bewegungen dreier ziemlich alter, ungefähr 1½ Zoll hoher Sämlinge kurz vor dem Hervortreten der Blätter aufgezeichnet. Sie wurden ausschliesslich von oben beleuchtet; sie sind, wie später gezeigt werden wird, äusserst empfindlich gegen den Einfluss des Lichtes, und wenn irgend welches selbst nur zeitweise von einer Seite eintritt, bewegen sie sich einfach in unbedeutenden Zickzacklinien nach

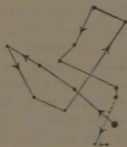


Fig. 49. *Phalaris canariensis*: Circumnutation eines Cotyledon mit einem unterhalb der Spitze angebrachten Zeichen, von 8.35 a. m., 26. Nov., bis 8.45 a. m., am 27., an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet. Bewegung der Spitze 7mal vergrößert, hier auf die Hälfte reducirt.

dieser Seite hin. Von den drei Zeichnungen wird hier nur eine (Fig. 49) gegeben. Wären die Beobachtungen während der 12 Stunden häufiger gewesen, würden zwei ovale Figuren beschrieben worden sein, deren längere Axen rechtwinklig auf einander standen. Der factische Betrag an Bewegung der Spitze von einer Seite zur andern, war ungefähr 0,3 Zoll. Die von den zwei anderen Sämlingen beschriebenen Figuren waren in einer gewissen Ausdehnung den hier mitgetheilten ähnlich.

Ein Sämling, welcher eben den Boden durchbrochen hatte und nur $\frac{1}{20}$ Zoll über die Oberfläche vorstand, wurde in derselben Weise wie früher nun zunächst beobachtet. Es war nothwendig die Erde rings um die Sämlinge herum bis zu einer gewissen Tiefe wegzuräumen, um ein Zeichen unterhalb der Spitze anzubringen. Die Figur (Fig. 50) zeigt, dass die Spitze sich nach einer Seite hin bewegte, aber ihren Verlauf während der 10 Stunden der Beobachtung zehnmal veränderte, so dass kein Zweifel über ihre Circumnutation hier aufkommen kann. Die Ursache der

⁶ Wir verdanken Prof. Henslow eine Übersicht der Ansichten, welche über diesen Gegenstand vorgebracht worden sind, in Verbindung mit literarischen Nachweisen.

allgemeinen Bewegung in einer Richtung konnte kaum dem Eintritte seitlichen Lichtes zugeschrieben werden, da dies sorgfältig vermieden wurde; und wir vermuthen, dasz es in irgend welcher Weise mit der Entfernung der Erde rings um den kleinen Sämling zusammenhieng.

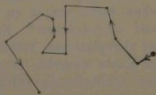


Fig. 50. *Phalaris canariensis*: Circumnutation eines sehr jungen Cotyledons, mit einem unterhalb der Spitze angebrachten Zeichen, von 11.37 a. m. bis 9.30 p. m., 13. Decbr., an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Bewegung der Spitze bedeutend vergrößert, hier auf ein Viertel des Maßstabs des Originals reducirt.

Endlich wurde die Erde in dem nämlichen Topfe mit Hilfe einer Lupe durchsucht, und es wurde die weisse, messerförmige Spitze eines Sämlings genau im Niveau mit der umgebenden Fläche gefunden. Die Erde wurde rings um die Spitze bis zur Tiefe von einem Viertelzoll entfernt, der Same selbst aber bedeckt gelassen. Der Topf wurde gegen seitliches Licht geschützt und unter das Microscop gebracht, dessen Micro-meterocular so angeordnet war, dasz jeder Theilstrich $\frac{1}{800}$ Zoll gleich kam. Nach einem Verlaufe von 30 Minuten wurde die Spitze beobachtet, und man sah, dasz sie ein wenig schräg zwei Abtheilungen des Micro-meters in 9 Minuten 15 Secunden durchschritt, und nach wenigen Minuten durchkreuzte sie denselben Raum in 8 Minuten 50 Secunden. Der Sämling wurde wieder nach einem Intervall von $\frac{3}{4}$ Stunden beobachtet, und nun durchschritt die Spitze etwas schräg zwei Theilstriche in 10 Minuten. Wir können daher schlieszen, dasz sie sich ungefähr mit der Geschwindigkeit von $\frac{1}{30}$ Zoll in 45 Minuten bewegte. Wir können auch aus dieser und den früheren Beobachtungen schlieszen, dasz die Sämlinge von *Phalaris* beim Durchbrechen der Oberfläche der Erde soviel circumnutiren, als es der umgebende Druck gestattet. Diese Thatsache erklärt (wie in dem vorher mitgetheilten Falle von *Asparagus*) das Vorhandensein eines kreisförmigen, engen, offenen Raumes oder Spaltes, welcher rings um mehrere Sämlinge deutlich sichtbar war, die durch sehr feinen, thonigen, gleichförmig feucht gehaltenen Sand durchgetreten waren.

Zea mays (Gramineae). — Ein Glasfaden wurde schräg an die Spitze eines Cotyledons befestigt, der 0,2 Zoll über den Grund in die Höhe stand; aber am dritten Morgen war er genau zur dreifachen Höhe herangewachsen, so dasz die Entfernung des Lacktropfens von dem Zeichen darunter bedeutend vergrößert war. Infolge dessen war die Zeichnung (Fig. 51) am ersten Tage viel stärker vergrößert als am zweiten. Der obere Theil des Cotyledons veränderte seinen Verlauf um mindestens einen rechten Winkel sechsmal an jedem der beiden Tage. Die Pflanze wurde durch ein trübes Licht senkrecht von oben beleuchtet. Dies war eine nothwendige Vorsicht, da wir an dem vorigen Tage die Bewegungen von Cotyledonen verfolgt hatten, die in einen tiefen Kasten gestellt waren, dessen Inneres auf der einen Seite von einem entfernten Nordostfenster und bei jeder Beobachtung durch ein Wachslichtchen, welches eine oder

zwei Minuten auf derselben Seite gehalten ward, beleuchtet wurde; das Resultat war, dasz die Cotyledonen den ganzen Tag lang sich nach dieser Seite bewegten, obschon sie in ihrem Verlaufe einige augenfällige Biegungen machten, aus welcher Thatsache wir allein schon schlieszen könnten, dasz sie circumnutirten. Wir hielten es aber für rathsam die oben gegebene Zeichnung auszuführen.

Würzelchen. — Glasfäden wurden an zwei kurzen Würzelchen befestigt, die so gestellt wurden, dasz sie beinahe aufrecht standen; während sie sich durch Geotropismus nach unten wendeten, waren ihre Bewegungen stark zickzackförmig; aus diesem letzteren Umstande hätte man auf Circumnutation schlieszen können, wären nicht ihre Spitzen nach den ersten 24 Stunden, trotzdem sie begossen wurden und die Luft sehr feucht war, in geringem Grade verwelkt.

Zunächst wurden nun neun Würzelchen in der früher beschriebenen Weise angeordnet, so dasz sie bei dem Abwärtswachsen Spuren an beruszten Glasplatten hinterlieszen, die in verschiedenen Winkeln zwischen 45° und 80° unter den Horizont geneigt waren. Beinahe jeder dieser Züge bot in seiner grösseren oder geringeren Breite an verschiedenen Stellen, oder dadurch, dasz kleine Brücken von Rusz unberührt gelassen waren, Beweise dar, dasz die Spitze abwechselnd in mehr oder weniger dichte Berührung mit dem Glas gekommen war. In der beistehenden Figur (Fig. 52) haben wir eine genaue Copie eines solchen Zuges. Nur in zwei Fällen (und in diesen waren die Glasplatten sehr stark geneigt) war ein geringer Beleg für eine unbedeutende seitliche Bewegung vorhanden.

Wir vermuthen daher, dasz die Reibung der Spitze an der beruszten Fläche, so gering dieselbe gewesen sein kann, hinreichte, die Bewegung dieser zarten Würzelchen von einer Seite zur andern zu hemmen.

Avena sativa (Gramineae). — Ein $1\frac{1}{2}$ Zoll hoher Cotyledon wurde vor ein Nordostfenster gestellt, und die Bewegung der Spitze wurde während zweier Tage an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet. Er bewegte sich nach dem Lichte hin in einer unbedeutenden Zickzacklinie von 9—11,30 a. m. am 15. October. Dann bewegte er sich ein wenig rückwärts und stark im Zickzack bis 5 Uhr p. m., nach welcher Stunde und während der Nacht er sich nach dem Fenster hin zu bewegen fortfuhr. Am folgenden Morgen wurde dieselbe Bewegung in einer nahezu geraden Linie bis 12,40 p. m. fortgesetzt, wo der Himmel bis 2,35 infolge von Gewitterwolken ausserordentlich dunkel blieb. Während dieses Intervalls von 1 Stunde 45 Minuten, während das Licht trüb war, war es interessant

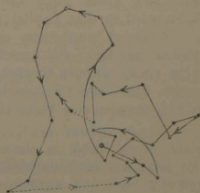


Fig. 51. *Zea mays*: Circumnutation des Cotyledons, an einer horizontalen Glasplatte von 8,30 a. m., 4. Febr., bis 8 a. m., 6. Febr., gezeichnet. Bewegung des Lactropfens im Mittel ungefähr 25mal vergrößert.



Fig. 52. *Zea mays*: Auf einer geneigten beruszten Glasplatte von der Spitze des Würzelchens beim Abwärtswachsen zurückgelassene Spur.

zu beobachten, wie die Circumnutation den Heliotropismus überwand; denn anstatt dass die Spitze fortfuhr sich nach dem Fenster zu in einer unbedeutenden Zickzacklinie zu bewegen, kehrte sie ihren Lauf viermal um, dabei zwei kleine enge Ellipsen beschreibend. Eine Darstellung dieses Falles wird in dem Capitel über Heliotropismus gegeben werden.

Zunächst wurde nun ein Faden an einen nur $\frac{1}{4}$ Zoll hohen Cotyledon befestigt, der ausschliesslich von oben beleuchtet wurde und, da er in einem warmen Gewächshause gehalten wurde, rapid wuchs; und nun konnte über seine Circumnutation kein Zweifel bestehen, denn er beschrieb in $5\frac{1}{2}$ Stunden eine Figur von acht, eben so wie von zwei kleinen Ellipsen.

Nephrodium molle (Filices). — Ein Sämlingfarn dieser Species gieng durch Zufall in einem Blumentopf neben seiner Elternpflanze auf. Der jetzt nur noch unbedeutend gelappte Wedel war nur 0,16 Zoll lang und 0,2 breit und wurde von einer Rhachis getragen, die so fein wie ein Haar und nur 0,23 Zoll hoch war. Ein sehr dünner Glasfaden, welcher in einer Länge von 0,36 Zoll vorsprang, wurde an das Ende des Wedels befestigt. Die Bewegung wurde so stark vergrößert, dass man sich auf die Figur (Fig. 53) nicht vollständig verlassen kann; es bewegte sich aber der Wedel beständig in einer complicirten Route, und der Lacktropfen veränderte in den 12 Stunden der Beobachtungen 18mal bedeutend seinen Lauf. Innerhalb einer halben Stunde kehrte er häufig in einer seinem früheren Verlaufe beinahe parallelen Linie zurück. Der gröszte Betrag an Bewegung kam zwischen 4 und 6 Uhr p. m. vor. Die Circumnutation dieser Pflanze ist interessant, weil die Arten in der Gattung *Lygodium* sehr bekannt dafür sind, dass sie augenfällig circumnutiren und sich um einen jeden in der Nähe befindlichen Gegenstand winden.

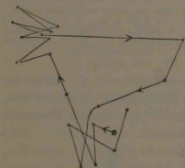


Fig. 53. *Nephrodium molle*: Circumnutation eines sehr jungen Wedels, im Dunkeln an einer horizontalen Glasplatte von 9 a. m. bis 9 p. m., 30. Oct., verzeichnet. Bewegung des Lacktropfens 48mal vergrößert.

Selaginella Kraussii (?) (Lycopodiaceae). — Eine sehr junge, nur 0,4 Zoll hohe Pflanze war in einem Topfe im Treibhause aufgegangen. Ein äusserst feiner Glasfaden wurde an das Ende des wedelartigen Stengels

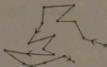


Fig. 54. *Selaginella Kraussii* (?): Circumnutation einer jungen im Dunkeln gehaltenen Pflanze, von 8.45 a. m. bis 10 p. m. am 31. Oct. aufgezeichnet.

befestigt und die Bewegung des Lacktropfens an einer horizontalen Glasplatte verzeichnet. Er veränderte seinen Lauf, während er 13 Stunden 15 Minuten beobachtet wurde, wie in Fig. 54 dargestellt ist, mehrere Male und kehrte des Nachts zu einem von dem, von welchem er am Morgen ausgegangen war, nicht weit entfernten Punkte zurück. Es lässt sich nicht zweifeln, dass diese kleine Pflanze circumnutirte.

Zweites Capitel.

Allgemeine Betrachtungen über die Bewegungen und das Wachsthum von Pflanzensämlingen.

Allgemeinheit der circumnutirenden Bewegung. — Würzelchen, ihre Circumnutation ist von Nutzen. — Art und Weise, in welcher sie den Boden durchdringen. — Die Art, in welcher die Hypocotyle und andere Organe durch ihr Gekrümmtsein den Boden durchbrechen. — Eigenthümliche Keimungsweise bei *Megarhiza* etc. — Fehlschlagen der Cotyledonen. — Circumnutation der Hypocotyle und Epicotyle, während sie noch unter der Erde und gekrümmt sind. — Ihr Vermögen sich zu strecken. — Bersten der Samenhüllen. — Vererbte Wirkung des Krümmungsprocesses bei unterirdischen Hypocotylen. — Circumnutation von Hypocotylen und Epicotylen im aufrechten Zustande. — Circumnutation der Cotyledonen. — Pulvini oder Gelenke der Cotyledonen, Dauer ihrer Thätigkeit, rudimentär bei *Oxalis corniculata*, ihre Entwicklung. — Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen das Licht und davon abhängige Störung ihrer periodischen Bewegungen. — Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen Berührung.

Die circumnutirenden Bewegungen der verschiedenen Theile oder Organe einer beträchtlichen Zahl von Pflanzensämlingen sind im ersten Capitel beschrieben worden. Es wird hier eine Liste der Familien, Cohorten, Unterclassen etc. beigefügt, zu denen jene gehören, nach der von HOOKER¹ angenommenen Classification geordnet und numerirt. Ein Jeder, welcher diese Liste betrachtet, wird sehen, dass die jungen zur Beobachtung ausgewählten Pflanzen ziemlich die ganze Pflanzenreihe repräsentiren, mit Ausnahme der niedrigsten Cryptogamen, und die Bewegungen einiger dieser letzteren im Reifezustand werden später beschrieben werden. Da alle die Sämlinge, welche beobachtet wurden, mit Einschluß der Coniferen, Cycadeen und Farnkräuter, welche zu den ältesten Typen unter den Pflanzen gehören, in beständiger circumnutirender Bewegung waren, so müssen wir schlieszen, dasz diese Art von Bewegung jeder Art von Sämlingen gemein ist.

¹ Wie sie im „General System of Botany“ von Le Maout und Decaisne gegeben wird.

Unterreich I. **Phanerogame Pflanzen.**I. Classe. **Dicotyledonen.**I. Unterclasse. **Angiospermen.**

Familie:	Cohorte:
14. <i>Cruciferae.</i>	II. Parietales.
26. <i>Caryophylleae.</i>	IV. Caryophyllales.
36. <i>Malvaceae.</i>	VI. Malvales.
41. <i>Oxalideae.</i>	VII. Geraniales.
49. <i>Tropaeoleae.</i>	"
52. <i>Aurantiaceae.</i>	"
70. <i>Hippocastaneae.</i>	X. Sapindales.
75. <i>Leguminosae.</i>	XI. Rosales.
106. <i>Cucurbitaceae.</i>	XII. Passiflorales.
109. <i>Cactaeae.</i>	XIV. Ficoïdales.
122. <i>Compositae.</i>	XVII. Astrales.
135. <i>Primulaceae.</i>	XX. Primulales.
145. <i>Asclepiadeae.</i>	XXII. Genticnales.
151. <i>Convolvulaceae.</i>	XXIII. Polemoniales.
154. <i>Borragineae.</i>	"
156. <i>Nolaneae.</i>	"
157. <i>Solaneae.</i>	XXIV. Solanales.
181. <i>Chenopodieae.</i>	XXVII. Chenopodiales.
202. <i>Euphorbiaceae.</i>	XXXII. Euphorbiales.
211. <i>Cupuliferae.</i>	XXXVI. Quernales.
212. <i>Corylaceae.</i>	"

II. Unterclasse. **Gymnospermen.**

223. *Coniferae.*
224. *Cycadeae.*

II. Classe. **Monocotyledonen.**

2. <i>Cannaceae.</i>	II. Amomales.
34. <i>Liliaceae.</i>	XI. Liliales.
41. <i>Asparageae.</i>	"
55. <i>Gramineae.</i>	XV. Glumales.

Unterreich II. **Cryptogame Pflanzen.**

1. *Filices.* I. Filicales.
6. *Lycopodiaceae.* "

Würzelchen. — In allen den keimenden, von uns beobachteten Samen ist die erste Veränderung das Vortreiben des Würzelchens, welches sich unmittelbar nach abwärts krümmt und versucht den Boden zu durchbohren. Um dies zu bewirken, ist es beinahe nothwendig, dasz der Samen nach unten gedrückt wird, so dasz er einigen Widerstand darbietet, wenn nicht der Boden auszerordentlich locker ist. Denn im andern Falle wird der Same in die Höhe gehoben, statt dasz

das Würzelchen die Oberfläche durchbohrt. Es werden aber häufig Samen mit Erde bedeckt, entweder durch grabende Säugethiere oder scharrende Vögel, durch die Röhren der Regenwürmer, durch Excrementhaufen, durch die abgestorbenen Zweige von Bäumen u. s. w. und werden auf diese Weise nach unten gedrückt; auch müssen sie in Spalten oder in Höhlen fallen, wenn die Erde trocken ist. Selbst bei Samen, welche auf der nackten Oberfläche des Bodens liegen, sind die zuerst sich entwickelnden Wurzelhaare dadurch, dasz sie an Steine oder andere Gegenstände an der Oberfläche angeheftet werden, im Stande, den oberen Theil des Würzelchens nach unten zu halten, während die Spitze den Boden durchbohrt. SACHS hat gezeigt², wie gut und eng sich Wurzelhaare durch Wachsthum an die unregelmäßigsten Theilchen im Boden anpassen und fest an sie angeheftet werden. Diese Anheftung scheint dadurch bewirkt zu werden, dasz die äuszere Oberfläche der Wandung des Haares erweicht und verflüssigt und später fest wird, wie es bei einer späteren Gelegenheit ausführlicher beschrieben werden wird. Diese innige Vereinigung spielt nach SACHS bei der Absorption von Wasser und der unorganischen in ihm gelösten Substanz eine bedeutungsvolle Rolle. Die mechanische, von den Wurzelhaaren bei der Durchbohrung des Bodens dargebotene Hilfe ist wahrscheinlich nur ein secundärer Dienst.

Sobald die Spitze des Würzelchens aus den Samenhüllen vordringt, beginnt sie zu circumnutiren, und der ganze wachsende Theil fährt hiermit fort wahrscheinlich so lange, als das Wachsthum fort dauert. Diese Bewegung des Würzelchens ist bei *Brassica*, *Aesculus*, *Phaseolus Vicia*, *Cucurbita*, *Quercus* und *Zea* beschrieben worden. Die Wahrscheinlichkeit ihres Vorkommens wurde von SACHS daraus geschlossen³ dasz senkrecht aufwärts gestellte Würzelchen von Geotropismus beeinflusst werden (wie wir gleichfalls gefunden haben, dasz es der Fall ist); denn wenn sie absolut senkrecht geblieben wären, würde die

² Pflanzenphysiologie (französ. Übersetzung) 1868, p. 199. 205.

³ Über das Wachsthum der Wurzeln, in: Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, 3. Hft. 1873, p. 460. Diese Abhandlung verdient, abgesehen von ihrem groszen Interesse an sich, als Muster einer sorgfältigen Untersuchung studirt zu werden; wir werden wiederholt Veranlassung haben, auf sie zu verweisen. Dr. Frank hatte vorher (Beiträge zur Pflanzenphysiologie, 1868, p. 21) die Thatsache besprochen, dasz senkrecht aufwärts gestellte Würzelchen von Geotropismus beeinflusst werden, und er erklärt dies durch die Annahme, dasz ihr Wachsthum nicht auf allen Seiten gleich sei.

Anziehung der Schwerkraft nicht veranlaszt haben können, dasz sie sich nach irgend einer Seite biegen. In den oben speciell angeführten Fällen wurde Circumnutation entweder in der Weise beobachtet, dasz äusserst feine Glasfäden in der früher beschriebenen Art an die Würzelchen befestigt wurden, oder dasz man sie über geneigte, angeruszte Glasplatten nach abwärts wachsen liesz, auf welchen sie dann ihre Spuren zurücklieszen. In den letzteren Fällen zeigte der serpentine Verlauf (s. Fig. 19, 21, 27, 41) unzweideutig, dasz sich die Spitze beständig von einer Seite zur andern bewegt hatte. Diese seitliche Bewegung war in ihrer Ausdehnung gering; sie betrug in dem Falle von *Phaseolus* höchstens ungefähr 1 mm von einer Mittellinie aus nach beiden Seiten. Es war aber auch Bewegung in einer verticalen, auf den geneigten Glasplatten senkrecht stehenden Ebene vorhanden. Dies wurde dadurch erwiesen, dasz die Spuren häufig abwechselnd ein wenig breiter und schmaler waren infolge davon, dasz die Würzelchen abwechselnd mit grözzerer oder geringerer Kraft an die Platten andrückten. Gelegentlich wurden auch kleine Brücken von Rusz zwischen den Spuren gelassen, welcher Umstand bewies, dasz die Spitzen an diesen Stellen abgehoben worden waren. Diese letztere Thatsache kam besonders gern vor, wenn das Würzelchen, anstatt gerade am Glase nach abwärts sich zu bewegen, eine halbkreisförmige Krümmung machte; aber Fig. 52 zeigt, dasz dies auch eintreten kann, wenn die Spur geradlinig ist. Durch eine Erhebung in dieser Weise war die Spitze in einem Falle im Stande eine Borste zu übersteigen, welche quer auf einer geneigten Glasfläche angekittet war; aber Holzstückchen von nur $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke veranlaszten das Würzelchen immer sich rechtwinklig nach einer Seite zu biegen, so dasz die Spitze auch nicht bis zu dieser geringen Höhe dem Geotropismus entgegen sich erhob.

In denjenigen Fällen, in welchen Würzelchen mit angehefteten Fäden so gestellt wurden, dasz sie beinahe senkrecht standen, krümmten sie sich durch Wirkung des Geotropismus nach abwärts, circumnutirten gleichzeitig, und ihr Weg war infolge dessen zickzackförmig. Zuweilen indessen beschrieben sie grosze, kreisförmige Schwingungen, deren Linien gleichfalls zickzackförmig waren.

Es können dicht von Erde umgebene Würzelchen, selbst wenn die letztere durchaus angefeuchtet und erweicht ist, vielleicht völlig am Circumnutiren gehindert werden. Wir müssen uns aber daran erinnern, dasz die circumnutirenden, scheidenartigen Cotyledonen von *Phalaris*, die

Hypocotyle von *Solanum* und die Epicotyle von *Asparagus* rings um sie herum kleine kreisförmige Spalten oder Furchen in einer oberflächlichen Schicht feuchten thonigen Sandes bildeten. Sie waren auch ebenso, wie die Hypocotyle von *Brassica* im Stande in feuchtem Sande gerade Furchen zu bilden, während sie circumnutirten und sich nach einem seitlichen Lichte beugten. In einem späteren Capitel wird gezeigt werden, dass das Drehen oder die circumnutirende Bewegung der Blüthenköpfe von *Trifolium subterraneum* dazu beiträgt, sie einzugraben. Es ist daher wahrscheinlich, dass die Circumnutation der Spitze des Würzelchens dasselbe in geringem Grade unterstützt den Boden zu durchbohren; und in mehreren der früher gegebenen Abbildungen lässt sich beobachten, dass die Bewegung bei Würzelchen stärker ausgesprochen ist, wenn sie zuerst aus dem Samen vordringen, als in einer etwas späteren Periode; ob dies indessen ein zufälliges oder ein adaptives Zusammentreffen ist, wollen wir nicht entscheiden. Als junge Würzelchen von *Phaseolus multiflorus* senkrecht dicht über feuchten Sand fixirt wurden in der Erwartung, dass sie, sobald sie denselben erreichten, kreisförmige Furchen bilden würden, trat dies trotzdem nicht ein, — eine Thatsache, welche, wie wir meinen, dadurch erklärt werden kann, dass die Furche, sobald sie gebildet war, durch Dickenzunahme in der Spitze des Würzelchens ausgefüllt ward. Mag nun ein Würzelchen, wenn es von erweichter Erde umgeben wird, bei der Bildung eines Durchganges für sich durch Circumnutation unterstützt werden oder nicht, es kann diese Bewegung kaum anders als von hoher Bedeutung in so fern sein, dass sie das Würzelchen einer Linie des geringsten Widerstandes entlang führt, wie im nächsten Capitel gezeigt werden wird, wo wir von der Empfindlichkeit der Spitze gegen Berührung handeln. Wenn indessen ein Würzelchen bei seinem Abwärtswachsthum schräg in irgend einen Spalt oder eine durch eine zerfallene Wurzel gebildete Höhle einbricht oder in eine von der Larve eines Insectes oder speciell von Würmern gebildete, so wird die circumnutirende Bewegung der Spitze es wesentlich darin unterstützen, einen solchen offenen Durchgang zu verfolgen; und wir haben beobachtet, dass Wurzeln gewöhnlich in den alten Wurmhöhlen abwärts wachsen⁴.

⁴ s. auch Prof. Hensen's Angaben in gleichem Sinne (Zeitschr. f. wiss. Zool. 28. Bd. p. 354. 1877). Er geht so weit zu behaupten, dass Wurzeln nur mittelst der von Würmern gemachten Höhlen im Stande sind, den Boden in bedeutende Tiefe zu durchdringen.

Wenn ein Würzelchen in eine horizontale oder geneigte Stellung gebracht wird, so biegt sich der terminale wachsende Theil, wie bekannt ist, abwärts nach dem Mittelpunkte der Erde zu; und SACHS hat gezeigt⁵, dasz während dieser Krümmung das Wachsthum der unteren Fläche bedeutend verzögert wird, während das der oberen Fläche mit der normalen Schnelligkeit fort dauert oder selbst etwas vergrößert sein kann. Er hat ferner durch Anheftung eines über eine Rolle laufenden Fadens an ein horizontales Würzelchen bedeutender Größe, nämlich an das der gemeinen Bohne, gezeigt, dasz es nur im Stande war, das Gewicht von 1 Gramm, oder 15,4 Gran zu heben. Wir können daher schlieszen, dasz Geotropismus dem Würzelchen nicht die hinreichende Kraft gibt, den Grund zu durchbohren, sondern ihm immer nur (wenn ein solcher Ausdruck hier erlaubt ist) sagt, welchen Weg es einzuschlagen hat. Ehe wir SACHS' genauere Beobachtungen kannten, bedeckten wir eine platte Fläche von feuchtem Sande mit dem dünnsten Stanniol, welches wir auftreiben konnten (0,02—0,03 mm oder 0,00012—0,00079 Zoll Dicke), und stellten ein Würzelchen dicht darüber in eine solche Stellung, dasz es beinahe senkrecht nach abwärts wuchs. Als die Spitze mit der geglätteten ebenen Fläche in Berührung kam, wendete sie sich unter rechtem Winkel ab und glitt darüber hin, ohne irgend einen Eindruck zu hinterlassen; und doch war das Stanniol so biegsam, dasz eine Spitze von weichem Holz, welche ebenso zugespitzt war wie das Ende des Würzelchens und mit einem Gewichte von nur einer Viertel-Unze (120 Gran) beschwert war, deutlich das Stanniol eindrückte.

Würzelchen sind im Stande den Grund zu durchbohren infolge der ihr Längen- und Querwachsthum begleitenden Kraft; die Samen selbst werden dabei durch das Gewicht des darüber liegenden Bodens niedergehalten. Bei der Bohne ist die von der Wurzelkappe geschützte Spitze scharf, und der wachsende, von 8 bis 10 mm lange Theil ist, wie SACHS gezeigt hat, starrer als der Theil unmittelbar darüber, welcher an Länge zuzunehmen aufgehört hat. Wir versuchten den Druck des wachsenden Theiles nach unten dadurch zu ermitteln, dasz wir keimende Bohnen zwischen zwei kleine Metallplatten legten, deren obere mit einem bekannten Gewicht beschwert war; dem Würzelchen

⁵ Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, 1. Bd. 1873. p. 461. s. auch p. 397 in Bezug auf die Länge des wachsenden Theils, und p. 451 über die Kraft des Geotropismus.

wurde dann gestattet, in ein enges Loch in Holz zwei oder drei Zehntel Zoll tief und am Boden geschlossen hineinzuwachsen. Das Holz war so geschnitten, dasz der kurze Theil des Würzelchens zwischen der Mündung des Loches und der Bohne sich nach drei Seiten hin seitlich nicht biegen konnte; es war aber unmöglich die vierte, dicht an der Bohne liegende Seite zu schützen. Infolge dessen wird, solange das Würzelchen an Länge zuzunehmen fortfuhr und gerade blieb, die beschwerte Bohne in die Höhe gehoben worden sein, nachdem die Spitze den Boden des seichten Loches erreicht hat. In dieser Weise zubereitete Bohnen, die mit feuchtem Sand umgeben wurden, hoben in 24 Stunden, nachdem die Spitze des Würzelchens in das Loch eingetreten war, ein Viertel-Pfund in die Höhe, bei einem grözeren Gewichte wurden die Würzelchen immer nach der nicht beschützten Seite gekrümmt; dies würde aber wahrscheinlich nicht eingetreten sein, wenn sie auf allen Seiten von dichter Erde dicht umgeben gewesen wären. In diesen Versuchen fand sich indessen eine mögliche, wenn auch nicht wahrscheinliche Fehlerquelle, denn es wurde nicht ermittelt, ob die Bohnen selbst, nachdem sie gekeimt haben, mehrere Tage lang weiter schwellen würden, nachdem sie in der Weise behandelt worden waren, wie sie in unseren Versuchen behandelt wurden; nämlich sie wurden zuerst 24 Stunden lang in Wasser liegen gelassen; dann liesz man sie in sehr feuchter Luft keimen, und dann wurden sie über das Loch gelegt und in einem verschlossenen Kasten beinahe ganz von feuchtem Sand umgeben.

Es gelang uns besser, die Kraft zu ermitteln, welche diese Würzelchen in querer Richtung ausüben. Zwei von ihnen wurden so gestellt, dasz sie kleine, in kleinen Stäben angebrachte Löcher durchdringen muszten, von denen eins in der Form ausgeschnitten war, wie



Fig. 55. Umriss eines Stückchen Holz (auf die Hälfte der natürlichen Grösze reducirt) mit einem Loch, durch welches das Würzelchen einer Bohne wuchs. Die Dicke des Holzes betrug am schmalen Ende 0,08 Zoll, am breiten Ende 0,16, Tiefe des Loches 0,1 Zoll.

sie hier genau copirt ist (Fig. 55). Das kurze Ende des Holzstückchens jenseits des Loches wurde absichtlich gespalten, aber nicht an dem anderen Ende. Da das Holz in hohem Grade elastisch war, verschlosz sich der Spalt oder Schlitz unmittelbar, nachdem er gemacht worden war. Nach sechs Tagen wurde das Holzstückchen und die

Bohne aus dem feuchten Sande ausgegraben, und es zeigte sich, dasz das Würzelchen über und unter dem Loche bedeutend verdickt war. Der Schlitz, welcher zuerst völlig geschlossen war, war jetzt in einer Weite von 4 mm geöffnet; sobald das Würzelchen herausgezogen war,

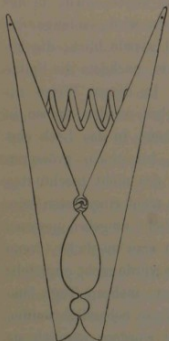


Fig. 56. Hölzerne Klammer durch eine messingene Spiralfeder geschlossen gehalten mit einem 0,14 Zoll im Durchmesser haltenden und 0,6 Zoll tiefen) Loche in dem schmalen geschlossenen Theile, durch welches man das Würzelchen einer Bohne keimen liess. Temperatur 10–13° C.

schloz sich das Loch sofort bis zu einer Weite von 2 mm. Das Holzstückchen wurde dann horizontal an einem feinen Drahte aufgehangen, welcher durch das vor kurzem noch von dem Würzelchen erfüllte Loch gezogen war, und ein kleines Schälchen wurde darunter gehängt, das Gewicht aufzunehmen; es bedurfte das Gewicht von 8 Pfund 8 Unzen, die Spalte bis zur Weite von 4 mm zu erweitern, d. h. bis zu der Weite, welche sie zeigte, ehe die Wurzel herausgezogen war. Der Theil der Wurzel aber (nur 0,1 Zoll lang), welcher in dem Loche eingeschlossen war, übte wahrscheinlich einen noch grösseren queren Druck aus als 8 Pfund 8 Unzen, denn er hatte das solide Holz in einer Länge von etwas mehr als einem Viertel-Zoll (genau 0,275 Zoll) gespalten, und dieser Spalt ist in Fig. 55 dargestellt. Ein zweites Holzstückchen wurde in derselben Weise mit beinahe genau demselben Resultate versucht.

Wir folgten dann einem besseren Plane. Es wurden Löcher nahe an dem schmalen Ende zweier hölzerner Pincetten oder Klammern (Fig. 56) gebohrt, die durch messingene Spiralfedern geschlossen gehalten wurden. Zwei Würzelchen in feuchtem Sande liess man durch diese Löcher wachsen. Die Klammern ruhten auf Glasplatten, um die Reibung am Sande zu verringern. Die Löcher waren etwas grösser (nämlich 0,14 Zoll) und beträchtlich tiefer (nämlich 0,6 Zoll) als bei den Versuchen mit den Holzstückchen, so dasz eine grössere Länge eines im Ganzen dickeren Würzelchens einen queren Druck ausübte. Nach 13 Tagen wurden sie herausgenommen. Die Entfernung zweier Punkte (s. die Abbildung) an den längeren Enden der Pincetten wurde nun sorgfältig gemessen: die Würzelchen wurden dann aus den Löchern herausgenommen, und die Pincetten schlozen sich natürlich nun. Sie

wurden nun horizontal in derselben Weise aufgehängt, wie die Holzstückchen, und es war ein Gewicht von 1500 Gramm (oder 3 Pfund 4 Unzen) bei einer der Klammern nothwendig, sie bis zu derselben Weite zu öffnen, wie es durch das quere Wachsthum des Würzelchens geschehen war. Sobald dieses Würzelchen die Klammer unbedeutend geöffnet hatte, war es in einer abgeplatteten Form weiter gewachsen und war ein wenig jenseits aus dem Loche herausgetreten; sein Durchmesser betrug in der einen Richtung 4,2 mm und rechtwinklig darauf 3,5 mm. Hätte dies Austreten und Abplatten verhindert werden können, so würde das Würzelchen wahrscheinlich einen noch grösseren Druck als 3 Pfund 4 Unzen ausgeübt haben. Bei der anderen Klammer trat das Würzelchen noch weiter aus der Höhle heraus, und das Gewicht, welches nothwendig war, sie zu öffnen, betrug nur 600 Gramm.

Mit diesen Thatfachen vor uns scheint es nicht schwierig zu sein, zu verstehen, wie ein Würzelchen den Boden durchbohrt. Das Ende ist zugespitzt und von der Wurzelhaube geschützt; der terminale wachsende Theil ist starr und nimmt an Länge mit einer Kraft zu, die, soweit wir uns auf unsere Beobachtungen verlassen können, dem Drucke von wenigstens ein Viertel-Pfund gleich ist, wahrscheinlich mit einer viel grösseren Kraft, wenn er an dem Biegen nach irgend einer Seite durch die umgebende Erde gehindert wird. Während er in dieser Weise an Länge zunimmt, nimmt auch seine Dicke zu und drückt dabei die feuchte Erde auf allen Seiten mit einer Kraft von über 8 Pfund in dem einen Falle und von 3 Pfund in einem andern Falle fort. Es war unmöglich zu entscheiden, ob die eigentliche Spitze im Verhältnisse zu ihrem Durchmesser denselben queren Druck ausübt, wie die Theile ein wenig höher hinauf; es scheint aber kein Grund vorhanden zu sein daran zu zweifeln, dasz dies der Fall ist. Der wachsende Theil wirkt daher nicht wie ein Nagel, welcher in ein Brett geschlagen wird, sondern mehr wie ein Holzkeil, welcher, während er langsam in einen Spalt eingetrieben wird, sich beständig durch die Absorption von Wasser ausdehnt, und ein in dieser Weise wirkender Keil wird selbst eine Steinmasse sprengen.

Art und Weise, in welcher Hypocotyle, Epicotyle u. s. w. aufsteigen und die Erde durchbrechen. — Nachdem das Würzelchen den Grund durchbohrt und den Samen befestigt hat, durchbrechen die Hypocotyle aller der dicotyledonen

Sämlinge, die wir beobachtet haben und welche ihre Cotyledonen über die Oberfläche erheben, den Boden in Form eines Bogens. Wenn die Cotyledonen hypogäisch sind, d. h. in der Erde vergraben bleiben, wird der Hypocotyl kaum entwickelt, und der Epicotyl oder die Plumula steigt in gleicher Weise als ein Bogen durch den Boden auf. In allen oder wenigstens in den meisten derartigen Fällen bleibt die nach abwärts gebogene Spitze eine Zeit lang innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen. Bei *Corylus avellana* sind die Cotyledonen hypogäisch, und der Epicotyl ist gebogen; aber in dem besonderen, im letzten Capitel beschriebenen Falle war die Spitze verletzt und wuchs seitwärts durch den Boden wie eine Wurzel; und in Folge hiervon hatte sie zwei secundäre Sprösslinge getrieben, welche gleichfalls als Bogen den Boden durchbrachen.

Cyclamen bringt keinen gesonderten Stamm hervor und es erscheint zuerst nur ein einzelner Cotyledon⁶; sein Stiel durchbricht den Boden in der Form eines Bogens (Fig. 57). *Abronia* hat gleichfalls nur einen einzigen vollentwickelten Cotyledon; aber in diesem

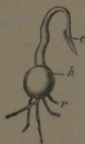


Fig. 57. *Cyclamen persicum*: Sämling, Figur vergrößert: c Scheibe des Cotyledons, noch nicht entfaltet, der gekrümmte Stiel beginnt sich gerade zu strecken; h Hypocotyl in einen Wurzelstock entwickelt; r secundäre Würzelchen.

Falle ist es der Hypocotyl, welcher zuerst hervortritt und gekrümmt ist. *Abronia umbellata* bietet indessen die Eigenthümlichkeit dar, dasz die zusammengefaltete Scheibe des einen entwickelten Cotyledon (mit dem eingeschlossenen Endosperm), während er noch unter der Oberfläche ist, ihre Spitze parallel zu dem absteigenden Schenkel des gebogenen Hypocotyls aufwärts gewendet hat; er wird aber durch das fortdauernde Wachsthum des Hypocotyls mit nach abwärts weisender Spitze aus dem Boden heraufgezogen. Bei *Cycas pectinata* sind

⁶ Dies ist der Schluss, zu welchem Dr. H. Gressner gelangt (Botan. Zeitung, 1874, p. 837). Er behauptet, dasz das, was von andern Botanikern für das erste echte Blatt angesehen wird, in Wirklichkeit der zweite, in seiner Entwicklung sehr zurückgebliebene Cotyledon ist.

die Cotyledonen hypogäisch, und ein wirkliches Blatt durchbricht den Boden mit einem einen Bogen bildenden Stiel.

In der Gattung *Acanthus* sind die Cotyledonen gleichfalls hypogäisch. Bei *A. mollis* durchbricht zuerst ein einzelnes Blatt mit gebogenem Stiele den Boden, dessen gegenständiges Blatt viel weniger entwickelt, kurz, gerade, von gelblicher Farbe ist, mit einem anfangs nicht halb so dicken Stiele wie dem des andern Blattes. Das unentwickelte Blatt wird dadurch geschützt, dasz es unter seinem gebogenen Gegenstück steht, und es ist eine instructive Thatsache, dasz es nicht gebogen ist, da es sich nicht selbst einen Weg durch den Boden zu erzwingen hat. In der beistehenden Skizze (Fig. 58) hat sich der Stiel des ersten Blattes bereits theilweise gerade gestreckt, und die Scheibe beginnt sich zu entfalten. Das kleine zweite Blatt wächst schliesslich zu einer gleichen Grösze mit dem ersten aus, aber dieser Procesz wird bei verschiedenen Individuen in sehr verschiedenen Geschwindigkeiten bewirkt: in einem Falle erschien das zweite Blatt nicht vollständig über dem Boden bis sechs Wochen nach dem ersten Blatte. Da die Blätter in der ganzen Familie der Acanthaceen entweder einander gegenständig oder in Wirteln stehen, und da dieselben von gleicher Grösze sind, ist die bedeutende Ungleichheit zwischen

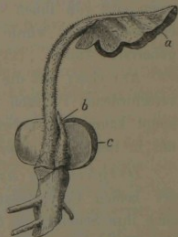


Fig. 58. *Acanthus mollis*: Sämling, an dem der unterirdische Cotyledon der dem Beschauer zunächst gelegenen Seite entfernt und die Würzlehen abgeschnitten sind: a Scheibe des ersten Blattes im Beginn sich zu entfalten, der Stiel noch zum Theil gekrümmt; b zweites gegenständiges Blatt, noch sehr unvollkommen entwickelt; c unterirdischer Cotyledon der gegenüberliegenden Seite.

den ersten zwei Blättern eine eigenthümliche Thatsache. Wir können wohl verstehen, wie diese Ungleichheit der Entwicklung und das Krümmen des Blattstiels allmählich erlangt worden sein kann, wenn dies für die Sämlinge dadurch, dasz es ihr Hervorbrechen begünstigte, wohlthätig gewesen ist; denn bei *A. candelabrum*, *spinus* und *latifolius* bestand in der Ungleichheit zwischen den ersten zwei Blättern und in der Krümmung ihrer Blattstiele eine grosze Variabilität. Bei einem Sämlinge von *A. candelabrum* war das erste Blatt gebogen und neunmal so lang wie das zweite, welches letztere aus einem einfachen, kleinen, gelblich-weisen, geraden, behaarten Griffel bestand. In anderen Sämlingen verhielt sich die Verschiedenheit der Länge

zwischen den zwei Blättern wie 3:2, oder 4:3, oder nur 0,76 : 0,62 Zoll. In diesen letzteren Fällen war das erste und längere Blatt nicht ordentlich gekrümmt. Endlich bestand bei einem andern Sämlinge nicht die geringste Verschiedenheit an Grösze zwischen den zwei ersten Blättern, und bei beiden von ihnen waren die Blattstiele gerade; ihre Blattscheiben waren entfaltet und drückten gegeneinander, bildeten dabei eine lanzenförmige Spitze oder einen Keil, mittelst dessen sie durch den Boden durchgebrochen waren. Es durchbricht daher bei verschiedenen Individuen dieser selben Species von *Acanthus* das erste Paar Blätter den Boden nach zwei sehr verschiedenen Methoden, und wenn eine von ihnen sich als entschieden vortheilhaft oder schädlich erwiesen hätte, würde ohne Zweifel eine von ihnen sehr bald vorgeherrscht haben.

ASA GRAY hat die eigenthümliche Art der Keimung von drei sehr verschiedenen Pflanzen beschrieben⁷, bei denen der Hypocotyl überhaupt kaum sich entwickelt hat. Es wurden daher dieselben von uns in Bezug auf unseren vorliegenden Gegenstand beobachtet.

Delphinium nudicaule. — Die verlängerten Blattstiele der beiden Cotyledonen sind zusammengeflossen (wie es zuweilen auch ihre Scheiben an der Basis sind), und sie brechen in der Form eines Bogens durch die Erde. In dieser Weise sind sie in einer äusserst täuschenden Art einem Hypocotyl ähnlich. Anfangs sind sie solid, werden aber nach einiger Zeit röhrig, und der basale Theil unterhalb der Oberfläche wird in eine hohle Kammer erweitert, innerhalb deren die jungen Blätter sich ohne irgend eine vorspringende Plumula entwickeln können. Äusserlich werden an den zusammenfliessenden Blattstielen Wurzelhaare entweder ein wenig oberhalb oder in gleichem Niveau mit der Plumula entwickelt. Das erste Blatt ist auf einer frühen Wachstumsperiode, und während es noch innerhalb der Kammern liegt, vollkommen gerade, aber der Stiel wird bald gekrümmt, und die Anschwellung dieses Theiles (und wahrscheinlich die Scheibe) öffnet eine Seite der Kammern spaltförmig, und dann tritt das Blatt hervor. Der Spalt ergab sich in einem Falle als 3,2 mm lang und lag auf der Verwachsungslinie der zwei Blattstiele. Wenn das Blatt zuerst aus der Kammer hervortritt, ist es noch unterhalb des Bodens vergraben, und nun wird ein oberer Theil des Blattstiels in der Nähe

⁷ Botanical Text-book, 1879. p. 22.

der Scheibe in der gewöhnlichen Weise gebogen. Das zweite Blatt tritt aus dem Spalt entweder gerade oder etwas gebogen hervor, aber später krümmt sich der obere Theil des Blattstiels, sicher in einigen, und wir glauben in allen Fällen, — während er sich einen Weg durch den Boden erzwingt.

Megarrhiza californica. — Die Cotyledonen dieses Kürbis befreien sich niemals von den Samenhüllen und sind hypogäisch. Ihre Blattstiele fließen vollständig zusammen und bilden ein Rohr, welches nach unten in eine kleine solide Spitze ausgeht, die aus einem sehr kleinen Würzelchen und einem Hypocotyl besteht, während die gleichfalls minutiöse Plumula innerhalb der Basis des Rohrs eingeschlossen ist. Diese Bildungsweise wurde von einem abnormen Exemplar gut dargeboten, an welchem einer der beiden Cotyledonen keinen Blattstiel entwickelte, während der andere einen solchen bildete, der aus einem offenen, in eine scharfe Spitze ausgehenden Halbcylinder bestand, der aus den eben beschriebenen Theilen gebildet wurde. Sobald die zusammenfließenden Blattstiele aus den Samen hervortreten, biegen sie sich abwärts, da sie stark geotropisch sind und durchbohren den Boden. Der Same selbst behält seine ursprüngliche Stellung bei, entweder an der Oberfläche oder in einiger Tiefe vergraben, wie es der Fall geben mag. Wenn indessen die Spitze der zusammenfließenden Blattstiele im Boden irgend ein Hindernis trifft, wie es bei den von ASA GRAY beschriebenen⁸ und abgebildeten Sämlingen eingetreten zu sein scheint, werden die Cotyledonen über die Erde heraufgehoben. Die Blattstiele sind mit Wurzelhaaren gleich denen an einem echten Würzelchen bekleidet, und sie sind Würzelchen auch darin ähnlich, dass sie bei dem Eintauchen in eine Lösung von übermangansaurem Kali braun werden. Unsere Samen wurden einer hohen Temperatur ausgesetzt und im Verlaufe von drei oder vier Tagen durchbohrten die Blattstiele den Boden senkrecht bis zu einer Tiefe von 2—2½ Zollen, und nicht früher als nun fieng das echte Würzelchen zu wachsen an. In einem Exemplar, welches sorgfältig beobachtet wurde, erreichten die Blattstiele in sieben Tagen nach ihrem ersten Hervortreten eine Länge von 2½ Zoll, und das Würzelchen war in dieser Zeit gleichfalls ordentlich entwickelt. Die noch innerhalb des Rohres eingeschlossene Plumula war nur 0,3 Zoll lang und vollkommen gerade; aber weil sie an Dicke zugenommen

⁸ American. Journal of Science, Vol. 14. 1877, p. 21.

hatte, hatte sie soeben angefangen, den unteren Theil der Blattstiele auf einer Seite, der Linie ihres Verschmelzens entlang, aufzuspalten. Am folgenden Morgen hatte sich der obere Theil der Plumula in

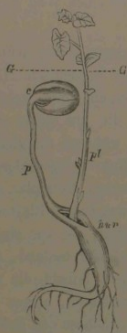


Fig. 58 A. *Megarrhiza californica*: Skizze eines Sämlings, nach Asa Gray copirt, auf die halbe Grösze reducirt: c Cotyledonen innerhalb der Samenhüllen; p die zwei zusammenfliessenden Stiele; h und r Hypocotyl und Würzelchen; pl Plumula; G . . . G Oberfläche des Bodens.

einem rechten Winkel gebogen, und die convexe Seite war hierdurch aus dem Spalt herausgezwängt worden. Es spielt daher die Biegung der Plumula hier dieselbe Rolle wie bei *Delphinium* die Blattstiele. Wie die Plumula zu wachsen fortfuhr, wurde die Spitze noch mehr gekrümmt, und im Verlaufe von sechs Tagen trat sie durch die 2½ Zoll darüber liegende Erde hervor, noch immer ihre gekrümmte Form beibehaltend. Nachdem sie die Oberfläche erreicht hatte, streckte sie sich in der gewöhnlichen Weise gerade. In der beistehenden Figur (Fig. 58 A) haben wir eine Skizze eines Sämlings in diesem vorgeschrittenen Entwicklungsstadium; die Oberfläche des Bodens wird durch die Linie G . . . G dargestellt.

Das Keimen der Samen in ihrer californischen Heimath geht in einer etwas verschiedenen Weise vor sich, wie wir aus einem interessanten Briefe von Mr. RATTAN, den uns Professor ASA GRAY geschickt hat, sehen. Die Blattstiele treten aus den Samen bald nach den Herbstregnen hervor und durchbohren den Boden allgemein in einer senkrechten Richtung bis zu einer Tiefe von 4 bis selbst 6 Zoll. Mr. RATTAN fand sie während der Weihnachtsferien in diesem Zustande mit den Plumulae noch innerhalb der Röhren eingeschlossen, und er macht die Bemerkung, dasz, wenn die Plumulae sich sofort entwickelt und die Oberfläche erreicht hätten (wie es bei unseren Samen eintrat, welche einer hohen Temperatur ausgesetzt waren), sie sicher durch den Frost getödtet worden sein würden. Wie der Fall liegt, so bleiben sie in einiger Tiefe unter der Oberfläche ruhen und werden dadurch gegen die Kälte geschützt, und die Wurzelhaare an den Blattstielen versehen sie mit hinreichender Feuchtigkeit. Wir werden später sehen, dasz viele Sämlinge durch einen sehr verschiedenen Vorgang gegen den Frost geschützt werden, nämlich dadurch,

dasz sie durch die Zusammenziehung ihrer Würzelchen unter die Oberfläche hinabgezogen werden. Wir können indessen annehmen, dasz die auszerordentliche Art der Keimung bei *Megarhiza* noch einen anderen und secundären Vortheil hat. Das Würzelchen beginnt in wenig Wochen sich zu einem kleinen Knollen zu vergrößern, welcher dann sehr reich an Stärkemehl und nur unbedeutend bitter ist. Es würde daher sehr leicht von Thieren verzehrt werden, wenn es nicht, so lange es jung und zart ist, dadurch geschützt wäre, dasz es in einer Tiefe von einigen Zoll unter der Oberfläche eingegraben liegt. Schliesslich wächst es zu einer ungeheuren Grösze heran.

Ipomoea leptophylla. — In den meisten Arten dieser Gattung ist der Hypocotyl gut entwickelt und durchbricht den Boden als ein Bogen. Aber die Samen der vorliegenden Species verhalten sich beim Keimen gleich denen von *Megarhiza*, mit Ausnahme des Umstandes, dasz die Cotyledonen nicht zusammenfliessen. Nachdem sie aus dem Samen vorgetreten sind, sind sie an ihren unteren Enden mit dem unentwickelten Hypocotyl und unentwickelten Würzelchen, welche zusammen eine ungefähr nur 0,1 Zoll lange Spitze bilden, vereinigt. Sie sind anfangs in hohem Grade geotropisch und durchbohren den Boden bis zu einer Tiefe von etwas mehr als einem halben Zoll. Dann fängt das Würzelchen zu wachsen an. Bei vier Gelegenheiten wurden die Blattstiele, nachdem sie eine kurze Strecke lang senkrecht abwärts gewachsen waren, in feuchter Luft im Dunkeln in eine horizontale Stellung gebracht und im Verlaufe von 4 Stunden waren sie wiederum senkrecht nach abwärts gekrümmt, wobei sie in dieser Zeit 90° durchlaufen hatten. Ihre Empfindlichkeit gegen Geotropismus dauert indessen nur 2 oder 3 Tage; und nur der terminale Theil ist auf einer Länge von zwischen 0,2 und 0,4 Zoll in dieser Weise empfindlich. Obschon die Blattstiele unserer Exemplare den Boden zu keiner grösseren Tiefe als ungefähr einen halben Zoll durchbohrten, fuhren sie doch einige Zeit lang rapid zu wachsen fort und erreichten endlich die bedeutende Länge von ungefähr 3 Zoll. Der obere Theil ist apogeotropisch und wächst daher senkrecht aufwärts, ausgenommen einen kurzen Theil dicht an den Blattscheiben, welcher in einer frühen Periode abwärts gekrümmt und gebogen wird und in dieser Weise den Boden durchbricht. Später streckt sich dieser Theil, und die Cotyledonen machen sich von den Samenhüllen frei. Wir haben hiernach im vorliegenden Falle in verschiedenen Theilen eines und desselben Organs sehr

verschiedene Arten von Bewegung und von Empfindlichkeit; denn der basale Theil ist geotropisch, der obere Theil apogeotropisch, und eine Partie in der Nähe der Blattscheiben krümmt sich zeitweise und ganz spontan. Die Plumula wird eine kurze Zeit noch nicht entwickelt, und da sie zwischen den Basen der parallelen und dicht an einander genäherten Blattstiele der Cotyledonen, welche beim Durchbrechen des Bodens einen beinahe offenen Durchgang gebildet haben, emporsteigt, so braucht sie nicht gekrümmt zu sein und ist daher immer gerade. Ob die Plumula in ihrem Heimathlande vergraben und eine Zeitlang schlummernd bleibt und dadurch gegen die Winterkälte geschützt wird, wissen wir nicht. Das Würzelchen wächst gleich dem von *Megarhiza* zu einer knollenartigen Masse aus, welche schliesslich eine bedeutende Grösze erreicht. Dies ist auch der Fall bei *Ipomoea pandurata*, deren Keimung, wie uns ASA GRAY mittheilt, der von *I. leptophylla* ähnlich ist.

Der folgende Fall ist im Zusammenhange mit der wurzelähnlichen Natur der Blattstiele interessant. Das Würzelchen eines Sämlings wurde abgeschnitten, da es vollständig abgestorben war, und die zwei nun getrennten Cotyledonen wurden gepflanzt. Sie schickten aus ihren Basen Wurzeln ab und blieben zwei Monate lang grün und gesund. Die Scheiben von beiden waren verwelkt und bei dem Entfernen der Erde zeigten sich die Basen der Blattstiele (anstatt des Würzelchens) zu kleinen Knollen vergrößert. Ob dieselben die Fähigkeit gehabt haben würden, zwei selbständige Pflanzen im folgenden Sommer zu entwickeln, wissen wir nicht.

Bei *Quercus virens* sind nach der Angabe von Dr. ENGELMANN⁹ die beiden Cotyledonen und ihre Blattstiele zusammenfließend. Die letzteren wachsen bis zu einer Länge „von einem Zoll oder selbst noch mehr“; und wenn wir ihn richtig verstehen, bohren sie sich in den Boden, so dasz sie geotropisch sein müssen. Die Nahrung innerhalb der Cotyledonen wird dann schnell nach dem Hypocotyl oder Würzelchen übertragen, welches dadurch zu einem spindelförmigen Knollen entwickelt wird. Die Thatsache, dasz Knollen von den vorstehend erwähnten, sehr verschiedenen Pflanzen gebildet werden, führt uns zu der Annahme, dasz ihr Schutz vor Thieren in einem frühen Alter, und so lange sie zart sind, wenigstens einer der Vortheile ist, welcher

⁹ Transact. Acad. St. Louis, Vol. 4. p. 190.

durch die merkwürdige Verlängerung der Stiele der Cotyledonen erreicht wird, zusammen mit ihrem Vermögen den Boden wie Wurzeln unter der Leitung des Geotropismus zu durchbohren.

Die folgenden Fälle mögen hier angeführt werden, da sie sich auf unseren vorliegenden Gegenstand, wenn schon nicht auf die Sämlinge beziehen. Der Blütenstengel der parasitischen *Lathraea squamaria*, welcher keine echten Blätter hat, durchbricht den Boden in der Form eines Bogens¹⁰. Dasselbe geschieht mit dem Blütenstengel der parasitischen und blattlosen *Monotropa hypopitys*. Bei *Helleborus niger* durchbrechen die Blütenstengel, welche unabhängig von den Blättern sich erheben, gleichfalls den Boden als Bogen. Das ist auch der Fall mit den bedeutend verlängerten Blütenstengeln eben so wie mit den Blattstielen von *Epimedium pinnatum*. Dasselbe ist der Fall mit den Blattstielen von *Ranunculus ficaria*, wenn sie den Boden zu durch-

¹⁰ Der Durchtritt des Blütenstengels von *Lathraea* musz natürlich durch die ausserordentliche Menge Wasser, welche zu dieser Jahreszeit von den unterirdischen schuppenartigen Blättern abgesondert wird, bedeutend erleichtert werden; es ist aber kein Grund zur Annahme vorhanden, dasz dies eine specielle Anpassung für diesen Zweck ist; es ist wahrscheinlich die Folge davon, dasz im zeitigen Frühjahr von den parasitischen Wurzeln eine grosze Menge Saftes absorbirt wird. Nach einer langen, völlig regenlosen Zeit war die Erde hellgefärbt und sehr trocken geworden; sie war aber bis zu einer Entfernung von mindestens sechs Zoll rings um einen jeden Blütenstengel dunkel gefärbt und feucht, stellenweise ganz nasz. Das Wasser wird von Drüsen abgesondert (von Cohn beschrieben, Berichte der botan. Section., Schles. Gesellsch. 1876, p. 113), welche die jedes schuppenartige Blatt durchlaufende Längscanäle auskleiden. Eine grosze Pflanze wurde ausgegraben, durch Waschen die Erde entfernt, dann eine Zeit lang ablaufen gelassen und am Abend auf eine trockene Glasplatte gelegt und mit einem Glassturz bedeckt; am Morgen hatte sie einen groszen Teich von Wasser abgesondert. Die Glasplatte wurde trocken gewischt und im Verlaufe der nächsten 7 oder 8 Stunden war wieder eine kleine Pfütze abgesondert, und nach weiteren 16 Stunden mehrere grosze Tropfen. Eine kleinere Pflanze wurde gewaschen und in ein hohes Glas gethan, welches eine Stunde lang geneigt gehalten wurde; nach dieser Zeit flosz kein Wasser mehr ab. Das Glas wurde dann gerade gestellt und geschlossen; nach 23 Stunden wurden zwei Drachmen Wassers vom Boden gesammelt und nach weiteren 25 Stunden noch etwas mehr. Die Blütenstengel wurden nun abgeschnitten, denn sie sondern nicht ab; das Gewicht des unterirdischen Theils der Pflanze ergab sich zu 106,8 Gramm (1611 Gran) und das während der 48 Stunden abgesonderte Wasser wog 11,9 Gramm (183 Gran), — d. i. ein Neuntel des ganzen Gewichts der Pflanze mit Ausschluss der Blütenstengel. Wir müssen uns daran erinnern, dasz Pflanzen im Naturzustande wahrscheinlich in 48 Stunden viel mehr als die obige Menge absondern; denn ihre Wurzeln werden während der ganzen Zeit fortfahren, aus der Pflanze, auf welcher sie parasitisch leben, Saft zu absorbiren.

brechen haben. Entspringen sie aber von der Spitze des Knollens oberhalb des Bodens, so sind sie von Anfang an vollkommen gerade, und dies ist eine der Beachtung werthe Thatsache. Die Rhachis des Adlerfarnkrautes (*Pteris aquilina*) und einiger anderen, wahrscheinlich vieler Farne erhebt sich gleichfalls unter der Form eines Bogens über dem Boden. Ohne Zweifel lieszen sich bei sorgfältigem Suchen andere, analoge Fälle auffinden. Bei allen gewöhnlichen Fällen von Zwiebeln, Rhizomen, Wurzelstöcken u. s. w., welche unter der Erde begraben liegen, wird die Oberfläche durch einen von den jungen, dachziegelförmig angeordneten Blättern gebildeten Kegel durchbrochen, deren combinirtes Wachsthum ihnen zu diesem Zwecke hinreichende Kraft gibt.

Bei dem Keimen monocotyledoner Samen, von denen wir indes keine grosse Anzahl beobachtet haben, sind die Plumulae, beispielsweise die von *Asparagus* und *Canna*, während sie den Boden durchbrechen, gerade. Bei den Gramineen sind die scheidenartigen Cotyledonen gleichfalls gerade, sie endigen indessen in einer scharfen Kante, welche weisz und etwas verhärtet ist, und diese Bildung erleichtert offenbar ihr Heraustreten aus der Erde; die ersten wahren Blätter treten aus der Scheide durch einen Schlitz unter der meiselartigen Spitze und rechtwinklig auf sie hervor. Bei der Zwiebel (*Allium cepa*) begegnen wir wiederum einem Bogen; der blattartige Cotyledon ist plötzlich gebogen, wenn er den Bogen durchbricht, und die Spitze noch immer innerhalb der Samen eingeschlossen. Der Scheitel des Bogens wird, wie früher beschrieben wurde, zu einem weissen conischen Vorsprunge entwickelt, von dem wir ruhig annehmen können, dasz er eine zu diesem Zwecke auftretende specielle Anpassung ist.

Die Thatsache, dasz so viele Organe verschiedener Arten — Hypocotyle und Epicotyle, die Blattstiele mancher Cotyledonen und einiger ersten echten Blätter, die Cotyledonen der Zwiebel, die Rhachis einiger Farnkräuter und einige Blütenstengel — sämmtlich gebogen sind, während sie den Boden durchbrechen, beweist, wie richtig Dr. HABERLANDT's Bemerkungen¹¹ über die Bedeutung des Bogens für Pflanzensämlinge sind. Er schreibt die hauptsächlichste Bedeutung dem zu,

¹¹ Die Schutzeinrichtungen in der Entwicklung der Keimpflanze, 1877. Wir haben aus dieser interessanten Abhandlung viel gelernt, obschon uns unsere Beobachtungen auf Differenzen von dem Verfasser in Bezug auf einige Punkte geführt haben.

dasz die oberen jungen und zarteren Theile des Hypocotyls oder Epicotyls hierdurch vor dem Gerieben- und Gedrücktwerden beim Durchbrechen des Bodens geschützt werden. Wir glauben indessen, dasz einige Bedeutung auch dem zugeschrieben werden dürfte, dasz der Hypocotyl, Epicotyl oder ein anderes Organ, wenn es zuerst gebogen ist, vermehrte Kraft erhält; denn beide Schenkel des Bogens nehmen an Länge zu, und beide haben Widerstandspunkte, so lange die Spitze innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen bleibt; und hierdurch wird der Scheitel des Bogens durch die Erde mit zweimal so viel Kraft durchgetrieben, als diejenige beträgt, welche ein gerader Hypocotyl u. s. w. ausüben könnte. Sobald indessen das obere Ende sich freigemacht hat, ist die ganze Arbeit von dem basalen Schenkel allein auszuführen. Bei der gemeinen Bohne wuchs der basale Schenkel (die Spitze hatte sich von den Samenhüllen freigemacht) mit einer Kraft nach aufwärts, welche hinreichte, eine dünne mit 12 Unzen beschwerte Zinkplatte emporzuheben. Es wurden zwei weitere Unzen hinzugefügt, und die 14 Unzen wurden bis zu einer sehr geringen Höhe erhoben; dann gab der Epicotyl nach und bog sich nach einer Seite.

In Bezug auf die ursprüngliche Ursache des Beugungsprocesses glaubten wir bei vielen Sämlingen, dasz derselbe der Art und Weise zugeschrieben werden könne, in welcher der Hypocotyl oder Epicotyl innerhalb der Samenhüllen zusammengepackt und gekrümmt sei, und dasz die gekrümmte, hierdurch erlangte Form einfach so lange beibehalten würde, bis die in Frage stehenden Theile die Oberfläche der Erde erreichten. Es ist aber zweifelhaft, ob dies in allen Fällen wirklich der ganze Hergang ist. Denn es ist z. B. bei der gemeinen Bohne der Epicotyl oder die Plumula in einem Bogen gekrümmt, während er durch die Samenhülle hindurchbricht, wie es in Fig. 59 (p. 77) gezeigt ist. Die Plumula treibt zuerst einen soliden Höcker (*e* in A) hervor, welcher nach einem 20stündigen Wachsthum sich als die Krone des Bogens (*e* in B) herausstellt. Nichts desto weniger entwickelten sich bei mehreren Bohnen, welche in feuchter Luft gekeimt hatten und auch in anderer Weise in einer unnatürlichen Art und Weise behandelt worden waren, kleine Plumulae in den Achseln der Blattstiele beider Cotyledonen, und diese waren ebenso vollkommen gekrümmt, wie die normale Plumula, und doch waren sie keinerlei Eingeschlossenein oder Druck ausgesetzt, denn die Samenhüllen waren vollständig zerrissen, und sie wuchsen in der freien Luft. Dies

beweist, dass die Plumula eine eingeborene oder spontane Neigung sich zu krümmen besitzt.

In einigen anderen Fällen dringt der Hypocotyl oder Epicotyl zuerst nur unbedeutend gebogen aus den Samen hervor, die Beugung nimmt aber später, unabhängig von irgend einem Drucke, zu. Hierdurch wird der Bogen eng gemacht; die beiden Schenkel, welche zuweilen sehr verlängert sind, liegen parallel und dicht aneinander, und hierdurch wird er für das Durchbrechen des Bodens gut angepasst.

Bei vielen Pflanzenarten liegt das Würzelchen, während es noch innerhalb des Samens eingeschlossen ist und ebenso noch nach seinem ersten Vordringen, in einer geraden Linie mit dem künftigen Hypocotyl und mit der Längsaxe der Cotyledonen. Dies ist der Fall bei *Cucurbita ovifera*; trotzdem kam der Hypocotyl, in welcher Stellung auch die Samen eingegraben wurden, immer in einer besonderen Richtung gekrümmt hervor. Samen wurden in zerreiblichen Torf in einer Tiefe von ungefähr einem Zoll in einer senkrechten Stellung gepflanzt, mit dem Ende, aus dem das Würzelchen vordringt, nach unten. Es nahmen daher sämtliche Theile dieselben relativen Stellungen ein, welche sie schliesslich einnehmen würden, nachdem die Sämlinge sich frei über die Oberfläche erhoben haben würden. Trotz dieser Thatsache krümmte sich der Hypocotyl und da der Bogen aufwärts durch den Torf wuchs, wurden die eingegrabenen Samen entweder mit der oberen Seite nach unten gewendet oder lagen horizontal und wurden später über den Boden hervorgezogen. Schliesslich streckte sich der Hypocotyl in der gewöhnlichen Weise gerade; und nun nahmen die verschiedenen Theile nach diesen sämtlichen Bewegungen die nämliche Stellung in Bezug zu einander und zum Mittelpunkte der Erde ein, welche sie eingenommen hatten, als die Samen zuerst eingegraben wurden. Aber in diesen und andern derartigen Fällen könnte man folgern, dass der Same, wenn der Hypocotyl aufwärts durch den Boden wächst, beinahe sicher nach der einen Seite gewendet werde, und dann würde der obere Theil des Hypocotyls wegen des Widerstandes, welchen er während seiner weiteren Erhebung ausüben muss, auf sich selbst zurückgebeugt und daher bogenförmig gekrümmt werden. Diese Ansicht scheint um so wahrscheinlicher, weil bei *Ranunculus ficaria* nur die Blattstiele, welche einen Gang durch die Erde sich erzwingen, bogenförmig gekrümmt werden, und nicht diejenigen, welche aus den Spitzen der Knollen oberhalb der Erde entspringen. Nichts desto

weniger gilt diese Erklärung für *Cucurbita* nicht, denn als keimende Samen in feuchter Luft in verschiedenen Stellungen durch Nadeln, welche durch die Cotyledonen gesteckt wurden, an die Innenseite der Deckel von Glasgefäßen befestigt aufgehängt wurden, in welchem Falle die Hypocotyle keinerlei Reibung oder Nöthigung ausgesetzt wurden, wurde doch der obere Theil spontan bogenförmig gekrümmt. Diese Thatsache beweist überdies, dasz es nicht das Gewicht der Cotyledonen ist, welches die Krümmung verursacht. Samen von *Helianthus annuus* und von zwei Species von *Ipomoea* (die von *I. bona nox* sind für die Gattung grosz und schwer) wurden in derselben Weise an Nadeln befestigt und die Hypocotyle wurden spontan gebogen. Die Würzelchen, welche senkrecht hinabgehangen hatten, nahmen in Folge hiervon eine horizontale Stellung ein. Bei *Ipomoea leptophylla* sind es die Stiele der Cotyledonen, welche beim Aufsteigen durch den Boden bogenförmig gekrümmt werden, und dies trat spontan ein, wenn die Samen an die Glasdeckel befestigt wurden.

Es läsz sich indesz mit einiger Wahrscheinlichkeit vermuthen, dasz die bogenförmige Krümmung ursprünglich durch mechanischen Zwang verursacht worden ist in Folge der Einschlieszung der in Frage stehenden Theile innerhalb der Samenhüllen oder der Reibung, während sie nach aufwärts gezogen wurden. Ist dies aber der Fall, so müssen wir nach den eben gegebenen Fällen annehmen, dasz in dem oberen Theile der verschiedenen speciell angeführten Organe eine Neigung, sich nach abwärts zu biegen und in dieser Weise gekrümmt zu werden, jetzt bei vielen Pflanzen fest vererbt ist. Die Krümmung, von welcher Ursache sie auch abhängen mag, ist das Resultat modificirter Circumnutationen in Folge von vermehrtem Wachsthum entlang der convexen Seite des Theiles; ein derartiges Wachsthum ist nur zeitweilig; denn der Theil streckt sich später immer durch vermehrtes Wachsthum der concaven Seite entlang, gerade, wie später beschrieben werden wird.

Es ist eine merkwürdige Thatsache, dasz die Hypocotyle einiger Pflanzen, wenn sie nur wenig entwickelt sind, und welche ihre Cotyledonen niemals über den Boden erheben, nichts desto weniger eine geringe Neigung sich bogenförmig zu krümmen erben, obschon diese Bewegung für sie von nicht dem geringsten Nutzen ist. Wir beziehen uns hier auf eine von SACHS bei den Hypocotylen der Bohne und einiger anderer Leguminosen beobachteten Bewegung, welche auch in der

beistehenden aus seiner Abhandlung¹² copirten Figur (Fig. 59) dargestellt ist. Der Hypocotyl und das Würzelchen wachsen zuerst senkrecht nach abwärts, wie bei A, und biegen sich dann, häufig im Verlaufe von 24 Stunden in die bei B gezeigte Stellung. Da wir später häufig auf diese Bewegung zurückzukommen haben werden, wollen wir der Kürze halber dieselbe „Sachs' Krümmung“ nennen. Auf den ersten Blick möchte man meinen, dass die veränderte Stellung des Würzelchens bei B gänzlich eine Folge des Hervorwachsens des Epicotyls (*e*) sei, wobei der Stiel als Angelpunkt diene, und es ist wahrscheinlich, dass dies zum Theil die Ursache ist. Aber der Hypocotyl und der obere Theil des Würzelchens werden selbst unbedeutend gekrümmt.

Die obige Bewegung bei der Bohne wurde wiederholt von uns gesehen; unsere Beobachtungen wurden aber hauptsächlich an *Phaseolus multiflorus* angestellt, dessen Cotyledonen gleichfalls unterirdisch sind. Es wurden zuerst einige Sämlinge mit gut entwickelten Würzelchen in eine Lösung von übermangansaurem Kali eingetaucht, und nach den Veränderungen der Färbung zu urtheilen (obschon diese nicht sehr deutlich bestimmt waren), ist der Hypocotyl ungefähr 0,3 Zoll lang. Gerade, dünne, schwarze Linien von dieser Länge wurden nun von den Basen der kurzen Blattstiele aus entlang den Hypocotylen von 23 keimenden Samen gezogen, welche an Nadeln befestigt an Glasdeckel mit dem Hylum nach abwärts und mit ihren Würzelchen nach dem Mittelpunkte der Erde hinweisend aufgehängt wurden. Nach einem Zwischenraume von 24—48 Stunden waren die schwarzen Linien an den Hypocotylen von 16 unter den 23 Sämlingen deutlich gekrümmt, aber in sehr verschiedenen Graden, und zwar in derselben relativen Richtung, wie bei B in Fig. 59 gezeigt ist. (Die Krümmung hatte Radien zwischen 20 und 80 mm an SACHS' Cyclometer.) Da der Geotropismus offenbar diese Krümmung aufzuheben streben würde, lieszen wir sieben Samen mit den gehörigen Vorsichtsmasregeln betreffs ihres Wachstums in einem Klinostat¹³ keimen, durch welches Mittel Geotropismus beseitigt wurde. Die Stellung der Hypocotyle wurde während vier aufeinander folgender Tage beobachtet, und sie fuhren fort sich nach

¹² Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 1. Bd. 1873. p. 403.

¹³ Ein von Sachs angegebenes Instrument, welches wesentlich aus einer sich langsam umdrehenden Axe besteht, auf welcher die zu beobachtende Pflanze befestigt wird. s. Arbeiten d. botan. Instituts Würzburg, 1879. p. 209.

dem Hylum und der unteren Fläche des Samens zu biegen. Am vierten Tage waren sie unter einem mittleren Winkel von 63° von einer senkrecht auf die untere Fläche gezogenen Linie abgelenkt und waren

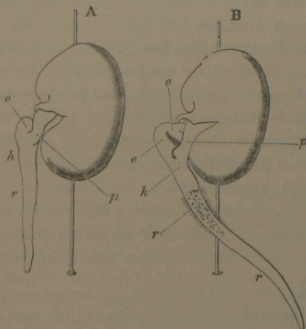


Fig. 59. *Vicia faba*: Keimende Samen in feuchter Luft aufgehängt: A mit senkrecht nach abwärts wachsenden Würzelchen; B dieselbe Bohne nach 24 Stunden und nachdem das Würzelchen sich gekrümmt hat; *r* Würzelchen; *h* kurzer Hypocotyl; *e* Epicotyl in A als Knopf, in B als Bogen erscheinend; *p* Stiel des Cotyledonen, der letztere in der Samenhülle eingeschlossen.

daher beträchtlich mehr gekrümmt als der Hypocotyl und das Würzelchen bei B (Fig. 59), obschon in derselben relativen Richtung.

Es wird, wie wir vermuthen, angenommen werden, dass alle Leguminosen-Pflanzen mit unterirdischen Cotyledonen von Formen abstammen, welche früher ihre Cotyledonen in der gewöhnlichen Weise über die Erde emportrieben; und wenn sie dies thaten, ist es beinahe sicher, dass ihre Hypocotyle eine plötzliche Krümmung gemacht haben werden, wie es bei jeder anderen dicotyledonen Pflanze der Fall ist. Dies ist besonders klar bei *Phaseolus*; denn unter fünf Species, deren Sämlinge wir beobachteten, nämlich *Ph. multiflorus*, *Caracalla*, *vulgaris*, *Hernandezii* und *Roxburghii* (Bewohner der alten und neuen Welt) haben die drei zuletzt genannten Species gut entwickelte Hypocotyle, welche den Boden in der Form von Bogen durchbrechen. Wenn wir uns nun vorstellen, dass ein Sämling der gemeinen Bohne oder von *Ph. multiflorus* sich so benähme, wie seine Urerzeuger es früher thaten, so würde der Hypocotyl (*h*, Fig. 59), in welcher Stellung der Same nur immer eingegraben worden sein mag, so bedeutend bogenförmig gekrümmt werden, dass der obere Theil dem unteren parallel nach unten

gefaltet wird, und dies ist genau die Art von Krümmung, welche factisch bei diesen zwei Pflanzen, wenn schon in einem viel geringeren Grade eintritt. Wir können daher kaum daran zweifeln, dass ihre kurzen Hypocotyle durch Vererbung eine Neigung sich in derselben Art und Weise zu krümmen beibehalten haben, wie sie es zu einer früheren Periode thaten, wo diese Bewegung im hohen Grade bedeutungsvoll für sie war, in Bezug auf das Durchbrechen des Bodens, obschon es jetzt dadurch nutzlos geworden ist, weil die Cotyledonen hypogäisch sind. Rudimentäre Bildungen sind in den meisten Fällen in hohem Grade variabel, und wir können erwarten, dass rudimentäre oder obsolete Functionen es gleichfalls sind; und Sachs' Krümmung variirt der Ausdehnung nach ausserordentlich und schlägt zuweilen vollständig fehl. Dies ist der einzige uns bekannte Fall von einer Vererbung von Bewegungen, wenn schon in einem schwachen Grade, welche durch Veränderungen, die die Species erlitten hat, überflüssig geworden sind.

Rudimentäre Cotyledonen. — Einige wenige Bemerkungen über diesen Gegenstand mögen hier eingeschaltet werden. Es ist wohl bekannt, dass einige dicotyledone Pflanzen nur einen einzigen Cotyledon hervorbringen, z. B. gewisse Species von *Ranunculus*, *Corydalis*, *Chaerophyllum*; und wir wollen versuchen zu zeigen, dass der Verlust

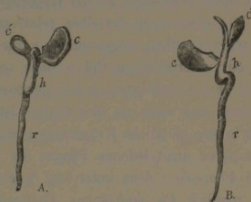


Fig. 60. *Citrus aurantium*: Zwei junge Sämlinge: c grösserer Cotyledon; c' kleinerer Cotyledon; h verdickter Hypocotyl, r Würzelchen. Bei A ist der Epicotyl noch bogenförmig gekrümmt, bei B ist er aufrecht geworden.

des einen oder beider Cotyledonen allem Anschein nach eine Folge davon ist, dass ein Vorrath von Nahrung in irgend einem anderen Theile der Pflanze, wie im Hypocotyl oder in einem der zwei Cotyledonen oder in einem der secundären Würzelchen aufgespeichert wird. Bei der Orange (*Citrus aurantium*) sind die Cotyledonen unterirdisch, und der eine ist grösser als der andere, wie bei A (Fig. 60) zu sehen

ist. Bei B ist die Ungleichheit noch etwas grösser, und der Stamm ist zwischen den Insertionspunkten der zwei Blattstiele gewachsen, sodasz sie nicht einander gegenüber sind; in einem andern Falle betrug die Entfernung zwischen ihnen ein Fünftel Zoll. Der kleinere Cotyledon eines Sämlings war äusserst dünn und nicht halb so lang, wie der grössere, sodasz er deutlich rudimentär wurde¹⁴. Bei allen diesen Sämlingen war der Hypocotyl vergrössert oder angeschwollen.

Bei *Abronia umbellata* ist der eine von den Cotyledonen vollständig rudimentär, wie bei *c* in Fig. 61 zu sehen ist. In diesem Exemplar bestand er aus einem kleinen grünen Läppchen, welches $\frac{1}{4}$ Zoll lang, ohne Stiel und mit Drüsen bedeckt war gleich denjenigen auf einem vollständig entwickelten Cotyledon (*c*). Anfangs stand er dem grösseren Cotyledon gerade gegenüber; aber wie der Stiel des letzteren an Länge zunahm und in derselben Richtung wie der Hypocotyl (*h*) wuchs, erschien das Rudiment bei älteren Sämlingen, als wenn es eine Strecke weit am Hypocotyl hinab sässe. Bei *Abronia arenaria* findet sich ein ähnliches Rudiment, welches in einem Exemplar nur $\frac{1}{10}$, in einem andern $\frac{1}{5}$ Zoll lang war; es erschien schliesslich, als wenn es halbwegs am Hypocotyl abwärts sässe. In diesen beiden Species ist der Hypocotyl so bedeutend vergrössert, besonders in einem sehr frühen Alter, dasz er fast ein Wurzelstock genannt werden könnte. Das untere Ende bildete eine Hacke oder einen Vorsprung, dessen Nutzen später beschrieben werden wird.

Bei *Cyclamen persicum* ist der Hypocotyl, selbst solange er noch innerhalb des Samens liegt, zu einem regelmässigen Stock¹⁵ vergrössert, und zuerst ist nur ein einziger Cotyledon entwickelt (s. die frühere

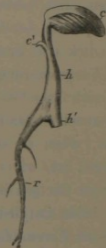


Fig. 61. *Abronia umbellata*: Sämling, doppelte natürliche Grösze; *c* Cotyledon, *c'* rudimentärer Cotyledon; *h* vergrösserter Hypocotyl mit einem hakenförmigen Vorsprung (*h'*) am untern Ende; *r* Wurzeln.

¹⁴ Bei *Pachira aquatica* ist, wie es Mr. R. J. Lynch (Journ. Linn. Soc. Vol. 17, 1878. p. 147) beschrieben hat, einer der unterirdischen Cotyledonen von ungeheurer Grösze; der andere ist klein und fällt bald ab; beide stehen nicht immer einander gegenüber. Bei einer andern, sehr verschiedenen Wasserpflanze, *Trapa natans*, ist der eine der beiden Cotyledonen, mit mehligter Substanz gefüllt, viel grösser als der andere, welcher, wie Aug. De Candolle (Physiologie végét. T. 2. p. 834, 1832) angibt, kaum sichtbar ist.

¹⁵ Dr. H. Gressner, in: Botan. Zeitung, 1874, p. 824.

Fig. 57). Bei *Ranunculus ficaria* werden die beiden Cotyledonen nie gebildet, und hier ist nun eines der secundären Würzelchen in einem frühen Alter zu einem sogenannten Knollen¹⁶ entwickelt. Ferner bringen gewisse Species von *Chaerophyllum* und *Corydalis* nur einen einzigen Cotyledon hervor¹⁷; bei den ersteren ist der Hypocotyl und bei den letzteren das Würzelchen nach den Angaben von IRMISCH in einen Knollen vergrößert.

In den verschiedenen vorstehenden Fällen ist einer der Cotyledonen in seiner Entwicklung aufgehalten oder an Grösze reducirt oder rudimentär geworden oder vollständig fehlgeschlagen. Aber in anderen Fällen sind beide Cotyledonen durch blosze Rudimente repräsentirt. Bei *Opuntia basilaris* ist dies nicht der Fall, denn beide Cotyledonen sind dick und grös, und der Hypocotyl zeigt zuerst keinerlei Anzeigen von Vergrößerung; aber später, wenn die Cotyledonen verwelkt sind und sich losgelöst haben, wird er verdickt und erscheint wegen seiner sich zuspitzenden Form in Verbindung mit seiner glatten, zähen, braunen Haut, wenn er schliesslich bis auf einige Tiefe in den Boden hinabgezogen ist, wie eine Wurzel. Auf der andern Seite ist bei mehreren anderen Cacteen der Hypocotyl von Anfang an bedeutend vergrößert, und beide Cotyledonen sind beinahe oder vollständig rudimentär. So sind bei *Cereus Landbeckii* zwei kleine, dreieckige Vorsprünge, welche die Cotyledonen repräsentiren, schmaler als der Hypocotyl, welcher birnenförmig ist, mit der Spitze nach abwärts. Bei *Rhipsalis cassytha* sind die Cotyledonen durch blosze Spitzen an dem vergrößerten Hypocotyl dargestellt. Bei *Echinocactus viridescens* ist der Hypocotyl kuglig mit zwei kleinen Vorsprüngen an seinem Gipfel. Bei *Pilocereus Houletii* ist der im oberen Theile bedeutend angeschwollene Hypocotyl auf dem Scheitel einfach eingekerbt, und jede Seite der Kerben repräsentirt offenbar einen Cotyledon. *Stapelia Sarpedon*, ein Glied der groszen verschiedenen Familie der Asclepiadeen, ist fleischig wie ein Cactus, und hier wiederum ist der obere Theil des abgeplatteten Hypocotyls bedeutend verdickt und trägt zwei minutiöse Cotyledonen, welche

¹⁶ Irmisch, Beiträge zur Morphologie der Pflanzen, 1854, p. 11, 12; Botan. Zeitung, 1874, p. 805.

¹⁷ Delpino, Rivista Botanica, 1877, p. 21. Aus Vaucher's Schilderung von der Keimung der Samen von mehreren Species von *Corydalis* (Hist. phys. des Plantes d'Europe, T. 1, 1841, p. 149) geht offenbar hervor, dass die Zwiebel oder der Knollen sich in einem äusserst frühen Alter zu bilden beginnt.

innen gemessen nur 0,15 Zoll lang und in Breite nicht einem Viertel des Durchmessers des Hypocotyls in seiner schmälern Achse gleich waren; und doch sind diese minutiösen Cotyledonen wahrscheinlich nicht vollständig nutzlos; denn wenn der Hypocotyl in der Form eines Bogens durch die Erde durchbricht, sind sie geschlossen oder gegeneinander angedrückt und schützen auf diese Weise die Plumula. Sie öffnen sich später.

Nach den verschiedenen hier mitgetheilten Fällen, welche sich auf sehr verschiedene Pflanzen beziehen, können wir schlieszen, dasz zwischen der reducirten Grösze eines oder beider Cotyledonen und der Bildung einer sogenannten Knolle oder Zwiebel durch Vergrößerung des Hypocotyls oder des Würzelchens eine enge Beziehung besteht. Aber man kann fragen, neigten die Cotyledonen zuerst dazu zu abortiren, oder wurde zuerst eine Zwiebel gebildet? Da alle dicotyledonen Gewächse naturgemäsz zwei wohl entwickelte Cotyledonen hervorbringen, während die Dicke des Hypocotyls und des Würzelchens bei verschiedenen Pflanzen bedeutend verschieden ist, so erscheint es wahrscheinlich, dasz diese letzteren Organe zuerst aus irgend einer Ursache sich verdickten — in mehreren Fällen offenbar in Beziehung zu der fleischigen Beschaffenheit der reifen Pflanze, — so dasz sie einen für den Sämling hinreichenden Nahrungsvorrath enthielten, und dass dann einer oder beide Cotyledonen, weil sie nun überflüssig waren, an Grösze abnahmen. Es ist nicht überraschend, dasz ein Cotyledon allein zuweilen in dieser Weise beeinflusst worden ist, denn bei gewissen Pflanzen, wie beispielsweise bei dem Kohl, sind die Cotyledonen zuerst von ungleicher Grösze, offenbar in Folge der Art und Weise, in welcher sie innerhalb des Samens zusammengepackt sind. Es folgt indessen aus dem oben erwähnten Zusammenhange nicht, dasz, wo nur immer ein Knollen in einem frühen Alter gebildet wird, auch einer oder beide Cotyledonen nothwendigerweise überflüssig und in Folge dessen mehr oder weniger rudimentär werden. Endlich bieten diese Fälle eine Art von Illustration des Principis der Compensation oder des Ausgleichs des Wachstums dar, oder wie es GOETHE ausdrückt, „um auf der einen Seite ausgeben zu können, ist die Natur gezwungen, auf der andern Seite zu sparen.“

Circumnutation und andere Bewegungen der Hypocotyle und Epicotyle, während sie noch gekrümmt und

unter der Erde begraben liegen, und während sie durch dieselbe durchbrechen. — Je nach der Stellung, in welcher ein Same zufällig eingegraben ist, wird der bogenförmig gekrümmte Hypocotyl oder Epicotyl anfangen in einer horizontalen oder mehr oder weniger geneigten oder in einer senkrechten Ebene hervorzutreiben; ausgenommen wenn er bereits senkrecht nach oben steht, werden beide Schenkel des Bogens von der frühesten Periode an durch Apogeotropismus beeinflusst werden. In Folge dessen biegen sich beide nach oben, bis der Bogen senkrecht wird. Während dieses ganzen Processes, selbst ehe der Bogen durch den Boden durchgebrochen ist, versucht er beständig in einer gewissen Ausdehnung zu circumnutiren, wie er es gleichfalls thut, wenn er zufällig zuerst schon senkrecht nach oben steht, — welche sämmtliche Fälle beobachtet und mehr oder weniger ausführlich im ersten Capitel beschrieben worden sind. Nachdem der Bogen bis zu einer gewissen Höhe nach oben gewachsen ist, hört der basale Theil zu circumnutiren auf, während der obere noch fortfährt dies zu thun.

Dasz ein bogenförmig gekrümmter Hypocotyl oder Epicotyl, dessen beide Schenkel in dem Boden fixirt sind, im Stande sein sollte zu circumnutiren, erschien uns, bis wir Prof. WIESNER'S Beobachtungen gelesen hatten, eine unerklärliche Thatsache. Er hat bei gewissen Sämlingen, deren Spitzen nach abwärts gekrümmt sind (oder welche nutiren), gezeigt¹⁸, dasz während die hintere Seite der oberen oder herabhängenden Partie am schnellsten wächst, die vordere und entgegengesetzte Seite der basalen Partie des nämlichen Internodiums am schnellsten wächst; diese beiden Partien sind durch eine indifferente Zone von einander getrennt, wo das Wachsthum auf allen Seiten gleich ist. Es können sogar an einem und demselben Internodium mehr als eine indifferente Zone bestehen; und die gegenüberliegenden Seiten der Theile über oder unter einer jeden solchen Zone wachsen am schnellsten. Diese eigenthümliche Wachstumsweise wird von WIESNER „undulirende Nutation“ genannt. Die Circumnutation hängt davon ab, dasz eine Seite eines Organs am schnellsten wächst (wahrscheinlich nach vorausgegangener vermehrter Turgescenz), und dasz dann eine andere, meist die beinahe gegenüberliegende am schnellsten wächst. Wenn wir nun einen Bogen wie diesen \cap betrachten und annehmen, dasz

¹⁸ Die undulirende Nutation der Internodien in: Sitzungsber. Wien. Akad. Wiss. Math. nat. Cl. 1. Abth., 77. Bd. 17. Jan. 1878. p. 15. Separat-Abdruck p. 32.

die ganze eine Seite — wir wollen sagen die ganze convexe Seite leider Schenkel — an Länge zunimmt, so wird diese nicht die Bogen veranlassen sich nach irgend einer Seite zu biegen. Wenn aber die äuszere Seite oder Oberfläche des linken Schenkels an Länge zunehmen sollte, so wird der Bogen nach rechts hinüber gedrängt, und dies würde noch dadurch unterstützt werden, dasz die innere Seite des rechten Schenkels an Länge zunimmt. Wenn später der Process umgekehrt würde, so würde der Bogen nach der entgegengesetzten oder linken Seite hinübergedrängt u. s. w. abwechselnd, d. h. er würde circumnutiren. Da ein bogenförmig gekrümmter Hypocotyl, dessen beide Schenkel in der Erde fixirt sind, sicherlich circumnutirt, und da er aus einem einzigen Internodium besteht, so können wir schlieszen, dasz er in der von WIESNER beschriebenen Weise wächst. Wir können noch hinzufügen, dasz der Scheitel des Bogens nicht wächst oder sehr langsam wächst; denn er nimmt nicht bedeutend in der Breite zu, während der Bogen selbst bedeutend an Höhe zunimmt.

Die circumnutirenden Bewegungen gekrümmter Hypocotyle und Epicotyle werden nothwendigerweise dieselben beim Durchbrechen der Erde unterstützen, wenn diese feucht und weich ist, obschon ohne Zweifel ihr Hervortreten hauptsächlich von der von ihrem Längenwachsthum ausgeübten Kraft abhängt. Obgleich der Bogen nur in einer geringen Ausdehnung circumnutirt und wahrscheinlich nur mit geringer Kraft, so ist er doch im Stande den Boden in der Nähe der Oberfläche zu bewegen, trotzdem er nicht im Stande sein dürfte, dies in einer mäszigen Tiefe zu thun. Ein Topf mit Samen von *Solanum palinacanthum*, dessen langer gekrümmter Hypocotyl hervorgetreten war und ziemlich langsam wuchs, wurde mit feinem, thonigen, feucht gehaltenen Sand bedeckt, und dieser umgab anfangs dicht die Basen der Bogen; bald wurde aber eine schmale, offene Spalte rings um einen jeden derselben gebildet, welche nur dadurch erklärt werden konnte, dasz sie den Sand auf allen Seiten fortgeschoben hatten; denn keinerlei derartige Spalten umgaben kleine Stäbchen und Nadeln, welche in den Sand gesteckt worden waren. Es ist bereits mitgetheilt worden, dasz die Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena*, die Plumula von *Asparagus* und die Hypocotylen von *Brassica* gleichfalls im Stande waren, die nämliche Art von Sand wegzudrücken, entweder während sie einfach circumnutirten, oder während sie sich nach einem seitlichen Lichte hinbewegten.

Solange ein gekrümmter Hypocotyl oder Epicotyl unter der Erde vergraben bleibt, können sich die zwei Schenkel nicht von einander trennen, ausgenommen in geringer von dem Nachgeben des Bodens abhängiger Ausdehnung; sobald aber der Bogen über die Erde hervorragt oder, wenn der Druck der umgebenden Erde künstlich entfernt wird, in einer früheren Periode, fängt der Bogen unmittelbar an sich gerade zu strecken. Dies ist ohne Zweifel Folge des Wachsthum's der ganzen inneren Oberfläche beider Schenkel des Bogens entlang; das Wachsthum ist gehemmt oder wird verhindert, solange die zwei Schenkel des Bogens fest zusammengepreszt sind. Wenn die Erde rings um einen Bogen herum entfernt wird und die zwei Schenkel an ihren Basen zusammengebunden werden, verursacht das Wachsthum auf der unteren Seite des Gipfels, dass derselbe nach einiger Zeit viel abgeplatteter und breiter wird, als es natürlich vorkommt. Der Process des Geradestreckens besteht aus einer modificirten Form der Circumnutation; denn die während dieses Processes beschriebenen Linien (so beim Hypocotyl von *Brassica* und den Epicotylen von *Vicia* und *Corylus*) waren häufig deutlich zickzackförmig und zuweilen bildeten sie Schlingen. Nachdem die Hypocotyle oder Epicotyle aus dem Boden hervorgetreten sind, werden sie schnell vollkommen gerade. Von ihrer früheren plötzlichen Krümmung erhält sich keine Spur mit Ausnahme von *Allium cepa*, in welchem Falle der Cotyledon selten vollkommen gerade wird wegen der im Gipfel des Bogens sich entwickelnden Prothuberanz.

Das vermehrte Wachsthum entlang der inneren Fläche des Bogens, welches denselben gerade macht, beginnt offenbar am basalen Schenkel oder an dem, welcher mit dem Würzelchen in Verbindung steht; denn, wie häufig beobachtet wurde, wird dieser Schenkel zuerst vom andern Schenkel ab rückwärts gebogen. Diese Bewegung erleichtert das Herausziehen der Spitze des Epicotyls oder der Cotyledonen, je nach dem betreffenden Falle, aus den Samenhüllen oder aus der Erde. Die Cotyledonen treten aber häufig aus dem Boden noch immer dicht innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen hervor, welche offenbar dazu dienen sie zu schützen. Die Samenhüllen werden später gesprengt und abgeworfen in Folge der Anschwellung der dicht verbundenen Cotyledonen, und nicht durch irgend eine Bewegung oder selbständige Entfernung beider von einander.

Nichts desto weniger werden in einigen wenigen Fällen besonders bei den Cucurbitaceen die Samenhüllen durch eine merkwürdige von Mr. FLAHAULT¹⁹ beschriebene Einrichtung gesprengt. An der einen Seite des Gipfels des Würzelchens oder der Basis des Hypocotyls entwickelt sich ein fersenförmiger Vorsprung oder Zapfen, und dieser hält die untere Hälfte der Samenhüllen (während das Würzelchen in den Boden fixirt war) nieder, während das fortdauernde Wachstum des gekrümmten Hypocotyls die obere Hälfte nach oben zwängt und die Samenhüllen an dem einen Ende zerreiszt, die Cotyledonen werden dann leicht herausgezogen. Die beistehende Figur (Fig. 62) wird diese Beschreibung noch verständlicher machen. Einundvierzig Samen von *Cucurbita ovifera* wurden auf zerreiblichem Torf gelegt, mit einer Schicht von ungefähr einem Zoll Dicke bedeckt und nicht stark niedergedrückt, so dasz die Cotyledonen, während sie heraufgezogen wurden, sehr geringer Reibung ausgesetzt wurden. Und doch kamen vierzig von ihnen nackt hervor, während die Samenhüllen im Torf vergraben zurückblieben. Dies war sicher eine Folge dieses Zapfens, denn als er in seiner Wirkung gehindert wurde, wurden die Cotyledonen, wie wir sofort sehen werden, noch immer in ihren Samenhüllen eingeschlossen emporgehoben. Dieselben wurden indessen im Verlaufe zweier oder dreier Tage durch die Anschwellung der Cotyledonen abgeworfen. Bis dies eintritt, ist das Licht ausgeschlossen, und die Cotyledonen können Kohlensäure nicht zersetzen; wahrscheinlich wird aber niemand geglaubt haben, dasz der durch ein wenig früheres Abwerfen der Samenhüllen erlangte Vortheil genügen würde, die Entwicklung des Zapfens zu erklären. Und doch stehen nach der Angabe des Mr. FLAHAULT Sämlinge, welche verhindert wurden ihre Samenhüllen noch innerhalb der Erde abzuwerfen, denen nach, welche mit ihren Cotyledonen nackt und zum Functioniren bereit hervorgetreten sind.

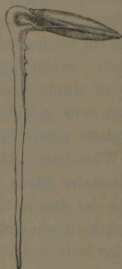


Fig. 62. *Cucurbita ovifera*: Keimender Samen, den auf der einen Seite vom Gipfel des Würzelchens vorragenden Fersenvorsprung oder Zapfen zeigend, welcher die untere Spitze der Samenhülle niederhält; diese sind durch das Wachstum des bogenförmig gekrümmten Hypocotyls theilweise gesprengt.

¹⁹ Bull. Soc. Bot. de France, T. 24. 1877, p. 201.

Der Zapfen wird mit auszerordentlicher Geschwindigkeit entwickelt; denn an zwei Sämlingen, welche 0,35 Zoll lange Würzelchen hatten, konnte er nur eben erkannt werden; aber nach einem Verlaufe von nur 24 Stunden war er an beiden ordentlich entwickelt. Nach FLAHAULT bildet er sich durch die Vergrößerung der Schichten des corticalen Parenchyms an der Basis des Hypocotyls. Wenn wir indessen nach den Wirkungen einer Lösung von übermangansaurem Kali urtheilen, wird er genau auf der Verbindungslinie zwischen dem Hypocotyl und Würzelchen entwickelt; denn die flache untere Fläche wurde ebenso wie die Ränder braun gefärbt gleich den Würzelchen, während die obere unbedeutend geneigte Fläche ungefärbt blieb wie der Hypocotyl, allerdings mit Ausnahme eines eingetauchten Sämlings unter 33, bei welchem ein groszer Theil der oberen Fläche braun gefärbt wurde. Secundäre Wurzeln entspringen zuweilen von der unteren Fläche des Zapfens, welcher hiernach in allen Beziehungen die Natur des Würzelchens zu theilen scheint. Der Zapfen wird immer auf der Seite entwickelt, welche durch die Krümmung des Hypocotyls concav wird, und er würde von keinerlei Nutzen sein, wenn er auf irgend einer andern Seite gebildet würde. Er wird auch immer so entwickelt, dasz die platte untere Seite, welche, wie eben angegeben wurde, ein Theil des Würzelchens bildet, in rechtem Winkel zu diesen und in einer horizontalen Ebene steht. Diese Thatsache zeigte sich deutlich, als einige der dünnen flachen Samen in derselben Stellung, wie bei Fig. 62 eingegraben wurden, ausgenommen, dasz sie nicht auf der platten, breiten Seite, sondern mit der einen Kante nach unten gestellt wurden. Neun Samen wurden in dieser Weise gepflanzt, und der Zapfen entwickelte sich in derselben Stellung in Bezug auf das Würzelchen wie in der Figur; in Folge hiervon lag er nicht auf der platten Spitze der unteren Hälfte der Samenhüllen, sondern war wie ein Keil zwischen die zwei Spitzen eingefügt. Wie der gekrümmte Hypocotyl aufwärts wuchs, strebte er den ganzen Samen heraufzuziehen und der Zapfen rieb sich nothwendig gegen beide Spitzen, hielt aber weder den einen noch den andern nach unten. Das Resultat war, dasz die Cotyledonen von fünf unter den neun Samen, die so gestellt waren, über den Boden noch innerhalb ihrer Samenhüllen eingeschlossen erhoben wurden. Vier Samen wurden so eingegraben, dasz das Ende, von welchem das Würzelchen vorspringt, senkrecht nach unten vorsprang, und in Folge des Umstandes, dasz der Zapfen sich immer in der nämlichen Stellung

entwickelte, kam nur seine Spitze mit der Hüllenspitze der einen Seite in Berührung und rieb sich gegen dieselbe; das Resultat war, dasz die Cotyledonen aller vier Samen noch innerhalb der Samenhüllen eingeschlossen hervorkamen. Diese Fälle zeigen uns, wie der Zapfen in Übereinstimmung mit der Stellung wirkt, welche die platten, dünnen, breiten Samen beinahe immer einnehmen werden, wenn sie natürlich ausgesät werden. Wenn die Spitze der unteren Hälfte der Samenhüllen abgeschnitten wurde, fand FLAHAULT (wie wir gleichfalls), dasz der Zapfen nicht wirken konnte, da er nichts hatte, auf was er drücken konnte, und die Cotyledonen wurden über den Boden noch mit nicht abgeworfenen Samenhüllen emporgehoben. Endlich zeigte uns die Natur selbst den Nutzen des Zapfens; denn in der einen uns bekannten Cucurbitaceengattung, in welcher die Cotyledonen unterirdisch sind, und ihre Samenhüllen nicht abwerfen, nämlich bei *Megarrhiza*, findet sich keine Spur eines Zapfens. Dies Gebilde scheint in den meisten der anderen Gattungen dieser Familie, nach FLAHAULT'S Angaben zu urtheilen, vorhanden zu sein; wir fanden es bei *Trichosanthes anguina*, bei welcher wir kaum erwarteten ihn zu finden, da die Cotyledonen etwas dick und fleischig sind, wohl entwickelt und gehörig wirkend. Es lassen sich wenige Fälle anführen, in denen ein Gebilde für einen speciellen Zweck besser angepasst ist, als den vorliegenden.

Bei *Mimosa pudica* tritt das Würzelchen durch eine kleine Höhlung an dem scharfen Rande des Samens vor; und auf seinem Gipfel, wo es mit dem Hypocotyl verbunden ist, entwickelt sich in einem frühen Alter eine quere Leiste, welche offenbar das Spalten der zähen Samenhüllen unterstützt; es hilft aber nicht dazu dieselben abzuwerfen, da dies später durch die Anschwellung der Cotyledonen bewirkt wird, nachdem sie über den Boden erhoben sind: die Leiste oder der Fersenvorsprung wirkt daher etwas verschieden von dem ähnlichen Gebilde bei *Cucurbita*. Ihre untere Fläche und die Ränder wurden durch übermangansaures Kali braun gefärbt, aber nicht die obere Fläche. Es ist eine eigenthümliche Thatsache, dasz, nachdem die Leiste ihre Arbeit gethan hat und aus den Samenhüllen hervorgetreten ist, sie zu einer Krause rings um die Spitze des Würzelchens entwickelt wird²⁰.

²⁰ Unsere Aufmerksamkeit wurde durch eine Angabe von Nobbe in seinem Handbuch der Samenkunde, 1876, p. 215, auf diesen Fall gelenkt; dort findet sich auch eine Abbildung eines Sämlings von *Martynia* mit einem Fersenvorsprung oder einer Leiste an der Verbindungsstelle des Würzelchens und Hypocotyls. Dieser

An der Basis des verdickten Hypocotyls von *Abronia umbellata*, wo dasselbe in das Würzelchen übergeht, findet sich ein Vorsprung oder fersenförmiger Anhang, welcher in der Form variirt, aber sein Umrisz ist in unserer früheren Figur (Fig. 61) zu winklig. Das Würzelchen tritt anfangs aus einem kleinen Loche an einem Ende der zähen, ledrigen, geflügelten Frucht hervor. In dieser Periode ist der obere Theil des Würzelchens innerhalb der Frucht parallel zu dem Hypocotyl eingepackt, und der einzige Cotyledon ist parallel zu dem letzteren auf sich selbst rückwärts gekrümmt. Die Anschwellung dieser drei Theile und speciell die rapide Entwicklung des dicken Fersenvorsprungs zwischen dem Hypocotyl und Würzelchen an dem Punkte, wo sie zurückgebogen sind, sprengt die zähe Frucht am oberen Ende und gestattet dem gekrümmten Hypocotyl hervorzutreten; und dies scheint die Function des Fersenvorsprungs zu sein. Ein Samen wurde aus der Frucht herausgeschnitten und in feuchter Luft keimen gelassen, und nun entwickelte sich rings um die Basis des Hypocotyls eine dünne platte Scheibe und wuchs zu einer auszerordentlichen Breite heran, ähnlich der bei *Mimosa* beschriebenen Krause, nur etwas breiter. FLAHAULT sagt, dasz bei *Mirabilis*, einem Mitgliede der nämlichen Familie wie *Abronia*, ein Fersenvorsprung oder Kragen rings um die Basis des Hypocotyls, aber mehr auf der einen Seite als auf der andern entwickelt wird, und dasz derselbe die Cotyledonen aus ihren Samenhüllen befreit. Wir untersuchten nur alte Samen, und diese wurden durch die Aufsaugung von Feuchtigkeit gesprengt unabhängig von irgend einer Hülfe Seiten des Fersenvorsprungs und vor dem Vortreiben des Würzelchens; aus unserer Erfahrung ergibt sich aber nicht, dasz frische und zähe Früchte sich in gleicher Weise benehmen würden.

Beim Schlusse dieser Abtheilung des vorliegenden Capitels dürfte es zweckmäsizig sein in der Form eines Beispiels die gewöhnlichen Bewegungen der Hypocotyle und Epicotyle von Sämlingen, während sie durch den Boden durchbrechen und unmittelbar darauf, summarisch darzustellen. Wir wollen annehmen, dasz ein Mensch auf seine Hände und Kniee niedergeworfen würde und zu derselben Zeit auf eine Seite, und zwar durch eine auf ihn fallende Last Heu. Er wird zuerst

Same besitzt eine sehr harte und zähe Hülle und dürfte wohl zum Bersten und Befreien der Cotyledonen einer Hülfe bedürfen.

versuchen seinen gekrümmten Rücken aufrecht zu bringen, zu derselben Zeit nach allen Richtungen hin versuchend sich ein wenig von dem umgebenden Drucke zu befreien; und dies wird die vereinigten Wirkungen des Apogeotropismus und der Circumnutation darstellen, wenn ein Same so eingegraben ist, dasz der gekrümmte Hypocotyl oder Epicotyl zuerst in einer horizontalen oder geneigten Ebene vortritt. Der Mensch wird dann noch immer sich windend seinen gekrümmten Rücken so hoch, als er nur kann emporheben, und dies kann das Wachsthum und die fortdauernde Circumnutation eines gekrümmten Hypocotyls oder Epicotyls darstellen, ehe dasselbe die Oberfläche des Bodens erreicht hat. Sobald der Mensch sich nur überhaupt frei fühlt, wird er den oberen Theil seines Körpers erheben, während er noch immer auf den Knien liegt und sich noch windet und dies kann die Rückwärtsbiegung des basalen Schenkels des Bogens darstellen, welche in den meisten Fällen das Herausziehen der Cotyledonen aus den vergrabenen und gesprengten Samenhüllen unterstützt, ebenso wie die spätere Streckung des ganzen Hypocotyls oder Epicotyls, während die Circumnutation noch immer fort dauert.

Circumnutation der Hypocotyle und Epicotyle im aufrechten Zustande. — Die Hypocotyle, Epicotyle und ersten Sprossen der vielen, von uns beobachteten Sämlinge circumnutirten fort dauernd, nachdem sie gerade und aufrecht geworden waren. Die verschiedenartigen, von ihnen beschriebenen Figuren, häufig während zweier aufeinander folgender Tage, sind in den Holzschnitten des letzten Capitels dargestellt worden. Man musz sich erinnern, dasz die Punkte durch gerade Linien mit einander verbunden wurden, so dasz die Figuren winklig sind; wenn aber die Beobachtungen jede paar Minuten gemacht worden wären, würden die Linien mehr oder weniger krummlinig gewesen sein, und es würden unregelmäßige Ellipsen oder Ovale oder vielleicht gelegentlich auch Kreise gebildet worden sein. Die Richtung der längeren Achsen der Ellipsen, welche während eines und desselben Tages oder an aufeinander folgenden Tagen beschrieben wurden, änderte meist vollständig, so dasz sie rechtwinklig zu einander standen. Die Anzahl unregelmäßiger Ellipsen oder Kreise, welche innerhalb einer gegebenen Zeit beschrieben wurden, ist bei verschiedenen Species sehr verschieden. So wurden bei *Brassica oleracea*, *Cerinthe major* und *Cucurbita ovifera* ungefähr vier solcher Figuren

in zwölf Stunden vollendet, während bei *Solanum palinacanthum* und *Opuntia basilaris* kaum mehr als eine beschrieben wurde. Die Figuren sind auch der Grösze nach bedeutend verschieden; so waren sie bei *Stapelia* sehr klein und in einem gewissen Grade zweifelhaft, bei *Brassica* u. s. w. grosz. Die von *Lathyrus nissolia* und *Brassica* beschriebenen Ellipsen waren schmal, während die von der Eiche beschriebenen breit waren. Die Figuren sind häufig durch kleine Schlingen und Zickzacklinien complicirt.

Da die meisten Sämlingspflanzen vor der Entwicklung echter Blätter von niedriger, zuweilen sehr niedriger Statur sind, war der äusserste Betrag an Bewegung von einer Seite zur andern bei ihren circumnutirenden Stämmen klein; so betrug die Bewegung des Hypocotyls von *Githago segetum* ungefähr 0,2 Zoll, die von *Cucurbita ovifera* ungefähr 0,28. Ein sehr junger Schössling von *Lathyrus nissolis* bewegte sich ungefähr 0,14, der einer amerikanischen Eiche 0,2, der der gemeinen Haselnusz nur 0,04 und ein etwas längerer Schössling des Spargels 0,11 Zoll. Der äusserste Betrag an Bewegung des scheidenartigen Cotyledon von *Phalaris canariensis* war 0,3 Zoll. Er bewegte sich aber nicht sehr schnell. Bei einer Gelegenheit durchkreuzte die Spitze 5 Theilstriche des Micrometers, d. h. $\frac{1}{100}$ Zoll, in 22 Minuten 5 Sekunden. Ein Sämling von *Nolana prostrata* durchlief dieselbe Entfernung in 10 Minuten 38 Sekunden. Kohlsämlinge circumnutirten viel geschwinder, denn die Spitze eines Cotyledon durchkreuzte $\frac{1}{100}$ Zoll im Micrometer in 3 Minuten 20 Sekunden, und diese rapide, von beständigen Schwankungen begleitete Bewegung war unter dem Microscop betrachtet ein wunderbarer Anblick.

Die Abwesenheit von Licht, wenigstens einen Tag lang, stört nicht im mindesten die Circumnutation der Hypocotyle, Epicotyle oder jungen Schösslinge der verschiedenen, von uns beobachteten dicotyledonen Sämlinge, auch nicht die der jungen Schösslinge einiger Monocotyledonen. In der That war die Circumnutation viel deutlicher im Dunkeln als im Lichte, denn wenn das Licht nur irgendwie seitlich war, bog sich der Stamm in einem mehr oder weniger zickzackförmigen Verlaufe nach ihm hin.

Endlich werden die Hypocotyle vieler Sämlinge während des Winters in den Boden hinein oder selbst unter denselben gezogen, so dass sie verschwinden. Dieser merkwürdige Process, welcher offenbar dazu dient, sie zu schützen, ist von DE VRIES ausführlich beschrieben

worden²¹. Er zeigt, dasz er durch die Zusammenziehung der Parenchymzellen der Wurzel bewirkt wird. Aber der Hypocotyl selbst zieht sich in einigen Fällen bedeutend zusammen und wird, obschon er anfangs glatt ist, mit Zickzackkrünzeln bedeckt, wie wir bei *Githago segetum* beobachteten. Welchen Antheil an dem Hinabziehen und Eingraben des Hypocotyls von *Opuntia basilaris* die Zusammenziehung dieses Theils, und welchen Antheil die des Würzelchens hatte, haben wir nicht beobachtet.

Circumnutation der Cotyledonen. — Bei allen den im letzten Capitel beschriebenen Sämlingen von Dicotyledonen waren die Cotyledonen in einer beständigen Bewegung, hauptsächlich in einer senkrechten Ebene und gewöhnlich im Verlaufe von 24 Stunden einmal nach oben und einmal nach unten. Es fanden aber viel Ausnahmen von dieser Einfachheit der Bewegung statt; so bewegten sich die Cotyledonen von *Ipomoea coerulea* im Verlaufe von 16 Stunden 18 Minuten 13mal entweder aufwärts oder abwärts; die von *Oxalis rosea* bewegten sich in derselben Weise 7mal im Verlaufe von 24 Stunden, und die von *Cassia tora* beschrieben in 9 Stunden 5 unregelmäßige Ellipsen. Die Cotyledonen einiger Individuen von *Mimosa pudica* und von *Lotus Jacobaeus* bewegten sich in 24 Stunden nur einmal auf und nieder, während diejenigen anderer Individuen innerhalb der nämlichen Periode auszerdem noch eine kleine Oscillation ausführten. Es bestanden hiernach bei verschiedenen Species und bei verschiedenen Individuen einer und derselben Species viele Abstufungen von einer einzigen täglichen Bewegung bis zu Schwankungen, die so complicirt waren, wie bei *Ipomoea* und *Cassia*. Die gegenständigen Cotyledonen an einem und demselben Sämling bewegten sich bis zu einer gewissen Ausdehnung unabhängig von einander. Dies war deutlich erkennbar bei denen von *Oxalis sensitiva*, bei welchen man sehen konnte, dasz der eine Cotyledon während des Tages emporstieg, bis er senkrecht stand, während der gegenständige sich nach abwärts bewegte.

Ogleich die Bewegungen der Cotyledonen allgemein in nahezu derselben verticalen Ebene stattfanden, fielen doch ihre aufwärts und

²¹ Botan. Zeitung, 1879, p. 649. s. auch Winkler in: Verhandl. d. Botan. Vereins der Pr. Brandenburg, 16. Jahrg. p. 16, citirt von Haberlandt, Schutzeinrichtungen der Keimpflanze, 1877, p. 52.

abwärts eingehaltenen Wege niemals genau zusammen, so dasz mehr oder weniger enge Ellipsen beschrieben wurden, und man getrost sagen konnte, dasz die Cotyledonen circumnutirten. Auch konnte diese Thatsache nicht durch die blosze Längenzunahme der Cotyledonen in Folge von Wachsthum erklärt werden, denn diese würde an sich keinerlei seitliche Bewegung veranlassen. Dasz seitliche Bewegung in einigen Fällen wie bei den Cotyledonen des Kohls, stattfand, war offenbar; denn dieselben veränderten ausserdem, dasz sie sich auf- und abwärts bewegten, in 14 Stunden 15 Minuten zwölfmal ihren Lauf von rechts nach links. Bei *Solanum lycopersicum* bewegten sich die Cotyledonen, nachdem sie während des Vormittags gesunken waren, zwischen 12 und 4 Uhr p. m. zickzackförmig von einer Seite zur andern und dann fiengen sie an sich zu erheben. Die Cotyledonen von *Lupinus luteus* sind so dick (ungefähr 0,08 Zoll) und fleischig²², dasz es sehr wenig wahrscheinlich erschien, dasz sie sich bewegten, und daher wurden sie mit besonderem Interesse beobachtet. Sie bewegten sich sicherlich bedeutend auf und abwärts, und da die zurückgelegte Linie zickzackförmig war, fand auch etwas seitliche Bewegung statt. Die neun Cotyledonen eines Sämlings von *Pinus pinaster* circumnutirten deutlich, und die beschriebenen Figuren näherten sich unregelmäßigen Kreisen noch mehr als unregelmäßigen Ovalen oder Ellipsen. Die scheidenartigen Cotyledonen der Gramineen circumnutiren, d. h. bewegen sich nach allen Seiten eben so deutlich, wie es die Hypocotyle oder Epicotyle irgend welcher dicotyledonen Pflanzen thun. Endlich circumnutirten auch die sehr jungen Wedel eines Farnes und einer *Selaginella*.

In einer groszen Majorität von Fällen, welche sorgfältig beobachtet wurden, sinken die Cotyledonen am Vormittage ein wenig nach abwärts und steigen am Nachmittage oder Abend ein wenig empor. Sie stehen hiernach während der Nacht etwas höher geneigt als während der mittleren Tageszeit, um welche Zeit sie beinahe horizontal ausgebreitet sind. Die circumnutirende Bewegung ist hiernach wenigstens theilweise periodisch, und wie wir später sehen werden, ohne Zweifel im Zusammenhange mit den täglichen Abwechselungen von Licht und Dunkelheit. Die Cotyledonen mehrerer Pflanzen bewegen sich während der Nacht

²² Obschon die Cotyledonen hellgrün sind, sind sie doch in einem gewissen Grade unterirdischen ähnlich; siehe die interessante Erörterung von Haberlandt (Schutzeinrichtungen u. s. w. 1877. p. 95) über die bei Leguminosen sich findenden Abstufungen zwischen in der Luft und unter der Erde lebenden Cotyledonen.

so bedeutend aufwärts, dasz sie nahezu oder vollständig senkrecht stehen, und in diesem letzteren Falle kommen sie mit einander in dichte Berührung. Auf der andern Seite sinken die Cotyledonen einiger weniger Pflanzen während der Nacht beinahe oder vollständig senkrecht abwärts. Und in diesem letzteren Falle umfassen sie den oberen Theil des Hypocotyls. In einer und derselben Gattung *Oxalis* stehen die Cotyledonen gewisser Species während der Nacht senkrecht aufwärts und die anderer Species senkrecht abwärts. In allen solchen Fällen kann man sagen, dasz die Cotyledonen schlafen, denn sie handeln in derselben Weise, wie es die Blätter vieler schlafenden Pflanzen thun. Dies ist eine Bewegung zu einem speciellen Zwecke und wird daher in einem späteren, diesem Gegenstande gewidmeten Capitel betrachtet werden.

Um einen oberflächlichen Begriff von der verhältnismässigen Anzahl von Fällen zu erlangen, in denen die Cotyledonen dicotyledoner Pflanzen (unterirdische natürlich ausgeschlossen) ihre Stellung während der Nacht in einer auffallenden Art und Weise veränderten, wurden auszer den im vorigen Capitel beschriebenen Arten noch eine oder mehrere in verschiedenen Gattungen beiläufig beobachtet. Es wurden hiernach im Ganzen 153 Gattungen, so vielen Familien, als wir uns nur verschaffen konnten, angehörig, von uns beobachtet. Die Cotyledonen wurden in der Mitte des Tages und dann wieder in der Nacht nachgesehen, und diejenigen wurden als schlafend verzeichnet, welche entweder senkrecht oder in einem Winkel von mindestens 60° über oder unter dem Horizont standen. Solcher Gattungen finden sich 26, und bei 21 von ihnen stiegen die Cotyledonen einiger ihrer Species, und nur in 6 sanken sie während der Nacht, und einige dieser letzteren Fälle sind etwas zweifelhaft aus Gründen, welche in dem Capitel über den Schlaf der Cotyledonen auseinander gesetzt werden. Wenn Cotyledonen, welche um Mittag nahezu horizontal waren, des Nachts mehr als 20° und weniger als 60° über dem Horizont standen, wurden sie verzeichnet als „deutlich gestiegen“, und derartiger Gattungen fanden sich 38. Wir begegneten keinen deutlichen Beispielen von Cotyledonen, welche nur einige wenige Grade des Nachts sanken, obschon ohne Zweifel solche Fälle vorkommen. Wir haben nun 64 Gattungen unter den 153 angeführten aufgeführt, und es bleiben noch 89, bei denen die Cotyledonen ihre Stellung des Nachts um nicht so viel als 20° verändern, d. h. in einer deutlich wahrnehmbaren Weise, welche leicht mit dem blossen Auge und nach der Erinnerung nachgewiesen

werden konnte. Man darf aber aus dieser Angabe nicht schlieszen, dasz diese Cotyledonen sich durchaus nicht bewegten, denn in einigen Fällen wurde ein Steigen um wenige Grade bemerkt, als sie sorgfältig beobachtet wurden. Die Zahl 89 hätte noch ein wenig vergrößert werden können, denn in einigen Species einiger weniger Gattungen, z. B. *Trifolium* und *Geranium*, welche unter die schlafenden Pflanzen gerechnet werden, blieben die Cotyledonen des Nachts beinahe horizontal; derartige Gattungen hätten daher den 89 hinzugefügt werden können. Ferner erhob eine Species von *Oxalis* meist ihre Cotyledonen um mehr als 20° und um weniger als 60° über den Horizont, so dasz diese Gattung in zwei Categorien hätte gebracht werden können. Da aber mehrere Species einer und derselben Gattung nicht häufig beobachtet wurden, sind solche doppelte Einträge vermieden worden.

In einem späteren Capitel wird gezeigt werden, dasz die Blätter vieler Pflanzen, welche nicht schlafen, am Abend und während des frühen Theils der Nacht um wenige Grade sich erheben, und es wird zweckmässig sein die Betrachtung der Periodicität der Bewegungen der Cotyledonen bis dorthin zu verschieben.

Über die Pulvini oder Gelenke bei Cotyledonen. — Bei mehreren der in diesem und dem vorhergehenden Capitel beschriebenen Sämlingen ist die Spitze des Blattstiels zu einem Pulvinus, Polster oder Gelenk (wie dies Organ verschiedentlich genannt worden ist) entwickelt gleich dem, mit welchem viele Blätter versehen sind. Es besteht aus einer Masse kleiner Zellen, welche wegen der Abwesenheit von Chlorophyll von blasser Farbe sind, und besitzt einen mehr oder weniger convexen Umriss, wie in der beistehenden Figur gezeigt ist. Bei *Oxalis sensitiva* sind zwei Drittel des Blattstiels und bei *Mimosa pudica* allem Anschein nach die ganzen kurzen Stielchen der Blättchen in Polster entwickelt. Bei mit Polster versehenen Blättern hängt ihre periodische Bewegung nach der Angabe von PFEFFER²³ davon ab, dasz die Zellen des Pulvinus sich abwechselnd auf der einen Seite schneller ausdehnen als auf der andern, während die ähnlichen Bewegungen von nicht mit Pulvinis versehenen Blättern davon abhängen, dasz ihr Wachsthum abwechselnd auf der einen Seite rapider verläuft als auf der andern²⁴. Solange ein mit einem Pulvinus versehenes

²³ Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, 1875.

²⁴ Batalin, Flora, 1. Oct. 1873.

Blatt jung ist und zu wachsen fortfährt, hängt seine Bewegung von diesen beiden Ursachen zusammen ab²⁵, und wenn die gegenwärtig von vielen Botanikern vertretene Ansicht richtig ist, nämlich dasz dem Wachsthum immer die Ausdehnung der wachsenden Zellen vorausgeht, dann wird der Unterschied zwischen den mit Hilfe von Polstern ausgeführten und den ohne die Hilfe solcher eintretender Bewegungen darauf reducirt, dasz die Ausdehnung der Zellen im ersten Falle kein Wachsthum im Gefolge hat, während im letzten der Ausdehnung Wachsthum folgt.

Es wurden Punkte mit Tusche der Mittelrippe beider mit Polster versehener Cotyledonen eines ziemlich alten Sämlings von *Oxalis Valdiviana* entlang angebracht. Ihre Abstände wurden während $8\frac{3}{4}$ Tagen wiederholt mit einem Ocularmicrometer gemessen, und sie boten nicht die mindeste Spur von Zunahme dar. Es ist daher beinahe sicher, dasz der Pulvinus selbst damals nicht wuchs. Nichts desto weniger erhoben

sich während dieser ganzen Zeit und noch 10 Tage lang später diese Cotyledonen jede Nacht senkrecht in die Höhe. Bei Sämlingen, welche aus unter dem Namen von *Oxalis floribunda* gekauften Samen gezogen waren, fuhren die Cotyledonen eine Zeit hindurch fort, sich des Nachts senkrecht nach abwärts zu bewegen, und die Bewegungen hiengen offenbar ausschliesslich von den Polstern ab; denn ihre Blattstiele waren bei jungen und bei alten Sämlingen, welche echte Blätter producirt hatten, von nahezu derselben Länge. Andreerseits war es bei einigen Species von *Cassia* ohne irgend welche Messung offenbar, dasz die mit Polstern versehenen Cotyledonen während einiger Wochen fortfuhren bedeutend an Länge zuzunehmen, so dasz hier die Ausdehnung der Zellen der Polster und das Wachsthum des Blattstiels wahrscheinlich combinirt waren und deren verlängerte periodische Bewegungen veranlaszten. Es war gleichfalls offenbar, dasz die Cotyledonen vieler Pflanzen, die nicht mit Polstern versehen waren, rapid

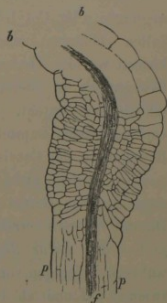


Fig. 63. *Oxalis rosea*: Längendurchschnitt eines Pulvinus am Gipfel des Stiels eines Cotyledon, mit der Camera lucida gezeichnet, 75mal vergrößert; p, p, Stiel; f Fibrovasculärbündel; b, b Anfang der Blattscheibe des Cotyledon.

²⁵ Pfeffer, a. a. O. p. 5.

an Länge zunahmen und deren periodische Bewegungen waren ohne Zweifel ausschliesslich Folge des Wachsthums.

In Übereinstimmung mit der Ansicht, dass die periodischen Bewegungen aller Cotyledonen an erster Stelle von der Ausdehnung der Zellen abhängen, mochte derselben Wachsthum folgen oder nicht, können wir die Thatsache verstehen, dass in der Art oder Form von Bewegungen in diesen beiden Classen von Fällen nur wenig Verschiedenheit besteht. Dies ist auch bei einem Vergleiche der in dem vorhergehenden Capitel gegebenen Zeichnungen zu sehen. So sind die Bewegungen der Cotyledonen von *Brassica oleracea* und von *Ipomoea coerulea*, welche nicht mit Polstern versehen sind, so complicirt, wie diejenigen von *Oxalis* und *Cassia*, welche mit Polstern versehen sind. Die mit Polstern versehenen Cotyledonen einiger Individuen von *Mimosa pudica* und *Lotus Jacobaeus* machten nur eine einzige Oscillation, während diejenigen von anderen Individuen sich im Laufe von 24 Stunden zweimal auf und ab bewegten; dies war auch gelegentlich bei den Cotyledonen von *Cucurbita ovifera* der Fall, welche keinen Pulvinus besitzen. Diese Bewegungen von mit Polstern versehenen Cotyledonen sind meist der Ausdehnung nach grösser als die von Cotyledonen ohne ein Polster; trotzdem bewegten sich einige von den letzteren durch einen Winkel von 90°. Es besteht indessen eine bedeutungsvolle Verschiedenheit zwischen beiden Classen von Fällen; die nächtlichen Bewegungen von Cotyledonen ohne Polster, so z. B. die bei Cruciferen, Cucurbitaceen, bei *Githago* und *Beta*, dauern niemals auch nur eine Woche lang in irgend einem auffälligen Grade. Andererseits fahren mit Polster versehene Cotyledonen eine viel längere Periode hindurch fort sich des Nachts zu erheben, selbst über einen Monat, wie wir nun sehen werden. Die Zeit hängt aber ohne Zweifel in hohem Masse von der Temperatur ab, welcher die Sämlinge ausgesetzt sind, und von der hieraus folgenden Schnelligkeit der Entwicklung.

Oxalis Valdiviana. — Einige Cotyledonen, welche sich am 6. März Mittags weit geöffnet hatten und horizontal standen, standen des Nachts senkrecht in die Höhe; am 13. war das erste echte Blatt gebildet und wurde des Nachts von den Cotyledonen umfasst: Am 9. April, nach einem Intervall von 35 Tagen, waren sechs Blätter entwickelt, und doch erhoben sich die Cotyledonen des Nachts beinahe senkrecht. Die Cotyledonen eines andern Sämlings, welcher, als er zuerst beobachtet wurde, bereits ein Blatt producirt hatte, standen des Nachts senkrecht und fuhren hiermit weitere 11 Tage fort. Nach 16 Tagen von der ersten Beobachtung

an waren zwei Blätter entwickelt, und die Cotyledonen erhoben sich noch des Nachts bedeutend. Nach 21 Tagen waren die Cotyledonen während des Tages unter den Horizont herabgebogen, erhoben sich aber des Nachts 45° über den Horizont. Nach 24 Tagen von der ersten Beobachtung an (begonnen, nachdem ein echtes Blatt entwickelt war) hörten die Cotyledonen auf, sich des Nachts zu erheben.

Oxalis (Biophytum) sensitiva. — Die Cotyledonen mehrerer Sämlinge standen 45 Tage nach ihrer ersten Ausbreitung des Nachts nahezu senkrecht und umfaszten dicht entweder ein oder zwei echte Blätter, welche um diese Zeit gebildet worden waren. Diese Sämlinge waren in einem sehr warmen Hause gehalten worden, und ihre Entwicklung war rapid gewesen.

Oxalis corniculata. — Die Cotyledonen stehen des Nachts nicht vertical, erheben sich aber meist bis zu einem Winkel von ungefähr 45° über den Horizont. Sie fuhren dies zu thun 23 Tage nach ihrer ersten Ausbreitung fort, in welcher Zeit zwei Blätter entwickelt worden waren; selbst nach 29 Tagen erhoben sie sich noch immer mäszig über ihre horizontale oder niederwärts gebeugte Tagesstellung.

Mimosa pudica. — Die Cotyledonen waren zum ersten Male am 2. November ausgebreitet und standen des Nachts vertical. Am 15. wurde das erste Blatt gebildet, und des Nachts waren die Cotyledonen senkrecht. Am 28. benahmen sie sich in derselben Art und Weise. Am 15. December, d. h. also nach 44 Tagen, wurden die Cotyledonen des Nachts noch immer beträchtlich erhoben; aber die eines andern nur einen Tag älteren Sämlings wurden sehr wenig erhoben.

Mimosa albida. — Ein Sämling wurde nur während 12 Tagen beobachtet, in welcher Zeit sich ein Blatt gebildet hatte, und die Cotyledonen standen dann des Nachts vollkommen senkrecht.

Trifolium subterraneum. — Ein acht Tage alter Sämling hatte seine Cotyledonen um 10,30 a. m. horizontal und um 9,15 p. m. senkrecht. Nach Verlauf zweier Monate, in welcher Zeit die ersten und zweiten echten Blätter entwickelt waren, führten die Cotyledonen noch immer die nämlichen Bewegungen aus. Sie hatten nun bedeutend an Grösze zugenommen und waren oval geworden, und ihre Stiele waren factisch 0,8 Zoll lang!

Trifolium strictum. — Nach 17 Tagen erhoben sich die Cotyledonen noch immer des Nachts, wurden aber später nicht mehr beobachtet.

Lotus Jacobaeus. — Die Cotyledonen einiger Sämlinge mit gut entwickelten Blättern stiegen bis zu einem Winkel von ungefähr 45° des Nachts in die Höhe; und selbst nachdem drei oder vier Blattwirtel gebildet worden waren, erhoben sich die Cotyledonen des Nachts beträchtlich über ihre horizontale Tagesstellung.

Cassia mimosoides. — Die Cotyledonen dieser indischen Species standen 14 Tage nach ihrer ersten Ausbreitung, und als ein Blatt gebildet worden war, während des Tages horizontal und des Nachts senkrecht.

Cassia sp. ? (ein groszer südbrasilianischer Baum aus Samen gezogen, den uns FRITZ MÜLLER geschickt hatte). — Die Cotyledonen hatten nach 16 Tagen von ihrer ersten Ausbreitung an bedeutend an Grösze

zugenommen und zwei Blätter waren eben gebildet. Sie standen während des Tages horizontal und des Nachts senkrecht, wurden aber später nicht weiter beobachtet.

Cassia neglecta. (Gleichfalls eine südbrasilianische Species). — Ein Sämling war 34 Tage nach der ersten Ausbreitung seiner Cotyledonen zwischen 3 und 4 Zoll hoch, mit drei gut entwickelten Blättern, und die Cotyledonen, welche während des Tags nahezu horizontal waren, standen des Nachts senkrecht und umfaszten dicht den jungen Stamm. Die Cotyledonen eines andern Sämlings desselben Alters von 5 Zoll Höhe mit vier gut entwickelten Blättern benahmen sich des Nachts in genau derselben Art und Weise.

Es ist bekannt²⁶, dasz zwischen den oberen und unteren Hälften der Pulvini von Blättern kein Unterschied der Structur besteht, welcher hinreichte, ihre nach oben und unten gerichteten Bewegungen zu erklären. In dieser Beziehung bieten Cotyledonen eine ungewöhnlich gute Gelegenheit dar, die Structur der beiden Hälften zu vergleichen; denn die Cotyledonen von *Oxalis Valdiviana* steigen des Nachts senkrecht empor, während die von *O. rosea* senkrecht abwärts sinken. Und doch konnte, wenn Durchschnitte ihrer Pulvini gemacht wurden, kein deutlicher Unterschied zwischen den entsprechenden Hälften dieser Organe an den beiden Species, welche sich so verschieden bewegen, nachgewiesen werden. Bei *Oxalis rosea* indessen finden sich in der unteren Hälfte etwas mehr Zellen als in der oberen, und dies war gleichfalls bei einem Exemplar von *O. Valdiviana* der Fall. Die Cotyledonen beider Species ($3\frac{1}{2}$ mm lang) wurden am Morgen untersucht, während sie horizontal ausgebreitet waren, und dann war die obere Fläche des Pulvinus von *O. rosea* gerunzelt, woraus hervorgieng, dasz sie in einem Zustande von Compression sich fand; und das hätte erwartet werden können, da die Cotyledonen des Nachts sinken; bei *O. Valdiviana* war es die untere Hälfte, welche gefaltet war, und ihre Cotyledonen erheben sich des Nachts.

Trifolium ist eine natürliche Gattung, und die Blätter aller von uns gesehenen Species sind mit Polstern versehen; so ist es auch mit den Cotyledonen von *T. subterraneum* und *strictum* der Fall, welche das Nachts senkrecht emporstehen, während die von *T. resupinatum* keine Spur eines Polsters darbieten und ebenso wenig irgend einer nächtlichen Bewegung. Dies wurde dadurch ermittelt, dasz die Entfernung zwischen den Spitzen der Cotyledonen von vier Sämlingen um

²⁶ Pfeffer, Die periodischen Bewegungen, 1875, p. 157.

Mittag und in der Nacht gemessen wurde. Indessen erhebt sich bei dieser Species wie bei den anderen das zuerst geformte Blatt, welches einfach und nicht dreitheilig ist, empor und schläft wie das terminale Blättchen an einer reifen Pflanze.

In einer anderen natürlichen Gattung, *Oxalis*, sind die Cotyledonen von *O. Valdiviana*, *rosea*, *floribunda*, *articulata* und *sensitiva* mit Polstern versehen, und alle bewegen sich des Nachts in eine aufwärts oder abwärts gerichtete senkrechte Stellung. Bei diesen verschiedenen Species liegt das Polster dicht an der Scheibe des Cotyledon, wie es die gewöhnliche Regel bei den meisten Pflanzen ist. *Oxalis corniculata* (var. *atropurpurea*) weicht in mehreren Beziehungen ab; die Cotyledonen erheben sich des Nachts in einer sehr variablen Ausdehnung, selten über 45° , und bei einem Satz von Sämlingen (unter dem Namen von *O. tropaeoloides* gekauft, aber sicher zu der eben erwähnten Varietät gehörig) erhoben sie sich nur von $5-15^{\circ}$ über den Horizont. Das Polster ist unvollkommen entwickelt und in einem äusserst variablen Grade, so dass es allem Anscheine nach sich auf dem Wege befindet fehlzuschlagen. Bis jetzt ist, wie wir meinen, noch kein derartiger Fall beschrieben worden. Es ist, da seine Zellen Chlorophyll enthalten, grün gefärbt, und es sitzt nahe der Mitte des Blattstiels anstatt am oberen Ende wie in allen übrigen Species. Die nächtliche Bewegung wird zum Theil durch seine Vermittlung und zum Theil durch das Wachsthum des oberen Theiles des Blattstiels ausgeführt, wie es bei Pflanzen, denen ein Pulvinus fehlt, der Fall ist. Aus diesen verschiedenen Gründen, und da wir zum Theil die Entwicklung des Pulvinus von einem sehr frühen Alter an verfolgt haben, scheint der Fall der Beschreibung mit einiger Ausführlichkeit werth zu sein.

Als die Cotyledonen von *O. corniculata* aus einem Samen herausgeschnitten wurden, aus welchem sie naturgemäss bald herausgetreten sein würden, konnte keine Spur eines Pulvinus nachgewiesen werden, und sämtliche den kurzen Stiel bildende Zellen, der Zahl nach 7 in einer Längsreihe, waren von nahezu gleicher Grösze. Bei einen oder zwei Tage alten Sämlingen war der Pulvinus so undeutlich, dass wir anfangs glaubten, er existire gar nicht; aber in der Mitte des Stiels konnte man eine undeutlich umschriebene quere Zone von Zellen sehen, welche viel kürzer waren, als die sowohl darüber als darunter liegenden, obschon sie die nämliche Breite, wie diese, hatten. Sie boten das Aussehen dar, als wären sie durch die quere Theilung längerer Zellen so eben gebildet worden, und es lässt sich nicht daran zweifeln, dass dies der Fall gewesen war; denn die Zellen an dem Blattstiele, welcher aus dem Samen herausgeschnitten worden war,

maszen in mittlerer Länge sieben Theilstriche des Micrometers (jeder Theilstrich war 0,003 mm gleich) und waren ein wenig länger als die einen gut entwickelten Pulvinus bildenden Zellen, welche zwischen 4 und 6 dieser nämlichen Theilstriche variierten. Nach einigen wenigen weiteren Tagen wird die undeutlich umschriebene Zone von Zellen deutlich, und obschon sie sich nicht quer über die ganze Breite des Blattstiels erstreckt, obschon die Zellen wegen des darin enthaltenen Chlorophylls von grüner Färbung sind, stellen sie doch sicher ein Polster dar, welches, wie wir sofort sehen werden, als solches auch wirkt. Diese kleinen Zellen waren in Längsreihen angeordnet und variierten der Zahl nach von 4—7; die Zellen selbst variierten in ihrer Länge in verschiedenen Theilen eines solchen Pulvinus und bei verschiedenen Individuen. In den beistehenden Figuren A und B (Fig. 64) haben wir Ansichten der Epidermis²⁷ im mittleren Theile der

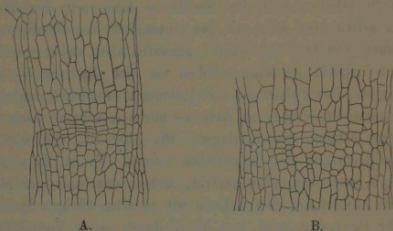


Fig. 64. *Oxalis corniculata*: A und B die beinahe rudimentären Pulvini der Cotyledonen zweier etwas alter Sämlinge, als durchsichtige Gegenstände betrachtet, 50mal vergrößert.

Blattstiele zweier Sämlinge, bei welchen der Pulvinus für diese Species gut entwickelt war. Sie bieten einen auffallenden Contrast zu dem Pulvinus von *O. rosea* (s. die frühere Fig. 63) oder von *O. Valdiviana* dar. Bei den fälschlich *O. tropaeoloides* genannten Sämlingen, deren Cotyledonen des Nachts sehr wenig emporsteigen, war die Zahl der kleinen Zellen noch geringer, und es bildeten dieselben zum Theil eine einzige quere Reihe, an anderen Stellen kurze Längsreihen von nur zwei oder drei Zellen. Trotzdem genügten dieselben das Auge zu fesseln, wenn der ganze Blattstiel als durchsichtiger Gegenstand unter dem Microscop betrachtet wurde. Bei diesen Sämlingen liesz sich kaum daran zweifeln, dasz der Pulvinus rudimentär wurde und zu verschwinden neigte. Und dies erklärt seine grosse Variabilität in Bau und Function.

In folgender Tabelle werden einige Messungen von Zellen in ziemlich gut entwickelten Polstern von *O. corniculata* mitgetheilt:

²⁷ Längsschnitte zeigen, dasz die Formen der Epidermiszellen als ziemlich gute Repräsentanten der den Pulvinus bildenden Zellen angesehen werden können.

Theilstriche des
Micrometers²⁸

Sämling, einen Tag alt, mit 2,3 mm langem Cotyledon.

Mittlere Länge der Zellen des Pulvinus	6-7
Länge der längsten Zelle unter dem Polster	13
Länge der längsten Zelle über dem Polster	20

Sämling, 5 Tage alt, Cotyledon 3,1 mm lang, der Pulvinus vollständig deutlich.

Mittlere Länge der Zellen des Polsters	6
Länge der längsten Zelle unter dem Polster	22
Länge der längsten Zelle über dem Polster	40

Sämling, 8 Tage alt, Cotyledon 5 mm lang, mit einem entwickelten, aber noch nicht ausgebreiteten echten Blatte.

Mittlere Länge der Zellen des Pulvinus	9
Länge der längsten Zelle unter dem Polster	44
Länge der längsten Zelle über dem Polster	70

Sämling, 13 Tage alt, Cotyledon 4,5 mm lang, mit einem kleinen vollständig entwickelten echten Blatte.

Mittlere Länge der Zellen des Pulvinus	7
Länge der längsten Zelle unter dem Pulvinus	30
Länge der längsten Zelle über dem Pulvinus	60

Wir sehen hier, dass die Zellen des Pulvinus nur wenig mit vorschreitendem Alter an Länge zunehmen im Vergleich mit denen des Blattstiels darüber und darunter; sie fahren aber der Breite nach zu wachsen fort und halten sich in dieser Beziehung mit den anderen Zellen des Blattstiels gleich. Die Wachstumsgeschwindigkeit indessen variirt in allen Zellen der Cotyledonen wie aus den Messungen des 8 Tage alten Sämlings zu sehen ist.

Die Cotyledonen von nur 1 Tag alten Sämlingen erheben sich des Nachts beträchtlich, zuweilen so viel wie später; doch bestand in dieser Beziehung viel Variation. Da das Polster anfangs so undeutlich war, hängt die Bewegung zu dieser Zeit wahrscheinlich nicht von der Ausdehnung seiner Zellen, sondern von periodisch ungleichem Wachstum im Blattstiel ab. Aus der Vergleichung von Sämlingen verschiedenen bekannten Alters gieng offenbar hervor, dass der Hauptsitz des Wachstums des Stiels in dem oberen Theile zwischen dem Pulvinus und der Blattscheibe lag, und dies stimmt mit der Thatsache überein (in den oben angegebenen Messungen dargelegt), dass die Zellen im oberen Theile zu einer bedeutenderen Länge heranwachsen, als in dem unteren Theile. Bei einem 11 Tage alten Sämling fand sich, dass das nächtliche Steigen in groszem Masze von der Wirkung des Pulvinus abhieng; denn der Blattstiel war des Nachts an diesem Punkte nach oben gekrümmt; und während des Tags war, während der Blattstiel horizontal war, die untere Fläche des Pulvinus gerunzelt, während die obere Fläche gespannt war. Obschon die Cotyledonen in vorgeschrittenerem Alter des Nachts zu keiner höheren Neigung emporsteigen, als wenn sie jung sind, so haben sie doch durch einen

²⁸ Jeder Theilstrich war = 0,003 mm.

grossen Winkel (in einem Falle bis zu 63°) sich zu bewegen, um ihre nächtliche Stellung zu erreichen, da sie meist während des Tags unter den Horizont herabgebogen sind. Selbst bei einem 11 Tage alten Sämlinge hieng die Bewegung nicht ausschliesslich vom Kissen ab, denn die Scheibe war da, wo sie an den Stiel angegliedert war, nach oben gekrümmt, und dies musz ungleichem Wachsthum zugeschrieben werden. Es hängen daher die periodischen Bewegungen der Cotyledonen von *Oxalis corniculata* von zwei verschiedenen, aber verbundenen Wirkungen ab, nämlich von der Ausdehnung der Zellen des Pulvinus und von dem Wachsthum des oberen Theils des Blattstiels mit Einschlusz der Basis der Scheibe.

Lotus Jacobacus. — Die Sämlinge dieser Pflanze bieten einen dem von *Oxalis corniculata* in einigen Beziehungen parallelen Fall dar, in anderen einen einzig in seiner Art dastehenden, soweit wir bis jetzt gesehen haben. Die Cotyledonen bieten während der ersten vier oder fünf Tage ihres Lebens keinerlei deutliche nächtliche Bewegungen dar; sie stehen aber später des Nachts senkrecht oder beinahe senkrecht in die Höhe. Es besteht indessen in Bezug hierauf ein geringer Grad von Variabilität, offenbar in Abhängigkeit von der Jahreszeit und von dem Grade, bis zu welchem sie während des Tages beleuchtet worden sind. Bei älteren Sämlingen mit 4 mm langen Cotyledonen, welche des Nachts sich beträchtlich erheben, findet sich ein gut entwickelter Pulvinus dicht an der Scheibe, farblos und etwas schmaler, als der Rest des Blattstiels, von dem er plötzlich abgesetzt ist. Er wird aus einer Masse kleiner Zellen von einer mittleren Länge von 0,021 mm gebildet, während die Zellen im unteren Theile des Stiels ungefähr 0,06 mm und die in der Blattscheibe von 0,034 bis 0,04 mm lang sind. Die Epidermiszellen im unteren Theile des Stieles springen kugelförmig vor und weichen hiernach der Form nach von denen über dem Pulvinus ab.

Wenden wir uns nun zu sehr jungen Sämlingen, deren Cotyledonen des Nachts nicht emporsteigen und nur von $2-2\frac{1}{2}$ mm lang sind, so bieten ihre Blattstiele keine deutliche Zone kleiner Zellen dar, denen Chlorophyll fehlt, und welche in ihrer Form äusserlich von den unteren verschieden sind. Nichts desto weniger sind die Zellen an der Stelle, wo später ein Pulvinus entwickelt wird, kleiner (im Mittel 0,015 mm lang), als diejenigen in den unteren Theilen des nämlichen Blattstiels, welche allmählich bei dem Hinabschreiten grösser werden; die grössten sind 0,030 mm lang. In diesem frühen Alter sind die Zellen der Blattscheibe ungefähr 0,027 mm lang. Wir sehen hieraus, dasz der Pulvinus aus den Zellen im obersten Theile des Blattstiels gebildet wird, welche eine kurze Zeit lang an Länge zuzunehmen fortfahren, dann in ihrem Wachsthum aufgehalten werden, womit der Verlust ihrer Chlorophyllkörner verbunden ist, während die Zellen im unteren Theile des Blattstiels eine lange Zeit hindurch an Länge zuzunehmen fortfahren und die der Epidermis mehr kegelförmig werden. Die eigenthümliche Thatsache, dasz die Cotyledonen dieser Pflanze nicht des Nachts schlafen, ist daher eine Folge davon, dasz das Kissen nicht in einem frühen Alter entwickelt wird.

Wir sehen aus diesen zwei Fällen von *Lotus* und *Oxalis*, dasz die Entwicklung eines Pulvinus Folge davon ist, dasz das Wachsthum der Zellen über einen kleinen bestimmten Raum des Blattstiels in einem frühen Alter beinahe aufgehalten wird. Bei *Lotus Jacobaeus* nehmen die Zellen anfangs ein wenig an Länge zu: bei *Oxalis corniculata* nehmen sie ein wenig ab in Folge von Selbsttheilung. Eine Masse solcher kleiner ein Kissen bildender Zellen kann daher von verschiedenen Species in einem und demselben natürlichen Genus ohne irgendwelche Schwierigkeit entweder erlangt oder verloren werden, und wir wissen, dasz bei Sämlingen von *Trifolium*, *Lotus* und *Oxalis* einige von ihren Species ein gut entwickeltes Kissen haben, und andere haben keines oder nur eins im rudimentären Zustande. Da die von der abwechselnden Turgescenz der Zellen in den zwei Hälften eines Polsters verursachten Bewegungen in hohem Masze durch die Ausdehnbarkeit und spätere Zusammenziehung ihrer Wandungen bestimmt werden müssen, so können wir vielleicht verstehen, warum eine grosze Anzahl kleiner Zellen wirksamer sein wird als eine kleine Anzahl groszer Zellen, die den nämlichen Raum einnehmen. Da ein Kissen durch die Hemmung des Wachsthums seiner Zellen gebildet wird, können Bewegungen, die von ihrer Thätigkeit abhängen, lange fort dauern, ohne dasz der hiermit versehene Theil irgendwie an Länge zunimmt; und derartige lang fortgesetzte Bewegungen scheinen einen der hauptsächlichsten, durch die Entwicklung eines Kissens erreichten Zwecke zu bilden. Lang fortgesetzte Bewegung würde in einem jeden Theile ohne ein ungehöriges Längenwachsthum unmöglich sein, wenn der Turgescenz der Zellen immer Wachsthum folgte.

Störung der periodischen Bewegungen der Cotyledonen durch das Licht. — Die Hypocotyle und Cotyledonen der meisten Pflanzensämlinge sind bekanntlich äusserst heliotropisch; aber Cotyledonen werden ausser dem, dasz sie heliotropisch sind, von dem Lichte noch paratonisch (um SACHS' Ausdruck zu gebrauchen) afficirt, d. h. ihre täglichen periodischen Bewegungen werden bedeutend und schnell durch Veränderungen in der Intensität oder durch den Mangel des Lichts gestört. Nicht dasz sie im Dunkeln zu circumnutiren aufhörten, denn in allen den vielen von uns beobachteten Fällen fahren sie hiermit fort; aber die normale Ordnung ihrer Bewegungen in Bezug auf das Abwechseln von Tag und Nacht wird sehr gestört oder voll-

ständig aufgehoben. Dies gilt auch für die Species, deren Cotyledonen des Nachts so bedeutend sich erheben oder senken, dasz man sie als schlafend bezeichnen könnte, ebenso wie für andere, welche sich nur wenig erheben. Aber verschiedene Species werden von Veränderungen in der Beleuchtung in sehr verschiedenen Graden beeinflusst.

So bewegten sich beispielsweise die Cotyledonen von *Beta vulgaris*, *Solanum lycopersicum*, *Cerinthé major* und *Lupinus luteus*, wenn sie in das Dunkle gebracht wurden, während des Nachmittags und des Anfangs der Nacht, anstatt sich zu erheben, wie sie es gethan haben würden, wenn sie dem Lichte ausgesetzt gewesen wären, abwärts. Nicht alle Individuen des *Solanum* benahmen sich in derselben Art, denn die Cotyledonen eines circumnutirten zwischen 2,30 und 10 Uhr p. m. um einen und den nämlichen Punkt. Die Cotyledonen eines Sämlings von *Oxalis corniculata*, welcher schwach von oben beleuchtet wurde, bewegten sich während des ersten Morgens in der normalen Weise abwärts, am zweiten Morgen aber bewegten sie sich nach oben. Die Cotyledonen von *Lotus Jacobaeus* wurden durch einen vierstündigen Aufenthalt in vollständiger Dunkelheit nicht afficirt; wurden sie aber unter ein doppeltes Oberlicht gebracht und in dieser Weise schwach beleuchtet, so verloren sie am dritten Morgen ihre periodischen Bewegungen vollständig. Auf der andern Seite bewegten sich die Cotyledonen von *Cucurbita ovifera* während eines ganzen Tages im Dunkeln in der normalen Weise.

Sämlinge von *Githago segetum* wurden am Morgen, ehe ihre Cotyledonen sich entfaltet hatten, schwach von oben beleuchtet, und sie blieben in den nächsten 10 Stunden geschlossen. Andere Sämlinge wurden in das Dunkle gebracht, nachdem ihre Cotyledonen sich am Morgen geöffnet hatten, und diese fiengen nicht eher an sich zu schlieszen, bis ungefähr vier Stunden verflossen waren. Die Cotyledonen von *Oxalis rosea* sanken senkrecht abwärts, nachdem sie 1 Stunde 20 Min. in Dunkelheit gelassen worden waren, diejenigen einiger anderen Species von *Oxalis* aber wurden durch den Aufenthalt von mehreren Stunden im Dunkeln nicht afficirt. Die Cotyledonen mehrerer Species von *Cassia* sind äusserst empfindlich für Veränderungen in der Lichtstärke, welcher sie ausgesetzt werden. So wurden Sämlinge einer ungenannten südbrasilianischen Species (eines groszen und schönen Baumes) aus dem Warmhause genommen und auf den Tisch in der Mitte eines Zimmers mit zwei Nordost- und einem Nordwestfenster gestellt, so dasz sie ziemlich gut beleuchtet waren, obgleich natürlich weniger als in dem Warmhause. Der Tag war mäsizig hell; und nach 36 Minuten stiegen die Cotyledonen, welche horizontal gewesen waren, senkrecht nach oben und schlossen sich, als wenn sie schliefen; nachdem sie 1 Stunde 15 Min. lang auf dem Tische so geblieben waren, fiengen sie an sich zu öffnen. Die Cotyledonen junger Sämlinge einer anderen brasilianischen Species und von *C. neglecta*, die in derselben Art behandelt wurden, benahmen sich ähnlich, ausgenommen, dasz sie sich nicht völlig so stark erhoben: nach ungefähr einer Stunde wurden sie wieder horizontal.

Das Folgende ist ein noch interessanterer Fall: In zwei Töpfen befindliche Sämlinge von *Cassia tora*, welche einige Zeit lang auf dem

Tische in dem eben beschriebenen Zimmer gestanden hatten, hatten horizontal stehende Cotyledonen. Ein Topf wurde nun zwei Stunden lang trübem Sonnenschein ausgesetzt, und die Cotyledonen blieben horizontal, er wurde dann auf den Tisch zurückgebracht und nach 50 Minuten waren die Cotyledonen 68° über den Horizont gestiegen. Der andere Topf wurde während der nämlichen zwei Stunden hinter einen Schirm in demselben Zimmer gebracht, wo das Licht sehr trüb war, und die Cotyledonen erhoben sich 63° über den Horizont, der Topf wurde dann auf den Tisch zurückgebracht, und nach 50 Minuten hatten sich die Cotyledonen um 33° gesenkt. Diese zwei Töpfe mit Sämlingen desselben Alters standen dicht bei einander und wurden genau derselben Menge von Licht ausgesetzt, und doch erhoben sich die Cotyledonen in dem einen Topfe, während die in dem anderen Topfe in derselben Zeit sich senkten. Diese Thatsache erläutert in einer auffallenden Art und Weise, dasz ihre Bewegungen nicht durch den factischen Betrag an Licht, sondern durch eine Veränderung in seiner Intensität oder in seinem Grade beherrscht werden. Ein ähnliches Experiment wurde mit zwei Sätzen von Sämlingen angestellt, welche beide, aber in verschiedenem Grade, einem trübem Lichte ausgesetzt wurden, und das Resultat war das nämliche. Die Bewegungen der Cotyledonen dieser *Cassia* werden indessen (wie in vielen anderen Fällen) in hohem Masse durch Gewohnheit oder Vererbung bestimmt unabhängig vom Lichte; denn Sämlinge, welche während des Tages mäsizig beleuchtet wurden, wurden die ganze Nacht hindurch und am folgenden Morgen in vollständiger Dunkelheit gehalten; und doch waren die Cotyledonen am Morgen theilweise geöffnet und blieben in der Dunkelheit ungefähr sechs Stunden lang offen. Die bei einer anderen Gelegenheit ähnlich behandelten Cotyledonen in einem anderen Topfe waren um 7 Uhr a. m. offen und blieben im Dunkeln 4 Stunden 30 Min. lang offen, nach welcher Zeit sie sich zu schlieszen begannen. Und doch erhoben diese nämlichen Sämlinge, wenn sie in der Mitte des Tages aus einem mäsizig hellen in ein nur mäsizig trübes Licht gebracht wurden, wie wir gesehen haben, ihre Cotyledonen über den Horizont.

Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen Berührung. — Dieser Gegenstand besitzt nicht viel Interesse, da es nicht bekannt ist, dasz Empfindlichkeit dieser Art für Pflanzensämlinge von irgend welchen Diensten ist. Wir haben nur in vier Gattungen Fälle beobachtet, obschon wir die Cotyledonen vieler anderen vergebens beobachtet haben. Die Gattung *Cassia* scheint in dieser Beziehung besonders hervorragend zu sein: So wurden die Cotyledonen von *C. tora*, wenn sie horizontal ausgebreitet waren, beide mit einem sehr dünnen Zweige drei Minuten lang leicht gestoszen, und im Verlauf einiger weniger Minuten bildeten sie mit einander einen Winkel von 90° , so dasz jeder um 45° gestiegen war. Ein einzelner Cotyledon eines anderen Sämlings wurde in gleicher Weise eine Minute lang gestoszen und in neun Minuten stieg er um 27° , und nach weiteren acht Minuten war er um 10° mehr gestiegen; der gegenüberstehende Cotyledon, welcher nicht berührt worden war, bewegte sich überhaupt kaum. Die Cotyledonen wurden in allen diesen Fällen in weniger als einer halben Stunde wiederum horizontal. Das Kissen ist der empfindlichste Theil, denn nach leichtem Stechen dreier Cotyledonen mit einer

Nadel an diesem Theile, erhoben sie sich senkrecht in die Höhe; aber auch die Blattscheibe ergab sich als sensitiv, wobei Sorge darauf verwendet war, das Kissen nicht zu berühren. Wassertropfen, ruhig auf diese Cotyledonen gebracht, bewirkten keinerlei Effect, aber ein äusserst feiner aus einer Spritze hervortretender Wasserstrahl veranlaszte sie sich aufwärts zu bewegen. Wenn ein Topf mit Sämlingen rapid mit einem Stock getroffen und in dieser Weise erschüttert wurde, erhoben sich die Cotyledonen unbedeutend. Wenn ein äusserst kleiner Tropfen Salpetersäure auf beide Pulvini eines Sämlings gebracht wurde, erhoben sich die Cotyledonen so schnell, dass man sie leicht sich bewegen sehen konnte, und beinahe unmittelbar danach fiengen sie an, sich zu senken; die Pulvini waren aber getödtet worden und wurden braun.

Die Cotyledonen einer unbenannten Species von *Cassia* (ein grosser Baum aus Süd-Brasilien) erhoben sich um 31° im Verlaufe von 26 Minuten, nachdem die Pulvini und die Blattscheiben eine Minute lang beide mit einem Stäbchen gerieben worden waren; wurde aber die Scheibe allein in ähnlicher Weise gerieben, so erhoben sich die Cotyledonen nur um 8° . Die merkwürdig langen und schmalen Cotyledonen einer dritten unbekanntenen Species aus Süd-Brasilien bewegten sich nicht, als bei sechs Gelegenheiten ihre Scheiben mit einem spitzen Stabe 30 Sekunden oder 1 Minute lang gerieben wurden; wurden aber die Pulvini gerieben und leicht mit einer Nadel gestochen, so erhoben sich die Cotyledonen im Verlauf einiger weniger Minuten durch einen Winkel von 60° . Mehrere Cotyledonen von *C. neglecta* (gleichfalls von Süd-Brasilien) erhoben sich in der Zeit von 5 bis 15 Minuten in verschiedenen Winkeln zwischen 16° und 34° , nachdem sie eine Minute lang mit einem Zweige gerieben worden waren. Ihre Empfindlichkeit bleibt bis in ein ziemlich vorgeschrittenes Alter bestehen, denn die Cotyledonen einer kleinen Pflanze von *C. neglecta*, welche 34 Tage alt war und drei echte Blätter trug, erhoben sich, wenn sie zwischen den Fingern leicht gedrückt wurden. Einige Sämlinge wurden 30 Minuten lang (bei einer Temperatur von 10° C.) einem Winde ausgesetzt, welcher hinreichende Stärke hatte, die Cotyledonen erzittern zu machen. Doch veranlaszte dies zu unserer Überraschung keinerlei Bewegung. Die Cotyledonen von vier Sämlingen der indischen *C. glauca* wurden entweder mit einem dünnen Stäbchen zwei Minuten lang gerieben oder leicht gedrückt: der eine stieg um 34° , ein zweiter nur um 6° , ein dritter 13° und ein vierter 17° . Ein ähnlich behandelter Cotyledon von *C. florida* erhob sich 9° , einer von *C. corymbosa* stieg um $7\frac{1}{2}^{\circ}$ und einer der sehr verschiedenen *C. mimosoides* stieg nur 6° . Die Cotyledonen von *C. pubescens* schienen nicht im mindesten sensitiv zu sein, eben so wenig waren es die von *C. nodosa*. Diese letzteren sind aber ziemlich dick und fleischig und erheben sich oder schlafen des Nachts nicht.

Smithia sensitiva. — Diese Pflanze gehört zu einer andern Unterordnung der Leguminosen als *Cassia*. Beide Cotyledonen eines älteren Sämlings, an welchem das erste echte Blatt zum Theil entfaltet war, wurde eine Minute lang mit einem dünnen Stäbchen gerieben, und in fünf Minuten erhob sich jeder 32° ; sie blieben 15 Minuten lang in dieser Stellung; als aber 40 Minuten nach dem Reiben wieder nach ihnen gesehen wurde, war ein jeder um 14° gefallen. Beide Cotyledonen eines

anderen und jüngeren Sämlings wurden in derselben Weise eine Minute lang gerieben, und nach Verlauf von 52 Minuten war ein jeder um 30° gestiegen. Gegen einen feinen Wasserstrahl waren sie durchaus kaum empfindlich. Die Cotyledonen von *S. Pfundii*, einer africanischen Wasserpflanze, sind dick und fleischig, sie sind weder sensitiv, noch schlafen sie.

Mimosa pudica und *albida*. — Die Blattscheiben mehrerer Cotyledonen dieser beiden Pflanzen wurden eine oder zwei Minuten lang gerieben oder leicht mit einer Nadel gekratzt, sie bewegten sich nicht im mindesten. Als aber die Pulvini von sechs Cotyledonen von *M. pudica* in dieser Weise gekratzt wurden, erhoben sich zwei von ihnen unbedeutend. In diesen beiden Fällen wurde vielleicht der Pulvinus zufällig gestochen; denn als der Pulvinus eines anderen Cotyledon gestochen wurde, erhob er sich ein wenig. Es geht hieraus hervor, dass die Cotyledonen von *Mimosa* weniger empfindlich sind, als diejenigen der vorher erwähnten Pflanzen²⁹.

Oxalis sensitiva. — Die Blattscheiben und Pulvini zweier Cotyledonen, welche horizontal standen, wurden 30 Sekunden lang mit einer feinen, gespaltenen Borste gerieben oder gewissermaßen gekitzelt, und in 10 Min. war jeder um 48° gestiegen. Als 35 Min., nachdem sie gerieben worden waren, wieder nach ihnen gesehen wurde, waren sie um 4° mehr gestiegen, nach weiteren 30 Min. standen sie wiederum horizontal. Wurde ein Topf rapid mit einem Stock eine Minute lang geschlagen, so waren die Cotyledonen zweier Sämlinge im Verlaufe von 11 Minuten beträchtlich gestiegen. Ein Topf wurde eine kurze Strecke lang auf einem Brette getragen und dadurch geschüttelt; die Cotyledonen von vier Sämlingen waren in 10 Min. sämtlich erhoben; nach 17 Min. war der eine um 56° , ein zweiter um 45° , ein dritter beinahe um 90° und ein vierter 90° erhoben. Nach einem weiteren Verlaufe von 40 Min. hatten sich drei von ihnen in einer beträchtlichen Ausdehnung wieder ausgebreitet. Diese Beobachtungen wurden gemacht, ehe wir Kenntnis davon hatten, in welcher auszerordentlich rapiden Geschwindigkeit die Cotyledonen circumnutiren und sind daher einem Irrthum ausgesetzt. Nichts desto weniger ist es äusserst unwahrscheinlich, dass sich die Cotyledonen in den acht mitgetheilten Fällen sämtlich gerade in der Zeit, wo sie gereizt wurden, erhoben hätten. Die Cotyledonen von *Oxalis Valdiviana* und *rosea* wurden gerieben und zeigten keinerlei Empfindlichkeit.

Endlich scheint zwischen der Gewohnheit der Cotyledonen sich des Nachts senkrecht zu erheben oder einzuschlafen und ihrer Empfindlichkeit, besonders ihrer Pulvini, gegen Berührung eine gewisse Beziehung zu bestehen, denn sämtliche oben genannten Pflanzen schlafen des Nachts. Andererseits gibt es viele Pflanzen, deren Cotyledonen schlafen und nicht im mindesten sensitiv sind. Da die Cotyledonen

²⁹ Die einzige Notiz über Empfindlichkeit der Cotyledonen, welcher wir begegnet sind, bezieht sich auf *Mimosa*, denn Auc. P. De Candolle sagt (Physiol. Végét. T. 2. p. 865): „les cotylédons du *M. pudica* tendent à se rapprocher par leurs faces supérieures lorsqu'on les irrite.“

mehrerer Species von *Cassia* sowohl durch unbedeutend vermindertes Licht als durch Berührung leicht afficirt werden, glaubten wir, dasz diese beiden Arten von Empfindlichkeit im Zusammenhange stehen möchten; doch ist dies nicht nothwendig der Fall, denn die Cotyledonen von *Oxalis sensitiva* erhoben sich nicht, als sie bei einer Gelegenheit anderthalb Stunden lang, bei einer zweiten Gelegenheit nahezu 4 Stunden lang in einem dunklen Gemache gehalten wurden. Einige andere Cotyledonen, wie die von *Githago segetum*, werden durch ein schwaches Licht bedeutend afficirt, bewegen sich aber nicht, wenn sie mit einer Nadel gekratzt werden. Dasz bei einer und derselben Pflanze zwischen der Empfindlichkeit ihrer Cotyledonen und Blätter eine gewisse Beziehung besteht, erscheint im hohen Grade wahrscheinlich. Denn die oben beschriebenen *Smithia* und *Oxalis* sind beide *sensitiva* genannt worden, weil ihre Blätter sensitiv sind; und obgleich die Blätter mehrerer Species von *Cassia* gegen Berührung nicht empfindlich sind, nehmen sie doch, wenn ein Zweig erschüttert oder mit Wasser bespritzt wird, zum Theil ihre nächtliche, nach abwärts hängende Stellung wieder ein. Es ist aber die Beziehung zwischen der Empfindlichkeit gegen Berührung bei Cotyledonen und bei Blättern einer und der nämlichen Pflanze nicht sehr nahe, wie sich daraus schlieszen lässt, dasz die Cotyledonen von *Mimosa pudica* nur unbedeutend sensitiv sind, während von den Blättern es sehr bekannt ist, dasz sie es im hohen Grade sind. Ferner sind die Blätter von *Nepentia oleracea* gegen Berührung sehr empfindlich, während die Cotyledonen dies in durchaus keinem Grade zu sein scheinen.

Drittes Capitel.

Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen Berührung und gegen andere Reize.

Art und Weise, in welcher die Würzelchen sich biegen, wenn sie im Boden auf ein Hindernis treffen. — *Vicia faba*. Die Spitzen der Würzelchen im hohen Grade gegen Berührung und andere Reize empfindlich. — Wirkungen einer zu hohen Temperatur. — Vermögen, zwischen auf gegenüberliegenden Seiten angehefteten Gegenständen zu unterscheiden. — Die Spitzen secundärer Würzelchen sensitiv. — *Pisum*. Spitzen der Würzelchen sensitiv. — Wirkungen einer derartigen Empfindlichkeit bei der Überwindung des Geotropismus. — Secundäre Würzelchen. — *Phaseolus*. Spitzen der Würzelchen gegen Berührung kaum empfindlich, gegen Ätzmittel aber in hohem Grade empfindlich, ebenso wie gegen die Entfernung eines Schnittchens. — *Tropaeolum*. — *Gossypium*. — *Cucurbita*. — *Raphanus*. — *Aesculus*. Die Spitze gegen leichte Berührung nicht empfindlich, gegen Ätzmittel in hohem Grade empfindlich. — *Quercus*. Spitze gegen Berührung in hohem Grade empfindlich. — Unterscheidungsvermögen. — *Zea*. Spitze in hohem Grade empfindlich, secundäre Würzelchen. — Empfindlichkeit der Würzelchen gegen feuchte Luft. — Zusammenfassung des Capitel.

Um zu sehen, wie die Würzelchen von Sämlingen über Steine, Wurzeln und andere Hindernisse, welche sie im Boden beständig antreffen müssen, hinwegkommen, wurden keimende Bohnen (*Vicia faba*) so gestellt, dass die Spitzen der Würzelchen beinahe rechtwinklig oder unter einem hohen Winkel mit darunterliegenden Glasplatten in Berührung kamen. In anderen Fällen wurden die Bohnen herumgedreht, während ihre Würzelchen wuchsen, sodass sie nahezu senkrecht auf ihrer eigenen, beinahe platten, breiten, oberen Fläche hinabstiegen. Die zarte Wurzelkappe wurde, wenn sie zuerst irgend eine direct entgegenstehende Fläche berührte, ein wenig quer abgeplattet. Die Abplattung wurde bald schräg und verschwand in einigen wenigen Stunden, vollständig. Die Spitze wies nun unter rechtem Winkel oder nahezu rechtwinklig auf ihren früheren Verlauf. Dann schien das Würzelchen

in seiner neuen Richtung über die Fläche, welche ihr entgegengestellt war, zu gleiten und nur mit sehr geringer Kraft auf sie zu drücken. In wie weit solche plötzliche Änderungen in seinem früheren Verlauf durch die Circumnutation der Spitze unterstützt werden, musz zweifelhaft gelassen werden. Dünne Scheibchen Holz wurden auf mehr oder weniger steil geneigte Glasplatten, rechtwinklig auf die ihnen entlang hinabgleitenden Würzelchen gekittet. Entlang dem wachsenden terminalen Theile einiger dieser Würzelchen waren gerade Linien aufgemalt worden, ehe sie das entgegenstehende Holzstückchen trafen; und in zwei Stunden, nachdem die Spitze in Berührung mit dem Stückchen gekommen war, waren die Linien merklich gekrümmt. In einem Falle war die Wurzelkappe eines Würzelchens, welches ziemlich langsam wuchs, nachdem es ein rauhes Stückchen Holz unter rechten Winkeln getroffen hatte, zuerst unbedeutend quer abgeplattet; nach Verlauf von 2 Stunden 30 Min. wurde die Abplattung schräg, und nach weiteren 3 Stunden war die Abplattung vollständig verschwunden; die Spitze wies nun rechtwinklig auf ihren früheren Verlauf. Dann fuhr sie fort dem Holzstückchen entlang in ihrer neuen Richtung zu wachsen, bis sie zum Ende desselben kam, um welches sie sich rechtwinklig herumbog. Als sie bald darauf an den Rand der Glasplatte kam, wurde sie wiederum unter einem groszen Winkel gebogen und hieng senkrecht in den feuchten Sand hinab.

Wenn Würzelchen, wie in den obigen Fällen, ein Hindernis unter rechtem Winkel auf ihren Wegen begegnete, wurde der terminale, wachsende Theil in einer Länge von zwischen 0,3 und 0,4 Zoll (8 bis 10 mm), von der Spitze aus gemessen, gekrümmt. Dies zeigte sich sehr gut durch die schwarzen Linien, welche vorher auf sie gemalt worden waren. Die erste und augenscheinlichste Erklärung der Krümmung ist die, dasz sie einfach ein Resultat des mechanischen Widerstandes gegen das Wachsthum des Würzelchens in seiner ursprünglichen Richtung ist. Trotzdem schien uns diese Erklärung nicht genügend zu sein. Die Würzelchen boten nicht das Ansehen dar, als seien sie einem hinreichenden Drucke ausgesetzt gewesen, um ihre Krümmung daraus zu erklären; und SACHS¹ hat gezeigt, dasz der wachsende Theil steifer ist, als der Theil unmittelbar darüber, welcher zu wachsen aufgehört hat, so dasz man hätte erwarten können, dasz

¹ Arbeiten des Botan. Instituts Würzburg, 3. Heft 1873 p. 398.

der letztere nachgebe und gekrümmt werde, sobald die Spitze einen nicht nachgebenden Gegenstand träge, während es der steife wachsende Theil ist, welcher gekrümmt wird. Überdies wird ein Gegenstand, welcher mit der grössten Leichtigkeit nachgibt, ein Würzelchen ablenken: als, wie wir gesehen haben, die Spitze des Würzelchens der Bohne die polirte Oberfläche einer äusserst dünnen Stanniolplatte, welche auf weichem Sande lag, traf, blieb kein Eindruck auf ihr zurück, und doch wurde das Würzelchen rechtwinklig abgebogen. Es fiel uns eine zweite Erklärung ein, nämlich, dass selbst der leichteste Druck das Wachsthum der Spitze aufhalten könnte, und in diesem Falle würde das Wachsthum nur auf einer Seite fort dauern, und das Würzelchen würde hiernach eine rechtwinklige Form annehmen; diese Ansicht lässt aber die Krümmung des oberen Theils in einer Ausdehnung von einer Länge von 8—10 mm vollständig unerklärt.

Wir wurden daher zu der Vermuthung geführt, dass die Spitze gegen Berührung empfindlich sei, und dass eine Wirkung von ihr aus dem oberen Theile des Würzelchens übermittelt würde, welches hierdurch angeregt würde, sich von dem berührenden Gegenstande abzubiegen. Da eine kleine Schleife feinen Fadens, an eine Ranke oder an den Stiel einer blattkletternden Pflanze gehangen, die Biegung dieser Theile verursacht, so glaubten wir, dass irgend ein kleiner harter Gegenstand, an die Spitze eines frei aufgehängten und in feuchter Luft wachsenden Würzelchens befestigt, es veranlassen könnte sich zu biegen, wenn es sensitiv wäre, und würde doch keinerlei mechanischen Widerstand gegen sein Wachsthum ausüben. Wir wollen ausführliche Details der angestellten Versuche mittheilen, da das Resultat sich als ein merkwürdiges herausstellte. Die Thatsache, dass die Spitze eines Würzelchens gegen Berührung empfindlich ist, ist niemals beobachtet worden, obschon, wie wir später sehen werden, SACHS entdeckt hat, dass das Würzelchen ein wenig oberhalb der Spitze sensitiv ist und gleich einer Ranke nach dem berührten Gegenstande hin sich beugt. Wenn aber eine Seite der Spitze durch irgend einen Gegenstand gedrückt wird, biegt sich der wachsende Theil vom Gegenstande ab, und dies scheint eine wundervolle Anpassung zu sein, um Hindernisse am Boden zu vermeiden, und, wie wir später sehen werden, um den Richtungen des geringsten Widerstandes zu folgen. Viele Organe beugen sich bei der Berührung in einer feststehenden Richtung, so die Staubfäden von *Berberis*, die Blattlappen von *Dionaea* etc., und viele

Organe, so Ranken, mögen sie modificirte Blätter oder Blütenstengel sein, und einige wenige Stämme, biegen sich nach einem berührenden Gegenstande hin; aber, wie wir meinen, ist kein Fall bekannt, in dem sich ein Organ von einem berührenden Gegenstande abbiegt.

Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens von *Vicia faba*. — Nachdem gemeine Bohnen 24 Stunden lang in Wasser eingeweicht worden waren, wurden sie mit dem Hilum abwärts (in der von SACHS schon befolgten Art) angestochen an die Innenseite der Korkstöpsel von Glasgefäßen gehängt, welche halb mit Wasser gefüllt waren. Die Seiten und die Korke wurden gut befeuchtet und Licht wurde ausgeschlossen. Sobald die Bohnen Würzelchen vorgetrieben hatten, einige bis zu einer Länge von weniger als $\frac{1}{10}$ Zoll und andere bis zu einer Länge von mehreren Zehnteln, wurden kleine viereckige oder oblonge Stückchen Cartons auf die kurzen abfallenden Seiten ihrer conischen Spitzen befestigt. Die kleinen Vierecke hiengen daher schräg in Bezug zur Längenchse des Würzelchens; und dies ist eine sehr nothwendige Vorsicht; denn wenn die Cartonstückchen zufällig aus dieser Stellung kamen oder durch den angewendeten Klebstoff aus derselben gezogen wurden, sodasz sie parallel zur Seite des Würzelchens hiengen, wenn schon nur eine geringe Entfernung oberhalb der conischen Spitze, bog sich das Würzelchen doch nicht in der eigenthümlichen Art und Weise, welche wir hier betrachten. Vierecke von ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll (d. h. ungefähr $\frac{1}{2}$ mm) oder oblonge Stückchen von nahezu derselben Grösse wurden als die zweckmässigsten und wirksamsten befunden. Wir wendeten zuerst gewöhnlichen dünnen Carton an, so wie von Visitenkarten, oder Stückchen sehr dünnen Glases und verschiedene andere Gegenstände; aber später wurde hauptsächlich Sandpapier angewendet, denn es war beinahe so steif wie dünner Carton, und die rauhe Oberfläche begünstigte sein Anhängen. Anfangs benutzten wir allgemein sehr dickes Gummiwasser; und dies trocknete natürlich unter den gegebenen Verhältnissen nicht im Mindesten, im Gegentheil es schien uns zuweilen Wasser zu absorbiren, sodasz die Cartonstückchen durch eine Schicht von Flüssigkeit von der Spitze getrennt wurden. Fand keine derartige Absorption statt, und wurde der Carton nicht aus seiner Stellung gebracht, so wirkte dasselbe ganz gut und veranlaszte das Würzelchen sich nach der entgegengesetzten Seite zu biegen. Ich musz noch hinzufügen, dasz dickes Gummiwasser

allein keinerlei Wirkung hervorbringt. In den meisten Fällen wurden die Cartonstückchen mit einer äusserst geringen Quantität einer Lösung von Schellack in Spiritus berührt, welchen man hatte verdampfen lassen, bis sie dick wurde; sie wurde dann in einigen wenigen Secunden hart und fixirte die Cartonstückchen ganz gut. Wenn kleine Tropfen der Schellacklösung auf die Spitze gebracht wurden ohne irgend welchen Carton, so trockneten sie zu kleinen harten Perlen ein, und diese wirkten wie jeder andere harte Gegenstand und veranlaszten die Würzelchen sich nach der entgegengesetzten Seite zu biegen. Selbst äusserst minutiöse Schellacktröpfchen wirkten gelegentlich in einem unbedeutenden Grade, wie später beschrieben werden wird. Daz es aber die Cartonstückchen waren, welche hauptsächlich in unseren vielen Versuchen wirkten, wurde dadurch bewiesen, daz die eine Seite der Spitze mit einem kleinen Stückchen Goldschlägerhäutchen (welches für sich allein kaum wirkt) bekleidet und dann ein Stückchen Carton auf das Häutchen mit Schellack, welcher mit dem Würzelchen nie in Berührung kam, fixirt wurde. Trotzdem bewegte sich das Würzelchen von dem angehefteten Carton in der gewöhnlichen Weise ab.

Es wurden noch einige sofort zu beschreibende vorläufige Versuche angestellt, durch welche die gehörige Temperatur bestimmt wurde, und dann wurden die folgenden Versuche ausgeführt. Es musz vorausgeschickt werden, daz die Bohnen immer so an die Korkstöpsel befestigt wurden, — der Bequemlichkeit der Handhabung wegen — daz der Rand, aus welchem das Würzelchen und die Plumula hervortraten, nach auszen stand; und es musz daran erinnert werden, daz in Folge dessen, was wir SACHS' Krümmung genannt haben, die Würzelchen, anstatt senkrecht nach unten zu wachsen, häufig etwas und selbst bis zu ungefähr 25° nach innen oder unter die aufgehängte Bohne hinein sich biegen. Wenn daher ein Cartonviereck an der Spitze vorn fixirt wurde, fiel die Krümmung desselben, welche hierdurch veranlaszt wurde, mit SACHS' Krümmung zusammen und konnte von ihr nur dadurch unterschieden werden, daz sie stärker ausgeprägt war oder schneller eintrat. Um diese Zweifelsquelle zu vermeiden, wurden die kleinen Vierecke entweder hinten befestigt, so daz sie eine Krümmung in geradem Gegensatze zu SACHS' Krümmung verursachten oder noch gewöhnlicher auf der rechten oder linken Seite. Der Kürze wegen wollen wir von den Cartonstückchen u. s. w. als vorn oder hinten oder seitlich befestigt sprechen. Da die Hauptkrümmung des

Würzelchens in einer geringen Entfernung von der Spitze lag, und da die äussersten Theile, der terminale und basale, nahezu gerade sind, ist es möglich in einer gröberen Art und Weise den Betrag der Krümmung durch einen Winkel abzuschätzen, und wenn gesagt wird, dasz das Würzelchen unter irgend einem Winkel von der Senkrechten abgelenkt wird, so heiszt das, dasz die Spitze um so und soviel Grad von der Richtung nach abwärts, welche sie naturgemäsz eingeschlagen haben würde, und nach der Seite, welche der, auf welcher der Carton befestigt wurde, entgegenlag, in die Höhe gewendet wurde. Damit der Leser eine deutliche Idee von der Art von Bewegung, die durch die Stückchen angehefteten Cartons erregt wurde, erhalte, fügen wir hier genaue Skizzen dreier keimender Bohnen, die in dieser Weise behandelt wurden.

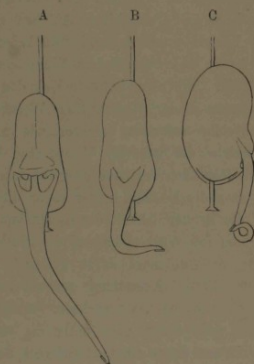


Fig. 65. *Vicia faba*: A das Würzelchen beginnt sich von dem kleinen angehefteten Cartonviereck weg zu biegen; B unter rechtem Winkel gebogen; C in einen Kreis oder eine Schlinge gebogen; die Spitze beginnt durch die Einwirkung des Geotropismus sich abwärts zu biegen.

und die aus mehreren Exemplaren ausgewählt sind, bei, um die Abstufungen in den Graden der Krümmung zu zeigen. Wir wollen nun im Einzelnen eine Reihe von Experimenten mittheilen und später eine Zusammenfassung der Resultate geben.

In den ersten zwölf Versuchen wurden kleine Vierecke oder Oblonge von Sandcarton von 1,8 mm Länge und 1,5 oder nur 0,9 mm Breite (d. h. 0,071 Zoll Länge und 0,059 oder 0,035 Zoll Breite) mit Schel-

lack an die Spitze der Würzelchen befestigt. In den späteren Versuchen wurden die kleinen Vierecke nur gelegentlich gemessen, waren aber ungefähr von derselben Größe.

1. Ein junges, 4 mm langes Würzelchen mit einem Cartonstückchen hinten befestigt: nach 9 Stunden in der Ebene, in welcher die Bohne abgeplattet ist, 50° von der Senkrechten und vom Carton abgebeugt, im Gegensatz zu SACHS' Krümmung: am nächsten Morgen, 23 Stunden von der Zeit der Befestigung an, keine Veränderung.

2. Würzelchen 5,5 mm lang, Cartonstückchen hinten befestigt: nach 9 Stunden in der Ebene der Bohne 20° von der Senkrechten und vom Carton abgebeugt im Gegensatz zu SACHS' Krümmung: nach 23 Stunden keine Veränderung.

3. Würzelchen 11 mm lang, Cartonstückchen hinten befestigt: nach 9 Stunden in der Ebene der Bohne 40° von der Senkrechten und vom Carton abgebeugt im Gegensatz zu SACHS' Krümmung. Die Spitze des Würzelchens mehr gekrümmt als der obere Theil, aber in derselben Ebene. Nach 23 Stunden war die äusserste Spitze unbedeutend nach dem Carton zu gebogen, während die allgemeine Krümmung des Würzelchens dieselbe geblieben war.

4. Würzelchen 9 mm lang, Cartonstückchen hinten und ein wenig seitlich befestigt: nach 9 Stunden in der Ebene der Bohne nur ungefähr 7° oder 8° von der Senkrechten und vom Carton abgebogen im Gegensatz zu SACHS' Krümmung. Ausserdem bestand noch eine unbedeutende seitliche, theilweise vom Carton abgerichtete Krümmung. Nach 23 Stunden keine Veränderung.

5. Würzelchen 8 mm lang, Cartonstückchen beinahe seitlich befestigt: nach 9 Stunden 30° von der Senkrechten in der Ebene der Bohne und im Gegensatz zu SACHS' Krümmung abgebeugt, also in einer Ebene abgebogen, welche rechtwinklig zu der obigen lag und zwar 20° von der Senkrechten: nach 23 Stunden keine Veränderung.

6. Würzelchen 9 mm lang, Cartonstückchen vorn befestigt: nach 9 Stunden in der Ebene der Bohne ungefähr 40° von der Senkrechten abgebeugt, von dem Cartonstückchen weg und in der Richtung von SACHS' Krümmung. Wir haben daher hier keinen Beweis dafür, dass das Cartonstückchen die Ursache der Abbiegung war, ausgenommen, dass sich ein Würzelchen niemals, soweit wir gesehen haben, von selbst so stark wie 40° im Laufe von 9 Stunden bewegte. Nach 23 Stunden keine Veränderung.

7. Würzelchen 7 mm lang, Cartonstückchen auf dem Rücken befestigt: nach 9 Stunden war der terminale Theil des Würzelchens in der Ebene der Bohne 20° von der Senkrechten, vom Cartonstückchen weg und im Gegensatz zu SACHS' Krümmung abgebogen. Nach 22 Stunden 30 Min. war dieser Theil des Würzelchens gerade geworden.

8. Würzelchen 12 mm lang, Cartonstückchen beinahe seitlich befestigt: nach 9 Stunden seitwärts in einer rechtwinklig zu der der Bohne stehenden Ebene zwischen 40° und 50° von der Senkrechten und vom Cartonstückchen abgebogen. In der Ebene der Bohne selbst betrug die Ablenkung 8° oder 9° von der Senkrechten und vom Cartonstückchen weg im Gegensatz zu SACHS' Krümmung. Nach 22 Stunden 30 Min. war die äusserste Spitze unbedeutend nach dem Carton hin gekrümmt worden.

9. Cartonstückchen seitlich befestigt; nach 11 Stunden 30 Min. noch keine Wirkung. Das Würzelchen stand noch immer beinahe senkrecht.

10. Cartonstückchen beinahe seitlich befestigt: Nach 11 Stunden 30 Min. 90° von der Senkrechten und von dem Carton in einer Ebene abgebogen, welche zwischen der der Bohne selbst und einer rechtwinklig darauf stehenden zwischen inne liegt. Das Würzelchen folglich zum Theil von SACHS' Krümmung abgebogen.

11. Spitze des Würzelchens mit Goldschlägerhäutchen geschützt und ein Viereck von Carton von den gewöhnlichen Dimensionen mit Schellack darauf befestigt; nach 11 Stunden bedeutend in der Ebene der Bohne in der Richtung von SACHS' Krümmung abgebogen, aber in einem viel höheren Grade und in geringerer Zeit als jemals von selbst eintritt.

12. Spitze des Würzelchens wie in dem letzten Falle geschützt; nach 11 Stunden keine Wirkung, aber nach 24 Stunden 40 Min. war das Würzelchen deutlich vom Carton abgebogen. Diese langsame Wirkung war wahrscheinlich Folge davon, dasz eine Partie des Goldschlägerhäutchens sich herumgerollt hatte und die gegenüberliegende Seite der Spitze leicht berührte und sie dadurch reizte.

13. Bei einem Würzelchen von beträchtlicher Länge wurde ein kleines Viereck von Carton mit Schellack seitlich an die Spitze befestigt; nach nur 7 Stunden 15 Min. war ein Stück von 0,4 mm Länge von der Spitze, der Mitte entlang gemessen, beträchtlich von der das Cartonstückchen tragenden Seite weggekrümmt.

14. Fall wie der letzte in allen Beziehungen ausgenommen, dasz nur ein Stück von 0,25 Zoll Länge des Würzelchens in dieser Weise abgebogen wurde.

15. Ein kleines Viereck von Carton war mit Schellack an die Spitze eines jungen Würzelchens befestigt; nach 9 Stunden 15 Min. war es 90° von der Senkrechten und vom Carton abgebogen. Nach 24 Stunden hatte die Ablenkung bedeutend abgenommen und war nach einem weiteren Tage bis zu 23° von der Senkrechten reducirt worden.

16. Cartonviereck mit Schellack hinter der Spitze eines Würzelchens befestigt, welches, weil seine Stellung während des Wachstums verändert worden war, sehr gekrümmt worden war: die terminale Partie war aber gerade, und diese wurde bis ungefähr 45° von der Senkrechten und vom Carton im Gegensatz zu SACHS' Krümmung abgebogen.

17. Cartonviereck mit Schellack befestigt; nach 8 Stunden war das Würzelchen unter rechtem Winkel von der Senkrechten und von dem Carton abgekrümmt. Nach 15 weiteren Stunden hatte die Krümmung bedeutend abgenommen.

18. Cartonviereck mit Schellack befestigt; nach 8 Stunden keine Wirkung; nach 23 Stunden 3 Min., von der Zeit der Anheftung an, war das Würzelchen bedeutend von dem Viereck abgekrümmt.

19. Cartonviereck mit Schellack befestigt. Nach 24 Stunden keine Wirkung. Das Würzelchen war aber nicht gewachsen und schien krank zu sein.

20. Cartonviereck mit Schellack befestigt. Nach 24 Stunden keine Wirkung.

21. 22. Cartonviereck mit Schellack befestigt; nach 24 Stunden waren die Würzelchen von beiden Bohnen zu ungefähr 45° von der Senkrechten und von den Cartonstückchen weggekrümmt.

23. Cartonviereck mit Schellack an ein junges Würzelchen befestigt; nach 9 Stunden war es sehr unbedeutend vom Carton weggekrümmt; nach 24 Stunden war die Spitze nach dem Carton hingekrümmt. Ein neues Viereck seitlich befestigt; nach 9 Stunden deutlich vom Carton abgekrümmt und nach 24 Stunden rechtwinklig von der Senkrechten und vom Carton weggekrümmt.

24. Ein ziemlich groszes oblonges Stück Carton mit Schellack an die Spitze befestigt; nach 24 Stunden keine Wirkung. Es fand sich aber, dasz der Carton die Spitze nicht berührte. Es wurde nun von neuem ein kleines Viereck mit Schellack befestigt; nach 16 Stunden unbedeutende Abbiegung von der Senkrechten und vom Carton ab; nach einem weiteren Tage wurde das Würzelchen beinahe grade.

25. Cartonviereck seitlich an die Spitze eines jungen Würzelchens befestigt; nach 9 Stunden war die Ablenkung von der Senkrechten beträchtlich, nach 24 Stunden war sie vermindert. Ein frisches Viereck mit Schellack befestigt; nach 24 Stunden betrug die Abbiegung ungefähr 40° von der Senkrechten und vom Carton.

26. Ein sehr kleines Cartonviereck mit Schellack an die Spitze eines jungen Würzelchens befestigt; nach 9 Stunden betrug die Abbiegung von der Senkrechten und von dem Carton nahezu einen rechten Winkel; nach 9 Stunden war die Abbiegung bedeutend vermindert und nach weiteren 24 Stunden war das Würzelchen beinahe grade.

27. Cartonviereck mit Schellack an die Spitze eines jungen Würzelchens befestigt; nach 9 Stunden betrug die Biegung von dem Carton und von der Senkrechten einen rechten Winkel; am nächsten Morgen war das Würzelchen vollkommen grade. Es wurde ein neues Viereck seitlich mit Schellack befestigt; nach 9 Stunden ein wenig Abbiegung, welche nach 24 Stunden bis nahezu 20° von der Senkrechten und vom Carton zunahm.

28. Cartonviereck mit Schellack befestigt; nach 9 Stunden etwas Abbiegung; am nächsten Morgen fiel das Cartonstückchen ab; mit Schellack von neuem befestigt; es wurde wieder locker und von neuem befestigt; und nun wurde bei dem dritten Versuche das Würzelchen nach 14 Stunden unter rechtem Winkel von dem Carton abgebogen.

29. Ein kleines Cartonviereck wurde zuerst mit dickem Gummiwasser an der Spitze befestigt. Es brachte eine geringe Wirkung hervor, fiel aber bald ab. Ein ähnliches Viereck wurde nun seitlich mit Schellack befestigt; nach 9 Stunden war das Würzelchen nahezu 45° von der Senkrechten und vom Carton abgebogen; nach weiteren 36 Stunden war der Abbiegungswinkel bis auf 30° reducirt.

30. Ein sehr kleines, weniger als $\frac{1}{8}$ Zoll im Geviert groszes Stück dünnen Stanniols wurde mit Schellack an die Spitze eines jungen Würzelchens befestigt; nach 24 Stunden keine Wirkung. Stanniol entfernt und ein kleines Viereck von Sandcarton mit Schellack befestigt; nach 9 Stunden Abbiegung unter nahezu rechtem Winkel von den Senkrechten und von dem Carton. Am nächsten Morgen war die Abbiegung bis auf ungefähr 40° von der Senkrechten reducirt.

31. Ein Splitterchen dünnen Glases wurde an die Spitze mit Gummi befestigt: nach 9 Stunden keine Wirkung. Es fand sich aber dann, dass es die Spitze des Würzelchens nicht berührte. Am nächsten Morgen wurde ein Cartonviereck mit Schellack an dasselbe befestigt und nach 9 Stunden war das Würzelchen bedeutend vom Carton weggebogen. Nach zwei weiteren Tagen hatte die Abbiegung abgenommen und betrug nur 35° von der Senkrechten.

32. Ein kleines Viereck von Sandcarton wurde mit dickem Gummiwasser seitlich an die Spitze eines langen, geraden Würzelchens angeheftet: nach 6 Stunden war dies bedeutend von der Senkrechten und vom Carton abgebogen. Die Krümmung erstreckte sich auf eine Länge von 0,22 Zoll von der Spitze an. Nach drei weiteren Stunden war die terminale Partie rechtwinklig von der Senkrechten abgebogen. Am nächsten Morgen war die gekrümmte Partie 0,36 Zoll lang.

33. Cartonviereck mit Gummi an die Spitze befestigt: nach 15 Stunden unter nahezu 90° von der Senkrechten und vom Carton abgebogen.

34. Kleine oblonge Stückchen Sandcartons an die Spitze mit Gummi befestigt: nach 15 Stunden um 90° von der Senkrechten und vom Carton abgebogen: im Verlaufe der drei folgenden Tage wurde die terminale Partie stark zusammengedreht und schliesslich zu einer dichten Spirale aufgerollt.

35. Cartonviereck mit Gummi an die Spitze befestigt: nach 9 Stunden vom Carton abgebogen; nach 24 Stunden von der Zeit der Befestigung an war die Spitze bedeutend schräg und zum Theil im Gegensatz zu SACHS' Krümmung abgebogen.

36. Kleines Stück Carton, etwas kleiner als $\frac{1}{2}$ Zoll im Geviert, mit Gummi an die Spitze befestigt: in 9 Stunden beträchtlich vom Carton und im Gegensatz zu SACHS' Krümmung abgebogen; nach 24 Stunden bedeutend in derselben Richtung abgebogen. Nach einem weiteren Tage war die äusserste Spitze nach dem Carton zu gekrümmt.

37. Ein mit Gummi an die Spitze vorn befestigtes Cartonviereck verursachte nach 8 Stunden 30 Minuten kaum irgend welche Wirkung; ein frisches, seitlich angeheftetes Viereck bog das Würzelchen nach 15 Stunden beinahe unter 90° von der Senkrechten und vom Carton ab. Nach zwei weiteren Tagen war die Abbiegung bedeutend reducirt.

38. Cartonviereck mit Gummi an die Spitze befestigt: nach 9 Stunden bestand schon bedeutende Abbiegung, welche nach 24 Stunden, von der Zeit der Befestigung an, bis zu beinahe 90° zunahm. Nach einem weiteren Tage war die Endportion in eine Schlinge und am folgenden Tage in eine Schneckenspirale aufgerollt.

39. Kleines, oblonges Cartonstück mit Gummi an die Spitze beinahe vorn, aber ein wenig nach einer Seite hin befestigt: in 9 Stunden unbedeutend in der Richtung von SACHS' Krümmung, aber etwas schräg und nach der dem Carton entgegenstehenden Seite abgebogen. Am nächsten Tage in derselben Richtung mehr gekrümmt und nach zwei weiteren Tagen in einen Ring aufgerollt.

40. Cartonviereck mit Gummi an die Spitze befestigt: nach 9 Stunden unbedeutend vom Carton weggekrümmt: am nächsten Morgen war das Würzelchen gerade und die Spitze war über den Carton hinausgewachsen.

Ein anderes Viereck wurde seitlich mit Schellack befestigt: in 9 Stunden seitwärts abgebogen, aber auch in der Richtung von SACHS' Krümmung. Nach zwei weiteren Tagen hatte die Krümmung bedeutend in derselben Richtung zugenommen.

41. Ein kleines Viereck von Stanniol wurde mit Gummi auf eine Seite der Spitze eines jungen und kurzen Würzelchens befestigt: nach 15 Stunden keine Wirkung. Das Stanniolstückchen war aber aus der Lage gekommen. Es wurde nun ein kleines Cartonviereck an die eine Seite der Spitze mit Gummi befestigt: nach 8 Stunden 40 Minuten war die Spitze unbedeutend abgebogen. In 24 Stunden von der Zeit der Befestigung an betrug die Abbiegung 90° von der Senkrechten und vom Carton; nach 9 weiteren Stunden wurde das Würzelchen hakenförmig, wobei die Spitze nach dem Zenith hinwies. In drei Tagen von der Zeit der Befestigung an bildete die Endpartie des Würzelchens einen Ring oder Kreis.

42. Ein kleines Viereck von dickem Briefpapier wurde an die Spitze eines Würzelchens befestigt, welches nach 9 Stunden von ihm abgebogen war. In 24 Stunden nach der Zeit, wo das Papier angeheftet war, hatte die Abbiegung bedeutend zugenommen und nach zwei weiteren Tagen betrug sie bis zu 50° von der Senkrechten und vom Papier ab.

43. Ein schmales Schnittchen einer Federspule wurde mit Schellack an die Spitze eines Würzelchens befestigt: nach 9 Stunden keine Wirkung; nach 24 Stunden mäszige Abbiegung; aber nun hatte das Spulenstückchen aufgehört, die Spitze zu berühren. Das Spulenstückchen entfernt und ein kleines Cartonviereck an die Spitze mit Gummi befestigt, welches nach 8 Stunden unbedeutende Abbiegung verursachte. Am vierten Tage nach der ersten Anheftung irgend eines Gegenstandes war die äusserste Spitze nach dem Carton hingekrümmt.

44. Ein etwas langes und schmales Splitterchen äusserst dünnen Glases wurde mit Schellack an die Spitze befestigt. Es verursachte in 9 Stunden unbedeutende Abbiegung, welche in 24 Stunden verschwand; es ergab sich dann, dasz der Splitter die Spitze nicht berührte. Er wurde zweimal von neuem befestigt mit nahezu denselben Resultaten, d. h. er verursachte unbedeutende Abbiegung, welche bald verschwand. Am vierten Tage von der Zeit der ersten Anheftung an war die Spitze nach dem Splitter hingebogen.

Aus diesen Versuchen geht deutlich hervor, dasz die Spitze des Würzelchens der Bohne gegen Berührung empfindlich ist, und dasz diese den oberen Theil von dem berührenden Gegenstande wegzubiegen veranlaszt. Ehe wir aber eine Zusammenfassung der Resultate geben, wird es zweckmäszig sein, in Kürze einige wenige andere Beobachtungen mitzutheilen. Stückchen sehr dünnen Glases und kleine Vierecke gewöhnlichen Cartons wurden mit dickem Gummiwasser an die Spitzen der Würzelchen von sieben Bohnen befestigt, als vorläufiger Versuch. Sechs von diesen wurden deutlich beeinflusst, und in zwei Fällen wurden die Würzelchen in vollständige Schlingen aufgerollt. Ein Würzelchen

wurde in einer so kurzen Zeit wie 6 Stunden 10 Minuten in einen Halbkreis gekrümmt. Das siebente Würzelchen, welches nicht beeinflusst wurde, war allem Anschein nach kränklich, da es am folgenden Tage braun wurde, so dasz es keine wirkliche Ausnahme bildete. Einige von diesen Versuchen wurden im zeitigen Frühjahr während kalten Wetters in einem Wohnzimmer und andere in einem Gewächshause angestellt; die Temperatur wurde aber nicht aufgezeichnet. Diese sechs auffallenden Fälle überzeugten uns beinahe, dasz die Spitze empfindlich sei, aber wir entschlossen uns natürlich viel mehr Versuche anzustellen. Da wir bemerkt hatten, dasz die Würzelchen viel schneller wuchsen, wenn sie beträchtlicher Wärme ausgesetzt sind, und da wir uns vorstellten, dasz Wärme auch ihre Empfindlichkeit erhöhen werde, wurden Gefässe mit keimenden Bohnen in feuchter Luft über den Kamin gestellt, wo sie während des grösseren Theiles des Tages einer Temperatur von zwischen $16\frac{1}{2}$ und $22,2^{\circ}$ C. ausgesetzt waren; einige wurden indessen in das Warmhaus gebracht, wo die Temperatur noch etwas höher war. Über zwei Dutzend Bohnen wurden in dieser Weise dem Versuche unterworfen, und wenn ein Viereck von Glas oder Carton nicht wirkte, wurde es entfernt und ein frisches befestigt. Dies wurde häufig dreimal mit einem und demselben Würzelchen gethan. Es wurden daher im Ganzen zwischen fünf und sechs Dutzend Versuche angestellt. Es trat aber eine mäszig deutliche Abbiegung von der Senkrechten und von dem angehefteten Gegenstande nur in einem Würzelchen unter dieser groszen Anzahl von Fällen ein. In fünf anderen Fällen fand sich sehr unbedeutende und zweifelhafte Abbiegung. Wir waren über dieses Resultat erstaunt und schlossen, dasz wir in den ersten sechs Experimenten irgend ein unerklärliches Versehen gemacht hätten. Ehe wir aber schliesslich den Gegenstand verlieszen, beschlossen wir noch einen weiteren Versuch zu machen; denn es kam uns der Gedanke, dasz die Empfindlichkeit leicht von äusseren Bedingungen beeinflusst werde, und dasz natürlich in der Erde im zeitigen Frühjahr wachsende Würzelchen keiner auch nahezu so hohen Temperatur wie 21° C. ausgesetzt sein dürften. Wir lieszen daher die Würzelchen von zwölf Bohnen in einer Temperatur von zwischen $12,7$ und $15\frac{1}{2}^{\circ}$ C. wachsen. Das Resultat war, dasz in jedem einzelnen dieser Fälle (welche in den oben beschriebenen Versuchen eingeschlossen sind) das Würzelchen im Verlaufe einiger weniger Stunden vom angehefteten Gegenstande abgobogen war. Alle die oben

berichteten erfolgreichen Versuche und einige andere sofort mitzutheilende wurden in einem Wohnzimmer bei der oben speciell angeführten Temperatur angestellt. Es scheint daher, dass eine Temperatur von ungefähr, oder etwas über 21° C. die Empfindlichkeit der Würzelchen entweder direct oder indirect durch abnorm beschleunigtes Wachsthum zerstört; und diese merkwürdige Thatsache erklärt wahrscheinlich, warum SACHS, welcher ausdrücklich angibt, dass seine Bohnen unter einer hohen Temperatur gehalten wurden, vergebens die Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens zu finden versuchte.

Aber noch andere Ursachen stören diese Empfindlichkeit. Achtzehn Würzelchen wurden dem Versuche unterworfen, denen kleine Vierecke von Sandcarton bei einigen mit Schellack, bei einigen mit Gummivasser während der wenigen letzten Tage von 1878 und der ersten Tage des nächsten Jahres angeheftet wurden. Sie wurden in einem Zimmer in der gewöhnlichen Temperatur während des Tages gehalten, standen aber wahrscheinlich des Nachts zu kalt, da um diese Zeit ein harter Frost eintrat. Die Würzelchen sahen gesund aus, wuchsen aber sehr langsam. Das Resultat war, dass nur sechs von diesen achtzehn von den angehefteten Cartonstückchen abgelenkt wurden, und dies nur in unbedeutendem Grade und mit sehr geringer Geschwindigkeit. Diese Würzelchen boten daher einen auffallenden Contrast zu den 44 oben beschriebenen dar. Am 6. und 7. März, als die Temperatur des Zimmers zwischen $11,5$ und 15° C. schwankte, wurden an elf keimenden Bohnen in derselben Art Versuche angestellt, und nun wurde jedes einzelne der Würzelchen von den Cartonstückchen weggekrümmt, wiewohl eines nur unbedeutend gebogen wurde. Einige Gärtner meinen, dass gewisse Arten von Samen in der Mitte des Winters nicht ordentlich keimen, obgleich sie in der richtigen Temperatur gehalten werden. Wenn wirklich irgend eine besondere Zeit für die Keimung besteht, könnte der schwache Grad von Empfindlichkeit der obigen Würzelchen das Resultat davon sein, dass der Versuch in der Mitte des Winters angestellt wurde, und nicht einfach davon, dass die Würzelchen zu kalt waren. Endlich wurden die Würzelchen von vier Bohnen, welche aus irgend einer innern Ursache später als alle die übrigen desselben Satzes keimten, und welche langsam wuchsen, obschon sie gesund aussahen, in ähnlicher Weise dem Versuche unterworfen und selbst nach 24 Stunden waren sie kaum irgend wie von den angehefteten Cartonstückchen abgelenkt. Wir können daher

schlieszen, dasz irgend welche Ursache, welche das Wachstum der Würzelchen entweder langsamer oder schneller als die gewöhnliche Geschwindigkeit macht, die Empfindlichkeit ihrer Spitzen gegen Berührung verringert oder vernichtet. Es verdient besondere Aufmerksamkeit, dasz, wenn die angehefteten Gegenstände keine Wirkung ausübten, keinerlei Biegung irgend welcher Art eintrat, ausgenommen SACHS' Krümmung. Die Beweiskraft unsrer Versuche würde bedeutend geschwächt werden, wenn gelegentlich, obschon selten, die Würzelchen in irgend einer von den angehefteten Gegenständen unabhängigen Richtung gekrümmt worden wären. In den vorstehend mit Zahlen angeführten Versuchen indessen kann man bemerken, dass die äusserste Spitze zuweilen nach einem beträchtlichen Zeitverlaufe plötzlich gegen das Cartonstückchen gekrümmt wird; dies ist aber eine gänzlich verschiedene Erscheinung, wie sofort erklärt werden wird.

Zusammenfassung der Resultate der vorstehenden Experimente an den Würzelchen von *Vicia faba*. — Im Ganzen wurden kleine Vierecke (ungefähr $\frac{1}{20}$ Zoll grosz) meistens von Sandpapier, welches so steif war wie dünner Carton (zwischen 0,15 und 0,20 mm dick), zuweilen von gewöhnlichem Carton oder kleinen Bruchstücken sehr dünnen Glases u. s. w. zu verschiedenen Zeiten auf die eine Seite der conischen Spitzen von 55 Würzelchen befestigt. Die elf zuletzt erwähnten Fälle, aber nicht die vorläufigen, werden hier mit eingeschlossen. Die Vierecke u. s. w. wurden am häufigsten mit Schellack befestigt, aber in 19 Fällen mit dickem Gummiwasser. Wenn das letztere gebraucht wurde, fand sich, dasz die Vierecke, wie früher angegeben wurde, zuweilen von der Spitze des Würzelchens durch eine Schicht dicker Flüssigkeit getrennt waren, so dasz keine Berührung stattfand und in Folge dessen auch keine Biegung des Würzelchens, und derartige wenige Fälle wurden nicht aufgeführt. In jedem Falle aber, in welchem Schellack angewendet wurde, wurde, wenn das Viereck nicht sehr bald abfiel, das Resultat mitgetheilt. In mehreren Fällen, wo die Vierecke aus ihrer Lage kamen, so dasz sie parallel zu dem Würzelchen standen, oder wo sie durch die Flüssigkeit von der Spitze getrennt wurden oder bald abfielen, wurden frische Vierecke angeheftet, und diese Fälle (unter der gezählten Reihe aufgeführt) sind hier mit eingeschlossen. Unter 55 Würzelchen, an denen unter der gehörigen Temperatur Experimente angestellt wurden, wurden 52 meist in beträchtlicher Ausdehnung von der Senkrechten und von der Seite weg-

gebogen, an welcher der Gegenstand befestigt war. Von den drei fehlgeschlagenen Versuchen kann der eine dadurch erklärt werden, dass das Würzelchen am folgenden Tage kränklich war; ein zweites wurde nur 11 Stunden 30 Minuten lang beobachtet. Da in mehreren Fällen die terminal wachsende Partie des Würzelchens einige Zeit fortfuhr, sich von dem angehefteten Gegenstande wegzubiegen, bildete es einen Haken, dessen Spitze nach dem Zenith hinwies, oder selbst einen Ring und gelegentlich eine Spirale oder Schneckenwindung. Es ist merkwürdig, dass diese letzteren Fälle häufiger vorkamen, wenn Gegenstände mit dickem Gummiwasser angeheftet wurden, welches niemals trocken wurde, als wenn Schellack angewendet wurde. Die Krümmung war oft in einer Zeit von 7 Stunden bis 11 Stunden gut ausgesprochen; und in einem Falle wurde ein Halbkreis in 6 Stunden 10 Minuten von der Zeit der Anheftung an gebildet. Um aber die Erscheinung so gut entfaltet zu sehen, wie in den oben beschriebenen Fällen, ist es unerlässlich, dass die Cartonstückchen u. s. w. dicht an eine Seite der conischen Spitze zum Anhängen gebracht werden, dass gesunde Würzelchen ausgewählt und in weder zu hoher noch zu niedriger Temperatur gehalten werden, und, allem Anscheine nach, dass die Versuche nicht in der Mitte des Winters angestellt werden.

In zehn Fällen wurden Würzelchen, welche von einem Cartonviereck oder einem anderen an ihren Spitzen befestigten Gegenstande weg gekrümmt worden waren, bis zu einem gewissen Grade oder selbst vollständig im Laufe von einem oder zwei Tagen von der Zeit der Anheftung an, wieder gerade gestreckt. Dies trat besonders gern dann ein, wenn die Krümmung unbedeutend war, aber in einem Falle (Nr. 27) wurde ein Würzelchen, welches in 9 Stunden ungefähr 90° von der Senkrechten abgelenkt worden war, in 24 Stunden von der Zeit der Anheftung an vollkommen gerade. Bei Nr. 26 wurde das Würzelchen in 48 Stunden beinahe gerade. Wirschrieben diesen Geradestreckungsprocesz dem Umstande zu, dass die Würzelchen an einen unbedeutenden Reiz gewöhnt würden, in derselben Weise, wie eine Ranke oder ein sensitiver Blattstiel an eine sehr leichte Schlinge von Zwirn gewöhnt wird und sich aus der Krümmung herausbewegt, trotzdem die Schlinge noch immer angehängt bleibt; SACHS gibt aber an², dass Würzelchen der Bohne, welche horizontal in feuchte Erde gelegt wurden, nachdem sie sich durch Geotropismus nach abwärts gekrümmt hatten, sich ein

² Arbeiten Bot. Inst., Würzburg, Heft III, p. 456.

wenig durch Wachstum ihrer unteren oder concaven Seite strecken. Warum dies eintritt, ist nicht ganz klar, aber vielleicht trat es gleichfalls in den obigen zehn Fällen ein. Es findet sich auch noch eine andere gelegentliche Bewegung, welche nicht übergangen werden darf: Die Spitze des Würzelchens in einer Länge von ungefähr 2—3 mm fand sich in sechs Fällen nach einem Verlaufe von ungefähr 24 oder mehr Stunden nach dem Stückchen noch immer angehefteten Cartons hingebogen, — d. h. in einer Richtung, die der früher herbeigeführten Krümmung des ganzen wachsenden Theils in einer Länge von 7—8 mm genau entgegengesetzt ist. Dies tritt hauptsächlich ein, wenn die erste Krümmung gering war und wenn ein Gegenstand mehr als einmal an die Spitze eines und desselben Würzelchens befestigt worden war. Die Anheftung eines Stückchens Cartons mit Schellack an eine Seite der zarten Spitze dürfte zuweilen mechanisch sein Wachstum verhindern; oder die Anwendung dicken Gummiwassers mehr als einmal auf ein und dieselbe Seite dürfte sie schädigen; und dann würde unterbrochenes Wachstum auf dieser Seite mit fortdauerndem Wachstum auf der entgegengesetzten und nicht afficirten Seite die umgekehrte Krümmung der Spitze erklären.

Verschiedene Versuche wurden angestellt, soweit wir es konnten, die Natur und den Grad des Reizes zu ermitteln, welchem die Spitze ausgesetzt werden musz, damit der terminale wachsende Theil sich abbiegt, als wollte er die Ursache der Reizung vermeiden. Wir haben in den mit Zahlen versehenen Experimenten gesehen, dasz ein kleines Viereck von ziemlich dickem Briefpapier an die Spitze mit Gummi befestigt, eine beträchtliche Ablenkung, wenn auch langsam, veranlaszte. Nach verschiedenen Fällen zu urtheilen, in denen verschiedene Gegenstände mit Gummi angeheftet und bald von der Spitze durch eine Lage von Flüssigkeit getrennt worden waren, ebenso wie nach einigen Versuchen, bei denen Tropfen dicken Gummiwassers allein angewendet worden waren, verursachte diese Flüssigkeit niemals eine Biegung. Wir haben auch in den der Zahl nach aufgeführten Experimenten gesehen, dasz schmale Splitterchen von Spule oder sehr dünnem Glase mit Schellack befestigt nur einen unbedeutenden Grad von Ablenkung verursachen, und diese kanf vielleicht eine Folge des Schellacks selbst sein. Kleine Vierecke von Goldschlägerhäutchen, welches auszerordentlich dünn ist, wurden angefeuchtet und dadurch zum Anhängen an eine Seite der Spitze von zwei Würzelchen gebracht. Eines derselben

brachte nach 24 Stunden keine Wirkung hervor, ebenso wenig that es das andere in 8 Stunden, innerhalb welcher Zeit Cartonvierecke gewöhnlich wirken; nach 24 Stunden war aber eine unbedeutende Ablenkung vorhanden.

Eine ovale Perle oder vielmehr Platte getrockneten Schellacks von 1,01 mm Länge und 0,63 mm Breite verursachte ein Würzelchen im Verlaufe von nur 6 Stunden, sich unter nahezu rechtem Winkel abzubiegen; nach 23 Stunden hatte es sich aber beinahe wieder gerade gestreckt. Eine sehr kleine Menge aufgelösten Schellacks wurde über ein Stückchen Carton ausgebreitet, und die Spitzen von 9 Würzelchen wurden seitlich mit ihm berührt; nur zwei von ihnen wurden nach der Seite abgebogen, welche derjenigen gegenüberlag, die den Fleck getrockneten Schellacks trug, und sie streckten sich später wieder gerade. Diese Fleckchen wurden entfernt und beide zusammen wogen weniger als $\frac{1}{100}$ Gran, so dasz ein Gewicht von etwas weniger als $\frac{1}{200}$ Gran (0,32 mgr) genügte, in zwei unter neun Würzelchen Bewegung zu erregen. Wir haben allem Anscheine nach hier das Minimum des Gewichts erreicht, welches eine Wirkung hervorbringt.

Eine mäsizig dicke Borste, welche beim Messen sich als etwas abgeplattet ergab (indem sie 0,33 mm in einem Durchmesser und 0,20 mm im andern masz), wurde in kleine, ungefähr $\frac{1}{20}$ Zoll lange Stückchen zerschnitten. Nachdem dieselben mit dickem Gummiwasser berührt worden waren, wurden sie auf die Spitzen von elf Würzelchen gelegt. Von diesen wurden drei afficirt; eines wurde in 8 Stunden 15 Minuten bis zu einem Winkel von ungefähr 90° von der Senkrechten abgebogen; ein zweites war in demselben Grade abgebogen, als nach 9 Stunden nach ihm gesehen wurde; nach 24 Stunden aber von der Zeit der ersten Anheftung an hatte die Abbiegung bis zu nur 19° abgenommen; das dritte war nach 9 Stunden nur unbedeutend abgebogen, und es fand sich dann, dasz das Stückchen Borste die Spitze nicht berührte. Es wurde wieder in seine Lage zurückgebracht, und nach 15 weiteren Stunden betrug die Abbiegung 26° von der Senkrechten. Die übrigen acht Würzelchen wurden durchaus von dem Stückchen Borste gar nicht beeinflusst, so dasz wir hier nahezu das Minimum der Grösze eines Gegenstandes erreicht zu haben scheinen, welcher auf das Würzelchen der Bohne eine Wirkung äuszert. Es ist aber merkwürdig, dasz, wenn die Borstenstückchen einwirkten, sie dies so schnell und so kräftig thaten.

Da die Spitze eines Würzelchens beim Durchbohren des Erdbodens auf allen Seiten gedrückt werden musz, wünschten wir zu erfahren, ob es zwischen härteren oder widerstehenderen und weicheren Substanzen unterscheiden könne. Ein Viereck des mit Sand überzogenen Papiers, beinahe so steif wie Carton, und ein Viereck von äusserst dünnem Papier (zu dünn um darauf zu schreiben) von genau derselben Grösze (ungefähr $\frac{1}{20}$ Zoll) wurden mit Schellack auf die entgegengesetzten Seiten der Spitzen von zwölf aufgehängten Würzelchen befestigt. Das Sandpapier war zwischen 0,15 und 0,20 mm (oder 0,0059 und 0,0079 Zoll) und das dünne Papier nur 0,045 mm (oder 0,00176 Zoll) dick. In acht unter den zwölf Fällen konnte darüber kein Zweifel bestehen, dasz das Würzelchen von der Seite, auf welcher das cartonähnliche Papier befestigt wurde, ab und nach der entgegengesetzten Seite, welche das sehr dünne Papier trug, hin gebeugt wurde. Dies trat in einigen Fällen in 9 Stunden, aber in anderen nicht eher, als bis 24 Stunden verflossen waren, ein. Überdies können einige von den vier nicht erfolgreichen Versuchen kaum als wirkliche Fälle von Fehlschlagen betrachtet werden. So ergab sich in einem von ihnen, in welchem das Würzelchen vollständig gerade blieb, das Viereck von dünnem Papier, als beide von der Spitze entfernt wurden, so dick mit Schellack überzogen, dasz es beinahe so steif wie Carton war; in dem zweiten Falle war das Würzelchen in einem Halbkreis nach oben gebogen, aber die Abbieguug war nicht direct von der Seite weg, welche den Carton trug, und dies erklärte sich daraus, dasz die beiden Vierecke seitlich mit einander verkittet waren und eine Art steifer Gabel bildeten, von welcher das Würzelchen weggebogen wurde: im dritten Fall war das Cartonviereck aus Versehen vorn befestigt worden, und obschon eine geringe Abbeugung von ihm weg vorhanden war, kann dies auch Folge von SACHS' Krümmung gewesen sein: in dem vierten Falle allein konnte kein Grund bezeichnet werden, warum das Würzelchen überhaupt nicht abgebeugt worden war. Diese Experimente reichen hin um zu beweisen, dasz die Spitze des Würzelchens das auszerordentliche Vermögen besitzt, zwischen dünnem Carton und sehr dünnem Papier zu unterscheiden, und von der Seite weggebegt wird, welche von der resistenteren oder härteren Substanz gedrückt wird.

Es wurden nun zunächst einige Versuche gemacht, in denen die Spitzen gereizt wurden, ohne dasz irgend ein Gegenstand mit ihnen in Berührung gelassen wurde. An neun Würzelchen, die über Wasser

aufgehängt waren, wurde die Spitze einer jeden sechsmal mit einer Nadel gerieben und zwar mit hinreichender Kraft, dasz die Bohne erschüttert wurde; die Temperatur war günstig, nämlich ungefähr 17° C. In sieben unter diesen Fällen wurde gar keine Wirkung hervorgebracht; im achten Falle wurde das Würzelchen unbedeutend von der geriebenen Seite weg und im neunten Falle unbedeutend nach ihr hin gebogen; aber diese zwei letzteren entgegengesetzten Krümmungen waren wahrscheinlich zufällig, da Würzelchen nicht immer vollkommen gerade nach abwärts wachsen. Die Spitzen zweier anderer Würzelchen wurden in derselben Weise für 15 Secunden mit einem kleinen runden Stäbchen gerieben, zwei andere für 30 Secunden und zwei andere 1 Minute lang, aber ohne dasz irgend welche Wirkung hervorgebracht wurde. Wir können daher aus diesen 15 Versuchen schlieszen, dasz die Würzelchen gegen temporäre Berührung nicht empfindlich sind, sondern nur durch verlängerten, wenn auch sehr unbedeutenden Druck beeinflusst werden.

Wir untersuchten dann die Wirkungen des Wegschneidens eines sehr dünnen Scheibchens parallel zu einer der abfallenden Seiten der Spitze, da wir glaubten, dasz die Wunde einen fortdauernden Reiz verursachen könne, welcher eine Biegung nach der entgegengesetzten Seite ebenso veranlassen würde, wie in dem Falle, wo ein Gegenstand angeheftet wird. Zwei vorläufige Versuche wurden zunächst angestellt: erstens wurden Scheibchen von den Würzelchen von sechs in feuchter Luft aufgehängten Sämlingen mit einer Scheere abgeschnitten, welche, wengleich scharf, wahrscheinlich beträchtliches Zerdrücken verursachte, und es folgte keine Krümmung; zweitens wurden mit einem Rasirmesser dünne Scheibchen schräg von den Spitzen dreier in ähnlicher Weise aufgehängten Würzelchen abgeschnitten und nach 44 Stunden fand sich, dasz zwei deutlich von der geschnittenen Fläche weggebogen waren, und das dritte, an welchem die ganze Spitze durch Zufall schräg abgeschnitten worden war, war aufwärts über die Bohne weggerollt. Es wurde aber nicht deutlich ermittelt, ob die Krümmung zuerst von der geschnittenen Oberfläche weg gerichtet war. Diese Resultate führten uns darauf, das Experiment weiter zu verfolgen, und an 18 Würzelchen, welche in feuchter Luft senkrecht abwärts gewachsen waren, wurde eine Seite ihrer conischen Spitzen mit einem Rasirmesser abgeschnitten. Den Spitzen wurde in den Gläsern eben in das Wasser zu treten gestattet, und sie wurden einer Temperatur von $14-16^{\circ}$ C.

ausgesetzt. Die Beobachtungen wurden zu verschiedenen Zeiten gemacht. Drei wurden 12 Stunden, nachdem sie geschnitten worden waren, untersucht und waren sämmtlich von der geschnittenen Oberfläche weggekrümmt; nach weiteren 12 Stunden hatte die Krümmung beträchtlich zugenommen. Acht wurden nach 19 Stunden, vier nach 22 Stunden 30 Minuten und drei nach 25 Stunden untersucht. Das endliche Resultat war, dasz unter den achtzehn in dieser Weise dem Versuche unterworfenen Würzelchen dreizehn deutlich von der geschnittenen Fläche nach den oben angegebenen Zeitintervallen abgebogen waren, und ein anderes wurde so nach einem weiteren Verlaufe von 13 Stunden 30 Minuten, es wurden daher nur 4 unter den 18 Würzelchen nicht beeinflusst. Diesen achtzehn Fällen sollten die drei vorhin erwähnten noch hinzugefügt werden. Es kann daher die Folgerung gezogen werden, dasz die mit dem Rasirmesser bewirkte Entfernung eines dünnen Scheibchens von einer Seite der conischen Spitze des Würzelchens eine Reizung verursacht, gleich der durch einen angehefteten Gegenstand, und eine Krümmung von der verletzten Fläche weg veranlaszt.

Endlich wurde ein trockenes Ätzmittel (Salpetersaures Silber) angewendet, die eine Seite der Spitze zu reizen. Wenn eine Seite der Spitze oder des ganzen terminalen wachsenden Theiles eines Würzelchens durch irgend ein Mittel getödtet oder schwer beschädigt wird, fährt die andere Seite zu wachsen fort, und dies veranlaszt den Theil sich nach der verletzten Seite hinüber zu biegen³. In den folgenden Versuchen bemühten wir uns aber, und zwar meist mit Erfolg, die Spitzen auf einer Seite zu reizen, ohne sie bedenklich zu verletzen. Dies wurde so ausgeführt, dasz wir zuerst die Spitze, so weit es möglich war, mit Löschpapier trockneten, obschon es immer noch etwas feucht blieb, und dann sofort mit vollständig trockenem Höllenstein berührten. Siebzehn Würzelchen wurden in dieser Weise behandelt und wurden in feuchter Luft über Wasser bei einer Temperatur von $14\frac{1}{2}^{\circ}$ C. aufgehängt. Sie wurden nach Verlauf von 21 Stunden oder

³ Ciesielski fand, nachdem er eine Seite eines Würzelchen mit erhitztem Platin gebrannt hatte, dasz dies der Fall war (Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel, 1871, p. 28). Dasselbe fanden wir, als wir der Länge nach die halbe Länge von 7 über Wasser aufgehängten Würzelchen mit einem dicken Lager von Fett überstrichen hatten, welches für wachsende Theile sehr schädlich oder selbst tödtlich ist; denn nach 48 Stunden waren fünf dieser Würzelchen nach der mit Fett bestrichenen Seite hin gebogen, zwei blieben gerade.

24 Stunden untersucht. Die Spitzen von zweien ergaben sich als gleichmäßig ringsum geschwärzt, so dass sie nichts aussagen konnten, und verworfen wurden. Es blieben daher fünfzehn. Von diesen waren zehn von der Seite, welche berührt worden war, wo sich ein sehr kleines, braunes oder schwarzes Zeichen fand, weggekrümmt. Fünf dieser Würzelchen, von denen drei bereits unbedeutend abgebogen waren, wurde gestattet in das Wasser im Glase einzutreten, und wurden sie nach einem weiteren Verlaufe von 27 Stunden (d. h. 48 Stunden nach der Anwendung des Ätzmittels) wieder untersucht; und nun waren vier von ihnen hakenförmig geworden, indem sie von der entfärbten Seite weggebogen und mit ihren Spitzen nach dem Zenith hin gerichtet waren; das fünfte blieb unafficirt und gerade. Es waren daher elf Würzelchen unter den fünfzehn beeinflusst worden. Aber die Krümmung der vier soeben beschriebenen war so deutlich, dass sie allein hingereicht haben würde, zu beweisen, dass die Würzelchen der Bohne von der Seite der Spitze sich wegbiegen, welche leicht mit einem Ätzmittel gereizt worden ist.

Die Wirkung eines Reizmittels auf die Spitze des Würzelchens der Bohne, verglichen mit der des Geotropismus. — Wir wissen, dass, wenn ein kleines Viereck von Carton oder ein anderer Gegenstand an eine Seite der Spitze eines senkrecht herabhängenden Würzelchens befestigt wird, der wachsende Theil sich von ihm häufig in einen Halbkreis abbiegt, und zwar im Gegensatze zu dem Geotropismus, welche Kraft durch die Wirkung der Reizung durch den angehefteten Gegenstand überwunden wird. Es wurden daher Würzelchen, horizontal in feuchter Luft ausgestreckt, bei der zur vollständigen Empfindlichkeit gehörigen niederen Temperatur gehalten und Vierecke von Carton mit Schellack an die unteren Seiten ihrer Spitzen befestigt, sodass, wenn die Vierecke wirkten, der terminale wachsende Theil sich nach oben krümmen würde. Erstens wurden acht Bohnen so gestellt, dass ihre kurzen, jungen, horizontal ausgestreckten Würzelchen gleichzeitig sowohl durch Geotropismus und durch SACHS' Krümmung beeinflusst werden würden, wenn die letztere mit in's Spiel kam, und sie wurden alle acht nach dem Mittelpunkte der Erde in 20 Stunden hingebogen, mit Ausnahme eines, welches nur unbedeutend beeinflusst wurde. Zwei von ihnen wurden in nur 5 Stunden ein wenig nach abwärts gebogen! Es schienen daher die an die unteren Seiten ihrer Spitzen befestigten Cartonstückchen keine

Wirkung hervorzubringen, und Geotropismus überwand leicht die Wirkung der hierdurch veranlaszten Reizung. Zweitens wurden 5 ältliche Würzelchen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und daher weniger empfindlich als die oben erwähnten jüngeren ähnlich gestellt und in ähnlicher Weise behandelt. Nach dem, was bei vielen anderen Gelegenheiten gesehen worden ist, lässt sich mit Sicherheit schlieszen, dasz, wenn sie senkrecht aufgehangen worden wären, sie von den Cartonstückchen abgobogen worden wären, und wenn sie horizontal ausgestreckt worden wären ohne an sie befestigte Cartonstückchen, würden sie sich schnell senkrecht nach abwärts in Folge von Geotropismus gebogen haben; das Resultat war aber, dasz zwei von diesen Würzelchen nach 23 Stunden noch immer horizontal waren; zwei wurden nur unbedeutend, und das fünfte bis zu 40° unter den Horizont gekrümmt. Drittens wurden 5 Bohnen mit ihren platten Flächen parallel zum Korkstöpsel befestigt, so dasz SACHS' Krümmung nicht dahin wirken konnte, die horizontal ausgestreckten Würzelchen entweder aufwärts oder abwärts zu krümmen, und kleine Cartonvierecke wurden wie vorhin an die unteren Seiten ihrer Spitzen befestigt. Das Resultat war, dasz alle fünf Würzelchen nach unten gebogen wurden oder nach dem Mittelpunkte der Erde hin, und zwar nach nur 8 Stunden 20 Minuten. In derselben Zeit und innerhalb derselben Gläser wurden drei Würzelchen von demselben Alter mit an eine Seite befestigten Cartonvierecken senkrecht aufgehängt; und nach 8 Stunden 20 Minuten waren sie beträchtlich von den Cartonstückchen abgobogen und daher im Gegensatz zum Geotropismus nach oben gekrümmt. In diesen letzteren Fällen hatte die Reizung von den Cartonvierecken den Geotropismus überwältigt, während in den früheren Fällen, in denen die Würzelchen horizontal ausgestreckt waren, der Geotropismus die Reizung überwältigt hatte. Von den innerhalb derselben Glasgefäse befindlichen Würzelchen krümmten sich daher einige in derselben Zeit aufwärts und andere abwärts, wobei diese entgegengesetzten Bewegungen davon abhiengen, ob die Würzelchen, als die Cartonvierecke zuerst an sie befestigt wurden, senkrecht nach unten vorsprangen oder horizontal ausgestreckt waren. Diese Verschiedenheit in ihrem Benehmen scheint zuerst unerklärlich, kann aber, wie wir meinen, einfach erklärt werden durch die Verschiedenheit zwischen der Anfangswirkung der zwei Kräfte unter den obigen Umständen in Verbindung mit dem bekannten Princip der Nachwirkung eines Reizes. Wenn ein junges und empfind-

liches Würzelchen horizontal ausgestreckt wird mit einem an die untere Seite der Spitze befestigten Cartonvierecke, so wirkt der Geotropismus rechtwinklig auf dasselbe und ist dann, wie wir gesehen haben, offenbar wirksamer, als die Reizung die von dem Viereck ausgeht; die Kraft des Geotropismus wird ferner in jeder späteren Periode durch seine frühere Wirkung, d. h. also durch seine Nachwirkungen verstärkt werden. Wenn andererseits ein Cartonviereck an ein senkrecht herabhängendes Würzelchen befestigt wird, und die Spitze beginnt sich aufwärts zu krümmen, so wird dieser Bewegung der Geotropismus entgegenwirken, der aber nur unter einem sehr schrägen Winkel wirkt, und die Reizung durch das Cartonstückchen wird durch seine Anfangswirkung verstärkt werden. Wir können daher schlieszen, dasz die Anfangswirkung eines Reizes auf die Spitze des Würzelchens der Bohne geringer ist, als die des Geotropismus, wenn er unter rechtem Winkel wirkt, aber grösser, als die des Geotropismus, wenn dieser schräg auf dasselbe einwirkt.

Empfindlichkeit der Spitzen der secundären Würzelchen der Bohne gegen Berührung. — Alle die vorigen Beobachtungen beziehen sich auf das Haupt- oder Primärwürzelchen. Einige an Korkdeckel befestigte, mit ihren Würzelchen in Wasser tauchende Bohnen hatten secundäre oder seitliche Würzelchen entwickelt, welche später in sehr feuchter Luft bei der gehörigen niederen Temperatur zur Entwicklung der vollen Empfindlichkeit gehalten wurden. Sie sprangen, wie gewöhnlich, beinahe horizontal vor mit einer nur unbedeutenden Krümmung nach abwärts und behielten diese Stellung während mehrerer Tage. SACHS hat gezeigt⁴, dasz diese secundären Wurzeln in einer eigenthümlichen Weise durch Geotropismus beeinflusst werden, so dasz, wenn sie aus der Lage gebracht werden, sie ihre frühere subhorizontale Stellung wieder annehmen und sich nicht senkrecht nach abwärts biegen wie das Primärwürzelchen. Sehr kleine Vierecke des steifen Sandpapiers wurden mittelst Schellack (in einigen Fällen aber mit dickem Gummiwasser) an die Spitzen von 39 Secundärwürzelchen verschiedenen Alters, meist an die obersten, befestigt. Die meisten Vierecke wurden an die unteren Seiten der Spitze befestigt, so dasz, wenn sie wirkten, das Würzelchen sich nach oben biegen würde; einige wurden aber seitlich und einige wenige auf die

⁴ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 4. Heft, 1874, p. 605—617.

obere Seite befestigt. Wegen der äussersten Dünnhheit dieser Würzelchen ist es sehr schwer das kleine Viereck an die factische Spitze zu heften. Mag es in Folge dieses oder irgend eines anderen Umstandes sein, es veranlaszten nur neun von diesen Vierecken irgend eine Krümmung. Die Krümmung betrug in einigen Fällen ungefähr 45° über dem Horizont, in anderen 90° , und dann wies die Spitze nach dem Zenith. In einem Falle wurde eine deutliche Krümmung nach oben in 8 Stunden 15 Minuten beobachtet, gewöhnlich aber nicht eher, als bis 24 Stunden verlaufen waren. Obgleich nur neun unter den 39 Würzelchen afficirt wurden, war doch die Krümmung in mehreren von ihnen so deutlich, dasz darüber kein Zweifel bestehen konnte, dasz die Spitze gegen leichte Berührung empfindlich ist, und dasz der wachsende Theil von dem berührenden Gegenstande sich wegbiegt. Es ist möglich, dasz einige secundäre Würzelchen empfindlicher sind als andere. Denn SACHS hat die interessante Thatsache nachgewiesen⁵, dasz jedes individuelle secundäre Würzelchen seine eigene eigenthümliche Constitution besitzt.

Empfindlichkeit des Primärwürzelchens gegen Berührung ein wenig oberhalb der Spitze bei der Bohne (*Vicia faba*) und Erbse (*Pisum sativum*). — Die Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens in den vorhergehend beschriebenen Fällen und die in Folge davon eintretende Krümmung des oberen Theils von dem berührenden Gegenstande oder einer anderen Reizquelle weg ist um so merkwürdiger, weil SACHS gezeigt hat⁶, dasz Druck in der Entfernung von einigen wenigen Millimetern oberhalb der Spitze das Würzelchen sich wie eine Ranke zu biegen veranlaszt, und zwar nach dem berührenden Gegenstande hin. Durch die Befestigung von Nadeln in der Weise, dasz sie gegen die senkrecht in feuchter Luft aufgehängten Bohnen drückten, sahen wir diese Art von Krümmung; aber ein Reiben des Theils mit einem Stäbchen oder einer Nadel für einige wenige Minuten brachte keine Wirkung hervor. HABERLANDT bemerkt⁷, dasz diese Würzelchen beim Durchbrechen der Samenhüllen oft gegen die gebrochenen Ränder reiben und drücken und in Folge dessen sich um sie herum biegen. Da kleine Vierecke des cartonähnlichen Papiers mit Schellack an die Spitzen befestigt in hohem Grade wirksam waren, dasz

⁵ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 4. Heft, 1874, p. 620.

⁶ Ebenda, 3. Heft, 1873, p. 437.

⁷ Die Schutzrichtungen der Keimpflanze, 1877, p. 25.

die Würzelchen sich von denselben wegzubiegen veranlaszt wurden, so wurden ähnliche Stückchen (von ungefähr $\frac{1}{20}$ Zoll im Geviert oder eher noch weniger) in derselben Art und Weise an die eine Seite des Würzelchens in einer Entfernung von 3 oder 4 mm über der Spitze befestigt. In unserem ersten Versuche an fünfzehn Würzelchen wurde keine Wirkung hervorgebracht. In einem zweiten Versuche an derselben Anzahl wurden drei innerhalb 24 Stunden plötzlich (aber nur eines stärker) nach dem Carton hingekrümmt. Aus diesen Fällen können wir schlieszen, dasz der Druck von einem Stückchen mit Schellack auf eine Seite oberhalb der Spitze befestigten Cartons kaum ein genügender Reiz ist, dasz er aber gelegentlich veranlaszt, dasz sich das Würzelchen wie eine Ranke nach dieser Seite hinbiegt.

Wir versuchten nun zunächst die Wirkung des Reibens mehrerer Würzelchen mit Höllenstein in einer Entfernung von 4 mm von der Spitze einige wenige Secunden lang, und obschon die Würzelchen trocken gewischt worden waren, und der Höllensteinstift trocken war, wurde doch der geriebene Theil verletzt und ein leichter Eindruck blieb zurück. In solchen Fällen fährt die entgegengesetzte Seite zu wachsen fort, und das Würzelchen wird nothwendigerweise nach der verletzten Seite hingebogen. Wenn aber ein 4 mm von der Spitze entfernter Punkt mit trockenem Höllenstein berührt wurde, wurde er nur leicht entfärbt, und kein dauernder Schaden wurde verursacht. Dies zeigte sich dadurch, dasz mehrere so behandelte Würzelchen sich nach einem oder zwei Tagen wieder streckten, und doch wurden sie zuerst nach der berührten Seite hin gekrümmt, als wenn sie dort einem leichten, fortdauernden Drucke ausgesetzt gewesen wären. Diese Fälle verdienen Beachtung, weil, wenn eine Seite der Spitze nur eben mit dem Höllenstein berührt wurde, das Würzelchen, wie wir gesehen haben, sich in einer entgegengesetzten Richtung, d. h. von der berührten Seite weg krümmte.

Das Würzelchen der gemeinen Erbse ist an einem Punkte ein wenig oberhalb der Spitze etwas empfindlicher gegen fortdauernden Druck als das der Bohne und biegt sich nach der gedrückten Seite hin⁸. Wir experimentirten an einer Varietät (Yorkshire Hero), welche eine sehr gerunzelte, zähe Haut hat, zu grosz für die eingeschlossenen Cotyledonen, so dasz unter 30 Erbsen, welche 24 Stunden lang

⁸ Sachs, Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 3. Heft. p. 438.

eingeweicht worden und auf feuchtem Sande keimen gelassen wurden, die Würzelchen von Dreien nicht im Stande waren herauszutreten und in einer fremdartigen Weise innerhalb der Haut gekrümmt wurden. Vier andere Würzelchen wurden abrupt rund um die Ränder der zerrissenen Haut gekrümmt, gegen welche sie gedrückt hatten. Derartige Abnormitäten dürften wahrscheinlich niemals oder sehr selten bei im Naturzustande entwickelten und der natürlichen Zuchtwahl unterworfenen Formen vorkommen. Eines der eben erwähnten vier Würzelchen kam beim Zurückfalten auf sich selbst mit der Nadel in Berührung, durch welche die Erbse an den Korkdeckel befestigt war, und nun bog es unter rechtem Winkel um die Nadel herum in einer von der ersten, in Folge der Berührung mit der zerrissenen Haut auftretenden Krümmung vollständig verschiedenen Richtung; hiedurch bot es eine gute Illustration für die rankenähnliche Empfindlichkeit des Würzelchens ein wenig oberhalb der Spitze dar.

Kleine Vierecke des cartonartigen Papiers wurden zunächst an Würzelchen der Erbse 4 mm oberhalb der Spitze in derselben Art und Weise wie bei der Bohne befestigt. Achtundzwanzig über Wasser senkrecht aufgehängte Würzelchen wurden in dieser Weise bei verschiedenen Gelegenheiten behandelt und dreizehn von ihnen wurden nach dem Carton hin gekrümmt. Der höchste Grad der Krümmung betrug 62° von der Senkrechten, aber ein so groszer Winkel wurde nur einmal gebildet. Bei einer Gelegenheit war eine leichte Krümmung nach 5 Stunden 45 Minuten bemerkbar und war im Allgemeinen nach 14 Stunden gut ausgesprochen. Es lässt sich daher daran nicht zweifeln, dass bei der Erbse die durch ein Cartonstückchen, welches an eine Seite des Würzelchens oberhalb der Spitze befestigt war, hervorgebrachte Reizung genügte, eine Krümmung herbeizuführen.

Cartonvierecke wurden an die eine Seite der Spitze von 11 Würzelchen innerhalb derselben Glasgefäße befestigt, in welchen die obigen Versuche gemacht wurden, und fünf von ihnen wurden deutlich und nur eines unbedeutend von dieser Seite weggekrümmt. Andere analoge Fälle werden sofort beschrieben werden. Die Thatsache wird hier erwähnt, weil es ein auffallender Anblick war, welcher die Verschiedenheit in der Empfindlichkeit des Würzelchens an verschiedenen Stellen nachwies, in einem und demselben Glase einen Satz von Würzelchen zu sehen, die von den Vierecken an ihren Spitzen weggekrümmt waren, und einen andern Satz, dessen Würzelchen nach den ein wenig höher

hinauf befestigten Cartonviereckchen sich hinkrümmten. Überdies ist die Art der Krümmung in den zwei Fällen verschieden. Die oberhalb der Spitze befestigten Vierecke verursachen das Würzelchen, sich plötzlich zu biegen, während der Theil darüber und darunter nahezu grade bleibt, so dasz sich hier wenig oder gar keine fortgeleitete Wirkung vorfindet. Andererseits afficiren die an der Spitze befestigten Vierecke das Würzelchen in einer Länge von ungefähr 4 bis selbst zu 8 mm, in den meisten Fällen eine symmetrische Krümmung veranlassend, so dasz hier ein geringer Reiz von der Spitze aus auf dieser Strecke dem Würzelchen entlang fortgepflanzt wird.

Pisum sativum (Var. Yorkshire Hero): Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Kleine Vierecke des nämlichen cartonartigen Papiers wurden (24. April) mit Schellack an die eine Seite der Spitze von zehn senkrecht aufgehängten Würzelchen befestigt: die Temperatur des Wassers auf dem Boden der Glasgefäße war $15\frac{1}{2}$ — 16° C. Die meisten dieser Würzelchen waren in 8 Stunden 30 Minuten afficirt; acht von ihnen wurden im Verlauf von 24 Stunden augenfällig, und die übrigen zwei unbedeutend von der Senkrechten und von der die angehefteten Vierecke tragenden Seite abgelenkt. Die Wirkung äuszerte sich daher auf alle; es wird aber hinreichen, zwei

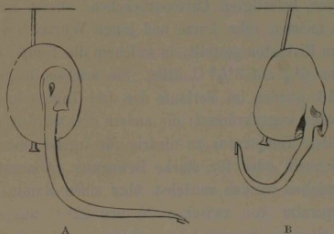


Fig. 66. *Pisum sativum*: Ablenkung innerhalb 24 Stunden, im Wachstum senkrecht herabhängender Würzelchen durch Befestigung kleiner Cartonvierecke an die eine Seite der Spitze mit Schellack hervorgebracht: A unter rechtem Winkel gebogen, B hakenförmig.

augenfällige Fälle zu beschreiben. In dem einen wurde die Endpartie des Würzelchens nach 24 Stunden rechtwinklig gebogen (A Fig. 66); und in dem andern (B) war es in dieser Zeit hakenförmig geworden, mit der Spitze nach dem Zenith weisend. Die zwei hier gebrauchten Cartonstückchen waren 0.07 Zoll lang und 0.04 Zoll breit. Zwei andere

Würzelchen, welche nach 8 Stunden 30 Minuten mässig abgebogen waren, wurden nach 24 Stunden wiederum gerade. Ein anderer Versuch wurde in derselben Weise mit 15 Würzelchen angestellt; aber aus nicht der Erwähnung werthen Umständen wurden sie nur einmal und ganz kurz nach dem kurzen Verlaufe von 5 Stunden 30 Minuten untersucht; wir notirten in unserem Protokoll einfach: „beinahe alle unbedeutend von der Senkrechten und von den Vierecken weggebogen. Die Ablenkung betrug in einem oder zwei Fällen nahezu einen rechten Winkel.“ Diese zwei Gruppen von Fällen, besonders die erste, beweisen, dasz die Spitze des Würzelchens gegen leichte Berührung empfindlich ist, und dasz der obere Theil von dem berührenden Gegenstande sich abbiegt. Nichts desto weniger wurden am 1. und 4. Juni an 8 anderen Würzelchen in derselben Weise bei einer Temperatur von $14\frac{1}{2}$ — $15\frac{1}{2}$ ° C. Versuche angestellt, und nach 24 Stunden war nur eins entschieden von dem Carton weggebogen, 4 unbedeutend, 2 zweifelhaft und 1 nicht im mindesten. Die Grösze der Krümmung war unerklärlich klein; aber alle Würzelchen, welche überhaupt gebogen wurden, waren von dem Carton weggebogen.

Wir stellten nun Versuche an über die Wirkungen sehr verschiedener Temperaturen auf die Empfindlichkeit dieser Würzelchen mit kleinen, an ihren Spitzen befestigten Cartonstückchen; zuerst an 13 Erbsen, von denen die meisten sehr kurze und junge Würzelchen hatten; sie wurden in einen Eiskasten gestellt, in welchem die Temperatur während dreier Tage von $6\frac{1}{2}$ auf $8\frac{1}{2}$ ° C. stieg. Sie wuchsen langsam, aber 10 unter diesen 13 wurden im Verlaufe der drei Tage sehr unbedeutend von den Vierecken weggekrümmt; die andern drei wurden nicht afficirt; es ist daher diese Temperatur zu niedrig für irgend einen hohen Grad von Empfindlichkeit oder für starke Bewegung. Glasgefäszte mit 13 anderen Würzelchen wurden zunächst über einen Kamin gestellt, wo sie einer Temperatur von zwischen 20 und 22° C. ausgesetzt waren, und nach 24 Stunden waren 4 augenfällig von den Cartonstückchen weggekrümmt, 2 unbedeutend und 7 durchaus nicht, so dasz diese Temperatur etwas zu hoch war. Endlich wurden 12 Würzelchen einer zwischen 22° und $29\frac{1}{2}$ ° C. schwankenden Temperatur ausgesetzt, und keines von ihnen wurde von den Cartonstückchen im mindesten afficirt. Die obigen verschiedenen Versuche, besonders der ersterwähnte, weisen darauf hin, dasz die günstigste Temperatur für die Empfindlichkeit des Würzelchens der Erbse ungefähr $15\frac{1}{2}$ ° C. ist.

Die Spitzen von 6 senkrecht herabhängenden Würzelchen wurden einmal mit trockenem Ätztift berührt in der bei *Vicia faba* beschriebenen Art und Weise. Nach 24 Stunden waren vier von ihnen von der, einen sehr kleinen schwarzen Fleck tragenden Seite abgebogen, und die Krümmung nahm in einem Falle nach 38 Stunden, in einem andern nach 48 Stunden zu, bis der terminale Theil beinahe horizontal vorsprang. Die zwei übrigen Würzelchen wurden nicht afficirt.

Bei Würzelchen der Bohne überwand, wenn sie horizontal in feuchter Luft ausgestreckt waren, der Geotropismus immer die Wirkung der durch die Cartonvierecke, die an den unteren Seiten ihrer Spitzen angeheftet wurden, verursachten Reizung. Ein ähnliches Experiment wurde an 13 Würzelchen der Erbse angestellt; die Vierecke wurden mit Schellack angeheftet, und die Temperatur betrug zwischen $14\frac{1}{2}$ und $15\frac{1}{2}^{\circ}$ C. Das Resultat war etwas verschieden; denn der Geotropismus wirkt entweder weniger stark auf diese Würzelchen, oder, was noch wahrscheinlicher ist, sie sind gegen Berührung empfindlicher. Nach einiger Zeit herrschte der Geotropismus immer vor, seine Wirkung wurde aber oft aufgehalten, und in drei Fällen bestand ein äusserst merkwürdiger Kampf zwischen Geotropismus und der durch die Cartonstückchen verursachten Reizung. Vier von den 13 Würzelchen wurden innerhalb 6 oder 8 Stunden, immer von der Zeit an gerechnet, wo die Vierecke zuerst angeheftet wurden, ein wenig nach unten gekrümmt, und nach 23 Stunden zeigten drei von ihnen senkrecht abwärts, und das vierte stand unter einem Winkel von 45° unter dem Horizont. Diese vier Würzelchen schienen daher durch die angehefteten Cartonvierecke gar nicht afficirt worden zu sein. Auf vier andere wirkte der Geotropismus innerhalb der ersten 6 oder 8 Stunden nicht, aber nach 23 Stunden waren sie bedeutend abwärts gebogen. Zwei andere blieben 23 Stunden lang beinahe horizontal, wurden aber später beeinflusst. In diesen letzteren sechs Fällen wurde daher die Wirkung des Geotropismus bedeutend verzögert. Das elfte Würzelchen wurde nach 9 Stunden unbedeutend abwärts gekrümmt; als wir aber wiederum nach 23 Stunden nach ihm sahen, war der terminale Theil aufwärts gekrümmt; wäre es länger beobachtet worden, so würde die Spitze ohne Zweifel wieder abwärts gekrümmt gefunden worden sein, und sie würde, wie in dem folgenden Falle, eine Schlinge gebildet haben. Das zwölfte Würzelchen war nach 6 Stunden unbedeutend abwärts gekrümmt, als aber nach 21 Stunden wieder nach ihm gesehen wurde, war diese

Krümmung verschwunden, und die Spitze zeigte aufwärts; nach 30 Stunden bildete das Würzelchen einen Haken, wie es A (Fig. 67) zeigt, welcher Haken nach 44 Stunden in eine Schlinge (B) umgewandelt war. Das dreizehnte Würzelchen war nach 6 Stunden unbedeutend abwärts gekrümmt, war aber innerhalb 21 Stunden beträchtlich aufwärts gebogen und dann wiederum unter einem Winkel von 45° unter den

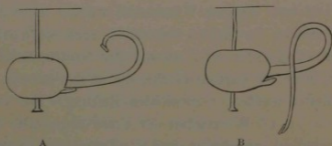


Fig. 67. *Pisum sativum*: Ein in feuchter Luft horizontal ausgestrecktes Würzelchen mit einem an die untere Seite seiner Spitze angehefteten kleinen Cartonviereck, welches es sich aufwärts, im Gegensatz zum Geotropismus, zu biegen veranlaszte. Die Ablenkung des Würzelchens nach 21 Stunden ist bei A, und die desselben Würzelchens, nun eine Schleife bildend, nach 45 Stunden bei B dargestellt.

Horizont; später wurde es senkrecht. In diesen drei letzten Fällen wechselten Geotropismus und die durch die angehefteten Cartonvierecke verursachte Reizung in Bezug auf das Vorherrschen ihrer Wirkung in einer sehr merkwürdigen Weise ab. Zuletzt war der Geotropismus siegreich.

Ähnliche Experimente waren nicht immer völlig so erfolgreich wie in den obigen Fällen. So wurden am 8. Juni bei einer gehörigen Temperatur Versuche an 6 horizontal ausgestreckten Würzelchen mit angehefteten Cartonvierecken angestellt, und nach 7 Stunden 30 Min. war keines von ihnen im mindesten aufwärts gekrümmt und keines war deutlich geotropisch, während von 6 Würzelchen ohne irgend welchen angehefteten Carton, welche als Maszstab zum Vergleiche oder zur Controle dienten, innerhalb derselben 7 Stunden 30 Min. drei unbedeutend und drei beinahe rechtwinklig geotropisch wurden; aber nach 23 Stunden waren beide Sätze in gleichem Masze geotropisch. Am 10. Juli wurde ein anderer Versuch mit sechs horizontal ausgestreckten Würzelchen gemacht, unterhalb deren Spitze in derselben Weise Cartonvierecke angehängt waren, und nach 7 Stunden 30 Min. waren vier unbedeutend geotropisch, eines blieb horizontal und eines war aufwärts gekrümmt im Gegensatz zur Schwerkraft oder zum Geotropismus. Dieses letztere Würzelchen bildete nach 28 Stunden eine Schlinge, wie das bei B (Fig. 67) gezeichnete.

Es wurde nur ein analoger Versuch gemacht, aber anstatt Vierecke von Carton an die unteren Seiten der Spitzen anzuheften, wurden diese mit dem trockenen Ätztifte berührt. Die Einzelheiten des Versuchs werden in dem Capitel über Geotropismus mitgetheilt werden, und es wird hier genügen, anzuführen, dass 10 Erbsen mit horizontal ausgestreckten und nicht cauterisirten Würzelchen auf und unter feuchten, zerreiblichen Torf gelegt wurden; diese, welche als Vergleichs- oder Controlerbsen dienten, ebenso wie 10 andere, welche auf der oberen Seite mit dem Ätztift berührt worden waren, wurden sämmtlich in 24 Stunden stark geotropisch. Bei neun Würzelchen in ähnlicher Stellung wurden die Spitzen auf der unteren Seite mit dem Ätztift berührt, und nach 24 Stunden waren drei unbedeutend geotropisch, zwei blieben horizontal und vier wurden aufwärts gebogen im Gegensatz zur Schwerkraft und zum Geotropismus. Diese Aufwärtskrümmung war in 8 Stunden 45 Min., nachdem die unteren Seiten der Spitzen cauterisirt wurden, deutlich sichtbar.

Kleine Cartonvierecke wurden mit Schellack bei zwei Gelegenheiten an die Spitzen von 22 jungen und kurzen secundären Würzelchen befestigt, welche von dem primären Würzelchen, während es im Wasser wuchs, ausgesendet worden waren, welche aber nun in feuchter Luft aufgehängt wurden. Ausser der Schwierigkeit, die Vierecke an derartig fein zugespitzte Gegenstände zu befestigen, wie diese Würzelchen waren, war die Temperatur zu hoch, — sie schwankte bei der ersten Gelegenheit von 22—25° C., und hielt sich bei der zweiten beinahe stetig auf 25¹/₂° C., und dies verminderte wahrscheinlich die Empfindlichkeit der Spitze. Das Resultat war, dass nach einem Verlaufe von 8 Stunden 30 Min. sechs unter den 22 Würzelchen aufwärts gebogen waren (eins von ihnen bedeutend) im Gegensatze zur Schwerkraft, und 2 seitlich; die übrigen 14 waren nicht afficirt. Betrachten wir die ungünstigen Umstände, und erinnern wir uns des Falls bei der Bohne, so scheinen die Belege hinreichend zu sein, um zu zeigen, dass die Spitzen der secundären Würzelchen der Erbse gegen leichte Berührung empfindlich sind.

Phaseolus multiflorus: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Es wurden Versuche mit neunundfünfzig Würzelchen angestellt, bei denen Vierecke von verschiedener Grösze aus demselben cartonartigen Papier, auch Stückchen dünnen Glases und eckige Schlackenstückchen mit Schellack an die eine Seite der Spitze

befestigt wurden. Es wurden auch ziemlich grosse Tropfen von aufgelöstem Schellack auf sie gelegt, die wir zu harten Perlen fest werden lieszen. Die Exemplare wurden verschiedenen Temperaturen zwischen $15\frac{1}{2}$ und 22° C., gewöhnlich ungefähr der letzteren, ausgesetzt. Aber unter dieser beträchtlichen Anzahl von Versuchen wurden nur 5 Würzelchen deutlich gebogen und 8 andere unbedeutend oder selbst zweifelhaft, und zwar von den angehefteten Gegenständen weg. Die übrigen 46 wurden durchaus nicht beeinflusst. Es ist daher klar, dass die Spitzen der Würzelchen dieses *Phaseolus* viel weniger empfindlich gegen Berührung sind, als die der Bohne oder Erbse. Wir glaubten, dass sie gegen stärkeren Druck empfindlich sein möchten, aber nach mehreren Versuchen konnten wir keine Methode ausfindig machen, um auf eine Seite der Spitze stärker zu drücken, als auf die andere, ohne zu derselben Zeit seinem Wachsthum ein mechanisches Hindernis zu bereiten. Wir versuchten es daher mit anderen Reizmitteln.

Die Spitzen von 13 Würzelchen wurden mit Löschpapier getrocknet und dreimal auf der einen Seite mit trockenem Höllenstein berührt oder eben leise gerieben. Sie wurden dreimal gerieben, weil wir nach den vorausgehenden Versuchen annahmen, dass die Spitzen in keinem hohen Grade empfindlich seien. Nach 24 Stunden fand sich, dass die Spitzen bedeutend geschwärzt waren; 6 waren gleichmässig rund herum geschwärzt, so dass keine Krümmung nach irgend einer Seite hin erwartet werden konnte; 6 waren auf der einen Seite in einer Längenausdehnung von ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll bedeutend geschwärzt, und dieses Stück wurde rechtwinklig nach der geschwärzten Oberfläche hingekrümmt, und die Krümmung nahm später in mehreren Fällen zu, bis kleine Haken gebildet waren. Es war offenbar, dass die geschwärzte Seite so stark verletzt war, dass sie nicht wachsen konnte, während die gegenüberstehende Seite zu wachsen fortfuhr. Ein Würzelchen allein unter diesen dreizehn wurde von der geschwärzten Seite weggekrümmt und die Krümmung erstreckte sich eine geringe Entfernung oberhalb der Spitze.

Nach der hierdurch erlangten Erfahrung wurden die Spitzen von sechs beinahe trockenen Würzelchen einmal mit dem trocknen Ätztifte auf einer Seite berührt, und nach einem Verlaufe von 10 Min. lieszen wir es in Wasser eintreten, welches auf einer Temperatur von $18\frac{1}{2}$ bis $19\frac{1}{2}^{\circ}$ C. gehalten wurde. Das Resultat war, dass nach Verlauf von 8 Stunden ein minutiöser schwarzer Fleck eben noch auf einer Seite der Spitze von fünf dieser Würzelchen unterschieden werden

konnte, welche sämmtlich nach der entgegengesetzten Seite hin — in zwei Fällen ungefähr unter einem Winkel von 45° — in zwei anderen Fällen nahezu unter einem rechten Winkel und in einem Falle in einem noch grösseren als rechten Winkel — gekrümmt wurden, so dass die Spitze im letzteren Falle ein wenig hakenförmig wurde; in diesem letzteren Falle war der schwarze Fleck etwas grösser als in den übrigen. Nach 24 Stunden von der Anwendung des Ätztiftes an war die Krümmung von dreien dieser Würzelchen (mit Einschlusz des hakenförmigen) vermindert; im vierten blieb sie dieselbe, und im fünften hatte sie zugenommen, da die Spitze nun hakenförmig war. Es ist oben gesagt worden, dass nach 8 Stunden schwarze Flecken auf einer Seite der Spitze von fünf unter den sechs Würzelchen zu sehen waren; beim sechsten war der Fleck, welcher äusserst minutiös war, an der wirklichen Spitze und daher central; und dies Würzelchen allein wurde nicht gekrümmt. Es wurde daher wiederum an einer Seite mit Höllenstein berührt, und nach 15 Stunden 30 Min. fand sich, dass es von der Senkrechten und von der geschwärzten Seite unter einem Winkel von 34° gekrümmt war, welcher Winkel in neun weiteren Stunden bis zu 54° zunahm.

Es ist daher sicher, dass die Spitze des Würzelchens dieses *Phaseolus* gegen Ätzmittel äusserst empfindlich ist, und zwar mehr als das der Bohne, obschon das letztere gegen Druck weit empfindlicher ist. In den eben mitgetheilten Experimenten erstreckt sich die Krümmung von der unbedeutend cauterisirten Seite der Spitze weg dem Würzelchen entlang in einer Strecke von nahezu 10 mm Länge, während in der ersten Reihe von Experimenten, wo die Spitzen von mehreren Würzelchen bedeutend geschwärzt und auf einer Seite verletzt waren, so dass ihr Wachsthum aufgehalten wurde, ein Stück von weniger als 3 mm Länge nach der stark geschwärzten Seite hin gekrümmt wurde, in Folge des fortdauernden Wachsthums der entgegengesetzten Seite. Diese Verschiedenheit in den Resultaten ist interessant, denn sie zeigt, dass ein zu starker Reiz keinerlei fortgeleitete Wirkung veranlaszt, und den benachbarten oberen und wachsenden Theil des Würzelchens nicht sich zu biegen veranlaszt. Wir haben analoge Fälle bei *Drosera*; denn eine starke Lösung von kohlensaurem Ammoniak, wenn sie von den Drüsen absorbirt wird, oder zu grosze plötzlich auf sie treffende Wärme oder ein Zerdrücken derselben verursacht den basalen Theil der Tentakel nicht sich zu biegen, während eine schwache

Lösung des kohlensauren Salzes oder eine mäßige Wärme wie leichter Druck immer eine solche Beugung herbeiführt. Ähnliche Resultate wurden bei *Dionaea* und *Pinguicula* beobachtet.

Es wurde nun zunächst die Wirkung des mit einem Rasirmesser ausgeführten Abschneidens eines dünnen Scheibchens von einer Seite der conischen Spitze von 14 jungen und kurzen Würzelchen versucht. Sechs von ihnen wurden, nachdem die Operation an ihnen ausgeführt war, in feuchter Luft aufgehängt; die Spitzen der anderen acht, die ähnlich aufgehängt waren, lieszen wir in Wasser bei einer Temperatur von ungefähr $18\frac{1}{2}^{\circ}$ C. eintreten. Es wurde in jedem einzelnen Falle notirt, von welcher Seite der Spitze ein Scheibchen abgeschnitten war, und wenn sie später untersucht wurden, wurde die Richtung der Krümmung notirt, ehe die vorhergehende Notiz nachgesehen wurde. Bei den sechs Würzelchen in feuchter Luft waren die Spitzen von dreien nach einem Verlaufe von 10 Stunden 15 Minuten direct von der geschnittenen Fläche weggekrümmt, während die andern drei nicht afficirt waren und gerade blieben; nichts desto weniger wurde eine von ihnen nach 13 weiteren Stunden unbedeutend von der geschnittenen Fläche weggekrümmt. Von den acht Würzelchen, deren Spitzen in Wasser getaucht waren, waren sieben nach 10 Stunden 15 Minuten deutlich von der geschnittenen Fläche weggekrümmt, und was das achte betrifft, welches vollkommen gerade blieb, so war hier ein zu dickes Scheibchen zufällig entfernt worden, so dasz es kaum eine wirkliche Ausnahme von dem übrigen allgemeinen Resultat bildete. Als nach Verlauf von 23 Stunden von der Zeit des Schneidens an wiederum nach den Würzelchen gesehen wurde, waren zwei von ihnen verdreht; vier waren unter einem Winkel von ungefähr 70° von der Senkrechten und von der geschnittenen Fläche weggekrümmt, und eines war nahezu unter 90° weggebogen, so dasz es fast horizontal vorsprang, aber die äusserste Spitze begann nun durch die Wirkung des Geotropismus sich abwärts zu biegen. Es ist daher offenbar, dasz ein dünnes, von einer Seite der conischen Spitze abgeschnittenes Scheibchen es verursacht, dasz der obere wachsende Theil des Würzelchens dieses *Phaseolus* sich durch die fortgeleiteten Wirkungen der Reizung von der geschnittenen Fläche wegbiegt.

Tropaeolum majus: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen Berührung. — Kleine Cartonvierecke wurden mit Schellack auf der einen Seite der Spitzen von 19 Würzelchen

angeheftet, von denen einige einer Temperatur von $25\frac{1}{2}^{\circ}$ C., andere einer viel niedrigeren Temperatur ausgesetzt wurden. Nur drei wurden deutlich von den Vierecken weggekrümmt, fünf unbedeutend, vier zweifelhaft und sieben durchaus nicht. Diese Samen waren, wie wir glaubten, alt; wir besorgten uns daher einen frischen Satz, und nun waren die Resultate sehr verschieden. Mit 23 wurden die Versuche in derselben Weise angestellt; bei fünf brachten die Vierecke keine Wirkung hervor, aber drei von diesen Fällen waren keine wirklichen Ausnahmen, denn bei zwei von ihnen waren die Vierecke verschoben und der Spitze parallel, und bei dem dritten war der Schellack in Übermasz aufgetragen und hatte sich gleichmäßig rings um die ganze Spitze ausgebreitet. Ein Würzelchen war nur unbedeutend von der Senkrechten und von dem Carton weggekrümmt, während siebenzehn deutlich abgebogen waren. Die Winkel schwankten in mehreren von diesen letzteren Fällen zwischen 40° und 65° von der Senkrechten, und an zweien von ihnen betrug er nach 15 oder 16 Stunden ungefähr 90° . In einem Falle wurde in 16 Stunden eine Schlinge beinahe vollendet. Es kann daher darüber kein Zweifel bestehen, dasz die Spitze im hohen Grade gegen leichte Berührung empfindlich ist, und dasz der obere Theil des Würzelchens sich von dem berührenden Gegenstande weg biegt.

Gossypium herbaceum: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Es wurden an den Würzelchen in derselben Weise wie vorher Versuche angestellt, sie erwiesen sich aber als für unseren Zweck schlecht passend, da sie bald kränkelten, wenn sie in feuchter Luft aufgehängt wurden. Unter achtunddreiszig Würzelchen, die in dieser Weise bei zwischen 19 und $20\frac{1}{2}^{\circ}$ C. schwankenden Temperaturen mit Cartonvierecken an ihren Spitzen befestigt aufgehängt wurden, wurden 9 deutlich und 7 unbedeutend oder selbst zweifelhaft von den Cartonstückchen und von der Senkrechten weggebogen; 22 wurden nicht afficirt. Wir glaubten, dasz vielleicht die obige Temperatur nicht hoch genug sei, es wurden daher 19 Würzelchen mit angehefteten Cartonvierecken gleicherweise in feuchter Luft aufgehängt und einer Temperatur von $23\frac{1}{2}$ — 26° C. ausgesetzt, aber nicht eins unter ihnen wurde beeinflusst, und sie wurden bald krank. Endlich wurden 19 Würzelchen in Wasser bei einer Temperatur von 21 — 24° C. aufgehängt, an deren Spitzen Stückchen Glas oder Cartonvierecke mittels Canadabalsam oder Asphalt angeheftet waren, welcher

unter Wasser etwas besser anhaftete als Schellack. Die Würzelchen blieben nicht lange gesund. Das Resultat war, dasz sechs deutlich und 2 zweifelhaft von den angehefteten Gegenständen und von der Senkrechten abgebeugt wurden; 11 wurden nicht afficirt. Das Beweismaterial ist in Folge hiervon kaum entscheidend, obschon es nach den zwei Gruppen von Fällen, die bei einer mäsigen Temperatur angestellt wurden, wahrscheinlich ist, dasz die Würzelchen gegen Berührung empfindlich sind, und sie würden es unter günstigen Bedingungen noch mehr sein.

Fünfzehn Würzelchen, welche in zerreiblichem Torf gekeimt hatten, wurden senkrecht über Wasser aufgehängt. Sieben von ihnen dienten als Controle, und sie blieben während 24 Stunden vollkommen gerade. Die Spitzen der anderen acht Würzelchen wurden mit trockenem Ätztift auf der einen Seite eben berührt. Nach nur 5 Stunden 10 Minuten waren fünf von ihnen unbedeutend von der Senkrechten und von der die kleinen schwarzen Flecke tragenden Seite abgebogen. Nach 8 Stunden 45 Minuten waren vier unter diesen fünf in Winkeln von zwischen 15 und 65° von der Senkrechten abgebogen. Auf der andern Seite wurde eines, welches nach 5 Stunden 10 Minuten unbedeutend gekrümmt worden war, nun gerade. Nach 24 Stunden hatte die Krümmung in zwei Fällen beträchtlich zugenommen; auch in vier anderen Fällen, aber diese letzteren Würzelchen waren jetzt verdreht worden, einige waren aufwärts gewendet, so dasz es nicht länger mehr ermittelt werden konnte, ob sie noch immer von der cauterisirten Seite weggekrümmt wurden. Die als Controle dienenden Exemplare zeigten keinerlei solch unregelmäsziiges Wachsthum, und die beiden Sätze boten einen auffallenden Contrast dar. Unter den acht Würzelchen, welche mit dem Ätztift berührt worden waren, waren nur zwei nicht afficirt worden, und die an ihren Spitzen von dem Ätztift hervorgebrachten Zeichen waren äusserst minutiös. In allen Fällen waren diese Flecken oval oder länglich; sie wurden in drei Fällen gemessen und ergaben sich als von nahezu derselben Grösze, nämlich $\frac{2}{3}$ mm an Länge. Halten wir diese Thatsache vor Augen, so ist zu beachten, dasz die Länge des gekrümmten Theiles des Würzelchens, welches im Verlaufe von 8 Stunden 40 Minuten von der cauterisirten Seite wegbeugt wurde, in den drei Fällen sich als von 6, 7 und 9 mm Länge ergab.

Cucurbita ovifera: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Die Spitzen erwiesen sich als schlecht geeignet für die Anheftung von Cartonstückchen, da sie äusserst fein und biegsam sind. Überdies wird, weil die Hypocotyle bald entwickelt und bogenförmig gekrümmt werden, das ganze Würzelchen schnell aus der Lage gebracht und dadurch Confusion verursacht. Eine grosse Anzahl von Versuchen wurde angestellt, aber ohne irgend ein definitives Resultat, ausgenommen bei zwei Gelegenheiten, wo unter 23 Würzelchen 10 von den angehefteten Cartonvierecken abgebogen und 13 nicht afficirt wurden. Etwas grosse Vierecke, obschon sie schwierig zu befestigen waren, schienen wirksamer zu sein als sehr kleine.

Mit dem Ätzmittel waren wir viel erfolgreicher; aber in unserem ersten Versuche wurden 15 Würzelchen zu stark cauterisirt, und nur zwei wurden von der geschwärzten Seite weggekrümmt, die anderen wurden entweder auf der einen Seite getödtet oder gleichmässig rings herum geschwärzt. In unserem nächsten Versuche wurden die getrockneten Spitzen von 11 Würzelchen momentan mit trockenem Ätznachte berührt und nach einigen wenigen Minuten in Wasser eingetaucht. Die hierdurch verursachten länglichen Flecke waren niemals schwarz, nur braun, und ungefähr $1\frac{1}{2}$ mm lang, oder selbst noch weniger. In 4 Stunden 30 Minuten nach der Cauterisation waren sechs von ihnen deutlich von der Seite mit dem braunen Flecken weggekrümmt, vier unbedeutend und eines gar nicht. Das letztere erwies sich als krank und wuchs nie; und die Flecke auf zwei von den vier unbedeutend gekrümmten Würzelchen waren äusserst minutiös; das eine war nur mit Hilfe einer Lupe zu unterscheiden. Von 10 Controlexemplaren, die zu derselben Zeit in demselben Glasgefässe versucht wurden, war nicht eines im mindesten gekrümmt. In 8 Stunden 40 Minuten nach der Cauterisation waren fünf Würzelchen unter den zehn (das eine kranke wurde weggelassen) in einem Winkel von ungefähr 90° und drei ungefähr zu 45° von der Senkrechten und von der den braunen Fleck tragenden Seite abgebogen. Nach 24 Stunden hatten alle 10 Würzelchen auszerordentlich an Länge zugenommen; bei fünf von ihnen war die Krümmung nahezu dieselbe, bei zweien hatte sie zugenommen und bei dreien hatte sie abgenommen. Der von den 10 Controlexemplaren dargebotene Contrast, sowohl nach dem Verlaufe der 8 Stunden 40 Minuten als der 24 Stunden, war sehr gross; denn sie hatten fortgefahren senkrecht abwärts zu wachsen, mit Ausnahme von zweien, welche in

Folge irgend einer unbekanntten Ursache etwas gewunden worden waren.

Im Capitel über Geotropismus werden wir sehen, dasz zehn Würzelchen dieser Pflanze auf und unter feuchtem, zerreiblichem Torf ausgestreckt wurden, unter welchen Bedingungen sie besser und natürlicher wachsen als in feuchter Luft; ihre Spitzen wurden leicht auf der unteren Seite cauterisirt, wodurch braune, ungefähr $\frac{1}{2}$ mm lange Flecke verursacht wurden. Nicht cauterisirte und ähnlich gelegte Exemplare wurden durch Geotropismus im Laufe von 5 oder 6 Stunden stark abwärts gebogen. Nach 8 Stunden waren nur drei von den cauterisirten nach abwärts gebogen, und dies in einem unbedeutenden Grade; 4 blieben horizontal und 3 wurden im Gegensatz zum Geotropismus aufwärts und von der den braunen Fleck tragenden Seite abgekrümmt. Bei zehn anderen Exemplaren wurden die Spitzen zu derselben Zeit und in demselben Grade an der oberen Seite cauterisirt, und wenn dies irgend eine Wirkung hervorbrächte, so würde es dahin streben, die Kraft des Geotropismus zu erhöhen; und alle diese Würzelchen waren auch nach 8 Stunden stark abwärts gebogen. Nach den verschiedenen vorstehenden Thatsachen lässt sich nicht daran zweifeln, dasz die Ätzung der Spitze des Würzelchens dieser *Cucurbita* auf einer Seite, wenn es leicht genug geschehen ist, es verursacht, dasz der ganze wachsende Theil sich nach der entgegengesetzten Seite biegt.

Raphanus sativus: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Wir sind hier in unseren Versuchen auf viele Schwierigkeiten gestoszen, sowohl mit Cartonvierecken als mit Ätzmitteln; denn als Samen an einen Korkdeckel mit Nadeln befestigt wurden, wuchsen viele von den Würzelchen, an denen nichts geschehen war, unregelmässig und krümmten sich häufig aufwärts, als wenn sie von der feuchten Fläche darüber angezogen würden, und auch wenn sie in Wasser eingetaucht wurden, wuchsen sie häufig unregelmässig. Wir durften daher unseren Versuchen mit angehängten Cartonvierecken kein Vertrauen schenken; nichts desto weniger schienen einige von ihnen anzudeuten, dasz die Spitzen gegen Berührung empfindlich sind. Unsere Versuche mit Ätzmitteln schlugen meist wegen der Schwierigkeit fehl, die äusserst feinen Spitzen nicht zu stark zu verletzen. Unter sieben in dieser Weise behandelten Würzelchen wurde eins nach 22 Stunden unter einem Winkel von 60° , ein zweites von 40°

und ein drittes sehr unbedeutend von der Senkrechten und von der cauterisirten Seite weggebogen.

Aesculus hippocastanum: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Glasstückchen und Cartonvierecke wurden mit Schellack oder Gummiwasser an die Spitzen von 12 Würzelchen der Roszkastanie befestigt, und wenn diese Gegenstände abfielen, wurden sie von neuem befestigt; aber nicht in einem einzigen Falle wurde hierdurch irgend eine Krümmung verursacht. Diese massiven Würzelchen, von denen eines über 2 Zoll lang war, und 0,3 Zoll an seiner Basis im Durchmesser hatte, schienen gegen einen so leichten Reiz von irgend einem kleinen angehefteten Gegenstand unempfindlich zu sein. Wenn die Spitze bei ihrem Wege nach abwärts irgend ein Hindernis traf, so wurde trotzdem der wachsende Theil so gleichförmig und symmetrisch gekrümmt, dass seine Erscheinung nicht bloß mechanische Biegung andeutete, sondern vermehrtes Wachsthum der ganzen convexen Seite entlang, und zwar in Folge der Reizung der Spitze.

Dass dies die richtige Ansicht ist, kann aus den Wirkungen des kräftigen Reizes eines Ätzmittels geschlossen werden. Die Biegung von der cauterisirten Seite weg trat viel langsamer ein als in der vorausgehend besprochenen Species, und es ist vielleicht der Mühe werth, unsere Versuche im Einzelnen anzuführen.

Die Samen keimten in Sägespähnen und eine Seite der Spitzen der Würzelchen wurde leicht einmal mit trockenem Höllenstein gerieben und nach einigen wenigen Minuten liesz man sie in Wasser eintauchen. Sie wurden einer ziemlich schwankenden Temperatur ausgesetzt, meist zwischen 11 und 14½° C. Einige wenige Fälle haben wir nicht für der Mittheilung werth gehalten, in denen die ganze Spitze geschwärzt wurde oder in denen der Sämling bald kränkelte.

1. Das Würzelchen wurde in einem Tage (d. h. in 24 Stunden) unbedeutend von der cauterisirten Seite weggebogen; in drei Tagen stand es zu ca. 60° von der Senkrechten, in vier Tagen zu 90°, am fünften Tage war es ungefähr 40° über dem Horizont aufwärts gekrümmt, so dass es in den fünf Tagen durch einen Winkel von 130° gewandert war, und dies war die bedeutendste Grösze von Krümmung, die beobachtet wurde.

2. In zwei Tagen war das Würzelchen unbedeutend abgebogen; nach sieben Tagen war es 69° von der Senkrechten und von der cauterisirten Seite abgebogen; nach acht Tagen betrug der Winkel nahezu 90°.

3. Nach einem Tage unbedeutende Ablenkung. Der cauterisirte Fleck war aber so schwach, dass die nämliche Seite nochmals mit dem Ätzmittel berührt wurde. In vier Tagen von der ersten Berührung an betrug die Abbiegung 78° und erhöhte sich in einem weiteren Tage auf 90°.

4. Nach zwei Tagen unbedeutende Abbiegung, welche während der nächsten drei Tage sicher zunahm, aber niemals bedeutend wurde; das Würzelchen wuchs nicht gut und starb am achten Tage ab.

5. Nach zwei Tagen sehr unbedeutende Abbiegung; dieselbe betrug aber am vierten Tage 56° von der Senkrechten und von der cauterisirten Seite ab.

6. Nach drei Tagen zweifelhaft, aber nach vier Tagen sicher von der cauterisirten Seite abgelenkt. Am fünften Tage betrug die Ablenkung 45° von der Senkrechten und sie nahm am siebenten Tage bis ungefähr 90° zu.

7. Nach zwei Tagen unbedeutend abgelenkt; am dritten Tage betrug die Ablenkung 25° von der Senkrechten und sie nahm später nicht weiter zu.

8. Nach einem Tage war die Ablenkung deutlich; am dritten Tage betrug sie 44° und am vierten Tage 72° von der Senkrechten und von der cauterisirten Seite ab.

9. Nach zwei Tagen war die Ablenkung unbedeutend, doch deutlich; am dritten Tage wurde die Spitze wiederum auf derselben Seite mit Höllenstein berührt und dadurch getödtet.

10. Nach einem Tage unbedeutende Ablenkung. Dieselbe nahm nach sechs Tagen bis 50° von der Senkrechten und der cauterisirten Seite weg zu.

11. Nach einem Tage entschiedene Ablenkung, welche nach sechs Tagen bis zu 62° von der Senkrechten und von der cauterisirten Seite zunahm.

12. Nach einem Tage unbedeutende Ablenkung, welche am zweiten Tage 35° , am vierten Tage 50° und am sechsten Tage 63° von der Senkrechten und der cauterisirten Seite betrug.

13. Die ganze Spitze geschwärzt, aber mehr auf einer Seite als auf der andern; am vierten Tage unbedeutend und am sechsten Tage bedeutend von der stärker geschwärzten Seite abgelenkt; die Ablenkung betrug am neunten Tage 90° von der Senkrechten.

14. Die ganze Spitze in derselben Art wie in dem letzten Falle geschwärzt; am zweiten Tage entschiedene Abbiegung von der stärker geschwärzten Seite; dieselbe nahm am siebenten Tage bis nahezu 90° zu; am folgenden Tage erschien das Würzelchen krank.

15. Hier hatten wir den abnormen Fall, dass sich ein Würzelchen am ersten Tage unbedeutend nach der cauterisirten Seite hinbeugte und während der nächsten drei Tage dies zu thun fortfuhr, wo dann die Ablenkung bis ungefähr 90° von der Senkrechten betrug. Die Ursache schien in der rankenähnlichen Empfindlichkeit des oberen Theils des Würzelchens zu liegen, gegen welchen die Spitze eines groszen dreieckigen Lappens der Samenhüllen mit beträchtlicher Gewalt drückte, und diese Reizung überwand allem Anschein nach die, welche von der cauterisirten Spitze ausging.

Diese verschiedenen Fälle zeigen über allen Zweifel, dass die Reizung einer Seite der Spitze den oberen Theil des Würzelchens

anregt, sich langsam nach der entgegengesetzten Seite hinzubiegen. Diese Thatsache wurde von einem Satze von fünf an den Korkdeckel eines Glasgefäßes mit Stecknadeln befestigten Samen sehr gut dargeboten; denn als nach sechs Tagen der Deckel mit der Oberseite nach unten gekehrt und direct von oben betrachtet wurde, waren die kleinen schwarzen, von dem Höllenstein herrührenden Flecke jetzt sämmtlich auf der Oberseite der Spitzen der seitlich abgebogenen Würzelchen deutlich sichtbar.

Ein dünnes Scheibchen wurde mit einem Rasirmesser von der einen Seite der Spitzen von 22 Würzelchen in der bei der gemeinen Bohne beschriebenen Weise abgeschnitten; diese Art von Reizung erwies sich aber nicht sehr wirksam. Nur sieben unter den 22 Würzelchen wurden in drei bis fünf Tagen von der geschnittenen Fläche mäsizig abgebogen, und mehrere von den anderen wuchsen unregelmäsizig. Dies Beweismaterial ist daher bei weitem nicht entscheidend.

Quercus robur: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens. — Die Spitzen der Würzelchen der gemeinen Eiche sind reichlich so empfindlich gegen leichte Berührung, wie es die aller anderen von uns untersuchten Pflanzen sind. Sie blieben in feuchter Luft zehn Tage lang gesund, wuchsen aber langsam. Vierecke von dem cartonartigen Papier wurden mit Schellack an die Spitzen von 15 Würzelchen befestigt und zehn derselben wurden augenfällig von der Senkrechten und von den Viereckchen weggebeugt, zwei unbedeutend und drei gar nicht. Aber zwei von den letzteren waren keine wirklichen Ausnahmen, da sie zuerst schon sehr kurz waren und später kaum wuchsen. Einige von den merkwürdigeren Fällen sind der Beschreibung werth. Die Würzelchen wurden an jedem aufeinander folgenden Morgen nahezu zu derselben Stunde, d. h. in Zwischenräumen von 24 Stunden untersucht.

Nr. 1. Dieses Würzelchen litt unter einer Reihe von Zufälligkeiten und benahm sich in einer abnormen Art und Weise; denn die Spitze erschien zuerst unempfindlich und später empfindlich gegen Berührung. Das erste Cartonviereck wurde am 19. October angeheftet; am 21. war das Würzelchen durchaus nicht gekrümmt und das Viereckchen wurde zufällig abgestoszen; es wurde am 22. von neuem befestigt, und das Würzelchen wurde unbedeutend von dem Cartonstückchen abgebogen, die Krümmung verschwand aber am 23., wo das Viereck entfernt und von neuem befestigt wurde. Es erfolgte keine Krümmung, und das Viereck wurde wiederum zufällig abgestoszen und von neuem befestigt. Am Morgen des 27. wurde es abgelöst, da es das Wasser auf dem Boden

des Gefäßes erreicht hatte. Das Viereckchen wurde von neuem befestigt und am 29., d. h. zehn Tage nachdem das erste Cartonviereckchen befestigt worden war und zwei Tage nach der Befestigung des letzten Vierecks war das Würzelchen bis zu der bedeutenden Länge von 3.2 Zoll gewachsen und jetzt war der terminale wachsende Theil von dem Cartonviereck weg zu einem Haken gebogen (s. Fig. 68).

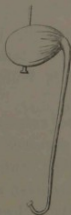


Fig. 68. *Quercus robur*: Würzelchen mit an einer Seite der Spitze angehängtem Cartonviereck, welches sie hakenförmig zu werden verursachte. Zeichnung in halber natürlicher Grösze.

Nr. 2. Cartonviereck am 19. befestigt; am 20. war das Würzelchen unbedeutend von demselben und von der Senkrechten abgebogen; am 21. unter nahezu rechtem Winkel abgebogen; es blieb während der nächsten zwei Tage in dieser Stellung, aber am 25. wurde die Aufwärtskrümmung durch die Wirkung des Geotropismus vermindert und am 26. noch mehr.

Nr. 3. Cartonviereck am 19. befestigt; am 21. eine Spur von Krümmung von dem Viereck weg, welche am 22. ungefähr 40° und am 23. 53° von der Senkrechten weg betrug.

Nr. 4. Viereck am 21. befestigt; am 22. eine Spur von Krümmung von dem Cartonstückchen weg; am 23. vollständig hakenförmig mit der Spitze aufwärts nach dem Zenith gerichtet. Drei Tage später (d. h. am 26.) war die Krümmung vollständig verschwunden und die Spitze wies senkrecht abwärts.

Nr. 5. Viereck am 21. befestigt; am 22. entschiedene, wenn schon unbedeutende Krümmung von dem Cartonstückchen weg. Am 23. hatte sich die Spitze aufwärts über den Horizont gekrümmt und war am 24. hakenförmig mit der Spitze fast nach dem Zenith weisend, wie bei Fig. 68.

Nr. 6. Viereck am 21. befestigt; am 22. unbedeutend von dem Viereck abgebogen; am 23. stärker gekrümmt; am 25. beträchtlich gekrümmt; am 27. alle Krümmung verloren und das Würzelchen war nun senkrecht abwärts gerichtet.

Nr. 7. Cartonviereck am 21. befestigt; am 22. eine Spur von Krümmung von dem Cartonstückchen weg, welche am nächsten Tage zunahm und am 24. bis zu einem rechten Winkel betrug.

Es ist daher offenbar, dass die Spitze des Würzelchens der Eiche in hohem Grade empfindlich gegen Berührung ist und ihre Empfindlichkeit während mehrerer Tage behält. Die hierdurch veranlaszte Bewegung war indessen langsamer als in irgend einem der vorausgegangenen Fälle mit Ausnahme des von *Aesculus*. Wie bei der Bohne streckte sich der terminale wachsende Theil nach der Beugung zuweilen selbst wieder durch die Wirkung des Geotropismus, obgleich der Gegenstand noch immer an der Spitze befestigt blieb.

Es wurde nun das nämliche merkwürdige Experiment versucht wie bei der Bohne; nämlich kleine Vierecke von genau derselben Grösze

des cartonartigen Sandpapiers und sehr dünnen Papiers (die Dickenverhältnisse derselben sind unter *Vicia faba* mitgetheilt worden) wurden mit Schellack an gegenüberliegende Seiten (so genau als es ausgeführt werden konnte) an die Spitzen von 13 Würzelchen, die in feuchter Luft bei einer Temperatur von $18\frac{1}{2}$ — 19° C. aufgehängt waren, befestigt. Das Resultat war auffallend, denn 9 unter diesen 13 Würzelchen wurden deutlich und eins sehr unbedeutend von dem dicken Papiere weg nach der Seite hin, welche das dünne Papier trug, gekrümmt. In zwei unter diesen Fällen wurde die Spitze nach zwei Tagen vollständig hakenförmig; in vier Fällen betrug die Ablenkung von der Senkrechten und von der das dicke Papier tragenden Seite in einer Zeit von zwei bis vier Tagen Winkel von 90° , 72° , 60° und 49° , aber in zwei anderen Fällen nur 18° und 15° . Es musz indessen angeführt werden, dasz in dem Falle, in welchem die Ablenkung 49° betrug, die zwei Viereckchen zufällig auf einer Seite der Spitze in Berührung gekommen waren und dadurch eine seitliche Gabel gebildet hatten; und die Ablenkung war zum Theil von dieser Gabel ab, zum Theil von dem dicken Papier weg gerichtet. Nur in drei Fällen wurden die Würzelchen durch den Unterschied in der Dicke der Papierviereckchen, die an ihren Spitzen befestigt waren, nicht afficirt, und bogen sich folglich auch nicht von der das steifere Papier tragenden Seite ab.

Zea mays: Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen Berührung. — Eine grosze Anzahl von Versuchen wurde mit dieser Pflanze angestellt, da sie die einzige Monocotyledone war, an welcher wir experimentirten. Eine Übersicht der Resultate wird hinreichen. An erster Stelle wurden 22 keimende Samen an Korkdeckel mit Nadeln festgesteckt, ohne dasz irgend ein Gegenstand an ihre Spitze befestigt wurde. Einige wurden einer Temperatur von $18\frac{1}{2}$ bis 19° C. und andere einer solchen von $23\frac{1}{2}$ bis 26° C. ausgesetzt, und keines von ihnen wurde gekrümmt, obschon einige ein wenig nach einer Seite geneigt waren. Einige wenige wurden ausgewählt, welche, da sie auf Sand gekeimt hatten, verkrümmt waren, aber, als sie in feuchter Luft aufgehängt wurden, mit dem terminalen Theile gerade nach abwärts wuchsen. Nachdem diese Thatsache ermittelt worden war, wurden kleine Vierecke des cartonartigen Papiers bei verschiedenen Gelegenheiten an die Spitzen von 68 Würzelchen mit Schellack befestigt. Von diesen wurde der terminale wachsende Theil von 39 innerhalb 24 Stunden augenfällig von den angehefteten Vierecken und

von der Senkrechten abgekrümmt; 13 unter diesen 39 bildeten Haken mit nach dem Zenith gerichteten Spitzen, und 8 bildeten Schlingen. Überdies waren sieben andere Würzelchen unter den 68 unbedeutend und zwei zweifelhaft von den Cartonstückchen abgebogen. Es bleiben also noch 20, welche nicht afficirt wurden; aber zehn von diesen sollten nicht gerechnet werden, denn eins war krank, bei zweien waren die Spitzen vollständig mit Schellack umgeben und bei sieben waren die Vierecke so gerutscht, dasz sie mit der Spitze parallel standen, anstatt schräg zu ihr zu stehen. Es waren daher nur zehn unter den 68, welche mit Sicherheit nicht beeinflusst wurden. Einige von den Würzelchen, an welchen der Versuch gemacht wurde, waren jung und kurz; die meisten von ihnen waren von mäsiger Länge und zwei oder drei waren länger als 3 Zoll. Die Krümmung in den obigen Fällen trat innerhalb 24 Stunden ein, sie war aber häufig innerhalb einer viel kürzeren Periode sichtbar. So war beispielsweise der terminale wachsende Theil eines Würzelchens in 8 Stunden 15 Minuten und bei einem andern in 9 Stunden aufwärts unter rechtem Winkel gebogen. Bei einer Gelegenheit wurde in 9 Stunden ein Haken gebildet. Sechs von den Würzelchen, die in einem neun Samen enthaltenden, auf einem Sandbad von einer zwischen $24\frac{1}{2}$ und 28° C. schwankenden Temperatur stehenden Glasgefäße befestigt waren, waren, als zuerst nach 15 Stunden nach ihnen gesehen wurde, hakenförmig, und ein siebentes bildete eine vollständige Schleife.

Die beistehenden Figuren von vier keimenden Samen (Fig. 69) zeigen erstens ein Würzelchen (A), dessen Spitze so bedeutend von dem angehefteten Cartonstückchen abgebogen wurde, dasz sie einen Haken bildete. Zweitens (B), der Haken ist durch die fortdauernde Reizung der Cartonstückchen vielleicht mit Unterstützung des Geotropismus in einen beinahe vollständigen Kreis oder eine Schlinge umgewandelt. Die Spitze reibt sich im Acte der Schlingenbildung meist gegen den oberen Theil des Würzelchens und stöszt dabei das angeheftete Cartonviereck ab; die Schlinge zieht sich dann zusammen oder schlieszt sich, verschwindet aber niemals. Die Spitze wächst später senkrecht nach abwärts, da sie nun nicht länger durch irgend einen angehefteten Gegenstand gereizt wird. Dies trat häufig ein und ist bei C dargestellt. Das obenerwähnte Glasgefäß mit den sechs hakenförmigen Würzelchen und ein anderes Gefäß wurden zwei weitere Tage lang noch gehalten, um zu beobachten, wie die Haken modificirt werden würden. Die meisten von ihnen wurden in einfache Schlingen verwandelt gleich der bei C

abgebildeten; aber in einem Falle rieb sich die Spitze nicht gegen den oberen Theil des Würzelchens, entfernte daher das Cartonstückchen nicht, und in Folge der fortdauernden Reizung von dem Carton bildete

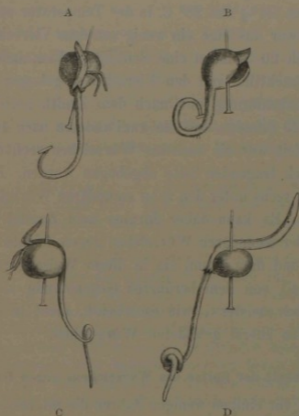


Fig. 69. *Zea mays*: Würzelchen in Folge der Reizung der kleinen, an eine Seite ihrer Spitze angehefteten Cartonvierecke von diesen weggekrümmt.

sie zwei vollständige Schlingen, d. h. eine Schneckenwindung von zwei Spiralen, welche später dicht an einander gedrückt wurden. Dann herrschte der Geotropismus vor und verursachte es, dass das Würzelchen senkrecht nach abwärts wuchs. In einem anderen, bei D abgebildeten Falle trat die Spitze des Würzelchens bei der Bildung eines zweiten Umgangs oder einer zweiten Spirale durch die erste Schlinge, welche anfangs weit offen stand, und stiesz dabei das Cartonstückchen ab; dann wuchs sie senkrecht abwärts und zog sich dadurch in einen Knoten zusammen, welcher bald eng wurde!

Secundäre Würzelchen von *Zea*. — Kurze Zeit nachdem das erste Würzelchen erschienen ist, treiben andere aus dem Samen hervor, aber nicht seitlich von dem primären Würzelchen. Zehn von diesen secundären Würzelchen, welche schräg nach abwärts gerichtet waren, wurden dem Versuche unterworfen mit sehr kleinen Cartonvierecken, die mit Schellack an die untere Seite ihrer Spitzen befestigt

wurden. Wenn daher die Vierecke wirkten, so müßten sich die Würzelchen aufwärts im Gegensatze zu der Schwerkraft biegen. Das Glasgefäß stand (gegen das Licht geschützt) auf einem Sandbad, welches zwischen $24\frac{1}{2}$ und 28° C. in der Temperatur schwankte. Nach nur 5 Stunden war das eine ein wenig von dem Viereckchen abgebogen und bildete nach 20 Stunden eine Schlinge. Vier andere waren nach 20 Stunden beträchtlich von den Vierecken abgebogen, und drei von ihnen wurden hakenförmig mit nach dem Zenith gerichteten Spitzen, das eine nach 29 Stunden und die zwei anderen nach 44 Stunden. Um diese letztere Zeit war ein sechstes Würzelchen rechtwinklig von der das Cartonviereck tragenden Seite abgebogen worden. Es wurden hier nach im Ganzen sechs unter den zehn secundären Würzelchen beeinflusst und vier nicht. Es kann daher darüber kein Zweifel bestehen, dasz die Spitzen dieser secundären Würzelchen gegen leichte Berührung empfindlich sind, und dasz, wenn sie in dieser Weise gereizt werden, sie den oberen Theil von dem berührten Gegenstande sich wegzubiegen veranlassen; aber meistens, wie es scheint, nicht in einer so kurzen Zeit, wie bei den zuerst gebildeten Würzelchen.

Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen feuchte Luft.

SACHS hat vor einigen wenigen Jahren die interessante Entdeckung gemacht, dasz die Würzelchen vieler Pflanzensämlinge sich nach einer benachbarten feuchten Oberfläche hinbiegen⁹. Wir wollen uns bemühen nachzuweisen, dasz diese eigenthümliche Form von Empfindlichkeit in den Spitzen der Würzelchen ruht. Die Bewegung ist genau das Umgekehrte von der, welche durch die bis jetzt betrachteten Reizmittel erregt wird, welche den wachsenden Theil des Würzelchens veranlassen, sich von der Quelle des Reizes wegzubiegen. In unseren Experimenten befolgten wir SACHS' Plan. Es wurden Siebe mit in feuchten Sägespännen keimenden Samen so aufgehängt, dasz der Boden im Allgemeinen unter 40° gegen den Horizont geneigt war. Wenn die Würzelchen nur von Geotropismus beeinflusst worden wären, würden sie aus dem Boden des Siebes senkrecht nach abwärts gewachsen sein; da sie aber durch die benachbarte feuchte Oberfläche angezogen wurden, so bogen sie sich nach dieser hin und wurden 50° von der Senkrechten abgebogen. Um zu ermitteln, ob die Spitze oder der ganze wachsende Theil des

⁹ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 1. Bd. 1872, p. 209.

Würzelchens gegen feuchte Luft empfindlich ist, wurde in einer bestimmten Anzahl von Fällen ein von 1—2 mm langes Stück mit einer Mischung von Olivenöl und Lampenrusz überzogen. Diese Mischung wurde deshalb gemacht, um dem Öle Consistenz zu geben, so dasz eine dicke Fettschicht aufgetragen werden konnte, welche wenigstens in einem hohen Grade die feuchte Luft ausschlieszen konnte und leicht sichtbar war. Eine noch grözere Zahl von Versuchen als die, die wirklich angestellt wurden, würden nothwendig gewesen sein, hätte es sich nicht deutlich herausgestellt, dasz die Spitze des Würzelchens der Theil ist, welcher gegen verschiedene andere Reizmittel empfindlich ist.

Phaseolus multiflorus. — Neunundzwanzig Würzelchen, an denen nichts gethan worden war, und welche aus dem Siebe herauswuchsen, wurden zur nämlichen Zeit wie andere beobachtet, deren Spitzen mit Öl überzogen waren, und auch eine gleich lange Zeit. Von den 29 krümmten sich 24 so, dasz sie mit dem Boden des Siebes in dichte Berührung kamen. Der Sitz der ganzen Krümmung lag meist in einer Entfernung von 5—6 mm von der Spitze. Bei 8 Würzelchen waren die Spitzen in einer Länge von 2 mm eingeölt und bei zwei anderen in einer von $1\frac{1}{2}$ mm. Diese wurden bei einer Temperatur von 15—16° C. gehalten. Nach Verlauf von 19 Stunden bis 24 Stunden hiengen sie sämmtlich noch immer senkrecht oder beinahe senkrecht herab, denn einige von ihnen hatten sich nach der benachbarten feuchten Fläche unter ungefähr 10° hingebogen. Die feuchtere Luft auf einer Seite hatte daher nicht oder nur unbedeutend auf sie eingewirkt, obgleich der ganze obere Theil frei exponirt war. Nach 48 Stunden wurden drei von diesen Würzelchen beträchtlich nach dem Siebe hingekrümmt und das Fehlen der Krümmung in einigen von den andern dürfte vielleicht dadurch erklärt werden, dasz sie nicht sehr gut wuchsen. Es ist aber zu beachten, dasz während der ersten 19 bis 24 Stunden alle gut wuchsen, zwei von ihnen hatten in 11 Stunden von 2 bis 3 mm an Länge zugenommen; 5 andere waren in 19 Stunden um 5—8 mm gewachsen, und zwei, welche zuerst 4 und 6 mm lang gewesen waren, waren in 24 Stunden bis zu 15 und 20 mm gewachsen.

Die Spitzen von zehn Würzelchen, welche gleichfalls gut wuchsen, wurden mit dem Öl auf einer Strecke von nur 1 mm Länge überzogen und jetzt war das Resultat etwas verschieden; denn von diesen krümmten sich vier in 21—24 Stunden nach dem Siebe hin, während es sechs nicht thaten. Fünf von den letzteren wurden einen Tag noch beobachtet, und nun wurden sie sämmtlich, mit Ausnahme eines, nach dem Siebe hingekrümmt.

Die Spitzen von fünf Würzelchen wurden mit Höllenstein cauterisirt und wurden dadurch in einer Länge von ungefähr 1 mm zerstört. Sie wurden nach zwischen 11 und 24 Stunden schwankenden Perioden beobachtet, und es ergab sich, dasz sie gut gewachsen waren. Eines von ihnen hatte sich gekrümmt, bis es mit dem Siebe in Berührung gekommen

war, ein anderes war in der Krümmung nach ihm hin begriffen, während die übrigen drei noch immer senkrecht herabhiengen. Von sieben nicht cauterisirten, in derselben Zeit beobachteten Würzelchen, waren sämmtlich mit dem Siebe in Berührung gekommen.

Die Spitzen von 11 Würzelchen wurden durch angefeuchtetes Goldschlägerhäutchen, welches dicht anliegt, auf einer Länge, die von $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ mm schwankte, geschützt. Nach einer Zeit von 22—24 Stunden waren sechs von diesen Würzelchen deutlich nach dem Siebe hingebogen oder mit ihm in Berührung gekommen; zwei waren unbedeutend in dieser Richtung gekrümmt und drei durchaus nicht. Alle waren gut gewachsen. Von 14 zu derselben Zeit beobachteten Controlexemplaren hatten sich alle, mit Ausnahme eines, dem Siebe dicht genähert. Es geht aus diesen Fällen hervor, dass eine Kappe von Goldschlägerhäutchen, wenn auch nur in einem unbedeutenden Grade das Biegen der Würzelchen nach einer benachbarten, feuchten Fläche hin hemmt. Ob eine äusserst dünne Schicht dieser Substanz, wenn sie angefeuchtet worden, die Feuchtigkeit aus der Luft durchzutreten gestattet, wissen wir nicht. Ein Fall deutete an, dass die Kappen zuweilen noch wirksamer sind als aus den obigen Resultaten hervorgeht; denn von einem Würzelchen, welches nach 23 Stunden sich nur unbedeutend dem Siebe genähert hatte, wurde die Kappe ($1\frac{1}{2}$ mm lang) entfernt, und während der nächsten $15\frac{1}{2}$ Stunden krümmte es sich plötzlich gegen die Quelle der Feuchtigkeit, wobei der Hauptsitz der Krümmung auf einer 2—3 mm von der Spitze entfernten Stelle lag.

Vicia faba. — Die Spitzen von 13 Würzelchen wurden mit dem Öl in einer Länge von 2 mm überzogen, und man musz sich daran erinnern, dass bei diesen Würzelchen der Hauptsitz der Krümmung ungefähr 4 oder 5 mm von der Spitze abliegt. Vier von ihnen wurden nach 22 Stunden, drei nach 26 und sechs nach 36 Stunden untersucht, und keines war nach der feuchten, unteren Fläche des Siebes hingezogen worden. In einem anderen Versuche wurden sieben Würzelchen ähnlich behandelt, und fünf von ihnen wiesen nach 11 Stunden noch immer senkrecht nach abwärts, während zwei ein wenig nach dem Siebe hin gekrümmt waren. Durch einen Zufall wurden sie später nicht wieder beobachtet. In diesen beiden Versuchen wuchsen die Würzelchen gut, sieben von ihnen, welche zuerst von 4—11 mm lang waren, waren nach 11 Stunden zwischen 7 und 16 mm, drei, welche zuerst von 6—8 mm lang waren, waren nach 26 Stunden 11,5—18 mm lang, und endlich waren vier Würzelchen, welche zuerst 5—8 mm waren, nach 46 Stunden 18—23 mm lang. Die zur Controle dienenden oder nicht eingeöhlten Würzelchen wurden nicht ausnahmslos nach dem Boden des Siebes hingezogen. Aber bei einer Gelegenheit wurden 12 unter 13, welche zwischen 22 und 36 Stunden lang beobachtet wurden, in dieser Weise angezogen. Bei zwei anderen Gelegenheiten wurden zusammen genommen 38 Würzelchen unter 40 in ähnlicher Weise angezogen. Bei einer anderen Gelegenheit benahmen sich nur 7 unter 14 in dieser Art, aber nach zwei weiteren Tagen nahm das Verhältnis der gekrümmten zu den nicht gekrümmten bis zu 17 unter 23 zu. Bei einer letzten Gelegenheit wurden unter 20 nur 11 in dieser Weise angezogen. Wenn wir diese Zahlen zusammen rechnen, so finden wir, dass 78 unter 96 Controlexemplaren sich nach dem Boden des Siebes

hinkrümmten, von den Exemplaren mit eingeöhlten Spitzen krümmten sich nur zwei unter 20 (aber sieben von ihnen wurden keine hinreichend lange Zeit beobachtet). Wir können daher kaum daran zweifeln, dass die Spitze in einer Länge von 2 mm der Theil ist, welcher gegen feuchte Atmosphäre empfindlicher ist und den oberen Theil sich nach der Quelle der Feuchtigkeit hinzubiegen veranlaszt.

Die Spitzen von 15 Würzelchen wurden mit Höllenstein cauterisirt, und sie wuchsen so gut wie die oben beschriebenen mit eingeöhlten Spitzen. Nach Verlauf von 24 Stunden waren 9 von ihnen durchaus nicht nach dem Boden des Siebes hingekrümmt; zwei waren unter Winkeln von 20° und 12° aus ihrer früheren verticalen Stellung nach ihm hingekrümmt und vier waren in dichte Berührung mit ihm gekommen. Es verhinderte daher die Zerstörung der Spitze in einer Längenausdehnung von ungefähr 1 mm die Krümmung der größeren Zahl dieser Würzelchen nach der benachbarten feuchten Fläche hin. Von 24 Controlexemplaren waren 23 nach dem Siebe hin gekrümmt, und bei einer zweiten Gelegenheit waren 15 unter 16 in größerem oder geringerem Grade in ähnlicher Weise gekrümmt. Diese Controlversuche sind in den in dem vorausgehenden Absatze enthaltenen eingeschlossen.

Avena sativa. — Die Spitzen von 13 Würzelchen, welche zwischen 2 und 4 mm vom Boden des Siebes, viele von ihnen nicht vollkommen, senkrecht abwärts vorsprangen, wurden mit dem schwarzen Ölgemisch in einer Länge von 1—1½ mm überzogen. Die Siebe waren unter 30° gegen den Horizont geneigt. Die größere Zahl dieser Würzelchen wurde nach 22 Stunden, und einige wenige nach 25 Stunden untersucht, und innerhalb dieser Intervalle waren sie so schnell gewachsen, dass sie ihre Länge nahezu verdoppelt hatten. Bei den nicht mit Fett überzogenen Würzelchen war der Hauptsitz der Krümmung in einer Entfernung von nicht weniger als zwischen 3,5 und 5,5 mm und von nicht mehr als zwischen 7 und 10 mm von der Spitze. Unter den 13 Würzelchen mit eingeöhlten Spitzen hatten sich vier durchaus gar nicht gegen das Sieb bewegt; sechs waren gegen dasselbe hingebogen und von der Senkrechten ab unter zwischen 10 und 35° schwankenden Winkeln, und drei waren in dichte Berührung mit ihm gekommen. Auf den ersten Blick scheint es also, als wenn das Einölen der Spitzen dieser Würzelchen ihr Hinbiegen nach der benachbarten feuchten Oberfläche nur wenig verhindert hätte. Aber die Besichtigung der Siebe bei zwei Gelegenheiten rief einen vollständig verschiedenen Eindruck hervor; denn es war unmöglich, die Würzelchen mit den schwarzen eingeöhlten Spitzen aus dem Boden vorspringen und alle die mit nicht eingeöhlten Spitzen, der Zahl nach mindestens 40—50 dicht an ihnen anhängen zu sehen, und dann noch zu zweifeln, dass das Einölen eine grosse Wirkung hervorgebracht hatte. Bei näherer Untersuchung konnte nur ein einziges nicht geöltes Würzelchen gefunden werden, welches nicht nach dem Siebe hin gekrümmt war. Es ist wahrscheinlich, dass, wenn die Spitzen mit dem Ölüberzug in einer Länge von 2 mm anstatt von 1—1½ mm geschützt worden wären, sie durch die feuchte Luft nicht afficirt und keines gekrümmt worden wäre.

Triticum vulgare. — Analoge Versuche wurden mit 8 Würzelchen des gemeinen Weizens angestellt, und das Einölen ihrer Spitzen brachte

viel weniger Wirkung hervor als beim Hafer. Nach 22 Stunden waren fünf von ihnen mit dem Boden des Siebes in Berührung gekommen, zwei hatten sich 10° und 15° nach ihm hinbewegt, und nur eines blieb senkrecht. Es war nicht eines unter den sehr zahlreichen nicht eingeöhlten Würzelchen, welches nicht in dichte Berührung mit dem Siebe gekommen wäre. Diese Versuche wurden am 28. November angestellt, als die Temperatur nur $4,8^{\circ}$ C. um 10 Uhr a. m. betrug. Wir würden diesen Fall kaum für der Mittheilung werth erachten, wäre es nicht wegen des folgenden Umstandes gewesen. Im Anfange des October, als die Temperatur beträchtlich höher war, nämlich $12-13^{\circ}$ C., fanden wir, dasz nur wenige der nicht eingeöhlten Würzelchen nach dem Siebe hingebogen wurden, und dies weist darauf hin, dasz Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit in der Luft durch eine niedrige Temperatur vermehrt wird, wie wir es bei den Würzelchen von *Vicia faba* in Beziehung auf an ihre Spitzen befestigte Gegenstände gesehen haben. Aber im vorliegenden Falle ist es möglich, dasz eine Verschiedenheit in der Trockenheit der Luft die Verschiedenheit in den Resultaten zu den beiden Perioden verursacht haben könnte.

Endlich zeigen die eben mitgetheilten Thatsachen in Bezug auf *Phaseolus multiflorus*, *Vicia faba* und *Avena sativa*, wie es uns scheint, dasz eine in einer Längenausdehnung von $1\frac{1}{2}-2$ mm über die Spitze der Würzelchen ausgebreitete Fettschicht oder die Zerstörung der Spitze durch Ätzmittel das Vermögen in dem oberen und exponirten Theile, sich nach der benachbarten Feuchtigkeitsquelle hinzubiegen, bedeutend vermindert oder vollständig vernichtet. Wir müssen uns daran erinnern, dasz der Theil, welcher sich am meisten biegt, in einer geringen Entfernung oberhalb der eingeöhlten oder cauterisirten Spitze liegt, und dasz das rapide Wachsthum dieses Theiles beweist, dasz er dadurch, dasz die Spitzen in dieser Weise behandelt worden sind, nicht beschädigt worden ist. In denjenigen Fällen, in denen die Würzelchen mit eingeöhlten Spitzen gekrümmt wurden, ist es möglich, dasz die Ölschicht nicht hinreichend dick war, die Feuchtigkeit ganz abzuhalten, oder dasz keine hinreichende Länge hierdurch geschützt, oder, was den Fall mit Ätzmitteln betrifft, nicht zerstört war. Lässt man Würzelchen mit eingeöhlten Spitzen mehrere Tage in feuchter Luft wachsen, so wird das Fett in die feinsten, netzförmig verbundenen Fädchen und Punkte mit schmalen, vollständig rein gelassenen Stellen der Oberfläche zwischen ihnen ausgezogen. Es ist wahrscheinlich, dasz solche Stellen im Stande sind Feuchtigkeit zu absorbiren, und in dieser Weise können wir es erklären, dasz mehrere der Würzelchen mit eingeöhlten Spitzen nach einem Verlaufe von ein oder zwei Tagen nach dem Siebe hingekrümmt wurden. Im Ganzen können wir schlieszen,

dasz Empfindlichkeit gegen eine Verschiedenheit in dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft auf den beiden Seiten eines Würzelchens in der Spitze ihren Sitz hat, welche einen gewissen Reiz dem oberen Theile überliefert und hierdurch ihn nach der Feuchtigkeitsquelle hinzubiegen veranlaszt. In Folge dessen ist die Bewegung das Umgekehrte von der durch an einer Seite der Spitze angehängte Gegenstände veranlaszten oder von der in Folge des Abschneidens eines dünnen Scheibchens oder durch leichte Cauterisation verursachten. In einem späteren Capitel wird gezeigt werden, dasz Empfindlichkeit gegen die Anziehung der Schwerkraft gleichfalls in der Spitze ihren Sitz hat, sodasz es die Spitze ist, welche die benachbarten Theile eines horizontal ausgestreckten Würzelchens reizt, sich nach dem Mittelpunkte der Erde hinzubiegen.

Secundäre Würzelchen werden senkrecht geotropisch durch Zerstörung oder Verletzung des terminalen Theiles des primären Würzelchens.

SACHS hat gezeigt, dasz die seitlichen oder secundären Würzelchen der Bohne und wahrscheinlich auch anderer Pflanzen vom Geotropismus in einer so eigenthümlichen Weise beeinflusst werden, dasz sie horizontal oder ein wenig abwärts geneigt auswachsen, und er hat ferner die interessante Thatsache nachgewiesen¹⁰, dasz, wenn das Ende des primären Würzelchens abgeschnitten wird, eines der nächsten secundären Würzelchen seine Natur ändert und senkrecht nach abwärts wächst, hiermit das primäre Würzelchen ersetzend. Wir wiederholten diesen Versuch und pflanzten Bohnen mit amputirten Würzelchen in zerreiblichen Torf und erhielten das von SACHS beschriebene Resultat; meistens wuchsen aber zwei oder drei der secundären Würzelchen senkrecht nach abwärts. Wir modificirten auch den Versuch so, dasz wir junge Würzelchen eine kleine Strecke oberhalb ihrer Spitzen zwischen den Schenkeln eines U-förmigen Stückes dicken Bleidrahtes quetschten. Der gequetschte Theil wurde hierdurch abgeplattet und wurde später verhindert dicker zu wachsen. An fünf Würzelchen wurden die Enden abgeschnitten und dienten als Controle oder Maszstäbe. Acht wurden gequetscht; von diesen wurden zwei zu stark gequetscht und ihre Enden starben und fielen ab. Zwei wurden nicht stark genug gequetscht und wurden nicht merkbar afficirt; die übrig

¹⁰ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 4. Heft 1874, p. 622.

bleibenden vier wurden hinreichend stark gequetscht, um das Wachstum des terminalen Theils zu unterbrechen, erschienen aber anderweit nicht verletzt. Wenn die **U**-förmigen Drähte entfernt wurden (nach einem Verlaufe von 15 Tagen), fand sich der Theil unterhalb des Drahtes sehr dünn und brach leicht ab, während der Theil darüber verdickt war. Nun waren in diesen vier Fällen eines oder mehrere der secundären Würzelchen, die aus dem verdickten Theile dicht oberhalb des Drahtes entsprangen, senkrecht nach abwärts gewachsen. Im besten Falle war das primäre Würzelchen (der Theil unterhalb des Drahtes war $1\frac{1}{2}$ Zoll lang) etwas verdreht und war nicht halb so lang wie drei benachbarte secundäre Würzelchen, welche senkrecht oder beinahe senkrecht abwärts gewachsen waren. Einige dieser secundären Würzelchen hiengen aneinander oder waren zusammengeflossen. Wir lernen aus diesen vier Fällen, dasz es, damit ein secundäres Würzelchen die Natur eines primären annimmt, nicht nothwendig ist, dasz das letztere wirklich amputirt werde; es ist hinreichend, dasz der Säftezufluss in dasselbe unterbrochen und in Folge dessen in die benachbarten secundären Würzelchen gerichtet werde; denn dies scheint das augenfälligste Resultat des Versuchs zu sein, wenn das primäre Würzelchen zwischen den Armen eines **U**-förmigen Drahtes gequetscht wurde.

Diese Veränderung in der Natur secundärer Würzelchen ist, wie SACHS bemerkt hat, derjenigen offenbar analog, welche bei Schöszlingen von Bäumen vorkommt, wenn der leitende Sprosz zerstört und später durch einen oder mehrere von den Seitensprossen ersetzt wird. Denn diese wachsen nun anstatt subhorizontal gerade aufrecht. Aber in diesem letzteren Falle werden die Seitensprossen apogeotropisch gemacht, während bei Würzelchen die seitlichen geotropisch gemacht werden. Wir werden naturgemäsz zu der Vermuthung geführt, dasz ein und dieselbe Ursache bei Sprossen thätig ist wie bei Wurzeln, nämlich ein vermehrter Säftezufluss zu den seitlichen. Wir machten einige Versuche bei *Abies communis* und *pectinata* in der Weise, dasz wir mit Draht den leitenden und sämmtliche Seitensprosse mit Ausnahme eines gequetschten. Wir glauben aber, dasz sie zu alt waren, als die Versuche an ihnen angestellt wurden; auch wurden einige zu stark gequetscht und einige nicht stark genug. Nur ein Fall war erfolgreich, nämlich an der Rothtanne. Der leitende Sprosz wurde nicht getödtet, aber sein Wachstum wurde aufgehhalten. An seiner Basis

fanden sich drei seitliche Sprossen in einem Wirtel, von denen zwei eingeklemmt und einer dadurch getödtet wurde. Der dritte wurde unberührt gelassen. Diese Seitensprossen standen, als die Operation an ihnen vollzogen wurde (14. Juli) in einem Winkel von 8° über dem Horizont; am 8. September hatte sich der nicht geklemmte um 35° erhoben; am 4. October war er 46° und am 26. Januar 48° gestiegen und war nun ein wenig einwärts gekrümmt worden. Ein Theil dieser Erhebung von 48° kann dem gewöhnlichen Wachsthum zugeschrieben werden, denn der geklemmte Sprosz erhob sich in derselben Zeit 12° . Es folgt hieraus, dasz der nicht geklemmte Sprosz am 26. Januar 56° über dem Horizont oder 34° von der Verticalen abstand. Er war hiernach offenbar beinahe bereit den langsam wachsenden, eingeklemmten, leitenden Sprosz zu ersetzen. Trotzdem fühlen wir uns in Bezug auf dieses Experiment etwas zweifelhaft, denn wir haben seitdem mit Rothtannen, welche etwas kränklich wuchsen, beobachtet, dasz die Seitensprossen in der Nähe des Gipfels zuweilen in hohem Winkel aufgerichtet werden, während der leitende Sprosz allem Anschein nach gesund bleibt.

Eine ganz verschiedene Einwirkung verursacht nicht selten, dasz Sprossen, welche naturgemäsz horizontal ausgewachsen sein würden, senkrecht aufwachsen. Die Seitenzweige der Silbertanne (*Abies pectinata*) werden häufig von einem Pilz afficirt, *Aecidium elatinum*, welcher es verursacht, dasz sich der Zweig in einen ovalen, aus hartem Holze gebildeten Knoten erweitert, in deren einem wir 24 Wachstumsringe zählten. Wenn das Mycelium in eine Knospe eindringt, die sich zu verlängern beginnt, so wächst nach der Angabe von DE BARY¹¹ der Sprosz, der sich aus der Knospe entwickelt, senkrecht aufwärts. Derartige aufrechte Sprossen bringen später seitliche und horizontale Zweige hervor, und sie bieten eine merkwürdige Erscheinung dar, als wenn ein junger Tannenbaum aus einem den Zweig umgebenden Ballen Thons herausgewachsen wäre. Diese aufrechten Sprossen haben offenbar ihre Natur verändert und sind apogeotropisch geworden. Denn wenn sie nicht von dem *Aecidium* afficirt worden wären, wären sie wie alle die übrigen Zweige an denselben Astern horizontal ausgewachsen. Diese Veränderung kann kaum eine Folge eines vermehrten Säfte-

¹¹ s. seinen werthvollen Aufsatz in: Botan. Zeitung, 1867, p. 257 über diese monströsen Bildungen, welche in Deutschland „Hexenbesen“ genannt werden.

zuflusses in den Theil sein, sondern die Gegenwart des Myceliums wird seine natürliche Constitution bedeutend gestört haben.

Nach der Angabe von Mr. MEEHAN¹² sind die Stämme von drei Species von *Euphorbia* und von *Portulaca oleracea* „im Normalzustande niedergelegt oder kriechend“. Wenn sie aber von einem *Aecidium* angegriffen werden, nehmen sie einen aufrechten Habitus an. Dr. STAHL theilt uns mit, dasz er mehrere analoge Fälle kennt, und diese scheinen mit dem von *Abies* verwandt zu sein. Die Rhizome von *Sparganium ramosum* wachsen im Boden zu einer beträchtlichen Länge aus oder sind diageotropisch; F. ELFVING hat aber gefunden, dasz, wenn sie in Wasser cultivirt werden, ihre Spitze nach aufwärts gewendet und sie apogeotropisch wurden. Dasselbe Resultat folgte, wenn der Stamm der Pflanze so lange gekrümmt wurde, bis er brach, oder einfach stark gebogen wurde¹³.

Für derartige Fälle wie die vorstehenden, nämlich, dasz secundäre Würzelchen senkrecht abwärts und Seitenschosse senkrecht aufwärts wachsen, nach der Amputation des primären Würzelchens oder des leitenden Sprosses, ist bis jetzt noch keine Erklärung zu geben versucht worden. Die folgenden Betrachtungen geben uns, wie wir meinen, den Schlüssel dazu. Erstens ist jede Ursache, welche die Constitution stört¹⁴, auch geneigt einen Rückschlag zu veranlassen: so die Kreuzung zweier verschiedener Racen oder eine Veränderung der Lebensbedingungen, wie wenn domesticirte Thiere wild werden. Aber der Fall, welcher uns am meisten angeht, ist das häufige Erscheinen pelorischer Blüthen an dem Gipfel eines Stammes oder in der Mitte der Inflorescenz, Theile, welche, wie man annimmt, den meisten Saft erhalten; denn wenn eine unregelmäßige Blüthe vollständig regelmäszig oder pelorisch wird,

¹² Proc. Acad. Nat. Scienc. Philadelphia, 16. June 1874, und 23. July 1875.

¹³ J. F. Elfving's interessanten Aufsatz in: Arbeiten botan. Instituts Würzburg, 2. Bd. 1880. p. 489. Carl Kraus (Triesdorf) hat früher beobachtet (Flora, 1878, p. 324), dasz die unterirdischen Sprossen von *Triticum repens* sich senkrecht aufwärts biegen, wenn die Theile über der Erde entfernt und die Rhizome zum Theil in Wasser eingetaucht gehalten werden.

¹⁴ Die Thatsachen, auf welche sich die folgenden Folgerungen gründen, sind mitgetheilt worden in: Variiren der Thiere und Pflanzen im Zustande der Domestication, Übers. 3. Aufl. 1878. Wegen der zu Rückschlag führenden Ursachen s. 2 Bd. 12. Cap. und 14. Cap. p. 65. Über pelorische Blüthen s. 13. Cap. p. 35; über ihre Stellung an der Pflanze s. p. 370. In Bezug auf Samen s. p. 373. Über Rückschlag durch Knospen s. 1. Bd. 11. Cap. p. 458.

kann dies wenigstens zum Theil dem Rückschlag auf einen primitiven und normalen Typus zugeschrieben werden. Selbst die Stellung eines Samenkorns am Ende der Kapsel gibt dem aus demselben entwickelten Sämlinge zuweilen eine Neigung zum Rückschlagen. Zweitens tritt Rückschlag häufig mittelst Knospen auf unabhängig von der Reproduction durch Samen, so dasz eine Knospe auf den Character eines früheren, viele Generationen zurückliegenden Zustandes zurückschlagen kann. Bei Thieren kann Rückschlag im Individuum mit vorschreitendem Alter eintreten. Drittens und letztens sind Würzelchen, wenn sie zuerst aus dem Samen vortreten, immer geotropisch und die Plumulae oder Sprossen beinahe immer apogeotropisch. Wenn daher irgend eine Ursache, wie beispielsweise ein verminderter Säftezufluss oder das Vorhandensein eines Myceliums, die Constitution eines Seitensprosses oder eines secundären Würzelchens stört, so sind diese geneigt auf ihren primordialis Zustand zurückzuschlagen, und sie werden entweder apogeotropisch oder geotropisch, wie der Fall liegen mag, und in Folge dessen wachsen sie entweder senkrecht nach oben oder senkrecht nach unten. Es ist in der That möglich oder selbst wahrscheinlich, dasz diese Neigung zum Rückschlag vergrößert worden sein dürfte, da er offenbar für die Pflanze von Nutzen ist.

Zusammenfassung des Capitels.

Ein Theil oder Organ kann empfindlich oder sensitiv genannt werden, wenn seine Reizung eine Bewegung in einem benachbarten Theile anregt. Nun ist in diesem Capitel gezeigt worden, dasz die Spitze des Würzelchens der Bohne in diesem Sinne gegen die Berührung irgend eines kleinen, an einer Seite mit Schellack oder Gummivasser angehefteten Gegenstandes empfindlich ist, ebenso gegen eine leichte Berührung mit trockenen Ätzmitteln oder gegen das Abschneiden eines dünnen Scheibchens an einer Seite. An den Würzelchen der Erbse wurden Versuche angestellt mit angehefteten Gegenständen und mit Ätzmitteln, welche beide wirkten. Bei *Phaseolus multiflorus* war die Spitze kaum empfindlich gegen angehängte kleine Cartonvierecke, war aber gegen Ätzmittel und das Abschneiden eines Scheibchens empfindlich. Die Würzelchen von *Tropaeolum* waren gegen Berührung in hohem Grade empfindlich; und dies waren auch, soweit wir es beurtheilen konnten, diejenigen von *Gossypium herbaceum*, und sicher waren sie sensitiv gegen Ätzmittel. Die Spitzen der Würzelchen von

Cucurbita ovifera waren gleichfalls gegen Ätzmittel in hohem Grade empfindlich, obschon nur mäsizig empfindlich gegen Berührung. *Raphanus sativus* bot einen etwas zweifelhaften Fall dar. Bei *Aesculus* waren die Spitzen gegen an sie gehängte Körperchen völlig indifferent, obschon sie gegen Höllenstein empfindlich waren. Diejenigen von *Quercus robur* und *Zea mays* waren gegen Berührung in hohem Grade empfindlich, wie es auch die Würzelchen der letzteren Pflanze gegen Ätzmittel waren. In mehreren dieser Fälle war der Unterschied in der Empfindlichkeit der Spitze gegen Berührung und gegen Ätzung, wie wir meinen, bloz scheinbar; denn bei *Gossypium*, *Raphanus* und *Cucurbita* war die Spitze so fein und biegsam, dasz es sehr schwer war irgend einen Gegenstand auf einer ihrer Seiten anzuheften. Bei den Würzelchen von *Aesculus* waren die Spitzen gegen kleine, an sie angeheftete Körper durchaus nicht empfindlich, es folgt aber aus dieser Thatsache nicht, dasz sie gegen etwas stärker fortdauernden Druck, wenn derselbe hätte angewendet werden können, nicht empfindlich gewesen wären.

Die eigenthümliche Form von Empfindlichkeit, welche wir hier betrachten, ist auf die Spitze des Würzelchens in einer Längenausdehnung von 1—1½ mm beschränkt. Wenn dieser Theil durch Berührung mit irgend einem Gegenstande, durch ein Ätzmittel oder dadurch, dasz eine dünne Scheibe abgeschnitten wird, gereizt wird, wird der obere benachbarte Theil des Würzelchens in einer Längenausdehnung von 6 oder 7 bis selbst 12 mm angeregt, sich von der Seite, welche gereizt worden ist, wegzubiegen. Es musz daher ein gewisser Einfluss von der Spitze aus dem Würzelchen entlang auf diese Längenausdehnung fortgeleitet werden. Die hierdurch veranlaszte Krümmung ist meistens symmetrisch. Der Theil, welcher sich am meisten biegt, fällt augenscheinlich mit dem des schnellsten Wachsthums zusammen. Die Spitze und der basale Theil wachsen sehr langsam und biegen sich sehr wenig.

Betrachten wir die sehr entfernte Stellung der verschiedenen oben genannten Gattungen in der Pflanzenreihe, so können wir schlieszen, dasz die Spitzen der Würzelchen aller oder beinahe aller Pflanzen in ähnlicher Weise sensitiv sind und einen Einfluss fortleiten, welcher den oberen Theil sich zu biegen veranlaszt. In Bezug auf die Spitzen der secundären Würzelchen wurden nur diejenigen von *Vicia faba*, *Pisum sativum* und *Zea mays* beobachtet, und sie ergaben sich in ähnlicher Weise empfindlich.

Damit diese Bewegungen ordentlich entfaltet werden, erscheint es nothwendig, dasz die Würzelchen mit der normalen Schnelligkeit wachsen. Werden sie einer hohen Temperatur ausgesetzt und rapid zu wachsen veranlaszt, so scheinen die Spitzen entweder ihre Empfindlichkeit oder der obere Theil das Vermögen sich zu biegen zu verlieren. Dasselbe scheint der Fall zu sein, wenn sie sehr langsam wachsen, weil sie nicht kräftig sind, oder weil sie bei einer zu niedrigen Temperatur gehalten werden, ebenso, wenn sie in der Mitte des Winters zu keimen gezwungen werden.

Die Krümmung des Würzelchens tritt zuweilen innerhalb 6—8 Stunden ein, nachdem die Spitze gereizt worden ist, und beinahe immer innerhalb 24 Stunden, ausgenommen den Fall der massiven Würzelchen von *Aesculus*. Die Krümmung beträgt häufig bis zu einem rechten Winkel, — d. h. der terminale Theil biegt sich aufwärts, bis die Spitze, welche nur wenig gekrümmt ist, beinahe horizontal vorspringt. Gelegentlich fährt die Spitze wegen der fortdauernden Reizung des angehefteten Gegenstandes sich zu biegen fort, bis sie einen Haken mit der Spitze nach dem Zenith gerichtet, oder eine Schleife, oder selbst eine Spirale bildet. Nach einiger Zeit wird augenscheinlich das Würzelchen an die Reizung gewöhnt, wie es bei Ranken eintritt, denn sie wächst wiederum abwärts, obschon das Cartonstückchen oder irgend ein anderer Gegenstand an der Spitze angeheftet bleiben mag.

Offenbar kann ein kleiner, an die freie Spitze eines senkrecht aufgehängten Würzelchens angehefteter Gegenstand seinem Wachsthum als Ganzes keinen mechanischen Widerstand darbieten, denn der Gegenstand wird nach abwärts geführt, wie das Würzelchen sich verlängert, oder aufwärts, wenn das Würzelchen aufwärts gekrümmt wird. Auch kann das Wachsthum der Spitze selbst nicht mechanisch durch irgend einen an dasselbe mit Gummiwasser angehefteten Gegenstand aufgehalten werden, welches die ganze Zeit vollkommen weich bleibt. Das Gewicht des Gegenstandes, obschon vollständig bedeutungslos, ist der Aufwärtskrümmung entgegen. Wir können daher schlieszen, dasz es die in Folge der Berührung eintretende Reizung ist, welche die Bewegung anregt. Die Berührung indessen musz eine länger dauernde sein, denn die Spitzen von 15 Würzelchen wurden eine kurze Zeit lang gerieben und dies verursachte keine Beugung derselben. Wir haben daher hier einen Fall von specialisirter Empfindlichkeit, ähnlich

dem der Drüsen bei *Drosera*; denn diese sind exquisit empfindlich für den leisesten Druck, wenn er verlängert wird, aber nicht für zwei oder drei rauhe Berührungen.

Wenn die Spitze eines Würzelchens an einer Seite leicht mit trockenem Höllenstein berührt wird, so ist die hierdurch verursachte Verletzung sehr unbedeutend, und der benachbarte obere Theil biegt sich von dem cauterisirten Punkte in den meisten Fällen mit grösserer Sicherheit weg, als von einem an einer Seite befestigten Gegenstande. Hier ist es offenbar nicht die blosze Berührung, sondern die durch das Ätzmittel hervorgerufene Wirkung, welche die Spitze veranlaszt, einen gewissen Einflusz auf den benachbarten Theil überzuleiten und ihn hierdurch zum Abbiegen anzuregen. Wenn eine Seite der Spitze bedenklich durch das Ätzmittel verletzt oder getödtet wird, so hört sie auf zu wachsen, während die entgegengesetzte Seite zu wachsen fortfährt; und das Resultat ist, dasz die Spitze selbst sich nach der verletzten Seite hinbiegt und häufig vollständig hakenförmig wird; und es ist merkwürdig, dasz in diesem Falle der benachbarte obere Theil sich nicht biegt. Der Reiz ist zu kräftig, oder der Stosz zu bedeutend, um den gehörigen Einflusz von der Spitze aus fortzuleiten zu lassen. Wir haben genau analoge Fälle bei *Drosera*, *Dionaea* und *Pinguicula*, bei welchen Pflanzen ein zu kräftiger Reiz die Tentakeln nicht anregt einwärts gekrümmt zu werden, oder die Lappen sich zu schlieszen oder den Rand sich einwärts zu falten.

In Bezug auf den Grad der Empfindlichkeit der Spitze gegen Berührung unter günstigen Bedingungen haben wir gesehen, dasz bei *Vicia faba* ein kleines Viereck von Schreibpapier mit Schellack angeheftet hinreicht, Bewegung zu verursachen, wie es bei einer Gelegenheit auch ein Viereck von einfach angefeuchtetem Goldschlägerhäutchen that; es wirkte aber sehr langsam. Kurze Stückchen mäszig dicker Borsten (von welchen Messungen mitgetheilt worden sind), mit Gummiwasser befestigt, wirkten nur in drei unter 11 Versuchen, und Tropfen getrockneten Schellacks unter $\frac{1}{200}$ Gran Gewicht wirkten nur zweimal in 9 Fällen, so dasz wir hier nahezu das Minimum der nothwendigen Reizung erreicht haben. Die Spitze ist daher viel weniger empfindlich gegen Druck als die Drüsen der *Drosera*; denn diese werden durch weit dünnere Gegenstände als Stückchen Borsten und durch ein viel geringeres Gewicht als $\frac{1}{200}$ Gran afficirt. Aber der weitaus interessanteste Beleg für die zarte Empfindlichkeit der Spitze des Würzel-

chens wurde von seinem Vermögen dargeboten zwischen gleichgroßen Vierecken cartonartigen und sehr dünnen Papierses zu unterscheiden, wenn diese an entgegengesetzten Seiten befestigt wurden, wie es bei den Würzelchen der Bohne und Eiche beobachtet wurde.

Wenn Würzelchen der Bohne horizontal ausgestreckt wurden, mit Cartonvierecken an die unteren Seiten ihrer Spitzen geheftet, wurde die hierdurch verursachte Reizung immer vom Geotropismus überwunden, welcher dann unter den günstigsten Bedingungen unter rechtem Winkel auf das Würzelchen einwirkte. Wenn aber Gegenstände an die Würzelchen irgend eines der oben genannten Gattungen, wenn sie senkrecht aufgehängt waren, angeheftet wurden, so überwand die Reizung den Geotropismus, welche letztere Kraft anfangs schräg auf das Würzelchen einwirkte, so dass die unmittelbare Reizung durch den angehefteten Gegenstand, unterstützt durch seine Nachwirkungen, vorherrschte und es veranlaszte, dass das Würzelchen sich aufwärts bog, bis zuweilen die Spitze nach dem Zenith gerichtet war. Wir müssen indessen annehmen, dass die Nachwirkungen der Reizung der Spitze durch einen angehefteten Gegenstand erst dann ins Spiel kamen, nachdem die Bewegung angeregt worden war. Die Spitzen der Würzelchen der Erbse scheinen gegen Berührung empfindlicher zu sein, als die der Bohne, denn wenn sie, mit Cartonviereckchen an ihre unteren Seiten angehängt, horizontal ausgestreckt wurden, trat gelegentlich ein sehr merkwürdiger Kampf ein, wobei zuweilen die eine, zuweilen die andere Kraft vorherrschte; schliesslich war aber Geotropismus immer siegreich. Nichtsdestoweniger wurde in zwei Fällen der terminale Theil so stark aufwärts gekrümmt, dass sich später Schlingen bildeten. Bei der Erbse sind daher die Reizungen durch einen angehefteten Gegenstand und durch Geotropismus, wenn er unter rechten Winkeln auf das Würzelchen wirkt, nahezu gleich abgewogene Kräfte. Sehr ähnliche Resultate wurden bei den horizontal ausgestreckten Würzelchen von *Cucurbita ovifera* beobachtet, wenn ihre Spitzen unbedeutend auf den unteren Seiten cauterisirt wurden.

Endlich sind die verschiedenen coordinirten Bewegungen, durch welche Würzelchen in den Stand gesetzt werden, ihre ihnen eigenen Functionen auszuführen, wunderbar vollkommen. In welcher Richtung nur immer das primäre Würzelchen zuerst aus dem Samen vortritt, der Geotropismus leitet es senkrecht abwärts, und die Fähigkeit durch die Anziehung der Schwerkraft beeinflusst zu werden liegt in der

Spitze. SACHS hat aber nachgewiesen¹⁵, dasz die secundären Würzelchen oder die von dem primären ausgesandten vom Geotropismus in einer solchen Weise beeinflusst werden, dasz sie nur schräg abwärts zu biegen neigen. Wären sie gleich dem primären Würzelchen beeinflusst worden, so würden sämmtliche Würzelchen die Erde in einem dichten Bündel durchbohrt haben. Wir haben gesehen, dasz, wenn das Ende des primären Würzelchens abgeschnitten oder verletzt wird, die benachbarten secundären Würzelchen geotropisch werden und senkrecht abwärts wachsen. Dies Vermögen musz häufig für die Pflanze von groszem Nutzen sein, wenn das primäre Würzelchen durch die Larven von Insecten, grabende Thiere oder irgend einen andern Zufall zerstört worden ist. Die tertiären Würzelchen oder die von den secundären ausgehenden werden wenigstens in dem Falle der Bohne vom Geotropismus nicht beeinflusst; so wachsen sie daher frei nach allen Richtungen aus. In Folge dieser Art des Wachsthums der verschiedenen Arten von Würzelchen werden sie zusammen mit ihren aufsaugenden Haaren durch den ganzen umgebenden Boden vertheilt, und zwar, wie SACHS bemerkt hat, in der vortheilhaftesten Art und Weise; denn der ganze Boden wird dadurch dicht abgesucht.

Wie im letzten Capitel gezeigt wurde, reizt der Geotropismus das primäre Würzelchen, sich mit sehr geringer Kraft nach abwärts zu biegen, völlig ungenügend die Erde zu durchdringen. Ein solches Durchdringen wird durch das zugespitzte Ende (von der Wurzelkappe geschützt) ausgeführt, welches durch die Längenausdehnung oder das Wachstum der terminalen starren Partie, unterstützt durch deren quere Ausdehnung, nach abwärts gedrückt wird, welche beide Kräfte mit bedeutender Gewalt wirken. Es ist indessen unerlässlich, dasz die Samen zuerst in irgend einer Art niedergehalten werden. Wenn sie auf der kahlen Oberfläche liegen, werden sie durch die Anheftung der Wurzelhaare an irgend welche benachbarte Objecte niedergehalten, und dies wird allem Anschein nach durch die Umwandlung ihrer äusseren Flächen in eine Art Cement bewirkt. Aber viele Samen werden durch verschiedene Zufälligkeiten bedeckt, oder sie fallen in Spalten oder Höhlen. Bei einigen Samen genügt schon ihr eigenes Gewicht.

Die circumnutirende Bewegung des terminalen wachsenden Theils sowohl des primären als der secundären Würzelchen ist so schwach,

¹⁵ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 4. Heft 1874, p. 605—631.

dasz sie dieselben beim Durchbohren der Erde sehr wenig unterstützen kann, ausgenommen, wenn die oberflächliche Schicht sehr weich und feucht ist. Sie musz sie aber materiell unterstützen, wenn sie zufällig schräg in Spalten oder in von Regenwürmern oder Larven gebildete Höhlen eindringen. Überdies musz diese Bewegung in Verbindung mit der Empfindlichkeit der Spitze gegen Berührung von der höchsten Bedeutung sein; denn da die Spitze immer bemüht ist, sich nach allen Seiten zu biegen, wird sie nach allen Seiten hin drücken und wird hierdurch im Stande sein zwischen den härteren und weicheren benachbarten Flächen zu unterscheiden in derselben Weise, wie sie zwischen angehefteten Vierecken cartonartigen und dünnen Papiers unterscheidet. In Folge dessen wird sie dahin streben sich von dem härteren Boden wegzubiegen und wird daher die Richtung des mindesten Widerstandes einschlagen. Dasselbe wird eintreten, wenn sie auf einen Stein oder die Wurzel einer anderen Pflanze im Boden trifft, wie es beständig vorkommen musz. Wenn die Spitze nicht empfindlich wäre, und wenn sie nicht den oberen Theil der Wurzel anregte sich wegzubiegen, sobald sie nur unter rechten Winkeln irgend ein Hindernis im Boden trifft, so würde sie sich leicht in eine verwickelte Masse auf sich selbst zurückfalten. Wir haben aber bei Würzelchen, welche an geneigten Glasplatten abwärts wuchsen, gesehen, dasz, sobald die Spitze ein quer auf die Platte angekittetes Holzstückchen nur berührte, sich der ganze terminale wachsende Theil wegkrümmte, so dasz die Spitze bald in rechten Winkeln auf ihre frühere Richtung stand. Und dies würde der Fall bei einem Hindernis sein, wenn sie ein solches im Boden findet, soweit es der Druck des umgebenden Bodens gestatten würde. Wir können auch verstehen, warum dicke und starke Würzelchen, wie die von *Aesculus*, mit geringerer Empfindlichkeit begabt sind, als zartere; denn die starken werden schon durch die Kraft ihres Wachstums im Stande sein irgend ein unbedeutendes Hindernis zu überwinden.

Nachdem ein Würzelchen, welches durch irgend einen Stein oder eine Wurzel aus seinem natürlichen, abwärts gerichteten Wege abgelenkt ist, den Rand des Hindernisses erreicht hat, wird der Geotropismus es wieder so richten, dasz es wieder gerade nach abwärts wächst; wir wissen aber, dasz Geotropismus mit sehr geringer Kraft wirkt, und hier kommt, wie SACHS bemerkt hat¹⁶, eine andere ausgezeichnete

¹⁶ Arbeiten des botan. Instituts Würzburg, 3. Heft, p. 456.

Anpassung ins Spiel. Denn der obere Theil des Würzelchens, ein wenig oberhalb der Spitze, ist, wie wir gesehen haben, gleichfalls empfindlich; und diese Empfindlichkeit verursacht es, dasz das Würzelchen sich wie eine Ranke nach dem berührenden Gegenstande hinbiegt, so dasz es, wenn es sich über den Rand eines Hindernisses reibt, sich abwärts biegen wird; die hierdurch veranlaszte Krümmung ist plötzlich, in welcher Beziehung sie von der durch die Reizung einer Seite der Spitze verursachten abweicht. Diese Abwärtsbiegung fällt mit der in Folge des Geotropismus eintretenden zusammen, und beide werden es veranlassen, dasz die Wurzel ihren ursprünglichen Verlauf wieder annimmt.

Da Würzelchen einen Überschusz an Feuchtigkeit in der Luft auf einer Seite wahrnehmen und sich nach dieser Seite hinbiegen, so können wir schlieszen, dasz sie in der nämlichen Weise auch handeln werden in Bezug auf die Feuchtigkeit in der Erde. Die Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit liegt in der Spitze, welche die Biegung des oberen Theiles veranlaszt. Diese Fähigkeit erklärt vielleicht zum Theil den Grad, bis zu welchem Drainröhren häufig mit Wurzeln verstopft werden.

Betrachten wir die verschiedenen, in diesem Capitel mitgetheilten Fälle, so sehen wir, dasz der von einer Wurzel durch die Erde eingeschlagene Weg durch auszerordentlich complicirte und verschiedenartige Einwirkungen vorgezeichnet wird, — durch Geotropismus, welcher in einer verschiedenen Weise auf die primären, secundären und tertiären Würzelchen einwirkt, — durch Empfindlichkeit gegen Berührung, welche der Art nach in der Spitze und in dem unmittelbar über der Spitze gelegenen Theile verschieden ist, und allem Anscheine nach auch durch Empfindlichkeit gegen die wechselnde Feuchtigkeit verschiedener Theile des Bodens. Diese verschiedenen Reize zur Bewegung sind sämmtlich kräftiger als Geotropismus, wenn dieser schräg auf ein Würzelchen einwirkt, welches von seinem senkrecht nach abwärts gerichteten Verlaufe abgelenkt worden ist. Überdies werden die Wurzeln der meisten Pflanzen durch das Licht angeregt, sich entweder nach ihm hin oder von ihm wegzubiegen; da aber Wurzeln nicht naturgemäsz dem Lichte ausgesetzt sind, so ist es zweifelhaft, ob diese Empfindlichkeit, welche vielleicht nur das indirecte Resultat davon ist, dasz die Würzelchen gegen andere Reize in hohem Grade empfindlich sind, von irgend welchem Nutzen für die Pflanze ist. Die Richtung, welche die Spitze in jeder der aufeinander folgenden Wachstumsperioden einer Wurzel einschlägt, bestimmt schlieszlich ihren ganzen Weg; es ist daher in

hohem Grade wichtig, dasz die Spitze vom Anfange an die vortheilhafteste Richtung verfolge; und wir können hiernach verstehen, warum Empfindlichkeit gegen Geotropismus, gegen Berührung und gegen Feuchtigkeit sämmtlich in der Spitze ihren Sitz hat, und warum die Spitze den oberen wachsenden Theil veranlaszt, sich entweder von der erregenden Ursache weg oder nach ihr hinzubiegen. Ein Würzelchen kann mit einem grabenden Thiere, wie beispielsweise einem Maulwurfe, verglichen werden, welches wünscht senkrecht in den Boden hinabzudringen. Durch beständige Bewegung seines Kopfes von einer Seite zur anderen oder durch Circumnutiren wird es jeden Stein oder jedes andere Hindernis im Boden eben so wie jede Verschiedenheit in der Härte des Bodens fühlen und wird sich von dieser Seite weg wenden; wenn die Erde auf einer Seite feuchter ist als auf der anderen, wird es sich dahin als nach einem besseren Jagdgrund wenden. Trotzdem wird es nach jeder Unterbrechung durch das Gefühl der Schwerkraft im Stande sein, seinen Lauf abwärts wieder anzunehmen und sich in eine gröszere Tiefe einzugraben.

Viertes Capitel.

Die circumnutirenden Bewegungen der verschiedenen Theile erwachsener Pflanzen.

Circumnutation der Stämme: Schlussbemerkungen hierüber. — Circumnutation von Stolonen: dadurch für das Winden zwischen den Stämmen umgebender Pflanzen dargebotene Hülfe. — Circumnutation der Blätter von Dicotyledonen. — Eigenthümliche oscillatorische Bewegung der Blätter von *Dionaea*. — Die Blätter von *Cannabis* senken sich des Nachts. — Blätter von Gymnospermen, — von Monocotyledonen — Cryptogamen. — Schlussbemerkungen über die Circumnutation von Blättern: heben sich allgemein am Abend und senken sich am Morgen.

Wir haben im ersten Capitel gesehen, dasz die Stämme aller Sämlinge, mögen sie Hypocotyle oder Epicotyle sein, ebenso wie die Cotyledonen und die Würzelchen, beständig circumnutiren, — d. h. sie wachsen zuerst auf einer Seite, dann auf der anderen, wobei einem derartigen Wachsthum wahrscheinlich eine vermehrte Turgescenz der Zellen vorausgeht. Da es unwahrscheinlich war, dasz die Pflanzen mit dem vorschreitenden Alter ihre Art zu wachsen verändern würden, erschien es als wahrscheinlich, dasz die verschiedenen Organe sämtlicher Pflanzen auf allen Altersstufen, so lange sie zu wachsen fortfahren, sich auch, wenn schon vielleicht in einem äusserst geringen Masze, als circumnutirend herausstellen würden. Da es von Wichtigkeit für uns war, nachzuweisen, ob dies der Fall war, entschlossen wir uns, sorgfältig eine gewisse Anzahl von Pflanzen, welche kräftig wuchsen und von denen nicht bekannt ist, dasz sie sich in irgend einer Art bewegen, zu beobachten. Wir begannen mit den Stämmen. Beobachtungen dieser Art sind langweilig; es schien uns hinreichend zu sein, die Stämme von ungefähr zwanzig Gattungen zu beobachten, welche zu sehr weit von einander verschiedenen Familien gehören und Bewohner verschiedener Länder sind. Mehrere Pflanzen wurden ausgewählt, von

7½ Zoll hohe Pflanze wurde in der gewöhnlichen Weise beobachtet; um aber den Lacktropfen am Ende des Glasfadens und zu derselben Zeit auch das Zeichen darunter zu sehen, war es nothwendig, auf einer Seite drei Blätter abzuschneiden. Wir wissen nicht, ob dies die Veranlassung war oder der Umstand, dass die Pflanze vorher durch Heliotropismus nach der einen Seite gebogen war, aber am Morgen des 7. März bis 10.30 p. m., am 8. bewegte sich der Stamm in derselben allgemeinen Richtung eine beträchtliche Strecke lang zickzackförmig. Während der Nacht vom 8. bewegte er sich eine Strecke weit rechtwinklig auf seinen früheren Verlauf und am nächsten Morgen (9.) stand er eine Zeit lang beinahe still. Am Mittag am 9. wurde eine neue Zeichnung angefangen

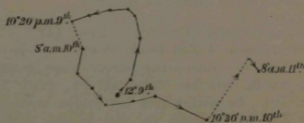


Fig. 71. *Pelargonium zonale*: Circumnutation des Stammes einer jungen Pflanze, schwach von oben beleuchtet. Bewegung des Lacktropfens 11mal vergrößert; an einer horizontalen Glasplatte von Mittags, den 9. März bis 8 a. m. des 11. aufgezeichnet.

(Fig. 71), welche bis 8 a. m. am 11. fortgesetzt wurde. Zwischen Mittags am 9. und 5 p. m. am 10. (d. h. im Verlaufe von 29 Stunden) beschrieb der Stamm einen Kreis. Diese Pflanze circumnutirt daher, aber mit sehr geringer Geschwindigkeit und in geringer Ausdehnung.

5. *Tropaeolum majus* (?) (Zwerg-Varietät, Tom Thumb genannt). (Geraniaceae, Fam. 47.) — Die Species dieser Gattung klettern mit Hilfe ihrer sensitiven Blattstiele, einige von ihnen winden sich aber auch um Stützen; aber selbst diese letzteren Arten circumnutiren in keiner augenfälligen Art, so lange sie jung sind. Die hier behandelte Varietät hat einen ziemlich dicken Stamm und ist so zwerghaft, dass sie augenscheinlich in keinerlei Weise klettert. Wir wünschten zu ermitteln, ob der Stamm

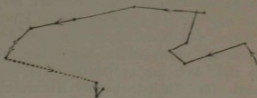


Fig. 72. *Tropaeolum majus* (?): Circumnutation des Stammes einer jungen Pflanze, an einer horizontalen Glasplatte von 9 a. m., 26. Decbr., bis 10 a. m., 27., aufgezeichnet. Bewegung des Lacktropfens ungefähr 5mal vergrößert, und hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

einer jungen, aus zwei zusammen 3.2 Zoll hohen Internodien bestehenden Pflanze circumnutirte. Er wurde während 25 Stunden beobachtet und wir sehen in Fig. 72, dass der Stamm sich in einem Zickzackverlaufe bewegte und damit Circumnutation andeutete.

6. *Trifolium resupinatum* (Leguminosae, Fam. 75). — Wenn wir vom Schläfe der Pflanzen handeln, werden wir sehen, dass der Stamm

in mehreren Leguminosen-Gattungen, so z. B. der von *Hedysarum*, *Mimosa*, *Melilotus* etc., welches keine Kletterpflanzen sind, in einer augenfälligen Art circumnutirt. Wir wollen hier nur ein einziges Beispiel anführen (Fig. 73), welches die Circumnutation des Stammes einer grossen Pflanze, einer Kleeart, *Trifolium resupinatum*, darstellt. Im Verlaufe von 7 Stunden veränderte der Stamm seinen Verlauf achtmal bedeutend und vollendete drei unregelmässige Kreise oder Ellipsen. Er circumnutirte daher rapid. Einige von den Linien laufen rechtwinklig zu einander.

7. *Rubus idaeus* (Hybrid) (Rosaceae, Fam. 76). — Da wir zufällig eine junge, 11 Zoll hohe und kräftig wachsende, aus einer Kreuzung zwischen der Himbeere (*Rubus idaeus*) und einer nordamerikanischen *Rubus*-Art gezogene Pflanze hatten, wurde sie in der gewöhnlichen Art beobachtet. Während des Morgens am 14. März vollendete der Stamm beinahe einen Kreis und bewegte sich dann weit nach rechts. Um 4 p. m. kehrte er seinen Verlauf um, und nun wurde eine neue Zeichnung begonnen,

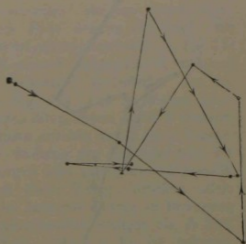


Fig. 73. *Trifolium resupinatum*: Circumnutation des Stammes, an einer senkrechten Glassplatte von 9.30 a. m. bis 4.30 p. m., 3. Novbr., aufgezeichnet. Die Zeichnung nicht bedeutend vergrössert, hier auf die Hälfte der Grösze des Originals reducirt. Pflanze schwach von oben beleuchtet.

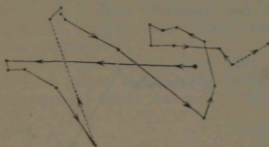


Fig. 74. *Rubus* (hybrid): Circumnutation des Stammes an einer horizontalen Glasscheibe gezeichnet, von 4 p. m., 14. März, bis 8.30 16. März. Zeichnung stark vergrössert, hier auf die Hälfte des Originals reducirt. Pflanze schwach von oben beleuchtet.

welche $40\frac{1}{2}$ Stunden lang fortgeführt wurde und in Fig. 74 mitgetheilt wird. Wir haben hier gut ausgesprochene Circumnutation.

8. *Deutzia gracilis* (Saxifrageae, Fam. 77). — Es wurde ein Sprosz an einem ungefähr 18 Zoll hohen Busch beobachtet. Der Lacktropfen veränderte im Verlaufe von 10 Stunden 30 Minuten elfmal bedeutend seine Richtung (Fig. 75), und es konnte kein Zweifel über seine Circumnutation bestehen.

9. *Fuchsia* (Gewächshaus-Varietät mit grossen Blüten, wahrscheinlich ein Hybrid) (Onagrariaceae, Fam. 100). — Eine junge 15 Zoll hohe Pflanze wurde nahezu 48 Stunden lang beobachtet. Die umstehende Figur (Fig. 76) gibt die nothwendigen Einzelheiten und zeigt, dass der Stamm, wenn schon etwas langsam, circumnutirte.

10. *Cereus speciosissimus* (Garten-Varietät, zuweilen *Phyllocactus multiflorus* genannt) (Cacteeae, Fam. 109). — Diese Pflanze, welche

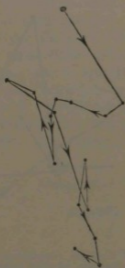


Fig. 75. *Deutzia gracilis*: Circumnutation des Stammes, in Dunkelheit gehalten, auf einer horizontalen Glasscheibe von 8.30 a. m. bis 7 p. m., 20. März, aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens im Original ungefähr 20mal vergrößert, hier auf die halbe Grösze reducirt.

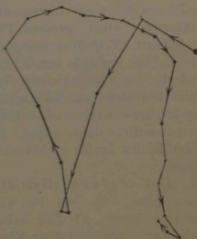


Fig. 76. *Fuchsia* (Garten-Varietät); Circumnutation des im Dunkeln gehaltenen Stammes, von 8.30 a. m. bis 7 p. m., 20. März, an einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens im Original ungefähr 40mal vergrößert, hier auf die halbe Grösze reducirt.

kräftig wuchs, weil sie wenige Tage vorher vom Gewächshaus in das Warmhaus gebracht worden war, wurde mit besonderem Interesse beob-

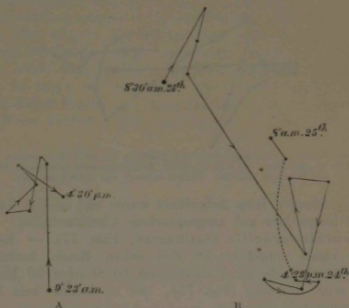


Fig. 77. *Cereus speciosissimus*: Circumnutation des von oben beleuchteten Stammes, an einer horizontalen Glasscheibe, bei A von 9 a. m. bis 4.30 p. m., 23. November, bei B von 8.30 a. m., 24. Nov., bis 8 a. m. am 25., aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens bei B ungefähr 78mal vergrößert.

achtet, weil es so wenig wahrscheinlich schien, dass der Stamm circumnutiren würde. Die Zweige sind platt oder fächerförmig; einige von

laufende Hauptlinien erkennen; diese werden aber durch kleine Schlingen unterbrochen.

13. *Azalea indica* (Ericineae, Fam. 128). — Ein 21 Zoll hoher Busch wurde zur Beobachtung ausgewählt und die Circumnutation seines Hauptschosses wurde durch 26 Stunden 40 Minuten aufgezeichnet, wie es die nebenstehende Figur darstellt (Fig. 79).

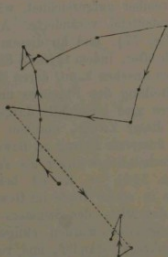


Fig. 79. *Azalea indica*: Circumnutation des Stammes, von oben beleuchtet, an einer horizontalen Glasplatte von 9.30 a. m. 9. März, bis 12.10 p. m. am 10. aufgezeichnet. Am Morgen des 10. wurden aber zwischen 8.30 a. m. bis 12.10 p. m. (beide Stunden mitgerechnet) nur vier Punkte gemacht, so dass in diesem Theile der Zeichnung die Circumnutation nicht ordentlich dargestellt ist. Bewegung des Lactropfens hier ungefähr 30mal vergrößert.

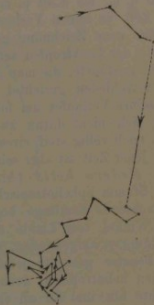


Fig. 80. *Plumbago capensis*: Circumnutation der Spitze eines Seitenzweigs, auf einer horizontalen Glasplatte von 7.20 p. m. am 7. März bis 3 p. m. am 9. aufgezeichnet. Bewegung des Lactropfens 13mal vergrößert. Pflanze schwach von oben beleuchtet.

14. *Plumbago capensis* (Plumbagineae, Fam. 134). — Ein kleiner Seitenzweig, welcher von einem hohen reichlich wachsenden Busch unter einem Winkel von 35° über dem Horizont vorsprang, wurde zur Beobachtung ausgewählt. In den ersten 11 Stunden bewegte er sich bis zu einer beträchtlichen Entfernung in einer geraden Linie nach einer Seite hin, wahrscheinlich in Folge davon, dass er vorher, während er im Gewächshause stand, durch das Licht abgelenkt gewesen war. Um 7.20 p. m. am 7. März wurde eine neue Zeichnung angefangen und während der nächsten 43 Stunden 40 Minuten fortgesetzt (Fig. 80). Während der ersten 2 Stunden hielt er noch nahezu dieselbe Richtung ein, wie vorher, und dann veränderte er dieselbe ein wenig; während der Nacht bewegte er sich unter nahezu rechtem Winkel zu seinem früheren Verlaufe. Am nächsten Tage (den 8.) bewegte er sich bedeutend im Zickzack und am 9. bewegte er sich unregelmäßig rund um eine kleine kreisförmige Stelle. Um 3 p. m. am 9. war die Figur so complicirt geworden, dass keine neuen Punkte mehr gemacht werden konnten; der Spross fuhr aber fort, während des Abends des 9., des ganzen 10. und des Morgens des 11. über den nämlichen kleinen Raum zu circumnutiren, welcher nur ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll (0.97 mm) im Durchmesser groß war. Obgleich dieser Zweig in sehr geringer Ausdehnung circumnutirte, veränderte er doch

17. *Ceratophyllum demersum* (Ceratophylleae, Fam. 220). — Eine interessante Schilderung der Bewegungen des Stammes dieser Wasserpflanze ist von Mr. E. RODIER veröffentlicht worden¹. Die Bewegungen sind auf die jungen Internodien beschränkt und werden je weiter am Stamm hinab immer geringer; sie sind wegen ihrer Amplitude merkwürdig. Die Stämme bewegten sich zuweilen durch einen Winkel von über 200° in 6 Stunden und in einem Falle in 3 Stunden durch 220° . Sie biegen sich allgemein am Morgen von rechts nach links und am Nachmittag in der entgegengesetzten Richtung; die Bewegung wurde aber zeitweise umgekehrt oder ganz aufgehalten. Sie wurde vom Lichte nicht beeinflusst. Mr. RODIER scheint keine Zeichnung auf einer horizontalen Platte ausgeführt zu haben, welche die factische von der Spitze beschriebene Bewegung darstellte; er spricht aber davon, dass »die Zweige um ihre Wachstumsaxen eine Torsionsbewegung ausführten«. Nach den oben gegebenen Einzelheiten und wenn wir uns daran erinnern, wie schwer es bei windenden Pflanzen und Ranken ist, ihr Biegen nach allen Punkten der Windrose nicht mit echter Torsion zu verwechseln, werden wir zu der Annahme geführt, dass die Stämme von *Ceratophyllum* circumnutiren, und zwar in der Form von schmalen Ellipsen, von denen jede in ungefähr 26 Stunden vollendet wird. Die folgende Angabe scheint indessen etwas von gewöhnlicher Circumnutation Verschiedenes anzudeuten; doch können wir es nicht ganz verstehen. Mr. RODIER sagt: »Il est alors facile de voir que le mouvement de flexion se produit d'abord dans les mérithalles supérieurs, qu'il se propage ensuite, en s'amointrissant du haut en bas; tandis qu'au contraire le mouvement de redressement commence par la partie inférieure pour se terminer à la partie supérieure qui, quelquefois, peu

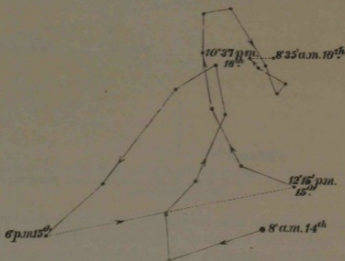


Fig. 83. *Lilium auratum*: Circumnutation eines Stammes in der Dunkelheit, an einer horizontalen Glasplatte von 8 a. m., am 14. März bis 8.35 a. m., am 16., aufgezeichnet. Es ist aber zu beachten, dass unsere Beobachtungen zwischen 6 p. m. am 14. und 12.15 p. m. am 15., unterbrochen wurden; die Bewegungen während dieses Intervalls von 18 Stunden 15 Minuten sind durch vier lange unterbrochene Linien dargestellt. Die Zeichnung ist auf die halbe Größe des Originals reducirt.

¹ Comptes Rendus, 30. April 1877; s. auch eine zweite Notiz, separat in Bordeaux, 12. Nov. 1877, erschienen.

de temps avant de se relever tout à fait, forme avec l'axe un angle très aigu.«

18. *Coniferae*. — Dr. MAXWELL MASTERS gibt an (Journ. Linn. Soc., 2. Dec. 1879), dass die leitenden Schösszlinge vieler Coniferen während der Zeit ihres thätigen Wachsthumms sehr merkwürdige Bewegungen revolutionärer Nutation darbieten, d. h. dass sie circumnutiren. Wir glauben sicher annehmen zu können, dass die Seitenschösszlinge während ihres Wachsthumms dieselbe Bewegung zeigen werden, wenn sie sorgfältig beobachtet werden.

19. *Lilium auratum* (Fam. Liliaceae). — Die Circumnutation des Stammes einer Pflanze von 24 Zoll Höhe ist in der nebenstehenden Figur (Fig. 83) dargestellt.

20. *Cyperus alternifolius* (Fam. Cyperaceae). — Ein Glasfaden mit einem Lacktropfen am Ende wurde quer an den Gipfel eines jungen 10 Zoll hohen Stammes dicht unterhalb dem Busch verlängerter Blätter angeheftet. Am 8. März, zwischen 12,20 und 7,20 p. m., beschrieb

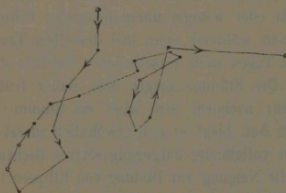


Fig. 84. *Cyperus alternifolius*: Circumnutation des Stammes, von oben beleuchtet, an einer horizontalen Glasplatte von 9,45 a. m., am 9. März, bis 9 p. m., am 10., aufgezeichnet. Der Stamm wuchs, während er beobachtet wurde, so rapid, dass es nicht möglich war abzuschätzen, um wie viel seine Bewegungen während der Aufzeichnung vergrößert wurden.

der Stamm eine Ellipse, die an einem Ende offen war. Am folgenden Tage wurde eine neue Zeichnung angefangen (Fig. 84), welche deutlich nachweist, dass der Stamm im Verlaufe von 35 Stunden 15 Minuten drei unregelmäßige Figuren vollendete.

Schlussbemerkungen über die Circumnutation von Stämmen. — Ein Jeder, der die vorstehend mitgetheilten Zeichnungen betrachtet und sich vergegenwärtigt, wie verschieden die Stellung der verschiedenen Pflanzen in der systematischen Reihenfolge ist, — der sich ferner erinnert, dass wir guten Grund zur Annahme haben, dass die Hypocotyle und Epicotyle aller Sämlinge circumnutiren, — die Anzahl der in die verschiedensten Familien gehörigen Pflanzen nicht zu vergessen, welche durch eine ähnliche Bewegung klettern, — wird wahrscheinlich zugeben, dass die wachsenden Stämme aller Pflanzen, wenn sie sorgfältig beobachtet würden, sich als in grösserer oder geringerer Ausdehnung circumnutirend herausstellen würden. Wenn wir

vom Schlaf und von anderen Bewegungen der Pflanzen handeln, werden viele weitere Fälle von circumnutirenden Stämmen beiläufig angeführt werden. Bei Betrachtung der Zeichnungen müssen wir uns daran erinnern, dasz die Stämme stets im Wachsen begriffen waren, so dasz in jedem Falle die circumnutirende Spitze bei ihrer Erhebung eine Spirale irgend einer Art beschrieb. Die Punkte wurden meistens in Zwischenräumen von einer Stunde oder von anderthalb Stunden auf den Glasplatten gemacht und wurden dann durch gerade Linien mit einander verbunden. Wären dieselben in Zwischenräumen von 2 oder 3 Minuten gemacht worden, würden die Striche mehr krummlinig geworden sein, wie es bei den Spuren der Fall ist, welche die Spitzen circumnutirender Würzelchen von Pflanzensämlingen an den beruszten Glasplatten hinterließen. Die Zeichnungen nähern sich meistens der Form nach einer Reihenfolge mehr oder weniger unregelmässiger Ellipsen oder Ovale, deren längere Axen während eines und desselben Tages oder an aufeinanderfolgenden Tagen nach verschiedenen Punkten der Windrose hin gerichtet sind. Die Stämme biegen sich daher früher oder später nach allen Seiten; nachdem sich aber ein Stamm in irgend einer Richtung gebogen hat, biegt er sich gewöhnlich zuerst in einer nahezu, wenn schon nicht vollständig entgegengesetzten Richtung zurück; und dies verursacht die Neigung zur Bildung von Ellipsen, welche meistens eng sind, aber nicht so eng wie die von Stolonen und Blättern beschriebenen. Auf der anderen Seite nähern sich die Figuren zuweilen in ihrer Form Kreisen. Welches auch die beschriebene Figur sein mag, der eingehaltene Verlauf wird häufig durch Zickzackbewegungen, kleine Dreiecke, Schlingen oder Ellipsen unterbrochen. Ein Stamm kann an einem Tage eine einzige grosze Ellipse beschreiben und am nächsten Tage zwei. Bei verschiedenen Pflanzen ist die Complexität, die Geschwindigkeit und die Ausdehnung der Bewegung sehr verschieden. So beschrieben beispielsweise die Stämme von *Iberis* und *Azalea* in 24 Stunden nur eine einzige grosze Ellipse; während der Stamm von *Deutzia* in 11 $\frac{1}{2}$ Stunden vier oder fünf tiefe Zickzacklinien oder enge Ellipsen und der von *Trifolium* drei dreieckige oder viereckige Figuren beschrieb.

Circumnutation von Stolonen oder Ausläufern.

Stolonen bestehen aus stark verlängerten, biegsamen Zweigen, welche der Oberfläche des Bodens entlang laufen und in einiger Ent-

fernung von der Mutterpflanze Wurzeln bilden. Sie sind daher von derselben homologen Beschaffenheit wie die Stämme; die drei folgenden Fälle mögen den vorhin gegebenen zwanzig Fällen noch hinzugefügt werden.

Fragaria (cultivirte Garten-Varietät) (Fam. Rosaceae). — Eine in einem Topfe wachsende Pflanze hatte einen langen Ausläufer entwickelt; derselbe wurde mit einem Stocke unterstützt, so dasz er in einer Länge von mehreren Zollen horizontal vorsprang. Ein zwei äusserst kleine Papierdreiecke tragender Glasfaden wurde an die terminale Knospe befestigt, welche ein wenig nach oben gewendet war; seine Bewegungen wurden während 21 Stunden aufgezeichnet, wie Fig. 85 darstellt. Im Verlaufe der ersten

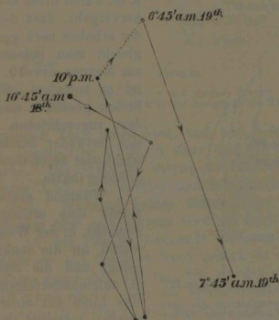


Fig. 85. *Fragaria*: Circumnutation eines im Dunkeln gehaltenen Stolons, an einer senkrechten Glasplatte von 10.45 a. m., 18. Mal, bis 7.45 a. m., 19., aufgezeichnet.

zwölf Stunden bewegte er sich in etwas zickzackförmiger Weise, zweimal aufwärts und zweimal abwärts, und bewegte sich ohne Zweifel in derselben Weise während der Nacht. Am folgenden Morgen, nach Verlauf von 20 Stunden, stand die Spitze ein wenig höher als sie zuerst stand, und dies beweist, dasz der Stolon während dieser Zeit nicht vom Geotropismus beeinflusst worden war²; auch hatte sein eigenes Gewicht ihn nicht veranlaszt, sich abwärts zu biegen.

Am folgenden Morgen (am 19.) wurde der Glasfaden losgelöst und dicht hinter der Knospe wieder befestigt, da es als möglich erschien, dasz die Circumnutation der terminalen Knospe und der anstossenden Partie des Stolons verschieden sein könnte. Die Bewegung wurde während zweier

² Dr. A. B. Frank gibt an (Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, 1870, p. 20), dasz Geotropismus auf die Stolonen dieser Pflanze wirkt, aber nur nach Verlauf beträchtlicher Zeit.

aufeinanderfolgender Tage aufgezeichnet (Fig. 86). Während des ersten Tages wanderte der Glasfaden im Verlaufe von 14 Stunden 30 Minuten fünfmal auf und viermal nieder, ausser etwas seitlicher Bewegung. Am 20. war der Weg selbst noch complicirter und kann in der Figur kaum verfolgt werden; der Glasfaden bewegte sich aber in 16 Stunden wenigstens fünfmal aufwärts und fünfmal abwärts mit sehr geringer seitlicher Ablenkung. Der erste und der letzte der an diesem zweiten Tage gemachten Punkte, nämlich 7 a. m. und 11 p. m. waren dicht beieinander, woraus hervorgeht, dass der Stolon sich weder erhoben noch gesenkt hatte. Vergleicht man indessen seine Stellung am Morgen des 19. und des 21., so ist es trotzdem offenbar, dass der Stolon gesunken war; und dies kann dem zugeschrieben werden, dass er sich entweder durch sein eigenes Gewicht oder durch Geotropismus niedergebogen hatte.

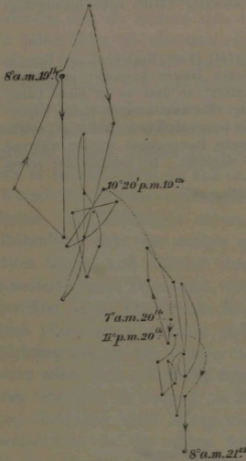


Fig. 86. *Fragaria*: Circumnutation des nämlichen Stolons wie in der letzten Figur, in derselben Weise beobachtet und von 8 a. m., 19. Mai, bis 8 a. m., 21., aufgezeichnet.

Während eines Theils des 20. wurde eine orthogonale Zeichnung gemacht, in der Weise, dass ein Holzwürfel an die senkrechte Glasplatte gelegt und die Spitze des Stolons in aufeinanderfolgenden Perioden in eine Linie mit einer Kante gebracht wurde; jedesmal wurde ein Punkt auf das Glas gemacht. Diese Aufzeichnung stellte daher sehr nahe die factische Grösze der Bewegung der Spitze dar; und im Verlaufe von 9 Stunden betrug der Abstand der äussersten Punkte von einander 0.45 Zoll. Nach derselben Methode wurde ermittelt, dass die Spitze sich zwischen 7 a. m. am 20. und 8 a. m. am 21. eine Strecke von 0.82 Zoll bewegte.

Ein jüngerer und kürzerer Stolon wurde so unterstützt, dass er ungefähr 45° über den Horizont vorsprang, und seine Bewegung wurde nach derselben orthogonalen Methode verzeichnet. Am ersten Tage erhob sich die Spitze bald über das Gesichtsfeld. Am nächsten Morgen war er gesunken und der zurückgelegte Weg wurde nun während 14 Stunden 30 Minuten aufgezeichnet (Fig. 87). Die Grösze der Bewegung von einer Seite zur andern war ungefähr dieselbe wie die derjenigen auf- und abwärts, und wich in dieser Beziehung merkwürdig von der Bewegung in den vorhergehenden Fällen ab. Während des späteren Theils des Tages, nämlich zwischen 3 und 10.30 p. m., betrug die factische von der Spitze durch-

laufene Entfernung 1.15 Zoll, und im Verlauf des ganzen Tages mindestens 2.67 Zoll. Dies ist eine Grösze der Bewegung, welche beinahe mit der einiger kletternder Pflanzen zu vergleichen ist. Derselbe Stolon

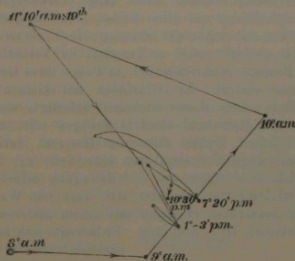


Fig. 87. *Fragaria*: Circumnutation eines andern und jüngern Stolons, von 8 a. m. bis 10.30 p. m. gezeichnet. Die Figur auf die Hälfte des Maszstabs des Originals reducirt.

wurde am folgenden Tage beobachtet, und nun bewegte er sich in einer etwas weniger complicirten Weise in einer von der senkrechten nicht sehr entfernten Ebene. Der äusserste Betrag von factischer Bewegung betrug in einer Richtung 1.55, und in einer andern rechtwinklig darauf stehenden Richtung 0.6 Zoll. Während keines dieser Tage bog sich der Stolon durch Geotropismus oder sein eigenes Gewicht nach unten.

Vier noch an der Pflanze hängende Stolonen wurden im hinteren Theile eines Zimmers auf feuchten Sand gelegt, so dasz ihre Spitzen den Nordost-Fenstern gegenüber lagen. Sie wurden in diese Stellung gebracht, weil DE VRIES sagt³, dasz sie apheliotropisch sind, wenn sie dem Sonnenlichte ausgesetzt werden; wir konnten aber keinerlei Wirkung von dem erwähnten schwachen Beleuchtungsgrade wahrnehmen. Wir wollen noch hinzufügen, dasz bei einer andern Gelegenheit spät im Sommer einige an einem bewölkten Tage aufrecht vor ein Südwest-Fenster gestellte Stolonen deutlich nach dem Lichte hin gekrümmt wurden, daher heliotropisch waren. Dicht vor den Spitzen der niederliegenden Stolonen wurden eine Mengs sehr dünner Stäbe und getrocknete Grashalme in den Sand gesteckt, um die dicht zusammen stehenden Stämme umgebender Pflanzen im Naturzustande zu repräsentiren. Dies geschah um zu beobachten, wie die wachsenden Stolonen zwischen ihnen durchtreten würden. Sie thaten dies leicht im Verlaufe von 6 Tagen und ihre Circumnutation erleichterte allem Anscheine nach ihren Durchgang. Wenn die Spitzen Stäben begegneten, welche so dicht standen, dasz sie nicht zwischen ihnen durchtreten konnten, so erhoben sie sich und giengen über sie hinweg. Die Stäbe und Halme wurden nach dem Durchtritt der vier Stolonen entfernt, von denen zwei eine permanent gewundene Gestalt angenommen hatten;

³ Arbeiten des Botan. Instituts Würzburg, 1872, p. 434.

zwei waren noch gerade. Auf diesen Gegenstand werden wir aber bei *Saxifraga* zurückkommen.

Saxifraga sarmentosa (Saxifrageae). — Eine in einem hängenden Topfe wachsende Pflanze hatte lange verzweigte Stolonen ausgesendet, welche wie Fäden auf allen Seiten herabhiengen. Zwei wurden so aufgebunden, dass sie senkrecht standen; ihre oberen Enden wurden allmählich abwärts gebogen, aber so langsam im Verlaufe von mehreren Tagen, dass die Biegung wahrscheinlich in Folge ihres Gewichts und nicht durch Geotropismus eintrat. Ein Glasfaden mit kleinen Papierdreiecken wurde an das Ende eines dieser Stolonen befestigt, welcher $17\frac{1}{2}$ Zoll lang war und bereits bedeutend abwärts gebogen war, aber noch immer in einem beträchtlichen Winkel über den Horizont vorsprang. Er bewegte sich nur unbedeutend dreimal von einer Seite zur andern und dann nach oben; am folgenden Tage war die Bewegung selbst noch geringer. Da dieser Stolon so lang war, glaubten wir, dass sein Wachsthum nahezu vollendet sei; wir versuchten es daher mit einem anderen, welcher dicker und kürzer war, nämlich $10\frac{1}{4}$ Zoll lang. Er bewegte sich bedeutend, hauptsächlich aufwärts und veränderte seinen Weg fünfmal im Laufe des Tags. Während der Nacht krümmte er sich so stark aufwärts im Gegensatz zur Schwerkraft, dass die Bewegung an der senkrechten Glasscheibe nicht mehr verzeichnet werden konnte und eine horizontale gebraucht werden musste. Die Bewegung wurde während der nächsten 25 Stunden weiter verfolgt, wie es Fig. 88 darstellt. Drei unregelmäßige Ellipsen, deren längere Axen etwas verschieden gerichtet waren, wurden in den ersten 15 Stunden beinahe vollendet. Der äusserste factische

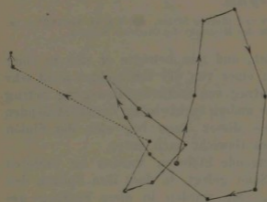


Fig. 88. *Saxifraga sarmentosa*: Circumnutation eines geneigten Stolons, in der Dunkelheit an einer horizontalen Glasplatte von 7.45 a. m., 18. April, bis 9 a. m. am 19. aufgezeichnet. Bewegung des Endes des Stolons 2.2mal vergrößert.

Betrag an Bewegung der Spitze während der 25 Stunden war 0.75 Zoll.

Mehrere Stolonen wurden auf eine ebene Fläche von feuchtem Sande gelegt, in derselben Weise wie bei den Ausläufern der Erdbeere. Die Reibung des Sandes störte ihre Circumnutation nicht; auch konnten wir keine Belege für ihre Empfindlichkeit gegen Berührung entdecken. Um zu sehen, wie sie sich im Naturzustande benehmen würden, wenn sie einen Stein oder ein anderes Hindernis am Boden trafen, wurden kurze Stücke beruszten Glases, einen Zoll hoch, aufrecht in den Sand vor zwei dünnen seitlichen Zweigen aufgestellt. Ihre Spitzen kratzten an der beruszten Fläche in verschiedenen Richtungen; der eine machte drei Linien aufwärts und zwei abwärts, ausser einer nahezu horizontalen; der andere rollte sich ganz vom Glase weg; schliesslich überstiegen sie aber beide das Glas und setzten ihren ursprünglichen Weg fort. Die Spitze eines dritten dicken Stolons wand sich in einer gekrümmten Linie am Glas in die Höhe, bog sich von ihm zurück und kam wieder mit ihm in Berührung;

nutirte in einer nahezu senkrechten Ebene bis 10.35 p. m. Am folgenden Tage (26.) wurde sie von 6.40 a. m. bis 5.20 p. m. beobachtet und in dieser Zeit bewegte sie sich zweimal auf und zweimal nieder. Am Morgen des 27. stand die Spitze so hoch wie sie um 11.30 a. m. am 25. gestanden hatte. Auch sank sie während des 28. nicht, sondern fuhr fort ungefähr um denselben Punkt zu circumnutiren.

Ein anderer, dem letzteren beinahe in jeder Beziehung ähnlicher Stolon wurde während der nämlichen zwei Tage beobachtet; wir lieszen aber nur zwei Zoll des terminalen Theils frei und horizontal vorspringen. Am 25. fuhr er von 9.10 a. m. bis 1.30 p. m. fort, sich gerade nach unten zu biegen, augenscheinlich in Folge seines Gewichts (Fig. 90); aber nach der letzt genannten Zeit bis 10.35 p. m. bewegte er sich im Zickzack. Diese Thatsache verdient Beachtung; denn wahrscheinlich haben wir hier die combinirten Wirkungen des Biegens nach abwärts in Folge des Gewichts und der Circumnutation vor uns. Indessen circumnutirte der Stolon nicht, als er zuerst anfing sich niederzubiegen, wie in der vorliegenden Zeichnung wahrgenommen werden kann und wie es in dem letzterwähnten Falle, wo ein längeres Stück des Stolons ohne Unterstützung gelassen wurde, noch offener war. Am folgen-

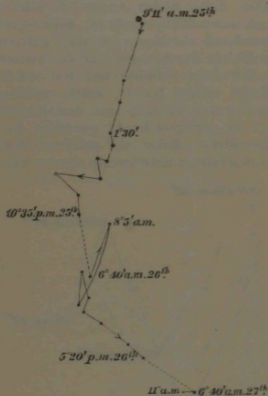


Fig. 90. *Cotyledon umbilicus*: Circumnutation und Abwärtsbewegung eines andern Stolons, an einer senkrechten Glasplatte von 9.11 a. m., 25. Aug., bis 11 a. m. am 27., gezeichnet. Spitze steht auf Glas, so dass die Figur nur wenig vergrößert ist; hier auf $\frac{2}{3}$ der Originalgröße reducirt.

den Tage (26.) bewegte sich der Stolon zweimal auf und zweimal nieder, fuhr aber bald fort zu sinken; am Abend und während der Nacht schlug er in Folge irgend einer unbekanntn Ursache eine schräge Richtung ein.

Aus diesen drei Fällen sehen wir, dass Stolonen oder Ausläufer in einer sehr complicirten Weise circumnutiren. Die gezeichneten Linien breiten sich meistens in einer senkrechten Ebene aus und dies kann wahrscheinlich der Wirkung des Gewichts des nicht unterstützten Endes des Stolons zugeschrieben werden; es findet sich aber immer ein geringer, und gelegentlich ein ansehnlicher Betrag an seitlicher Bewegung. Die Circumnutation ist in ihrer Amplitude so gross, dass sie beinahe mit der von Kletterpflanzen verglichen werden kann. Dass die Stolonen hierdurch beim Überwinden von Hindernissen und beim Durchwinden

zwischen den Stämmen der umgebenden Pflanzen unterstützt werden, das machen die obigen Beobachtungen beinahe gewisz. Hätten sie nicht circumnutirt, so würden sich ihre Spitzen wohl leicht auf sich selbst zurückgebogen haben, so oft sie einem Hindernisse auf ihrem Wege begegneten; wie aber der Fall liegt, vermieden sie solche leicht. Dies musz für die Pflanze in Bezug auf die Ausbreitung vom Mutterstamm aus ein beträchtlicher Vortheil sein; wir sind aber weit von der Annahme entfernt, dasz dies Vermögen von den Stolonen zu diesem Zwecke erlangt worden ist, denn Circumnutation scheint bei allen wachsenden Pflanzen von ganz allgemeinem Vorkommen zu sein. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, dasz die Amplitude oder Ausdehnung der Bewegung speciell für diesen Zweck vergrößert worden sein mag.

Circumnutation der Blütenstengel.

Wir hielten es nicht für nothwendig, irgend welche specielle Beobachtungen über die Circumnutation von Blütenstengeln zu machen, da dieselben gleich den Stämmen oder Stolonen ihrer Natur nach Axengebilde sind; einige wurden aber beiläufig gemacht, während wir anderen Gegenständen unsere Aufmerksamkeit widmeten, und diese wollen wir hier kurz mittheilen. Einige wenige Beobachtungen sind auch von anderen Botanikern angestellt worden. Alle diese Beobachtungen zusammengenommen reichen hin es wahrscheinlich zu machen, dasz alle Stengel und Nebenstengel während ihres Wachsthums circumnutiren.

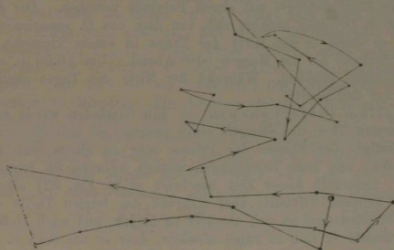


Fig. 91. *Oxalis carnosa*: Blütenstengel, schwach von oben beleuchtet, seine Circumnutation von 9. a. m., 13. April, bis 9 a. m. am 15. aufgezeichnet. Spitze der Blüthe 8 Zoll unterhalb der horizontalen Glasplatte. Bewegung wahrscheinlich ungefähr 6mal vergrößert.

Oxalis carnosa. — Der Blütenstengel, welcher aus dem dicken und holzigen Stamm dieser Pflanze entspringt, trägt drei oder vier Nebenstengel. Ein Glasfaden mit kleinen Papierdreiecken wurde innerhalb des

Kelches einer aufrecht stehenden Blüthe befestigt. Seine Bewegungen wurden 48 Stunden lang beobachtet; während der ersten Hälfte dieser Zeit war die Blüthe vollständig entfaltet und während der zweiten war sie verwelkt. Die hier mitgetheilte Figur (Fig. 91) stellt 8 oder 9 Ellipsen dar. Obgleich der Hauptstengel circumnutirte und im Verlaufe von 24 Stunden vier grosse und zwei kleinere Ellipsen beschrieb, so liegt doch der hauptsächlichste Sitz der Bewegung in den Nebienstengeln, welche sich schliesslich senkrecht nach abwärts biegen, wie in einem späteren Capitel beschrieben werden wird. Auch die Blütenstengel von *Oxalis acetosella* biegen sich nach abwärts und später, wenn die Schoten nahezu reif sind, aufwärts; und dies wird durch eine circumnutirende Bewegung bewirkt.

In der obigen Figur kann man sehen, dass der Blütenstengel von *O. carnosa* während zweier Tage um denselben Punkt circumnutirte. Andererseits unterliegt der Blütenstengel von *O. sensitiva* einer scharf ausgeprägten, täglichen, periodischen Veränderung seiner Stellung, wenn er in der gehörigen Temperatur gehalten wird. In der Mitte des Tages steht er senkrecht aufrecht oder in einem hohen Winkel; am Nachmittag sinkt er und am Abend ragt er horizontal oder beinahe horizontal vor und erhebt sich wiederum während der Nacht. Diese Bewegung dauert fort von der Periode an, wo die Blüthen in Knospen sind, bis, wie wir glauben, die Kapseln reif sind; sie hätte vielleicht unter die sogenannten Schlafbewegungen der Pflanzen mit eingerechnet werden sollen. Eine Zeichnung wurde nicht gemacht; es wurden aber während eines ganzen Tages in aufeinanderfolgenden Perioden die Winkel gemessen; und diese wiesen nach, dass die Bewegung nicht continuirlich war, sondern dass der Blütenstengel auf und nieder oscillirte. Wir dürfen daher folgern, dass er circumnutirte. An der Basis des Blütenstengels findet sich eine Masse kleiner Zellen, ein gutentwickeltes Polster bildend, welches auszen purpurn gefärbt und behaart ist. So viel wir wissen, ist in keiner anderen Gattung der Blütenstengel mit einem Pulvinus versehen. Der Blütenstengel von *O. Ortegesii* benahm sich von dem von *O. sensitiva* verschieden, denn er stand in der Mitte des Tages in einem kleineren Winkel über dem Horizont als am Morgen oder Abend. Um 10.20 p. m. hatte er sich bedeutend gehoben. Während der Mitte des Tages oscillirte er bedeutend auf und nieder.

Trifolium subterraneum. — Ein Glasfaden wurde senkrecht an den obersten Theil des Stengels eines jungen und aufrechten Blütenkopfes befestigt (der Stamm der Pflanze war an einem Stab fest gemacht worden), und seine Bewegungen wurden während 36 Stunden aufgezeichnet. Innerhalb dieser Zeit beschrieb er (s. Fig. 92) eine Figur, welche vier Ellipsen darstellt; aber während des letzten Theils der Zeit fieng der Blütenstengel an sich abwärts zu biegen, und nach 10.30 p. m., am 24., krümmte er sich so rapid abwärts, dass er um 6.45 a. m., am 25., nur 19° über dem Horizonte stand. In nahezu derselben Stellung fuhr er zwei Tage lang zu circumnutiren fort. Selbst nachdem sich die Blütenköpfe in die Erde vergraben haben, fahren sie, wie später gezeigt werden wird, zu circumnutiren fort. Im nächsten Capitel wird auch gezeigt werden, dass die Nebienstengel der einzelnen Blüthchen von *Trifolium repens* während mehrerer Tage in einem complicirten Verlaufe circum-

nutiren. Ich will noch hinzufügen, dass der Gynophor von *Arachis hypogaea*, welcher genau so aussieht wie ein Stengel, circumnutirt während

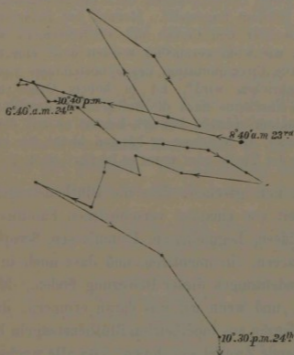


Fig. 92. *Trifolium subterraneum*: Hauptblütenstengel, von oben beleuchtet; Circumnutation an einer horizontalen Glasplatte von 8.40 a. m., 23. Juli, bis 10.30 p. m. am 24., aufgezeichnet.

er senkrecht abwärts wächst, um die junge Samenkapsel in der Erde einzugraben.

Die Bewegungen der Blüten von *Cyclamen persicum* wurden nicht beobachtet; der Blütenstengel nimmt aber, während die Samenkapsel sich bildet, bedeutend an Länge zu und biegt sich durch eine circumnutirende Bewegung nach abwärts. Ein junger Blütenstengel von *Maurandia semperflorens*, $1\frac{1}{2}$ Zoll lang, wurde während eines ganzen Tages sorgfältig beobachtet; er bildete $4\frac{1}{2}$ enge, senkrechte, unregelmäßige und kurze Ellipsen, eine jede mit einer mittleren Geschwindigkeit von ungefähr 2 Stunden 25 Minuten. Ein daneben stehender Blütenstengel beschrieb während derselben Zeit ähnliche, obschon weniger Ellipsen⁴. Nach der Angabe von SACHS⁵ revolviren oder circumnutiren die Blütenstengel vieler Pflanzen während sie wachsen, so z. B. die von *Brassica napus*; diejenigen von *Allium porrum* biegen sich von einer Seite zur andern, und wenn diese Bewegung auf einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet worden wäre, würden ohne Zweifel Ellipsen gebildet worden sein. FRITZ MÜLLER hat die spontanen revolutiven Bewegungen der Blüten-

⁴ Die Bewegungen etc. der kletternden Pflanzen, Übersetz. p. 53.

⁵ Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl., p. 827. Linné und Treviranus geben (nach Pfeffer, Die Periodischen Bewegungen etc., p. 162) an, dass die Blütenstengel vieler Pflanzen des Nachts und bei Tage verschiedene Stellungen einnehmen; wir werden in dem Capitel über den Pflanzenschlaf sehen, dass dies auf Circumnutation hinweist.

stengel eines *Alisma* beschrieben⁶, welche er mit denen einer kletternden Pflanze vergleicht.

Wir haben keine Beobachtungen über die Bewegungen der verschiedenen Theile der Blüthen angestellt. MORREN hat indessen an den Staubfäden von *Sparmannia* und *Cereus* ein «fremissement spontané» beobachtet⁷, welches, wie wohl vermuthet werden darf, eine Circumnutationsbewegung ist. Die Circumnutation des Gynostemiums von *Stylidium*, wie es von GAD beschrieben wird⁸, ist in hohem Grade merkwürdig und unterstützt allem Anscheine nach die Befruchtung der Blüthen. Während sich das Gynostemium spontan bewegt, kommt es mit dem klebrigen Labellum in Berührung, an welchem es hängen bleibt, bis es durch die vermehrte Spannung der Theile oder wenn es berührt wird, frei gemacht wird.

Wir haben nun gesehen, dasz die Blüthenstengel von Pflanzen, welche zu so weit von einander verschiedenen Familien gehören, wie Cruciferen, Oxalideen, Leguminosen, Primulaceen, Scrophularinen, Alismaceen und Liliaceen, circumnutiren, und dasz auch in vielen anderen Familien sich Andeutungen dieser Bewegung finden. Mit diesen That-sachen vor uns, und wenn wir uns daran erinnern, dasz die Ranken nicht weniger Pflanzen aus modificirten Blüthenstengeln bestehen, dürfen wir ohne bedeutende Zweifel annehmen, dasz alle wachsenden Blüthenstengel circumnutiren.

Circumnutation der Blätter: Dicotyledonen.

Mehrere ausgezeichnete Botaniker, HOFMEISTER, SACHS, PFEFFER, DE VRIES, BATALIN, MILLARDET etc., haben, und einige von ihnen mit der grössten Sorgfalt, die periodischen Bewegungen der Blätter beobachtet; ihre Aufmerksamkeit ist aber hauptsächlich, wenn schon nicht ausschliesslich auf diejenigen gerichtet worden, welche sich bedeutend bewegen und von denen man gewöhnlich sagt, dasz sie des Nachts schlafen. In Folge später anzuführender Betrachtungen werden Pflanzen dieser Art hier ausgeschlossen und werden besonders behandelt werden. Da wir zu ermitteln wünschten, ob alle jungen und wachsenden Blätter circumnutiren, glaubten wir, dasz es genügen würde, wenn wir zwischen 30 und 40 Gattungen beobachteten, welche in der Pflanzenreihe sehr verschiedene Stellungen einnehmen, wobei wir einige ungewöhnliche Formen und andere an holzigen Pflanzen auswählten. Sämmtliche Pflanzen waren gesund und wuchsen in Töpfen. Sie wurden

⁶ Jenaische Zeitschrift, 5. Bd., p. 133.

⁷ Nouv. Mém. Acad. R. de Bruxelles, T. 14, 1841, p. 3.

⁸ Sitzungsber. d. botan. Ver. d. Pr. Brandenburg, XXI. p. 84.

von oben beleuchtet; das Licht war aber vielleicht nicht immer hinreichend hell, da viele von ihnen unter einem Oberlicht von Milchglas beobachtet wurden. Mit Ausnahme einiger weniger speciell angeführten Fälle wurde ein feiner Glasfaden mit zwei minutiösen Papierdreiecken an die Blätter befestigt; ihre Bewegung wurde dann in der bereits beschriebenen Weise an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet (wenn nicht das Gegentheil angegeben wird). Ich will hier wiederholen, dass die unterbrochenen Linien den nächtlichen Lauf darstellen. Der Stamm wurde immer an einem Stabe dicht an der Basis des zu beobachtenden Blattes fest gemacht. Die Anordnung der Species mit der beigefügten Zahl der Familie ist dieselbe wie bei den Stämmen.

1. *Sarracenia purpurea* (Sarraceneae, Fam. 11). — Ein junges Blatt oder Eimer, $8\frac{1}{2}$ Zoll hoch mit angeschwollener Blase, aber noch nicht geöffneter Kappe wurde mit einem Glasfaden quer auf seiner Spitze versehen; es wurde 48 Stunden lang beobachtet und während dieser ganzen Zeit circumnutirte es in einer nahezu gleichförmigen Weise, aber in sehr geringer Ausdehnung. Die Zeichnung, die hier mitgetheilt wird (Fig. 93), bezieht sich nur auf die Bewegungen während der ersten 26 Stunden.

2. *Glaucium luteum* (Papaveraceae, Fam. 12). — An einer jungen nur 8 Blätter tragenden Pflanze wurde ein Glasfaden an das vorjüngste Blatt befestigt, welches mit Einschluß des Blattstiels nur 3 Zoll lang war. Die circumnutirende Bewegung wurde während 47 Stunden aufgezeichnet. An beiden Tagen senkte sich das Blatt von von 7 a. m. bis ungefähr 11 a. m. und dann erhob es sich während des übrigen Tages und des ersten Theils der Nacht. Während des letzten Theils der Nacht senkte es sich bedeutend. Während des zweiten Tages erhob es sich nicht so viel, wie am ersten Tage, und senkte sich in der zweiten Nacht beträchtlich tiefer, als in der ersten. Diese Verschiedenheit war wahrscheinlich eine Folge davon, dass die Beleuchtung von oben während der zwei Beobachtungstage ungenügend gewesen war. Der während der beiden Tage eingeschlagene Weg ist in Fig. 94 dargestellt.

3. *Crambe maritima* (Cruciferae, Fam. 14). — Ein $9\frac{1}{2}$ Zoll langes Blatt an einer nicht kräftig wachsenden Pflanze wurde zuerst beobachtet. Seine Spitze war in beständiger Bewegung; dieselbe konnte aber kaum aufgezeichnet werden, da sie der Ausdehnung nach so unbedeutend war. Indessen änderte die Spitze sicher ihren Verlauf mindestens 6mal im Verlaufe von 14 Stunden. Es wurde dann eine kräftigere junge Pflanze, welche nur vier Blätter trug, ausgewählt und ein Glasfaden an die Mittelrippe des dritten Blattes von der Basis aus befestigt, welches mit dem Stiele

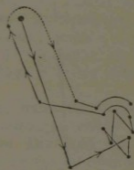


Fig. 93. *Sarracenia purpurea*: Circumnutirung eines jungen Eimers, von 8 a. m., 3. Juli, bis 10.15 a. m., am 4., aufgezeichnet. Temperatur $17-18^{\circ}$ C. Spitze des Eimers 20 Zoll vom Glase entfernt, die Bewegung daher bedeutend vergrößert.

5 Zoll in der Länge masz. Das Blatt stand beinahe senkrecht, die Spitze war aber niedergebogen, so dasz der Glasfaden beinahe horizontal vorsprang; seine Bewegungen wurden während 48 Stunden an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet, wie es in der untenstehenden Figur (Fig. 95)

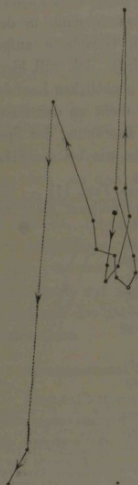


Fig. 94. *Glaucium luteum*: Circumnutation eines jungen Blattes, von 9.30 a. m., 14. Juni, bis 8.30 a. m., 16., aufgezeichnet. Zeichnung nicht stark vergrößert, da die Spitze des Blattes nur $5\frac{1}{2}$ Zoll von der Glasplatte entfernt stand.

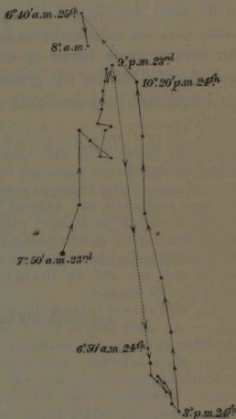


Fig. 95. *Crambe maritima*: Circumnutation eines Blattes, dadurch gestört, dasz es unzureichend von oben beleuchtet wurde, von 7.50 a. m., 23. Juni, bis 8 a. m., 25., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $15\frac{1}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte entfernt, so dasz die Zeichnung stark vergrößert wurde; hier aber auf ein Viertel des Maszstabs des Originals reducirt.

dargestellt ist. Wir sehen hier deutlich, dasz das Blatt beständig circumnutirte; aber die richtige Periodicität seiner Bewegungen wurde dadurch gestört, dasz es durch ein doppeltes Oberlicht nur trübe von oben beleuchtet wurde. Dasz dies der Fall war, schlieszen wir daraus, dasz an zwei Blättern an im Freien wachsenden Pflanzen die Winkel, in welchen sie über dem Horizonte standen, in der Mitte des Tages und von 9 bis ungefähr 10 p. m. in zwei auf einander folgenden Nächten gemessen wurden; es fand sich, dasz sie zu der letzterwähnten Stunde um einen Winkel von im Mittel 9° über ihre mittägliche Stellung sich erhoben hatten: am folgenden Morgen sanken sie auf ihre frühere Stellung zurück. Nun kann man in der Zeichnung sehen, dasz das Blatt sich in der zweiten Nacht erhob, so dasz

es um 6.40 a. m. höher stand, als um 10.20 p. m. in der vorhergehenden Nacht; dies kann wohl dem Umstande zugeschrieben werden, dass sich das Blatt dem trüben, ausschliesslich von oben kommenden Lichte angepasst hatte.

4. *Brassica oleracea* (Cruciferae). — HOFMEISTER und BATALIN geben an⁹, dass die Blätter des Kohls sich bei Tage erheben und des Nachts senken. Wir bedeckten eine junge 8 Blätter tragende Pflanze mit einer grossen Glasglocke, wobei wir sie in Beziehung auf das Licht in derselben Stellung lieszen, in welcher sie lange schon gestanden hatte; ein Glasfaden wurde in einer Entfernung von 0.4 Zoll von der Spitze eines jungen nahezu 4 Zoll langen Blattes befestigt. Seine Bewegungen wurden dann während dreier Tage aufgezeichnet; es verlohnt sich aber nicht der Mühe, die Zeichnung mitzutheilen. Das Blatt sank während des ganzen Morgens und erhob sich am Abend und während des ersten Theils der Nacht. Die aufsteigenden und absteigenden Linien fielen nicht zusammen, so dass in je 24 Stunden eine unregelmässige Ellipse gebildet wurde. Der basale Theil der Mittelrippe bewegte sich nicht, was dadurch ermittelt wurde, dass wir den Winkel, welchen er mit dem Horizonte bildete, in auf einander folgenden Perioden maszen; die Bewegung war daher auf den terminalen Theil des Blattes beschränkt, welcher sich im Verlaufe von 24 Stunden durch einen Winkel von 11° bewegte; die Entfernung, welche die Spitze aufwärts und abwärts durchmasz, betrug zwischen 0.8 und 0.9 Zoll.

Um die Wirkung der Dunkelheit zu ermitteln, wurde ein Glasfaden an ein $5\frac{1}{2}$ Zoll langes Blatt an einer Pflanze befestigt, welche nach Bildung eines Kopfes einen Stamm entwickelt hatte. Das Blatt war 44° über den Horizont gerichtet und seine Bewegungen wurden an einer senkrechten Glasplatte alle Stunden mit Hülfe eines Wachszünders aufgezeichnet. Während des ersten Tages erhob sich das Blatt von 8 a. m. bis 10.40 p. m. in einem unbedeutend zickzackförmigen Verlaufe, die factische von der Spitze durchmessene Entfernung betrug 0.67 Zoll. Während der Nacht senkte sich das Blatt, während es sich doch hätte erheben sollen, und um 7 a. m. am folgenden Morgen war es 0.23 Zoll gefallen und fuhr damit bis 9.40 a. m. fort. Es erhob sich dann bis 10.50 p. m., die Erhebung wurde aber durch eine beträchtliche Oscillation unterbrochen, d. h. durch eine Senkung und Wieder-Erhebung. Während der zweiten Nacht senkte es sich wiederum, aber nur in einer sehr kurzen Entfernung, und am folgenden Morgen erhob es sich wieder auf eine sehr kurze Strecke. Hiernach wurde also der normale Lauf des Blattes bedeutend gestört oder vielmehr vollständig umgekehrt, und zwar in Folge des Mangels an Licht; auch waren die Bewegungen in ihrer Amplitude bedeutend verringert.

Wir wollen noch hinzufügen, dass sich nach der Angabe von Mr. A. STEPHEN WILSON¹⁰ die jungen Blätter der Schwedischen Rübe, welche eine Bastardform von *Br. oleracea* und *rapa* ist, am Abend so bedeutend

⁹ Flora, 1873, p. 457.

¹⁰ Transact. Botan. Soc. Edinburgh, Vol. XIII. p. 32. In Bezug auf den Ursprung der Schwedischen Rübe s. Darwin, Thiere und Pflanzen im Zustande der Domestication. Übers. 3. Aufl., 1. Bd., p. 358.

zusammenziehen, »dass sich die horizontale Breite um ungefähr 30 Procent der Breite des Tages vermindert«. Es müssen daher die Blätter sich des Nachts beträchtlich erheben.

5. *Dianthus caryophyllus* (Caryophylleae, Fam. 26). — Der terminale Spross einer sehr kräftig wachsenden jungen Pflanze wurde zur Beobachtung ausgewählt. Die jungen Blätter standen zuerst senkrecht aufwärts und dicht bei einander, bald aber bogen sie sich auswärts und abwärts, so dass sie horizontal und häufig gleichzeitig ein wenig nach einer Seite hin geneigt wurden. Ein Glasfaden wurde an die Spitze eines jungen Blattes befestigt, während es noch in hohem Winkel aufgerichtet war, und der erste Punkt wurde an der senkrechten Glasplatte um 8.30 a. m. am 13. Juni gemacht; es krümmte sich aber so schnell abwärts, dass es um 6.40 a. m. am folgenden Morgen nur wenig über dem Horizonte stand. In Fig. 96 ist die lange, leicht zickzackförmige, den rapiden Abwärtsverlauf

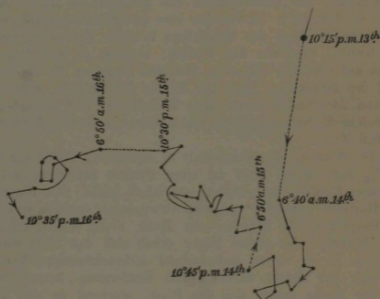


Fig. 96. *Dianthus caryophyllus*: Circumnutation eines jungen Blattes von 10.15 p. m., 13. Juni, bis 10.35 p. m., 16., aufgezeichnet. Die Spitze des Blattes stand am Schlusse unserer Beobachtungen $8\frac{3}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte entfernt, so dass die Zeichnung nicht bedeutend vergrößert ist. Das Blatt war $5\frac{1}{4}$ Zoll lang. Temperatur $15\frac{1}{2}$ – $17\frac{1}{2}$ ° C.

darstellende Linie, welche etwas nach links geneigt war, nicht mit dargestellt; die Figur zeigt aber den stark gewundenen und zickzackbildenden Verlauf, ebenso wie einige Schleifen, welcher während der nächsten $2\frac{1}{2}$ Tage zurückgelegt wurde. Da das Blatt die ganze Zeit hindurch fortfuhr, sich nach links zu bewegen, so stellt offenbar die Zickzacklinie viele Circumnutationen dar.

6. *Camellia japonica* (Camelliaceae, Fam. 32). — Ein ziemlich junges Blatt, welches zusammen mit seinem Stiele $2\frac{3}{4}$ Zoll lang war und welches an einem Seitenzweige eines hohen Busches entsprang, wurde an seiner Spitze mit einem Glasfaden versehen. Das Blatt hieng unter einem Winkel von 40° unter den Horizont hinab. Da es dick und steif und sein Stiel sehr kurz war, konnte keine grosse Bewegung gemacht werden. Nichtsdestoweniger veränderte die Spitze im Verlaufe von $11\frac{1}{2}$ Stunden siebenmal vollständig ihren Weg, bewegte sich aber nur eine sehr

kurze Strecke weit. Am nächsten Tage wurde die Bewegung der Spitze 26 Stunden 20 Minuten lang aufgezeichnet (wie in Fig. 97 dargestellt); sie war von nahezu derselben Art, aber etwas weniger complicirt. Die Bewegung scheint periodisch zu sein, denn an beiden Tagen circumnutirte das Blatt am Vormittag, senkte sich am Nachmittag (am ersten Tage bis zwischen 3 und 4 p. m., am zweiten Tage bis 6 p. m.) und erhob sich dann, um während der Nacht oder zeitig am Morgen sich wiederum zu senken.

In dem Capitel über den Pflanzenschlaf werden wir sehen, dass die Blätter in mehreren Gattungen der Malvaceen des Nachts sich senken; und da sie dann häufig keine senkrechte Stellung einnehmen, besonders wenn sie des Tages nicht gut beleuchtet worden sind, so ist es zweifelhaft, ob nicht einige von diesen Fällen in dem vorliegenden Capitel hätten aufgezählt werden sollen.

7. *Pelargonium zonale* (Geraniaceae, Fam. 47). — Ein junges, $1\frac{1}{4}$ Zoll breites, mit seinem Stiele 1 Zoll langes Blatt an einer jungen Pflanze wurde in der gewöhnlichen Weise während 61 Stunden beobachtet; sein Weg ist in der beistehenden Figur (Fig. 98) dargestellt. Während des ersten Tages und der Nacht bewegte sich das Blatt abwärts, circumnutirte aber zwischen 10 a. m. und 4.30 p. m. Am zweiten Tage sank



Fig. 97. *Camellia japonica*: Circumnutation eines Blattes, von 6.40 a. m., 14. Juni, bis 6.50 a. m., 15., aufgezeichnet. Spitze des Blattes 12 Zoll von der senkrechten Glasplatte, die Figur daher beträchtlich vergrößert. Temperatur $16-16\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

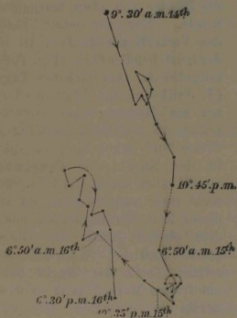


Fig. 98. *Pelargonium zonale*: Circumnutation und Abwärtsbewegung eines jungen Blattes, von 9.30 a. m., 14. Juni, bis 6.30 p. m., 16., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $9\frac{1}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte, die Figur daher mäßig vergrößert. Temperatur $15-16\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

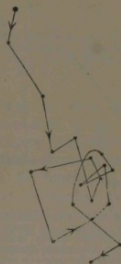


Fig. 99. *Cissus discolor*: Circumnutation eines Blattes, von 10.35 a. m., 28. Mai, bis 6 p. m., 29., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $8\frac{3}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte.

und erhob es sich wiederum; zwischen 10 a. m. und 6 p. m. circumnutirte es aber in einer äusserst geringen Ausdehnung. Am dritten Tage war die Circumnutation deutlicher ausgesprochen.

8. *Cissus discolor* (Ampelidae, Fam. 67). — Ein nicht annähernd völlig erwachsenes Blatt, das dritte von der Spitze eines Schösslings an einer niedergeschnittenen Pflanze, wurde während 31 Stunden 30 Minuten beobachtet (s. Fig. 99). Der Tag war kühl ($15-16^{\circ}$ C.); wenn die Pflanze im Warmhause beobachtet worden wäre, so würde die Circumnutation, obschon sie schon deutlich genug war, wahrscheinlich viel augenfälliger gewesen sein.

9. *Vicia faba* (Leguminosae, Fam. 75). — Bei einem jungen Blatte, 3.1 Zoll lang, von der Basis des Blattstiels bis zum Ende der

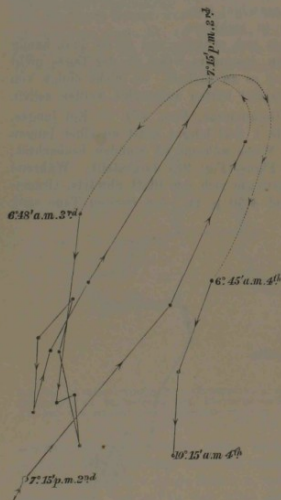


Fig. 100. *Vicia faba*: Circumnutation eines Blattes, von 7.15 p. m., 2. Juli, bis 10.15 a. m., 4., aufgezeichnet. Spitze der beiden terminalen Blättchen $7\frac{1}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte. Figur hier auf $\frac{2}{3}$ des Maszstabs des Originals reducirt. Temperatur $17-18^{\circ}$ C.

Blättchen gemessen, wurde ein Glasfaden an die Mittelrippe eines der beiden terminalen Blättchen befestigt; seine Bewegungen wurden während $51\frac{1}{2}$ Stunden aufgezeichnet. Der Faden sank den ganzen Morgen (2. Juli) bis 3 p. m. und erhob sich dann bedeutend bis 10.35 p. m.; die Erhebung war aber an diesem Tage so groß, verglichen mit der, welche später eintrat, dass sie wahrscheinlich zum Theil eine Folge des Umstands war, dass die Pflanze von oben beleuchtet wurde. Nur der letzte Theil des Verlaufs am 2. Juni ist in der beistehenden Figur (Fig. 100) mitgetheilt. Am nächsten Tage (3. Juli) sank das Blatt wiederum am Morgen, dann circumnutirte es in einer augenfälligen Weise und erhob sich bis spät in der Nacht; die Bewegung wurde aber nach 7.15 p. m. nicht mehr aufgezeichnet, da zu dieser Zeit der Glasfaden nach dem oberen Rande der Glasplatte hinwies. Während des letzten Theils der Nacht oder am frühen Morgen sank es wiederum in derselben Art wie vorher.

Da die abendliche Erhebung und die morgendliche Senkung ungewöhnlich groß waren, wurde der Winkel des Blattstiels über dem Horizonte zu den zwei Zeiten gemessen; es ergab sich, dass das Blatt zwischen 12.20 p. m. und 10.45 p. m. 19° gestiegen war und sich zwischen der letzt genannten Stunde und 10.20 a. m. am folgenden Morgen $23^{\circ} 30'$ gesenkt hatte.

Der Hauptblattstiel wurde nun dicht an der Basis der zwei terminalen Blättchen, welche 1.4 Zoll lang waren, an einen Stab fest gemacht; die Bewegungen eines derselben wurde 48 Stunden lang auf-

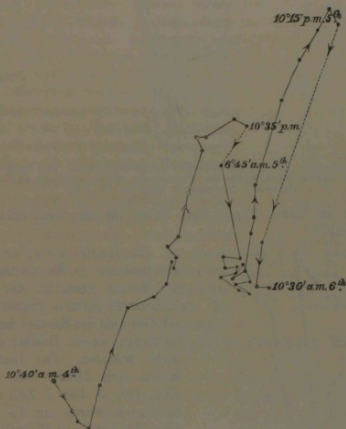


Fig. 101. *Vicia faba*: Circumnutation eines der beiden terminalen Blättchen, nach Befestigung des Hauptstiels, von 10.40 a. m., 4. Juli, bis 10.30 a. m., 6., aufgezeichnet. Spitze des Blättchens $6\frac{3}{8}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte entfernt. Die Zeichnung hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt. Temperatur $16-18^{\circ}$ C.

gezeichnet (Fig. 101). Der eingeschlagene Weg ist dem des ganzen Blattes sehr analog. Die Zickzacklinie zwischen 8.30 a. m. und 3.30 p. m. am zweiten Tage stellt 5 sehr kleine Ellipsen dar, deren längere Axen verschieden gerichtet sind. Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, dass beides, sowohl das ganze Blatt als auch die terminalen Blättchen einer gut ausgesprochenen täglichen periodischen Bewegung unterliegen; sie erheben sich am Abend und senken sich während des späteren Theils der Nacht oder am frühen Morgen, während sie in der Mitte des Tages meist rund um einen und denselben Fleck circumnutiren.

10. *Acacia retinoides* (Leguminosae). — Die Bewegung eines jungen, $2\frac{3}{8}$ Zoll langen und in einem beträchtlichen Winkel über den Horizont aufgerichteten Phylloodiums wurde 45 Stunden 30 Minuten lang aufgezeichnet; in der hier mitgetheilten Figur (Fig. 102) ist seine Circumnutation aber nur während 21 Stunden 30 Minuten dargestellt. Während eines Theils dieser Zeit (nämlich 14 St. 30 Min.) beschrieb das Phylloodium eine, 5 oder 6 kleine Ellipsen darstellende Figur. Die factische

Größe der Bewegung in senkrechter Richtung betrug 0.3 Zoll. Das Phyllodium erhob sich zwischen 1.30 p. m. und 4 p. m. beträchtlich; es



Fig. 102. *Acacia retinoides*: Circumnutation eines jungen Phyllodiums, von 10.45 a. m., 18. Juli, bis 8.15 a. m., 19., aufgezeichnet. Spitze des Phyllodiums 9 Zoll von der senkrechten Glasplatte abstehend. Temperatur $16\frac{1}{2}$ bis $17\frac{1}{2}$ ° C.

fand sich aber an beiden Tagen kein Beleg für eine regelmässige periodische Bewegung.

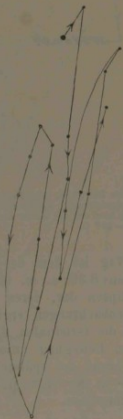


Fig. 103. *Lupinus speciosus*: Circumnutation eines Blattes, an einer senkrechten Glasplatte von 10.15 a. m. bis 5.45 p. m., d. i. 6 Stunden 30 Minuten lang, verzeichnet.

11. *Lupinus speciosus* (Leguminosae). — Es wurden Pflanzen aus Samen erzogen, der unter vorstehendem Namen gekauft war. Es ist dies eine der Species dieser grossen Gattung, deren Blätter des Nachts nicht schlafen. Die Blattstiele erheben sich direct vom Boden und sind von 5 bis 7 Zoll lang. Ein Glasfaden wurde an die Mittelrippe eines der längeren Blättchen befestigt und die Bewegung des ganzen Blattes aufgezeichnet, wie es Figur 103 darstellt. Im Verlaufe von 6 Stunden 30 Minuten gieng der Glasfaden einmal aufwärts und dreimal abwärts. Dann wurde eine neue (hier nicht mitgetheilte) Aufzeichnung angefangen, und während $12\frac{1}{2}$ Stunden bewegte sich das Blatt achtmal aufwärts und siebenmal abwärts, so dass es in dieser Zeit $7\frac{1}{2}$ Ellipsen beschrieb, und dies ist eine ausserordentliche Schnelligkeit der Bewegung. Die Spitze des Blattstiels wurde dann an einem Stabe festgemacht und es ergab sich, dass die einzelnen Blättchen beständig circumnutirten.

12. *Echeveria stolonifera* (Crassulaceae, Fam. 84). — Die älteren Blätter dieser Pflanze sind so dick und fleischig und die jüngeren so kurz und breit, dass es sehr unwahrscheinlich zu sein schien, dass

irgend eine Circumnutation nachgewiesen werden könnte. Ein Glasfaden wurde an ein junges, aufwärts geneigtes, 0.75 Zoll langes und 0.28 Zoll breites Blatt befestigt, welches an der Aussenseite einer terminalen Blattrosette einer sehr kräftig wachsenden Pflanze stand. Seine Bewegungen wurden 3 Tage lang aufgezeichnet, wie hier dargestellt ist (Fig. 104). Der Weg war hauptsächlich aufwärts gerichtet, und dies kann der Verlängerung des Blattes durch Wachstum zugeschrieben werden; wir sehen aber, dass die Linien stark im Zickzack verlaufen, und dass gelegentlich deutliche, wenn auch dem Umfang nach sehr geringe Circumnutation vorhanden war.

13. *Bryophyllum* (vel *Calanchoe*) *calycinum* (Crassulaceae). — DUVAL-

JOUVE hat die Entfernung zwischen den Spitzen des oberen Blattpaars an dieser Pflanze gemessen (Bull. Soc. Bot. de France, 14. Febr. 1868) und das in folgender Tabelle enthaltene Resultat erhalten. Es muss bemerkt werden, dass die Messungen

am 2. December an einem verschiedenen Paare von Blättern gemacht wurden: —

	8 a. m.	2 p. m.	7 p. m.
Nov. 16 . . .	15 mm . . .	25 mm . . .	(?)
„ 19 . . .	48 „ . . .	60 „ . . .	48 mm
Dec. 2 . . .	22 „ . . .	43 „ . . .	28 „

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass die Blätter um 2 p. m. viel weiter auseinander standen als sowohl um 8 a. m. als um 7 p. m., und dies zeigt, dass sie sich am Abend ein wenig erheben und am Vormittag senken oder öffnen.

14. *Drosera rotundifolia* (Droseraceae, Fam. 85). — Die Bewegungen eines jungen Blattes mit einem langen Blattstiele aber mit noch unentfalteten Tentakeln (oder drüsentragenden Haaren) wurden 47 Stunden 15 Minuten lang aufgezeichnet. Die Figur (Fig. 105) zeigt, dass es bedeutend, hauptsächlich in senkrechter Richtung circumnutirte, jeden Tag zwei Ellipsen beschreibend. An beiden Tagen fieng das Blatt nach 12 oder 1 Uhr sich zu senken an, und fuhr damit die ganze Nacht hindurch fort, obschon an den zwei Gelegenheiten auf eine sehr ungleiche Strecke. Wir glaubten daher, dass die Bewegung periodisch sei; als wir aber drei andere Blätter während mehrerer aufeinander folgender Tage und Nächte beobachteten, fanden wir dass dies ein Irrthum war; der Fall wird nur zur Warnung mitgetheilt. Am dritten Morgen nahm das erstgenannte Blatt beinahe genau dieselbe Stellung ein wie am ersten Morgen; die Tentakeln hatten sich in dieser Zeit hinreichend entfaltet, um rechtwinklig auf die Scheibe vorzuspringen.

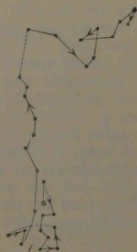


Fig. 104. *Echeveria stolonifera*: Circumnutation eines Blattes, von 8.20 a. m., 25. Juni, bis 8.45., 28., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $12\frac{1}{4}$ Zoll von der Glasplatte abgehend, so dass die Bewegung stark vergrößert wurde. Temperatur $23-24\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

In dem Masze wie die Blätter älter werden sinken sie immer mehr und mehr abwärts. Die Bewegung eines ältlichen Blattes, dessen Drüsen noch immer reichlich secernirten, wurde durch 24 Stunden aufgezeichnet, während

welcher Zeit es fortfuhr sich in einer Zickzacklinie ein wenig zu senken. Am folgenden Morgen, um 7. a. m., wurde ein Tropfen einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak (2 Gran auf 1 Unze Wasser) auf die Scheibe gebracht, und dies schwärzte die Drüsen und veranlaszte die Einbiegung vieler Tentakeln. Das Gewicht des Tropfens verursachte zuerst eine geringe Senkung des Blattes; aber unmittelbar darauf fieng es an sich in einem etwas zickzackförmigen Verlaufe zu erheben, und es fuhr damit bis um 3 p. m. fort. Dann circumnutirte es um einen und denselben Fleck in sehr geringer Ausdehnung 21 Stunden lang; während der nächsten 21 Stunden senkte es sich in einer Zickzacklinie bis nahezu auf dieselbe Höhe, welche es eingenommen hatte, als das Ammoniak zuerst angewendet wurde. In dieser Zeit hatten sich die Tentakeln wieder ausgebreitet und die Drüsen hatten die ihnen eigene Farbe wieder erhalten. Wir lernen hieraus, dasz ein altes Blatt in geringem Masze, wenigstens während es kohlensaures Ammoniak absorhirt, circumnutirt; denn wahr-

scheinlich dürfte diese Absorption das Wachsthum anregen und dadurch wieder Circumnutation veranlassen. Ob das Erheben des Glasfadens, welcher an den Rücken des Blattes befestigt war, das Resultat einer

unbedeutenden Einbiegung seines Randes (wie es meistens eintritt) oder eines Erhebens des Blattstiels war, wurde nicht ermittelt. Um zu erfahren, ob die Tentakeln oder drüsentragenden Haare circumnutiren, wurde ein junges Blatt, dessen innerste Tentakeln noch eingekrümmt waren, mit Schellack fest an einen platten in compacten feuchten thonigen Sand eingesteckten Stab angekittet. Die Pflanze wurde unter ein Microscop gebracht, dessen Tisch entfernt und dessen Ocularmicro- meter so angepasst war, dasz jeder Theilstrich gleich $\frac{1}{300}$ Zoll war. Es musz noch angegeben werden, dasz in dem Masze wie die Blätter älter werden sich die Tentakeln der äusseren Reihen auswärts und abwärts biegen, so dasz sie schliesslich beträchtlich unter den Horizont hinabgebogen sind. Ein Tentakel in der zweiten Reihe vom Rande aus wurde zur Beobachtung ausgewählt; es fand sich, dasz er sich mit einer Geschwindigkeit von $\frac{1}{300}$ Zoll in 20 Minuten oder von $\frac{1}{100}$ Zoll in 1 Stunde 40 Minuten auswärts bewegte; da er sich aber gleichfalls von einer Seite zur andern bewegte in einer Ausdehnung von über $\frac{1}{300}$ Zoll, so war die

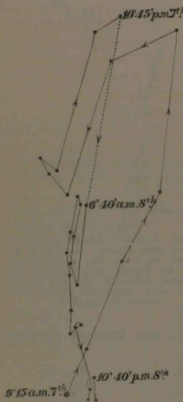


Fig. 105. *Drosera rotundifolia*: Circumnutation eines jungen Blattes mit einem an den Rücken der Scheibe befestigten Glasstab, von 9.15 a. m., 7. Juni, bis 8.30 a. m., 9. Juni, aufgezeichnet. Die Figur hier auf die Hälfte des Maszstabs des Originals reducirt.

Bewegung wahrscheinlich eine modificirte Circumnutation. Zunächst wurde ein Tentakel eines alten Blattes in der nämlichen Art und Weise beobachtet. In 15 Minuten nachdem er unter das Microscop gebracht worden war, hatte er sich ungefähr $\frac{1}{1000}$ Zoll bewegt. Während der nächsten $7\frac{1}{2}$ Stunden wurde wiederholt nach ihm gesehen und während dieser ganzen Zeit bewegte er sich nur wiederum $\frac{1}{1000}$ Zoll; diese kleine Bewegung könnte Folge des Zusammensinkens des feuchten Sandes gewesen sein (auf welchem die Pflanze ruhte), obschon der Sand fest niedergedrückt worden war. Wir können daher schlieszen, dasz die Tentakeln, wenn sie alt sind, nicht circumnutiren; und doch war dieser Tentakel so sensitiv, dasz er in 23 Secunden, nachdem seine Drüsen einfach mit einem Stück rohen Fleisches berührt worden waren, sich rückwärts zu rollen begann. Diese Thatsache ist von ziemlicher Bedeutung, da sie augenscheinlich beweist, dasz die Einbiegung der Tentakeln durch den Reiz absorbirter thierischer Substanz (und ohne Zweifel auch durch den Reiz der Berührung mit irgend einem Gegenstand) nicht eine Folge einer modificirten Circumnutation ist.

15. *Dionaea muscipula* (Droseraceae). — Es mag vorausgeschickt werden, dasz bei den Blättern in einem frühen Entwicklungszustand die zwei Lappen dicht zusammengedrückt sind. Sie sind zuerst rückwärts nach dem Mittelpunkt der Pflanze hin gerichtet, aber allmählich erheben sie sich, stehen bald unter rechtem Winkel zum Blattstiele und schliesslich nahezu in einer geraden Linie mit ihm. An einem jungen Blatte, welches mit seinem Stiele nur 1.2 Zoll in der Länge masz, wurde ein Glasfaden äusserlich der Mittelrippe der noch geschlossenen Lappen entlang befestigt, welche unter rechtem Winkel zum Blattstiele vorsprangen. Am Abend vollendete dies Blatt im Verlaufe von 2 Stunden eine Ellipse. Am folgenden Tage (25. September) wurden seine Bewegungen 22 Stunden hindurch aufgezeichnet; und wir sehen in Fig. 106, dasz es sich in Folge der Geradestreckung des Blattes in derselben allgemeinen Richtung, aber in einem äusserst zickzackförmigen Verlaufe bewegte. Es stellt diese Linie mehrere ausgezogene oder modificirte Ellipsen dar. Es lässt sich daher nicht daran zweifeln, dasz dies junge Blatt circumnutirte.

Ein etwas altes horizontal ausgestrecktes Blatt mit einem entlang der untern Seite der Mittelrippe angehefteten Glasfaden wurde zunächst 7 Stunden lang beobachtet. Es bewegte sich kaum; wenn aber eines seiner sensitiven Haare berührt wurde, schlossen sich die Platten, wenn schon nicht sehr schnell. Nun wurde ein neuer Punkt auf die Glasplatte gemacht; im Verlaufe von 14 Stunden 20 Minuten war aber kaum irgend eine Veränderung in der Stellung des Glasfadens



Fig. 106. *Dionaea muscipula*: Circumnutation eines jungen und sich ausbreitenden Blattes, im Dunkeln an einer horizontalen Glasplatte vom Mittag des 24. Sept. bis 10 a. m. am 25. aufgezeichnet. Spitze des Blattes $13\frac{1}{2}$ Zoll von der Glasplatte, die Zeichnung daher beträchtlich vergrößert.

vorhanden. Wir können daher schlieszen, dasz ein altes und nur mäsiz empfindliches Blatt nicht deutlich circumnutirt; wir werden aber bald sehen, dasz hieraus durchaus nicht folgt, dasz ein solches Blatt absolut bewegungslos ist. Wir können ferner schlieszen, dasz der Reiz einer Berührung nicht wieder deutliche Circumnutation anregt.

Bei einem andern völlig erwachsenen Blatte wurde ein Glasfaden äusserlich der einen Seite der Mittelrippe entlang und parallel mit ihr angeheftet, so dasz er sich bewegen muszte, wenn sich die Lappen schlossen. Es musz zunächst noch angeführt werden, dasz, obgleich eine Berührung eines der sensitiven Haare eines kräftigen Blattes ein schnelles, häufig beinahe augenblickliches Schlieszen desselben veranlaszt, die Lappen, wenn ein Stück feuchten Fleisches oder etwas Lösung von kohlensaurem Ammoniak auf dieselben gebracht wird, sich doch so langsam schlieszen, dasz meistens 24 Stunden zur Vollendung des Actes erforderlich sind. Das obige Blatt wurde zuerst 2 Stunden 30 Minuten lang beobachtet, es circumnutirte nicht; es hätte aber eine längere Zeit hindurch beobachtet werden sollen, obgleich, wie wir gesehen haben, ein junges Blatt eine ziemlich grosze Ellipse in 2 Stunden vollendete. Ein Tropfen eines Aufgusses von rohem Fleisch wurde dann auf das Blatt gebracht und innerhalb 2 Stunden erhob sich der Glasfaden ein wenig; dies setzt voraus, dasz die Lappen angefangen hatten, sich zu schlieszen, und vielleicht der Blattstiel, sich zu erheben. Er fuhr mit äusserster Langsamkeit während der nächsten 8 Stunden 30 Minuten sich zu erheben fort. Die Stellung des Topfes wurde dann (7.15 p. m., 24. Sept.) unbedeutend verändert, ein weiterer Tropfen des Aufgusses zugesetzt und eine neue Zeichnung begonnen (Fig. 107). Um 10.50 p. m. war der Glasfaden nur ein wenig mehr

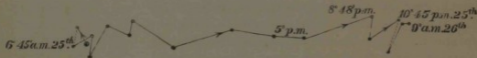


Fig. 107. *Dionaea muscipula*: Schluss der Lappen und Circumnutation eines völlig erwachsenen Blattes während es einen Aufguss von rohem Fleisch absorbirt, im Dunkeln von 7.15 p. m., 24. Sept., bis 9 a. m., 26., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $8\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte. Die Figur hier auf zwei Drittel des Maszstabs des Originals reducirt.

gestiegen und während der Nacht sank er. Am folgenden Morgen schlossen sich die Lappen schneller und um 5 p. m. war es für das blosze Auge auffallend, dasz sie sich beträchtlich geschlossen hatten; um 8.48 p. m. war dies noch deutlicher und um 10.45 waren die randständigen Speichen verschränkt. Das Blatt senkte sich ein wenig während der Nacht und am nächsten Morgen (25.) um 7 a. m. waren die Lappen vollständig geschlossen. Der eingeschlagene Weg war, wie aus der Figur zu ersehen ist, stark zickzackförmig, und dies weist darauf hin, dasz das Schlieszen der Lappen mit der Circumnutation des ganzen Blattes combinirt war; auch lässt sich in Anbetracht des Umstandes, wie bewegungslos das Blatt 2 Stunden 20 Minuten lang war, ehe es den Aufguss erhielt, nur wenig daran zweifeln, dasz die Absorption der thierischen Substanz es angeregt hatte, zu circumnutiren. Das Blatt wurde gelegentlich während der nächsten vier Tage beobachtet, wurde aber in einem wohl zu kühlen Orte gehalten;

trotzdem circumnutirte es in geringer Ausdehnung und die Lappen blieben geschlossen.

Es wird zuweilen in botanischen Werken angegeben, dasz die Lappen sich des Nachts schlieszen oder schlafen; dies ist aber ein Irrthum. Um diese Angabe zu prüfen, wurden lange Glasstäbe auf der Innenseite der zwei Lappen dreier Blätter befestigt und die Entfernung zwischen ihren Spitzen in der Mitte des Tages und des Nachts gemessen; es war aber kein Unterschied zu entdecken.

Die vorstehenden Beobachtungen beziehen sich auf die Bewegungen des ganzen Blattes, aber die Lappen bewegen sich unabhängig vom Blattstiele und scheinen sich in einer sehr geringen Ausdehnung beständig zu öffnen und zu schlieszen. Ein nahezu voll ausgewachsenes Blatt (welches sich später als in hohem Grade sensitiv gegen Berührung auswies) stand beinahe horizontal, so dasz es dadurch, dasz eine lange Nadel durch den blattartigen Stiel dicht an der Scheibe durchgestoszen wurde, bewegungslos gemacht wurde. An eine der randständigen Speichen wurde ein kleines Papierdreieck geheftet und die Pflanze unter ein Microscop mit einem Ocularmicrometer gebracht, von dessen Theilstrichen ein jeder $\frac{1}{300}$ Zoll gleich war. Man sah nun, dasz die Spitze des Papierdreiecks in beständiger geringer Bewegung war; denn in 4 Stunden durchkreuzte es neun Theilstriche oder $\frac{3}{300}$ Zoll und nach weiteren zehn Stunden bewegte es sich zurück und hatte $\frac{1}{300}$ Zoll in der entgegengesetzten Richtung durchkreuzt. Die Pflanze wurde in einem im Ganzen zu kühlen Orte gehalten und am folgenden Tage bewegte sie sich eher noch langsamer, nämlich in 3 Stunden $\frac{1}{300}$, und während der nächsten 6 Stunden $\frac{3}{300}$ Zoll in der entgegengesetzten Richtung. Es scheinen sich daher die beiden Lappen, wenn gleich in einer sehr geringen Entfernung, beständig zu schlieszen und zu öffnen; denn wir müssen uns erinnern, dasz das kleine an die randständige Speiche angeheftete Papierdreieck deren Länge vergrößerte und dadurch die Bewegung etwas übertrieben darstellte. Ähnliche Beobachtungen, aber mit dem wichtigen Unterschiede, dasz der Blattstiel frei gelassen und die Pflanze unter einer hohen Temperatur gehalten wurde, wurden auch mit einem Blatte angestellt, welches zwar gesund, aber so alt war, dasz es sich nicht schlosz, wenn seine empfindlichen Haare wiederholt berührt wurden, obgleich es sich, nach andern Fällen zu urtheilen, langsam geschlossen haben würde, wenn es durch thierische Substanz gereizt worden wäre. Die Spitze des Papierdreiecks war in beinahe, wenn gleich nicht vollkommen beständiger Bewegung, zuweilen in der einen Richtung, zuweilen in der entgegengesetzten; es durchkreuzte in 30 Minuten fünf Theilstriche des Micrometers (d. h. $\frac{1}{60}$ Zoll). Diese Bewegung in einem so geringen Masze ist kaum mit gewöhnlicher Circumnutation vergleichbar; sie kann aber vielleicht mit den zickzackförmigen Linien und kleinen Schlingen verglichen werden, durch welche die von andern Pflanzen beschriebenen groszen Ellipsen häufig unterbrochen werden.

Im ersten Capitel des vorliegenden Bandes sind die merkwürdigen oscillatorischen Bewegungen des circumnutirenden Hypocotyls des Kohls beschrieben worden. Die Blätter der *Dionaea* bieten dieselbe Erscheinung dar, welche eine ganz wunderbare ist, wenn sie mit einer schwachen Vergrößerung (2 Zoll-Objectiv) und einem Ocularmicrometer beobachtet wird,

dessen Theilstriche ($\frac{3}{100}$ Zoll) als ziemlich weite Zwischenräume erscheinen. An das junge noch nicht ausgebreitete Blatt, dessen circumnutirende Bewegungen aufgezeichnet wurden (Fig. 106), war ein Glasfaden senkrecht auf dasselbe befestigt worden; die Bewegung der Spitze wurde im Warmhause (Temperatur 29—30° C.) beobachtet, wobei Licht nur von oben zugelassen und jeder seitliche Luftzug ausgeschlossen wurde. Die Spitze kreuzte zuweilen einen oder zwei Theilstriche des Micrometers mit einer unmerkbar langsamen Geschwindigkeit, meistens aber bewegte sie sich in rapiden Stößen oder Sprüngen von $\frac{1}{1000}$ oder $\frac{1}{10000}$ und, in einem Falle, von $\frac{1}{1000}$ Zoll vorwärts. Nach jedem Sprunge vorwärts zog sich die Spitze mit vergleichsweiser Langsamkeit einen Theil der eben zurückgelegten Strecke wieder zurück; dann machte sie nach einer sehr kurzen Zeit wieder einen Sprung vorwärts. Bei einer Gelegenheit wurden vier deutliche Sprünge vorwärts mit langsamerem Zurückweichen in genau einer Minute gesehen, ausser einigen kleineren Schwankungen. So weit wir es beurtheilen konnten, fielen die Linien des Vorschreitens und Zurückweichens nicht zusammen; und wenn dies so war, wurden jedesmal äusserst kleine Ellipsen beschrieben. Einigemal blieb die Spitze für eine kurze Zeit völlig bewegungslos. Ihre Bewegung war während der verschiedenen Beobachtungsstunden in zwei entgegengesetzten Richtungen, so dass das Blatt wahrscheinlich circumnutirte.

Ein älteres Blatt mit vollständig ausgebreiteten Lappen, welches sich später als in hohem Grade empfindlich gegen Berührung erwies, wurde zunächst in einer ähnlichen Weise beobachtet, ausgenommen, dass die Pflanze in einem Zimmer einer niedrigeren Temperatur ausgesetzt wurde. Die Spitze oscillirte in derselben Weise, wie in dem früheren Falle, vorwärts und rückwärts; die sprungweisen Bewegungen vorwärts waren aber von geringerer Ausdehnung, nämlich ungefähr $\frac{1}{1000}$ Zoll; auch traten längere bewegungslose Perioden ein. Da es möglich erschien, dass die Bewegungen Folge von Luftströmungen sein könnten, wurde ein Wachszünder während einer der bewegungslosen Perioden dicht an das Blatt gehalten; es wurden aber keine Oscillationen dadurch verursacht. Nach 10 Minuten indessen begannen kräftige Schwankungen, vielleicht in Folge davon, dass die Pflanze erwärmt und dadurch gereizt worden war. Das Licht wurde dann entfernt und es dauerte nicht lange, dass die Schwankungen aufhörten; als nach einem Verlaufe von 1 Stunde 30 Minuten wieder nach dem Blatte gesehen wurde, oscillirte es trotzdem wieder. Die Pflanze wurde zurück in das Warmhaus gebracht und am folgenden Morgen war wieder zu sehen, dass sie, wenn schon nicht sehr kräftig, oscillirte. Ein anderes altes, aber gesundes Blatt, welches gegen Berührung nicht im mindesten empfindlich war, wurde gleicherweise während zweier Tage im Warmhause beobachtet; der angeheftete Glasfaden machte viele kleine Sprünge vorwärts von ungefähr $\frac{1}{1000}$ oder nur $\frac{1}{10000}$ Zoll.

Um endlich zu ermitteln, ob die Blattlappen unabhängig vom Blattstiel oscillirten, wurde der Stiel eines alten Blattes dicht an der Blattscheibe mit Schellack an die Spitze eines kleinen in den Boden eingetriebenen Stabes angekittet. Ehe dies aber gethan wurde, wurde das Blatt beobachtet; es fand sich, dass es kräftig oscillirte oder schnellte; nachdem es an den Stab gekittet war, dauerten die Oscillationen von ungefähr $\frac{1}{1000}$ Zoll noch immer fort. Am folgenden Tage wurde ein wenig von einem

Aufgusz rohen Fleisches auf das Blatt gebracht, welcher es verursachte, dasz die Lappen sich im Verlaufe von zwei Tagen sehr langsam zusammenschlossen; die Oscillationen dauerten während dieser ganzen Zeit und für die nächsten zwei Tage fort. Nach neun weiteren Tagen fieng das Blatt sich zu öffnen an und die Ränder wurden ein wenig umgewendet; nun blieb die Spitze des Glasfadens lange Perioden hindurch bewegungslos und bewegte sich dann langsam, ohne irgend welche Sprünge, eine Strecke von ungefähr $\frac{1}{1000}$ Zoll rückwärts und vorwärts. Nichtsdestoweniger fieng die sprungweise Bewegung wiederum an, als das Blatt durch ein dicht an dasselbe gehaltenes Wachszünderchen erwärmt wurde.

Dieses selbe Blatt war $2\frac{1}{2}$ Monate früher beobachtet worden und es hatte sich gezeigt, dasz es oscillirte oder schnellte. Wir können daher schlieszen, dasz diese Art von Bewegung Tag und Nacht eine sehr lange Zeit hindurch fortgeht; sie kommt in gleicher Weise bei jungen, noch nicht ausgebreiteten, und bei so alten Blättern vor, dasz sie ihre Empfindlichkeit gegen Berührung verloren haben, welche aber noch immer fähig sind, stickstoffhaltige Substanz zu resorbiren. Wenn die Erscheinung gut ausgebildet ist, wie bei dem oben beschriebenen jungen Blatt, ist sie sehr interessant. Sie rief häufig in uns die Idee einer Anstrengung hervor, oder das Bild eines kleinen Thieres, welches kämpft, sich von irgend einem Zwang zu befreien.

16. *Eucalyptus resinifera* (Myrtaceae, Fam. 94). — Ein junges, mit seinem Stiel zusammen zwei Zoll langes Blatt, welches ein seitlicher Sprosz an einem niedergeschnittenen Baume hervorgebracht hatte, wurde in der gewöhnlichen Weise beobachtet. Die Blattscheibe hatte ihre verticale Stellung noch nicht angenommen. Am 7. Juni wurden nur einige wenige Beobachtungen gemacht; die Aufzeichnung zeigte nur, dasz sich das Blatt dreimal aufwärts und dreimal abwärts bewegt hatte. Am folgenden Tage wurde es häufiger beobachtet und zwei Zeichnungen wurden gemacht (s. A und B, Fig. 108), da eine einzige zu complicirt gewesen wäre. Die Spitze veränderte im Verlaufe von 16 Stunden 13mal ihren Weg, hauptsächlich auf und nieder, mit etwas seitlicher Bewegung. Der factische Betrag an Bewegung in einer jeden Richtung war gering.

17. *Dahlia* (Garten-Varietät) (Compositae, Fam. 122). — Ein schönes junges, $5\frac{3}{4}$ Zoll langes Blatt, welches eine junge 2 Fusz hohe, in einem groszen Topfe kräftig wachsende Pflanze hervorgebracht hatte, stand unter einem Winkel von ungefähr 45° unter dem Horizont. Am 18. Juni senkte sich das Blatt von 10 a. m. bis 11.35 a. m. (s. Fig. 109); dann erhob es sich bedeutend bis 6 p. m.; wahrscheinlich ist diese Erhebung eine Folge davon, dasz das Licht nur von oben kam. Zwischen 6 p. m. und 10.35 p. m. bewegte es sich im Zickzack und erhob sich dann während der Nacht ein wenig. Es musz bemerkt werden, dasz die verticalen Abstände im unteren Theil der Zeichnung stark übertrieben

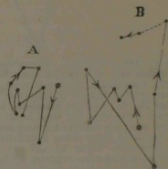


Fig. 108. *Eucalyptus resinifera*: Circumnutation eines Blattes, A von 6.40 a. m. bis 1 p. m. am 8. Juni, B von 1 p. m., 8. Juni, bis 8.30 a. m., am 9., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $14\frac{1}{2}$ Zoll von der horizontalen Glasscheibe; die Figuren daher beträchtlich vergrößert.

sind, da das Blatt zuerst unter den Horizont hinabgebeugt war, und nachdem es hinabgesunken war, wies der Glasstab in einer sehr schrägen

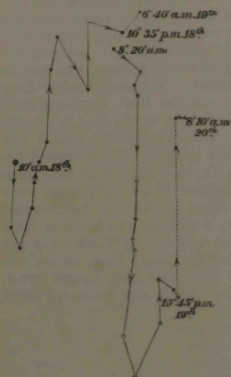


Fig. 109. *Dahlia*: Circumnutation eines Blattes von 10 a. m., 18. Juni, bis 8.10 a. m., 20., verzeichnet, aber mit einer Unterbrechung von 1 Stunde 40 Minuten am Morgen des 19., da, weil der Glasfaden zu weit nach einer Seite wies, der Topf leicht bewegt worden war; die relative Stellung der zwei Zeichnungen ist daher etwas willkürlich. Die hier mitgetheilte Figur ist auf ein Fünftel des Originalmaßstabes reducirt. Spitze des Blattes 9 Zoll vom Glase in der Linie seiner Neigung und $4\frac{3}{4}$ in einer Horizontallinie.

Richtung nach dem Glase. Am nächsten Tage sank das Blatt von 8.20 a. m. bis 7.15 p. m., dann bewegte es sich zickzackförmig und erhob sich während der Nacht bedeutend. Am Morgen des 20. war das Blatt wahrscheinlich im Begriffe, sich zu senken, obgleich die kurze Linie in der Zeichnung horizontal ist. Die factischen Abstände, welche die Spitze des Blattes durchlief, waren beträchtlich, konnten aber nicht mit Sicherheit berechnet werden. Nach dem Wege, welchen die Pflanze am zweiten Tage einschlug, nachdem sie sich an das Licht von oben accommodirt hatte, lässt sich nicht daran zweifeln, dass die Blätter eine tägliche periodische Bewegung ausführen, während des Tages sinken und während der Nacht sich erheben.

18. *Mutisia Clematis* (Compositae). — Die Blätter enden in Ranken und circumnutiren wie diejenigen anderer Rankenträger; es wird aber diese Pflanze hier wegen einer irrigen Angabe¹¹ erwähnt, welche veröffentlicht worden ist, dass nämlich die Blätter während der Nacht sinken und sich während des Tages erheben. Die Blätter, welche sich in dieser Weise benahmen, waren für einige Tage in

einem nach Norden gelegenen Zimmer gehalten worden und waren nicht hinreichend beleuchtet gewesen. Es wurde daher eine Pflanze ungestört im Warmhause gelassen, und bei drei Blättern wurden die Winkel um Mittag und um 10 p. m. gemessen. Alle drei waren um Mittag ein wenig unter den Horizont geneigt, am Abend aber stand eines 2° , das zweite 21° und das dritte 10° höher als in der Mitte des Tages; anstatt zu sinken erheben sie sich also ein wenig des Nachts.

19. *Cyclamen persicum* (Primulaceae, Fam. 135). — Ein junges, mit Einschluß des Stiels 1.8 Zoll langes Blatt, welches von einem alten Wurzelstock hervorgetrieben war, wurde während dreier Tage in der gewöhnlichen Art und Weise beobachtet (Fig. 110). Am ersten Tage fiel das Blatt tiefer als später, augenscheinlich weil es sich an das Licht von oben anpaszte. An allen drei Tagen sank es vom frühen Morgen

¹¹ Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen: Übersetzung 1876, p. 90.

bis ungefähr 7 p. m., und von dieser Stunde an erhob es sich während der Nacht mit einem leicht zickzackförmigen Verlaufe. Die Bewegung ist daher streng periodisch. Es musz bemerkt werden, dasz das Blatt an

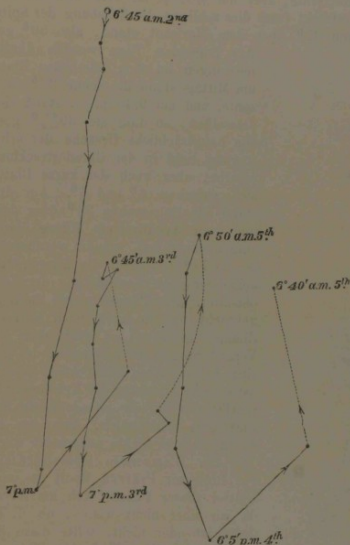


Fig. 110. *Cyclamen persicum*: Circumnutation eines Blattes, von 6.45 a. m., 2. Juni, bis 6.40 a. m., 5. Juni, aufgezeichnet. Spitze des Blattes 7 Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt.

jedem Abend um ein wenig tiefer gesunken wäre, als es gesunken ist, wenn der Glasfaden nicht zwischen 5 und 6 p. m. auf dem Rande des Topfes aufgelegt hätte. Der Betrag an Bewegung war beträchtlich; denn wenn wir annehmen, dasz das ganze Blatt bis zur Basis des Stiels gebogen wurde, so würde die Zeichnung etwas weniger als fünfmal vergrößert worden sein, und dies gibt für die Spitze eine Erhebung und Senkung von einem halben Zoll, mit etwas seitlicher Bewegung. Diese Grösze würde indessen ohne die Hülfe einer Zeichnung oder einer Messung irgend einer Art die Aufmerksamkeit nicht fesseln.

20. *Allamanda Schottii* (Apocynae, Fam. 144). — Die jungen Blätter dieses Strauches sind länglich und die Blattscheibe ist so stark nach unten gebogen, dasz sie beinahe einen Halbkreis bildet. Die

Bogensehne — d. h. eine von der Spitze der Blattscheibe nach der Basis des Blattstiels gezogene Linie — an einem jungen Blatte von $4\frac{3}{4}$ Zoll Länge stand um 2.50 p. m., am 5. December, in einem Winkel von 13° unter dem Horizonte, aber um 9.30 p. m. hatte sich die Blattscheibe so bedeutend gestreckt (und dies schlieszt die Erhebung der Spitze ein), dass die Sehne nun 37° über dem Horizont stand, also 50° gestiegen war.

Am folgenden Tage wurden ähnliche Winkelmessungen an dem nämlichen Blatte gemacht; um Mittag stand die Sehne 36° unter dem Horizonte, und um 9.30 p. m. stand sie $3\frac{1}{2}^\circ$ über demselben, so dass sie $39\frac{1}{2}^\circ$ gestiegen war. Die hauptsächlichliche Ursache der erhebenden Bewegung liegt in der Geradestreckung der Blattscheibe, aber auch der kurze Blattstiel erhebt sich zwischen 4° und 5° . Am dritten Abend stand die Bogensehne 35° über dem Horizonte, und wenn das Blatt am Mittag dieselbe Stellung eingenommen hat, wie am vorausgehenden Tage, ist sie 71° gestiegen. Bei älteren Blättern wurde keine derartige Veränderung der Krümmung beobachtet. Die Pflanze wurde dann in das Haus gebracht und in einem nach Nordost gelegenen Zimmer gehalten; es trat aber Nachts keine Veränderung in der Krümmung des jungen Blattes ein; es ist daher allem Anscheine nach für die periodische Änderung der Krümmung in der Blattscheibe und für die unbedeutende Erhebung des Blattstiels erforderlich, dass das Blatt vorher einem starken Lichte ausgesetzt war.

21. *Wigandia* (Hydroleaceae, Fam. 149).

— Professor PFEFFER theilt uns mit, dass die Blätter dieser Pflanze sich am Abend erheben; da wir aber nicht wissen, ob diese Erhebung grosz ist oder nicht, sollte diese Species vielleicht unter die schlafenden Pflanzen gerechnet werden.

22. *Petunia violacea* (Solaneae, Fam.

157). — Ein sehr junges Blatt von nur $\frac{3}{4}$ Zoll Länge und stark nach oben geneigt, wurde vier Tage lang beobachtet. Während dieser ganzen Zeit bog es sich nach auszen und abwärts, so dass es immer mehr und mehr fast horizontal wurde. Die stark ausgeprägte Zickzacklinie in der Abbildung (Fig. 111) weist nach, dass dies durch modificirte Circumnutation bewirkt wurde,

Fig. 111. *Petunia violacea*: Abwärtsbewegung und Circumnutation eines sehr jungen Blattes, von 10 a. m., 2. Juni, bis 9.20 a. m., 6. Juni, aufgezeichnet. — NB. Um 6.40 a. m. am 5. Juni war es notwendig, den Topf ein wenig zu bewegen, und es wurde eine neue Zeichnung an der stelle angefangen, wo in der Zeichnung die beiden Punkte nicht mit einander verbunden sind. Spitze des Blattes 7 Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt. Temperatur meistens $17\frac{1}{2}^\circ$ C.

und während des letzten Theils der Zeit fand starke gewöhnliche Circumnutation in einem kleinen Maszstabe statt. Die Bewegung ist in der Zeichnung zwischen 10 und 11mal vergrößert. Sie bietet deutlich eine Spur von Periodicität dar, da das Blatt an jedem Abend sich ein wenig

erhob; diese Neigung, sich nach oben zu bewegen, schien aber dadurch beinahe überwunden zu werden, dass das Blatt in dem Masse, als es älter wurde, mehr und mehr horizontal zu werden strebte. Die Winkel, welche zwei ältere Blätter mit einander bildeten, wurden am Abend und um die Mittagszeit an drei auf einander folgenden Tagen gemessen, und in jeder Nacht nahm der Winkel ein wenig ab, wenn gleich unregelmässig.

23. *Acanthus mollis* (Acanthaceae, Fam. 168). — Das jüngere von zwei, von einer Sämlingspflanze entwickelten Blättern, von $2\frac{1}{4}$ Zoll Länge mit Einschluss des Blattstiels, wurde während 47 Stunden beobachtet. Zeitig an jedem der drei Morgen senkte sich die Spitze des Blattes, und es fuhr bis 3 p. m. an den beiden Nachmittagen, wo es beobachtet wurde, zu sinken fort. Nach 3 p. m. erhob es sich beträchtlich und fuhr am zweiten Abend bis in den frühen Morgen sich zu erheben fort. Aber am ersten Abend sank es, anstatt sich zu erheben, und wir zweifeln nur wenig daran, dass dies eine Folge davon war, dass das Blatt sehr jung war und durch epinastisches Wachstum immer mehr und mehr horizontal wurde; denn es ist in der Zeichnung zu sehen (Fig. 112), dass das Blatt am ersten Tage auf einem höheren Niveau stand als am zweiten. Die Blätter einer verwandten Species (*A. spinosus*) erhoben sich sicher in jeder Nacht; die Erhebung zwischen Mittag und 10.15 p. m. betrug, als sie bei einer Gelegenheit gemessen wurde, 10° . Diese Erhebung war hauptsächlich oder ausschliesslich Folge der Geradestreckung der Blattscheibe und nicht der Bewegung des Blattstiels. Wir können daher schliessen, dass die Blätter des *Acanthus* periodisch circumnutiren, am Morgen sinken und am Nachmittag und der Nacht sich erheben.



Fig. 112. *Acanthus mollis*: Circumnutation eines jungen Blattes, von 9.20 a. m., 14. Juni, bis 8.30 a. m., 16. Juni, aufgezeichnet. Spitze des Blattes 11 Zoll von der senkrechten Glasscheibe abgehend, daher die Bewegung beträchtlich vergrößert. Die Figur hier auf die Hälfte des Massstabes des Originals reducirt. Temperatur $15-16\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

24. *Cannabis sativa* (Cannabineae, Fam. 195). Wir haben hier den seltenen Fall, dass sich Blätter am Abend nach abwärts bewegen, aber nicht in einem hinreichenden Grade, um Schlaf genannt werden zu können¹². Am zeitigen Morgen oder im letzten Theile der Nacht bewegen sie sich aufwärts. So standen beispielsweise alle jungen Blätter in der Nähe der Gipfel mehrerer Stämme um 8 a. m., am 29. Mai, beinahe horizontal und um 10.30 p. m. waren sie beträchtlich abwärts geneigt. An einem späteren Tage standen zwei Blätter um 2 p. m. zu 21° und 12° unter dem Horizont und um 10 p. m. 38° unter demselben. Zwei andere Blätter an einer jüngeren Pflanze waren um

¹² Wir wurden durch Dr. Carl Kraus' Aufsatz: „Beiträge zur Kenntniss der Bewegungen wachsender Laubblätter“, Flora, 1879, p. 66, darauf geführt, diese Pflanze zu beobachten. Wir bedauern, dass wir diesen Aufsatz zum Theil nicht vollständig verstehen können.

2 p. m. horizontal und um 10 p. m. waren sie 36° unter den Horizont gesunken. Was diese Abwärtsbewegung der Blätter betrifft, so glaubt KRAUS, dass sie eine Folge ihres epinastischen Wachsthumms ist. Er fügt hinzu, dass die Blätter während des Tags erschlaft und des Nachts gespannt sind, und zwar sowohl bei sonnigem als bei regnerischem Wetter.

25. *Pinus pinaster* (Coniferae, Fam. 223). — Die Blätter an den Spitzen der terminalen Sprossen stehen anfangs in einem Bündel beinahe aufrecht, bald divergiren sie aber und werden schliesslich beinahe horizontal. Die Bewegungen eines jungen, nahezu einen Zoll langen Blattes am Gipfel einer Sämlingspflanze von nur 3 Zoll Höhe wurde vom frühen Morgen des 2. Juni bis zum Abend des 7. aufgezeichnet. Während dieser fünf Tage divergirte das Blatt und seine Spitze sank zuerst in

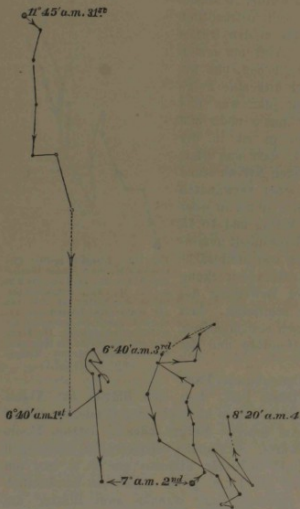


Fig. 113. *Pinus pinaster*: Circumnutation eines jungen Blattes, von 11.45 a. m., 31. Juli, bis 8.20 a. m., 4. Aug., aufgezeichnet. Um 7 a. m., am 2. Aug., wurde der Topf einen Zoll weit nach einer Seite bewegt, so dass die Zeichnung aus zwei Figuren besteht. Spitze des Blattes $14\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt; die Bewegungen daher bedeutend vergrößert.

die Blätter sich periodisch bewegen, denn das Sinken während der ersten zwei Nächte war deutlich eine Folge epinastischen Wachsthumms, und am

einer beinahe geraden Linie; während der zwei letzten Tage bewegte sie sich aber so stark zickzackförmig, dass das Blatt offenbar circumnutirte. Als dieselbe kleine Pflanze zur Höhe von 5 Zoll gewachsen war, wurde sie wiederum während vier Tagen beobachtet. Ein Glasfaden wurde quer an die Spitze eines Blattes von einem Zoll Länge und welches bereits beträchtlich aus seiner ursprünglich aufrechten Stellung divergirt hatte, befestigt. Es fuhr von 11.45 a. m., 31. Juli, bis 6.40 a. m., 1. August, zu divergiren und zu sinken fort (s. A, Fig. 113). Am 1. August circumnutirte es um einen und denselben kleinen Fleck und senkte sich des Nachts wiederum. Am nächsten Morgen wurde der Topf nahezu einen Zoll weit nach rechts bewegt und eine neue Aufzeichnung angefangen (B). Von dieser Zeit an, nämlich vom 7. a. m., 2. August, bis 8.20 a. m. am 4., circumnutirte das Blatt offenbar. Es geht aus der Zeichnung nicht hervor, dass

Schlusse unserer Beobachtung war das Blatt nicht annähernd so horizontal wie es schliesslich werden wird.

Pinus austriaca. — Zwei Blätter von 3 Zoll Länge, aber nicht vollständig ausgewachsen, von einem Seitenspross an einem jungen Baum von 3 Fusz Höhe entwickelt, wurde während 29 Stunden (am 31. Juli) in der nämlichen Art wie die Blätter der vorstehend erwähnten Species beobachtet. Diese beiden Blätter circumnutirten bestimmt; sie beschrieben in der angegebenen Periode zwei oder zwei und eine halbe kleine, unregelmässige Ellipsen.

26. *Cycas pectinata* (Cycadeae, Fam. 224). — Ein junges, $11\frac{1}{2}$ Zoll langes Blatt, dessen Blättchen erst vor Kurzem entrollt waren, wurde während 47 Stunden 30 Minuten beobachtet. Der Hauptblattstiel wurde an der Basis der zwei terminalen Blättchen an einem Stock fest gemacht. An eines der letzteren von $3\frac{3}{4}$ Zoll Länge wurde ein Glasfaden befestigt; das Blättchen war stark abwärts gebogen, da aber der terminale Theil nach oben gekehrt war, sprang der Glasfaden beinahe horizontal vor. Das Blättchen bewegte sich bedeutend und periodisch (s. Fig. 114); denn es senkte sich bis ungefähr 7. p. m. und erhob sich während der Nacht, und senkte sich wiederum am nächsten Morgen nach 6.40 a. m.: Die absteigenden Linien sind in einer ausgesprochenen Weise zickzackförmig; dies würden wahrscheinlich auch die aufsteigenden Linien gewesen sein, wenn sie die Nacht hindurch aufgezeichnet worden wären.

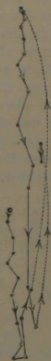


Fig. 114. *Cycas pectinata*: Circumnutation eines der terminalen Blättchen, von 8.30 a. m., 22. Juni, bis 8 a. m., 24. Juni, aufgezeichnet. Spitze des Blättchens $7\frac{3}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt; die Zeichnung ist also nicht stark vergrössert; sie ist hier auf ein Drittel des Maszstabs des Originals reducirt. Temperatur 19–21° C.

Circumnutation der Blätter: Monocotyledonen.

27. *Canna Warscewiczii* (Cannaceae, Fam. 2). — Die Bewegungen eines jungen Blattes von 8 Zoll Länge und $3\frac{1}{2}$ Zoll Breite, von

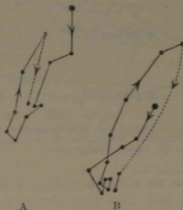
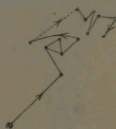


Fig. 115. *Canna Warscewiczii*: Circumnutation eines Blattes, (A) von 11.30 a. m., 10. Juni, bis 6.40 a. m., 11. und (B) von 6.40 a. m., 11. Juni, bis 8.40 a. m. 12. aufgezeichnet. Spitze des Blattes 9 Zoll von der senkrechten Glasscheibe.

einer kräftigen jungen Pflanze entwickelt, wurde während 45 Stunden 50 Minuten beobachtet, wie es in Fig. 115 dargestellt ist. Der Topf wurde am Morgen des 11. ungefähr einen Zoll weit nach rechts geschoben, da eine einzige Figur zu complicirt gewesen wäre; die zwei Figuren hängen aber der Zeit nach zusammen. Die Bewegung ist periodisch, da das Blatt vom frühen Morgen bis ungefähr um 5 p. m. sank und während des übrigen Abends und eines Theiles der Nacht sich erhob. Am Abend des 11. circumnutirte es in einer geringen Ausdehnung einige Zeit lang um einen und denselben Fleck.

28. *Iris pseudo-acorus* (Irideae, Fam. 10). — Die Bewegungen eines jungen Blattes, welches sich 13 Zoll über das Wasser, in welchem die Pflanze wuchs, erhob, wurde während 27 Stunden 30 Minuten aufgezeichnet, wie in Fig. 116 dargestellt ist. Es circumnutirte offenbar, obgleich nur in geringer Ausdehnung. Am zweiten Morgen zwischen 6.40 a. m. und 2 p. m. (zu welch' letzterer Stunde die hier mitgetheilte Figur aufhört) veränderte die Spitze fünfmal ihren Weg. Während der nächsten 8 Stunden 40 Minuten bewegte sie sich stark zickzackförmig und sank so weit wie der tiefste Punkt in der Figur, wobei sie in ihrem Verlaufe zwei sehr kleine Ellipsen machte; wenn aber diese Linien hier hinzu gefügt worden wären, würde die Figur zu complicirt geworden sein.

Fig. 116. *Iris pseudo-acorus*: Circumnutation eines Blattes, von 10.30 a. m., am 28. Mai, bis 2 p. m., am 29., aufgezeichnet. Die Aufzeichnung wurde bis 11 p. m. fortgesetzt, ist aber hier nicht copirt worden. Spitze des Blattes 12 Zoll unter der horizontalen Glasplatte, die Figur also beträchtlich vergrößert. Temperatur 15–16° C.



29. *Crinum capense* (Amaryllideae, Fam. 11). — Die Blätter dieser Pflanze sind wegen ihrer bedeutenden Länge und Schmalheit merkwürdig; eines wurde gemessen und ergab sich als 53 Zoll lang und nur 1.4 Zoll an seiner Basis breit. So lange sie noch ganz jung sind, stehen sie bis zur Höhe von ungefähr einem Fusz beinahe senkrecht aufwärts;

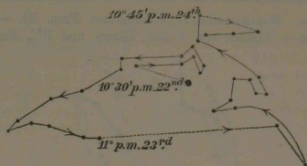


Fig. 117. *Crinum capense*: Circumnutation der herabhängenden Spitze eines jungen Blattes, an einer Glasglocke von 10.30 p. m., 22. Mai, bis 10.15 a. m., am 25., aufgezeichnet. Figur nicht bedeutend vergrößert.

später fangen ihre Spitzen an sich überzubiegen und noch später hängen sie senkrecht nach unten und fahren so fort zu wachsen. Ein verhältnismäßig junges Blatt wurde ausgewählt, dessen herabhängendes, spitz zulaufendes Endstück bis jetzt nur $5\frac{1}{2}$ Zoll lang war, während der auf-

recht stehende basale Theil 20 Zoll an Höhe masz, wenn schon dieser Theil schliesslich kürzer wird, weil er mehr übergebogen wird. Eine grosse Glasglocke wurde über die Pflanze gestellt und an einer Seite ein schwarzer Punkt gemacht; die beistehende Darstellung (Fig. 117) wurde in der Weise aufgezeichnet, dass die herabhängende Spitze mit diesem Punkte in eine Linie gebracht und auf der entgegengesetzten Seite der Glocke markirt wurde; die Aufzeichnung wurde durch $2\frac{1}{2}$ Tage gemacht. Während des ersten Tages (22.) bewegte sich die Spitze weit nach links, vielleicht in Folge davon, dass die Pflanze gestört worden war; der letzte Punkt, welcher an diesem Tage um 10.30 p. m. gemacht wurde, ist hier allein gegeben worden. Wie wir aus der Figur ersehen, lässt sich nicht daran zweifeln, dass die Spitze dieses Blattes circumnutirte.

Ein Glasfaden mit kleinen Papierdreiecken wurde zu der nämlichen Zeit schräg quer an die Spitze eines noch jüngeren Blattes befestigt, welches senkrecht in die Höhe stand und noch gerade war. Seine Bewegungen wurden von 3 p. m., 22. Mai, bis 10.15 a. m., 25., aufgezeichnet. Das Blatt war in rapidem Wachsthum, so dass die Spitze sich während dieser Zeit bedeutend erhob; da es sich stark im Zickzack bewegte, war die Bewegung deutlich Circumnutation und allem Anscheine nach suchte es an jedem Tage eine Ellipse zu bilden. Die während der Nacht aufgezeichneten Linien waren viel senkrechter als die während des Tages verzeichneten, und dies deutet darauf hin, dass die Zeichnung eine nächtliche Erhebung und ein tägliches Sinken dargeboten haben würde, wenn das Blatt nicht so rapid gewachsen wäre. Die Bewegung dieses nämlichen Blattes wurde nach einem Verlauf von sechs Tagen (am 31. Mai), zu welcher Zeit die Spitze sich nach ausen in einer horizontalen Stellung gekrümmt und damit den ersten Schritt zu dem Hängendwerden gethan hatte, orthogonisch mit Hilfe eines hölzernen Würfels (in der früher beschriebenen Weise) aufgezeichnet; es wurde dabei ermittelt, dass die factische von der Spitze durchmessene Entfernung, in Folge der Circumnutation, im Verlaufe von $20\frac{1}{2}$ Stunden $3\frac{1}{8}$ Zoll betrug. Während der nächsten 24 Stunden durchlief sie $2\frac{1}{2}$ Zoll. Es war daher die circumnutirende Bewegung dieses jungen Blattes stark ausgesprochen.

30. *Pancreatium littorale* (Amaryllideae). — Die Bewegungen eines 9 Zoll langen und ungefähr 45° über den Horizont aufgerichteten Blattes wurden bedeutend vergrößert während zweier Tage aufgezeichnet. Am ersten Tage veränderte es in 12 Stunden seinen Lauf vollständig 9mal aufwärts und abwärts und nach den Seiten; die aufgezeichnete Figur stellte augenscheinlich fünf Ellipsen dar. Am zweiten Tage wurde es seltener beobachtet; wir sahen daher seinen Lauf sich nicht so häufig verändern, nämlich nur sechsmal, aber in der nämlichen complicirten Art wie vorher. Die Bewegungen waren der Ausdehnung nach kleine; über die Circumnutation des Blattes konnte aber kein Zweifel bestehen.

31. *Imatophyllum* vel *Clivia* (sp.?) (Amaryllideae). — Ein langer Glasfaden wurde an ein Blatt befestigt, und der Winkel, den er mit dem Horizonte bildete wurde gelegentlich während dreier aufeinanderfolgender Tage gemessen. Er sank an jedem Morgen bis zwischen 3 und 4 p. m., und erhob sich des Nachts. Der zu irgend einer Zeit beobachtete kleinste Winkel über dem Horizont betrug 48° und der grösste 50° , so dass er

sich nur 2° während der Nacht erhob; da dies aber an jedem Tage beobachtet wurde, und da ähnliche Beobachtungen des Nachts an einem andern Blatt einer andern Pflanze gemacht wurden, so lässt sich nicht daran zweifeln, dass sich die Blätter periodisch, wenn schon in sehr geringer Ausdehnung, bewegen. Die Stellung der Spitze bei ihrem höchsten Stande war 0.8 Zoll über dem niedrigsten Punkte.

32. *Pistia stratiotes* (Aroideae, Fam. 30). — Hofmeister macht die Bemerkung, dass die Blätter dieser schwimmenden Wasserpflanze des Nachts höher aufgerichtet sind als bei Tage¹³. Wir befestigten daher einen Glasfaden an die Mittelrippe eines mässig jungen Blattes und maszen am 19. September den Winkel, den es mit dem Horizonte bildete, 14mal in der Zeit zwischen 9 a. m. und 11.50 p. m. Die Temperatur des Warmhauses schwankte während der zwei Beobachtungstage zwischen $18\frac{1}{2}$ und $23\frac{1}{2}^{\circ}$ C. Um 9 a. m. stand der Glasfaden 32° über dem Horizont; um 3.34 p. m. stand er 10° und um 11.50 p. m. 55° ; diese zwei letzteren Winkel waren die höchsten und niedrigsten, die während des Tages beobachtet wurden und eine Differenz von 45° zeigten. Die Erhebung wurde nicht eher als zwischen 5 und 6 p. m. scharf ausgesprochen. Am nächsten Tage stand das Blatt um 8.25 a. m. nur 10° über dem Horizonte und es blieb in ungefähr 15° bis nach 3 p. m.; um 5.40 p. m. war es 23° und um 9.30 p. m. 58° , so dass die Erhebung an diesem Abend plötzlicher war als an dem vorausgehenden, der Unterschied in der Winkelstellung erhob sich bis auf 48° . Die Bewegung ist augenscheinlich periodisch, und da das Blatt am ersten Abend 55° und am zweiten Abend 58° über dem Horizont stand, erschien es sehr steil geneigt. Wie wir in einem späteren Capitel sehen werden, hätte dieser Fall vielleicht unter die Gruppe der schlafenden Pflanzen gerechnet werden sollen.

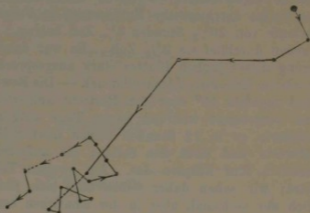


Fig. 118. *Pontederia* (sp.?) ; Circumnutation eines Blattes, von 4.50 p. m., 2. Juli, bis 10.15 a. m., am 4., aufgezeichnet. Spitze des Blattes $16\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe abstehend, die Zeichnung daher bedeutend vergrößert. Temperatur ungefähr 17° C. und daher eher etwas zu niedrig.

33. *Pontederia* (sp.?) (von dem Hochlande von Sta. Catharina, Brasilien) (Pontederiaceae, Fam. 46). — Ein Glasfaden wurde quer an

¹³ Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867, p. 327.

die Spitze eines mäszig jungen Blattes von $7\frac{1}{2}$ Zoll Höhe befestigt und seine Bewegungen während $42\frac{1}{2}$ Stunden aufgezeichnet (s. Fig. 118). Am ersten Abend, wo mit der Aufzeichnung begonnen wurde, und während der Nacht senkte sich das Blatt beträchtlich. Am nächsten Morgen erhob es sich in einer stark ausgesprochen zickzackförmigen Linie und sank wieder am Abend und während der Nacht. Die Bewegung scheint daher periodisch zu sein; doch wird diese Folgerung ziemlich zweifelhaft, weil ein anderes Blatt von 8 Zoll Höhe und dem Anscheine nach älter und höher aufgerichtet, sich verschieden benahm. Während der ersten 12 Stunden circumnutirte es um einen kleinen Fleck, aber während der Nacht und am ganzen folgenden Tage erhob es sich in der nämlichen allgemeinen Richtung; das Aufsteigen wurde durch kleine wiederholte Oscillationen aufwärts und abwärts bewirkt.

Cryptogamen.

34. *Nephrodium molle* (Filices, Fam. 1). — Ein Glasfaden wurde in der Nähe der Spitze eines jungen, 17 Zoll hohen und noch nicht vollständig entrollten Wedels dieses Farns befestigt und seine Bewegungen während 24 Stunden aufgezeichnet. Wir sehen in Fig. 119, dasz sie deutlich circumnutirte. Die Bewegung wurde nicht bedeutend vergrößert, da der Wedel nahe an die senkrechte Glasscheibe gestellt war; sie würde wahrscheinlich gröszter und rapider gewesen sein, wenn der Tag wärmer gewesen wäre. Denn die Pflanze war aus einem warmen Gewächshause gebracht worden und wurde unter einem Oberlicht beobachtet, wo die Temperatur zwischen 15° und 16° war. Wir haben im ersten Capitel gesehen, dasz ein Wedel dieses Farns, welcher erst unbedeutend gelappt war und dessen Rachis nur 0.23 Zoll in der Höhe masz, deutlich circumnutirte¹⁴.

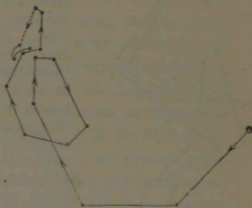


Fig. 119. *Nephrodium molle*: Circumnutation der Rachis, von 9.15 a. m., 28. Mai, bis 9 a. m. am 29., aufgezeichnet. Die hier mitgetheilte Figur ist auf zwei Drittel der Originalgröße reducirt.

In dem Capitel über den Schlaf der Pflanzen wird die augenfällige Circumnutation der *Marsilea quadrifoliata* (Marsileaceae, Fam. 4) beschrieben werden.

¹⁴ Mr. Loomis und Prof. Asa Gray haben (Botanical Gazette, 1880, p. 27, 43) einen äusserst merkwürdigen Fall von Bewegung an den Wedeln, aber nur an den fructificirenden Wedeln von *Asplenium trichomanes* beschrieben. Diese bewegen sich beinahe so rapid, wie die kleinen Blättchen von *Desmodium gyrans*, abwechselnd vorwärts und rückwärts durch einen Raum von 20 bis 40 Graden, in einer auf der des Wedels rechtwinklig stehenden Ebene. Die Spitze des Wedels beschreibt „eine lange und sehr schmale Ellipse“, so dasz sie circumnutirt. Die Bewegung weicht aber von gewöhnlicher Circumnutation ab, da sie nur eintritt, wenn die Pflanze dem Lichte ausgesetzt wird; selbst künstliches Licht „reicht hin, für einige wenige Minuten Bewegung zu erregen“.

Es ist im ersten Capitel auch gezeigt worden, dass eine junge, nur 0.4 Zoll hohe *Selaginella* (Lycopodiaceae, Fam. 6) deutlich circumnutirte; wir können daher schlieszen, dass ältere Pflanzen, während sie wachsen, das nämliche thun werden.

35. *Lunularia vulgaris* (Hepaticae, Fam. 11. Muscales). — Die Erde in einem alten Blumentopf war mit dieser Pflanze, welche Brutknospen trug, überzogen. Ein stark aufgerichteter frondoser Sprosz, welcher 0.3 Zoll über den Boden vorsprang und 0.4 Zoll breit war, wurde zur Beobachtung ausgewählt. Ein Glashaar von äusserster Dünne und 0.75 Zoll Länge, dessen Ende weiss gemacht war, wurde mit Schellack unter rechtem Winkel zur Breite an den Sprosz befestigt und ein weisser Stab mit einem minutiösen schwarzen Fleck wurde dicht hinter dem Ende des Haars in die Erde gesteckt. Das weisse Ende konnte genau in eine Linie mit dem schwarzen Flecke gebracht, und es konnten hiernach Punkte nach einander auf der davor stehenden senkrechten Glasscheibe angebracht werden. Eine jede Bewegung des Sprosses würde natürlich gezeigt und durch das lange Glashaar vergrössert werden; der schwarze Fleck war so dicht hinter das Ende des Haars gebracht, im Verhältnis zu dem Abstand der davor stehenden Glasscheibe, dass die Bewegung des Endes ungefähr 40mal vergrössert wurde. Nichtsdestoweniger sind wir überzeugt, dass unsere Aufzeichnung eine ziemlich treue Darstellung der Bewegungen des Sprosses gibt. In der Zwischenzeit zwischen je zwei Beobachtungen wurde die Pflanze mit einer kleinen Glasglocke bedeckt. Der Sprosz war, wie schon angegeben wurde, hoch aufgerichtet und der Topf stand vor einem nach Nordost gehenden Fenster. Während der fünf ersten Tage bewegte sich der Sprosz abwärts oder wurde weniger hoch aufgerichtet; die lange Linie, welche aufgezeichnet wurde, war stark zickzackförmig mit gelegentlich oder nahezu gebildeten Schlingen; dies deutete Circumnutation an. Ob das Sinken Folge eines epinastischen Wachstums oder des Apheliotropismus war, wissen wir nicht. Da die Senkung am fünften Tage unbedeutend war, wurde am sechsten Tage (25. October) eine neue Zeichnung begonnen und 47 Stunden lang fortgesetzt; sie wird hier mitgetheilt (Fig. 120). Am nächsten Tage (27.) wurde eine andere Zeichnung gemacht, und es zeigte sich, dass der Sprosz noch immer circumnutirte; denn während

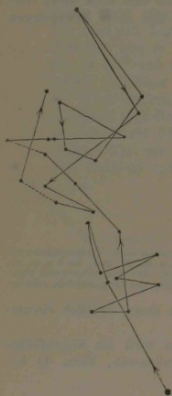


Fig. 120. *Lunularia vulgaris*: Circumnutation eines Sprosses, von 9 a. m., 25. Oct., bis 8 a. m., am 27., aufgezeichnet.

14 Stunden 30 Minuten veränderte er zehnmal vollständig seinen Lauf (ausser unbedeutenden Änderungen). Er wurde gelegentlich noch zwei weitere Tage beobachtet und man sah, dass er sich beständig bewegte.

Die niedrigsten Glieder der Pflanzenreihe, die Thallogonen, circumnutiren allem Anscheine nach. Wenn eine *Oscillaria* unter dem Microscope

beobachtet wird, so kann man sehen, dass sie ungefähr alle 40 Secunden Kreise beschreibt. Nachdem sie sich nach einer Seite hingebogen hat, fängt zuerst die Spitze an, sich rückwärts nach der entgegengesetzten Seite hin zu biegen und dann krümmt sich der ganze Faden in derselben Richtung. HOFMEISTER¹⁵ hat eine detaillirte Schilderung der merkwürdigen, zwar weniger regelmässigen, aber constanten Bewegungen der *Spirogyra* gegeben: während $2\frac{1}{2}$ Stunden bewegte sich der Faden 4mal nach der linken und 3mal nach der rechten Seite, und er erwähnt noch einer Bewegung, welche rechtwinklig zu der angeführten eintrat. Die Spitze bewegte sich mit der Geschwindigkeit von ungefähr 0.1 mm in fünf Minuten. Er vergleicht die Bewegung mit der Nutation der höheren Pflanzen¹⁶. Wir werden später sehen, dass heliotropische Bewegungen das Resultat einer modificirten Circumnutation sind, und da sich einzellige Pilze nach dem Lichte biegen, können wir schlieszen, dass auch sie circumnutiren.

Schlussbemerkungen über die Circumnutation von Blättern.

Es sind nun die circumnutirenden Bewegungen junger Blätter in 33 Gattungen beschrieben worden, welche zu 25 Familien gehören, die unter der Reihe gewöhnlicher und gymnospermer Dicotyledonen und unter den Monocotyledonen weit vertheilt sind, ebenso wie bei einigen Cryptogamen. Es dürfte daher wohl nicht vorschnell sein anzunehmen, dass die wachsenden Blätter aller Pflanzen circumnutiren, wie wir Grund gefunden haben zu schlieszen, dass dies bei Cotyledonen der Fall ist. Der Sitz der Bewegung liegt allgemein im Blattstiele, aber zuweilen in beiden, sowohl im Blattstiele als in der Blattscheibe oder auch in der Blattscheibe allein. Die Grösze der Bewegung war bei verschiedenen Pflanzen sehr verschieden, aber die durchlaufene Entfernung war niemals bedeutend, ausgenommen bei *Pistia*, welche vielleicht zu den schlafenden Pflanzen hätte gerechnet werden sollen. Die Winkelbewegung der Blätter wurde nur gelegentlich gemessen: sie schwankte gemeiniglich von nur 2° (und wahrscheinlich selbst noch weniger in einigen Fällen) bis zu ungefähr 10° , aber bei der gemeinen Bohne erhob sie sich bis auf 23° . Die Bewegung findet hauptsächlich in einer senkrechten Ebene statt; da aber die aufsteigenden und absteigenden Linien niemals zusammen fielen, so bestand immer etwas seitliche Bewegung und hiedurch wurden unregelmässige Ellipsen gebildet. Die Bewegung verdient daher eine Circumnutations-Bewegung

¹⁵ Über die Bewegungen der Fäden der *Spirogyra princeps* in: Württemb. naturwissenschaftl. Jahreshfte, 1874 p. 211.

¹⁶ Auch ZUKAL bemerkt (citirt im Journ. R. Microscop. Soc., Vol. 3, 1880, p. 320), dass die Bewegungen von *Spirulina*, einem Gliede der Oscillatorieae, „der wohlbekannten Rotation von wachsenden Sprossen und Ranken“ sehr analog sind.

genannt zu werden; denn alle circumnutirenden Organe suchen Ellipsen zu beschreiben, — d. h. dem Wachsthum auf einer Seite folgt Wachsthum auf der nahezu, aber nicht vollständig entgegengesetzten Seite. Die Ellipsen oder die zickzackförmigen, ausgezogene Ellipsen darstellenden Linien sind meistens sehr eng; doch waren bei *Camellia* ihre kleinen Axen halb so lang, und bei *Eucalyptus* mehr als halb so lang wie ihre grösseren Axen. Beim *Cissus* stellten Theile der Figur mehr annähernd Kreise als Ellipsen dar. Die Grösze der seitlichen Bewegung ist daher zuweilen beträchtlich. Ausserdem erstreckten sich die längeren Axen der aufeinander folgend gebildeten Ellipsen (wie bei der Bohne, bei *Cissus* und dem Kohl) und in mehreren Fällen die zickzackförmigen, Ellipsen repräsentirenden Linien während eines und desselben Tages oder am nächsten Tage nach sehr verschiedenen Richtungen. Der eingeschlagene Weg war krummlinig oder gerade, oder unbedeutend oder stark zickzackförmig, und häufig wurden kleine Schleifen oder Dreiecke gebildet. Eine einzige grosze unregelmässige Ellipse kann an einem Tage und von der nämlichen Pflanze am nächsten Tage zwei kleinere beschrieben werden. Bei *Drosera* wurden zwei, und bei *Lupinus*, *Eucalyptus* und *Panacratium* mehrere an jedem Tage gebildet.

Die oscillatorischen und schnellenden Bewegungen der Blätter von *Dionaea*, welche denen des Hypocotyls vom Kohl ähnlich sind, sind, wenn sie unter dem Microscop betrachtet werden, in hohem Grade merkwürdig. Sie dauern Nacht und Tag einige Monate lang fort und werden von jungen, nicht entfaltetten Blättern und von alten Blättern dargeboten, welche ihre Empfindlichkeit gegen Berührung verloren haben, welche aber nach der Absorption thierischer Substanz ihre Lappen schlieszen. Wir werden später derselben Art von Bewegung an den Gliedern gewisser Gramineen begegnen und sie kommt wahrscheinlich vielen Pflanzen während ihrer Circumnutation zu. Es ist daher eine befremdende Thatsache, dasz keine derartige Bewegung an den Tentakeln der *Drosera rotundifolia* nachgewiesen werden konnte, trotzdem sie ein Mitglied derselben Familie ist wie *Dionaea*; doch war der Tentakel, welcher beobachtet wurde, so empfindlich, dasz er, nachdem er mit einem Stückchen rohen Fleisches berührt worden war, sich in 23 Secunden anfieng einwärts zu rollen.

Eine der allerinteressantesten Thatsachen in Bezug auf die Circumnutation der Blätter ist die Periodicität ihrer Bewegungen; denn sie

erheben sich häufig, oder selbst allgemein, ein wenig am Abend oder im frühen Theile der Nacht und senken sich wiederum am folgenden Morgen. Genau dieselbe Erscheinung wurde bei Cotyledonen beobachtet. Die Blätter von 16 Gattungen unter den 33, welche beobachtet wurden, benahmen sich in dieser Weise, wie es wahrscheinlich auch noch 2 andere thaten. Auch darf nicht etwa angenommen werden, dasz in den übrigen 15 Gattungen keine Periodicität in ihren Bewegungen bestanden hätte; denn 6 von ihnen wurden eine zu kurze Zeit hindurch beobachtet, um sich über diesen Punkt irgend ein Urtheil zu bilden, und 3 waren so jung, dasz ihr epinastisches Wachsthum, welches dazu dient, sie in einer horizontalen Stellung herab zu biegen, jede andere Art von Bewegung überwältigte. Nur bei einer Gattung, *Cannabis*, senkten sich die Blätter am Abend, und KRAUS schreibt diese Bewegung dem Vorherrschen ihres epinastischen Wachsthums zu. Dasz die Periodicität durch die tägliche Abwechselung von Licht und Dunkelheit bestimmt wird, darüber kann, wie später gezeigt werden wird, kein Zweifel bestehen. Insectenfressende Pflanzen werden durch das Licht sehr wenig afficirt, so weit ihre Bewegungen in Betracht kommen; und wahrscheinlich rührt es hievon her, dasz ihre Blätter, wenigstens bei *Sarracenia*, *Drosera* und *Dionaea* sich nicht periodisch bewegen. Die Aufwärtsbewegung am Abend ist zuerst langsam und beginnt bei verschiedenen Pflanzen zu sehr verschiedenen Stunden; — bei *Glaucium* so zeitig wie 11 a. m., gewöhnlich zwischen 3 und 5 p. m., zuweilen aber so spät wie 7 p. m. Es musz beachtet werden, dasz keine von den Blättern, welche in diesem Capitel beschrieben wurden (ausgenommen, wie wir glauben, diejenigen von *Lupinus speciosus*) ein Polster besitzen; denn die periodischen Bewegungen der damit versehenen Blätter sind meistens zu sogenannten Schlafbewegungen vergrößert worden, mit welchen wir es hier nicht zu thun haben. Die Thatsache, dasz Blätter und Cotyledonen häufig, oder selbst allgemein, am Abend ein wenig sich erheben und sich am Morgen senken, ist von Interesse, da sie uns die Grundlage darbieten, von welcher aus die specialisirten Schlafbewegungen vieler, nicht mit einem Polster versehenen Blätter und Cotyledonen entwickelt worden sind. Für Jeden, welcher das Problem der horizontalen Stellung der Blätter und Cotyledonen während des Tages und während sie von oben beleuchtet werden, in Betracht zieht, sollte die erwähnte Periodicität im Sinne gehalten werden.

Fünftes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Kletterpflanzen; epinastische und hyponastische Bewegungen.

Circumnutation durch innere Ursachen oder durch die Wirkung äusserer Bedingungen modificirt. — Innere Ursachen. — Kletterpflanzen; Ähnlichkeit ihrer Bewegungen mit denen gewöhnlicher Pflanzen; vermehrte Amplitude; gelegentliche Differenzpunkte. — Epinastisches Wachstum junger Blätter. — Hypo-nastisches Wachstum der Hypocotyle und Epicotyle von Sämlingen. — Hakenförmige Spitzen von kletternden und anderen Pflanzen, Folge modificirter Circumnutation. — *Ampelopsis tricuspidata*. — *Smithia Pfundii*. — Gerade-streckung der Spitze, Folge der Hyponastie. — Epinastisches Wachstum und Circumnutation der Blütenstiele von *Trifolium repens* und *Oxalis carnosa*.

Die Würzelchen, Hypocotyle und Epicotyle von Sämlingspflanzen sind, selbst ehe sie aus der Erde hervortreten, ebenso wie später die Cotyledonen sämmtlich in beständiger Circumnutation. Dasselbe ist der Fall mit den Stengeln, Stolonen, Blütenstielen und Blättern älterer Pflanzen. Wir können daher mit einem beträchtlichen Grade von Sicherheit schlieszen, dasz alle wachsenden Theile sämmtlicher Pflanzen circumnutiren. Obschon diese Bewegung in ihrem gewöhnlichen oder nicht modificirten Zustande in einigen Fällen entweder direct oder indirect für die Pflanzen von Nutzen zu sein scheint — so beispielsweise die Circumnutation des Würzelchens beim Durchbohren des Bodens oder die des bogenförmig gekrümmten Hypocotyls und Epicotyls im Durchbrechen der Bodenoberfläche —, so ist doch die Circumnutation eine so allgemeine oder vielmehr universelle Erscheinung, dasz wir nicht annehmen können, sie sei zu irgend einem speciellen Zwecke erlangt worden. Wir müssen glauben, dasz sie in irgend einer unbekanntten Weise Folge der Art ist, in welcher vegetabilische Gewebe wachsen.

Wir wollen nun die vielen Fälle betrachten, in welchen die Circumnutation zu verschiedenen speciellen Zwecken modificirt worden ist,

d. h. eine bereits in der Entwicklung begriffene Bewegung wird zeitweise in irgend einer Richtung vermehrt und zeitweise in einer andern Richtung vermindert oder völlig aufgehoben. Diese Fälle können in zwei Unterclassen abgetheilt werden; in der einen derselben hängt die Modification von inneren oder constitutionellen Ursachen ab und ist von äusseren Bedingungen unabhängig, ausgenommen in so weit, dasz die gehörigen Bedingungen für das Wachsthum vorhanden sein müssen. In der zweiten Unterklasse hängt die Modification in groszer Ausdehnung von äusseren Einflüssen ab, so von den täglichen Änderungen des Lichts und der Dunkelheit oder des Lichtes allein, der Temperatur oder der Anziehung der Schwerkraft. Die erste kleine Unterklasse wird in dem vorliegenden Capitel behandelt werden und die zweite in dem noch übrigen Theile des vorliegenden Werkes.

Die Circumnutation von Kletterpflanzen.

Der einfachste Fall einer modificirten Circumnutation ist der, welchen Kletterpflanzen darbieten, mit Ausnahme derer, welche mit Hilfe bewegungsloser Hähchen oder Würzelchen klettern; denn die Modification besteht hauptsächlich in der bedeutend vergrößerten Amplitude der Bewegung. Dies kann eine Folge sein entweder eines bedeutend vermehrten Wachsthums auf einer kleinen Längsstrecke oder noch wahrscheinlicher eines mäsizig vermehrten Wachsthums, welches sich über einen beträchtlich langen Theil des sich bewegenden Organs verbreitet, welchem Wachsthum Turgescenz vorausgeht und welches nach einander auf allen Seiten eintritt. Die Circumnutation von Kletterpflanzen ist regelmäsiziger, als die gewöhnlicher Pflanzen; aber beinahe in jeder andern Beziehung besteht zwischen ihren Bewegungen eine grosze Ähnlichkeit, nämlich in ihrer Neigung Ellipsen zu beschreiben, welche nacheinander nach allen Punkten der Windrose hin gerichtet sind, in dem Umstande, dasz ihr Weg häufig durch Zickzacklinien, Dreiecke, Schlingen oder kleine Ellipsen unterbrochen wird, ferner in der Schnelligkeit der Bewegung, und endlich darin, dasz verschiedene Species einmal oder mehrere Male innerhalb derselben Zeitperiode revolviren. In einem und demselben Internodium hören die Bewegungen zuerst im untern Theile und dann langsam nach aufwärts auf. In beiden Classen von Fällen kann die Bewegung in einer streng analogen Weise durch Geotropismus und durch Heliotropismus modificirt werden,

obschon wenige Kletterpflanzen heliotropisch sind. Andere Punkte der Ähnlichkeit könnten noch nachgewiesen werden.

Dasz die Bewegungen von Kletterpflanzen in gewöhnlicher Circumnutation, welche durch Zunahme der Amplitude modificirt ist, bestehen, zeigt sich deutlich, solange die Pflanzen sehr jung sind; denn in diesem frühen Alter bewegen sie sich wie andere Sämlinge, in dem Masze aber, als sie älter werden, vergrößern sich allmählich ihre Bewegungen, ohne irgend eine andere Veränderung einzugehen. Dasz dies Vermögen ein angeborenes ist und nicht durch irgend welche äusere Einflüsse erregt wird, auszer denen für Wachstum und Lebenskraft nothwendigen, ist offenbar. Niemand zweifelt daran, dasz dies Vermögen zu dem Zwecke erlangt worden ist, Kletterpflanzen in den Stand zu setzen in die Höhe hinauf zu wachsen und so das Licht zu erreichen. Dies wird nach zwei sehr verschiedenen Methoden ausgeführt, erstens durch das spirale Winden um eine Stütze; um dies aber zu thun, müssen ihre Stämme lang und biegsam sein, und zweitens in dem Falle von Blattkletterern und Rankenträgern dadurch, dasz diese Organe mit einer Stütze in Berührung gebracht werden, welche dann mittelst ihrer Empfindlichkeit ergriffen wird. Es mag hier bemerkt werden, dasz diese letzteren Bewegungen, soweit wir es beurtheilen können, keine Beziehung zur Circumnutation haben. In anderen Fällen werden die Spitzen von Ranken, nachdem sie mit einer Stütze in Berührung gebracht worden sind, zu kleinen Scheiben entwickelt, welche fest an jener anhaften.

Wir haben gesagt, dasz die Circumnutation von Kletterpflanzen von der gewöhnlicher Pflanzen hauptsächlich durch ihre gröszere Amplitude abweicht. Aber die meisten Blätter circumnutiren in einer beinahe senkrechten Ebene und beschreiben daher sehr enge Ellipsen, während die vielen Arten von Ranken, welche aus metamorphosirten Blättern bestehen, viel breitere Ellipsen oder nahezu kreisförmige Figuren beschreiben; sie haben daher eine viel gröszere Wahrscheinlichkeit für sich auf irgend einer Seite eine Stütze erfassen zu können. Die Bewegungen von Kletterpflanzen sind auch in einigen wenigen anderen speciellen Weisen modificirt worden. So können die circumnutirenden Stämme von *Solanum dulcamara* um eine Stütze herum sich nur dann winden, wenn diese so dünn und biegsam wie eine Schnur oder ein Faden ist. Die windenden Stämme mehrerer brittischen Pflanzen können um eine Stütze nicht mehr winden, wenn dieselbe

dicker als einige wenige Zoll ist, während in tropischen Wäldern manche Pflanzen dicke Stämme umfassen können¹, und diese bedeutende Verschiedenheit im Vermögen zu winden hängt von irgend einer unbekanntenen Verschiedenheit in der Art und Weise ihrer Circumnutation ab. Die merkwürdigste specielle Modification dieser Bewegung, welche wir beobachtet haben, bieten die Ranken von *Echinocystis lobata* dar; diese sind gewöhnlich ungefähr um 45° über den Horizont aufgerichtet, sie werden aber so steif und gerade, dasz sie in einem Theile ihres kreisförmigen Weges aufrecht stehen, nämlich dann, wenn sie sich der Spitze des Sprossen, aus dem sie entspringen, nähern und über dieselbe hinwegschreiten. Hätten sie nicht dieses eigenthümliche Vermögen besessen und danach gehandelt, so würden sie unfehlbar gegen die Spitze des Sprossen angestoszen und in ihrem Wege aufgehalten worden sein. Sobald eine dieser Ranken mit ihren drei Zweigen anfängt steif zu werden und sich senkrecht zu erheben, wird die revolute Bewegung rapid, und sobald sie über den Punkt der Schwierigkeit hinweg geschritten ist, verursacht ihre nun in Folge ihres eignen Gewichtes eintretende Bewegung, dasz sie in ihre frühere geneigte Stellung so schnell zurückfällt, dasz man sehen kann, wie die Spitze gleich dem Zeiger einer riesenhaften Uhr fortschreitet.

Eine grosze Anzahl gewöhnlicher Blätter und Blättchen und einige wenige Blüthenstiele sind mit Polstern versehen; dies ist aber bei keiner einzigen, bis jetzt bekannten Ranke der Fall. Die Ursache dieser Verschiedenheit liegt wahrscheinlich in der Thatsache, dasz der hauptsächlichste Dienst eines Polsters der ist, die Bewegung des damit ausgerüsteten Theiles zu verlängern, auch nachdem das Wachstum aufgehört hat; und da Ranken und andere Kletterorgane nur von Nutzen sind, während die Pflanze an Höhe zunimmt oder wächst, würde ein Polster, welches dazu dient ihre Bewegungen zu verlängern, unnütz sein.

Im letzten Capitel ist gezeigt worden, dasz die Stolonen oder Ausläufer gewisser Pflanzen bedeutend circumnutiren, und dasz diese Bewegung offenbar die Pflanzen darin unterstützt, einen Durchgang zwischen den zusammengedrängten Stämmen der benachbarten Pflanzen zu finden. Wenn bewiesen werden könnte, dasz ihre Bewegungen für diesen

¹ Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen. Übersetzung, 1876, p. 29.

speciellen Zweck modificirt oder vergrößert worden wären, so hätten sie in dem vorliegenden Capitel mit aufgeführt werden müssen, da aber die Amplitude ihrer Umläufe nicht so augenfällig verschieden von der gewöhnlicher Pflanzen ist, wie in dem Falle bei Kletterpflanzen, so haben wir hierüber keine Beweise. Wir begegnen demselben Zweifel bei einigen Pflanzen, welche ihre Samenkapseln in der Erde vergraben. Dieser Proceß des Eingrabens wird sicher durch die Circumnutation des Blütenstengels begünstigt; wir wissen aber nicht, ob sie für diesen speciellen Zweck vergrößert worden ist.

Epinastie. — Hyponastie.

Der Ausdruck *Epinastie* wird von DE VRIES² gebraucht, um stärkeres Längenwachsthum der oberen Seite eines Theiles entlang als entlang der untern Seite zu bezeichnen, welche letztere hierdurch veranlaszt wird sich abwärts zu biegen, und *Hyponastie* wird für den umgekehrten Proceß gebraucht, durch welchen der Theil dazu gebracht wird, sich aufwärts zu biegen. Diese Thätigkeiten kommen so häufig ins Spiel, dasz der Gebrauch der obigen zwei Ausdrücke äusserst bequem ist. Die hierdurch veranlaszten Bewegungen sind das Resultat einer modificirten Form von Circumnutation; denn wie wir sofort sehen werden, bewegt sich ein Organ unter dem Einflusse der *Epinastie* nicht allgemein in einer geraden Linie abwärts, oder unter dem Einflusse der *Hyponastie* aufwärts, sondern es bewegt sich aufwärts und abwärts schwankend mit etwas seitlicher Bewegung; es bewegt sich indessen in einer vorherrschenden Weise in einer Richtung. Dies zeigt, dasz ein gewisses Wachsthum auf allen Seiten des Theiles eintritt, aber mehr auf der oberen Seite im Falle der *Epinastie* und mehr auf der unteren Seite in dem der *Hyponastie*, als auf den entgegengesetzten Seiten. Zu derselben Zeit kann, wie DE VRIES betont, vermehrtes Wachsthum auf einer Seite in Folge des Geotropismus und auf der anderen Seite in Folge des Heliotropismus vorhanden sein, und hierdurch werden die Wirkungen der *Epinastie* oder *Hyponastie* entweder vermehrt oder vermindert.

Wer es vorzieht, kann von gewöhnlicher Circumnutation sprechen als mit *Epinastie*, *Hyponastie*, den Wirkungen der Gravitation, des

² Arbeiten des Botan. Instit. Würzburg, 2. Heft 1872, p. 223. De Vries hat die Bedeutung der beiden oben genannten, zuerst von Schimper gebrauchten Ausdrücke unbedeutend modificirt, und Sachs hat sie in diesem Sinne angenommen.

Lichtes etc. combinirt; es scheint uns aber aus später zu gebenden Gründen correcter zu sein zu sagen, dasz die Circumnutation durch diese verschiedenen Einwirkungen modificirt wird. Wir werden daher von Circumnutation, welche beständig in Thätigkeit ist, sprechen als modificirt durch Epinastie, Hyponastie, Geotropismus oder andere Einwirkungen, mögen sie innere oder äuszere sein.

Einer der häufigsten und einfachsten Fälle von Epinastie wird von Blättern dargeboten, welche in einem frühen Alter rund um die Knospen herum gedrängt sind und, wenn sie älter werden, divergiren. SACHS bemerkte zuerst, dasz dies eine Folge des vermehrten Wachsthums entlang der oberen Seite des Blattstiels und der Blattscheibe sei; und DE VRIES hat nun noch mehr im Detail gezeigt, dasz die Bewegung durch dies Moment verursacht wird, unbedeutend noch unterstützt durch das Gewicht des Blattes, und, wie er glaubt, vom Apogeotropismus aufgehalten, wenigstens nachdem das Blatt etwas divergirt hat. In unseren Beobachtungen über die Circumnutation von Blättern wurden einige ausgewählt, welche etwas zu jung waren, so dasz sie fortführen zu divergiren oder abwärts zu sinken, während ihre Bewegungen aufgezeichnet wurden. Dies kann in den Zeichnungen (Fig. 98 und 112, pag. 197 und 211) wahrgenommen werden, welche die Circumnutation der jungen Blätter von *Acanthus mollis* und *Pelargonium zonale* darstellen; ähnliche Fälle wurden bei *Drosera* beobachtet. Die Bewegungen eines jungen, nur $\frac{3}{4}$ Zoll langen Blattes von *Petunia violacea* wurden während vier Tagen verzeichnet und bieten einen noch besseren Fall dar (Fig. 111, pag. 210), da es während dieser ganzen Zeit in einer merkwürdigen Zickzacklinie, an welcher einige von den Winkeln scharf zugespitzt waren, divergirte und während der letzteren Tage deutlich circumnutirte. Einige junge Blätter von ungefähr demselben Alter an einer Pflanze derselben *Petunia*, welche horizontal gelegt worden war, und an einer andern Pflanze, welche aufrecht gelassen war (beide wurden in vollkommener Dunkelheit gehalten), divergirten in derselben Art und Weise 48 Stunden lang und wurden augenscheinlich vom Apogeotropismus nicht afficirt, obschon ihre Stämme sich in einem Zustande hoher Spannung befanden; denn als sie von den Stäben, an welchen sie angebunden gewesen waren, freigemacht wurden, krümmten sie sich augenblicklich aufwärts.

Die Blätter an den leitenden Sprossen der Feuernelke (*Dianthus caryophyllus*) sind, so lange sie sehr jung sind, nach oben gerichtet oder vertical; und wenn die Pflanze kräftiger wächst, divergiren sie so schnell, dasz sie in einem Tage beinahe horizontal werden. Sie bewegen sich aber abwärts in einer etwas schrägen Linie und fahren für einige Zeit nachher noch sich in derselben Richtung zu bewegen fort, wie wir vermuthen, im Zusammenhange mit ihrer spiralen Anordnung am Stamme. Der von einem jungen Blatte, während es in dieser Weise schräg herniederging, eingeschlagene Weg wurde verzeichnet, und die Linie war deutlich, aber nicht sehr stark zickzackförmig; die gröszeren von den auf einander folgenden Linien gebildeten Winkel betragen nur 135° , 154° und 163° . Die spätere seitliche Bewegung (in Fig. 96, pag. 196 dargestellt) war stark zickzack-

förmig mit gelegentlichen Circumnutationen. Die Divergenz und das Sinken der jungen Blätter dieser Pflanze scheint vom Geotropismus oder Heliotropismus sehr wenig beeinflusst zu werden, denn eine Pflanze, deren Blätter ziemlich langsam wuchsen horizontal gelegt, und die gegenüberstehenden jungen Blätter divergirten symmetrisch in der gewöhnlichen Weise von einander ohne irgend eine Umkehrung in der Richtung der Gravitation oder nach dem Lichte zu.

Die nadelartigen Blätter von *Pinus pinaster* bilden, während sie jung sind, ein Bündel, später divergiren sie langsam, so dass diejenigen an den aufrechten Sprossen horizontal werden. Die Bewegungen eines solchen jungen Blattes wurden während $4\frac{1}{2}$ Tagen verzeichnet und die hier mitgetheilte Zeichnung (Fig. 121) zeigt, dass es Anfangs in einer nahezu geraden Linie, aber später zickzackförmig mit der Beschreibung einer oder zweier kleinen Schlingen sich abwärts bewegte. Die divergirenden und absteigenden Bewegungen eines etwas älteren Blattes wurden gleichfalls verzeichnet (siehe frühere Fig. 113, pag. 212): es sank während des ersten Tages und der ersten Nacht in einer etwas zickzackförmigen Linie nach unten; dann circumnutirte es rings um einen kleinen Raum herum und sank dann wieder. In dieser Zeit hatte das Blatt nahezu seine Endstellung erreicht und nun circumnutirte es deutlich. Wie in dem Falle der Nelke scheinen die Blätter, so lange sie noch sehr jung sind, nicht bedeutend von Geotropismus oder Heliotropismus afficirt zu werden, denn diejenigen an einer jungen, horizontal gelegten, und diejenigen an einer andern, aufrecht gelassenen Pflanze, die beide im Dunkeln gehalten wurden, fuhren in der gewöhnlichen Art und Weise, ohne sich nach irgend einer Seite zu biegen, zu divergiren fort.

Bei *Cobaea scandens* erheben sich die jungen Blätter in dem Masse, als sie nach und nach von dem leitenden Spross, der nach einer Seite gebogen ist, divergiren, so dass sie vertical vorspringen, und diese Stellung behalten sie einige Zeit, während die Ranke sich revolutiv bewegt.

Die divergirenden und aufsteigenden Bewegungen des Stiels eines derartigen Blattes wurden an einer verticalen Glasscheibe unter einem Oberlichte aufgezeichnet; der eingeschlagene Weg war an den meisten Stellen nahezu gerade, es fanden sich aber zwei gut ausgeprägte Zickzacke (eines derselben bildete einen Winkel von 112°), und dies weist auf Circumnutation hin.

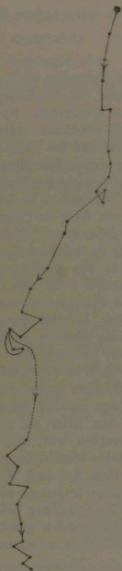


Fig. 121. *Pinus pinaster*: Epi-nastische Abwärtsbewegung eines jungen, von einer in einem Topfe gehaltenen jungen Pflanze entwickelten Blattes, an einer senkrechten Glasscheibe unter einem Oberlichte von 6.45 a. m. 2. Juni, bis 10.40, 6. Juni, aufgezeichnet.

Die noch geschlossenen Lappen eines jungen Blattes von *Dionaea* sprangen unter rechtem Winkel gegen den Blattstiel vor und waren im Begriff sich langsam zu erheben. Ein Glasfaden wurde an die untere Seite der Mittelrippe befestigt, und seine Bewegungen wurden an einer verticalen Glasscheibe verzeichnet. Er circumnutirte einmal am Abend und erhob sich am nächsten Tage, wie bereits beschrieben wurde (s. Fig. 106 pag. 203), durch eine Anzahl scharfer zickzackförmiger Linien, welche im Character Ellipsen sehr nahe kamen. Diese Bewegung war ohne Zweifel Folge der Epinastie, unterstützt von Apogeotropismus; denn die geschlossenen Lappen eines sehr groszen Blattes an einer Pflanze, welche horizontal gestellt worden war, bewegten sich nahezu in dieselbe Linie mit dem Blattstiele, als wenn die Pflanze aufrecht gestanden hätte; aber zu derselben Zeit krümmten sich die Lappen seitlich aufwärts und nahmen damit eine unnatürliche Stellung ein, schräg zur Ebene des blattartigen Stiels.

Da die Hypocotyle und Epicotyle einiger Pflanzen aus den Samenhüllen in einer bogenförmig gekrümmten Form vortreten, so ist es zweifelhaft, ob die Bogenkrümmung dieser Theile, welche ausnahmslos vorhanden ist, wenn sie durch die Erde durchbrechen, immer auf Epinastie bezogen werden musz; wenn sie aber zuerst gerade sind und später gekrümmt werden, was häufig der Fall ist, dann ist die Krümmung sicher Folge der Epinastie. Solange der Bogen von compacter Erde umgeben wird, musz er seine Form beibehalten; sobald er sich aber über die Oberfläche erhebt oder selbst vor dieser Zeit, wenn er künstlich von dem umgebenden Drucke befreit wird, so beginnt er sich gerade zu strecken, und dies ist ohne Zweifel hauptsächlich Folge der Hyponastie. Die Bewegung der oberen und unteren Hälfte des Bogens und des Scheitels wurde gelegentlich aufgezeichnet, und der eingeschlagene Weg war mehr oder weniger zickzackförmig, zeigte also modificirte Circumnutation.

Bei nicht wenigen Pflanzen, besonders bei Kletterpflanzen ist die Spitze des Sprossen hakenförmig, so dasz die Spitze senkrecht abwärts zeigt. In sieben Gattungen von windenden Pflanzen³ ist die Hakenbildung, oder wie es von SACHS genannt worden ist, die Nutation der Spitze hauptsächlich Folge einer übertriebenen Form von Circumnutation. Das heiszt, das Wachstum ist der einen Seite entlang so grosz, dasz es den Sprosz vollständig hinüber auf die entgegengesetzte Seite biegt und dadurch einen Haken bildet; dann rückt die Längslinie oder Zone des Wachstums ein wenig seitlich um den Sprosz, und der Haken weist nun nach einer unbedeutend verschiedenen Richtung, und dies so lange weiter, bis der Haken vollständig umgekehrt ist. Schliesslich kommt er zu dem Punkte zurück, von dem er ausgegangen ist. Dies wurde dadurch ermittelt, dasz mit Tusche schmale Linien der convexen Oberfläche verschiedener Haken entlang aufgetragen wurden, und es zeigte sich, dasz die Linie langsam erst seitlich wurde, dann der concaven Oberfläche entlang erschien und endlich auf die convexe Oberfläche zurückkehrte. Bei *Lonicera*

³ Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen, Übersetzung 1876, p. 10.

brachypoda wird der hakenförmige terminale Theil des revolvirenden Sprossen periodisch gerade, wird aber niemals umgekehrt, d. h. das periodisch vermehrte Wachsthum der concaven Seite des Hakens reicht nur hin ihn gerade zu strecken, aber nicht ihn nach der entgegengesetzten Seite hinüber zu biegen. Die Hakenbildung der Spitze ist für windende Pflanzen dadurch von Nutzen, dasz sie denselben hilft, eine Stütze erfassen zu können, und später dadurch, dasz sie diesen Theil in den Stand setzt die Stütze viel dichter zu erfassen als er im anderen Falle zuerst gethan haben könnte, wodurch es verhindert wird, wie wir oft beobachtet haben, dasz er durch einen starken Wind weggeblasen wird. Ob der hierdurch erlangte Vortheil für windende Pflanzen es erklärt, dasz ihre Spitzen so häufig hakenförmig sind, wissen wir nicht, da diese Bildung nicht so sehr selten bei Pflanzen vorkommt, welche nicht klettern, und auch bei einigen Kletterpflanzen (beispielsweise *Vitis*, *Ampelopsis*, *Cissus* etc.), denen dieselbe beim Klettern keinerlei Unterstützung gewährt.

In Bezug auf diejenigen Fälle, in denen die Spitze immer nach einer und derselben Seite gebogen oder hakenförmig gekrümmt ist, wie bei den eben genannten Gattungen, ist die augenfälligste Erklärung die, dasz die Biegung Folge eines vermehrten Wachsthums im Excesz der convexen Seite entlang ist. WIESNER⁴ behauptet indessen, dasz in allen Fällen die Hakenbildung der Spitze das Resultat ihrer Plasticität und ihres Gewichtes ist, — eine Folgerung, welche nach dem, was wir bereits bei verschiedenen Kletterpflanzen gesehen haben, sicher irrig ist. Nichts desto weniger geben wir vollständig zu, dasz das Gewicht des Theiles, ebenso wie Geotropismus u. s. w. zuweilen ins Spiel kommen.

Ampelopsis tricuspidata. — Diese Pflanze klettert mittels adhäsiver Ranken und die hakenförmigen Spitzen der Sprosse sind allem Anschein nach von keinem Nutzen für sie. Die Hakenbildung hängt hauptsächlich, soweit wir es ermitteln konnten, davon ab, dasz die Spitze von Epinastie und Geotropismus afficirt wird; die unteren und älteren Theile strecken sich beständig durch Hyponastie und Apogeotropismus. Wir glauben, dasz das Gewicht der Spitze ein bedeutungsloses Element ist, weil an horizontalen oder geneigten Sprossen der Haken oft horizontal ausgestreckt oder selbst nach oben gerichtet wird. Überdies bilden Sprossen häufig Schlingen anstatt Haken, und in diesem Falle streckt sich der äusserste Theil anstatt senkrecht abwärts zu hängen, was doch erfolgen würde, wenn das Gewicht die wirksame Ursache wäre, horizontal aus oder zeigt selbst aufwärts. Ein Sprosz, welcher in einem ziemlich offenen Haken endete, wurde in einer stark nach abwärts geneigten Stellung befestigt, so dasz die concave Seite nach oben sah, und das Resultat war, dasz die Spitze sich zuerst aufwärts krümmte. Dies war offenbar Folge von Epinastie und nicht von Apogeotropismus, denn die Spitze krümmte sich bald, nachdem sie die Senkrechte überschritten hatte, so rapid abwärts, dasz wir nicht daran zweifeln konnten, dasz die Bewegung von Geotropismus wenigstens unterstützt wurde. Im Verlaufe einiger wenigen Stunden war hierdurch der Haken in eine Schlinge verwandelt, wobei die Spitze des Sprossen gerade nach abwärts wies. Die längere

⁴ Sitzungsber. K. Acad. Wiss. Wien, math.-nat. Cl., 1. Abtheil., 81. Bd., p. 16.

Axe der Schlinge war anfangs horizontal, wurde aber später vertical. Während dieser selben Zeit krümmte sich der basale Theil des Hakens (und später der Schlinge) langsam aufwärts, und dies musz hier gänzlich Folge des Apogeotropismus im Gegensatz zur Hyponastie gewesen sein. Die Schlinge wurde dann mit der oberen Seite nach unten befestigt, so dasz ihre basale Hälfte gleichzeitig von Hyponastie (wenn sie vorhanden war) und von Apogeotropismus hätte beeinflusst werden müssen; und nun krümmte sie sich so bedeutend im Laufe von nur 4 Stunden aufwärts, dasz darüber kein Zweifel bestehen konnte, dasz beide Kräfte zusammen einwirkten. In derselben Zeit wurde die Schlinge offen und wurde hierdurch in einen Haken zurückverwandelt, und dies wurde allem Anschein nach durch geotropische Bewegung der Spitze in Gegenwirkung zur Epinastie hervor gebracht. Bei *Ampelopsis hederacea* spielt das Gewicht, so weit wir urtheilen konnten, bei der Hakenbildung der Spitze eine bedeutungsvollere Rolle.

Um zu ermitteln, ob die Sprossen von *A. tricuspidata* sich beim Strecken unter der combinirten Einwirkung der Hyponastie und des Apogeotropismus in einem einfachen geraden Wege bewegten, oder ob sie circumnutirten, wurden Glasfilamente an die Gipfel von vier hakenförmig gekrümmten Spitzen, die in ihrer natürlichen Stellung standen, befestigt, und die Bewegungen der Filamente wurden auf einer verticalen Glasscheibe verzeichnet. Alle vier Zeichnungen waren einander in einer allgemeinen Art und Weise ähnlich; wir wollen aber hier nur eine mittheilen (s. Fig. 122). Der Glasfaden erhob sich zuerst, was darauf hinweist, dasz sich der Haken streckte; dann bewegte er sich zwischen 9.25 a. m. und 9 Uhr p. m. im Zickzack und ein wenig nach links. Von der letztgenannten Stunde am 13. an bis 10.50 a. m. am folgenden Morgen (14.) fuhr der Haken fort, sich gerade zu strecken, und dann bewegte er sich zickzackförmig eine kurze Strecke weit nach rechts. Aber von 1 Uhr p. m. bis 10.40 p. m. am 14. wurde die Bewegung umgekehrt, und der Sprosz wurde noch stärker hakenförmig. Während der Nacht, nach 10.40 p. m. bis 8.15 a. m. am 15., öffnete sich der Haken wiederum und streckte sich gerade. Um diese Zeit war der Glasfaden so hoch aufgerichtet worden, dasz seine Bewegungen nicht länger mehr mit Genauigkeit verzeichnet werden konnten, und um 1.30 p. m. an diesem nämlichen

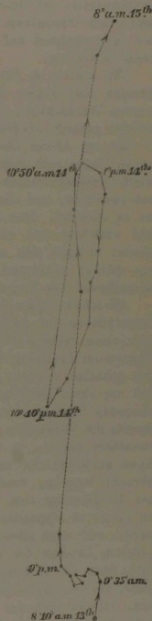


Fig. 122. *Ampelopsis tricuspidata*: Hyponastische Bewegung der hakenförmigen Spitze eines leitenden Sprosses, von 8.10 a. m., am 13. Juli, bis 8 a. m., am 15., aufgezeichnet. Spitze des Sprosses $5\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe. Pflanze durch ein Oberlicht beleuchtet. Temperatur $17\frac{1}{2}$ — 19° C. Zeichnung auf ein Drittel des Maßstabs des Originals reducirt.

Tage war der Scheitel des früheren Bogens oder Hakens vollkommen gerade und senkrecht geworden. Es lässt sich daher nicht daran zweifeln, dass die Geradestreckung des hakenförmigen Sprossen dieser Pflanze durch die Circumnutation der bogenförmig gekrümmten Partie bewirkt wird, d. h. dadurch, dass Wachsthum zwischen der oberen und unteren Fläche abwechselt, aber vorherrschend auf der unteren Fläche mit einer unbedeutenden seitlichen Bewegung.

Wir waren im Stande die Bewegung eines anderen sich streckenden Sprossen eine längere Zeit hindurch aufzuzeichnen (in Folge seines langsameren Wachsthums, und weil er weiter von der senkrechten Glasscheibe entfernt gestellt worden war), nämlich vom zeitigen Morgen am 13. Juli bis spät am Abend des 16. Am 14. streckte sich der Haken während des ganzen Tages sehr wenig, bewegte sich aber zickzackförmig und circumnutirte deutlich nahezu um denselben Fleck. Am 16. war er beinahe gerade geworden, und die Aufzeichnung war nicht länger mehr genau; doch war es offenbar, dass noch ein beträchtlicher Betrag von Bewegung sowohl aufwärts und abwärts, als seitlich bestand; denn während der Scheitel fortfuhr sich zu strecken, was die Ursache war, dass der Glasfaden zweimal während des Tages sich senkte.

Smithia Pfundii. — Die steifen Endsprossen dieser leguminösen Wasserpflanze aus Africa springen so vor, dass sie mit dem Stamme darunter einen rechten Winkel bilden; dies kommt aber nur vor, wenn die Pflanzen im kräftigen Wachsthum sind; denn wenn sie an einem kühlen Orte gehalten werden, werden die Gipfel der Stämme gerade, wie sie es auch am Ende der Wachstumszeit thaten. Die Richtung des rechtwinklig gebogenen Theiles ist unabhängig von der Hauptlichtquelle. Aber nachdem wir die Wirkungen auf Pflanzen, wenn wir sie in das Dunkle brachten, beobachtet hatten, in welchem Falle mehrere Sprossen in zwei oder drei Tagen aufrecht oder nahezu aufrecht und, als sie in das Licht zurückgebracht wurden, wieder rechtwinklig gekrümmt wurden, glauben wir, dass die Biegung zum Theil Folge des Apheliotropismus ist, augenscheinlich etwas in Opposition gegen Apogeotropismus. Auf der anderen Seite werden wir nach Beobachtung der Wirkungen des Niederbiegens eines Sprossen, so dass der rechte Winkel nach oben sah, zu der Annahme geführt, dass die Krümmung theilweise Folge von Epinastie ist. In dem Masse, als der rechtwinklig gebogene Theil eines aufrechten Stammes älter wird, streckt sich der untere Theil gerade, und dies wird durch Hyponastie bewirkt. Wer SACHS' neuen Aufsatz über die verticalen und geneigten Stellungen der Pflanzentheile⁵ gelesen hat, wird sehen, wie schwierig ein Gegenstand wie der vorliegende ist, und wird darüber nicht überrascht sein, dass wir uns in diesen und anderen derartigen Fällen zweifelhaft ausdrücken.

Eine Pflanze von 20 Zoll Höhe wurde dicht unterhalb des gekrümmten Gipfels an einen Stab gebunden. Der Gipfel zeigte etwas weniger als einen rechten Winkel mit dem Stamme darunter. Der Spross

⁵ Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile, in: Arbeit. Botan. Institut Würzburg, 2. Heft 1879, p. 226.

zeigte vom Beobachter weg, und ein Glasfaden, welcher nach der verticalen Glasscheibe, auf welcher die Aufzeichnung gemacht wurde, hinwies, wurde an die convexe Oberfläche des gekrümmten Theiles befestigt. Es stellen daher die absteigenden Linien in der Figur das Strecken des gekrümmten Theiles, wie derselbe älter wurde, dar. Die Aufzeichnung (Fig. 123) wurde um 9 a. m. am 10. Juli angefangen; der Glasfaden bewegte sich anfangs nur wenig zickzackförmig, aber um 2 p. m. fieng er an sich zu erheben und fuhr damit bis 9 p. m. fort; und dies beweist, dasz der terminale Theil stärker abwärts gebogen wurde. Nach 9 p. m. am 10. fieng eine entgegengesetzte Bewegung an, und die gekrümmte Partie fieng an sich zu strecken. Dies dauerte fort bis 11.10 a. m. am 12., wurde aber durch einige kleine Oscillationen und Zickzackbewegungen unterbrochen, was eine Bewegung in verschiedenen Richtungen ergab. Nach 11.10 a. m. am 12. circumnutirte dieser noch immer beträchtlich gekrümmte Theil des Stammes in einer augenfälligen Art bis nahezu 3 p. m. am 13.; aber während dieser ganzen Zeit herrschte eine Abwärtsbewegung des Glasfadens vor, durch das fortdauernde Strecken des Stammes verursacht. Am Nachmittage des 13. war der Gipfel, welcher ursprünglich stärker als in einem rechten Winkel von der Senkrechten abgelenkt gewesen war, beinahe so gerade gewachsen, dasz die Aufzeichnung an der verticalen Glasscheibe nicht länger mehr verfolgt werden konnte. Es kann daher darüber kein Zweifel bestehen, dasz das Strecken des abrupt gekrümmten Theiles des wachsenden Stammes dieser Pflanze, welches gänzlich Folge von Hyponastie zu sein scheint, das Resultat einer modificirten Circumnutation ist. Wir wollen nur noch hinzufügen, dasz ein Glasfaden in einer verschiedenen Weise quer an den gekrümmten Gipfel einer anderen Pflanze befestigt wurde, und es wurde hier dieselbe allgemeine Art von Bewegung beobachtet.

Trifolium repens. — In vielen, aber nicht in allen Species der Gattung *Trifolium* biegen sich in dem Masse, als die einzelnen kleinen Blüthchen verwelken, die Stiele der Blüthchen abwärts, so dasz sie parallel mit dem oberen Theile des Hauptblüthenstengels herabhängen. Bei *Tr. subterraneum* krümmt sich der Hauptblüthenstengel abwärts, um seine Kapseln einzugraben, und in dieser Species werden die Stielchen der

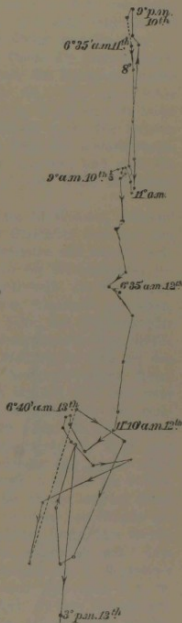


Fig. 123. *Smithia Pfundii*: Hyponastische Bewegung des gekrümmten Gipfels eines Stammes, während er sich streckte, von 9 a. m., am 10. Juli, bis 3 p. m., am 13., aufgezeichnet. Spitze $9\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe abgehend. Zeichnung auf ein Fünftel des Maszstabs des Originals reducirt. Pflanze durch ein Oberlicht beleuchtet. Temperatur $17\frac{1}{2}$ — 19° C.

einzelnen Blüthchen aufwärts gebogen, so dass sie die nämliche relative Stellung zum oberen Theile des Hauptstengels einnehmen wie bei *Tr. repens*. Schon diese Thatsache allein würde es wahrscheinlich machen, dass

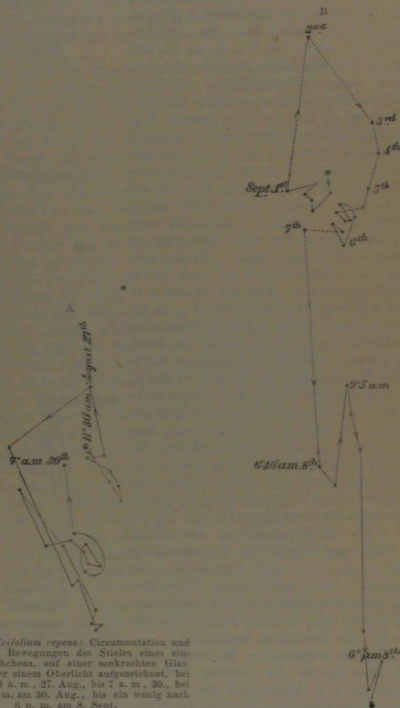


Fig. 124. *Trifolium repens*: Circumnutation und epinastische Bewegungen des Stieles eines einzelnen Blüthchens, auf einer senkrechten Glasscheibe unter einem Oberlicht aufgezeichnet, bei A von 11.30 a. m., 27. Aug., bis 7 a. m., 30., bei B von 7 a. m. am 30. Aug., bis ein wenig nach 6 p. m. am 8. Sept.

die Bewegungen der einzelnen Stiele bei *Tr. repens* unabhängig von Geotropismus waren. Um aber sicher zu gehen, wurden trotzdem einige Blüthenköpfe an kleine Stäbe mit der oberen Seite nach unten, und

andere in einer horizontalen Stellung festgebunden; ihre Blüthchen indessen krümmten sich sämmtlich schnell durch die Einwirkung des Heliotropismus aufwärts. Wir schützten daher einige Blüthenköpfe, die in ähnlicher Weise an Stäbe befestigt waren, gegen das Licht, und obschon einige von ihnen faulten, wendeten viele Stiele ihrer Blüthchen sich sehr langsam aus ihrer umgekehrten oder aus ihrer horizontalen Stellung weg, so dasz sie in der normalen Art und Weise mit dem oberen Theile des Hauptstengels parallel standen. Diese Thatsachen beweisen, dasz die Bewegung unabhängig von Geotropismus oder Apheliotropismus ist. Sie musz daher der Epinastie zugeschrieben werden, welche indessen, wenigstens so lange die Blüthen jung sind, durch Heliotropismus gehemmt wird. Die meisten der obigen Blüthen wurden niemals befruchtet in Folge des Ausschließens der Bienen; sie verwelkten in Folge dessen sehr langsam, und auch die Bewegungen der Stiele der Blüthchen wurden in gleicher Weise bedeutend verlangsamt.

Um die Natur der Bewegung des Stieles eines Blüthchens, während es sich abwärts bewegte, zu ermitteln, wurde ein Glasfaden quer auf den Gipfel des Kelches einer nicht vollständig ausgebreiteten und beinahe aufrechtstehenden Blüthe ziemlich in dem Mittelpunkte des Blüthenkopfes befestigt. Der Hauptblüthenstengel wurde dicht unterhalb des Kopfes an einen Stab festgemacht. Um die Zeichen an dem Glasstabe zu sehen, hatten einige wenige Blüthen an der unteren Seite des Blüthenkopfes weggesehritten werden müssen. Die der Beobachtung unterworfenen Blüthe divergirte zuerst ein wenig aus ihrer aufrechten Stellung, so dasz sie den durch die Entfernung der benachbarten Blüthen hervorgebrachten freien Raum einnahm. Dies erforderte zwei Tage, nach welcher Zeit eine neue Aufzeichnung angefangen wurde (Fig. 124). In A sehen wir den complicirten circumnutirenden Weg, welcher von 11.30 a. m. am 26. August bis 7 a. m. am 30. eingeschlagen wurde. Dann wurde der Topf sehr wenig nach rechts hin bewegt, und die Aufzeichnung (B) wurde ohne Unterbrechung von 7 a. m. am 30. August bis nach 6 p. m. am 8. September fortgesetzt. Es musz bemerkt werden, dasz an den meisten dieser Tage nur ein einzelner Punkt an jedem Morgen zu derselben Stunde gemacht wurde. So oft nur immer die Blüthe sorgfältig beobachtet wurde, wie am 30. August und am 5. und 6. September, ergab es sich, dasz sie über einen kleinen Raum circumnutirte. Endlich am 7. September fieng sie an sich abwärts zu biegen und fuhr damit bis nach 6 p. m. am 8. und in der That bis zum Morgen des 9. fort, wo ihre Bewegungen nicht länger mehr an der senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet werden konnten. Sie wurde während des ganzen 8. September sorgfältig beobachtet, und um 10.30 p. m. hatte sie sich bis zu einem Punkte gesenkt, der um zwei Drittel der Länge der hier mitgetheilten Figur tiefer stand; aber aus Mangel an Platz ist die Aufzeichnung in B nur bis kurze Zeit nach 6 p. m. copirt worden. Am Morgen des 9. war die Blüthe verwelkt, und nun stand das Blüthenstielchen in einem Winkel von 57° unter dem Horizont. Wenn die Blüthe befruchtet worden wäre, würde sie viel eher verwelkt sein und sich schneller bewegt haben. Wir sehen hieraus, dasz das Blüthenstielchen auf und ab oscillirte oder circumnutirte und zwar während seines ganzen epinastischen Weges nach abwärts.

Die Stiele der einzelnen befruchteten und verwelkten Blüthen von *Oxalis carnosa* biegen sich gleichfalls durch Epinastie nach abwärts, wie in einem späteren Capitel gezeigt werden wird; und ihre Bewegung ist stark zickzackförmig, was auf Circumnutation hinweist.

Die Anzahl von Fällen, in welchen verschiedene Organe in Folge von Epinastie oder Hyponastie, häufig in Combination mit anderen Kräften, sich zu den allerverschiedenartigsten Zwecken bewegen, scheint unerschöpflich grosz zu sein, und aus den verschiedenen Fällen, welche hier mitgetheilt worden sind, können wir mit Sicherheit schlieszen, daz derartige Bewegungen Folge einer modificirten Circumnutation sind.

Sechstes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Schlaf- oder nyctitropische Bewegungen, ihr Nutzen: Schlaf der Cotyledonen.

Vorläufige Skizze der nyctitropischen Bewegungen von Blättern. — Anwesenheit von Polstern. — Die Verringerung der Strahlung als Endursache der nyctitropischen Bewegungen: Art und Weise, in welcher Experimente an den Blättern von *Oxalis*, *Arachis*, *Cassia*, *Melilotus*, *Lotus* und *Marsilea* und an den Cotyledonen von *Mimosa* angestellt wurden. — Schlussbemerkungen über die Strahlung von Blättern. — Kleine Verschiedenheiten in den Bedingungen bringen eine grosse Verschiedenheit in dem Resultate hervor. — Beschreibung der nyctitropischen Stellung und Bewegungen der Cotyledonen verschiedener Pflanzen. — Liste der Species. — Schlussbemerkungen. — Unabhängigkeit der nyctitropischen Bewegungen der Blätter und der Cotyledonen einer und derselben Species. — Gründe für die Annahme, dass die Bewegungen zu einem speciellen Zwecke erlangt worden sind.

Der sogenannte Schlaf der Blätter ist eine so augenfällige Erscheinung, dass sie so früh schon beobachtet wurde, wie zur Zeit des PLINIUS¹; und seitdem LINNÉ seine berühmte Abhandlung „*somnus plantarum*“ veröffentlicht hat, ist er der Gegenstand verschiedener Abhandlungen geworden. Viele Blüthen schlieszen sich des Nachts, und auch von diesen sagt man, dass sie schlafen; ihre Bewegungen gehen uns aber hier nichts an. Denn obschon sie durch denselben Mechanismus, wie in dem Falle junger Blätter bewirkt werden, nämlich durch ungleiches Wachsthum auf den entgegengesetzten Seiten (wie von PFEFFER zuerst nachgewiesen wurde), so weichen sie doch wesentlich darin ab, dass sie hauptsächlich durch Veränderungen der Temperatur anstatt des Lichtes erregt werden, und dass sie, soweit wir es beurtheilen können, zu einem verschiedenen Zwecke ausgeführt werden.

¹ Pfeffer hat eine klare und interessante Skizze der Geschichte dieses Gegenstandes in seiner Schrift: „Die periodischen Bewegungen der Blattorgane“ 1875 p. 163, gegeben.

Kaum irgend jemand nimmt an, dasz irgend eine wirkliche Analogie zwischen dem Schläfe der Thiere und dem der Pflanzen², mögen es Blätter oder Blüthen sein, besteht. Es scheint daher rathsam zu sein, den sogenannten Schlafbewegungen der Pflanzen einen verschiedenen Namen zu geben. Dieselben sind auch meist unter dem Ausdruck „periodisch“ mit der unbedeutenden täglichen Erhebung und Senkung der Blätter, wie sie im vierten Capitel beschrieben wurde, vereinigt worden; und dies macht es nur noch wünschenswerther, den Schlafbewegungen irgend einen bestimmten Namen zu geben. Nyctitropismus und nyctitropisch, d. h. „Nachtwenden“, kann sowohl für Blätter als Blüthen angewendet werden und wird gelegentlich von uns gebraucht werden. Es wäre aber am besten den Ausdruck auf die Blätter zu beschränken. Die Blätter einiger weniger Pflanzen bewegen sich, wenn die Sonne intensiv auf sie scheint, entweder aufwärts oder abwärts, und diese Bewegung ist zuweilen Tagesschlaf genannt worden. Wir glauben aber, dasz sie von einer von der der nächtlichen Bewegung wesentlich verschiedener Natur ist, und sie wird in einem späteren Capitel kurz betrachtet werden.

Der Schlaf oder Nyctitropismus der Blätter ist ein weiter Gegenstand, und wir glauben, dasz der zweckmässigste Plan der sein wird, zuerst eine kurze Schilderung der Stellung zu geben, welche die Blätter des Nachts einnehmen, und der Vortheile, welche augenscheinlich daraus erlangt werden. Später werden die merkwürdigeren Fälle im Detail besprochen werden, in Bezug auf Cotyledonen in dem vorliegenden Capitel und auf Blätter in dem nächsten Capitel. Endlich wird gezeigt werden, dasz diese Bewegungen das Resultat einer bedeutend modificirten und durch die Abwechslung von Tag und Nacht oder Licht und Dunkelheit regulirten Circumnutation sind, dasz sie aber auch in einer gewissen Ausdehnung vererbt werden.

Wenn Blätter einschlafen, so bewegen sie sich entweder aufwärts oder abwärts oder bei den Blättchen zusammengesetzter Blätter vorwärts, d. h. nach der Spitze des Blattes zu, oder rückwärts, d. h. nach seiner Basis zu; oder ferner sie können sich um ihre eigene Achsen drehen, ohne weder aufwärts oder abwärts sich zu bewegen. Aber beinahe in allen Fällen wird die Fläche der Blattscheibe so gestellt, dasz sie des Nachts nahezu oder vollständig senkrecht steht. Es kann daher die

² Ch. Royer musz indessen ausgenommen werden; s. *Annal. des Sciences Natur.* (5. Sér.) Botan. T. 9. 1868, 378.

Spitze oder die Basis oder einer der Seitenränder nach dem Zenith hingichtet sein. Ausserdem wird die obere Fläche eines jeden Blattes und ganz besonders eines jeden Blättchens häufig in dichte Berührung mit der des gegenüberstehenden gebracht, und dies wird zum Theil durch eigenthümliche, complicirte Bewegungen ausgeführt. Diese Thatsache veranlaszt die Vermuthung, dasz die obere Fläche mehr Schutz bedarf als die untere. So fährt das endständige Blättchen bei *Trifolium* beispielsweise, nachdem es sich des Nachts aufwärts bewegt hat, so dasz es senkrecht steht, häufig fort sich überzubiegen, bis die obere Fläche nach abwärts gerichtet ist, während die untere Fläche vollständig dem Himmel ausgesetzt ist. Und es wird auf diese Weise ein gewölbtes Dach über die beiden seitlichen Blättchen gebildet, welche ihre oberen Flächen dicht aneinander gepreszt haben. Hier haben wir den ungewöhnlichen Fall vor uns, dasz eines der Blättchen des Nachts nicht senkrecht oder beinahe senkrecht steht.

Beachtet man, dasz die Blätter bei der Annahme ihrer nyctitropischen Stellungen sich häufig durch einen Winkel von 90° bewegen, dasz die Bewegung am Abend rapid ist, dasz sie in einigen Fällen, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, auszerordentlich complicirt ist, dasz bei gewissen Sämlingen, die alt genug sind echte Blätter zu tragen, die Cotyledonen sich des Nachts senkrecht aufwärts bewegen, während sich zu derselben Zeit die Blättchen senkrecht abwärts bewegen, und dasz in einem und demselben Genus die Blätter oder Cotyledonen einiger Species sich aufwärts bewegen, während diejenigen anderer Species sich abwärts bewegen — hält man diese und andere derartige Thatsachen vor Augen, so ist es kaum möglich daran zu zweifeln, dasz Pflanzen irgend einen bedeutenden Vortheil aus derartigen merkwürdigen Bewegungsvermögen herleiten müssen.

Die nyctitropischen Bewegungen von Blättern und Cotyledonen werden auf zweierlei Weise³ ausgeführt, erstens durch Vermittlung von Polstern, welche, wie PFEFFER gezeigt hat, abwechselnd auf den entgegengesetzten Seiten stärker turgesciren, und zweitens durch vermehrtes Wachsthum der einen Seite des Blattstiels oder der Mittelrippe entlang und dann auf der entgegengesetzten Seite, wie zuerst

³ Auf diesen Unterschied wurde zuerst von Dassen 1837 hingewiesen (nach der Angabe von Pfeffer in: Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, 1875, p. 161).

von BATALIN bewiesen wurde⁴. Da aber von DE VRIES gezeigt worden ist⁵, dasz in diesen letzteren Fällen dem vermehrten Wachsthum die vermehrte Turgescenz der Zellen vorausgeht, so wird der Unterschied zwischen den obigen beiden Mitteln der Bewegung bedeutend vermindert und besteht hauptsächlich in der Turgescenz der Zellen eines vollständig entwickelten Polsters, welcher kein Wachsthum folgt. Wenn die Bewegungen von Blättern oder Cotyledonen, die mit einem Polster versehen sind, und welche kein Polster besitzen, mit einander verglichen werden, so erkennt man, dasz sie einander sehr ähnlich sind und allem Anscheine nach zu demselben Zwecke ausgeführt werden. Mit unserem Gegenstande vor Augen, erscheint es daher nicht gerathen, die obigen zwei Gruppen von Fällen in zwei verschiedene Classen zu vertheilen. Es besteht indessen ein bedeutungsvoller Unterschied zwischen ihnen, nämlich dasz Bewegungen, welche durch Wachsthum auf den abwechselnden Seiten bewirkt werden, auf junge wachsende Blätter beschränkt sind, während diejenigen, welche mittelst eines Polsters ausgeführt werden, eine längere Zeit hindurch dauern. Wir haben bereits gut ausgesprochene Beispiele dieser letzteren Thatsache bei Cotyledonen gesehen, und dasselbe findet sich bei Blättern, wie von PFEFFER und von uns beobachtet worden ist. Das lange Andauern der nyctitropischen Bewegungen, wenn sie durch Vermittlung von Polstern ausgeführt werden, weist auszer den bereits mitgetheilten Belegen auf die functionelle Bedeutung solcher Bewegungen für die Pflanze hin. Es besteht noch ein anderer Unterschied zwischen den zwei Gruppen von Fällen, nämlich dasz niemals oder sehr selten irgend eine Drehung der Blätter eintritt, ausgenommen, wenn ein Polster vorhanden ist⁶; aber diese Angabe bezieht sich nur auf periodische und nyctitropische Bewegungen, wie aus anderen von FRANK⁷ mitgetheilten Fällen geschlossen werden kann.

Die Thatsache, dasz die Blätter vieler Pflanzen sich des Nachts in ganz verschiedenen Stellungen von der während des Tages von ihnen eingenommenen bringen, aber mit dem einen gemeinsamen Punkte, dasz ihre Oberflächen vermeiden nach dem Zenith hinzusehen, häufig in Verbindung mit der weiteren Thatsache, dasz sie mit gegen-

⁴ Flora, 1873, p. 433.

⁵ Botan. Zeitung, 1879. 19. Decbr., p. 830.

⁶ Pfeffer, die period. Bewegungen d. Blattorgane, 1875, p. 159.

⁷ Die nat. wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, 1870, p. 52.

ständigen Blättern oder Blättchen in dichte Berührung kommen, deutet, wie uns scheint, klar an, dasz das zu erreichende Ziel der Schutz der oberen Fläche gegen die des Nachts durch Ausstrahlung verursachte Erkältung ist. Darin, dasz die obere Fläche mehr Schutz bedarf als die untere, liegt nichts Unwahrscheinliches, da die zwei in Function und Bau von einander verschieden sind. Alle Gärtner wissen, dasz Pflanzen unter der Strahlung leiden. Diese ist es, und es sind nicht kalte Winde, welche die Bauern des südlichen Europa für ihre Olive fürchten⁸. Sämlinge werden häufig durch eine sehr dünne Decke von Stroh gegen Strahlung geschützt und Fruchtbäume an Mauern durch einige wenige Tannenzweige oder selbst durch ein über sie gehängtes Netz. Es gibt eine Varietät der Stachelbeere⁹, deren Blüthen, weil sie vor den Blättern entwickelt werden, von diesen nicht gegen Strahlung geschützt werden und in Folge dessen häufig keine Frucht geben. Ein ausgezeichnete Beobachter¹⁰ hat die Bemerkung gemacht, dasz eine Varietät der Kirsche sehr stark rückwärts gerollte Kronenblätter an ihren Blüthen hat; und nach einem Froste waren sämtliche Narben getödtet, während zu derselben Zeit bei einer anderen Varietät mit einwärts gerollten Kronenblättern die Narben nicht im mindesten verletzt waren.

Diese Ansicht, dasz der Schlaf der Blätter sie davor bewahrt, dasz sie des Nachts durch Strahlung erkältet werden, würde ohne Zweifel schon LINNÉ aufgestiegen sein, wäre das Princip der Strahlung damals entdeckt gewesen; denn er spricht an vielen Stellen seines „Somnus plantarum“ die Vermuthung aus, dasz die Stellung der Blätter des Nachts die jungen Stämme und Knospen und häufig den jungen Blüthenstand gegen kalte Winde beschützt. Wir sind weit entfernt davon zu bezweifeln, dasz ein weiterer Vortheil hierdurch erlangt wird, und wir haben bei mehreren Pflanzen, beispielsweise bei *Desmodium gyrans* beobachtet, dasz, während die Blattscheibe des Nachts senkrecht abwärts sinkt, der Blattstiel sich erhebt, so dasz die Blattscheibe sich durch einen grösseren Winkel bewegen musz, um ihre senkrechte

⁸ Martins, in: Bull. Soc. Botan. de France, T. 19. 1872. Wells macht in seiner bekannten Abhandlung über den Thau die Bemerkung, dasz ein exponirtes Thermometer steigt, so bald auch nur eine flockige Wolke hoch am Himmel über den Zenith wegzieht.

⁹ Loudon, Gardener's Magaz. Vol. IV. 1828. p. 112.

¹⁰ Mr. Rivers, in: Gardener's Chronicle, 1866, p. 732.

Stellung einzunehmen, als es sonst nöthig gewesen wäre, aber mit dem Resultate, dasz sämmtliche Blätter an der nämlichen Pflanze dicht zusammengedrängt werden, gleichsam zu gegenseitigem Schutze.

Wir zweifelten zuerst, ob die Strahlung in irgend einer bedeutungsvollen Art und Weise so zarte Gegenstände, wie es viele Cotyledonen und Blätter sind, afficiren könne, und noch besonders, ob sie deren obere und untere Flächen verschieden afficiren können. Denn obgleich die Temperatur ihrer oberen Flächen zweifellos sinken wird, wenn sie einem klaren Himmel frei ausgesetzt sind, so glaubten wir doch, dasz sie durch Leitung die Temperatur der umgebenden Luft so schnell annehmen würden, dasz es kaum irgend einen merkbaren Unterschied für sie machen würde, ob sie horizontal stünden und in den offenen Himmel ausstrahlten oder senkrecht und hauptsächlich in einer seitlichen Richtung nach benachbarten Pflanzen und anderen Objecten ausstrahlten. Wir bemühten uns daher etwas über diesen Punkt dadurch zu ermitteln, dasz wir die Blätter verschiedener Pflanzen daran hinderten einzuschlafen, und dasz wir diese sowohl wie die anderen Blätter an den nämlichen Pflanzen, welche bereits ihre nächtliche senkrechte Stellung eingenommen hatten, einem klaren Himmel aussetzten, wenn die Temperatur unter dem Gefrierpunkt war. Unsere Experimente zeigen, dasz Blätter, welche in dieser Weise gezwungen wurden des Nachts horizontal zu bleiben, viel mehr Schädigung durch den Frost erlitten als diejenigen, denen gestattet wurde ihre normale senkrechte Stellung anzunehmen. Es kann indessen hiergegen gesagt werden, dasz aus derartigen Beobachtungen gezogene Schlüsse nicht auf schlafende Pflanzen anwendbar sind, welche Länder bewohnen, wo Fröste nie vorkommen. Aber in jedem Lande und zu allen Jahreszeiten müssen Blätter nächtlichen Erkältungen durch Strahlung ausgesetzt sein, welche in einem gewissen Grade ihnen schädlich sein können, und denen sie entgehen würden, wenn sie eine senkrechte Stellung einnehmen.

In unseren Experimenten wurden Blätter daran, dasz sie ihre nyctitropische Stellung annehmen, meist dadurch gehindert, dasz sie mit den feinsten Insectennadeln (welche sie in keiner merkbaren Weise schädigten) auf dünne von Stäben getragene Korkscheiben befestigt wurden. In einigen Fällen wurden sie aber durch schmale Streifen von Carton niedergehalten und in anderen dadurch, dasz ihre Blattstiele durch Spalten in Kork gesteckt wurden. Die Blätter wurden

zuerst dicht auf den Kork befestigt; da dieser aber ein schlechter Wärmeleiter ist, und da die Blätter nicht lange Zeit exponirt wurden, so glaubten wir, dasz der Kork, welcher im Hause aufbewahrt worden war, sie in einem unbedeutenden Masse erwärmen würde, so dasz, wenn sie durch den Frost in einem höheren Grade geschädigt würden, als die freien, senkrecht stehenden Blätter, der Beweis um so viel stärker dafür sein würde, dasz die horizontale Stellung schädlich sei. Wir fanden aber, dasz, wenn irgend ein geringer Unterschied in dem Resultate bestand, welcher nur gelegentlich entdeckt werden konnte, die Blätter, welche dicht nieder befestigt wurden, eher noch mehr litten als diejenigen, welche mit sehr langen und dünnen Nadeln befestigt waren, so dasz sie von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll über dem Kork standen. Dieser Unterschied im Resultate, welcher an und für sich merkwürdig ist, da er zeigt, was für ein sehr unbedeutender Unterschied in den Bedingungen die Grösze der herbeigeführten Schädigung beeinflusst, kann, wie wir glauben, dem Umstande zugeschrieben werden, dasz die umgebende wärmere Luft nicht frei unter den dicht aufgesteckten Blättern circuliren und sie hierbei gering erwärmen kann. Dieser Schlusz wird durch einige analoge Thatsachen, die später mitgetheilt werden, unterstützt.

Wir wollen nun im Detail die angestellten Experimente beschreiben. Dieselben waren mühsam, weil wir nicht im Stande waren vorauszusagen, eine wie starke Kälte die verschiedenen Species ertragen würden. Bei vielen Pflanzen wurde jedes Blatt getödtet, sowohl die, welche in einer horizontalen Stellung befestigt waren, als die, denen gestattet wurde zu schlafen, d. h. sich senkrecht aufwärts zu erheben oder abwärts zu senken. Bei anderen war nicht ein einziges Blatt im mindesten beschädigt, und diese mussten entweder für eine längere Zeit oder einer noch niedrigeren Temperatur ausgesetzt werden.

Oxalis acetosella. — Ein sehr groszer, dicht mit zwischen 300 bis 400 Blättern bedeckter Topf war den ganzen Winter über im Gewächshaus gehalten worden. Sieben Blätter wurden mit Stecknadeln horizontal offen gehalten und wurden am 16. März zwei Stunden lang einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase — 4° C. war. Am nächsten Morgen ergab sich, dasz alle sieben Blätter vollständig getödtet waren. So waren es auch viele von den freigelassenen, welche vorher eingeschlafen waren, und ungefähr 100 von ihnen wurden entweder todt oder gebräunt oder verletzt aufgelesen. Einige Blätter zeigten, dasz sie unbedeutend verletzt worden waren, dadurch, dasz sie sich den ganzen folgenden Tag hindurch nicht ausbreiteten,

obschon sie sich später wieder erholten. Da alle die Blätter, welche durch Nadeln offen gehalten worden waren, getödtet, und nur ungefähr $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ der anderen entweder getödtet oder beschädigt waren, so hatten wir hierin einen kleinen Beleg dafür, dasz diejenigen, welche an der Annahme ihrer senkrecht herabhängenden Stellung gehindert worden waren, am meisten gelitten hatten.

Die folgende Nacht (17.) war klar und beinahe gleich kalt (-3 bis -4° C. auf dem Grase). Der Topf wurde wiederum hinausgestellt, aber diesmal nur 30 Minuten lang. Acht Blätter waren durch Nadeln offen gehalten worden, und am Morgen waren zwei von ihnen abgestorben, während nicht ein einziges anderes Blatt an den vielen Pflanzen auch nur beschädigt gewesen wäre.

Am 23. wurde der Topf 1 Stunde 30 Min. lang exponirt, während die Temperatur auf dem Grase nur -2° C. war, und nicht ein einziges Blatt war beschädigt. Indessen standen die durch Nadeln offen gehaltenen Blätter sämmtlich von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll oberhalb des Korkes.

Am 24. wurde der Topf wiederum auf die Erde gestellt und zwischen 35 und 40 Minuten einem klaren Himmel ausgesetzt. Durch ein Missverständnis war das Thermometer auf einer in der Nähe befindlichen Sonnenuhr von 3 Fusz Höhe gelassen worden, statt auf das Gras gestellt zu werden; es gab -3.3 bis -3.8° C. an; als aber nach einer Stunde wiederum nachgesehen wurde, war es auf -5.5° C. gefallen, so dass der Topf vielleicht einer im Ganzen niedrigeren Temperatur ausgesetzt war, als bei den zwei früheren Gelegenheiten. Acht Blätter waren durch Nadeln offen gehalten worden, einige dicht am Kork und einige über ihm, und am folgenden Morgen zeigten sich fünf von ihnen (d. h. 63%) abgestorben. Durch Zählen eines Theiles der Blätter schätzten wir, dasz ungefähr 250 eingeschlafen waren, und von diesen waren ungefähr 20 (d. h. nur 8%) getödtet und ungefähr 30 verletzt.

In Anbetracht dieser Fälle lässt sich daran nicht zweifeln, dasz die Blätter dieser *Oxalis*, wenn ihnen gestattet wird, des Nachts ihre normale senkrecht herabhängende Stellung einzunehmen, viel weniger vom Frost leiden als diejenigen (der Zahl nach 23), deren obere Flächen dem Zenith ausgesetzt waren.

Oxalis carnosus. — Eine Pflanze dieser chilenischen Species wurde 30 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, während das Thermometer auf dem Grase auf -2° C. stand. Einige ihrer Blätter waren durch Nadeln offen gehalten, und nicht ein Blatt an der ganzen, buschigen Pflanze war im mindesten beschädigt. Am 16. März wurde eine andere Pflanze in ähnlicher Weise 30 Minuten lang exponirt, als die Temperatur auf dem Grase nur ein wenig niedrigerer war, nämlich -3° bis -4° C. Sechs von den Blättern waren durch Nadeln offengehalten, und am nächsten Morgen ergab sich, dasz fünf von ihnen stark gebräunt waren. Die Pflanze war eine grosse, und keines der freien Blätter, welche schliefen und senkrecht herabhiengen, war gebräunt mit Ausnahme vier sehr junger. Aber drei andere Blätter waren, wengleich nicht gebräunt, in einem etwas welken Zustande und behielten ihre Nachtstellung während des ganzen folgenden Tages bei. In diesem Falle war es augenfällig, dasz die Blätter, welche horizontal dem Zenith ausgesetzt waren, am meisten gelitten hatten.

Dieser nämliche Topf wurde später 35—40 Minuten lang in einer unbedeutend kälteren Nacht exponirt, und ein jedes Blatt, sowohl die durch Nadeln offengehaltenen als die freigelassenen, wurde getödtet. Es mag noch hinzugefügt werden, dasz zwei Töpfe von *O. corniculata* (var. *atropurpurea*) zwei und drei Stunden lang einem klaren Himmel bei einer Temperatur auf dem Grase von -2° C. ausgesetzt wurden, und keines der Blätter, weder die freigelassenen noch die mit Nadeln offengehaltenen waren im geringsten beschädigt.

Arachis hypogaea. — Einige Pflanzen in einem Topfe wurden des Nachts 30 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase -2° C. war, und zwei Nächte später wurden sie wiederum der nämlichen Temperatur ausgesetzt, diesmal aber 1 Stunde 30 Minuten lang. Bei keiner der beiden Gelegenheiten wurde ein einziges Blatt, weder ein mit Nadeln offengehaltenes noch freigelassenes beschädigt, und dies überraschte uns sehr in Anbetracht der tropisch-africanischen Heimath der Pflanze. Zwei Pflanzen wurden nun zunächst (16. März) 30 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, als die Temperatur des umgebenden Grases niedriger war, nämlich zwischen -3° und -4° C., und alle vier durch Nadeln offengehaltene Blätter wurden getödtet und geschwärzt. Diese zwei Pflanzen trugen 22 andere freigelassene Blätter (mit Ausschluss einiger sehr junger, knospenartiger), und nur zwei von diesen wurden getödtet und drei etwas beschädigt, d. h. 23% wurden entweder getödtet oder verletzt, während alle vier durch Nadeln festgehaltene Blätter vollständig getödtet wurden.

In einer anderen Nacht wurden zwei Töpfe mit mehreren Pflanzen zwischen 35 und 40 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt und vielleicht einer im Ganzen zu niedriger Temperatur, denn ein Thermometer auf einer drei Fusz hohen Sonnenuhr dicht daneben zeigte -3.3° bis -3.8° C. In dem einen Topfe waren drei Blätter durch Nadeln offengehalten worden, und alle waren bedenklich beschädigt; von den 44 freigelassenen Blättern waren 26 beschädigt, das sind 59% . In dem anderen Topfe waren drei Blätter durch Nadeln offengehalten, und sie wurden sämmtlich getödtet, vier andere Blätter wurden dadurch am Einschlafen gehindert, dasz schmale Streifen steifen Papiers mit Gummi quer über sie befestigt wurden, und sie wurden sämmtlich getödtet; von 24 freigelassenen Blättern wurden zehn getödtet, zwei bedeutend verletzt und zwölf blieben unverletzt, das heiszt: 50% der freien Blätter wurden entweder getödtet oder bedeutend geschädigt. Nehmen wir die zwei Töpfe zusammen, so könnten wir sagen, dasz im Ganzen mehr als die Hälfte der freigelassenen Blätter, welche eingeschlafen waren, entweder getödtet oder verletzt wurden, während sämmtliche zehn horizontal ausgebreitete Blätter, welche am Einschlafen verhindert worden waren, entweder getödtet oder bedeutend verletzt wurden.

Cassia floribunda. — Ein Busch wurde des Nachts 40 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, als die Temperatur auf dem umgebenden Grase -2° C. war, und nicht ein Blatt wurde beschädigt¹¹.

¹¹ *Cassia laevigata* wurde 35 Minuten lang und *C. calliantha* (eine Species aus Guiana) 60 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, als die Temperatur

Er wurde wiederum in einer anderen Nacht 1 Stunde lang ausgesetzt, als die Temperatur des Grases — 4° C. betrug, und nun wurden sämtliche Blätter an einem groszen Busche, mochten sie mit Nadeln platt offengehalten oder freigelassen worden sein, getödtet, geschwärzt und verschumpft mit Ausnahme derer an einem kleinen Zweige tief unten, welche durch die Blätter an den Zweigen darüber leicht beschützt worden waren. Ein anderer hoher Busch, an welchem vier der groszen, zusammengesetzten Blätter horizontal mit Nadeln ausgebreitet waren, wurde später, aber nur für 30 Minuten lang, ausgesetzt (die Temperatur des umgebenden Grases war genau dieselbe, nämlich — 4° C.). Am folgenden Morgen war jedes einzelne Blättchen an diesen vier Blättern abgestorben, und es war sowohl die obere als die untere Fläche derselben vollständig geschwärzt. Von den vielen freigelassenen Blättern am Busche waren nur sieben geschwärzt, und von diesen hatte nur ein einziges (welches ein jüngeres und zarteres Blatt war als irgend eines von den mit Nadeln befestigten) beide Oberflächen geschwärzt. Der Contrast in dieser letzteren Beziehung wurde von einem freigelassenen Blatte sehr gut gezeigt, welches zwischen zwei mit Nadeln offengehaltenen stand. Denn bei diesen letzteren waren die unteren Flächen ihrer Blättchen so schwarz wie Tinte, während das dazwischen liegende freie Blatt, obschon es bedenklich verletzt war, noch immer eine deutliche Färbung von Grün auf der unteren Fläche der Blättchen zeigte. Dieser Busch bot in einer auffallenden Art und Weise die üblen Wirkungen des Eingriffs dar, dasz den Blättern nicht gestattet wurde, des Nachts ihre normale herabhängende Stellung einzunehmen. Denn wären sie alle daran verhindert worden, so würde zuversichtlich jedes einzelne Blatt am Busche durch dieses Aussetzen von nur 30 Minuten vollständig getödtet worden sein. Die Blätter drehen sich, während sie am Abende sich nach abwärts senken, so herum, dasz die obere Fläche nach innen gedreht und in dieser Weise besser geschützt wird, als die nach auszen gedrehte untere Fläche. Nichts desto weniger war es immer die obere Fläche, welche mehr geschwärzt war, als die untere, sobald nur immer irgend ein Unterschied zwischen ihnen wahrgenommen werden konnte; ob dies aber eine Folge davon war, dasz die Zellen in der Nähe der oberen Flächen zarter sind, oder einfach deshalb, dasz sie mehr Chlorophyll enthalten, wissen wir nicht.

Melilotus officinalis. — Ein groszer Topf mit vielen Pflanzen, welcher während des Winters im Gewächshause gehalten worden war, wurde während fünf Stunden des Nachts einem unbedeutenden Frost und klarem Himmel ausgesetzt. Vier Blätter waren durch Stecknadeln offengehalten worden, und diese starben nach wenigen Tagen ab; dasselbe thaten auch viele der freigelassenen Blätter. Es war daher nichts mit Sicherheit aus diesem Versuche zu schlieszen, obschon er darauf hinwies, dasz die horizontal ausgebreitet gehaltenen Blätter am meisten litten. Es wurde nun zunächst ein anderer groszer Topf mit vielen Pflanzen eine

auf dem umgebenden Grase — 2° C. war, und keine von beiden Arten wurde im geringsten beschädigt. Als aber *C. laevigata* eine Stunde lang exponirt wurde, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase — 3° und — 4° C war, wurden alle Blätter getödtet.

Stunde lang ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase niedriger war, nämlich -3° bis -4° . Zehn Blätter waren mit Stecknadeln offengehalten worden, und das Resultat war auffallend; denn am folgenden Morgen zeigte es sich, dass alle diese bedeutend verletzt oder getödtet waren; und keines der vielen freigelassenen Blätter auf den verschiedenen Pflanzen war durchaus verletzt mit der zweifelhaften Ausnahme von zwei oder drei sehr jungen.

Melilotus italica. — Sechs Blätter wurden mit Stecknadeln horizontal ausgebreitet gehalten, und bei dreien wurde die obere und bei dreien die untere Oberfläche nach dem Zenith gekehrt. Die Pflanzen wurden fünf Stunden lang einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur am Boden ungefähr -1° C. war. Am nächsten Morgen schienen die sechs durch Nadeln offengehaltenen Blätter mehr beschädigt zu sein, als selbst die jüngeren und zarteren freigelassenen an denselben Zweigen. Die Pflanze war indessen zu lange ausgesetzt worden, denn nach Verlauf einiger Tage schienen viele der freigelassenen Blätter in beinahe einem so schlechten Zustande zu sein, als die durch Stecknadeln offengehaltenen. Es war unmöglich zu entscheiden, ob die Blätter, deren obere Flächen nach dem Zenith gekehrt waren, oder die, deren untere Flächen, am meisten gelitten hatten.

Melilotus suaveolens. — Einige Pflanzen, an denen acht Blätter mit Nadeln offen gehalten wurden, wurden während zwei Stunden einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase -2° C. war. Am nächsten Morgen fanden sich sechs unter diesen acht Blättern in einem welken Zustande. Es fanden sich ungefähr 150 freie Blätter an der Pflanze, und keines derselben war verletzt mit Ausnahme von zwei oder drei sehr jungen. Aber nach zwei Tagen, als die Pflanzen wieder in das Gewächshaus zurückgebracht worden waren, erholten sich die sechs durch Nadeln offengehaltenen Blätter sämmtlich.

Melilotus taurica. — Mehrere Pflanzen wurden fünf Stunden lang während zweier Nächte einem klaren Himmel und unbedeutendem Froste in Verbindung mit einigem Winde ausgesetzt, und fünf Blätter, welche durch Nadeln offengehalten worden waren, litten mehr als diejenigen sowohl darüber als darunter an denselben Zweigen, welche eingeschlafen waren. Ein anderer Topf, welcher gleichfalls im Gewächshaus gehalten worden war, wurde 35—40 Minuten einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Grase zwischen -3° und -4° C. betrug. Neun Blätter waren mit Nadeln offengehalten worden, und alle diese wurden getödtet. An den nämlichen Pflanzen fanden sich 210 freigelassene Blätter, denen gestattet worden war, zu schlafen, und von diesen waren ungefähr 80, d. i. nur 38% getödtet.

Melilotus Petitpierreana. — Die Pflanzen wurden 35—40 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt: die Temperatur auf dem umgebenden Grase betrug -3° bis -4° C. Sechs Blätter waren mit Nadeln so ausgestreckt worden, dass sie ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll oberhalb des Korkes standen, und vier waren mit Nadeln dicht auf ihm befestigt. Diese zehn Blätter wurden sämmtlich getödtet, aber die dicht aufgenadelten litten am meisten, da vier von den sechs, welche oberhalb des Korkes

standen, noch immer kleine Fleckchen einer grünen Farbe beibehielten. Eine beträchtliche Zahl, aber nicht annähernd alle von den freigelassenen Blättern wurden getödtet oder stark verletzt, während sämmtliche mit Nadeln ausgespannt gewesenen getödtet wurden.

Melilotus macrorrhiza. — Die Pflanzen wurden in derselben Weise wie in dem letzten Falle ausgesetzt. Sechs Blätter waren mit Nadeln horizontal offengehalten worden, und fünf von ihnen wurden getödtet, d. h. 83 $\frac{0}{10}$. Wir schätzten, dasz ungefähr 200 freigelassene Blätter an den Pflanzen vorhanden waren und von diesen wurden ungefähr 50 getödtet und 20 bedenklich verletzt, so dasz ungefähr 35 $\frac{0}{10}$ der freigelassenen Blätter getödtet oder verletzt wurden.

Lotus aristata. — Sechs Pflanzen wurden nahezu fünf Stunden einem klaren Himmel ausgesetzt: die Temperatur des umgebenden Grases war -1.5° C. Vier Blätter waren durch Nadeln horizontal ausgespannt gehalten worden, und zwei von diesen litten mehr als diejenigen darüber oder darunter an den nämlichen Zweigen, denen gestattet worden war zu schlafen. Es ist eine ziemlich merkwürdige Thatsache, dasz einige Pflanzen von *Lotus Jacobaeus*, einem Bewohner eines so heißen Landes wie die Cap Verdischen Inseln, eine Nacht einem klaren Himmel ausgesetzt wurden, während die Temperatur des umgebenden Grases -2° C. war, und in einer zweiten Nacht 30 Minuten lang bei einer Temperatur des umgebenden Grases von -3° bis -4° C., und nicht ein einziges Blatt weder von den durch Nadeln offengehaltenen noch von den freien wurde im mindesten verletzt.

Marsilea quadrifoliata. — Eine grosse Pflanze dieser Species — der einzigen cryptogamen Pflanze, von der bekannt ist, dasz sie schläft, — an der einige Blätter durch Nadeln offengehalten waren, wurde 1 Stunde 35 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, als die Temperatur auf dem umgebenden Boden -2° C. betrug, und nicht ein einziges Blatt wurde verletzt. Nach Verlauf einiger Tage wurde die Pflanze wiederum 1 Stunde lang einem klaren Himmel ausgesetzt, als die Temperatur auf dem umgebenden Boden niedriger war, nämlich -4° C. Sechs Blätter waren durch Nadeln horizontal ausgebreitet gehalten, und diese wurden sämmtlich getödtet. Die Pflanze hatte lang ausgestreckte Stämme entwickelt, und diese waren rings mit einem Tuche umwickelt worden, um sie vor dem gefrorenen Boden und vor Strahlung zu schützen. Aber eine sehr grosse Zahl von Blättern wurden frei exponirt gelassen, welche eingeschlafen waren, und von diesen wurden nur 12 getödtet. Nach einem weiteren Zwischenraum wurden die Pflanzen mit neun durch Nadeln offengehaltenen Blättern wiederum eine Stunde lang ausgesetzt, als die Temperatur auf dem Boden wiederum -4° C. war. Sechs von den Blättern wurden getödtet, und eins, welches zuerst nicht verletzt schien, wurde später mit braun gestreift. An den gestreckten Zweigen, welche auf dem gefrorenen Boden lagen, war die Hälfte oder drei Viertel der Blätter getödtet. Aber von den vielen andern Blättern an der Pflanze, welche allein mit den durch Nadeln offengehaltenen verglichen werden konnten, erschien auf den ersten Blick keines getödtet worden zu sein, bei sorgfältigem Nachsuchen fanden sich aber zwölf abgestorben. Nach einem weiteren Zeitintervall wurde die Pflanze mit neun durch Nadeln

offengehaltenen Blättern 35—40 Minuten lang einem klaren Himmel und nahezu derselben oder vielleicht einer etwas niedrigeren Temperatur (denn das Thermometer war durch einen Zufall auf einer dicht dabeistehenden Sonnenuhr gelassen worden) ausgesetzt, und 8 von diesen Blättern wurden getödtet. Von den freigelassenen Blättern (ohne die an drei gestreckten Zweigen in Betracht zu ziehen) waren eine gute Anzahl getödtet, aber ihre Zahl war, verglichen mit den nicht verletzten, klein. Nehmen wir endlich die drei Versuche zusammen, so wurden 24 horizontal ausgestreckte Blätter dem Zenith und einer ungehinderten Strahlung ausgesetzt, und von diesen wurden 20 getödtet und eins verletzt, während eine relativ sehr kleine Verhältniszahl der Blätter, welchen man gestattet hatte mit ihren senkrecht herabhängenden Blättchen zu schlafen, getödtet oder verletzt wurde.

Die Cotyledonen mehrerer Pflanzen wurden für den Versuch vorbereitet, aber das Wetter war mild und wir hatten nur in einem einzigen Falle Erfolg, dasz wir Sämlinge des gehörigen Alters in Nächten vor uns hatten, welche klar und kalt waren. Die Cotyledonen von sechs Sämlingen von *Mimosa pudica* wurden auf Kork festgemacht und wurden in dieser Weise 1 Stunde 45 Minuten lang einem klaren Himmel ausgesetzt, während die Temperatur auf dem umgebenden Boden -1.7° C. war; von diesen wurden drei getödtet. Zwei andere Sämlinge wurden, nachdem ihre Cotyledonen sich erhoben und dicht aneinander geschlossen hatten, übergebogen und so befestigt, dasz sie horizontal standen, wobei die untere Oberfläche eines Cotyledon vollständig dem Zenith ausgesetzt wurde, und beide wurden getödtet. Es wurden daher von den acht in dieser Weise dem Versuch unterworfenen Sämlingen fünf oder mehr als die Hälfte getödtet. Sieben andere Sämlinge, deren Cotyledonen in ihrer normalen Nachtstellung sich befanden, nämlich senkrecht und geschlossen, wurden zur nämlichen Zeit exponirt, und von diesen wurden nur zwei getödtet¹². Es geht hieraus hervor, soweit diese wenigen Versuche überhaupt etwas aussagen, dasz die senkrechte Stellung der Cotyledonen von *Mimosa pudica* in der Nacht sie bis zu einem gewissen Grade gegen die üblen Wirkungen der Strahlung und Kälte schützt.

Schlussbemerkungen über die Strahlung von den Blättern des Nachts. — Wir exponirten bei zwei Gelegenheiten während des Sommers mehrere durch Nadeln offengehaltene Blättchen von *Trifolium pratense*; welche des Nachts sich natürlich erheben, und von *Oxalis purpurea*, welche des Nachts sich natürlich senken (beide Pflanzen wuchsen im Freien), einem klaren Himmel und sahen

¹² Wir waren davon überrascht, dasz junge Sämlinge einer so tropischen Pflanze wie *Mimosa pudica* so gut, wie sie es thaten, zu widerstehen im Stande waren, als sie 1 Stunde 45 Minuten einem klaren Himmel ausgesetzt wurden, bei einer Temperatur des umgebenden Bodens von 1.7° C. Es mag noch hinzugefügt werden, dasz Sämlinge der Indischen *Cassia pubescens* 1 Stunde 30 Minuten lang einem klaren Himmel bei einer Temperatur auf dem umgebenden Boden von -2° C. ausgesetzt wurden, und sie wurden nicht im Mindesten verletzt.

an mehreren aufeinander folgenden Morgen zeitig nach ihnen, nachdem sie ihre Tagesstellungen angenommen hatten. Der Unterschied in der Menge von Thau auf den durch Nadeln festgehaltenen Blättchen und auf denen, welche eingeschlafen waren, war meist augenfällig; die letzteren waren zuweilen absolut trocken, während die Blättchen, welche horizontal gestanden hatten, mit groszen Thauperlen überzogen waren. Dies zeigt, wie viel kälter die dem Zenith vollständig ausgesetzten Blättchen geworden sein mussten, als diejenigen, welche beinahe senkrecht entweder aufwärts oder abwärts während der Nacht gestanden hatten.

Nach den verschiedenen, oben mitgetheilten Fällen, lässt sich nicht daran zweifeln, dasz die Stellung der Blätter des Nachts auf ihre Temperatur durch Strahlung in einem derartigen Grade wirkt, dasz es, wenn sie einem klaren Himmel während eines Frostes ausgesetzt sind, geradezu eine Frage um Leben und Tod ist. Wenn wir sehen, dasz ihre Nachtstellung so gut angepasst ist die Strahlung zu vermindern, so können wir daher als im hohen Grade wahrscheinlich annehmen, dasz der durch häufig complicirte Schlafbewegungen erreichte Zweck der ist, den Grad, bis zu welchem sie während der Nacht erkältet werden, zu vermindern. Es ist im Auge zu halten, dasz es besonders die obere Fläche ist, welche in dieser Weise geschützt wird, da sie niemals gegen den Zenith gerichtet und häufig in dichte Berührung mit der oberen Fläche eines gegenüberstehenden Blattes oder Blättchens gebracht wird.

Es gelang uns nicht hinreichende Beweise dafür zu erhalten, ob der bessere Schutz der oberen Fläche dadurch erlangt wurde, dasz sie leichter verletzt wurde, als die untere, oder dadurch, dasz ihre Verletzung ein grözzerer Schaden für die Pflanze ist. Dasz in der Constitution etwas Verschiedenheit zwischen den zwei Oberflächen besteht, wird durch die folgenden Fälle erwiesen. *Cassia floribunda* wurde in einer scharfen frostigen Nacht einem klaren Himmel ausgesetzt, und an mehreren Blättchen, welche ihre nächtliche herabhängende Stellung mit ihren unteren Flächen so nach auswärts gedreht, dasz sie schräg dem Zenith ausgesetzt sind, angenommen hatten, waren nichts desto weniger diese unteren Flächen weniger geschwärzt, als die oberen, welche nach einwärts gewendet und in dichter Berührung mit denen der gegenständigen Blättchen waren. Ferner wurde ein Topf voller Pflanzen von *Trifolium resupinatum*, welcher drei Tage lang in einem

warmen Zimmer gehalten worden war, in einer klaren und beinahe frostigen Nacht ins Freie gebracht (21. September). Am nächsten Morgen wurden zehn von den terminalen Blättchen unter dem Microscope mit auffallendem Lichte untersucht. Wenn diese Blättchen einschlafen, drehen sie sich entweder senkrecht aufwärts, oder noch gewöhnlicher biegen sie sich ein wenig über die seitlichen Blättchen, so dass ihre unteren Flächen mehr dem Zenith ausgesetzt sind, als die oberen. Nichts desto weniger waren sechs von diesen zehn Blättchen deutlich auf der oberen Fläche gelber als auf der unteren und exponirter gewesen. An den übrigen vieren war das Resultat nicht so deutlich, aber was für eine Verschiedenheit nun vorhanden war, wies sicher darauf hin, dass die obere Fläche am meisten gelitten hatte.

Es ist angeführt worden, dass einige von den dem Experimente unterworfenen Blättchen dicht an den Kork befestigt wurden und andere in einer Höhe von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll über ihm, und dass, wenn, nachdem sie dem Froste ausgesetzt waren, irgend ein Unterschied in ihrem Zustande nachgewiesen werden konnte, die dicht aufgesteckten am meisten gelitten hatten. Wir schrieben diese Verschiedenheit dem Umstande zu, dass die nicht durch Strahlung abgekühlte Luft daran verhindert wurde, frei unter den dicht aufgesteckten Blättchen zu circuliren. Dass wirklich in der Temperatur der nach diesen zwei verschiedenen Methoden behandelten Blätter eine Verschiedenheit bestand, zeigte sich deutlich bei einer Gelegenheit; denn nachdem ein Topf mit Pflanzen von *Melilotus dentata* zwei Stunden lang einem klaren Himmel (die Temperatur auf dem umgebenden Grase war -2° C.) ausgesetzt gewesen war, war es offenbar, dass mehr Thau auf den dicht auf den Kork aufgesteckten Blättchen in Reif gefror, als an denjenigen, welche horizontal ein wenig oberhalb des Korkes standen. Ferner sprangen die Spitzen einiger weniger Blättchen, welche dicht auf den Kork mit Nadeln befestigt waren, ein wenig über den Rand vor, so dass die Luft frei rings um sie circuliren konnte. Dies trat bei sechs Blättchen von *Oxalis acetosella* ein, und ihre Spitzen litten bestimmt etwas weniger als das Übrige der nämlichen Blättchen; denn am folgenden Morgen waren sie noch immer in geringem Grade grün. Dasselbe Resultat trat selbst noch deutlicher in zwei Fällen mit Blättchen von *Melilotus officinalis* ein, welche ein wenig über den Kork vorsprangen; und in zwei anderen Fällen wurden einige Blättchen,

welche dicht auf den Kork aufgenadelt waren, verletzt, während andere freie Blättchen an denselben Blättern, welche keinen Raum hatten zu rotiren und ihre gehörige verticale Stellung einzunehmen, nicht im mindesten verletzt waren.

Noch eine andere analoge Thatsache verdient erwähnt zu werden: Wir beobachteten bei mehreren Gelegenheiten, dasz eine gröszere Anzahl freigelassener Blätter an denjenigen Zweigen verletzt wurden, welche dadurch bewegungslos gehalten wurden, dasz einige ihrer Blätter an die Korkstücke mit Nadeln befestigt wurden als an anderen Zweigen. Das war bei *Melilotus Petitpierreana* in auffälliger Weise der Fall; es wurden aber in diesem Falle die verletzten Blätter nicht factisch gezählt. Bei *Arachis hypogaea* trug eine junge Pflanze mit sieben Stämmen 22 freie Blätter, und von diesen wurden fünf durch den Frost verletzt, welche sämmtlich an zwei Stämmen waren, von denen vier Blätter an die Korkunterlage mit Nadeln befestigt waren. Bei *Oxalis carnosa* wurden sieben freigelassene Blätter verletzt, und jedes einzelne davon gehörte einem Busch von Blättern an, aus dem einige an den Kork mit Nadeln befestigt waren. Wir konnten diese Fälle nur durch die Annahme erklären, dasz die Zweige, welche völlig frei waren, durch den Wind leicht bewegt worden waren, und dasz ihre Blätter hierdurch durch die umgebende wärmere Luft ein wenig erwärmt wurden. Wenn wir unsere Hände bewegungslos vor einem starken Feuer halten und sie dann umherschwingen, fühlen wir sofort Erleichterung, und dies ist offenbar ein analoger, obschon umgekehrter Fall. Diese verschiedenen Thatsachen — in Bezug auf Blätter, welche dicht an die Korkunterlage oder ein wenig darüber mit Nadeln befestigt wurden — dasz ihre Spitzen über die Korkunterlage vorspringen, — und in Bezug auf die Blätter an bewegungslos gehaltenen Zweigen — scheinen uns merkwürdig zu sein, da sie zeigen, dasz eine allem Anscheine nach geringfügige Verschiedenheit die gröszere oder geringere Verletzung der Blätter bestimmen kann. Wir können selbst als wahrscheinlich folgern, dasz die gröszere oder geringere Zerstörung der Blätter durch den Frost an einer Pflanze, welche nicht schläft, häufig von dem gröszeren oder geringeren Grade der Biegsamkeit ihrer Blattstiele und der Zweige, welche die Blätter tragen, abhängen dürfte.

Nyctitropische oder Schlafbewegungen der Cotyledonen.

Wir kommen nun zu dem descriptiven Theile unserer Arbeit und wollen mit den Cotyledonen anfangen und im nächsten Capitel zu den Blättern übergehen. Wir haben nur zwei kurze Angaben über den Schlaf von Cotyledonen angetroffen. Nachdem HOFMEISTER¹³ bemerkt hatte, dasz die Cotyledonen aller von ihm beobachteten Sämlinge der Caryophyllen (Alsineae und Sileneae) sich des Nachts aufwärts biegen (unter welchem Winkel aber gibt er nicht an), sagt er, dasz diejenigen von *Stellaria media* sich so hoch erheben, dasz sie einander berühren; man kann also getrost von ihnen sagen, dasz sie schlafen. Zweitens erheben sich nach der Angabe von RAMEY¹⁴ die Cotyledonen von *Mimosa pudica* und von *Clanthus Dampieri* des Nachts beinahe senkrecht in die Höhe und nähern sich einander sehr dicht. Es ist in einem früheren Capitel gezeigt worden, dasz die Cotyledonen einer groszen Anzahl von Pflanzen sich des Nachts ein wenig aufwärts biegen, und hier tritt uns die schwierige Frage entgegen: Bei welchem Grade von Aufrichtung kann man sagen, dasz sie schlafen? Der Ansicht zu Folge, welche wir aufstellen, verdient keine Bewegung nyctitropisch genannt zu werden, wenn sie nicht zu dem Zwecke erlangt wurde, die Strahlung zu vermindern: dies konnte aber nur nach einer langen Reihe von Experimenten nachgewiesen werden, welche zeigten, dasz die Blätter einer jeden Art durch diesen Umstand litten, wenn sie am Schlafen gehindert wurden. Wir müssen daher eine arbiträre Grenze annehmen. Wenn ein Cotyledon oder ein Blatt 60° über oder unter den Horizont geneigt ist, so exponirt es ungefähr die Hälfte seiner Fläche dem Zenith; in Folge dessen wird die Intensität der Strahlung ungefähr um die Hälfte verringert werden mit dem verglichen, was sie gewesen sein würde, wenn der Cotyledon oder das Blatt horizontal geblieben wäre. Dieser Grad von Abminderung wird sicher für eine Pflanze, die eine zarte Constitution besitzt, einen groszen Unterschied machen. Wir wollen daher von einem Cotyledon und später von einem Blatte als einem schlafenden sprechen, nur wenn er sich des Nachts bis zu einem Winkel von ungefähr 60° oder unter einem höheren Winkel über den Horizont erhebt oder in demselben Masze unter ihn sinkt. Damit soll nicht gesagt sein, dasz

¹³ Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867, p. 327.

¹⁴ „Adansonia“, 10. März, 1869.

eine geringe Verminderung der Strahlung für eine Pflanze vortheilhaft sein mag, wie es bei *Datura stramonium* der Fall ist, deren Cotyledonen sich von 31° um Mittag bis 55° des Nachts über den Horizont erhoben. Die schwedische Rübe dürfte daraus einen Vortheil ziehen, dasz die Oberfläche ihrer Blätter des Nachts um ungefähr 30% vermindert wird, wie es Mr. A. S. WILSON geschätzt hat, obschon in diesem Falle der Winkel, durch welchen sich die Blätter erhoben, nicht beobachtet wurde. Wenn auf der andern Seite die Winkelerhebung der Cotyledonen oder der Blätter klein ist, so beispielsweise geringer als 30° , so ist die Verminderung der Strahlung so unbedeutend, dasz es wahrscheinlich für die Pflanze in Bezug auf die Strahlung von keiner Bedeutung ist. So erhoben sich z. B. die Cotyledonen von *Geranium ibericum* des Nachts 27° über den Horizont, und dies würde die Strahlung nur um 11% vermindern: diejenigen von *Linum Berendieri* erheben sich 33° , und dies würde die Strahlung um 16% vermindern.

Es gibt indessen noch einige andere Zweifelsquellen in Bezug auf den Schlaf der Cotyledonen. In gewissen Fällen divergiren die Cotyledonen, so lange sie jung sind, während des Tags nur in einer mäsigen Ausdehnung, so dasz eine geringe Erhebung des Nachts, von der wir wissen, dasz sie bei den Cotyledonen vieler Pflanzen eintritt, nothwendig die Ursache davon sein würde, dasz sie des Nachts eine senkrechte oder nahezu senkrechte Stellung einnehmen, und in diesem Falle würde es vorschnell sein zu folgern, dasz die Bewegung zu irgend einem speciellen Zwecke ausgeführt würde. Aus diesem Grunde zögerten wir lange Zeit, ob wir mehrere Glieder der Cucurbitaceen in die folgende Liste mit einbeziehen sollten; aber aus sofort mitzutheilenden Gründen glaubten wir, dasz es besser ist, sie wenigstens zeitweise mit einzuschlieszen. Diese selbe Zweifelsquelle hat auch in einigen wenigen anderen Fällen Giltigkeit, denn bei dem Beginne unserer Beobachtungen waren wir nicht immer aufmerksam genug darauf, ob die Cotyledonen in der Mitte des Tages nahezu horizontal standen. Bei mehreren Sämlingen nahmen die Cotyledonen eine hochaufgerichtete Stellung des Nachts während einer so kurzen Periode ihres Lebens ein, dasz ein Zweifel naturgemäszt entstand, ob dies von irgend welchem Nutzen für die Pflanze sein kann. Nichtsdestoweniger können in den meisten in der folgenden Liste mitgetheilten Fällen die Cotyledonen ebenso sicher als schlafend bezeichnet werden, wie die Blätter irgend einer

Pflanze. In zwei Fällen, nämlich bei dem Kohl und bei dem Rettig, deren Cotyledonen während der ersten wenigen Nächte ihres Lebens beinahe senkrecht emporsteigen, wurde dadurch, dass junge Sämlinge in den Klinostat gebracht wurden, ermittelt, dass die Aufwärtsbewegung keine Folge des Apogeotropismus sei.

Die Namen der Pflanzen, deren Cotyledonen des Nachts unter einem Winkel von mindestens 60° gegen den Horizont stehen, sind in der beifolgenden Liste nach demselben System angeordnet, welches schon früher befolgt wurde. Es sind die Zahlen der Familien und bei den Leguminosen die Zahlen der Tribus hinzugefügt worden, um zu zeigen, wie weit die in Rede stehenden Pflanzen durch die Reihe der Dicotyledonen verbreitet sind. Einige wenige Bemerkungen werden über viele der Pflanzen in der Liste gemacht werden müssen. Dabei wird es zweckmässig sein, nicht streng irgend einer systematischen Ordnung zu folgen, sondern von Oxalideen und den Leguminosen am Schlusse zu sprechen; denn in diesen zwei Familien sind die Cotyledonen meist mit einem Polster versehen, und ihre Bewegungen dauern eine viel längere Zeit an, als die der anderen Pflanzen in der Liste.

Liste von Sämlingspflanzen, deren Cotyledonen des Nachts sich bis zu einem Winkel von mindestens 60° über oder unter den Horizont erheben oder senken.

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Brassica oleracea</i> . Cruciferae (Fam. 14). | <i>Clianthus Dampieri</i> . Leguminosae |
| „ <i>napus</i> . (Wie uns Prof. PFEFFER mitgetheilt hat.) | (Trib. V). — Nach Mr. RAMEY. |
| <i>Raphanus sativus</i> . Cruciferae | <i>Smithia sensitiva</i> . Leguminosae (Trib. |
| <i>Githago segetum</i> . Caryophylleae (Fam. 26). | VI). |
| <i>Stellaria media</i> (nach HOFMEISTER, wie oben angeführt.) Caryophylleae. | <i>Haematoxylon Campechianum</i> . Leguminosae (Trib. XIII). Nach Mr. R. I. LYNCH. |
| <i>Anoda Wrightii</i> . Malvaceae (Fam. 36). | <i>Cassia mimosoides</i> . Leguminosae (Trib. XIV). |
| <i>Grossypium</i> (var. Nankin-Baumwolle). Malvaceae. | „ <i>glauca</i> . |
| <i>Oxalis rosea</i> . Oxalidae (Fam. 41). | „ <i>florida</i> . |
| „ <i>floribunda</i> . | „ <i>corymbosa</i> . |
| „ <i>articulata</i> . | „ <i>pubescens</i> . |
| „ <i>Valdiviana</i> . | „ <i>tora</i> . |
| „ <i>sensitiva</i> . | „ <i>neglecta</i> . |
| <i>Geranium rotundifolium</i> . Geraniaceae (Fam. 47). | „ 3 andere unbenannte brasilianische Arten. |
| <i>Trifolium subterraneum</i> . Leguminosae (Fam. 75, Trib. III). | <i>Bauhinia</i> (sp. ?). Leguminosae (Trib. XV). |
| „ <i>strictum</i> . | <i>Neptunia oleracea</i> . Leguminosae (Trib. XX). |
| „ <i>leucanthemum</i> . | <i>Mimosa pudica</i> . Leguminosae (Trib. XXI). |
| <i>Lotus ornithopoides</i> . Leguminosae (Trib. IV). | „ <i>albida</i> . |
| „ <i>peregrinus</i> . | <i>Cucurbita ovifera</i> . Cucurbitaceae (Fam. 106). |
| „ <i>Jacobaeus</i> . | „ <i>aurantia</i> . |

Liste von Sämlingspflanzen. (Fortsetzung.)

<i>Lagenaria vulgaris.</i> Cucurbitaceae.	<i>Solanum lycopersicum.</i> Solaneae (Fam. 157).
<i>Cucumis dudaim.</i> Cucurbitaceae.	<i>Mimulus</i> (sp. ?). Scrophularineae (Fam. 159). — Nach Mittheilung von Prof. PFEFFER.
<i>Apium petroselinum.</i> Umbelliferae (Fam. 113).	<i>Mirabilis jalapa.</i> Nyctagineae (Fam. 177).
<i>graveolens.</i>	<i>longiflora.</i>
<i>Lactuca scariola.</i> Compositae (Fam. 122).	<i>Beta vulgaris.</i> Polygoneae (Fam. 179).
<i>Helianthus annuus</i> (?). Compositae.	<i>Amaranthus caudatus.</i> Amaranthaceae (Fam. 180).
<i>Ipomoea coerulea.</i> Convolvulaceae (Fam. 151).	<i>Cannabis sativa</i> (?). Cannabineae (Fam. 195).
<i>purpurea.</i>	
<i>bona-nox.</i>	
<i>coccinea.</i>	

Brassica oleracea (Cruciferae). — Im ersten Capitel ist gezeigt worden, dasz die Cotyledonen des gemeinen Kohls am Abend sich erheben und des Nachts senkrecht aufrecht stehen, wobei ihre Blattstiele in Berührung sind. Da aber die beiden Cotyledonen von ungleicher Höhe sind, so stören sie häufig ein wenig einander in ihren Bewegungen, wobei der kürzere häufig nicht vollständig senkrecht steht. Sie wachen zeitig am Morgen auf; so waren um 6.45 a. m. am 27. November, während es noch dunkel war, die Cotyledonen, welche am Abend vorher senkrecht und miteinander in Berührung gewesen waren, zurückgebogen und boten dadurch ein sehr verschiedenes Ansehen dar. Man musz im Sinne behalten, dasz Sämlinge beim Keimen in der gehörigen Jahreszeit zu dieser Stunde des Morgens nicht mehr der Dunkelheit ausgesetzt sind. Die obige Grösze der Bewegung der Cotyledonen ist nur zeitweise und dauert bei Pflanzen, die in einem warmen Gewächshause gehalten werden, von 4—6 Tagen; wie lange sie bei Sämlingen dauern würde, die im Freien wachsen, wissen wir nicht.

Raphanus sativus. — In der Mitte des Tages standen die Scheiben der Cotyledonen von zehn Sämlingen unter rechtem Winkel zu ihren Hypocotylen; die Stiele derselben divergirten ein wenig; des Nachts standen die Scheiben senkrecht, ihre Basen waren in Berührung und ihre Stiele parallel. Am nächsten Morgen um 6.45 a. m., während es noch dunkel war, waren die Scheiben horizontal; in der folgenden Nacht wurden sie bedeutend erhoben, standen aber kaum hinreichend senkrecht um sagen zu können, sie schiefen, und dies war in einem noch geringeren Grade in der dritten Nacht der Fall. Die Cotyledonen dieser Pflanzen (im Gewächshause gehalten) schlafen daher selbst eine noch kürzere Zeit als diejenigen des Kohls. Ähnliche Beobachtungen wurden, aber nur während eines einzigen Tages und einer einzigen Nacht, an 13 anderen Sämlingen angestellt, die gleichfalls im Gewächshause erzogen wurden und gleichfalls mit demselben Resultate.

Die Stiele der Cotyledonen von 11 jungen Sämlingen von *Sinapis nigra* divergirten um Mittag unbedeutend, und die Scheiben standen rechtwinklig zu den Hypocotylen; des Nachts waren die Stiele in dichter Berührung und die Scheiben beträchtlich erhöht; ihre Basen waren in Berührung, aber nur wenige standen hinreichend aufrecht, um schlafend genannt werden zu können. Am folgenden Morgen divergirten die Stiele,

ehe es hell war. Der Hypocotyl ist in unbedeutendem Grade empfindlich, so dasz, wenn er mit einer Nadel gerieben wird, er sich nach der geriebenen Seite biegt. Bei *Lepidium sativum* divergiren die Stiele der Cotyledonen junger Sämlinge während des Tages, und während der Nacht convergiren sie so, dasz sie einander berühren, durch welche Mittel die Basen der dreigetheilten Blattscheiben in Berührung gebracht werden. Aber die Scheiben werden so wenig erhöht, dasz man nicht sagen kann, sie schlafen. Die Cotyledonen mehrerer anderer Cruciferen-Pflanzen wurden beobachtet, aber sie erhoben sich während der Nacht nicht hinreichend, um schlafend genannt werden zu können.

Githago segetum (Caryophylleae). — Am ersten Tage, nachdem die Cotyledonen durch die Samenhüllen durchgebrochen waren, standen sie um Mittag unter einem Winkel von 75° über dem Horizont; des Nachts bewegten sie sich ein jeder durch einen Winkel von 15° aufwärts, so dasz sie vollständig senkrecht und in Berührung mit einander standen. Am zweiten Tage standen sie um Mittag 59° über dem Horizonte und waren des Nachts wieder vollständig geschlossen, so dasz jeder 31° sich erhoben hatte. Am vierten Tage schlossen sich die Cotyledonen des Nachts nicht vollständig. Das erste und die folgenden Paare junger, echter Blätter benahmen sich in genau derselben Art und Weise. Wir glauben, dasz die Bewegung in diesem Falle nyctitropisch genannt werden kann, obschon der durchmessene Winkel klein war. Die Cotyledonen sind gegen das Licht sehr empfindlich und breiten sich nicht aus, wenn sie einem äusserst trüben Lichte ausgesetzt werden.

Anoda Wrightii (Malvaceae). — Solange die Cotyledonen mäsiz jung sind und nur von 0.2 bis 0.3 Zoll im Durchmesser messen, sinken sie am Abend aus ihrer mittäglichen horizontalen Stellung bis ungefähr 35° unter den Horizont. Als aber dieselben Sämlinge älter waren und kleine, echte Blätter hervorgebracht hatten, bewegten sich die beinahe kreisförmigen Cotyledonen, die jetzt 0.55 Zoll im Durchmesser hielten, des Nachts senkrecht abwärts. Diese Thatsache liesz uns vermuthen, dasz ihre Senkung einfach Folge ihres Gewichtes sein könnte; sie waren aber nicht im mindesten welk, und als sie aufgehoben wurden, sprangen sie durch Elasticität in ihre frühere herabhängende Stellung zurück. Ein Topf mit einigen alten Sämlingen wurde am Nachmittage mit der oberen Seite nach unten gekehrt, ehe das nächtliche Sinken begonnen hatte, und des Nachts nahmen sie in Gegenwirkung gegen ihr Gewicht (und gegen irgend eine geotropische Wirkung) eine nach oben gerichtete senkrechte Stellung ein. Wenn Töpfe in dieser Weise umgekehrt wurden, nachdem die abendliche Senkung bereits begonnen hatte, schien die Senkungsbewegung etwas gestört zu werden; aber ihre sämtlichen Bewegungen waren gelegentlich ohne irgend eine anscheinende Ursache variabel. Diese letztere Thatsache ebenso wie die, dasz die jungen Cotyledonen auch nicht nahezu so bedeutend sinken wie die älteren, verdient Beachtung. Obschon die Bewegung der Cotyledonen eine Zeit lang anhielt, war äusserlich doch kein Polster sichtbar; aber ihr Wachsthum dauerte eine lange Zeit fort. Die Cotyledonen erscheinen nur unbedeutend heliotropisch, obschon der Hypocotyl es sehr stark ist.

Gossypium arboreum (?) (Var. Nanking-Baumwolle) (Malvaceae). — Die Cotyledonen benahmen sich in nahezu derselben Weise wie die von *Anoda*. Am 15. Juni waren die Cotyledonen zweier Sämlinge 0.65 Zoll lang (der Mittelrippe entlang gemessen) und standen um Mittag horizontal; um 10 p. m. nahmen sie dieselbe Stellung noch ein und waren durchaus nicht gesunken. Am 23. Juni waren die Cotyledonen eines dieser Sämlinge 1.1 Zoll lang, und um 10 p. m. waren sie aus einer horizontalen Stellung bis 62° unter den Horizont gesunken. Die Cotyledonen des andern Sämlings waren 1.3 Zoll lang und ein minutiöses Blatt war gebildet worden; sie hatten sich um 10 p. m. bis 70° unter den Horizont gesenkt. Am 25. Juni war das echte Blatt dieses letzteren Sämlings 0.9 Zoll lang, und die Cotyledonen nahmen nahezu dieselbe Stellung des Nachts ein. Am 9. Juli erschienen die Cotyledonen sehr alt und zeigten Spuren von Verwelken; sie standen aber des Mittags beinahe horizontal und hiengen um 10 p. m. senkrecht herab.

Gossypium herbaceum. — Es ist merkwürdig, dass die Cotyledonen dieser Species von denen der letzteren sich verschieden benahmen. Sie waren während sechs Wochen von ihrer ersten Entwicklung an bis zu einer sehr bedeutenden Größe (noch immer frisch und grün erscheinend), nämlich bis zu $2\frac{1}{2}$ Zoll in der Breite herangewachsen. In diesem Alter war ein echtes Blatt entwickelt worden, welches mit seinem Stiele 2 Zoll lang war. Während dieser ganzen sechs Wochen sanken die Cotyledonen des Nachts nicht; jedoch war, als sie alt waren, ihr Gewicht beträchtlich, und sie wurden von sehr verlängerten Blattstielen getragen. Sämlinge aus Samen erzogen, der uns von Neapel geschickt worden war, benahmen sich in derselben Weise; wie es auch diejenigen einer in Alabama cultivirten Art und der Sea-island-Baumwolle thaten. Zu welcher Art diese drei letzteren Formen gehören, wissen wir nicht. Bei der Baumwolle von Neapel konnten wir nicht ausfindig machen, dass die Stellung der Cotyledonen des Nachts dadurch beeinflusst wurde, dass der Boden mehr oder weniger trocken war; es war Sorge dafür getroffen, dass sie nicht durch ein Zutrocknen welken würden. Das Gewicht der groszen Cotyledonen der Alabama- und Sea-island-Art verursachte es, dass sie etwas nach abwärts hiengen, wenn die Töpfe, in welchen sie wuchsen, eine Zeit lang mit der Oberseite nach unten gekehrt wurden. Es ist indessen zu beachten, dass diese drei Arten in der Mitte des Winters gezogen wurden, was zuweilen die ordentlichen nyctitropischen Bewegungen der Blätter und Cotyledonen stört.

Cucurbitaceae. — Die Cotyledonen von *Cucurbita aurantia* und *ovifera* und von *Lagenaria vulgaris* stehen vom ersten bis zum dritten Tage ihres Lebens ungefähr 60° über dem Horizont und erheben sich des Nachts so, dass sie senkrecht und in dichter Berührung einer mit dem andern stehen. Bei *Cucumis dudaim* standen sie des Mittags 45° über dem Horizont und schlossen sich des Nachts. Die Spitzen der Cotyledonen aller dieser Species sind indessen zurückgebogen, so dass dieser Theil dem Zenithe des Nachts vollständig exponirt ist, und diese Thatsache steht der Annahme entgegen, dass die Bewegung von derselben Natur ist wie die der schlafenden Pflanzen. Nach den ersten zwei oder drei Tagen divergiren die Cotyledonen während des Tages mehr und hören auf sich des

Nachts zu schlieszen. Diejenigen von *Trichosanthes anguina* sind etwas dick und fleischig und erheben sich des Nachts nicht, auch hätte man kaum erwarten können, dasz sie dies thäten. Auf der andern Seite bieten diejenigen von *Acanthosicyos horrida*¹⁵ in ihrer Erscheinung nichts dar, was ihrer Bewegung des Nachts in derselben Art wie bei den vorhergehenden Species entgegenstehen könnte, und doch erheben sie sich nicht in irgend einer deutlichen Art und Weise. Diese Thatsache führt zu der Annahme, dasz die nächtlichen Bewegungen der obengenannten Species für irgend einen speciellen Zweck erlangt worden sein werden, welcher darin bestehen mag, die junge Plumula gegen Strahlung zu schützen, und zwar durch die dichte Berührung der ganzen basalen Partie der zwei Cotyledonen.

Geranium rotundifolium (Geraniaceae). — Ein einzelner Sämling gieng zufällig in einem Topfe auf, und seine Cotyledonen bogen sich, wie beobachtet wurde, während mehrerer aufeinanderfolgender Nächte senkrecht abwärts, während sie Mittags horizontal gewesen waren. Er wuchs zu einer schönen Pflanze heran, starb aber vor dem Blühen ab; er wurde nach Kew geschickt und mit Sicherheit für ein *Geranium* und in aller Wahrscheinlichkeit für die oben genannte Species erklärt. Dieser Fall ist merkwürdig, weil die Cotyledonen von *G. cinereum*, *Endressii*, *ibericum*, *Richardsoni* und *subcaulescens* während einiger Wochen im Winter beobachtet wurden, und sie senkten sich nicht, während diejenigen von *G. ibericum* des Nachts 27⁰ stiegen.

Apium petroselinum (Umbelliferae). — Die Cotyledonen eines Sämlings (22. Nov.) waren während des Tages beinahe vollständig ausgebreitet; um 8.30 p. m. hatten sie sich beträchtlich erhoben, und um 10.30 p. m. waren sie beinahe geschlossen; ihre Spitzen standen nur $\frac{1}{160}$ Zoll von einander. Am folgenden Morgen (23.) waren die Spitzen $\frac{1}{160}$ Zoll von einander oder mehr als sieben mal so viel. In der nächsten Nacht nahmen die Cotyledonen nahezu dieselbe Stellung ein wie vorher. Am Morgen des 24. standen sie horizontal, und des Nachts waren sie 60⁰ über dem Horizont; und dies war auch in der Nacht vom 25. der Fall; aber vier Tage später (am 29.), wo die Sämlinge eine Woche alt waren, hatten die Cotyledonen aufgehört sich des Nachts in irgend einem deutlichen Grade zu erheben.

Apium graveolens. — Die Cotyledonen standen Mittags horizontal und um 10 p. m. unter einem Winkel von 61⁰ über dem Horizont.

Lactuca scariola (Compositae). — So lange die Cotyledonen jung waren, standen sie während des Tags subhorizontal und erhoben sich des Nachts so, dasz sie beinahe senkrecht waren; einige waren vollkommen senkrecht und geschlossen. Aber diese Bewegung hörte auf, als sie nach Verlauf von 11 Tagen alt und grosz geworden waren.

Helianthus annuus (Compositae). — Dieser Fall ist ziemlich zweifelhaft: die Cotyledonen erhoben sich des Nachts und standen bei

¹⁵ Diese Pflanze aus dem Dammara-Lande in S. Africa, ist deshalb merkwürdig, dasz sie die einzige bekannte Form aus dieser Familie ist, welche nicht klettert; sie ist in den *Transact. Linn. Soc. Vol. XXVII. p. 30.* beschrieben worden.

einer Gelegenheit 73° über dem Horizont, so dasz man dann wohl hätte sagen können, dasz sie schlafen.

Ipomoea coerulea vel *Pharbitis nil* (Convolvulaceae). — Die Cotyledonen benahmen sich in nahezu derselben Art und Weise, wie die von *Anoda* und der Nanking-Baumwolle, und wuchsen gleich ihnen zu einer bedeutenden Grösze. So lange sie jung und klein waren, so dasz ihre Scheiben, der Mitte entlang bis zu der Basis ihres centralen Einschnittes gemessen, von 0.5 bis 0.6 Zoll lang waren, blieben sie sowohl während der Mitte des Tages als des Nachts horizontal. Wie sie an Grösze zunahmen, fiengen sie am Abend und in der frühen Nacht immer mehr und mehr zu sinken an; und als sie bis zu einer Länge (in der obigen Art gemessen) von 1 bis 1.25 Zoll gewachsen waren, sanken sie zwischen 55° und 70° unter den Horizont. Sie thaten dies indessen nur, wenn sie während des Tages gut beleuchtet worden waren. Trotzdem haben die Cotyledonen sehr wenig oder gar kein Vermögen sich nach einem seitlichen Lichte hinzubiegen, obschon der Hypocotyl stark heliotropisch ist. Sie sind nicht mit einem Kissen versehen, fahren aber eine lange Zeit zu wachsen fort.

Ipomoea purpurea (vel *Pharbitis hispida*). — Die Cotyledonen benahmen sich in jeder Beziehung wie die von *I. coerulea*. Ein Sämling mit Cotyledonen, welche 0.75 Zoll in der Länge (wie früher gemessen) und 1.65 Zoll in der Breite grosz waren, an welchem ferner ein kleines echtes Blatt entwickelt war, wurde um 5.30 p. m. in einem verdunkelten Kasten auf den Klinostat gestellt, so dasz weder das Gewicht noch Geotropismus auf ihn einwirken konnte. Um 10 p. m. stand der eine Cotyledon 77° und der andere 82° unter dem Horizont. Ehe sie in den Klinostat gebracht wurden, standen sie zwischen 15° und 29° unter dem Horizont. Die nächtliche Stellung hängt hauptsächlich von der Krümmung des Blattstiels dicht an der Scheibe ab, aber der ganze Stiel wird unbedeutend abwärts gekrümmt. Es verdient Beachtung, dasz Sämlinge dieser und der zuletzt genannten Species gegen Ende Februar und ein anderer Satz in der Mitte des März gezogen wurden, und die Cotyledonen boten in keinem dieser Fälle irgend eine nyctitropische Bewegung dar.

Ipomoea bona-nox. — Die Cotyledonen wuchsen nach einigen wenigen Tagen zu einer enormen Grösze heran; die an einem jungen Sämling waren $3\frac{1}{4}$ Zoll breit. Sie waren Mittags horizontal ausgebreitet und standen um 10 p. m. 63° unter dem Horizont. Fünf Tage später waren sie $4\frac{1}{2}$ Zoll breit, und einer stand des Nachts 64° und der andere 48° unter dem Horizont. Obschon die Blattscheiben dünn sind, so glaubten wir doch wegen ihrer bedeutenden Grösze und weil die Stiele lang sind, dasz ihre Depression des Nachts durch ihr Gewicht bestimmt werde; als aber der Topf horizontal umgelegt war, wurden sie nach dem Hypocotyl hin gekrümmt, welche Bewegung nicht im geringsten durch ihr Gewicht unterstützt worden sein konnte, und wurden gleichzeitig etwas in Folge des Apogeotropismus nach oben gedreht. Nichts desto weniger ist das Gewicht der Cotyledonen insoweit von Einfluss, dasz, als in einer andern Nacht der Topf mit der oberen Seite nach unten gekehrt wurde, sie unfähig waren sich zu erheben und damit ihre gehörige Nachtstellung anzunehmen.

Ipomoea coccinea. — So lange die Cotyledonen jung sind, senken sie sich des Nachts nicht, wenn sie aber etwas älter geworden sind, aber nur noch 0.4 Zoll lang (wie vorher gemessen) und 0.82 breit, wurden sie bedeutend herabgedrückt. In einem Falle standen sie des Mittags horizontal, und um 10 Uhr p. m. stand einer von ihnen 64° und der andere 47° unter dem Horizont. Die Blattscheiben sind dünn, und die Stiele, welche des Nachts bedeutend nach unten gekrümmt werden, sind kurz, so dass das Gewicht hier kaum irgend eine Wirkung hervorgebracht haben kann. Wenn bei sämtlichen oben erwähnten Species von *Ipomoea* die zwei Cotyledonen an einem und demselben Sämlinge des Nachts ungleich niedergedrückt waren, so schien dies von der Stellung abzuhängen, welche sie während des Tages in Bezug auf das Licht eingenommen hatten.

Solanum lycopersicum (Solaneae). — Die Cotyledonen erheben sich des Nachts so bedeutend, dass sie beinahe in Berührung kommen. Diejenigen von *S. palinacanthum* waren des Mittags horizontal und hatten sich um 10 Uhr p. m. nur $27^{\circ} 30'$ erhoben; aber am folgenden Morgen, ehe es hell wurde, standen sie 59° über dem Horizont und waren am Nachmittage des nämlichen Tages wieder horizontal. Das Benehmen der Cotyledonen dieser letzteren Species scheint daher abnorm zu sein.

Mirabilis Jalapa und *longiflora* (Nyctagineae). — Die Cotyledonen, welche von ungleicher Grösze sind, stehen während der Mitte des Tages horizontal und erheben sich des Nachts senkrecht und kommen mit einander in dichte Berührung. Diese Bewegung dauerte aber bei *M. longiflora* nur die ersten drei Nächte.

Beta vulgaris (Polygoneae). — Es wurde bei drei Gelegenheiten eine grosse Zahl von Sämlingen beobachtet. Während des Tages standen zuweilen die Cotyledonen subhorizontal, aber gewöhnlich unter einem Winkel von ungefähr 50° über dem Horizonte, und während der ersten zwei oder drei Nächte erhoben sie sich senkrecht, so dass sie vollständig geschlossen waren. Während der folgenden einen oder zwei Nächte erhoben sie sich nur ein wenig und später überhaupt kaum.

Amaranthus caudatus (Amaranthaceae). — Um Mittag standen die Cotyledonen vieler Sämlinge, welche eben gekeimt hatten, ungefähr 45° über dem Horizont, und um 10.15 p. m. waren einige beinahe und andere vollständig geschlossen. Am folgenden Morgen waren sie wieder gut ausgebreitet oder geöffnet.

Cannabis sativa (Cannabineae). — Wir sind sehr zweifelhaft, ob diese Pflanze mit hierher gerechnet werden muss. Die Cotyledonen einer grossen Anzahl von Sämlingen waren, nachdem sie während des Tags gut beleuchtet waren, des Nachts abwärts gekrümmt, so dass die Spitzen von einigen direct auf den Boden wiesen; aber der basale Theil schien durchaus nicht niedergedrückt zu sein. Am folgenden Morgen waren sie wiederum eben und horizontal. Die Cotyledonen vieler anderen Sämlinge waren zu derselben Zeit in keiner Weise afficirt. Es scheint daher dieser Fall von dem des gewöhnlichen Schlafes sehr verschieden zu sein und fällt wahrscheinlich unter das Capitel der Epinastie, wie es nach der Angabe von KRAUS mit den Blättern dieser Pflanze der Fall ist. Die Cotyledonen sind heliotropisch, und dasselbe ist auch in einem noch stärkeren Grade der Hypocotyl.

Oxalis. — Wir kommen nun zu Cotyledonen, die mit einem Polster versehen sind, welche sämmtlich wegen der Fortdauer der nächtlichen Bewegungen durch mehrere Tage oder selbst Wochen und allem Anschein nach, nachdem das Wachsthum aufgehört hat, merkwürdig sind. Die Cotyledonen von *O. rosea*, *floribunda* und *articulata* senken sich des Nachts senkrecht abwärts und umfassen den oberen Theil des Hypocotyls. Diejenigen von *O. Valdiviana* und *sensitiva* erheben sich im Gegentheil senkrecht nach oben, so dasz ihre oberen Flächen in dichte Berührung kommen; und nachdem die jungen Blätter entwickelt sind, werden dieselben von den Cotyledonen umfasst. Da sie am Tage horizontal stehen oder selbst ein wenig unter den Horizont niedergebeugt sind, bewegen sie sich am Abend durch einen Winkel von mindestens 90° . Ihre complicirten Circumnutationsbewegungen während des Tags sind im ersten Capitel beschrieben worden. Der Versuch war ein überflüssiger, aber es wurden Töpfe mit Sämlingen von *O. rosea* und *floribunda* mit der oberen Seite nach unten gekehrt, so bald die Cotyledonen anfingen irgend ein Zeichen von Schlaf darzubieten, und dies brachte in ihren Bewegungen keine Verschiedenheit hervor.

Leguminosae. — Aus unserer Liste ist zu ersehen, dasz die Cotyledonen verschiedener Species in neun Gattungen, die sehr weit durch die Familie vertheilt sind, des Nachts schlafen, und dies ist wahrscheinlich bei vielen anderen noch der Fall. Die Cotyledonen aller dieser Species sind mit einem Polster versehen, und die Bewegung wird bei allen während mehrerer Tage oder Wochen fortgesetzt. Bei *Cassia* erheben sich die Cotyledonen der zehn Species in der Liste des Nachts senkrecht nach oben und kommen miteinander in dichte Berührung. Wir beobachteten, dasz diejenigen von *C. florida* sich am Morgen etwas später als diejenigen von *C. glauca* und *pubescens* öffneten. Die Bewegung ist genau dieselbe bei *C. mimosoides*, wie in den anderen Species, obgleich ihre später entwickelten Blätter in einer verschiedenen Art schlafen. Die Cotyledonen einer elften Species, nämlich *C. nodosa*, sind dick und fleischig und erheben sich des Nachts nicht. Die Circumnutation der Cotyledonen während des Tages von *C. tora* ist im ersten Capitel beschrieben worden. Obgleich die Cotyledonen von *Smithia sensitiva* sich aus einer in der Mitte des Tages horizontalen Stellung des Nachts zu einer senkrechten erhoben, schliefen diejenigen von *S. Pfundii*, welche dick und fleischig sind, nicht. Wenn *Mimosa pudica* und *albida* während des Tags in einer hinreichend hohen Temperatur gehalten worden sind, kommen die Cotyledonen des Nachts in dichte Berührung, im anderen Falle erheben sie sich bloz beinahe senkrecht. Die Circumnutation derjenigen von *M. pudica* ist bereits beschrieben worden. Die Cotyledonen einer *Bauhinia* von St. Catharina in Brasilien standen während des Tags in einem Winkel von ungefähr 50° über dem Horizont und erhoben sich des Nachts bis auf 77° ; es ist aber wahrscheinlich, dasz sie sich völlig geschlossen haben würden, wenn die Sämlinge an einem wärmeren Orte gehalten worden wären.

Lotus. — Bei drei Species von *Lotus* wurden die Cotyledonen als schlafend beobachtet. Diejenigen von *L. Jacobaeus* bieten den eigenthümlichen Fall dar, dasz sie sich in den ersten fünf oder sechs Tagen ihres Lebens des Nachts nicht in irgend einer augenfälligen Weise erheben, und

in dieser Zeit ist das Polster nicht ordentlich entwickelt. Später ist die Schlafbewegung ordentlich ausgebildet, obschon in einem schwankenden Grade, und wird lange fortgesetzt. Wir werden später noch einen beinahe parallelen Fall bei den Blättern von *Sida rhombifolia* kennen lernen. Die Cotyledonen von *L. Gebelii* werden des Nachts nur unbedeutend erhoben und weichen in dieser Beziehung von den drei Species in unserer Liste ab.

Trifolium. — Es wurde die Keimung von 21 Species beobachtet. In den meisten von ihnen erhoben sich die Cotyledonen kaum irgendwie oder nur unbedeutend des Nachts; aber diejenigen von *T. glomeratum*, *striatum* und *incarnatum* stiegen von 45° bis 55° über dem Horizont. Bei *T. subterraneum*, *leucanthemum* und *strictum* standen sie vertical nach oben, und bei *T. strictum* wird die hebende Bewegung, wie wir sehen werden, von einer anderen Bewegung begleitet, welche uns zu der Annahme veranlaszt, dasz die Erhebung wirklich nyctitropisch ist. Wir untersuchten nicht sorgfältig die Cotyledonen aller Species auf ein Polster, aber das Organ war an denen von *T. subterraneum* und *strictum* deutlich vorhanden, während in einigen Species, so z. B. in *T. resupinatum*, deren Cotyledonen des Nachts sich nicht erhoben, keine Spur eines Polsters vorhanden war.

Trifolium subterraneum. — Die Scheiben der Cotyledonen waren am ersten Tage nach der Keimung (21. Nov.) nicht vollständig ausgebreitet. Sie waren ungefähr 35° über den Horizont aufgerichtet; des Nachts erhoben sie sich zu ungefähr 75° . Zwei Tage später waren die Scheiben um Mittag horizontal und die Stiele hoch nach oben aufgerichtet. Es ist merkwürdig, dasz die nächtliche Bewegung beinahe gänzlich auf die Scheiben beschränkt ist, da sie durch das Polster an ihren Basen ausgeführt wird, während die Blattstiele Tag und Nacht nahezu dieselbe Neigung beibehalten. In dieser Nacht (23. Nov.) und in einigen wenigen darauffolgenden Nächten erhoben sich die Scheiben aus einer horizontalen in eine senkrechte Stellung und wurden dann unter einem Winkel von im Mittel 10° nach innen gebogen, so dasz sie einen Winkel von 100° durchlaufen hatten. Jetzt berührten sich ihre Spitzen beinahe, während ihre Basen unbedeutend divergirt. Die zwei Scheiben bildeten in dieser Weise ein hochgeneigtes Dach über der Axe des Sämlings. Diese Bewegung ist die nämliche, wie die des terminalen Blättchens der dreigetheilten Blätter vieler Species von *Trifolium*. Nach einem Intervall von acht Tagen (29. Nov.) waren die Scheiben während des Tags horizontal und des Nachts senkrecht, und nun wurden sie nicht länger mehr einwärts gebogen. Sie fuhren während der zwei folgenden Monate in derselben Art sich zu bewegen fort, in welcher Zeit sie bedeutend an Grösze zugenommen hatten; ihre Stiele waren nicht weniger als 0.8 Zoll lang, und es hatten sich um diese Zeit zwei echte Blätter entwickelt.

Trifolium strictum. — Am ersten Tage nach der Keimung standen die Cotyledonen, welche mit einem Polster versehen sind, des Mittags horizontal und erhoben sich des Nachts bis nur ungefähr 45° über den Horizont. Vier Tage später wurden die Sämlinge wiederum des Nachts beobachtet, und nun standen die Scheiben senkrecht und waren in Berührung, mit Ausnahme der Spitzen, welche bedeutend niedergebogen waren, so dasz sie nach dem Zenith hinsahen. In diesem Alter sind die

Stiele aufwärts gekrümmt, und es bilden die zwei Stiele des Nachts, wenn die Basen der Scheibe in Berührung sind, zusammen einen senkrecht die Plumula umgebenden Ring. Die Cotyledonen führen acht oder zehn Tage von der Periode der Keimung an in nahezu derselben Art sich zu bewegen fort; aber die Stiele waren um diese Zeit gerade geworden und hatten bedeutend an Länge zugenommen. Nach zwölf bis vierzehn Tagen war das erste einfache Blatt gebildet worden, und während der folgenden vierzehn Tage wurde eine merkwürdige Bewegung wiederholt beobachtet.

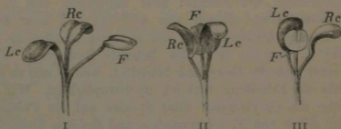


Fig. 125. *Trifolium strictum*: Tages- und Nachtstellungen der zwei Cotyledonen und des ersten Blattes. I. Sämling, schräg von oben gesehen, während des Tages: *Rc* rechter Cotyledon, *Lc* linker Cotyledon; *F* erstes echtes Blatt. II. Ein etwas jüngerer Sämling, des Nachts gesehen: *Rc* rechter Cotyledon, erhoben, seine Stellung aber sonst nicht verändert; *Lc* linker Cotyledon erhoben und seitlich gedreht; *F* echtes Blatt erhoben und gedreht, so dass es dem linken gedrehten Cotyledon gegenüber ist. III. Derselbe Sämling, des Nachts von der entgegengesetzten Seite gesehen. Es wird hier der Rücken des ersten Blattes *F* gezeigt, anstatt wie bei II. die Vorderseite.

Bei I (Fig. 125) haben wir eine Skizze eines ungefähr vierzehn Tage alten Sämlings, die in der Mitte des Tags angefertigt wurde. Die zwei Cotyledonen, von denen *Rc* der rechte ist und *Lc* der linke, stehen direct einander gegenüber, und das erste echte Blatt (*F*) springt rechtwinklig auf sie vor. Des Nachts (s. II und III) ist der rechte Cotyledon (*Rc*) bedeutend erhoben, aber in seiner Stellung sonst nicht verändert. Der linke Cotyledon (*Lc*) ist gleicherweise erhoben, ist aber auch gedreht, so dass seine Scheibe, anstatt genau die gegenüberliegende anzusehen, nun nahezu rechtwinklig zu dieser steht. Diese nächtliche drehende Bewegung wird nicht mittelst des Polsters ausgeführt, sondern durch das Drehen des Stiels in seiner ganzen Länge, wie aus der gekrümmten Linie seiner oberen concaven Fläche zu ersehen war. Zu derselben Zeit erhebt sich das echte Blatt (*F*), so dass es senkrecht steht oder selbst die Senkrechte überschreitet und ein wenig nach innen geneigt ist. Auch dieses dreht sich ein wenig, wodurch die obere Fläche seiner Scheibe der oberen Fläche des gedrehten linken Cotyledon gegenüber oder beinahe mit ihr in Berührung kommt. Dies scheint der durch diese eigenthümliche Bewegung erreichte Zweck zu sein. Im Ganzen wurden 20 Sämlinge in aufeinanderfolgenden Nächten beobachtet, und in 19 von ihnen war es der linke Cotyledon allein, welcher gedreht wurde, während das echte Blatt immer so gedreht wurde, dass seine obere Fläche dicht derjenigen des linken Cotyledon nahe kam und es ansah. Nur in einem Falle wurde der rechte Cotyledon gedreht und das echte Blatt nach ihm hingedreht; dieser Sämling befand sich aber in einem abnormen Zustande, da der linke Cotyledon sich des Nachts nicht gehörig erhob. Dieser ganze Fall ist merkwürdig, da wir bei den Cotyledonen keiner andern Pflanze irgend eine nächtliche Bewegung gesehen haben mit Ausnahme der senkrecht auf- oder abwärts. Es ist dies um so merkwürdiger, weil wir bei den Blättern der verwandten Gattung

Melilotus einen analogen Fall treffen werden, wo das terminale Blättchen des Nachts so rotirt, dasz es seinen Rand dem Zenith darbietet und sich gleichzeitig nach einer Seite hinbiegt, so dasz seine obere Fläche in Berührung mit der eines der zwei nun senkrecht gewordenen seitlichen Blättchen kommt.

Schlussbemerkungen über die nyctitropischen Bewegungen der Cotyledonen. — Der Schlaf der Cotyledonen scheint uns (obschon dies ein Gegenstand ist, dem wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden ist) eine häufigere Erscheinung zu sein als der der Blätter. Wir beobachteten die Stellung der Cotyledonen während des Tages und der Nacht in 153 Gattungen, die durch die Reihe der Dicotyledonen weit zerstreut sind, im übrigen aber beinahe nach Zufall ausgewählt wurden; und eine oder mehrere Species in 26 unter diesen Gattungen stellten ihre Cotyledonen des Nachts so, dasz sie senkrecht oder beinahe senkrecht standen, wobei sie sich meist durch einen Winkel von mindestens 60° bewegt hatten. Wenn wir die Leguminosen auf die eine Seite bringen, deren Cotyledonen besonders gern schlafen, so bleiben 140 Gattungen übrig, und unter diesen schliefen die Cotyledonen von mindestens einer Species in 19 Gattungen. Wenn wir nun nach dem Zufall 140 Gattungen auswählen sollten mit Ausschluss der Leguminosen und ihre Blätter des Nachts beobachteten, so würden sicher nicht nahezu soviel wie 19 zu finden sein, welche schlafende Species enthalten. Wir beziehen uns hier ausschliesslich auf die Pflanzen, die wir selbst beobachtet haben.

In unserer ganzen Liste von Sämlingen finden sich 30 Gattungen, zu 16 Familien gehörend, deren Cotyledonen bei einigen der Species sich am Abend oder zeitig in der Nacht erheben oder senken, so dasz sie mindestens 60° über oder unter dem Horizont stehen. In einer groszen Majorität der Gattungen, nämlich bei 24, ist die Bewegung eine hebende, so dasz die nämliche Richtung in diesen nyctitropischen Bewegungen vorherrscht, wie in den weniger periodischen, die im zweiten Capitel beschrieben wurden. Die Cotyledonen bewegen sich während des zeitigen Theils der Nacht nur in sechs unter den Gattungen abwärts, und in einer von ihnen, *Cannabis*, ist die Abwärtskrümmung der Spitze wahrscheinlich Folge der Epinastie, wie KRAUS glaubt, dasz es bei den Blättern der Fall ist. Die Abwärtsbewegung bis zum Betrage von 90° ist bei *Oxalis Valdiviana* und *sensitiva* und bei *Geranium rotundifolium* sehr ausgesprochen. Es ist eine

merkwürdige Thatsache, dasz bei *Anoda Wrightii*, einer Species von *Gossypium*, und mindestens drei Species von *Ipomoea* die Cotyledonen, solange sie jung und leicht sind, des Nachts sehr wenig oder durchaus gar nicht sinken, obschon diese Bewegung, sobald sie grosz und schwer geworden sind, gut ausgesprochen ist. Obgleich die Abwärtsbewegung nicht dem Gewichte der Cotyledonen in den verschiedenen Fällen, welche untersucht wurden, zugeschrieben werden kann, nämlich in denen von *Anoda*, *Ipomoea purpurea* und *bona-nox*, ebenso wenig in dem von *I. coccinea*, so dürfte doch, wenn wir uns daran erinnern, dasz die Cotyledonen beständig circumnutiren, eine unbedeutende Veranlassung zuerst es bestimmt haben, ob die grosze nächtliche Bewegung auf- oder abwärts gerichtet sein soll. Wir dürfen daher vermuthen, dasz in irgend einem ursprünglichen alten Gliede der in Frage stehenden Gruppe das Gewicht der Cotyledonen die Abwärtsrichtung bestimmt hat. Die Thatsache, dasz die Cotyledonen dieser Species, solange sie jung und zart sind, nicht so bedeutend abwärts sinken, scheint der Annahme entgegen zu sein, dasz die gröszere Bewegung, wenn sie älter geworden sind, zu dem Zwecke erlangt worden sei, sie gegen die Strahlung des Nachts zu schützen; wir müssen uns aber dann daran erinnern, dasz es viele Pflanzen gibt, deren Blätter schlafen, während die Cotyledonen es nicht thun; und wenn in einigen Fällen die Blätter gegen die Kälte des Nachts geschützt werden, während die Cotyledonen nicht geschützt werden, so dürfte es in anderen Fällen von gröszerer Bedeutung für die Species sein, dasz die nahezu voll ausgewachsenen Cotyledonen besser geschützt sind als die jüngeren.

In allen von uns beobachteten Species von *Oxalis* sind die Cotyledonen mit Polstern versehen; dies Organ ist aber bei *O. corniculata* mehr oder weniger rudimentär geworden, und der Betrag der Aufwärtsbewegung ihrer Cotyledonen des Nachts ist sehr schwankend, aber niemals grosz genug, um schlafend genannt werden zu können. Wir vergaszen es zu ermitteln, ob die Cotyledonen von *Geranium rotundifolium* Polster besitzen. Bei den Leguminosen sind alle die Cotyledonen, welche schlafen, soweit wir gesehen haben, mit Polstern versehen. Aber bei *Lotus Jacobaeus* sind dieselben während der ersten wenigen Tage des Lebens des Sämlings nicht vollständig entwickelt, und dann erheben sich auch die Cotyledonen nicht bedeutend des Nachts. Bei *Trifolium strictum* erheben sich die Scheiben der Cotyledonen des

Nachts mittelst ihrer Polster, während der Stiel eines Cotyledons sich zu derselben Zeit halb herum dreht, unabhängig von seinem Polster.

Als eine allgemeine Regel lässt sich sagen, dass Cotyledonen, welche mit Polstern versehen sind, während einer viel längeren Periode fortfahren des Nachts sich zu erheben oder zu senken als diejenigen, denen ein solches Organ fehlt. In diesem letzteren Falle hängt die Bewegung ohne Zweifel von dem abwechselnd stärkeren Wachsthum auf der oberen und unteren Seite des Stiels oder der Blattscheibe oder beider ab, welchem wahrscheinlich eine vermehrte Turgescenz der wachsenden Zellen vorausgeht. Derartige Bewegungen dauern meist eine sehr kurze Periode, beispielsweise bei *Brassica* und *Githago* vier oder fünf Nächte, bei *Beta* zwei oder drei, und bei *Raphanus* nur eine einzige Nacht. Es gibt indessen einige starke Ausnahmen von dieser Regel, da die Cotyledonen von *Gossypium*, *Anoda* und *Ipomoea* keine Polster besitzen und doch sich eine lange Zeit hindurch zu bewegen und zu wachsen fortfahren. Wir glaubten anfangs, dass, wenn die Bewegung nur zwei oder drei Nächte daure, sie für die Pflanze kaum von irgend einem Nutzen sein könne und kaum Schlaf genannt zu werden verdiene; da aber viele schnellwachsende Blätter nur einige wenige Nächte schlafen, und da Cotyledonen rapid entwickelt werden und ihr Wachsthum bald vollenden, so scheint uns dieser Zweifel nicht ordentlich begründet zu sein, ganz besonders, da diese Bewegungen in vielen Fällen so stark ausgesprochen sind. Wir wollen hier noch einen andern Punkt der Ähnlichkeit zwischen schlafenden Blättern und Cotyledonen erwähnen, nämlich, dass einige der letzteren (beispielsweise die von *Cassia* und *Githago*) leicht durch den Mangel an Licht afficirt werden; und dann schlieszen sie sich entweder nicht, oder wenn sie geschlossen sind, öffnen sie sich nicht; während andere (wie es bei den Cotyledonen von *Oxalis* der Fall ist) durch das Licht sehr wenig afficirt werden. Im nächsten Capitel wird gezeigt werden, dass die nyctitropischen Bewegungen sowohl der Cotyledonen als Blätter in einer modificirten Form von Circumnutation bestehen.

Da bei den Leguminosen und Oxalideen die Blätter und Cotyledonen der nämlichen Species meistens schlafen, kam uns anfangs ganz natürlich die Idee, dass der Schlaf der Cotyledonen einfach eine frühe Entwicklung einer Gewohnheit sei, die einem vorgeschritteneren Lebensalter angehörig war. Aber keine derartige Erklärung kann zugelassen

werden, obschon ein gewisser Zusammenhang zwischen den beiden Gruppen von Fällen zu bestehen scheint, wie sich schon hätte erwarten lassen. Denn die Blätter vieler Pflanzen schlafen, während ihre Cotyledonen nicht schlafen — von welcher Thatsache *Desmodium gyrans* ein gutes Beispiel darbietet, wie es gleichfalls drei Species von *Nicotiana*, die wir beobachtet haben, thun, auch *Sida rhombifolia*, *Abutilon Darwinii* und *Chenopodium album*. Auf der anderen Seite schlafen die Cotyledonen einiger Pflanzen und nicht die Blätter, wie es bei den Species von *Beta*, *Brassica*, *Geranium*, *Apium*, *Solanum* und *Mirabilis*, die in unserer Liste genannt sind, der Fall ist. Noch auffallender ist die Thatsache, dasz in einem und demselben Genus die Blätter mehrerer oder sämtlicher Species schlafen können, aber die Cotyledonen nur bei einigen unter ihnen, wie es bei *Trifolium*, *Lotus*, *Gossypium* und theilweise bei *Oxalis* eintritt. Wenn ferner beide, sowohl die Cotyledonen, als die Blätter einer und derselben Pflanze schlafen, können ihre Bewegungen von einer durchaus unähnlichen Natur sein: so erheben sich bei *Cassia* die Cotyledonen des Nachts senkrecht nach aufwärts, während ihre Blätter abwärts sinken und sich so drehen, dasz sie ihre unteren Flächen nach oben kehren. Bei Sämlingen von *Oxalis Valdiviana*, die zwei oder drei gut entwickelte Blätter hatten, war es ein merkwürdiger Anblick des Nachts ein jedes Blättchen ein wenig gefaltet und senkrecht abwärts hängend zu sehen, während zu derselben Zeit und an der nämlichen Pflanze die Cotyledonen senkrecht aufwärts standen.

Diese verschiedenen Thatsachen, welche die Unabhängigkeit der nächtlichen Bewegungen der Blätter und Cotyledonen an einer und derselben Pflanze und an Pflanzen, die der nämlichen Gattung angehören, nachweisen, führt uns zu der Annahme, dasz die Cotyledonen ihr Bewegungsvermögen zu irgend einem speciellen Zwecke erlangt haben. Andere Thatsachen leiten zu derselben Folgerung, wie das Vorhandensein von Polstern, mittelst deren die nächtliche Bewegung während mehrerer Wochen fortgesetzt wird. Bei *Oxalis* bewegen sich die Cotyledonen einiger Species senkrecht aufwärts und die anderer senkrecht abwärts des Nachts; aber diese grosze Verschiedenheit einer und derselben natürlichen Gattung ist nicht so überraschend, als es auf den ersten Blick scheinen könnte, wenn man sieht, dasz die Cotyledonen aller Species während des Tags beständig auf und nieder oscilliren, so dasz eine geringe Veranlassung es bestimmen kann, ob

sie des Nachts sich erheben oder senken sollen. Ferner die eigenthümliche nächtliche Bewegung des linksseitigen Cotyledonen von *Trifolium strictum* in Verbindung mit der des ersten echten Blattes. Endlich die weite Verbreitung der Pflanzen mit Cotyledonen, welche schlafen, durch die Reihe der Dicotyledonen. Überlegen wir uns diese verschiedenen Thatsachen, so scheint unsere Schlussfolgerung gerechtfertigt, dasz die nyctitropischen Bewegungen der Cotyledonen, durch welche die Blattscheibe sich des Nachts entweder senkrecht oder beinahe senkrecht nach aufwärts oder nach abwärts zu stellen veranlaszt wird, mindestens in den meisten Fällen zu irgend einem speciellen Zwecke erlangt worden sind; auch können wir nicht daran zweifeln, dasz dieser Zweck der Schutz der oberen Fläche der Scheibe und vielleicht der centralen Knospe oder der Plumula gegen die Strahlung des Nachts ist.

Siebentes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Nyctitropische oder Schlafbewegungen der Blätter.

Für diese Bewegungen nothwendige Bedingungen. — Liste der Gattungen und Familien, welche schlafende Pflanzen enthalten. — Beschreibung der Bewegungen in mehreren Gattungen. — *Oxalis*: Blättchen des Nachts gefaltet. — *Averrhoa*: rapide Bewegungen der Blättchen. — *Portieria*: Blättchen schlieszen sich, wenn die Pflanze sehr trocken gehalten wird. — *Tropaeolum*: Blätter schlafen nicht, wenn sie während des Tages nicht gut beleuchtet worden sind. — *Lupinus*: Verschiedene Weisen des Schlafs. — *Melilotus*: eigenthümliche Bewegungen des terminalen Blättchens. — *Trifolium*. — *Desmodium*: rudimentäre seitliche Blättchen, deren Bewegungen, an jungen Pflanzen nicht entwickelt; Polster. — *Cassia*: complicirte Bewegungen der Blättchen. — *Bauhinia*: Blättchen des Nachts gefaltet. — *Mimosa pudica*: zusammengesetzte Bewegungen der Blätter, eine Wirkung der Dunkelheit. — *Mimosa albida*: verkümmerte Blättchen. — *Schrankia*: Abwärtsbewegung der Fiedern. — *Marsilea*: die einzige cryptogame Pflanze von der bekannt ist, dass sie schläft. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung. — Nyctitropismus besteht in modificirter Circumnutation, durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit regulirt. — Gestalt der ersten wahren Blätter.

Wir kommen nun zu den nyctitropischen oder Schlafbewegungen der Blätter. Wir erinnern den Leser daran, dass wir diesen Ausdruck auf Blätter beschränken, welche ihre Blattscheiben des Nachts entweder in eine senkrechte Stellung oder doch nicht mehr als unter einem Winkel von 30° von der Senkrechten ab stellen, d. h. mindestens 60° über oder unter den Horizont. In einigen wenigen Fällen wird dies durch die Rotation der Blattscheiben bewirkt, während der Blattstiel in irgend einer beträchtlichen Ausdehnung weder erhoben noch gesenkt wird. Die Grenzbestimmung von 30° von der Senkrechten ist augenscheinlich eine willkürliche und ist aus früher mitgetheilten Gründen gewählt worden, nämlich weil, wenn die Blattscheibe sich der Senkrechten bis zu diesem Grade nähert, nur halb so viel von der

Oberfläche des Nachts dem Zenith und der freien Strahlung ausgesetzt wird als wenn die Blattscheibe horizontal steht. Nichtsdestoweniger sind in einigen wenigen Fällen Blätter, welche durch ihren Bau daran verhindert zu sein scheinen, sich in einer so bedeutenden Ausdehnung wie 60° über oder unter den Horizont zu bewegen, unter die schlafenden Pflanzen mit eingeschlossen worden.

Es musz vorausgeschickt werden, dasz die nyctitropischen Bewegungen der Blätter durch die Bedingungen, welchen die Pflanzen ausgesetzt worden sind, leicht beeinflusst werden. Wenn die Erde zu trocken gehalten wird, werden die Bewegungen bedeutend verlangsamt oder sie schlagen ganz fehl: nach der Angabe von DASSEN¹ werden die Blätter von *Impatiens* und *Malva* bewegungslos gemacht, selbst wenn die Luft sehr trocken ist. CARL KRAUS hat gleichfalls vor Kurzem den groszen Einfluss betont², welchen die Menge des absorbirten Wassers auf die periodischen Bewegungen der Blätter hat; er glaubt, dasz diese Ursache hauptsächlich die schwankende Grösze des nächtlichen Sinkens der Blätter von *Polygonum convolvulus* bestimmt; und wenn dies der Fall ist, so sind ihre Bewegungen nicht in unserem Sinne streng nyctitropisch. Damit Pflanzen schlafen, müssen sie der gehörigen Temperatur ausgesetzt gewesen sein: *Erythrina crista-galli* schien im Freien und an einer Mauer mit Nägeln festgehalten in ziemlich guter Gesundheit; die Blättchen schliefen aber nicht, während diejenigen an einer andern in einem warmen Gewächshause gehaltenen Pflanze sämmtlich des Nachts senkrecht herabhiengen. In einem Gemüsegarten schliefen die Blättchen von *Phaseolus vulgaris* während des ersten Theils des Sommers nicht. CH. ROYER sagt³, sich wie ich vermuthe auf die in Frankreich einheimischen Pflanzen beziehend, dasz sie nicht schlafen, wenn die Temperatur unter 5° C. ist. Bei mehreren schlafenden Pflanzen, nämlich bei Arten von *Tropaeolum*, *Lupinus*, *Ipomoea*, *Abutilon*, *Siegesbeckia* und wahrscheinlich noch von anderen Gattungen, ist es, damit die Blätter des Nachts eine

¹ Dassen, Tijdschr. voor Natuurl. Geschied. en Physiol. Vol. IV. 1837, p. 106; s. auch Ch. Royer über die Bedeutung eines gehörigen Turgescenz-zustandes der Zellen, in: Ann. des Scienc. Natur. (5. Sér.) Bot. T. 9. 1868, p. 345.

² Beiträge zur Kenntniss der Bewegungen etc. in: Flora, 1879, p. 42, 43, 67 etc.

³ Ann. des Scienc. Natur. (5. Sér.) Bot. T. 9. 1878, p. 366.

senkrechte Stellung annehmen, unerlässlich, dasz sie während des Tags gut beleuchtet wurden; und es rührt wahrscheinlich von dieser Ursache her, dasz Sämlinge von *Chenopodium album* und *Siegesbeckia orientalis*, die wir in der Mitte des Winters gezogen hatten, trotzdem sie in einer gehörigen Temperatur gehalten wurden, nicht schliefen. Endlich verhinderte ein heftiges, wenige Minuten anhaltendes Schütteln durch einen starken Wind die Blätter von *Maranta arundinacea* (welche vorher im Warmhause nicht gestört worden waren) während der zwei nächsten Nächte am Schlafen.

Wir wollen nun unsere Beobachtungen über schlafende Pflanzen, die in der in der Einleitung beschriebenen Art und Weise angestellt wurden, beschreiben. Der Stamm der Pflanze wurde (wenn nicht das Gegentheil angegeben wird) immer dicht an der Basis des Blattes, dessen Bewegungen betrachtet werden sollten, festgemacht, um dadurch den Stamm am Circumnutiren zu hindern. Da die Aufzeichnungen an einer senkrechten vor der Pflanze stehenden Glasscheibe gemacht wurden, so war es augenscheinlich unmöglich, ihre Bewegungen zu verzeichnen, sobald das Blatt am Abend bedeutend entweder aufwärts gerichtet oder abwärts geneigt wurde; es musz daher als sich von selbst verstehend angenommen werden, dasz die unterbrochene Linien in den Zeichnungen, welche den abendlichen oder nächtlichen Weg darstellen, immer bis zu einer viel gröszeren Entfernung, entweder aufwärts oder abwärts, verlängert werden müssen, als sie in denselben erscheinen. Die Schlussfolgerungen, welche aus unseren Beobachtungen abgeleitet werden können, werden gegen das Ende dieses Capitels mitgetheilt werden.

In der folgenden Liste sind sämmtliche Gattungen, welche, soweit es uns bekannt ist, schlafende Pflanzen enthalten, aufgeführt. Es ist hier die nämliche Anordnung befolgt, wie in früheren Fällen, auch ist wieder die Zahl der Familie hinzugefügt. Diese Liste bietet einiges Interesse dar, da sie den Nachweis bringt, dasz die Gewohnheit zu schlafen einigen wenigen Pflanzen durch die ganze Reihe der Gefäszpflanzen gemeinsam ist. Die gröszere Anzahl der Gattungen in der Liste ist von uns selbst mit gröszerer oder geringerer Sorgfalt beobachtet worden; mehrere aber werden auf die Autorität Anderer (deren Namen in der Liste mit angeführt wurden) gegeben, und in Bezug auf diese haben wir nichts Weiteres zu sagen. Ohne Zweifel ist diese Liste sehr unvollkommen, mehrere Gattungen hätten aus dem „Somnus

plantarum* des LINNÉ hinzugefügt werden können; in einigen der von ihm angeführten Fälle konnten wir aber nicht beurtheilen, ob die Blattscheiben des Nachts eine nahezu senkrechte Stellung einnehmen. Er führt einige Pflanzen als schlafende an, beispielsweise *Lathyrus odoratus* und *Vicia faba*, an welchen wir keine Bewegung beobachten konnten, welche Schlaf genannt zu werden verdiente, und da Niemand an der Genauigkeit LINNÉ's zweifeln kann, sind wir in Zweifel geblieben.

Liste der Gattungen, welche Species enthalten, deren Blätter schlafen.

I. Classe. Dicotyledonen.		I. Unter-Classe. Angiospermen.	
I. Unter-Classe. Angiospermen.		(Fortsetzung.)	
Gattung.	Familie.	Gattung.	Familie.
<i>Githago.</i>	Caryophylleae (26).	<i>Glycyrrhiza.</i>	Leguminosae
<i>Stellaria</i> (BATALIN).	"	<i>Coronilla.</i>	V. Trib.
<i>Portulaca</i> (CH. ROYER).	Portulacaeae (27).	<i>Hedysarum.</i>	VI. Trib.
<i>Sida.</i>	Malvaceae (36).	<i>Onobrychis.</i>	"
<i>Abutilon.</i>	"	<i>Smithia.</i>	"
<i>Malva</i> (LINNÉ und PFEFFER).	"	<i>Arachis.</i>	"
<i>Hibiscus</i> (LINNÉ).	"	<i>Desmodium.</i>	"
<i>Anoda.</i>	"	<i>Urania.</i>	"
<i>Gossypium.</i>	"	<i>Vicia.</i>	VII. Trib.
<i>Ayenia</i> (LINNÉ).	Sterculaceae (37).	<i>Centrosema.</i>	VIII. Trib.
<i>Triumfetta</i> (LINNÉ).	Tiliaceae (38).	<i>Amphicarpaea.</i>	"
<i>Linum</i> (BATALIN).	Lineae (39).	<i>Glycine.</i>	"
<i>Oxalis.</i>	Oxalidac (41).	<i>Erythrina.</i>	"
<i>Averrhoa.</i>	"	<i>Apios.</i>	"
<i>Portieria.</i>	Zygophylleae (45).	<i>Phaseolus.</i>	"
<i>Guaiacum.</i>	"	<i>Sophora.</i>	X. Trib.
<i>Impatiens</i> (LINNÉ, PFEFFER, BATALIN).	Balsamineae (48).	<i>Caesalpinia.</i>	XIII. Trib.
<i>Tropaeolum.</i>	Tropaeoleae (49).	<i>Haematoxylon.</i>	"
<i>Crotolaria</i> (THIS. DYER).	Leguminosae (75) II. Tribus.	<i>Gleditschia</i> (DUCHARTRE).	"
<i>Lupinus.</i>	"	<i>Poinciana.</i>	"
<i>Cytisus.</i>	"	<i>Cassia.</i>	XIV. Trib.
<i>Trigonella.</i>	III. Trib.	<i>Bauhinia.</i>	XV. Trib.
<i>Medicago.</i>	"	<i>Tamarindus.</i>	XVI. Trib.
<i>Melilotus.</i>	"	<i>Adenanthera.</i>	XX. Trib.
<i>Trifolium.</i>	"	<i>Prosopis.</i>	"
<i>Securigera.</i>	IV. Trib.	<i>Neptunia.</i>	"
<i>Lotus.</i>	"	<i>Mimosa.</i>	"
<i>Psoralea.</i>	V. Trib.	<i>Schrankia.</i>	"
<i>Amorpha</i> (DUCHARTRE).	"	<i>Acacia.</i>	XXII. Trib.
<i>Dalea.</i>	"	<i>Albizzia.</i>	XXIII. Trib.
<i>Indigofera.</i>	"	<i>Melaleuca</i> (BOUCHÉ)	Myrtaceae (94).
<i>Tephrosia.</i>	"	<i>Oenothera</i> (LINNÉ).	Onagrarieae (100).
<i>Wistaria.</i>	"	<i>Passiflora.</i>	Passifloraceae (105).
<i>Robinia.</i>	"	<i>Siegesbeckia.</i>	Compositae (122).
<i>Sphaerophysa.</i>	"	<i>Ipomoea.</i>	Convolvulaceae (151).
<i>Colutea.</i>	"	<i>Nicotiana.</i>	Solaneae (157).
<i>Astragalus.</i>	"	<i>Mirabilis.</i>	Nyctagineae (177).
		<i>Polygonum</i> (BATALIN).	Polygoneae (179).

Liste der Gattungen. (Fortsetzung.)

I. Classe. Dicotyledonen.		II. Classe. Monocotyledonen.	
I. Unter-Class. Angiospermen.		Gattung.	Familie.
Gattung.	Familie.		
<i>Amaranthus.</i>	Amaranthaceae (180).	<i>Thalia.</i>	Cannaceae (21).
<i>Chenopodium.</i>	Chenopodiaceae (181).	<i>Maranta.</i>	"
<i>Pimelia</i> (BOUCHÉ).	Thymeteae (188).	<i>Colocasia.</i>	Aroideae (30).
<i>Euphorbia.</i>	Euphorbiaceae (202)	<i>Strephium.</i>	Gramineae (55).
<i>Phyllanthus</i> (PFEFFER).	"	III. Classe. Acotyledonen.	
<i>Abies</i> (CHATIN).		<i>Marsilea.</i>	Marsileaceae (4).

Githago segetum (Caryophylleae). — Die ersten von jungen Sämlingen hervorgebrachten Blätter erheben und schlieszen sich des Nachts. An einem etwas älteren Sämling standen zwei junge Blätter um Mittag 55° über dem Horizont und des Nachts 86°; jedes war demnach 91° gestiegen. Der Winkel war indessen in einigen Fällen kleiner. Ähnliche Beobachtungen wurden gelegentlich an jungen Blättern (denn die älteren bewegten sich sehr wenig) gemacht, welche von nahezu vollständig erwachsenen Pflanzen hervorgebracht waren. BATALIN sagt (Flora, 1. Oct. 1873, p. 437), dasz die jungen Blätter von *Stellaria* sich des Nachts so vollständig schlieszen, dasz sie zusammen grosse Knospen bilden.

Sida (Malvaceae). — Die nyctitropischen Bewegungen der Blätter in dieser Gattung sind in einigen Beziehungen merkwürdig. BATALIN theilt uns mit (s. auch Flora, 1. Oct. 1873, p. 437), dasz diejenigen von *S. napaea* sich des Nachts senken, bis zu welchem Winkel aber, kann er sich nicht erinnern. Andererseits erhoben sich die Blätter von *S. rhombifolia* und *retusa* senkrecht und werden gegen den Stamm gedrückt. Wir haben daher hier innerhalb einer und der nämlichen Gattung zwei direct entgegengesetzte Bewegungen. Ferner sind die Blätter von *S. rhombifolia* mit einem Polster versehen, welches aus einer Masse kleiner Zellen besteht, denen Chlorophyll fehlt und deren längere Axen senkrecht auf die Axe des Blattstiels stehen. Dieser letzteren Linie entlang gemessen, sind diese Zellen nur ein Fünftel so lang wie die des Blattstiels, aber anstatt plötzlich von ihnen abgesetzt zu sein (wie es gewöhnlich bei dem Polster in den meisten Pflanzen der Fall ist), gehen sie allmählich in die grösseren Zellen des Blattstiels über. Auf der andern Seite besitzt, nach der Angabe von BATALIN, *S. napaea* kein Polster; er theilt uns mit, dasz in den verschiedenen Arten dieser Gattung ein allmählicher Übergang zwischen diesen beiden Zuständen des Blattstiels verfolgt werden kann. *Sida rhombifolia* bietet eine andere Eigenthümlichkeit dar, von welcher wir bei Blättern, welche schlafen, kein anderes Beispiel gesehen haben: nämlich diejenigen an sehr jungen Pflanzen, wenn schon sie sich am Abend etwas erheben, schlafen nicht ein, wie wir bei mehreren Gelegenheiten beobachteten; während diejenigen an verhältnismässig älteren Pflanzen in einer augenfälligen Art schlafen. So stand z. B. ein Blatt (0.85 Zoll an Länge) an einem sehr jungen Sämling, der 2 Zoll hoch war, um Mittag 9° über dem Horizont und um 10 p. m. 28°, so dasz es um 19° gestiegen war; ein anderes (1.4 Zoll langes) Blatt an einem Sämling von derselben

Höhe stand an diesen beiden Zeitpunkten 7° und 32° und hatte sich daher 25° erhoben. Diese Blätter, welche sich so wenig bewegten, hatten ein ziemlich ordentlich entwickeltes Polster. Nach Verlauf einiger Wochen, als die nämlichen Sämlinge $2\frac{1}{2}$ und 3 Zoll hoch waren, standen einige von den jungen Blättern des Nachts völlig senkrecht und andere waren hoch aufgerichtet; dasselbe fand sich auch an Sträuchern, welche vollständig erwachsen und in Blüthe waren.

Die Bewegung eines Blattes wurde von 9.15 a. m. am 28. Mai bis 8.30 a. m. am 30. aufgezeichnet. Die Temperatur war zu niedrig (15° — 16° C.) und die Beleuchtung kaum genügend; in Folge hiervon wurden die Blätter des Nachts nicht vollständig so hoch aufgerichtet, wie sie früher geworden waren und wie sie es später im Warmhause wurden; im Übrigen erschienen die Bewegungen nicht gestört. Am ersten Tage senkte sich das Blatt bis 5.15 p. m.; dann erhob es sich rapid und bedeutend bis 10.15 p. m. und während der übrigen Nacht nur ein wenig höher (Fig. 126). Früh am Morgen des nächsten Tages (29.) senkte es sich in einer Zickzacklinie rapid bis 9 a. m., zu welcher Zeit es nahezu dieselbe Stelle erreicht hatte, wie am vorhergehenden Morgen. Während des übrigen Tages senkte es sich langsam und bewegte sich seitwärts im Zickzack. Die Abend-erhebung begann nach 4 p. m. in derselben Weise wie früher und am zweiten Morgen fiel es wiederum rapid. Die aufsteigenden und absteigenden Linien fallen nicht zusammen, wie in der Zeichnung zu sehen ist. Am 30. wurde eine neue (hier nicht mitgetheilte) Aufzeichnung in einem etwas grösseren Maszstabe gemacht, da das Blatt 9 Zoll von der senkrechten Glasscheibe abstand. Um in der Zeit, wo sich die Tagessenkung in die nächtliche Erhebung umwandelte, den eingeschlagenen Weg sorgfältiger zu beobachten, wurden zwischen 4 p. m. und 10.30 p. m. alle halben Stunden Punkte gemacht. Dies machte die seitliche Zickzackbewegung während des Abends augenfälliger als es in der mitgetheilten Zeichnung der Fall ist, sie war aber von derselben Beschaffenheit wie sich dort zeigt. Der Eindruck, der sich uns aufdrängte, war der, dass das Blatt überflüssige Bewegung aufwandte, damit die grosse nächtliche Erhebung nicht zu einer zu frühen Stunde einträte.

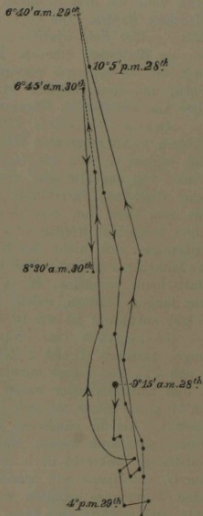


Fig. 126. *Sida rhombifolia*: Circumnutation und nyctitropische (oder Schlaf-) Bewegungen eines Blattes an einer jungen, $9\frac{1}{2}$ Zoll hohen Pflanze; Glasfäden an die Mittelrippe eines nahezu voll erwachsenen, $2\frac{1}{2}$ Zoll langen Blattes befestigt; Bewegung unter einem Oberlicht aufgezeichnet. Spitze des Blattes $5\frac{3}{8}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt, die Zeichnung daher nicht sehr vergrößert.

Abutilon Darwinii (Malvaceae). — Die Blätter an einigen sehr jungen Pflanzen standen während des Tages beinahe horizontal und hiengen des Nachts senkrecht herab. Sehr schöne, in einer groszen, nur vom Dache aus erleuchteten Halle gehaltene Pflanzen schliefen des Nachts nicht; denn um dies zu thun, müssen die Blätter während des Tages gut beleuchtet werden. Die Cotyledonen schlafen nicht. LINNÉ sagt, dasz die Blätter seiner *Sida abutilon* des Nachts senkrecht herabhängen, obgleich sich die Blattstiele erheben. Prof. PFEFFER theilt uns mit, dasz die Blätter einer, mit *M. sylvestris* verwandten *Malva* sich des Nachts bedeutend erheben; und diese Gattung wird ebenso wie *Hibiscus* von LINNÉ in seiner Liste von schlafenden Pflanzen aufgeführt.

Anoda Wrightii (Malvaceae). — Wenn die, von sehr jungen Pflanzen hervorgebrachten Blätter zu einer mäsigen Grösze herangewachsen sind, senken sie sich des Nachts entweder beinahe senkrecht oder in einem Winkel von ungefähr 45° unter den Horizont; denn es besteht ein ziemlicher Grad von Variabilität in dem Betrage der Senkung des Nachts, was zum Theil von dem Grade abhängt, in welchem sie während des Tages beleuchtet worden sind. So lange aber die Blätter ganz jung sind, senken sie sich nicht des Nachts abwärts, und dies ist ein sehr ungewöhnlicher Umstand. Der Gipfel des Blattstiels, wo er sich mit der Blattscheibe verbindet, ist zu einem Polster entwickelt, und dies ist an sehr jungen Blättern, welche nicht schlafen, vorhanden, obschon es nicht so gut entwickelt ist wie in älteren Blättern.

Gossypium (var. Nanking-Baumwolle, Malvaceae). — Einige junge, zwischen 1 und 2 Zoll lange Blätter, welche zwei Sämlinge von 6 und $7\frac{1}{2}$ Zoll Länge entwickelt hatten, standen am Mittag des 8. und 9. Juli horizontal oder waren ein wenig über den Horizont erhoben; aber um 10 p. m. hatten sie sich bis zwischen 68° und 90° unter den Horizont gesenkt. Als die nämlichen Pflanzen zu dem Doppelten der angeführten Grösze gewachsen waren, standen ihre Blätter des Nachts beinahe oder vollständig senkrecht nach unten. Die Blätter an einigen groszen Pflanzen von *G. maritimum* und *brasiliense*, welche in einem sehr schlecht erleuchteten Warmhause gehalten wurden, sanken nur gelegentlich des Nachts bedeutend abwärts und kaum hinreichend um Schlaf genannt zu werden.

Oxalis (Oxalideae). — In den meisten Species dieser groszen Gattung senken sich die drei Blättchen des Nachts senkrecht abwärts; da

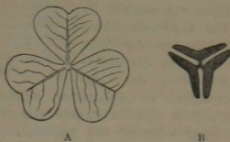


Fig. 127. *Oxalis acetosella*: A Blatt, senkrecht von oben gesehen; B Schema eines schlafenden Blattes, gleichfalls von oben gesehen.

aber die Stiele der Blättchen kurz sind, so würden deren Scheiben diese Stellung aus Mangel an Raum nicht annehmen können, wenn sie nicht

in irgend welcher Weise schmaler gemacht würden; und dies wird dadurch bewirkt, dass sie mehr oder weniger gefaltet werden (Fig. 127). Der von den zwei Hälften eines und desselben Blättchens gebildete Winkel ergab sich als in verschiedenen Individuen mehrerer Species zwischen 92° und 150° variirend; an drei der am besten gefalteten Blättchen von *O. fragrans* betrug er 76° , 74° und 54° . Der Winkel ist häufig an den drei Blättchen eines und desselben Blattes verschieden. Wie die Blättchen des Nachts herabsinken und gefaltet werden, werden ihre unteren Flächen nahe zusammen (siehe B) oder selbst in dichte Berührung gebracht, und nach diesem Umstande könnte man meinen, dass der Zweck des Falten der Schutz ihrer unteren Flächen sei. Wenn dies der Fall gewesen wäre, so würde es eine scharf ausgesprochene Ausnahme von der Regel bilden, dass, wenn irgend eine Verschiedenheit in dem Grade besteht, in welchem die zwei Flächen eines Blattes gegen Ausstrahlung geschützt werden, es immer die obere Fläche ist, welche am besten geschützt wird. Dass aber das Falten der Blättchen und die darauf folgende Annäherung ihrer unteren Flächen einfach dazu dient, ihnen zu gestatten, senkrecht abwärts zu sinken, kann man aus der Thatsache folgern, dass, wenn die Blättchen nicht vom Gipfel eines gemeinsamen Stiels strahlenförmig abgehen oder, wiederum, wenn hinreichender Raum vorhanden ist, weil die Stiele der Blättchen nicht sehr kurz sind, die Blättchen nach unten sinken, ohne gefaltet zu werden. Dies ist der Fall mit den Blättchen von *O. sensitiva*, *Plumierii* und *bupleurifolia*.

Es hat keinen Nutzen, eine lange Liste der vielen Species zu geben, welche in der oben beschriebenen Art und Weise schlafen. Dies gilt auch für Species, welche etwas fleischige Blätter haben, wie die von *O. carnosa*, oder grosse Blätter, wie die von *O. Ortega*, oder vier Blättchen, wie die von *O. variabilis*. Es gibt indessen einige Species, welche keinerlei Zeichen von Schlaf darbieten, nämlich *O. pentaphylla*, *enneaphylla*, *hirta* und *rubella*. Wir wollen nun die Natur der Bewegungen in einigen von den Species beschreiben.

Oxalis acetosella. — Die Bewegung eines Blättchens, zusammen mit der des Hauptblattstiels ist in der folgenden Figur (Fig. 128) dargestellt, welche zwischen 11 a. m., am 4. October, und 7.45 a. m. am 5. aufgezeichnet

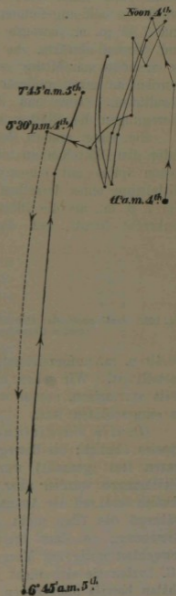


Fig. 128. *Oxalis acetosella*: Circumnutation und nyctitropische Bewegungen eines voll ausgewachsenen Blattes; Glasfaden an die Mittelrippe eines der Blättchen befestigt; an einer horizontalen Glasscheibe 20 Stunden 45 Minuten aufgezeichnet.

wurde. Nach 5.30 p. m., am 4., sank das Blättchen rapid und um 7 p. m. hieng es senkrecht herab. Eine Zeit lang, ehe es diese letztere Stellung annahm, konnten natürlich seine Bewegungen an der senkrechten Glasscheibe nicht mehr verzeichnet werden, und die unterbrochene Linie in der Zeichnung hätte in diesem und allen übrigen Fällen viel weiter nach unten verlängert werden müssen. Um 6.45 a. m. am folgenden Morgen hatte es sich beträchtlich erhoben und fuhr die nächste Stunde lang damit fort; nach anderen Beobachtungen aber zu urtheilen, würde es bald angefangen haben sich wieder zu senken. Zwischen 11 a. m. und 5.30 p. m. bewegte sich das Blättchen mindestens viermal aufwärts und viermal abwärts, ehe die grosze nächtliche Abwärtsbewegung begann; es erreichte am Mittag seinen höchsten Punkt. Ähnliche Beobachtungen wurden an zwei anderen Blättchen gemacht mit nahezu den nämlichen Resultaten. SACHS und PFEFFER⁴ haben gleichfalls kurz die autonomen Bewegungen der Blätter dieser Pflanze beschrieben.

Bei einer andern Gelegenheit wurde der Stiel eines Blattes dicht unter den Blättchen an einen kleinen Stab festgemacht, und ein Glasfaden, dessen Spitze mit einem Siegellacktropfen versehen war, wurde an die Mittelrippe eines derselben befestigt und ein Punkt dicht dahinter gemacht. Um 7 p. m., als die Blättchen eingeschlafen waren, hieng der Glasfaden senkrecht herab, und dann wurden die Bewegungen des Tropfens bis



Fig. 129. *Oxalis acetosella*: Circumnutation eines Blättchens während des Schlafes; an einer senkrechten Glasscheibe 3 Stunden 40 Minuten lang aufgezeichnet.

10.40 p. m. aufgezeichnet, wie es in beistehender Figur (Fig. 129) dargestellt ist. Wir sehen hier, dasz sich das Blättchen ein wenig von einer Seite zur andern, ebenso wie ein wenig auf- und abwärts bewegte, während es eingeschlafen war.

Oxalis Valdiviana. — Die Blätter sind denen der vorausgehenden Species ähnlich; die Bewegung zweier Blättchen (die Hauptblattstiele beider waren fest gemacht) wurden während zweier Tage aufgezeichnet; die Zeichnungen wurden aber nicht mitgetheilt, da sie denen von *O. acetosella* ähnlich sind, mit der Ausnahme, dasz die Oscillationen aufwärts und abwärts während des Tags nicht so häufig waren, auch bestand mehr seitliche Bewegung, so dasz breitere Ellipsen beschrieben wurden. Die Blätter erwachten zeitig am Morgen; denn um 6.45 a. m. am 12. Juni und am 13. hatten sie sich nicht blosz bis zu ihrer vollen Höhe erhoben, sondern hatten bereits angefangen, sich zu senken, d. h. sie circumnutirten. Wir haben im letzten Capitel gesehen, dasz die Cotyledonen, anstatt sich zu senken, sich des Nachts senkrecht erheben.

Oxalis Ortegesii. — Die groszen Blätter dieser Pflanze schlafen gleich denen der vorausgehenden Arten. Die Hauptblattstiele sind lang;

⁴ Sachs, in: Flora. 1863, p. 470 etc.. Pfeffer, Die period. Beweg. etc. 1875, p. 53.

der eines jungen Blattes erhob sich zwischen Mittag und 10 p. m. 20° , während der Stiel eines älteren Blattes nur 13° stieg. In Folge dieser Erhebung der Blattstiele und der senkrechten Senkung der groszen Blättchen wurden die Blätter des Nachts zusammen gedrängt und die ganze Pflanze bietet dann eine viel kleinere Oberfläche der Strahlung dar als während des Tages.

Oxalis Plumierii. — In dieser Species umgeben die drei Blättchen nicht den Gipfel des Blattstiels, sondern das terminale Blättchen springt in der Linie des Blattstiels vor mit einem seitlichen Blättchen auf jeder Seite. Sie schlafen alle so, dasz sie sich senkrecht abwärts biegen, werden aber durchaus nicht gefaltet. Der Blattstiel ist verhältnismässig lang; nachdem ein Stiel an einen Stab gebunden worden war, wurde die Bewegung des terminalen Blättchens während 45 Stunden an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet. Es bewegte sich in einer sehr einfachen Art, sank nach 5 p. m. rapid und erhob sich rapid zeitig am nächsten Morgen. Während der Mitte des Tages bewegte es sich langsam und ein wenig seitlich. In Folge dessen fielen die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammen, und an jedem Tage wurde eine einzige grosze Ellipse gebildet. Es fand sich sonst kein anderer Beleg für Circumnutation, und diese Thatsache ist von Interesse, wie wir später sehen werden.

Oxalis sensitiva. — Die Blättchen biegen sich, wie in der letzten Species, des Nachts senkrecht abwärts, ohne gefaltet zu werden. Der bedeutend verlängerte Blattstiel erhebt sich am Abend beträchtlich, aber bei einigen sehr jungen Pflanzen fieng die Erhebung nicht eher als spät in der Nacht an. Wir haben gesehen, dasz die Cotyledonen, anstatt wie die Blättchen zu sinken, des Nachts sich vertical erheben.

Oxalis bupleurifolia. — Diese Species ist dadurch merkwürdig, dasz der Blattstiel blattartig geworden ist, wie die Phyllodien vieler Acacien. Die Blättchen sind klein, von einem blässerem Grün und zarterer Consistenz als die blattartigen Blattstiele. Das Blättchen, welches beobachtet wurde, war 0.55 Zoll in der Länge und wurde von einem Stiele getragen, welcher 2 Zoll lang und 0.3 Zoll breit war. Man darf vermuthen, dasz die Blättchen auf dem Wege sind fehlzuschlagen oder zu abortiren, wie es factisch schon mit denen einer anderen brasilianischen Species, *O. rusciformis*, eingetreten ist. Nichts destoweniger werden in der vorliegenden Species die nyctitropischen Bewegungen vollkommen ausgeführt. Zuerst wurde der blattartige Blattstiel während 48 Stunden beobachtet, und es ergab sich, dasz er in beständiger Circumnutation war, wie es die beistehende Figur (Fig. 130) zeigte. Er erhob sich

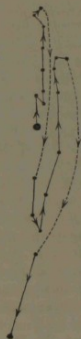


Fig. 130. *Oxalis bupleurifolia*: Circumnutation des blattartigen Blattstiels; Glasfaden schräg quer an das Ende des Blattstiels befestigt; Bewegungen an einer senkrechten Glasscheibe von 9 a. m., 26. Juni, bis 8.50 a. m. am 28. verzeichnet. Spitze des Blättchens $4\frac{1}{2}$ Zoll vom Glase entfernt, daher die Bewegung nicht stark vergrössert. Pflanze 9 Zoll hoch, von oben beleuchtet. Temperatur $23\frac{1}{2}$ – $24\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

während des Tages und des frühen Theils der Nacht und sank während der übrigen Nacht und am frühen Morgen; die Bewegung war aber nicht gross genug um Schlaf genannt zu werden. Die aufsteigenden und absteigenden Linien fielen nicht zusammen, so dass also eine Ellipse jeden Tag gebildet wurde. Es fand sich nur wenig Zickzackbewegung; wenn der Glasfaden längsweise befestigt worden wäre, würden wir wahrscheinlich gesehen haben, dass mehr seitliche Bewegung statt fand als in der Zeichnung erscheint.

Zunächst wurde nun ein terminales Blättchen an einem anderen Blatte beobachtet (der Blattstiel wurde fest gemacht), und seine Bewegungen sind in Fig. 131 dargestellt. Während des Tages sind die Blättchen horizontal ausgestreckt und des Nachts hängen sie senkrecht herab; und da der Blattstiel sich während des Tages erhebt, so müssen sich die Blättchen am Abend mehr als 90° herab biegen, um des Nachts ihre senkrechte Stellung einzunehmen. Am ersten Tage bewegte sich das Blättchen einfach aufwärts und abwärts; am zweiten Tage circumnutirte es deutlich zwischen 8 a. m. und 4.30 p. m., nach welcher Stunde die grosse abendliche Senkung begann.

Averrhoa bilimbi (Oxalideae).

— Es ist seit langer Zeit bekannt⁵, erstens, dass die Blättchen in dieser Gattung schlafen, zweitens, dass sie sich während des Tages spontan bewegen, und drittens, dass sie gegen Berührung empfindlich sind; aber in keiner dieser Beziehungen sind sie wesentlich von den Species von *Oxalis* verschieden. Sie weichen aber, wie

Fig. 131. *Oxalis bupleurifolia*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines terminalen Blättchens; Glasfaden der Mittelrippe entlang befestigt; an einer senkrechten Glasscheibe von 9 a. m., 26. Juni, bis 8.45 a. m. am 28. verzeichnet. Bedingungen die nämlichen, wie im letzten Falle.

Herr R. I. LYNCH vor Kurzem gezeigt hat⁶, darin ab, dass ihre spontanen Bewegungen stark ausgesprochen sind. Bei *A. bilimbi* ist es ein wunderbarer Anblick zu sehen, wie an einem warmen sonnigen Tage die Blättchen

⁵ Dr. Bruce, in: Philosoph. Transactions, 1785, p. 356.

⁶ Journ. Linn. Soc. Vol. 16. Bot. 1877, p. 231.

eins nach dem andern rapid sich abwärts senken und wiederum sich langsam erheben. Ihre Bewegungen wetteifern mit denen von *Desmodium gyrans*. Des Nachts hängen die Blättchen senkrecht herab, und nun sind sie bewegungslos, dies könnte aber eine Folge davon sein, dass die gegen-

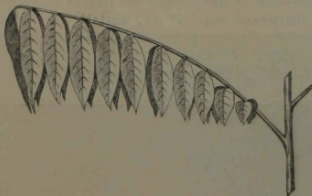


Fig. 132. *Acerrhoa bilimbi*: eingeschlafenes Blatt; Zeichnung verkleinert.

ständigen gegen einander gedrückt werden (Fig. 132). Der Hauptblattstiel ist während des Tages in beständiger Bewegung; es wurden aber keine sorgfältigen Beobachtungen an ihm angestellt. Die folgenden Abbildungen sind graphische Darstellungen der Abänderungen in dem Winkel, welchen ein gegebenes Blättchen mit der Senkrechten bildet. Die Beobachtungen wurden angestellt, wie folgt. Die in einem Topfe wachsende Pflanze wurde in einer hohen Temperatur gehalten, und der Blattstiel des zu beobachtenden Blattes zeigte gerade nach dem Beobachter, von diesem durch eine senkrechte Glasscheibe getrennt. Der Blattstiel wurde in der Weise befestigt, dass das basale Gelenk oder Polster eines der seitlichen Blättchen im Mittelpunkte eines in Grade eingetheilten, dicht hinter dem Blättchen aufgestellten Bogens sich befand. Ein feiner Glasfaden wurde so an das Blatt befestigt, dass er wie eine Fortsetzung der Mittelrippe vorsprang. Dieser Glasfaden diente als Zeiger; und wie das Blatt sich erhob und senkte, dabei um sein basales Gelenk rotirend, konnten seine Winkelbewegungen in der Weise notirt werden, dass die Stellung des Glasfadens auf dem graduirten Bogen in kurzen Zeitzwischenräumen abgelesen wurden. Um Fehler der Parallaxe zu vermeiden, wurden alle Ablesungen so gemacht, dass man durch einen kleinen, auf die senkrechte Glasscheibe in einer Linie mit dem Gelenk des Blättchens und dem Mittelpunkt des graduirten Bogens aufgemalten Ring hindurchsah. In den folgenden Abbildungen repräsentiren die Ordinaten die Winkel, welche das Blättchen in aufeinander folgenden Momenten mit der Senkrechten bildete⁷. Es folgt hieraus, dass ein Sinken in der Curve ein factisches Sinken des Blättchens darstellt, und dass die Nullpunktlinie eine senkrecht herab-

⁷ In sämmtlichen Zeichnungen repräsentirt 1 mm in der horizontalen Richtung eine Zeitminute. Jeder Millimeter in der senkrechten Richtung repräsentirt einen Grad der Winkelbewegung. In den Figuren 133 und 134 wird die Temperatur (den Ordinaten entlang) nach dem Maszstabe von 1 mm gleich 0.1° C. repräsentirt. In Figur 135 ist jeder Millimeter gleich 0.2° F.

hängende Stellung repräsentirt. Fig. 133 stellt die Natur der Bewegungen dar, welche des Abends eintreten, so bald die Blättchen anfangen, ihre Stellung anzunehmen. Um 4.55 p. m. bildete das Blättchen mit der Senkrechten einen Winkel von 85° , oder stand nur 5° unter der Horizontalen; um aber die Zeichnung in das Format des Buches bringen zu können, ist das Fallen des Blättchens von 75° an, anstatt von 85° an, dargestellt worden. Kurz nach 6 p. m. hieng es senkrecht herab und hatte seine Nachtstellung erreicht. Zwischen 6.10 und 6.35 p. m. führte es eine Anzahl äusserst kleiner Schwankungen, von ungefähr 2° eine jede, aus,

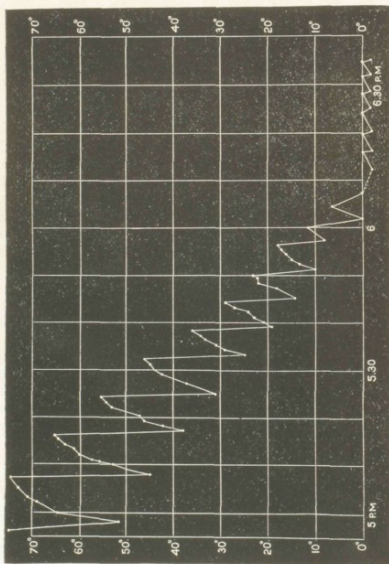


Fig. 133. *Azerrhoa blümbi*: Winkelbewegungen eines Blättchens während seines abendlichen Sinkens, wenn es einschläft. Temperatur 25.6° bis 27.2° C.

welche Perioden von 4 oder 5 Minuten einhielten. Der vollständige Ruhezustand des Blättchens, welcher schliesslich folgte, ist in der Zeichnung nicht dargestellt. Es ist offenbar, dass jede Oscillation aus einem allmählichen Erheben besteht, dem ein plötzliches Sinken folgt. Mit jedem Male, dass sich das Blättchen senkte, kam es der nächtlichen Stellung näher, als bei der vorhergehenden Senkung gewesen war. Die Weite der

Schwankungen verringerte sich, während die Perioden der Schwankung kürzer wurden.

Im hellen Sonnenschein nehmen die Blättchen eine stark geneigte herabhängende Stellung ein. Wir beobachteten, wie ein Blättchen in diffusem Lichte sich 25 Minuten lang erhob. Dann wurde ein Vorhang

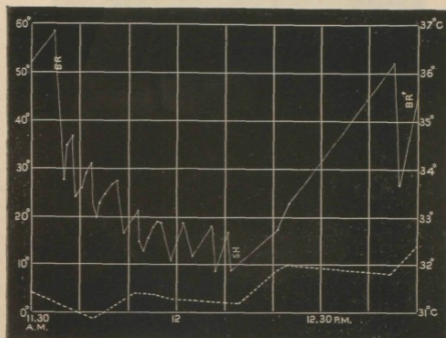


Fig. 134. *Averrhoa bilimbi*: Winkelbewegung eines Blättchens während des Wechsels von heller Beleuchtung zu Schatten; Temperatur (punktirte Linie) nahezu die nämliche bleibend.

aufgezogen, so dass nun die Pflanze hell beleuchtet wurde (BR in Fig. 134), und innerhalb einer Minute fieng es an zu sinken und fiel schliesslich 47° , wie in der Zeichnung dargestellt ist. Diese Senkung wurde in sechs absteigenden Stufen ausgeführt, genau denen ähnlich, durch welche die nächtliche Senkung ausgeführt wird. Die Pflanze wurde dann wiederum beschattet (SH), und es trat nun eine lange langsame Erhebung ein, bis eine zweite Reihe von Senkungen bei BR' begann, wo die Sonne wieder zugelassen wurde. Bei diesem Versuche wurde der kühlen Luft gestattet zu gleicher Zeit durch die Fenster einzutreten, als der Vorhang aufgezogen wurde, so dass, trotzdem die Sonne auf die Pflanze schien, die Temperatur nicht erhöht wurde.

Die Wirkung einer Temperaturerhöhung in diffusem Lichte ist in Figur 135 dargestellt. Die Temperatur fieng um 11.35 a. m. (in Folge davon, dass Feuer angezündet wurde) zu steigen an, aber um 12.42 p. m. war eine ausgesprochene Senkung eingetreten. Es ist in der Zeichnung zu sehen, dass, als die Temperatur am höchsten war, rapide Oscillationen von geringer Amplitude eintraten, während die mittlere Stellung des Blättchens zu dieser Zeit der Senkrechten näher war. Als die Temperatur zu sinken anfieng, wurden die Oscillationen langsamer und grösser, und die Stellung des Blättchens näherte sich wiederum der Horizontalen. Die Schnelligkeit der Oscillationen war zuweilen grösser als in der

beistehenden Zeichnung dargestellt ist. So kamen, als die Temperatur zwischen 31° und 32° C. betrug, 14 Oscillationen von einigen wenigen Graden in 19 Minuten vor. Andererseits kann eine Oscillation auch viel

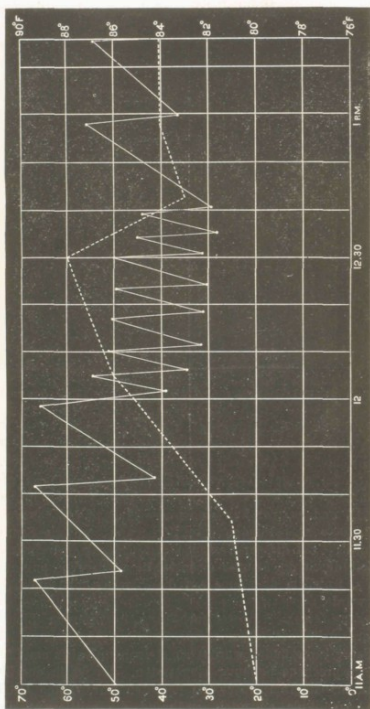


Fig. 135. *Acerispa blattläse* Winkelbewegung eines Blättchens während eines Wechsels der Temperatur; das Licht blieb dasselbe. Die punktirte Linie zeigt die Veränderung der Temperatur.

langsamer sein; so wurde beobachtet, dass ein Blättchen (Temperatur 25° C.) sich während 40 Minuten erhob, ehe es sank und seine Oscillation vollendete.

Porlieria hygrometrica (Zygophylleae). — Die Blätter dieser Pflanze (Chilenische Form) sind von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang und tragen auf jeder Seite so viel wie 16 oder 17 kleine Blättchen, welche einander nicht genau gegenüberstehen. Sie sind durch ein Polster an den Blattstiel eingelenkt, ebenso wie es der Blattstiel am Zweige ist. Wir müssen vorausschicken, dasz augenscheinlich zwei Formen unter dem nämlichen Namen vermengt werden: die Blätter an einem Busch von Chile, welcher uns von Kew geschickt worden war, trugen viele Blättchen, während diejenigen an Pflanzen im botanischen Garten von Würzburg nur 8 oder 9 Paar trugen; auch erschien der ganze Character des Busches etwas verschieden. Wir werden auch sehen, dasz sie in einer merkwürdigen physiologischen Eigenthümlichkeit von einander abweichen. An der chilenischen Pflanze standen die Blattstiele der jüngeren Blätter an aufrechten Zweigen während des Tages horizontal und sanken des Nachts senkrecht herab, so dasz sie parallel zu einander und dicht an den Zweigen darunter herabhiengen. Die Blattstiele etwas älterer Blätter wurden des Nachts nicht senkrecht herabgedrückt, sondern nur stark geneigt. In einem Falle fanden wir einen Zweig, welcher senkrecht nach abwärts gewachsen war, und die Blattstiele bewegten sich in derselben Richtung relativ zum Zweige, wie oben angegeben wurde, bewegten sich daher aufwärts. An horizontalen Zweigen bewegen sich die jüngeren Blattstiele des Nachts gleichfalls in derselben Richtung wie angegeben, d. h. nach den Zweigen hin und werden in Folge dessen horizontal ausgebreitet; es ist aber merkwürdig, dasz die älteren Blattstiele an dem nämlichen Zweige sich auch, obgleich sie sich ein wenig in der nämlichen Richtung bewegen, abwärts biegen; sie nehmen damit eine etwas verschiedene Stellung ein, relativ zum Mittelpunkt der Erde und zum Zweige, von der, welche die Blattstiele an den aufrechten Zweigen annehmen. Was die Blättchen betrifft, so bewegen sie sich des Nachts nach der Spitze des Blattstiels hin bis ihre Mittelrippen nahezu mit demselben parallel stehen; und dann liegen sie nett dachziegelförmig eins über dem andern. Dadurch ist die Hälfte der oberen Fläche eines jeden Blättchens in dichter Berührung mit der Hälfte der untern Fläche des nächsten Blättchens vor ihm, und an sämtlichen Blättchen, mit Ausnahme der basalen, ist die ganze obere Fläche und die Hälfte ihrer untern Fläche gut geschützt. Diejenigen an den gegenüberliegenden Seiten eines und desselben Blattstieles kommen des Nachts nicht mit einander in dichte Berührung, wie es bei den Blättchen so vieler Leguminosen vorkommt, sondern werden durch eine offene Furche von einander getrennt; auch können sie nicht genau auf einander fallen, da sie in Beziehung zu einander abwechselnd stehen.

Die Circumnutation des Stieles eines Blattes von $\frac{3}{4}$ Zoll Länge an einem aufrecht stehenden Zweige wurde während 36 Stunden aufgezeichnet und in der nebenstehenden Zeichnung dargestellt (Fig. 136). Am ersten Morgen senkte sich das Blatt ein wenig und erhob sich bis 1 p. m., und dies war wahrscheinlich eine Folge davon, dasz es durch ein Oberlicht von oben beleuchtet wurde; dann circumnutirte es in einem sehr geringen Masse um einen und denselben Fleck bis ungefähr 4 p. m., wo die grosse abendliche Senkung begann. Während des letzten Theils der Nacht oder sehr zeitig am nächsten Morgen erhob sich das Blatt wieder. Am zweiten

Tage sank es während des Morgens bis 1 p. m. und dies ist ohne Zweifel die normale Weise. Von 1 bis 4 p. m. erhob es sich in einer Zickzacklinie, und bald darauf fieng die grosze abendliche Senkung an. Es vollendete in dieser Weise während der 24 Stunden eine doppelte Oscillation.

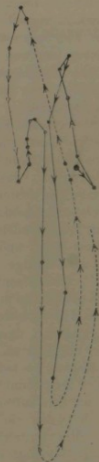


Fig. 136. *Portieria hygrometrica*: Circumnutation und nyctitropische Bewegungen des Stiels eines Blattes, von 9.35 a. m., 7. Juli, bis ungefähr Mitternacht am 8. aufgezeichnet. Spitze des Blattes $7\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt. Temperatur $19\frac{1}{2}$ – $20\frac{1}{2}$ ° C.

Der spezifische, dieser Pflanze von RUIZ und PAVON beigelegte Name, deutet darauf hin, dass sie in ihrem dürren Heimathslande in irgend einer Art von der Trockenheit oder Feuchtigkeit der Atmosphäre afficirt wird⁸. Im botanischen Garten in Würzburg befand sich eine Pflanze in einem Topfe im Freien, welche täglich begossen wurde und eine andere im offenen Lande, welche niemals begossen wurde. Nach etwas heissem und trockenem Wetter bestand im Verhalten der Blättchen an diesen zwei Pflanzen ein groszer Unterschied. Diejenigen an der nicht bewässerten Pflanze im offenen Lande blieben während des Tages halb oder selbst vollständig geschlossen. Aber von diesem Busch abgeschnittene Zweige, welche mit ihrem Ende in Wasser standen oder gänzlich in dasselbe eingetaucht oder unter einer Glasglocke in feuchter Luft gehalten wurden, öffneten ihre Blätter, obschon sie dem glühenden Sonnenschein ausgesetzt wurden, während diejenigen an der Pflanze in der Erde geschlossen blieben. Die Blätter an dieser nämlichen Pflanze blieben nach einigem schweren Regen zwei Tage lang offen; dann wurden sie während zweier Tage halb geschlossen und waren nach einem weiteren Tage vollständig geschlossen. Diese Pflanze wurde nun reichlich bewässert und am folgenden Morgen waren die Blättchen vollständig ausgebreitet. Die andere in einem Topfe wachsende Pflanze wurde, nachdem sie einem schweren Regen ausgesetzt gewesen war, vor ein Fenster

im Laboratorium aufgestellt, die Blättchen waren geöffnet und blieben es 48 Stunden während der Tagezeit; aber nach einem weiteren Tage waren sie halb geschlossen. Die Pflanze wurde dann begossen, und die Blättchen blieben an den zwei folgenden Tagen geöffnet. Am dritten Tage wurden sie wiederum halb geschlossen, blieben aber, nachdem die Pflanze wieder begossen worden war, während der zwei nächsten Tage offen. Aus

⁸ Systema Veg. Florae Peruvianaee et Chilensis, Tom. I. p. 95, 1798. Wir können die von den Verfassern gegebene Schilderung des Benehmens dieser Pflanze in ihrem Heimathslande nicht recht verstehen. Es ist viel von dem Vermögen der Pflanze die Rede, Wechsel in der Witterung vorauszusagen; und allem Anscheine bestimmt die Klarheit des Himmels in hohem Masse das Öffnen und Schlieszen der Blättchen.

diesen verschiedenen Thatsachen können wir schlieszen, dasz die Pflanze den Mangel an Wasser bald empfindet, und dasz sie, sobald dies eintritt, ihre Blättchen theilweise oder ganz schlieszt, welche dann in ihrer dachziegelförmig sich deckenden Lage eine kleine Oberfläche zur Verdunstung darbieten. Es ist daher wahrscheinlich, dasz diese schlafartige Bewegung, welche nur eintritt, wenn der Boden trocken ist, eine Anpassung gegen den Verlust von Feuchtigkeit ist.

Ein ungefähr 4 Fusz hoher Busch, ein Eingeborner von Chile, welcher dicht mit Blättern bedeckt war, benahm sich sehr verschieden; denn während des Tages schloz er niemals seine Blättchen. Am 6. Juli erschien die Erde in dem Topfe, in dem er wuchs, äusserst trocken, und es wurde ihm ein wenig Wasser gegeben. Nach 21 und 22 Tagen (am 27. und 28.), während welcher ganzen Zeit die Pflanze nicht einen Tropfen Wasser erhielt, fiengen die Blätter zu hängen an, boten aber kein Zeichen dar, dasz sie sich während des Tages schlöszen. Es erschien beinahe unglaublich, dasz irgend eine Pflanze, ausgenommen eine fleischige, in einem so trockenen Boden, dasz er dem Strassenstaub ähnlich war, am Leben hätte erhalten werden können. Als der Busch am 29. geschüttelt wurde, fielen einige Blätter ab und die übrig bleibenden waren nicht im Stande des Nachts zu schlafen. Er wurde daher mäsizig mit Wasser versorgt, ebenso wie bespritzt, und zwar spät am Abend. Am nächsten Morgen (30.) sah der Busch so frisch aus wie je und des Nachts schliefen die Blätter ein. Es mag noch hinzugefügt werden, dasz ein kleiner Zweig, während er noch am Busche wuchs, 13 Tage lang mittelst eines Blasenverschlusses in eine grosse, halb mit Ätzkalk gefüllte Flasche eingeschlossen wurde, so dasz die ihn umgebende Luft äusserst trocken gewesen sein musz; und doch litten die Blätter an diesem Zweige nicht im Mindesten und schlozen sich während der heiztesten Tage durchaus nicht. Am 2. und am 3. August (an welch' letzterem Tage der Boden äusserst trocken erschien) wurde noch ein anderer Versuch mit demselben Busch gemacht; er wurde während des ganzen Tages dem Winde im Freien ausgesetzt, aber die Blättchen boten kein Zeichen eines Sich-schlieszens dar. Die Chilenische Form weicht daher weit von der in Würzburg darin ab, dasz sie ihre Blättchen nicht schlieszt, wenn sie an Wassermangel leidet; und sie kann eine überraschend lange Zeit ohne Wasser leben.

Tropaeolum majus (?) (cultivirte Varietät) (Tropaeoleae). — Mehrere Pflanzen in Töpfen standen im Gewächshause und die Scheiben ihrer Blätter, welche nach den vor ihnen liegenden Fenstern hinsahen, waren während des Tages hoch aufgerichtet und standen des Nachts senkrecht, während die Blätter an der hintern Seite der Töpfe, obschon sie natürlich durch das Glasdach beleuchtet wurden, des Nachts nicht senkrecht wurden. Wir glaubten zuerst, dasz diese Verschiedenheit in ihren Stellungen in einer gewissen Weise Folge des Heliotropismus sei, denn die Blätter sind in hohem Grade heliotropisch. Die richtige Erklärung ist indessen die, dasz, wenn sie nicht wenigstens einen Theil des Tages gut beleuchtet waren, sie des Nachts nicht schlafen, und eine kleine Verschiedenheit in dem Grade der Beleuchtung bestimmt es, ob sie des Nachts senkrecht werden sollen oder nicht. Wir haben keinen anderen so scharf ausgesprochenen Fall wie diesen von dem Einflusz der voraus-

gehenden Beleuchtung auf die nyctitropischen Bewegungen gesehen. Die Blätter bieten noch eine andere Eigenthümlichkeit dar in ihrer Gewohnheit am Morgen sich zu erheben oder aufzuwachen, welche stärker fixirt oder vererbt ist als die, sich des Nachts zu senken oder einzuschlafen. Die Bewegungen werden durch die Biegung eines oberen Theils des Blattstiels von zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 Zoll Länge verursacht; aber der Theil dicht an der Blattscheibe, von ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll Länge, biegt sich nicht und bleibt immer in einem rechten Winkel zur Scheibe. Der sich biegende Theil bietet keinerlei äussere oder innere Verschiedenheit im Bau vom übrigen Blattstiel dar. Wir wollen nun die Versuche mittheilen, auf welche sich die obigen Schlüsse gründen.

Ein grosser Topf mit mehreren Pflanzen wurde am Morgen des 3. Sept. aus dem Gewächshause genommen und vor ein Nordost-Fenster gestellt, so weit wie es möglich war in derselben Stellung in Bezug auf das Licht wie vorher. An der vorderen Seite der Pflanzen wurden mit Fäden 24 Blätter bezeichnet; an einigen von ihnen stand die Blattscheibe horizontal, aber bei der grösseren Anzahl war sie ungefähr 45° unter den Horizont geneigt, des Nachts wurden diese sämmtlich, ohne Ausnahme, senkrecht. Zeitig am folgenden Morgen (4.) nahmen sie ihre früheren Stellungen an und wurden des Nachts wiederum senkrecht. Am 5. wurden die Läden um 6.15 a. m. geöffnet, und um 8.18 a. m., nachdem die Blätter 2 Stunden 3 Minuten lang beleuchtet worden waren und ihre Tagesstellung angenommen hatten, wurden die Pflanzen in einen dunklen Schrank gestellt. Während des Tages wurde zweimal und während des Abends dreimal, das letzte mal um 10.30 p. m. nach ihnen gesehen, und nicht eines war senkrecht geworden. Um 8 a. m. am folgenden Morgen (6.) nahmen sie noch immer die nämliche Tagesstellung ein und wurden nun vor das Nordost-Fenster gestellt. Des Nachts waren an sämmtlichen Blättern, welche nach dem Lichte hingerichtet waren, die Blattstiele gekrümmt und ihre Scheiben senkrecht, während keines der Blätter an der hinteren Seite der Pflanzen, obschon sie durch das diffuse Licht des Zimmers mässig beleuchtet worden waren, senkrecht stand. Die Pflanzen wurden nun des Nachts in den nämlichen dunklen Schrank gestellt, und um 9 a. m. am folgenden Morgen (7.) hatten alle diejenigen Blätter, welche geschlafen hatten, ihre Tagesstellung wieder angenommen. Der Topf wurde dann 3 Stunden lang in den Sonnenschein gestellt, um die Pflanzen zu reizen; um Mittag wurden sie vor das nämliche Nordost-Fenster gestellt und Abends schiefen die Blätter in der gewöhnlichen Weise ein und wachten am folgenden Morgen auf. Um Mittag dieses Tages (8.) wurden die Pflanzen, nachdem sie 5 Stunden 45 Minuten vor dem Nordost-Fenster gelassen und daher beleuchtet worden waren (obschon nicht hell, da der Himmel während der ganzen Zeit wolbig war), in den dunklen Schrank zurückgebracht, und um 3 p. m. war die Stellung der Blätter, wenn überhaupt, sehr wenig verändert, so dass sie von der Dunkelheit nicht schnell beeinflusst werden; aber um 10.15 p. m. standen sämmtliche Blätter, welche während jener, 5 Stunden 45 Minuten dauernden Beleuchtung nach dem Nordost-Himmel hingesehen hatten, senkrecht, während diejenigen auf der hinteren Seite der Pflanze ihre Tagesstellung beibehielten. Am folgenden Morgen (9.) wachten die Blätter wie bei

den zwei früheren Gelegenheiten im Dunklen auf und sie wurden während des ganzen Tages im Dunklen gehalten; des Nachts wurden einige wenige von ihnen senkrecht, und dies war der einzige Fall, in welchem wir irgend welche angeerbte Neigung oder Gewohnheit an dieser Pflanze, zur gehörigen Zeit zu schlafen, beobachteten. Daz es wirklicher Schlaf war, zeigte sich dadurch, daz diese nämlichen Blätter am folgenden Morgen (10.), während sie noch im Dunklen gehalten wurden, ihre Tagesstellung wieder annahmen.

Der Topf wurde dann (9.45 a. m., am 10. Sept.), nachdem er 36 Stunden lang im Dunklen gehalten worden war, wieder vor das Nordost-Fenster gebracht, und des Nachts wurden die Scheiben sämtlicher Blätter mit Ausnahme einiger wenigen auf der hinteren Seite der Pflanzen senkrecht.

Um 6.45 a. m. (11.) wurde, nachdem die Pflanzen auf der nämlichen Seite wie vorher nur 25 Minuten lang beleuchtet worden waren, der Topf herumgedreht, so daz die Blätter, welche erst nach dem Lichte hin gesehen hatten, nun in das Innere des Zimmers sahen, und nicht eines derselben schlief Abends ein, während einige, aber nicht viele, von denjenigen, welche früher so gestanden hatten, daz sie in das Zimmer sahen und welche früher niemals gut beleuchtet worden waren oder geschlafen hatten, nun des Nachts eine senkrechte Stellung annahmen. Am nächsten Tage (12.) wurde die Pflanze in ihre ursprüngliche Stellung herumgedreht, so daz die nämlichen Blätter wie früher nach dem Lichte hin sahen, und nun schliefen diese in der gewöhnlichen Weise ein. Wir wollen nur noch hinzufügen, daz bei einigen jungen im Gewächshause gehaltenen Sämlingen die Scheiben des ersten Paares echter Blätter (die Cotyledonen sind unterirdisch) während des Tages beinahe horizontal und des Nachts beinahe senkrecht standen.

Einige wenige Beobachtungen wurden später über die Circumnutation dreier Blätter gemacht, so lange sie nach einem Nordost-Fenster hinsahen; die Zeichnungen werden aber hier nicht mitgetheilt, da sich die Blätter etwas nach dem Lichte hin bewegten. Es war indessen offenbar, daz sie sich mehr als einmal während der Zeit des Tages erhoben und senkten, wobei die aufsteigenden und absteigenden Linien zum Theil äusserst zickzackförmig waren. Die nächtliche Senkung begann um 7 p. m. und die Blätter hatten sich um 6.45 a. m. am folgenden Morgen beträchtlich erhoben.

Leguminosae. — Diese Familie enthält viel mehr Gattungen mit schlafenden Arten als alle übrigen Familien zusammengenommen. Die Zahl der Tribus, zu welcher eine jede Gattung gehört, ist nach der Anordnung von BENTHAM und HOOKER hinzugefügt worden.

Crotolaria (sp.?) (II. Trib.). — Diese Pflanze ist monophyll, und Mr. THISELTON DYER theilt uns mit, daz die Blätter sich des Nachts senkrecht erheben und gegen den Stamm drücken.

Lupinus (II. Trib.). — Die hand- oder fingerförmigen Blätter der Arten in dieser groszen Gattung schlafen in drei verschiedenen Weisen. Eine der einfachsten ist die, daz sämtliche Blättchen des Nachts steil nach unten geneigt werden, während sie am Tage horizontal ausgebreitet gewesen waren. Dies ist in den beistehenden Figuren (Fig. 137 A. B.)

dargestellt, welche ein Blatt von *L. pilosus* geben, wie es während des Tages senkrecht von oben gesehen sich darbietet, und ein anderes schlafendes Blatt mit abwärts geneigten Blättchen. Da sie in dieser Stellung



Fig. 137. *Lupinus pilosus*: A ein Blatt am Tage senkrecht von oben gesehen; B schlafendes Blatt, des Nachts von der Seite gesehen.

dicht zusammengedrängt werden, und da sie nicht wie diejenigen der Gattung *Oxalis* gefaltet werden, so können sie keine senkrecht herabhängende Stellung annehmen; sie sind aber häufig in einem Winkel von 50° unter den Horizont geneigt. In dieser Species erheben sich die Blattstiele, während die Blättchen sich senken; in zwei Fällen, in denen die Winkel gemessen wurden, betragen diese bis 23° . Die Blättchen von *A. subcarnosus* und *arboreus*, welche während des Tages horizontal standen, sanken des Nachts in nahezu der nämlichen Weise, die der ersten Art bis zu einem Winkel von 38° , die der zweiten bis 36° , unter den Horizont; aber ihre Blattstiele bewegten sich nicht in einer deutlich wahrnehmbaren Weise. Es ist indessen, wie wir sofort sehen werden, vollkommen möglich, dass, wenn eine große Anzahl Pflanzen der drei vorstehend genannten und der folgenden Species in allen Jahreszeiten würden beobachtet werden, einige der Blätter sich als in verschiedener Weise schlafend ergeben würden.

In den zwei folgenden Species erheben sich des Nachts die Blättchen, anstatt sich abwärts zu bewegen. Bei *L. Hartwegii* standen um Mittag einige in einem mittleren Winkel von 36° über dem Horizont und des Nachts 51° , so dass sie zusammen einen hohlen Kegel mit mässig steilen Seiten bildeten. Der Stiel eines Blattes stieg des Nachts 14° , der eines zweiten 11° . Bei *L. luteus* erhob sich ein Blättchen von 47° , des Mittags, bis zu 65° über den Horizont, des Nachts, und ein anderes an einem verschiedenen Blatte erhob sich von 45° auf 69° . Die Blattstiele sinken indessen des Nachts in geringem Masse, nämlich in drei Fällen um 2° , 6° und $9^{\circ} 30'$. In Folge dieser Bewegung der Stiele haben sich die äusseren und längeren Blättchen ein wenig mehr zu biegen als die kürzeren und inneren, damit sie alle des Nachts symmetrisch stehen. Wir werden sofort sehen, dass einige Blätter an denselben individuellen Pflanzen von *L. luteus* in einer sehr verschiedenartigen Weise schlafen.

Wir kommen nun zu einer merkwürdigen Stellung der Blätter beim Schlafen, welche mehreren Species von *Lupinus* gemeinsam ist. An dem nämlichen Blatte senken sich die kürzeren Blättchen, welche meistens nach dem Mittelpunkte der Pflanze hinsehen, des Nachts, während die längeren an der gegenüberliegenden Seite sich erheben; die dazwischen

stehenden seitlichen drehen sich einfach um ihre eigenen Axen. Es besteht indes einige Variabilität in Bezug darauf, welche Blättchen sich erheben oder senken. Wie bei solchen verschiedenartigen und complicirten Bewegungen hätte erwartet werden können, ist die Basis eines jeden Blättchens (mindestens bei *L. luteus*) zu einem Polster entwickelt. Das Resultat ist, dasz sämtliche Blättchen an einem und demselben Blatte des Nachts mehr oder weniger hoch aufgerichtet oder selbst vollkommen senkrecht werden, in diesem letzteren Falle einen senkrecht stehenden Stern bildend. Dies kommt bei den Blättern einer Art vor, welche unter dem Namen *L. pubescens* gekauft wurde; in den beistehenden Figuren



Fig. 138. *Lupinus pubescens*: A Blatt während des Tages, von der Seite gesehen; B dasselbe Blatt des Nachts; C ein anderes Blatt, dessen Blättchen des Nachts einen senkrechten Stern bilden. (Figur verkleinert.)

(Fig. 138) sehen wir die Blätter bei A in ihrer Tagesstellung, und bei B dieselbe Pflanze des Nachts, wobei an den zwei oberen Blättern die Blättchen beinahe senkrecht stehen. Bei C ist ein anderes Blatt von der Seite gesehen dargestellt, dessen Blättchen vollkommen senkrecht stehen. Es sind hauptsächlich oder ausschliesslich die jüngsten Blätter, welche des Nachts senkrechte Sterne bilden. Es besteht aber bedeutende Variabilität in der Stellung der Blätter des Nachts an einer und derselben Pflanze; bei einigen bleiben die Blättchen beinahe horizontal, bei anderen bilden sie mehr oder weniger hoch aufgerichtete oder senkrechte Sterne

und bei einigen hängen ihre sämmtlichen Blättchen abwärts, wie in unserer ersten Classe von Fällen. Es ist auch eine merkwürdige Thatsache, dasz, obgleich die aus einem und demselben Satze von Samen gezogenen Pflanzen der Erscheinung nach identisch waren, doch bei einigen Individuen die Blättchen aller ihrer Blätter des Nachts so angeordnet waren, dasz sie mehr oder weniger hoch aufgerichtete Sterne bildeten, während sie bei anderen sämmtlich abwärts hiengen und niemals einen Stern bildeten, während sie wiederum bei noch anderen ihre horizontale Stellung beibehalten oder sich ein wenig erhoben hatten.

Wir haben bis jetzt nur auf die verschiedenen Stellungen der Blättchen von *L. pubescens* des Nachts Rücksicht genommen; aber die Blattstiele zeigen in ihren Bewegungen gleichfalls Verschiedenheiten. Derjenige eines jungen Blattes, welcher des Nachts einen hoch aufgerichteten Stern bildete, stand um Mittag 42° über dem Horizont und während der Nacht 72° , so dasz er sich 30° erhoben hatte. Der Stiel eines anderen Blattes, dessen Blättchen des Nachts eine ähnliche Stellung annahmen, erhob sich nur 6° . Andererseits senkte sich der Stiel eines Blattes, dessen Blättchen des Nachts sämmtlich abwärts geneigt waren, in dieser Zeit 4° . Später wurden noch die Stiele zweier etwas älterer Blätter beobachtet, welche beide während des Tages in genau demselben Winkel, nämlich 50° über dem Horizont standen; und der eine derselben erhob sich $7^{\circ}-8^{\circ}$, und der andere sank des Nachts $3^{\circ}-4^{\circ}$.

Wir stossen auf Fälle, gleich dem bei *L. pubescens* bei einigen anderen Species. An einer einzelnen Pflanze von *L. mutabilis* bildeten einige Blätter, welche während des Tages horizontal standen, des Nachts hoch aufgerichtete Sterne, und der Stiel des einen erhob sich 7° . Bei andern Blättern, welche gleichfalls während des Tages horizontal standen, waren des Nachts ihre sämmtlichen Blättchen 46° unter den Horizont abwärts geneigt, aber ihre Stiele bewegten sich kaum. Ferner bot *L. luteus* einen noch merkwürdigeren Fall dar; denn an zwei Blättern erhoben sich die Blättchen, welche um Mittag ungefähr 45° über dem Horizont standen, des Nachts bis zu 65° und 69° , so dasz sie einen hohlen Kegel mit steilen Seiten bildeten. Vier Blätter an einer und derselben Pflanze, deren Blättchen um Mittag horizontal standen, bildeten des Nachts senkrechte Sterne; und bei drei anderen, um Mittag gleichfalls horizontal stehenden Blättern hiengen ihre sämmtlichen Blättchen des Nachts nach unten. Es nahmen daher die Blätter an dieser einen Pflanze des Nachts drei verschiedene Stellungen an. Obgleich wir diese Thatsache nicht erklären können, können wir doch sehen, dasz ein solcher Stamm leicht Species entstehen lassen könnte, welche sehr verschiedene nyctitropische Gewohnheiten haben.

Es braucht nun nur noch wenig über den Schlaf der Species von *Lupinus* gesagt zu werden; mehrere, nämlich *L. polyphyllus*, *nanus*, *Menziesii*, *speciosus* und *albifrons*, veränderten die Stellung ihrer Blätter, obschon sie sowohl im Freien als auch im Gewächshause beobachtet wurden, des Nachts nicht hinreichend, um schlafend genannt zu werden. Nach den, an zwei schlafenden Species angestellten Beobachtungen scheint es, dasz wie bei *Tropaeolum* die Blätter während des Tages gut beleuchtet werden müssen, damit sie des Nachts schlafen. Denn mehrere Pflanzen,

welche den ganzen Tag in einem Wohnzimmer mit Nordost-Fenstern gehalten wurden, schliefen des Nachts nicht, als aber am folgenden Tage die Töpfe in's Freie gestellt und des Nachts hereingebracht wurden, schliefen sie in der gewöhnlichen Weise. Der Versuch wurde am folgenden Tag und der folgenden Nacht mit demselben Resultate wiederholt.

Einige Beobachtungen wurden über die Circumnutation der Blätter von *L. luteus* und *arboreus* angestellt. Es wird die Angabe genügen, dasz die Blättchen der letzteren im Verlaufe von 24 Stunden eine doppelte Oscillation darboten; denn vom zeitigen Morgen an sanken sie bis 10.15 a. m. und dann erhoben sie sich, dabei sich bedeutend im Zickzack bewegend, bis 4 p. m.; nach dieser Stunde begann die grozse nächtliche Senkung. Um 8 a. m. am folgenden Morgen hatten sich die Blättchen bis zu ihrer gehörigen Höhe erhoben. Wir haben im vierten Capitel gesehen, dasz die Blätter von *Lupinus speciosus*, welche nicht schlafen, in einem ausserordentlichen Grade circumnutiren und dabei im Verlaufe des Tages viele Ellipsen beschreiben.

Cytisus (II. Trib.), *Trigonella* und *Medicago* (III. Trib.). — Nur einige wenige Beobachtungen wurden an diesen drei Gattungen angestellt. Die Blattstiele an einer jungen Pflanze von *Cytisus fragrans* von ungefähr einem Fusz Höhe erhoben sich des Nachts bei einer Gelegenheit 23° , bei einer anderen 33° . Die drei Blättchen biegen sich auch aufwärts und nähern sich gleichzeitig einander, so dasz die Basis des centralen Blättchens die Basen der zwei seitlichen Blättchen überdeckt. Sie biegen sich so stark nach oben, dasz sie gegen den Stamm drücken; wenn man senkrecht von oben herab auf eine dieser jungen Pflanzen sieht, sind die unteren Flächen der Blättchen sichtbar, und hierdurch werden, in Übereinstimmung mit der allgemeinen Regel, ihre oberen Flächen am besten gegen Strahlung geschützt. Während sich die Blätter an diesen jungen Pflanzen sich in dieser Weise benahmen, schliefen diejenigen an einem alten in voller Blüthe stehenden Busch nicht.

Trigonella cretica ist in Bezug auf ihren Schlaf einem *Melilotus* ähnlich, welcher sofort beschrieben werden wird. Nach der Angabe von



Fig. 139. *Medicago marina*: A Blätter während des Tages; B Blätter des Nachts schlafend.

Mr. ROYER⁹ erheben sich die Blätter von *Medicago maculata* des Nachts und „se renversent un peu de manière à présenter obliquement au ciel

⁹ Annales des Scienc. Natur. (5. Sér.) Botan. T. 9. 1868, p. 368.

leur face inférieure^e. Es wird hier eine Zeichnung (Fig. 139) der Blätter von *M. marina* im wachen und im schlafenden Zustande mitgetheilt; dies könnte auch beinahe ebensogut für *Cytisus fragrans* in den beiden Zuständen dienen.

Melilotus (III. Trib.). — Die Species in dieser Gattung schlafen in einer merkwürdigen Art und Weise. Die drei Blättchen eines jeden Blattes drehen sich durch einen Winkel von 90° , so dasz ihre Blattscheiben des Nachts senkrecht stehen und eine ihrer Seitenränder gegen den

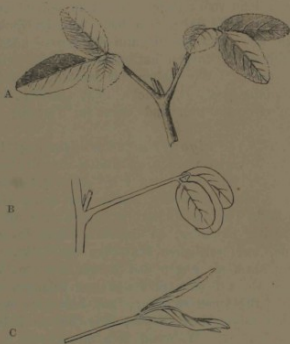


Fig. 140. *Melilotus officinalis*: A Blatt während der Zeit des Tages; B ein anderes Blatt, schlafend; C ein schlafendes Blatt, senkrecht von oben gesehen; in diesem Falle aber war zufällig das terminale Blättchen nicht in so dichter Berührung mit den seitlichen, wie es gewöhnlich der Fall ist.

Zenith kehren (Fig. 140). Wir werden die anderen und complicirteren Bewegungen am besten verstehen, wenn wir uns vorstellen, dasz wir immer das Blatt so halten, dasz die Spitze des terminalen Blättchens nach Norden weise. Wenn die Blättchen des Nachts senkrecht werden sollten, könnten sie sich natürlich so drehen, dasz ihre obere Fläche entweder nach der einen oder nach der anderen Seite hingerichtet wäre; aber die zwei seitlichen Blättchen drehen sich immer so, dasz diese Oberfläche strebt, sich nach Norden zu kehren; da sie sich indessen alle zwei zu derselben Zeit nach dem terminalen Blättchen hin bewegen, sieht die Oberfläche des einen ungefähr nach NNW. und die des andern nach NNO. Das terminale Blättchen benimmt sich verschieden, denn es dreht sich nach beiden Seiten, d. h. die obere Fläche wendet sich zuweilen nach Westen, zuweilen nach Osten, aber im Ganzen gewöhnlicher nach Westen als nach Osten. Das terminale Blättchen bewegt sich auch noch in einer anderen und noch merkwürdigeren Art; denn während sich seine Blattscheibe dreht und senkrecht stellt, biegt sich das ganze Blättchen nach einer Seite und ausnahmslos nach der Seite hin, gegen welche hin die obere Fläche gerichtet ist; so dasz, wenn diese Fläche nach Westen sieht,

das ganze Blättchen sich nach Westen biegt, bis es mit der oberen und senkrecht stehenden Fläche des westlichen seitlichen Blättchens in Berührung kommt. In dieser Weise wird die obere Fläche des terminalen und eines der zwei seitlichen Blättchen gut geschützt.

Die Thatsache, dasz sich das terminale Blättchen indifferent nach einer von beiden Seiten dreht und sich später nach der nämlichen Seite hin biegt, schien uns so merkwürdig zu sein, dasz wir die Ursache davon aufzufinden suchten. Wir stellten uns vor, dasz die Bewegung bei ihrem Beginne vielleicht dadurch bestimmt werden dürfte, dasz die eine der zwei Hälften des Blättchens etwas schwerer als die andere sein könnte. Es wurden daher kleine Holzstückchen auf einer Seite mehrerer Blättchen mit Gummi befestigt; dies brachte indessen keine Wirkung hervor; sie fuhren fort sich in derselben Weise zu drehen, wie sie es früher gethan hatten. Um auszufinden, ob sich ein und dasselbe Blättchen beständig in derselben Richtung drehe, wurden schwarze Fäden an 20 Blätter gebunden, deren terminale Blättchen sich so drehten, dasz ihre oberen Flächen nach Westen sahen, und 14 weisse Fäden an Blätter, deren terminale Blättchen nach Osten sahen. Es wurden dieselben gelegentlich während 14 Tagen beobachtet, und mit einer einzigen Ausnahme fuhren sie sämmtlich fort, sich in derselben Richtung zu drehen und zu biegen; ein einziges Blättchen, welches ursprünglich nach Osten gesehen hatte, ergab sich nach 9 Tagen als nach Westen sehend. Der Sitz sowohl der drehenden als der biegender Bewegung ist in dem Polster der Stiele der Blättchen.

Wir glauben, dasz die Blättchen, besonders die zwei seitlichen, bei Ausführung der oben beschriebenen complicirten Bewegungen sich meistens ein wenig abwärts biegen; wir sind aber darüber nicht ganz sicher, denn was den Hauptblattstiel betrifft, so werden dessen nächtliche Bewegungen in hohem Masse durch die Stellung bestimmt, welche das Blatt zufällig während des Tages einnimmt. So wurde ein Blattstiel beobachtet, welcher sich des Nachts 59° erhob, während drei andere sich nur 7° und 9° erhoben. Die Blattstiele und die Stiele der Blättchen sind während der ganzen 24 Stunden in beständiger Circumnutation, wie wir sofort sehen werden.

Die Blätter der folgenden 15 Species, *M. officinalis*, *suaveolens*, *parviflora*, *alba*, *infesta*, *dentata*, *gracilis*, *sulcata*, *elegans*, *coerulea*, *petit-pierreana*, *macrorrhiza*, *italica*, *secundiflora* und *taurica* schlafen nahezu in der nämlichen Weise wie oben beschrieben wurde; aber die Biegung des terminalen Blättchens nach einer Seite tritt leicht nicht ein, wenn die Pflanzen sich nicht im kräftigen Wachsthum befinden. Bei *M. petit-pierreana* und *secundiflora* wurde nun selten gesehen, dasz sich das terminale Blättchen nach einer Seite bog. Bei jungen Pflanzen von *M. italica* bog es sich in der gewöhnlichen Weise, aber bei allen Pflanzen, welche in voller Blüthe waren, in demselben Topfe wuchsen und zu der nämlichen Stunde beobachtet wurden, nämlich um 8.30 p. m., hatte sich keines der terminalen Blättchen an mehreren Dutzenden von Blättern nach einer Seite gebogen, trotzdem sie senkrecht standen; ebensowenig hatten sich die seitlichen Blättchen, obschon sie senkrecht standen, nach dem endständigen hinbewegt. Um 10.30 p. m. und wieder eine Stunde nach Mitternacht waren die terminalen Blättchen sehr unbedeutend nach einer Seite hin gebogen worden, und hatten sich die seitlichen Blättchen

sehr wenig nach dem terminalen hin bewegt, so dasz die Stellung der Blättchen selbst in dieser späten Stunde von der gewöhnlichen sehr verschieden war. Ferner war niemals zu sehen, dasz sich bei *M. taurica* die terminalen Blättchen nach einem der beiden seitlichen Blättchen hin gebogen hätten, obschon diese sich, während sie sich senkrecht stellten, nach den terminalen hin gebogen hatten. Der Nebenstiel des terminalen Blättchens ist in dieser Species von ungewöhnlicher Länge, und wenn sich das Blättchen nach einer Seite gebogen hätte, hätte seine obere Fläche nur mit der Spitze eines der beiden seitlichen Blättchen in Berührung kommen können; dies ist vielleicht die Bedeutung des Verlustes der Seitenbewegung.

Die Cotyledonen schlafen des Nachts nicht. Das erste Blatt besteht aus einem einzigen kreisförmigen Blättchen, welches sich des Nachts so dreht, dasz seine Scheibe senkrecht steht. Es ist eine merkwürdige Thatsache, dasz bei *M. taurica*, und in einem etwas geringeren Grade auch bei *M. macrorrhiza* und *petitpierreana*, alle die vielen kleinen und jungen Blätter, welche während des zeitigen Frühjahrs aus Schösslingen an einigen eingeschnittenen Pflanzen im Gewächshause sich entwickelt hatten, in einer von der normalen Art und Weise gänzlich verschiedenen schliefen; denn anstatt dasz sich die drei Blättchen um ihre eigenen Axen drehten und ihre Seitenränder den Zenith darboten, wendeten sie sich aufwärts und wiesen mit ihren Spitzen nach dem Zenith hin. Sie nahmen hiedurch nahezu die nämliche Stellung ein, wie die Blätter in der verwandten Gattung *Trifolium*; und nach dem nämlichen Grundsatz, nach welchem embryologische Charactere im Thierreiche die Abstammungslinien enthüllen, deuten die Bewegungen der kleinen Blätter in den obengenannten drei Species von *Melilotus* vielleicht an, dasz diese Gattung von einer Form abstammt, welche mit *Trifolium* nahe verwandt war und wie dieses schlief. Überdies gibt es eine Species, *M. messanensis*, deren Blätter an vollständig erwachsenen Pflanzen von zwischen 2 und 3 Fusz Höhe gleich den vorstehend erwähnten kleinen Blättern und gleich denen eines *Trifolium* schlafen. Wir waren über diesen letzten Fall so sehr überrascht, dasz wir, bis die Blüthen und Früchte untersucht waren, der Meinung waren, es wäre durch ein Misverständnis Samen irgend eines *Trifolium* anstatt deren eines *Melilotus* gesäet worden. Es erscheint daher als wahrscheinlich, dasz *M. messanensis* eine uranfängliche Gewohnheit entweder bewahrt oder wiedererlangt hat.

Es wurde die Circumnutation eines Blattes von *M. officinalis* aufgezeichnet, während der Stamm frei gelassen war; die Spitze des terminalen Blättchens beschrieb zwischen 8 a. m. und 4 p. m. drei nach den Seiten ausgebreitete Ellipsen; nach der letztgenannten Stunde fieng die nächtliche Drehung an. Es wurde später ermittelt, dasz die obige Bewegung zusammengesetzt war aus der Circumnutation des Stammes in geringem Grade, aus der des Haupt-Blattstiels, welcher sich am meisten bewegte, und aus der des Nebenstiels des terminalen Blättchens. Nachdem der Hauptstiel eines Blattes dicht an der Basis des Nebenstiels des terminalen Blättchens fest gemacht worden war, beschrieb das letztere zwischen 10.30 a. m. und 2 p. m. zwei kleine Ellipsen. Um 7.15 p. m., nachdem dieses selbe Blättchen (ebenso wie noch ein anderes) sich in

seine senkrechte nächtliche Stellung gedreht hatte, fiengen sie an, sich langsam zu erheben und fuhren damit bis 10.35 p. m. fort, nach welcher Stunde sie nicht länger beobachtet wurden.

Da *M. messanensis* in einer anomalen Weise, verschieden von allen anderen Arten in dieser Gattung schläft, wurde die Circumnutation eines terminalen Blättchens nach Befestigung des Stammes während zweier Tage aufgezeichnet. An jedem Morgen senkte sich das Blättchen bis ungefähr um Mittag und fieng dann an sehr langsam sich zu erheben; aber am ersten Tage wurde die steigende Bewegung zwischen 1 und 3 p. m. durch die Bildung einer seitwärts ausgestreckten Ellipse und am zweiten Tage zu derselben Zeit durch die Bildung zweier kleinen Ellipsen unterbrochen. Dann begann wiederum die hebende Bewegung und wurde spät am Abend rapid, als das Blättchen anfieng einzuschlafen. Die erwachende oder sinkende Bewegung hatte an beiden Morgen bereits um 6.45 a. m. begonnen.

Trifolium (III. Trib.). — Es wurden die nyctitropischen Bewegungen von 11 Species beobachtet und sie ergaben sich als einander sehr ähnlich. Wenn man ein Blatt von *Tr. repens* auswählt, welches einen aufrechten Stiel hat und dessen drei Blättchen horizontal ausgebreitet sind, so wird man beobachten, dasz sich die zwei seitlichen Blättchen am Abend drehen und einander nähern, bis ihre oberen Flächen mit einander in Berührung kommen. Zu gleicher Zeit biegen sie sich in einer Ebene, welche auf der ihrer früheren Stellung senkrecht steht, abwärts, bis ihre Mittelrippen mit dem oberen Theile des Blattstiels einen Winkel von ungefähr 45° bilden. Diese eigenthümliche Veränderung in der Stellung erfordert einen beträchtlichen Betrag von Torsion in dem Polster. Das terminale Blättchen erhebt sich einfach, ohne sich irgendwie zu drehen, und biegt sich über, bis es auf den Rändern der nun senkrechten und vereinten seitlichen Blättchen ruht und ein Dach über denselben bildet. Dabei durchläuft das terminale Blättchen immer einen Winkel von mindestens 90° , meistens von 130° oder 140° und nicht selten, — wie oft bei *T. subterraneum* beobachtet wurde, — von 180° .

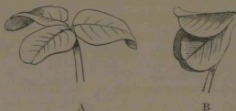


Fig. 141. *Trifolium repens*: A Blatt während des Tages, B Blatt während der Nacht schlafend.

In diesem letzteren Falle steht das terminale Blättchen des Nachts horizontal (wie in Fig. 141) und seine untere Fläche ist dem Zenith ausgesetzt. Auszer dem Unterschiede in den Winkeln, in welchen die terminalen Blättchen des Nachts an den Individuen einer und derselben Species stehen, ist gleichfalls der Grad, bis zu welchem sich die seitlichen Blättchen einander nähern, häufig verschieden.

Wir haben gesehen, dasz die Cotyledonen einiger Species des Nachts sich senkrecht aufrichten, die anderer Species nicht. Das erste echte

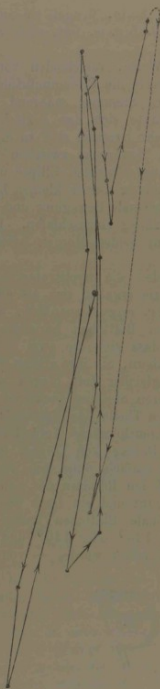


Fig. 142. *Trifolium subterraneum*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines terminalen Blättchens (0.68 Zoll lang), von 6.45 a. m., 4. Juli, bis 9.15 a. m., am 5. aufgezeichnet. Spitze des Blattes $3\frac{7}{8}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte entfernt und die Bewegung, wie hier dargestellt ist, $5\frac{1}{4}$ mal vergrößert, aber auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt. Pflanze von oben beleuchtet. Temperatur 16 bis 17° C.

Blatt ist meistens einblättrig und kreisförmig; es erhebt sich immer und steht des Nachts entweder senkrecht oder, noch häufiger, es biegt sich ein wenig über, so dasz es die untere Fläche schräg dem Zenith aussetzt; in derselben Weise wie es das terminale Blättchen der reifen Pflanze thut. Es dreht sich aber nicht, wie das entsprechende erste einfache Blatt von *Melilotus*. Bei *Tr. pannonicum* war das erste echte Blatt meistens einblättrig, aber zuweilen dreiblättrig oder wieder theilweise gelappt und in einem intermediären Zustand.

Circumnutation. — SACHS hat 1863¹⁰ die spontanen Bewegungen der Blättchen von *Tr. incarnatum* aufwärts und abwärts, wenn es in der Dunkelheit gehalten wurde, beschrieben. PFEFFER hat viele Beobachtungen über die ähnlichen Bewegungen bei *Tr. pratense* angestellt¹¹. Er gibt an, dasz das terminale Blättchen dieser Species, zu verschiedenen Zeiten beobachtet, im Verlaufe von $1\frac{1}{2}$ bis 4 Stunden Winkel von 30° bis 120° durchlief. Wir haben die Bewegungen von *Tr. subterraneum*, *resupinatum* und *repens* beobachtet.

Trifolium subterraneum.

— Ein Blattstiel wurde dicht an der Basis der drei Blättchen festgemacht und die Bewegung des terminalen Blättchens während $26\frac{1}{2}$ Stunden aufgezeichnet, wie es in Fig. 142 dargestellt ist.

Zwischen 6.45 a. m. und 6 p. m. bewegte sich die Spitze dreimal aufwärts und dreimal abwärts, vollendete also in 11 Stunden 15 Minuten 3 Ellipsen. Die aufsteigenden und absteigenden Linien stehen einander näher, als es bei den meisten Pflanzen gewöhnlich der Fall ist, doch fand sich auch einige seitliche Bewegung. Um 6 p. m. begann die grosze nächst-

¹⁰ Flora, 1863, p. 497.

¹¹ Die periodischen Bewegungen etc. 1875, p. 35, 52.

liche Erhebung, und am nächsten Morgen dauerte die Senkung des Blättchens fort bis 8.30 a. m., nach welcher Stunde es in der oben beschriebenen Art und Weise circumnutirte. In der Figur sind die grosse nächtliche Erhebung und die morgendliche Senkung wegen Mangels an Raum bedeutend verkürzt und einfach durch eine kurze Bögenlinie dargestellt worden. Das Blättchen stand horizontal, als es sich auf einem Punkte ein wenig unterhalb der Mitte der Zeichnung fand, so dasz es während der Tageszeit beinahe gleich über und unter eine horizontale Stellung oscillirte. Um 8.30 a. m. stand es 48° unter dem Horizont und um 11.30 a. m. war es 50° über den Horizont gestiegen, so dasz es in 3 Stunden einen Winkel von 98° durchlief. Mit Hülfe der Aufzeichnung ermittelten wir, dasz die von der Spitze dieses Blättchens in den 3 Stunden durchlaufene Entfernung 1.03 Zoll betrug. Wenn wir die Figur ansehen und in Gedanken die kurze unterbrochene Bogenlinie, welche den nächtlichen Weg darstellt, nach oben verlängern, so sehen wir, dasz die letztere Bewegung nur eine Übertreibung oder Verlängerung einer der Tages-Ellipsen ist. Dasselbe Blättchen war an dem vorhergehenden Tage beobachtet worden, und der da eingehaltene Weg war mit dem hier beschriebenen beinahe identisch.

Trifolium resupinatum. — Eine gänzlich frei gelassene Pflanze wurde vor einem Nordostfester in eine solche Stellung gebracht, dasz ein terminales Blättchen unter rechtem Winkel gegen die Lichtquelle vorsprang; der Himmel war den ganzen Tag lang gleichförmig bewölkt. Die Bewegungen dieses Blättchens wurden während zweier Tage verzeichnet und waren an beiden Tagen ähnlich. Die am zweiten Tage ausgeführten sind in Fig. 143 dargestellt. Die Schrägheit der verschiedenen Linien ist zum Theil Folge der Art und Weise, in welcher das Blättchen betrachtet wurde, zum Theil davon, dasz es sich ein wenig nach dem Lichte hin bewegt hatte. Von 7.50 a. m. bis 8.40 a. m. sank das Blatt, d. h. die Bewegung des Erwachens wurde fortgesetzt. Es erhob sich dann und bewegte sich ein wenig seitwärts nach dem Lichte hin. Um 12.50 p. m. kehrte es um und nahm um 2.30 p. m. seinen ursprünglichen Weg wieder auf, nachdem es in dieser Weise während der Mitte des Tages eine kleine Ellipse vollendet hatte. Am Abend erhob es sich rapid und war um 8 a. m. am folgenden Morgen genau auf den nämlichen Punkt wie am Morgen vorher zurückgekehrt. Die den nächtlichen Weg darstellende Linie sollte viel höher hinauf gezogen worden sein und ist hier zu einer kurzen punktirten Bögenlinie abgekürzt worden. Das terminale Blättchen dieser Species beschrieb daher während des Tages nur eine einzige weitere Ellipse, anstatt zwei weiter zu beschreiben, wie bei *Tr. subterraneum*. Wir müssen uns aber daran erinnern, dasz im vierten Capitel gezeigt

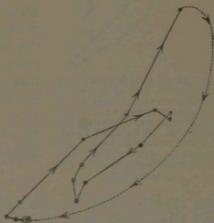


Fig. 143. *Trifolium resupinatum*: Circumnutation und nyctitropische Bewegungen des terminalen Blättchens während 24 Stunden.

Wir müssen uns aber daran erinnern, dasz im vierten Capitel gezeigt

wurde, dasz der Stamm circumnutirt, wie es auch ohne Zweifel der Hauptblattstiel und die Nebenstiele der Blättchen thun, so dasz die in Fig. 143 dargestellte Bewegung eine zusammengesetzte ist. Wir versuchten, die Bewegungen eines während des Tages in Dunkelheit gehaltenen Blattes zu beobachten, es fieng aber nach 2 Stunden 15 Minuten an einzuschlafen, und dies war nach 4 Stunden 30 Minuten gut ausgesprochen.

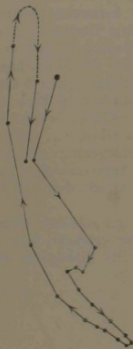


Fig. 144. *Trifolium repens*: Circumnutation und nyctitropische Bewegungen eines nahezu erwachsenen terminalen Blättchens, an einer senkrechten Glasplatte von 7 a. m., 30. Sept., bis 8 a. m., 1. Octbr., aufgezeichnet. Der nächtliche, durch die punktirte Bogenlinie dargestellte Weg, sehr abgekürzt.

Trifolium repens. — Ein Stamm wurde dicht an der Basis eines mäszig alten Blattes festgemacht und die Bewegung des terminalen Blättchens während zweier Tage beobachtet. Dieser Fall ist nur wegen der Einfachheit der Bewegungen im Gegensatz zu denen der zwei vorausgehenden Species interessant. Am ersten Tage sank das Blättchen zwischen 8 a. m. und 3 p. m. und am zweiten Tage zwischen 7 a. m. und 1 p. m. An beiden Tagen war der absteigende Verlauf etwas zickzackförmig, und dies stellt offenbar die Circumnutationsbewegung der zwei vorausgehenden Species während der Mitte des Tages dar. Nach 1 p. m. am 1. October (Fig. 144) begann das Blättchen sich zu erheben, die Bewegung war aber an beiden Tagen, sowohl vor als nach dieser Stunde, bis 4 p. m. langsam. Dann fieng die rapide abendliche und nächtliche Senkung an. Es besteht daher bei dieser Species der während 24 Stunden zurückgelegte Weg aus einer einzigen groszen Ellipse, bei *Tr. resupinatum* aus zwei Ellipsen, von denen die eine die grosze nächtliche Bewegung enthält und bedeutend verlängert ist, und bei *Tr. subterraneum* aus drei Ellipsen, von denen die eine nächtliche gleichfalls von bedeutender Länge ist.

Securigera coronilla (IV. Trib.). — Die Blättchen, welche einander gegenüberstehen und zahlreich sind, erheben sich des Nachts, kommen in dichte Berührung und biegen sich unter einem mäszigen Winkel nach der Basis des Blattstiels zu rückwärts.

Lotus (IV. Trib.). — Es wurden die nyctitropischen Bewegungen von 10 Species in dieser Gattung beobachtet; sie ergaben sich als gleich. Der Hauptblattstiel erhebt sich des Nachts ein wenig und die drei Blättchen steigen empor bis sie senkrecht werden, und nähern sich gleichzeitig einander, dies war bei *L. Jacobaeus* augenfällig, bei welchem die Blättchen beinahe linear sind. Bei den meisten Species erheben sich die Blättchen so bedeutend, dasz sie gegen den Stamm drücken, und nicht selten werden sie ein wenig einwärts geneigt, so dasz ihre unteren Flächen schräg dem Zenith ausgesetzt werden. Dies war deutlich bei *L. major* der Fall, da dessen Blattstiel ungewöhnlich lang und die Blättchen dadurch im Stande sind, sich weiter einwärts zu biegen. Die jungen Blätter am Gipfel der Stämme schlieszen sich des Nachts so bedeutend, dasz sie

großen Knospen ähnlich werden. Die nebenblattartigen Blättchen, welche häufig von bedeutender Größe sind, erheben sich gleich den anderen Blättchen und drücken gegen den Stamm (Fig. 145). Sämmtliche Blättchen

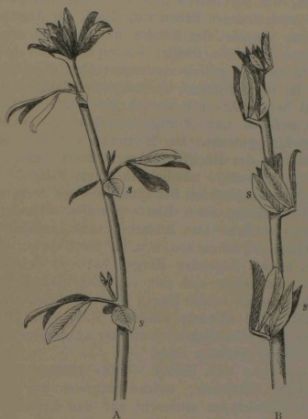


Fig. 145. *Lotus creticus*: Stamm mit wachen Blättern, am Tage; B mit schlafenden Blättern, des Nachts. ss nebenblattähnliche Blättchen.

von *L. creticus* und wahrscheinlich von den anderen Species sind an ihrer Basis mit deutlichen Polstern von einer gelblichen Färbung versehen, welche aus sehr kleinen Zellen gebildet werden. Die Circumnutation eines terminalen Blättchens von *L. peregrinus* wurde (nach Befestigung des Stamms) während zweier Tage aufgezeichnet; die Bewegung war aber so einfach, dasz es sich nicht der Mühe verlohnt, die Zeichnung mitzutheilen. Das Blättchen sank langsam vom frühen Morgen bis ungefähr um 1 Uhr p. m. Dann erhob es sich, anfangs allmählich, aber spät am Abend rapid. Es stand gelegentlich für ungefähr 20 Minuten während des Tages still und zuweilen bewegte es sich ein wenig zickzackförmig. Es wurde auch in derselben Art und zu derselben Zeit die Bewegung eines der basalen nebenblattähnlichen Blättchen verfolgt; der von ihm eingehaltene Weg war dem eines terminalen Blättchens sehr ähnlich.

In Tribus V. von BENTHAM und HOOKER sind die Schlafbewegungen von Species in 12 Gattungen von uns selbst und von Anderen beobachtet worden, aber nur bei *Robinia* mit einiger Sorgfalt. *Psoralea acaulis* erhebt ihre drei Blättchen des Nachts, während *Amorpha fruticosa*¹²,

¹² Duchartre, *Éléments de Botanique*, 1867, p. 349.

Dalea alopecuroides und *Indigofera tinctoria* sie herabdrücken. DUCHARTRE gibt an¹³, dasz *Tephrosia caribaea* das einzige Beispiel darbietet von «folioles couchées le long du pétiole et vers la base»; aber eine ähnliche Bewegung kommt, wie wir bereits gesehen haben und noch weiter sehen werden, auch in noch anderen Fällen vor. Nach der Angabe von ROYER¹⁴ «abaisse» *Wistaria sinensis* «les folioles qui par une disposition bizarre sont inclinées dans la même feuille, les supérieures vers le sommet, les inférieures vers la base du pétiole commun»; aber die Blättchen an einer jungen von uns im Gewächshause beobachteten Pflanze sanken einfach des Nachts senkrecht herab. Erhoben werden die Blättchen bei *Sphaerophysa salsola*, *Colutea arborea* und *Astragalus uliginosus*, werden aber nach LINNÉ bei *Glycyrrhiza* gesenkt. Die Blättchen von *Robinia pseudo-acacia* senken sich gleichfalls des Nachts senkrecht nach unten, die Blattstiele erheben sich aber ein wenig, nämlich in einem Falle 3^o und in einem andern 4^o. Die circumnutirenden Bewegungen eines terminalen Blättchens an einem verhältnismässig alten Blatte wurden während zweier Tage verfolgt und waren einfach. Das Blättchen sank langsam in einer unbedeutend zickzackförmigen Linie von 8 a. m. bis 5 p. m., und dann etwas rapider; um 7 a. m. am folgenden Morgen hatte es sich zu seiner Tagesstellung erhoben. Es zeigte sich nur eine Eigenthümlichkeit in der Bewegung, nämlich, dass an beiden Tagen eine deutliche, wenngleich kleine Oscillation aufwärts und abwärts zwischen 8.30 und 10 a. m. eintrat, und dieses würde wahrscheinlich noch stärker ausgesprochen gewesen sein, wenn das Blatt jünger gewesen wäre.

Coronilla rosea (VI. Trib.). — Die Blätter tragen 9 oder 10 Paar gegenständiger Blättchen, welche während des Tages horizontal stehen, mit ihren Mittelrippen senkrecht auf den Blattstiel. Des Nachts erheben sie sich so, dasz die gegenständigen Blättchen nahezu in Berührung kommen und die an jungen Blättern in dichte Berührung. Zu gleicher Zeit biegen sie sich rückwärts nach der Basis des Blattstiels hin,

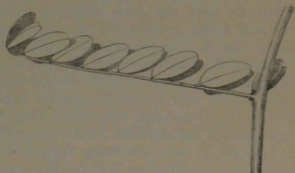


Fig. 146. *Coronilla rosea*: schlafendes Blatt.

bis ihre Mittelrippen Winkel von 40^o bis 50^o mit diesem in einer senkrechten Ebene bilden, wie es hier abgebildet ist (Fig. 146). Indessen biegen sich die Blättchen zuweilen so bedeutend rückwärts, dasz ihre Mittelrippen mit dem Blattstiel parallel werden oder auf ihm liegen. Sie

¹³ Ibid., p. 347.

¹⁴ Annal. d. Scienc. Natur. Botan. (5. Sér.) T. 9. 1868.

nehmen damit eine umgekehrte Stellung von der ein, welche bei mehreren Leguminosen vorkommt, so z. B. bei *Mimosa pudica*; da sie aber weiter aus einander stehen, überdecken sie einander nicht annähernd so viel wie bei dieser letzteren Pflanze. Der Hauptblattstiel ist während des Tages unbedeutend abwärts gekrümmt, streckt sich aber des Nachts gerade. In drei Fällen erhob er sich von 3° über dem Horizont um Mittag bis auf 9° um 10 Uhr p. m., dann von 11° auf 33° , und von 5° auf 33° , so dass die Grösze der Winkelbewegung in diesem letzteren Falle 28° betrug. Bei mehreren anderen Species von *Coronilla* zeigten die Blättchen nur schwache Bewegungen ähnlicher Art.

Hedysarum coronarium (VI. Trib.). — Die kleinen seitlichen Blättchen an im Freien wachsenden Pflanzen erhoben sich des Nachts senkrecht, aber das grosze terminale wurde nur unbedeutend aufgerichtet. Die Blattstiele erhoben sich dem Anscheine nach durchaus nicht.

Smithia Pfundii (VI. Trib.). — Die Blättchen erheben sich senkrecht und auch der Hauptblattstiel steigt beträchtlich.

Arachis hypogaea (VI. Trib.). — Die Form eines Blattes mit seinen zwei Paar Blättchen ist in A (Fig. 147) dargestellt; und ein

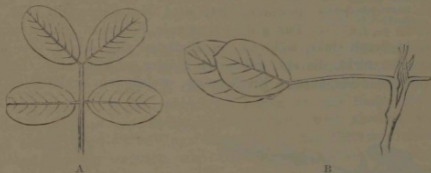


Fig. 147. *Arachis hypogaea*: A Blatt während des Tages, senkrecht von oben gesehen; B schlafendes Blatt, von der Seite gesehen, nach einer Photographie copirt. Figuren bedeutend verkleinert.

schlafendes Blatt, nach einer Photographie gezeichnet (die mit Hülfe des Aluminiumlichts gefertigt wurde), ist in B mitgetheilt. Die zwei terminalen Blättchen drehen sich des Nachts herum, bis ihre Scheiben senkrecht stehen, und nähern sich einander, bis sie sich treffen, sich dabei gleichzeitig ein wenig aufwärts und rückwärts bewegend. Die zwei seitlichen Blättchen treffen sich einander in derselben Weise, bewegen sich aber in höherem Grade vorwärts, d. h. in einer entgegengesetzten Richtung zu der der zwei terminalen Blättchen, welche sie zum Theil umfassen. Auf diese Weise bilden alle vier Blättchen zusammen ein einziges Packet, ihre Ränder sind nach dem Zenith hin gerichtet und ihre unteren Flächen nach auszen gekehrt. An einer Pflanze, welche nicht kräftig wuchs, schienen die geschlossenen Blättchen für die Stiele zu schwer zu sein, um sie in einer senkrechten Stellung zu tragen, so dass in jeder Nacht der Hauptblattstiel gedreht wurde, und sämtliche Päckchen wurden horizontal ausgestreckt, die unteren Flächen der Blättchen auf der einen Seite waren dabei in einer äusserst abnormen Art nach dem Zenith hin gerichtet. Diese Thatsache wird nur als Mahnung zur Vorsicht mitgetheilt, da sie uns in hohem Masze überraschte, bis wir entdeckten, dass es eine Ano-

malie war. Die Blattstiele sind während des Tages aufwärts geneigt, senken sich aber des Nachts, so dasz sie mit dem Stamm ungefähr im rechten Winkel stehen. Die Grösze der Senkung wurde nur bei einer Gelegenheit gemessen; sie ergab sich zu 39° . Ein Blattstiel wurde an der Basis der zwei terminalen Blättchen an einem Stabe fest gemacht und die circumnutirende Bewegung eines dieser Blättchen von 6.40 a. m. bis 10.40 p. m. verfolgt, wobei die Pflanze von oben beleuchtet war. Die Temperatur war $17-17\frac{1}{2}^{\circ}$ C. und daher etwas zu niedrig. Während dieser 16 Stunden bewegte sich das Blättchen dreimal aufwärts und dreimal abwärts, und da die auf- und absteigenden Linien nicht zusammenfielen, wurden drei Ellipsen gebildet.



Fig. 148. *Desmodium gyrans*: Blatt von oben gesehen, auf die halbe natürliche Grösze verkleinert; die minutiösen Nebenblättchen ungewöhnlich grosz.

Desmodium gyrans (VI. Trib.). — Ein groszes und vollständig erwachsenes Blatt dieser Pflanze, welche durch die spontanen Bewegungen der zwei kleinen seitlichen Blättchen so berühmt geworden ist, wird hier dargestellt (Fig. 148). Das grosze terminale Blättchen schläft so, dasz es senkrecht herab sinkt, während der Blattstiel sich erhebt. Die Cotyledonen schlafen nicht, die erst gebildeten Blätter schlafen aber ebenso gut wie die älteren. Die äuszere Erscheinung, welche ein schlafender Zweig



Fig. 149. *Desmodium gyrans*: A Stamm während des Tages; B Stamm mit schlafenden Blättern. Nach Photographien copirt. Figuren verkleinert.

und ein solcher am Tage darbietet, ist hier, nach zwei Photographien copirt, in A und B (Fig. 149) dargestellt, und wir sehen, wie des Nachts

die Blätter durch die Erhebung der Blattstiele dicht zusammengedrängt sind, gleichsam zu gegenseitigem Schutz. Die Stiele der jüngeren Blätter in der Nähe des Gipfels der Sprossen erheben sich des Nachts so, dass sie senkrecht und mit dem Stamm parallel stehen, während es sich ergab, dass in einigen Fällen diejenigen an den Seiten sich beziehentlich $46\frac{1}{2}^{\circ}$, 36° , 20° und $19^{\circ}5$ über die geneigten Stellungen, welche sie während des Tages eingenommen hatten, erhoben hatten. So stand beispielsweise im ersten dieser vier Fälle der Blattstiel am Tage 23° und des Nachts $69\frac{1}{2}^{\circ}$ über dem Horizont. Am Abend wird die Erhebung der Blattstiele beinahe vollendet, ehe die Blättchen senkrecht abwärts sinken.

Circumnutation. — Es wurden die circumnutirenden Bewegungen vier junger Sprosse während 5 Stunden 15 Minuten beobachtet, und in dieser Zeit vollendete jeder eine ovale Figur von geringer Grösze. Auch der Hauptblattstiel circumnutirte rapid, denn im Verlauf von 31 Minuten (Temperatur 26.2° C.) veränderte er seinen Lauf sechsmal um den Betrag eines rechten Winkels und beschrieb dabei eine Figur, welche augenscheinlich zwei Ellipsen darstellte. Die Bewegung des terminalen Blättchens mittelst seines Nebenstiels oder Polsters ist völlig so rapid oder selbst noch rapider als die des Hauptblattstiels und hat eine gröszere Amplitude. PFEFFER hat beobachtet¹⁵, dass sich diese Blättchen im Verlaufe von 10 bis 30 Secunden durch einen Winkel von 8° bewegten.

Ein schönes, nahezu vollständig ausgewachsenes Blatt an einer Pflanze vom 8 Zoll Höhe, deren Stamm an der Basis des Blattes an einem Stab befestigt war, wurde von 8.30 a. m., 22. Juni, bis 8 a. m., 24. Juni beobachtet. In der hier auf der nächsten Seite mitgetheilten Zeichnung (Fig. 150) hätten die zwei punktirten Linien an der Basis, welche den nächtlichen Verlauf der Bewegung darstellen, weit abwärts verlängert werden sollen. Am ersten Tage bewegte sich das Blättchen dreimal abwärts und dreimal aufwärts und bis auf eine beträchtliche Entfernung auch seitwärts; der durchlaufene Weg war auch merkwürdig hakenförmig. Die Punkte wurden meistens alle Stunden gemacht; wenn sie alle paar Minuten gemacht worden wären, würden die Linien in einem ausserordentlichen Grade zickzackförmig, und hier und da mit einer gebildeten Schlinge, geworden sein. Dass dies der Fall gewesen sein würde, können wir annehmen, weil im Verlaufe von 31 Minuten einmal (zwischen 12.34 und 1.5 p. m.) fünf Punkte gemacht wurden, und wir sehen im oberen Theil der Zeichnung, wie winklig der Weg dort ist; wenn nur der erste und der letzte Punkt gemacht und verbunden wären, so würden wir eine gerade Linie gehabt haben. Genau dieselbe Thatsache ist auch an den Linien zu sehen, welche die Bewegung zwischen 2.24 und 3 p. m. darstellen, in welcher Zeit sechs Punkte gemacht wurden, ebenso wieder zwischen 4.46 und 4.50. Nach 6 p. m. war aber das Resultat sehr verschieden, — d. h. nachdem die grosze nächtliche Senkung begonnen hatte; denn obgleich im Verlauf von 32 Minuten neun Punkte gemacht wurden, so war doch die Linie, als dieselbe verbunden wurden (s. die Abbildung), beinahe gerade. Die Blättchen fangen daher am Nachmittage an, sich in Zickzacklinien zu senken; sobald aber die Senkung rapid wird,

¹⁵ Die periodischen Bewegungen etc., p. 35.

wird die ganze Energie auf diese Bewegung verwandt, und ihr Verlauf wird damit gerade. Nachdem die Blättchen vollständig eingeschlafen sind, bewegen sie sich nur sehr wenig oder durchaus gar nicht.

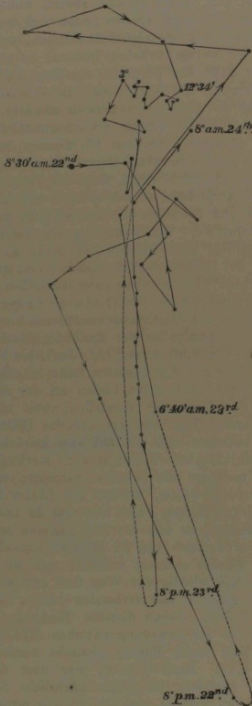


Fig. 150. *Desmodium gyrans*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blattes (von $3\frac{3}{4}$ Zoll Länge mit Einschluß des Blattstiels) während 48 Stunden. Glasfaden an die Mittelrippe des terminalen Blättchens befestigt; seine Spitze 6 Zoll von der senkrechten Glasscheibe. Zeichnung auf ein Drittel der Originalgröße reducirt. Pflanze von oben beleuchtet. Temperatur 19° – 20° C.

Wäre die obige Pflanze einer höheren Temperatur als $19\frac{1}{2}$ – 21° C. ausgesetzt worden, so würden die Bewegungen des terminalen Blättchens

wahrscheinlich selbst noch rapider und der Ausdehnung nach weiter gewesen sein, als in der Zeichnung dargeboten wird; denn eine Pflanze wurde einige Zeit lang im Warmhause bei $33.3\text{--}33.8^{\circ}$ C. gehalten, und im Verlaufe von 35 Minuten senkte sich die Spitze eines Blättchens zweimal und stieg einmal empor, wobei sie in verticaler Richtung über einen Raum von 1.2 Zoll und in einer horizontalen Richtung von 0.82 Zoll sich bewegte. Während sich das Blättchen in dieser Weise bewegte, rotirte es auch um seine eigene Axe (und dies war ein Punkt, auf welchen vorher die Aufmerksamkeit nicht gelenkt worden war); denn die Ebene der Blattscheibe hatte nach Verlauf von nur wenigen Minuten eine um 41° verschiedene Stellung. Gelegentlich stand das Blättchen eine kurze Zeit lang still. Schnellende Bewegungen, welche für die kleinen seitlichen Blättchen so characteristisch sind, kamen nicht vor. Ein plötzliches und beträchtliches Fallen der Temperatur verursacht ein Abwärtssinken des terminalen Blättchens; so wurde ein abgeschnittenes Blatt in Wasser von 35° C. eingetaucht, welches langsam bis auf 39.4° C. erwärmt wurde und welches man später bis auf 21° C. abkühlen liesz; dann krümmte sich der Stiel des terminalen Blättchens abwärts. Das Wasser wurde später auf 49° C. erwärmt und da streckte sich der Nebenstiel gerade. Ähnliche Versuche mit Blättern in Wasser wurden zweimal wiederholt mit nahezu demselben Resultat. Es musz noch hinzugefügt werden, dasz eine Erwärmung des Wassers selbst bis zu 50° C. ein Blatt nicht tödtet. Eine Pflanze wurde um 8.37 a. m. in's Dunkle gestellt, und um 2 p. m. (d. i. nach 5 Stunden 23 Minuten) hatten die Blättchen, obgleich sie sich beträchtlich gesenkt hatten, doch durchaus nicht ihre nächtliche, senkrecht herabhängende Stellung erlangt. Andererseits sagt PFEFFER¹⁶, dasz dies bei ihm in einer Zeit von $\frac{3}{4}$ bis 2 Stunden eingetreten sei; vielleicht dürfte die Verschiedenheit in unseren Resultaten die Folge davon sein, dasz die Pflanze, an welcher wir die Versuche anstellten, ein sehr junger und kräftiger Sämling war.

Die Bewegungen der kleinen seitlichen Blättchen. — Dieselben sind so oft schon beschrieben worden, dasz wir uns die Mühe geben wollen, so kurz wie möglich zu sein; wir theilen einige wenige neue Thatsachen und Folgerungen mit. Die Blättchen ändern zuweilen schnell ihre Stellung bis zu einem Betrage von nahezu 180° ; man sieht dabei, dasz sich ihre Stielchen bedeutend krümmen. Sie rotiren um ihre eigenen Axen, so dasz ihre oberen Flächen nach allen Punkten der Windrose hin gerichtet werden. Die von der Spitze beschriebene Figur ist ein unregelmäßiges Oval oder eine Ellipse. Sie bleiben zuweilen eine Zeit lang stationär. Ausgenommen in Bezug auf ihre Rapidität und Ausdehnung besteht in diesen verschiedenen Beziehungen kein Unterschied zwischen ihren Bewegungen und den unbedeutenderen, welche vom groszen terminalen Blättchen bei dessen groszen Oscillationen ausgeführt werden. Die Bewegungen der kleinen Blättchen werden wie bekannt, bedeutend durch die Temperatur beeinfluszt. Dies zeigte sich deutlich beim Einlegen von Blättern mit bewegungslosen Blättchen in kaltes Wasser, welches langsam auf 39.5° C. erwärmt wurde; dabei bewegten sich die Blättchen

¹⁶ Die periodischen Bewegungen etc., p. 39.

schnell und beschrieben in 40 Minuten ungefähr ein Dutzend kleiner unregelmäßiger Kreise. In dieser Zeit war das Wasser wieder viel kühler geworden, und da wurden die Bewegungen langsamer und hörten beinahe auf; dann wurde das Wasser auf 37.8° C. erwärmt und die Blättchen fiengen wieder an, sich schnell zu bewegen. Bei einer anderen Gelegenheit wurde ein Büschel schöner Blätter in Wasser von 11.6° C. gelegt, und die Blättchen waren natürlich bewegungslos. Das Wasser wurde auf 37.2° C. erwärmt und bald fiengen die Blättchen an, sich zu bewegen; es wurde auf 40.5° C. erwärmt und die Bewegungen wurden viel rapider: ein jeder kleiner Kreis oder Oval wurde in der Zeit von 1 Minute 30 Sekunden bis 1 Minute 45 Sekunden vollendet. Es fand indessen keine schnellende Bewegung statt, und diese Thatsache dürfte vielleicht dem Widerstande des Wassers zugeschrieben werden.

SACHS gibt an, dasz sich die Blättchen nicht eher bewegen als bis die umgebende Luft eine Temperatur von $21\frac{1}{2}^{\circ}$ bis 22° C. hat; und dies stimmt mit unserer Erfahrung an völlig, oder nahezu völlig erwachsenen Pflanzen überein. Die Blättchen junger Sämlinge bieten aber bei viel niedrigerer Temperatur eine springende Bewegung dar. Ein Sämling wurde den halben Tag lang (16. April) in einem Zimmer gehalten, wo die Temperatur stetig auf 17.8° C. blieb, und das eine Blättchen, welches er trug, machte beständig schnellende Bewegungen, aber nicht so rapid wie im Warmhause. Der Topf wurde am Abend in ein Schlafzimmer gebracht, wo die Temperatur beinahe die ganze Nacht hindurch auf 16.7° C. blieb; um 10 und 11 p. m. und um 1 a. m. schnellte das Blatt noch immer rapid; um 3.30 a. m. sah man es nicht schnellen, es wurde aber nur eine kurze Zeit beobachtet. Indessen war es jetzt unter einem viel niedrigeren Winkel geneigt als dem, den es um 1 a. m. eingenommen hatte. Um 6.30 a. m. (Temperatur 16° C.) war seine Neigung noch geringer als vorher, und um 6.45 a. m. noch geringer; um 7.40 a. m. hatte es sich erhoben und um 8.30 a. m. sah man es wiederum schnellen. Dies Blättchen bewegte sich daher während der ganzen Nacht, und die Bewegung geschah bis um 1 a. m. (und möglicherweise noch später) und wiederum um 8.30 a. m. ruckweise, obgleich die Temperatur nur 16° und 16.7° C. betrug. Wir müssen daher die Folgerung ziehen, dasz die von jungen Pflanzen hervorbrachten seitlichen Blättchen in ihrer Constitution von denen an älteren Pflanzen etwas verschieden sind.

In der groszen Gattung *Desmodium* ist bei weitem die gröszere Zahl der Species dreiblättrig; einige sind aber einblättrig und selbst eine und dieselbe Pflanze kann ein- und dreiblättrige Blätter tragen. In den meisten Species sind die seitlichen Blättchen nur ein wenig kleiner als das endständige. Es müssen daher die seitlichen Blättchen von *D. gyrans* (s. die frühere Figur 148) als beinahe rudimentär angesehen werden. Sie sind auch der Function nach rudimentär, wenn der Ausdruck angewandt werden kann; denn sie schlafen sicherlich nicht so wie die terminalen Blättchen von voller Grösze. Es ist indessen möglich, dass das Herabsinken der Blättchen zwischen 1 a. m. und 6.45 a. m., wie es oben beschrieben wurde, den Schlaf darstellen dürfte. Es ist sehr wohl bekannt, dasz die Blättchen während des ersten Theils der Nacht sich ruckweise zu bewegen fortfahren; mein Gärtner beobachtete aber (13. Oct.) eine Pflanze im

Warmhause zwischen 5 und 5.30 a. m., während die Temperatur auf 27.8° C. gehalten war, und fand, dass alle Blättchen geneigt waren, er sah aber bis 6.55 a. m., um welche Zeit sich das terminale Blättchen erhoben hatte und aufgewacht war, keine schnellende Bewegung. Zwei Tage später (15. Oct.) wurde dieselbe Pflanze wieder von ihm um 4.47 a. m. (Temperatur 25° C.) beobachtet, und er fand, dass das grosse terminale Blättchen aufgewacht, obschon nicht völlig horizontal war; die einzige Ursache, welche wir für diese abnorme Wachsamkeit ausfindig machen konnten, war die, dass die Pflanze während des vorhergehenden Tages experimenteller Zwecke wegen bei einer ungewöhnlich hohen Temperatur gehalten worden war; auch bewegten sich die kleinen seitlichen Blättchen zu dieser Stunde schon schnellend; ob aber zwischen dieser letzteren Thatsache und der subhorizontalen Stellung der terminalen Blättchen irgend ein Zusammenhang bestand, wissen wir nicht. Wie dem auch sei, so viel ist sicher, dass die seitlichen Blättchen nicht so wie die terminalen Blättchen schlafen; und in so fern kann man sagen, dass sie sich in einem functionell rudimentären Zustande befinden. Sie befinden sich in einem ähnlichen Zustande in Bezug auf Irritabilität; denn denn wenn eine Pflanze erschüttert oder bespritzt wird, sinken die terminalen Blättchen bis ungefähr 45° unter den Horizont; wir konnten aber niemals finden, dass hierdurch irgend eine Wirkung auf die seitlichen Blättchen ausgeübt würde; doch sind wir nicht vorbereitet positiv zu behaupten, dass ein Reiben oder Stechen des Polsters keine Wirkung hervorbringe.

Wie es bei den meisten rudimentären Organen der Fall ist, sind die Blättchen in ihrer Größe variabel; sie weichen häufig von ihrer normalen Stellung ab und stehen einander nicht gegenüber; häufig fehlt eines von beiden. Diese Abwesenheit schien in einigen Fällen, aber nicht in allen, eine Folge davon zu sein, dass das Blättchen vollständig mit dem Hauptblattstiel verschmolzen war, wie man aus dem Vorhandensein einer unbedeutenden Leiste dessen oberem Rande entlang und aus dem Verlauf der Gefäße schliessen konnte. In einem Falle fand sich eine Spur eines Blättchens in der Gestalt einer minutiösen Spitze am unteren Ende der Leiste. Das häufige, plötzliche und vollständige Verschwinden eines oder beider rudimentären Blättchen ist eine ziemlich merkwürdige Thatsache; die aber ist noch viel auffallender, dass die Blätter, welche zuerst an Sämlingspflanzen entwickelt werden, nicht mit solchen versehen sind. So war an einem Sämling das siebente Blatt oberhalb der Cotyledonen das erste, welches überhaupt irgend seitliche Blättchen trug und dann nur ein einziges. An einem andern Sämling trug das elfte Blatt zuerst ein Seitenblättchen; von den neun darauffolgenden Blättern trugen fünf ein einziges seitliches Blättchen und vier trugen durchaus gar keine; endlich kam ein Blatt, das einundzwanzigste oberhalb der Cotyledonen, welches mit zwei rudimentären seitlichen Blättchen versehen war. Nach einer im Thierreich weit verbreiteten Analogie hätte man erwarten können, dass diese rudimentären Blättchen an sehr jungen Pflanzen besser entwickelt und regelmässiger vorhanden sein würden als an alten Pflanzen. Erinnern wir uns aber daran, dass erstens lange verloren gegangene Charactere zuweilen spät im Leben wieder erscheinen, und zweitens, dass die Arten der Gattung *Desmodium* meistens dreiblättrig, dass aber einige

einblättrig sind, so entsteht die Vermuthung, dasz *D. gyrans* von einer einblättrigen Species abstammt, und dasz diese ihrerseits von einer dreiblättrigen abstammte; denn in diesem Fall kann beides, sowohl die Abwesenheit der kleinen seitlichen Blättchen an sehr jungen Sämlingen als auch ihr späteres Erscheinen einem Rückschlag auf mehr oder weniger weit zurückliegende Vorfahren zugeschrieben werden¹⁷.

Niemand vermuthet, dasz die rapiden Bewegungen der seitlichen Blättchen von *D. gyrans* für die Pflanze von irgend welchem Nutzen sind; und warum sie sich in dieser Weise benehmen, ist vollständig unbekannt. Wir stellten uns vor, dasz ihr Bewegungsvermögen in irgend welcher Beziehung zu ihrem rudimentären Zustande stehen dürfte, und beobachteten daher die beinahe rudimentären Blättchen der *Mimosa albida vel sensitiva* (von welcher später eine Zeichnung mitgetheilt werden wird, Fig. 159); sie boten aber keine aussergewöhnlichen Bewegungen dar und schiefen in gleicher Weise ein wie die Blättchen von voller Grösze. Es besteht indessen die merkwürdige Verschiedenheit zwischen den beiden Fällen: bei *Desmodium* ist das Polster der rudimentären Blättchen nicht an Länge, in Übereinstimmung mit der Verkümmernng der Scheibe, bis zu demselben Grade reducirt worden, wie es bei der *Mimosa* eingetreten ist; und es ist die Länge und der Grad der Krümmung des Polsters, von welchen die Grösze der Bewegung der Blattscheibe abhängt. So ist die mittlere Länge des Polsters an den groszen terminalen Blättchen von *Desmodium* 3 mm, während das der rudimentären Blättchen 2.86 mm lang ist, so dasz sie nur wenig an Länge verschieden sind. Im Durchmesser weichen sie aber bedeutend von einander ab, der des Polsters der kleinen Blättchen beträgt nur 0.3 bis 0.4 mm, während der des Polsters der terminalen Blättchen 1.33 mm beträgt. Wenn wir uns nun zu der *Mimosa* wenden, so finden wir, dasz die mittlere Länge des Polsters der beinahe rudimentären Blättchen nur 0.466 mm beträgt, oder etwas mehr als ein Viertel der Länge des Polsters der Blättchen von voller Grösze, welches 1.66 mm lang ist. In dieser geringen Reduction in der Länge des Polsters der rudimentären Blättchen von *Desmodium* liegt allem Anscheine nach die nächste Ursache ihrer groszen und rapiden Circumnutationsbewegung, im Gegensatze zu der der beinahe rudimentären Blättchen der *Mimosa*. Die geringe Grösze und das geringe Gewicht ebenso wie der unbedeutende Widerstand, welchen die Luft ihrer Bewegung entgegensetzt, kommen ohne Zweifel auch mit in's Spiel; denn wir haben gesehen, dasz diese Blättchen, wenn sie in Wasser eingetaucht sind, wo der Widerstand viel grözzer ist, an den vorwärts gerichteten ruckweisen Bewegungen gehindert wurden. Warum bei der Verkümmernng der Seitenblättchen von *Desmodium* oder bei ihrem Wiedererscheinen — wenn sie ihr Auftreten einem Rückschlage verdanken — das Polster so viel weniger afficirt wird als die Blattscheibe, während bei der *Mimosa* das Polster bedeutend reducirt worden ist, wissen wir nicht. Nichtsdestoweniger verdient es Beachtung, dasz die Verkümmernng der Blättchen in diesen beiden Gat-

¹⁷ *Desmodium vespertilionis* ist mit *D. gyrans* nahe verwandt und es scheint gelegentlich rudimentäre seitliche Blättchen zu tragen. Duchartre, *Eléments de Botanique*, 1867, p. 353.

tungen augenscheinlich mittelst eines verschiedenen Processes und zu einem verschiedenen Zwecke bewirkt worden ist; denn bei der *Mimosa* war die Verkümmernng der inneren und basalen Blättchen nothwendig aus Mangel an Platz; bei *Desmodium* existirt aber keine derartige Nothwendigkeit und die Verkümmernng ihrer Seitenblättchen scheint nach dem Princip der Compensation, in Folge der bedeutenden Grösze des terminalen Blättchens, eingetreten zu sein.

Uraria (VI. Trib.) und *Centrosema* (VIII. Trib.). — Die Blättchen von *Uraria lagopus* und die Blätter eines *Centrosema* von Brasilien sinken beide des Nachts senkrecht herab. Bei der letzteren Pflanze erhob sich gleichzeitig der Blattstiel um $16\frac{1}{2}^{\circ}$.

Amphicarpaea monoica (VIII. Trib.). — Die Blättchen sinken des Nachts senkrecht nach unten und die Blattstiele senken sich gleichfalls beträchtlich. Ein Blattstiel, welcher sorgfältig beobachtet wurde, stand während des Tages 25° über dem Horizont und des Nachts 32° unter ihm; er senkte sich daher 57° . Ein Glasfaden wurde quer über das terminale Blättchen eines schönen jungen Blattes (von $2\frac{1}{4}$ Zoll Länge mit Einschluss des Blattstiels) befestigt, und die Bewegung des ganzen Blattes wurde an einer senkrechten Glasplatte verzeichnet. Dies war in manchen Beziehungen kein guter Plan, weil die Rotation des Blättchens, unabhängig von seinem Heben oder Sinken, den Glasfaden erhob und niederdrückte; es war aber zu unserem speciellen Zwecke, nämlich um zu beobachten, ob sich das Blatt noch bedeutend bewege, nachdem es eingeschlafen war, der beste Plan. Die Pflanze hatte sich dicht um einen runden Stab gewunden, so dasz die Circumnutation des Stammes verhindert war. Die Bewegung des Blattes wurde während 48 Stunden verfolgt, von 9 a. m., 10. Juli, bis 9 a. m., 12. Juli. In der mitgetheilten Figur

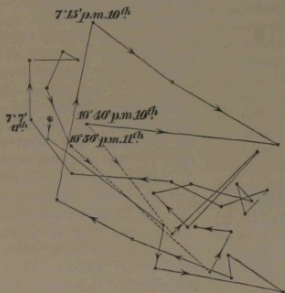


Fig. 151. *Amphicarpaea monoica*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blattes während 48 Stunden; seine Spitze 9 Zoll von der senkrechten Glasplatte. Figur hier auf ein Drittel des Maszstabs des Originals reducirt. Pflanze von oben beleuchtet; Temperatur $17\frac{1}{2}$ bis $18\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

(Fig. 151) sehen wir, wie complicirt der zurückgelegte Weg an beiden Tagen war; während des zweiten Tages veränderte es seine Richtung

13mal bedeutend. Die Blättchen fiengen ein wenig nach 6 p. m. einzuschlafen an, und um 7.15 p. m. hiengen sie senkrecht herab und waren vollkommen eingeschlafen; aber in beiden Nächten fuhren sie von 7.15 p. m. bis 10.40 und 10.50 p. m. vollständig so viel sich zu bewegen fort wie am Tage, und dies war der Punkt, den wir zu ermitteln wünschten. Wir

sehen in der Zeichnung, dasz die bedeutende Senkung spät am Abend nicht wesentlich von der Circumnutation während des Tages verschieden ist.

Glycine hispida (VIII. Trib.) —

Die drei Blättchen sinken des Nachts senkrecht abwärts.

Erythrina (VIII. Trib.) —

Es wurden fünf Species beobachtet, und bei allen sanken die Blättchen des Nachts senkrecht nach unten; bei *E. caffra* und bei einer zweiten ungenannten Species erhoben sich gleichzeitig die Blattstiele unbedeutend. Die Bewegungen des terminalen Blättchens von *E. crista-galli* wurden (nachdem der Hauptblattstiel an einem Stabe festgemacht worden war) von 6.40 a. m., 8. Juni, bis 8.40 a. m. am 10. Juni aufgezeichnet. Um die nyctitropischen Bewegungen dieser Pflanze zu beobachten ist es nothwendig, dasz dieselbe in einem warmen Gewächshause gewachsen ist, denn in unserem Clima schläft die Pflanze im Freien nicht. Wir sehen in der Zeichnung (Fig. 152), dasz das Blättchen zwischen dem frühen Morgen und Mittag zweimal auf- und abwärts oscillirte; dann senkte es sich bedeutend, um später wieder bis um 3 p. m. sich zu erheben. Zu dieser letzten Stunde fieng die grosze nächtliche Senkung an. Am zweiten Tag (für welchen die Zeichnung hier nicht mitgetheilt wird) fand vor Mittag genau die nämliche doppelte Oscillation statt, aber am Nachmittage nur eine sehr kleine. Am dritten Morgen bewegte sich das Blättchen seitwärts, was die Folge davon war, dasz es anfieng eine schräge Stellung anzunehmen, wie es bei den Blättchen dieser Species, wenn sie alt werden, ausnahmslos einzutreten scheint. In beiden Nächten fuhren die Blättchen, nachdem sie

eingeschlafen waren und senkrecht abwärts hiengen, sich ein wenig aufwärts und abwärts und von einer Seite zur andern zu bewegen fort.

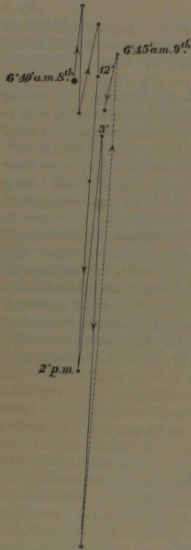


Fig. 152. *Erythrina crista-galli*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines terminalen Blättchens von $3\frac{1}{4}$ Zoll Länge, während 25 Stunden aufgezeichnet; Spitze des Blattes $3\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte. Figur hier auf die Hälfte der Originalgröße reducirt. Pflanze von oben beleuchtet. Temperatur $17\frac{1}{2}$ bis $18\frac{1}{2}$ ° C.

eingeschlafen waren und senkrecht abwärts hiengen, sich ein wenig aufwärts und abwärts und von einer Seite zur andern zu bewegen fort.

Erythrina caffra: Ein Glasfaden wurde quer über ein terminales Blättchen befestigt, da wir seine Bewegungen, während es eingeschlafen

war, zu beobachten wünschten. Die Pflanze wurde am Morgen des 10. Juni unter ein Oberlicht gebracht, wo die Beleuchtung nicht hell war; wir wissen nicht, ob es eine Folge dieser Ursache war oder weil die Pflanze gestört worden war, aber das Blättchen hieng den ganzen Tag senkrecht herab; nichtsdestoweniger circumnutirte es in dieser Stellung, dabei eine Figur beschreibend, welche zwei unregelmässige Ellipsen darstellte. Am nächsten Tage circumnutirte es in einem höheren Grade und beschrieb vier unregelmässige Ellipsen, und um 3 p. m. hatte es sich in eine horizontale Stellung erhoben. Um 7.15 p. m. war es eingeschlafen und hieng senkrecht herab, fuhr aber, so lange es beobachtet wurde, bis 11 p. m., zu circumnutiren fort.

Erythrina corallodendron. — Es wurden die Bewegungen eines terminalen Blättchens aufgezeichnet. Während des zweiten Tages oscillirte es viermal aufwärts und viermal abwärts zwischen 8 a. m. und 4 p. m., nach welcher Stunde die grosze nächtliche Senkung begann. Am dritten Tage war die Bewegung nach ihrer Amplitude gleich grosz, war aber merkwürdig einfach; denn das Blättchen erhob sich von 6.50 a. m. bis 3 p. m. in einer beinahe vollkommen geraden Linie und senkte sich dann in einer gleich geraden Linie, bis es senkrecht herabhieng und schlief.

Apios tuberosa (VIII. Trib.). — Die Blättchen sinken des Nachts senkrecht nach unten.

Phaseolus vulgaris (VIII. Trib.). — Die Blättchen sinken gleichfalls des Nachts senkrecht nach unten. In dem Gewächshause erhob sich des Nachts der Stiel eines jungen Blattes 16° und der eines älteren Blattes 10° . Bei im Freien wachsenden Pflanzen schlafen allem Anschein nach die Blättchen nicht früher als bis die Jahreszeit etwas weit vorgeückt ist; denn in den Nächten des 11. und 12. Juli schlief keines; während in der Nacht des 15. August an den nämlichen Pflanzen die meisten ihrer Blättchen senkrecht herabhiengen und schliefen. Bei *Ph. caracalla* und *Hernandesii* sinken die primären einblättrigen Blätter und die Blättchen der secundären dreiblättrigen Blätter des Nachts senkrecht nach unten. Dies gilt auch für die secundären dreiblättrigen Blätter von *Ph. Roxburghii*; es ist aber merkwürdig, dasz die primären einblättrigen Blätter, welche bedeutend verlängert sind, sich des Nachts von ungefähr 20° bis ungefähr 60° über den Horizont erheben. Indessen stehen bei älteren Sämlingen, bei welchen die secundären Blätter eben entwickelt worden sind, die primären Blätter in der Mitte des Tages horizontal oder sind ein wenig unter den Horizont niedergebogen. In einem derartigen Falle erhoben sich die primären Blätter von 26° unter dem Horizont des Mittags bis 20° über denselben um 10 p. m., während zu der nämlichen Zeit die Blättchen der secundären Blätter senkrecht nach unten hiengen. Wir haben daher hier den ausserordentlichen Fall vor uns, dasz sich die primären und secundären Blätter an einer und derselben Pflanze in der nämlichen Zeit in entgegengesetzten Richtungen bewegen.

Wir haben nun gesehen, dasz die Blättchen in den sechs von uns beobachteten Gattungen der Phaseoleen (mit Ausnahme der primären Blätter von *Phaseolus Roxburghii*) sämmtlich in der nämlichen Art schlafen, nämlich durch ein senkrechtliches Herabsinken. Die Bewegungen der Blatt-

stiele wurden nur bei dreien dieser Gattungen beobachtet; bei *Centrosema* und *Phaseolus* erhoben sie sich und bei *Amphicarpaea* senkten sie sich.

Sophora chrysophylla (X. Trib.). — Die Blättchen erheben sich des Nachts und werden zu gleicher Zeit nach der Spitze des Blattes hin gerichtet, wie bei *Mimosa pudica*.

Caesalpinia, *Haematoxylon*, *Gleditschia*, *Poinciana*. — Die Blättchen zweier Species von *Caesalpinia* (XIII. Trib.) erhoben sich des Nachts. Bei *Haematoxylon campechianum* (XIII. Trib.) bewegen sich die Blättchen des Nachts vorwärts, so dasz ihre Mittelrippen parallel zu dem Blattstiele stehen und ihre nun senkrechten unteren Flächen auswärts gewendet sind (Fig. 153). Der Blattstiel senkt sich ein wenig.

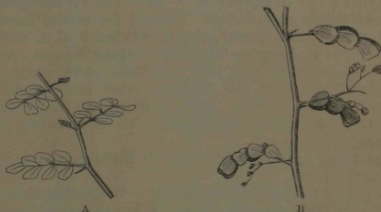


Fig. 153. *Haematoxylon campechianum*: A Zweig während des Tages; B Zweig mit schlafenden Blättern. Figur auf zwei Drittel der natürlichen Grösze reducirt.

Bei *Gleditschia*, wenn wir DUCHARTRE'S Beschreibung richtig verstehen, und bei *Poinciana Gilliesii* (beide gehören zur XIII. Trib.) benehmen sich die Blätter in der nämlichen Weise.

Cassia (XIV. Trib.). — Die nyctitropischen Bewegungen der Blätter sind sich bei vielen Species in dieser Gattung nahezu gleich und sind in hohem Grade complicirt. Sie wurden zuerst kurz von LINNÉ beschrieben und seitdem noch von DUCHARTRE. Unsere Beobachtungen wurden hauptsächlich an *C. floribunda*¹⁵ und *corymbosa* angestellt; gelegentlich wurden aber noch mehrere andere Species beobachtet. Die horizontal ausgestreckten Blättchen sinken des Nachts senkrecht nach unten, aber nicht einfach, wie in so vielen anderen Gattungen, denn jedes Blättchen rotirt um seine eigene Axe, so dasz seine untere Fläche nach ausen sieht. Die unteren Flächen der gegenständigen Blättchen werden hierdurch unter dem Blattstiele mit einander in Berührung gebracht und gut geschützt (Fig. 154). Die Rotation und die anderen Bewegungen werden mittelst eines gut entwickelten Polsters ausgeführt, wie deutlich gesehen werden konnte, als eine schmale gerade schwarze Linie bei Tag ihm entlang aufgemalt worden war. Die zwei terminalen Blättchen umschlieszen bei Tage

¹⁵ Mr. Dyer theilt mir mit, dasz Mr. Benthams Ansicht ist, *C. floribunda* (ein häufiger Gewächshausbusch) sei ein in Frankreich gezogener Bastard und dasz sie der *C. laevigata* sehr nahe komme. Es ist ohne Zweifel dieselbe Form wie die von Lindley (Botan. Register, Tab. 1422) beschriebene *C. Herbertiana*.

etwas weniger als einen rechten Winkel; ihre Divergenz nimmt aber bedeutend zu, während sie abwärts sinken und rotiren, so dasz sie des Nachts seitlich stehen, wie in der Figur zu sehen ist. Überdies bewegen



Fig. 154. *Cassia corymbosa*: A Pflanze am Tage; B dieselbe Pflanze in der Nacht. Beide Figuren nach Photographien copirt.

sie sich etwas rückwärts, so dasz sie nach der Basis des Blattstiels hinweisen. In einem Falle fanden wir, dasz die Mittelrippe eines terminalen Blättchens des Nachts mit einer am Ende des Blattstiels abwärts gezogenen senkrechten Linie einen Winkel von 36° bildete. Das zweite Blättchenpaar bewegt sich gleichfalls ein wenig rückwärts, aber weniger als das terminale Paar; und das dritte Paar bewegt sich senkrecht abwärts oder selbst ein wenig vorwärts. In dieser Weise streben sämtliche Blättchen bei denjenigen Species, welche nur 3 oder 4 Paare tragen, danach ein einziges Päckchen zu bilden, wobei ihre oberen Flächen in Berührung kommen und ihre unteren Flächen auswärts gewendet werden. Endlich erhebt sich der Hauptblattstiel des Nachts, aber bei Blättern verschied-

denen Alters in sehr verschiedenen Graden, nämlich einige durch einen Winkel von nur 12° und andere so bedeutend wie durch 41° .

Cassia calliantha. — Die Blätter tragen eine grosse Anzahl von Blättchen, welche sich des Nachts in nahezu derselben oben beschriebenen Art und Weise bewegen; die Blattstiele erheben sich aber allem Anscheine nach nicht und einer, welcher sorgfältig beobachtet wurde, sank sicher um 3° .

Cassia pubescens. — Die hauptsächlichste Verschiedenheit in den nyctitropischen Bewegungen dieser Species, verglichen mit denen der vorhergehend beschriebenen Species besteht darin, dass die Blättchen nicht annähernd so bedeutend rotiren; ihre unteren Flächen sehen daher des Nachts nur wenig nach auszen. Die Blattstiele, welche während des Tages nur ein wenig über den Horizont emporgeneigt sind, erheben sich des Nachts in einer merkwürdigen Art und Weise und stehen nahezu oder vollkommen senkrecht. Dies macht in Verbindung mit der herabhängenden Stellung der Blättchen die Pflanze des Nachts wunderbar compact. In



Fig. 155. *Cassia pubescens*: A oberer Theil einer Pflanze während des Tages; B dieselbe Pflanze des Nachts. Figuren nach Photographien verkleinert.

den zwei vorstehenden Abbildungen, welche nach Photographien copirt sind, ist ein und dieselbe Pflanze wachend und schlafend dargestellt (Fig. 155) und wir sehen, wie verschieden die Erscheinung derselben ist.

Cassia mimosoides. — Des Nachts rotiren die zahlreichen Blättchen an jedem Blatte um ihre Axen und ihre Spitzen bewegen sich nach der Spitze des Blattes zu; sie werden dadurch dachziegelförmig angeordnet, ihre oberen Flächen werden aufwärts gerichtet und ihre Mittelrippen werden beinahe dem Blattstiel parallel. In Folge dessen weicht diese

Species von allen übrigen von uns gesehenen, mit Ausnahme der folgenden, darin ab, dass die Blättchen sich des Nachts nicht abwärts senken. Ein Blattstiel, dessen Bewegung gemessen wurde, erhob sich des Nachts 8° .

Cassia Barclayana. — Die Blättchen dieser australischen Species sind zahlreich, sehr schmal und beinahe linear. Des Nachts erheben sie sich ein wenig und bewegen sich auch nach der Spitze des Blattes hin. So divergirten beispielsweise zwei gegenständige Blättchen, welche während des Tages unter einem Winkel von 104° auseinander standen, des Nachts nur 72° , so dass ein jedes sich 16° über seine Tagesstellung erhoben hatte. Der Stiel eines jungen Blattes erhob sich des Nachts 34° und der eines älteren Blattes 19° . In Folge der unbedeutenden Bewegung der Blättchen und der beträchtlichen Bewegung des Blattstiels bietet der Strauch des Nachts ein verschiedenes Aussehen von dem dar, welches er bei Tage zeigt; und doch kann man kaum sagen, dass die Blättchen schlafen.

Die circumnutirenden Bewegungen der Blätter von *C. floribunda*, *calliantha* und *pubescens* wurden bei jeder Art während dreier oder vier Tage beobachtet; sie waren im Wesentlichen gleich, diejenigen der zuletzt genannten Art waren die einfachsten. Der Blattstiel von *C. floribunda* wurde an der Basis der beiden endständigen Blättchen an einem Stabe festgemacht und ein Glasfaden der Mittelrippe des einen entlang befestigt. Seine Bewegungen wurden von 1 p. m. am 13. August bis 8.30 a. m. am 17. verfolgt; aber nur die während der letzten zwei Tage sind in der Figur 156 mitgetheilt. Von 8 a. m. jeden Tages (um welche Stunde das Blatt seine Tagesstellung angenommen hatte) bis 2 oder 3 p. m. bewegte es sich entweder zickzackförmig oder circumnutirte nahezu über demselben kleinen Fleck; zwischen 2 und 3 Uhr p. m. fieng die grosse Abendsenkung an. Die diese Senkung und die Erhebung am frühen Morgen darstellenden Linien sind schräg in Folge der eigenthümlichen bereits beschriebenen Art und Weise, in welcher die Blättchen schlafen. Nachdem das Blättchen um 6 p. m. eingeschlafen war und während der Glasfaden senkrecht herabhieng, wurde die Bewegung seiner Spitze bis 10.30 p. m. verfolgt; und während dieser ganzen Zeit schwang sie von einer Seite zur andern und vollendete mehr als eine Ellipse.

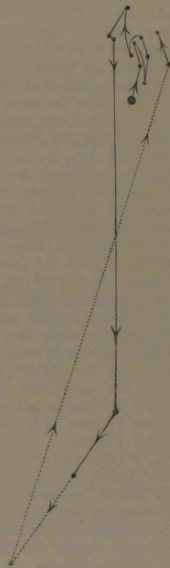


Fig. 156. *Cassia floribunda*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines terminalen Blättchens (von $1\frac{3}{8}$ Zoll Länge), von 8.30 a. m. bis zur selben Stunde am folgenden Morgen aufgezeichnet. Spitze des Blattes $5\frac{1}{2}$ Zoll von der senkrechten Glasplatte. Hauptblattstiel $3\frac{3}{4}$ Zoll lang. Temperatur $16-17\frac{1}{2}^{\circ}$ C. Figur hier auf die Hälfte des Originals reducirt.

Bauhinia (XV. Trib.). — Die nyctitropischen Bewegungen von vier Species waren einander gleich und waren in hohem Grade eigenthümlich. Eine aus Samen, welche uns FRITZ MÜLLER aus Süd-Brasilien geschickt hatte, gezogene Pflanze wurde besonders sorgfältig beobachtet. Die Blätter sind groß und an ihren Enden tief eingeschnitten. Des Nachts richten sich die beiden Hälften auf und schlieszen sich vollständig zusammen, gleich den gegenständigen Blättchen vieler Leguminosen. Bei sehr jungen Pflanzen steigen zu derselben Zeit die Blattstiele beträchtlich; einer, welcher um Mittag 45° über dem Horizont emporgeneigt war, stand des Nachts 75° , er stieg daher um 30° ; ein anderer erhob sich 34° . Während die beiden Hälften des Blattes sich schlieszen, sinkt zuerst die Mittelrippe senkrecht abwärts und biegt sich später nach rückwärts, so dasz sie dicht der einen Seite ihres eigenen aufwärts geneigten Blattstiels entlang vorbei sich bewegt; die Mittelrippe wird dabei nach dem Stamm oder der Axe der Pflanze hin gerichtet. Der Winkel, welchen die Mittelrippe mit dem Horizont bildet, wurde in einem Fall zu verschiedenen Stunden gemessen: Mittags stand sie horizontal; spät am Abend hieng sie senkrecht herab; dann erhob sie sich nach der entgegengesetzten Seite und stand um 10.15 p. m. nur 27° unter dem Horizont, dabei nach dem Stamm hin gerichtet. Sie hatte danach einen Winkel von 153° durchmessen. In Folge dieser Bewegung — in Folge der Faltung der Blätter — und in Folge der Erhebung der Blattstiele ist die ganze Pflanze des Nachts um so viel compacter als während des Tages, wie eine pyramidenförmige italienische Pappel es ist verglichen mit irgend einer andern Species von Pappel. Es ist merkwürdig, dasz, als unsere Pflanzen ein wenig älter geworden, nämlich bis zu einer Höhe von 2 oder 3 Fusz gewachsen waren, die Blattstiele sich des Nachts nicht erhoben; und auch die Mittelrippen der gefalteten Blätter wurden nicht länger mehr der einen Seite des Blattstiels entlang rückwärts gebogen. Wir haben bei einigen andern Gattungen bemerkt, dasz die Blattstiele sehr junger Pflanzen sich des Nachts viel bedeutender erheben als diejenigen älterer Pflanzen.

Tamarindus indica (XVI. Trib.). — Die Blättchen nähern sich oder treffen sich einander des Nachts und werden alle nach der Spitze des Blattes hin gerichtet. Sie werden dadurch dachziegelförmig und ihre Mittelrippen mit dem Blattstiele parallel. Die Bewegung ist der von *Haematoxylon* (s. frühere Figur 153) nahezu ähnlich, aber wegen der grözseren Anzahl von Blättchen auffallender.

Adenanthera, *Prosopis* und *Neptunia* (XX. Trib.). — Bei *Adenanthera pavonia* drehen sich die Blättchen auf die Kante und senken sich des Nachts. Bei *Prosopis* wenden sie sich aufwärts. Bei *Neptunia oleracea* kommen die Blättchen auf den einander gegenüberliegenden Seiten einer und derselben Fieder des Nachts mit einander in Berührung und werden vorwärts gerichtet. Die Fiedern selbst bewegen sich abwärts und zu gleicher Zeit rückwärts oder nach den Stämmen der Pflanzen hin. Der Hauptblattstiel erhebt sich.

Mimosa pudica (XX. Trib.). — Diese Pflanze ist der Gegenstand unzähliger Beobachtungen gewesen; es finden sich aber einige Punkte in Bezug auf unseren Gegenstand, denen nicht hinreichende Aufmerksamkeit

gewidmet worden ist. Wie sehr wohl bekannt ist, kommen die gegenständigen Blättchen des Nachts mit einander in Berührung und weisen nach der Spitze des Blattes hin; sie werden auf diese Weise nett dachzieglig oder geschindelt und ihre oberen Flächen sind geschützt. Auch nähern die vier Fiedern sich dicht einander und das ganze Blatt wird dadurch sehr compact gemacht; der Hauptblattstiel sinkt während des Tages bis spät am Abend abwärts und erhebt sich bis sehr früh am Morgen. Der Stamm ist in beständiger rapider Circumnutation, obschon nicht in groszer Weite. Einige sehr junge, in Dunkelheit gehaltene Pflanzen wurden während zweier Tage beobachtet, und obgleich sie einer verhältnismässig niedrigen Temperatur von nur 13.8° — 15° C. ausgesetzt wurden, beschrieb doch der Stamm der einen im Verlaufe von 12 Stunden vier kleine Ellipsen. Wir werden sofort sehen, dass der Hauptblattstiel gleichfalls beständig circumnutirt, wie auch jede einzelne Fieder und jedes einzelne Blättchen. Wenn daher die Bewegung der Spitze irgend eines Blättchens verfolgt werden sollte, so würde der beschriebene Weg aus den Bewegungen vier verschiedener Theile zusammengesetzt sein.

Ein Glasfaden war am Abend vorher längsweise an den Hauptblattstiel eines nahezu völlig erwachsenen, in hohem Grade sensitiven Blattes (von vier Zoll Länge) befestigt worden, nachdem der Stamm an seiner Basis an einen Stab festgebunden war; eine Zeichnung wurde nun an einer senkrechten Glasscheibe unter einer hohen Temperatur gemacht. In der mitgetheilten Figur (Fig. 157) wurde der erste Punkt um 8.30 a. m. am 2. August, und der letzte um 7 p. m. am 3. gemacht. Während zwölf Stunden am ersten Tage bewegte sich der Blattstiel dreimal abwärts und dreimal aufwärts. Am zweiten Tage bewegte er sich innerhalb der gleichen Zeit fünfmal abwärts und viermal aufwärts. Da die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammenfallen, circumnutirt der Blattstiel offenbar; die grosse abendliche Senkung und die nächtliche Erhebung stellen nur eine Übertreibung einer der Circumnutationen dar. Es muss indessen beachtet werden, dass der Blattstiel an den Abenden viel tiefer sank als an der senkrechten Glasplatte gesehen werden konnte und als in der Figur dargestellt ist. Nach 7 Uhr p. m. am 3. (als der letzte Punkt in Fig. 157 gemacht war) wurde der Topf in ein Schlafzimmer gebracht, und um 12.50 a. m. (d. i. nach Mitternacht) zeigte es sich, dass der Blattstiel beinahe aufrecht stand und viel höher aufgerichtet als

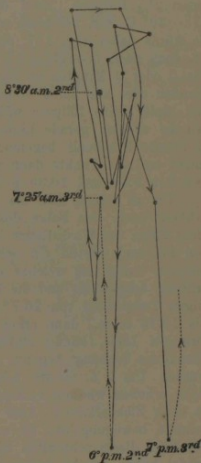


Fig. 157. *Mimosa pudica*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung des Hauptblattstiels, 34 Stunden 30 Minuten hindurch verfolgt.

er um 10.40 p. m. war. Als er wieder um 4 a. m. beobachtet wurde, hatte er angefangen sich zu senken und fuhr zu sinken fort bis 6.15 a. m., nach welcher Stunde er sich im Zickzack bewegte und wiederum circumnutirte. Ähnliche Beobachtungen wurden an einem andern Blattstiel gemacht mit nahezu demselben Resultat.

Bei zwei andern Gelegenheiten wurde die Bewegung des Hauptblattstiels alle zwei oder drei Minuten beobachtet, während die Pflanzen in einer verhältnismäßig hohen Temperatur gehalten wurden, nämlich bei der ersten Gelegenheit bei 25° — 27° C.; und da beschrieb der Glasfaden in 69 Minuten $2\frac{1}{2}$ Ellipsen. Zwei der zweiten Gelegenheit, wo die Temperatur 27° — 30° C. war, beschrieb er in 67 Minuten etwas mehr als drei Ellipsen. Es würde daher Fig. 157, obschon sie schon jetzt hinreichend complicirt ist, doch noch unvergleichlich complicirter geworden sind, wenn die Punkte alle 2 oder 3 Minuten an das Glas gemacht worden wären, anstatt alle Stunden oder alle halbe Stunden. Obgleich der Hauptblattstiel beständig und rapid kleine Ellipsen während des Tages beschreibt, so ist doch eine beinahe absolut gerade Linie das Resultat, wenn, nachdem die grosse nächtliche Erhebung begonnen hat, Punkte alle 2 oder 3 Minuten gemacht und die Punkte dann verbunden werden, wie es eine Stunde lang zwischen 9.30 und 10.30 p. m. (Temperatur 29° C.) geschah.

Um zu zeigen, dass die Bewegung des Blattstiels aller Wahrscheinlichkeit nach eine Folge der wechselnden Turgescenz des Polsters und nicht Folge des Wachsthum ist (in Übereinstimmung mit den Folgerungen von PFEFFER), wurde ein sehr altes Blatt, an welchem einige Blättchen gelblich waren und welches kaum überhaupt empfindlich war, zur Beobachtung ausgewählt und die Pflanze wurde bei der in hohem Grade günstigen Temperatur von 26.7° C. gehalten. Der Blattstiel sank von 8 a. m. bis 10.15 a. m., dann erhob er sich ein wenig in einer etwas zickzackförmigen Linie, häufig stationär bleibend, bis 5 p. m., wo die grosse abendliche Senkung begann, welche bis mindestens 10 p. m. fortgesetzt wurde. Um 7 a. m. am folgenden Morgen hatte er sich auf dieselbe Höhe erhoben wie am vorhergehenden Morgen und dann senkte er sich in einer Zickzacklinie. Aber von 10.30 a. m. bis 4.15 p. m. blieb er beinahe bewegungslos, da nun alles Bewegungsvermögen verloren war. Der Stiel dieses sehr alten Blattes, welches schon lange zu wachsen aufgehört haben musste, bewegte sich daher periodisch; aber anstatt mehrere Male während des Tages zu circumnutiren, bewegte er sich im Verlaufe von 24 Stunden nur zweimal abwärts und zweimal aufwärts, wobei die Linien der Hebung und Senkung nicht zusammenfielen.

Es ist bereits angegeben worden, dass sich die Fiedern unabhängig vom Hauptblattstiel bewegen. Der Stiel eines Blattes wurde an eine Korkunterlage dicht an dem Punkte, wo die vier Fiedern divergiren, festgemacht, dann ein kurzer feiner Glasfaden längsweise an eine der zwei terminalen Fiedern angekittet und ein in Grade getheilter Halbkreis dicht unter denselben gestellt. Beim senkrechten Hinabsehen konnten seine Winkel- und Seitenbewegungen mit Genauigkeit gemessen werden. Zwischen Mittag und 4.15 p. m. veränderte die Fieder ihre Stellung nach der einen Seite nur um 7° ; aber nicht fortdauernd in einer und derselben Richtung, da sie sich viermal nach der einen Seite und dreimal nach der

andern bewegte, und zwar in einem Falle in einer Ausdehnung von 16° . Es circumnutirte daher diese Fieder. Später am Abend nähern sich die vier Fiedern einander, und die eine, welche beobachtet wurde, bewegte sich zwischen Mittag und 6.45 p. m. 59° nach innen. Im Verlaufe von 2 Stunden 20 Minuten, zwischen 4.25 und 6.45 p. m., wurden zehn Beobachtungen gemacht (im Mittel nach Intervallen von 14 Minuten); und jetzt, wo das Blatt am Einschlafen war, fand kein Schwingen von einer Seite zur andern statt, sondern nur eine stetige Bewegung einwärts. Es findet sich daher hier am Abend die nämliche Umwandlung einer circumnutirenden in eine stetige Bewegung in einer Richtung, wie es bei dem Hauptblattstiele der Fall ist.

Es ist auch angegeben worden, dass jedes einzelne Blättchen circumnutirt. Eine Fieder wurde mit Schellack an die Spitze eines kleinen fest in den Boden eingetriebenen Stabes angekittet, unmittelbar unter einem

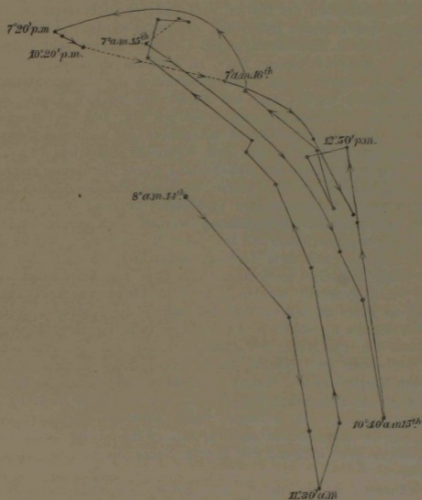


Fig. 158. *Mimosa pudica*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blättchens (die Fieder war festgemacht), an einer senkrechten Glasplatte von 8 a. m., 14. Septbr., bis 9 a. m., am 16., aufgezeichnet.

Paare von Blättchen, und an die Mittelrippen beider waren äusserst feine Glasfäden befestigt. Diese Behandlung beschädigte die Blättchen nicht, denn sie schiefen in der gewöhnlichen Weise ein und behielten lange ihre

Empfindlichkeit. Die Bewegungen eines von ihnen wurde 49 Stunden lang aufgezeichnet, wie es in Fig. 158 zu sehen ist. Am ersten Tage sank das Blättchen bis 11.30 a. m. herab und erhob sich dann bis spät am Abend in einer Zickzacklinie, damit Circumnutation andeutend. Am zweiten Tage, wo es an den ihm neuen Zustand mehr gewöhnt war, oscillirte es während 24 Stunden zweimal aufwärts und zweimal abwärts. Diese Pflanze wurde einer verhältnismässig niederen Temperatur ausgesetzt, nämlich 16.7° — 17.8° C.; wäre sie wärmer gehalten worden, so würden ohne Zweifel die Bewegungen des Blättchens viel rapider und complicirter gewesen sein. Man kann in der Zeichnung sehen, dass die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammenfallen; aber die bedeutende Grösze der seitlichen Bewegung am Abend ist das Resultat davon, dass sich die Blättchen, wenn sie einschlafen, nach der Spitze des Blattes zu biegen. Gelegentlich wurde ein anderes Blättchen beobachtet, und es ergab sich, dass es während einer gleich langen Zeit beständig circumnutirte.

Die Circumnutation der Blätter wird dadurch nicht zerstört, dass sie mässig lange fortdauernder Dunkelheit ausgesetzt werden; es wird aber die gehörige Periodicität ihrer Bewegungen verloren. Einige sehr junge Sämlinge wurden während zweier Tage im Dunkeln gehalten (Temperatur 13.8° — 15° C.), ausgenommen wenn gelegentlich die Circumnutation ihrer Stämme beobachtet wurde; und am Abend des zweiten Tages schiefen die Blättchen nicht vollständig und ordentlich ein. Der Topf wurde dann drei Tage in einen dunkeln Schrank bei nahezu der nämlichen Temperatur gestellt, und nach Ablauf dieser Zeit boten die Blättchen kein Zeichen von Schlaf dar und waren nur unbedeutend gegen Berührung empfindlich. Am folgenden Tage wurde der Stamm an einen Stab angekittet und die Bewegungen zweier Blätter wurden 72 Stunden lang an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet. Die Pflanzen wurden noch immer im Dunkeln gehalten, ausgenommen, dass sie bei jeder Beobachtung, welche 3 oder 4 Minuten dauerte, mit zwei Lichtern beleuchtet wurden. Am dritten Tage boten die Blättchen noch immer eine Spur von Empfindlichkeit dar, wenn sie stark gedrückt wurden, aber am Abend war kein Anzeichen von Schlaf an ihnen zu sehen. Trotzdem fuhren die Blattstiele fort deutlich zu circumnutiren, obgleich die richtige Ordnung ihrer Bewegungen in Bezug auf Tag und Nacht vollständig verloren war. So sank ein Blatt während der ersten zwei Nächte (d. h. zwischen 10 p. m. und 7 a. m. am nächsten Morgen) herab, anstatt aufwärts zu steigen und in der dritten Nacht bewegte es sich hauptsächlich in einer seitlichen Richtung. Das zweite Blatt benahm sich in einer gleich abnormen Weise, es bewegte sich während der ersten Nacht seitlich, sank während der zweiten bedeutend und erhob sich während der dritten Nacht bis zu einer ungewöhnlichen Höhe.

Bei Pflanzen, welche unter einer hohen Temperatur gehalten und dem Lichte ausgesetzt worden waren, betrug die rapideste Circumnutationsbewegung der Spitze eines Blattes, welche beobachtet wurde, in einer Secunde $\frac{1}{100}$ Zoll; dies würde gleich $\frac{1}{8}$ Zoll in einer Minute gewesen sein, wenn nicht das Blatt gelegentlich still gestanden hätte. Die factische von der Spitze durchmessene Entfernung (wie durch eine dicht am Blatte ausgeführte Messung ermittelt wurde) war bei einer Gelegenheit nahezu

$\frac{3}{4}$ Zoll in senkrechter Richtung in 15 Minuten, und bei einer anderen Gelegenheit in 60 Minuten $\frac{5}{8}$ Zoll; es bestand aber gleichfalls etwas seitliche Bewegung.

*Mimosa albida*¹⁹. — Die Blätter dieser Pflanze, von denen eines auf zwei Drittel der natürlichen Grösze verkleinert hier abgebildet ist (Fig. 159), bieten einige interessante Eigenthümlichkeiten dar. Ein Blatt

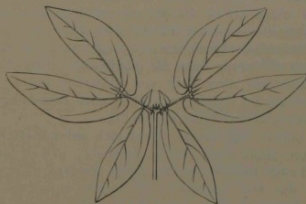


Fig. 159. *Mimosa albida*: Blatt senkrecht von oben gesehen.

besteht aus einem langen Stiele, welcher nur zwei Fiedern trägt (hier etwas weiter divergirend dargestellt, als gewöhnlich der Fall ist), eine jede mit zwei Paaren von Blättchen. Aber die inneren basalen Blättchen sind an Grösze bedeutend reducirt, wahrscheinlich in Folge des Mangels an Platz für ihre volle Entwicklung, so dasz sie als beinahe rudimentär betrachtet werden können. Sie variiren etwas in der Grösze und gelegentlich verschwinden beide oder nur eines. Nichtsdestoweniger sind sie der Function nach nicht im mindesten rudimentär, denn sie sind sensitiv, äusserst heliotropisch, circumnutiren nahezu mit derselben Geschwindigkeit wie die vollständig entwickelten Blättchen und nehmen beim Schlafen genau die nämliche Stellung an. Bei *M. pudica* sind die inneren Blättchen an der Basis und zwischen den Fiedern gleichfalls bedeutend verkürzt und schief abgestutzt; diese Thatsache war an einigen Sämlingen von *M. pudica* sehr gut zu sehen, bei denen das dritte Blatt oberhalb der Cotyledonen nur zwei Fiedern trug, jede mit nur 3 oder 4 Paaren von Blättchen, von denen das innere basale weniger als halb so lang als sein Gegenstück war, so dasz das ganze Blatt dem der *M. albida* ziemlich genau ähnlich war. Bei dieser letzteren Species endete der Hauptblattstiel in eine kleine Spitze und an jeder Seite derselben findet sich ein Paar minutiöser, abgeplatteter, lanzettförmiger, an ihren Rändern haariger Vorsprünge, welche bald nachdem das Blatt vollständig entwickelt ist, abfallen und verschwinden. Es lässt sich kaum daran zweifeln, dasz diese kleinen Vorsprünge die letzten und flüchtigen Repräsentanten eines weiteren Paares von Blättchen an jeder Fieder sind; denn der äussere ist zweimal

¹⁹ Mr. Thiselton Dyer theilt uns mit, dasz diese peruanische Pflanze (welche uns von Kew geschickt worden war) von Mr. Bentham (Transact. Linn. Soc. Vol. XXX. p. 390) für „die Species oder Varietät“ angesehen wird, „welche am häufigsten die *M. sensitiva* unserer Gärten darstellt.“

so breit wie der innere und ein wenig länger, nämlich $\frac{1}{10}$ Zoll, während der innere nur $\frac{1}{15}$ Zoll lang ist. Wenn nun das basale Paar Blättchen der existirenden Blätter rudimentär werden sollte, so könnten wir erwarten, dass die Rudimente noch immer eine Spur ihrer gegenwärtigen bedeutenden Ungleichheit in der Grösze darbieten werden. Die Schlussfolgerung, dass die Fiedern der Elternform von *M. albida* wenigstens drei Paar von Blättchen, anstatt wie gegenwärtig nur zwei, besessen hat, wird durch die Structur des ersten echten Blattes unterstützt; denn dies besteht aus einem einfachen Stiele, welcher häufig drei Paar von Blättchen trägt. Diese letztere Thatsache, ebenso wie die Gegenwart der Rudimente, führt zusammen zu dem Schlusse, dass *M. albida* von einer Form abstammt, deren Blätter mehr als zwei Paar von Blättchen getragen haben. Das zweite Blatt oberhalb der Cotyledonen ist in allen Beziehungen den Blättern an vollständig entwickelten Pflanzen ähnlich.

Wenn die Blätter einschlafen, dreht sich jedes Blättchen halb herum, so dass es seinen Rand dem Zenith darbietet, und kommt mit seinem Gegenstück in dichte Berührung. Auch die Fiedern nähern sich einander dicht, so dass die vier terminalen Blättchen zusammen kommen. Die groszen basalen Blättchen (mit den kleinen rudimentären mit ihnen in Berührung) bewegen sich nach innen und vorn, so dass sie die Auszenseite der vereinigten terminalen Blättchen umfassen, und in dieser Weise bilden sämmtliche acht Blättchen (mit Einschlusz der rudimentären) zusammen ein einziges senkrecht stehendes Päckchen. Zu derselben Zeit, in der sich die zwei Fiedern einander nähern, senken sie sich abwärts und anstatt sich horizontal in derselben Linie mit dem Hauptblattstiel zu erstrecken, wie während des Tages, hängen sie in der Nacht ungefähr 45° , oder selbst in einem noch grösseren Winkel, unter den Horizont. Die Bewegung des Hauptblattstiels scheint variabel zu sein; wir haben ihn am Abend 27° niedriger gesehen als während des Tages, zuweilen aber auch in nahezu der nämlichen Stellung. Trotzdem ist wahrscheinlich eine sinkende Bewegung am Abend und eine hebende während der Nacht der normale Gang, denn dies war bei dem Stiele des erst gebildeten echten Blattes gut ausgesprochen.

Die Circumnutation des Hauptblattstiels eines jungen Blattes wurde während $2\frac{3}{4}$ Tagen verfolgt; sie war der Ausdehnung nach beträchtlich, aber weniger complicirt als bei *M. pudica*. Die Bewegung war viel mehr seitlich als es bei circumnutirenden Blättern gewöhnlich der Fall ist, und dies war die einzige Eigenthümlichkeit, welche sie darbot. Unter dem Microscope sahen wir, dass die Spitze eines der terminalen Blättchen $\frac{3}{8}$ Zoll in 3 Minuten zurücklegte.

Mimosa marginata. — Die einander gegenständigen Blättchen erheben sich und nähern sich einander des Nachts, kommen aber nicht in dichte Berührung, ausgenommen bei sehr jungen Blättchen an kräftigen Sprossen. Völlig erwachsene Blättchen circumnutiren während des Tages langsam und in geringem Masze.

Schrankia uncinata (XX. Trib.). — Ein Blatt besteht aus zwei oder drei Paar von Fiedern, von denen jede viele kleine Blättchen trägt. Wenn die Pflanze schläft, sind diese nach vorn gerichtet und werden dachzieglig. Der Winkel zwischen den zwei terminalen Fiedern wurde des

Nachts in einem Falle um 15° vermindert, und sie senkten sich beinahe senkrecht abwärts. Die hinteren Fiederpaare sinken gleichfalls nach unten, aber sie convergiren nicht, d. h. sie bewegen sich nicht nach der Spitze des Blattes zu. Der Hauptblattstiel wird nicht niedergedrückt, wenigstens am Abend. In dieser letztern Beziehung, ebenso wie in Bezug auf das Sinken der Fiedern besteht eine ausgesprochene Verschiedenheit zwischen den nyctitropischen Bewegungen der vorliegenden Pflanze und der *Mimosa pudica*. Es muss indessen hinzugefügt werden, dass unser Exemplar sich in keinem sehr kräftigen Zustande befand. Die Fiedern von *Schrankia aculeata* sinken gleichfalls des Nachts.

Acacia Farnesiana (XXII. Trib.). — Die Verschiedenheit in der äusseren Erscheinung, welche ein Strauch dieser Pflanze im Zustande des Schlafens und Wachens darbietet, ist wunderbar. Ein und dasselbe Blatt



Fig. 160. *Acacia Farnesiana*: A Blatt während des Tages; B dasselbe Blatt des Nachts.

in den beiden Zuständen ist in der beistehenden Figur dargestellt (Fig. 160). Die Blättchen bewegen sich nach der Spitze der Fieder zu und werden dachzieglig, und die Fiedern sehen dann aus wie Stückchen hängender Fäden. Die folgenden Bemerkungen und Messungen beziehen sich nicht vollständig auf das kleine hier abgebildete Blatt. Die Fiedern bewegen sich nach vorn und sinken gleichzeitig abwärts, während sich der Hauptblattstiel beträchtlich erhebt. Was den Grad der Bewegung betrifft, so bildeten die zwei terminalen Fiedern eines Exemplars während des Tages mit einander einen Winkel von 100° und des Nachts nur einen von 38° ; es hatte sich also jede 31° vorwärts bewegt. Die vorletzten Fiedern bildeten während des Tages mit einander einen Winkel von 180° , d. h. sie standen in einer geraden Linie einander gegenüber, und des Nachts hatte sich eine jede 65° vorwärts bewegt. Das basale Paar der Fiedern war während des Tages eine jede ungefähr 21° nach rückwärts gerichtet und des Nachts 38° nach vorwärts; es hatte sich also jede 59° vor-

wärts bewegt. Aber zu derselben Zeit sinken auch die Fiedern bedeutend und hängen zuweilen fast senkrecht herab. Auf der andern Seite erhebt sich der Hauptblattstiel bedeutend: um 8.30 p. m. stand er 34° höher als um Mittag, und um 6.40 a. m. am folgenden Morgen war er um noch 10° höher; kurz nach dieser Stunde fieng die tägliche Senkungs-bewegung an. Der Gang eines nahezu voll erwachsenen Blattes wurde während 14 Stunden verfolgt; er war stark zickzackförmig und stellte augenscheinlich fünf Ellipsen dar, deren längere Axen nach verschiedenen Richtungen hin gerichtet waren.

Albizzia lophantha (XXIII. Trib.). — Die Blättchen kommen des Nachts mit einander in Berührung und sind nach der Spitze der Fieder hin gerichtet. Die Fiedern nähern sich einander, bleiben aber während des Tages in einer und derselben Ebene; und in dieser Beziehung weichen sie bedeutend von denen der oben angeführten *Schrankia* und *Acacia* ab. Der Hauptblattstiel erhebt sich nur wenig. Das erstgebildete Blatt oberhalb der Cotyledonen trug auf jeder Seite 11 Blättchen, und diese schiefen gleich denen an den später gebildeten Blättern; aber der Stiel dieses ersten Blattes krümmte sich während des Tages nach unten und streckte sich des Nachts wieder gerade, so dasz die Sehne seines Bogens dann um 16° höher stand als in der Zeit des Tages.

Melaleuca ericaefolia (Myrtaceae). — Nach der Angabe von BOUCHÉ (Botan. Zeit. 1874, p. 359) schlafen die Blätter des Nachts in nahezu derselben Art und Weise wie die gewisser Species von *Pimelia*.

Oenothera mollissima (Onagrariaeae). — Nach LINNÉ (Somnus plantarum) erheben sich die Blätter in der Nacht senkrecht.

Passiflora gracilis (Passifloraceae). — Die jungen Blätter schlafen so, dasz ihre Scheiben senkrecht nach abwärts hängen; und dann wird der Blattstiel seiner ganzen Länge nach etwas abwärts gekrümmt. Äusserlich ist nicht die Spur eines Polsters zu sehen. Der Stiel des obersten Blattes an einem jungen Sprosz stand um 10.45 a. m. 33° über dem Horizont, und um 10.30 p. m., wo die Blattscheibe senkrecht nach unten hieng, nur 15° , so dasz der Blattstiel sich um 18° gesenkt hatte. Der des nächst älteren Blattes senkte sich nur 8° . Aus irgend einer unbekanntem Ursache schlafen die Blätter nicht immer ordentlich. Der Stamm einer Pflanze, welche einige Zeit lang vor einem nach Nordost gelegenen Fenster gestanden hatte, wurde bei der Basis eines jungen Blattes, dessen Scheibe 40° unter den Horizont geneigt war, an einen Stab fest gemacht. Seiner Stellung wegen muszte das Blatt schräg betrachtet werden; in Folge dessen erschienen die senkrecht auf- und absteigenden Bewegungen bei der Aufzeichnung schräg. Am ersten Tage (12. Oct.) senkte sich das Blatt in einer zickzackförmigen Linie bis spät am Abend, und um 8.15 a. m. am 13. hatte es sich bis nahezu auf dieselbe Höhe wie am vorhergehenden Morgen erhoben. Nun wurde eine neue Zeichnung begonnen (Fig. 161). Das Blatt fuhr bis 8.50 a. m. sich zu erheben fort, dann bewegte es sich ein wenig nach rechts und später sank es. Zwischen 11 a. m. und 5 p. m. circumnutirte es und nach der letztgenannten Stunde fieng die grosze nächtliche Senkung an. Um 7.15 p. m. hieng es senkrecht herab. Die punktirte Linie in der Figur hätte viel weiter nach unten verlängert werden sollen. Um 6.50 a. m.

am folgenden Morgen (14.) hatte sich das Blatt bedeutend erhoben und fuhr bis 7.50 a. m. sich zu erheben fort, nach welcher Zeit es wiederum fiel. Es ist zu beachten, dass die an diesem zweiten Morgen gezogenen

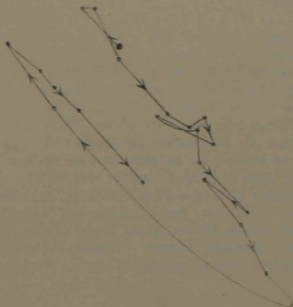


Fig. 161. *Passiflora gracilis*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blattes, an einer senkrechten Glasplatte von 8.20 a. m., am 13. Oct., bis 10 a. m., am 14., aufgezeichnet. Figur auf zwei Drittel der Originalgröße reducirt.

Linien mit den vorher gezogenen zusammengefallen wären und dieselben undeutlich gemacht haben würden, wenn der Topf nicht sehr wenig nach links verschoben worden wäre. Am Abend (14.) wurde ein Zeichen hinter den an die Spitze des Blattes befestigten Glasfaden gestellt und seine Bewegung wurde von 5 p. m. bis 10.15 p. m. sorgfältig beobachtet. Zwischen 5 und 7.15 p. m. senkte sich das Blatt in einer geraden Linie und um die letzte Stunde erschien es senkrecht herabhängend. Aber zwischen 7.15 und 10.15 p. m. bestand die Linie aus einer Reihe von Stufen, deren Ursache wir nicht einsehen konnten; es war indessen offenbar, dass die Bewegung nicht länger mehr eine einfach sinkende war.

Siegesbeckia orientalis (Compositae). — Einige Sämlinge wurden in der Mitte des Winters gezogen und im Warmhause gehalten; sie blühten, aber wuchsen nicht gut und ihre Blätter boten niemals ein Zeichen von Schlaf dar. Die Blätter an anderen im Mai gezogenen Sämlingen waren am Mittag (22. Juni) horizontal und hiengen um 10 p. m. in einem beträchtlichen Winkel unter dem Horizonte. Bei vier ziemlich jungen Blättern, welche eine Länge von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll hatten, ergaben sich diese Winkel zu 50° , 56° , 60° und 65° . Ende August, wo die Pflanzen bis zur Höhe von 10 bis 11 Zoll herangewachsen waren, wurden die jüngeren Blätter des Nachts so bedeutend abwärts gekrümmt, dass man sie ganz richtig als schlafend bezeichnen konnte. Dies ist eine von den Species, welche während des Tages gut beleuchtet gewesen sein müssen, um zu schlafen; denn bei zwei Gelegenheiten, wo Pflanzen den ganzen Tag lang in einem Zimmer mit nach Nordost gerichteten Fenstern gehalten worden waren, schliefen die Blätter des Nachts nicht. Die näm-

liche Ursache erklärt es wahrscheinlich auch, warum unsere in der Höhe des Winters gezogene Sämlinge nicht schliefen. Professor PFEFFER theilt uns mit, dass die Blätter einer anderen Species (*S. Jorullensis?*) des Nachts senkrecht herabhängen.

Ipomoea coerulea und *purpurea* (Convolvulaceae). — Die Blätter an sehr jungen Pflanzen von einem oder zwei Fusz Höhe werden des Nachts in einem Winkel von zwischen 68° und 80° unter den Horizont niedergedrückt, und einige hängen vollkommen senkrecht herab. Am folgenden Morgen erheben sie sich wiederum in eine horizontale Stellung. Die Blattstiele werden des Nachts abwärts gekrümmt, und zwar entweder in ihrer ganzen Länge oder allein im oberen Theil; und dies verursacht allem Anschein nach die Depression der Blattscheibe. Damit die Blätter schlafen, scheint es nothwendig zu sein, dass sie während des Tages gut beleuchtet waren; denn diejenigen, welche am hinteren Theile einer vor einem Nordost-Fenster stehenden Pflanze standen, schliefen nicht.

Nicotiana tabacum (var. virginischer Tabak) und *glauca* (Solaneae). — Die jungen Blätter dieser beiden Species schlafen so, dass sie sich senkrecht aufwärts biegen. Abbildungen zweier Sprosse von *N. glauca* im wachen und schlafenden Zustande werden hier mitgetheilt



Fig. 162. *Nicotiana glauca*: Sprossen mit am Tage ausgebreiteten Blättern, und des Nachts schlafend. Die Figuren nach Photographien copirt und hier verkleinert.

(Fig. 162); einer der Sprossen, von welchem die Photographien genommen wurden, war zufällig nach einer Seite gebogen.

An der Basis des Blattstiels von *N. tabacum* findet sich an der Auszenseite eine Masse von Zellen, welche etwas kleiner sind als anderswo

und ihre längeren Axen anders gerichtet haben als die Parenchymzellen, welche daher als eine Art von Polster bildend angesehen werden können.

Eine junge Pflanze von *N. tabacum* wurde ausgewählt, und die Circumnutation des fünften Blattes oberhalb der Cotyledonen wurde während dreier Tage beobachtet. Am ersten Morgen (10. Juli) sank das Blatt von 9 bis 10 a. m., was seine normale Bewegung ist, aber während des Restes des Tages erhob es sich; und dies war ohne Zweifel Folge davon, dass es ausschließlich von oben beleuchtet wurde; denn eigentlich beginnt die abendliche Erhebung nicht früher als um 3 oder 4 p. m. In der hier mitgetheilten Zeichnung (Fig. 163) wurde der erste Punkt um 3 p. m. gemacht; die Zeichnung wurde während der folgenden 65 Stunden fortgesetzt. Als das Blatt auf den Punkt wies, der zunächst über dem mit 3 p. m. bezeichneten steht, stand es horizontal. Die Zeichnung ist nur wegen ihrer Einfachheit und wegen der Geradheit ihrer Linien merkwürdig. Das Blatt beschrieb an jedem Tage eine einzige grosse Ellipse; denn es musz bemerkt werden, dass die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammenfallen. Am Abend des 11. sank das Blatt nicht völlig so tief hinab wie gewöhnlich und nun bewegte es sich ein wenig im Zickzack. Die tägliche Senkungs- bewegung hatte an jedem Morgen bereits um 7 a. m. begonnen. Die punktirten Linien am oberen Ende der Figur, welche die nächtliche senkrechte Stellung des Blattes darstellen, sollten noch viel höher hinauf verlängert werden.

Mirabilis longiflora und *jalapa* (Nyctagineae). — Das erste Paar von Blättern oberhalb der Cotyledonen, welches Sämlinge dieser beiden Species hervorgebracht hatten, divergirte während des Tages beträchtlich und stand des Nachts senkrecht empor in dichter Berührung eines Blattes mit dem andern. Die zwei oberen Blätter an einem älteren Sämling war bei Tage beinahe horizontal und standen des Nachts senkrecht aufwärts, waren aber nicht in dichter Berührung in Folge des von der centralen Knospe dargebotenen Widerstandes.

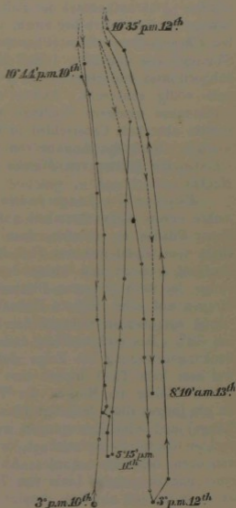


Fig. 163. *Nicotiana tabacum*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blattes (von $5\frac{3}{4}$ Zoll Länge) an einer senkrechten Glasplatte von 3 p. m., 10. Juli, bis 8.10 a. m., am 11., aufgezeichnet. Spitze des Blattes 4 Zoll vom Glase. Temperatur $17\frac{1}{2}$ — $18\frac{1}{2}$ °C. Figur hier auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

Polygonum aviculare (Polygoneae). — Professor BATALIN theilt uns mit, dass sich die jungen Blätter des Nachts senkrecht erheben. Nach der Angabe LINNÉ's ist dies gleicherweise bei mehreren Species von *Amaranthus* (Amaranthaceae) der Fall, und wir selbst beobachteten eine Schlafbewegung dieser Art bei einem Mitgliede dieser Gattung. Ferner waren bei *Chenopodium album* (Chenopodieae) die oberen jungen Blätter einiger Sämlinge von ungefähr 4 Zoll Höhe während des Tages horizontal oder subhorizontal und standen um 10 p. m. am 7. März vollständig oder beinahe völlig senkrecht. Andere während des Winters (28. Jan.) im Gewächshause gezogene Sämlinge wurden Tag und Nacht beobachtet; es konnte aber kein Unterschied in der Stellung ihrer Blätter wahrgenommen werden. Nach der Angabe von BOUCHÉ (Botan. Zeitung, 1874, p. 359) schlafen die Blätter von *Pimelia linoides* und *spectabilis* (Thymeleae) des Nachts.

Euphorbia jacquiniæflora (Euphorbiaceae). — Mr. LYNCH lenkte unsere Aufmerksamkeit auf die Thatsache, dass die jungen Blätter dieser Pflanze so schlafen, dass sie senkrecht herabhängen. Das dritte Blatt vom Gipfel aus war (11. März) während des Tages 30° unter den Horizont geneigt und hieng des Nachts senkrecht herab, wie es auch einige der noch jüngeren Blätter thaten. Es erhob sich am folgenden Morgen auf seine frühere Höhe. Die vierten und fünften Blätter vom Gipfel aus standen während des Tages horizontal und sanken des Nachts um 38° . Das sechste Blatt änderte seine Stellung nicht merklich. Die Senkungsbewegung ist Folge der Abwärtskrümmung des Blattstiels, an welchem kein Theil irgend eine einem Polster gleichende Structur darbietet. Zeitig am Morgen des 7. Juni wurde ein Glasfaden längsweise an ein junges Blatt befestigt (das dritte vom Gipfel aus und von $2\frac{5}{8}$ Zoll Länge) und seine Bewegungen wurden 72 Stunden lang an einer senkrechten Glasplatte verzeichnet, während die Pflanze durch ein Oberlicht von oben beleuchtet wurde. An jedem Tage senkte sich das Blatt in einer nahezu geraden Linie von 7 a. m. bis 5 p. m., nach welcher Stunde es so bedeutend abwärts geneigt war, dass die Bewegung nicht länger mehr aufgezeichnet werden konnte; und während des letzten Theils einer jeden Nacht oder zeitig am Morgen erhob sich das Blatt. Es circumnutirte daher in einer sehr einfachen Weise und beschrieb alle 24 Stunden eine einzige grosse Ellipse, denn die aufsteigenden und absteigenden Linien fielen nicht zusammen. An jedem folgenden Morgen stand es in einer geringeren Höhe als an dem vorausgehenden, und dies war wahrscheinlich Folge theils des zunehmenden Alters des Blattes, theils des Umstandes, dass die Beleuchtung ungenügend war; denn obgleich die Blätter in sehr unbedeutendem Grade heliotropisch sind, so wird doch nach der Angabe Mr. LYNCH's und nach unseren eigenen Beobachtungen ihre Neigung während des Tages durch die Intensität des Lichtes bestimmt. Am dritten Tage, in welcher Zeit die Grösze der sinkenden Bewegung bedeutend abgenommen hatte, war die aufgezeichnete Linie deutlich viel mehr im Zickzack als an irgend einem früheren Tage, und es schien, als ob ein Theil seines Bewegungsvermögens in dieser Weise verwandt worden wäre. Um 10 p. m., am 7. Juni, als das Blatt senkrecht herabhieng, wurden seine Bewegungen so beobachtet, dass ein Zeichen hinter dasselbe gestellt wurde;

man sah nun, dasz das Ende des angehefteten Glasfadens langsam und unbedeutend von einer Seite zur andern, ebenso wie aufwärts und abwärts oscillirte.

Phyllanthus Niruri (Euphorbiaceae). — Die Blättchen dieser Pflanze schlafen, wie es von PFEFFER beschrieben worden ist²⁰, in einer merkwürdigen Weise, dem Anscheine nach gleich denen von *Cassia*, denn sie sinken des Nachts herab und drehen sich herum, so dasz ihre unteren Flächen nach auszen gewendet werden. Sie sind, wie nach dieser complicirten Art von Bewegung schon hätte erwartet werden können, mit einem Polster versehen.

Gymnospermen.

Pinus Nordmanniana (Coniferae). — Mr. CHATIN gibt an²¹, dasz die Blätter, welche während des Tags horizontal sind, sich des Nachts so erheben, dasz sie eine beinahe senkrechte Stellung zu dem Zweige, von dem sie entspringen, annehmen; wir vermuthen, dasz er sich auf einen horizontalen Zweig dabei bezieht. Er fügt hinzu: „En même temps, ce mouvement d'érection est accompagné d'un mouvement de torsion imprimé à la partie basilaire de la feuille et pouvant souvent parcourir un arc de 90 degrés.“ Da die unteren Flächen der Blätter weisz sind, während die oberen dunkelgrün sind, bietet der Baum bei Tag und Nacht eine sehr verschiedene Erscheinung dar. Die Blätter an einem kleinen Baume in einem Topfe boten bei uns keinerlei nyctitropische Bewegungen dar. Wir haben in einem früheren Capitel gesehen, dasz die Blätter von *Pinus pinaster* und *austriaca* beständig circumnutiren.

Monocotyledonen.

Thalia dealbata (Cannaceae). — Die Blätter dieser Pflanze schlafen dadurch, dasz sie sich senkrecht aufwärts wenden; sie sind mit einem gut entwickelten Polster versehen. Es ist der einzige uns bekannte Fall, wo ein sehr groszes Blatt schläft. Die Scheibe eines jungen Blattes, welches bis jetzt nur $13\frac{1}{4}$ Zoll lang und $6\frac{1}{2}$ Zoll breit war, bildete am Mittag mit seinem langen Stiele einen Winkel von 121° und des Nachts stand es senkrecht in einer Linie mit ihm und war daher 59° gestiegen. Die factische Entfernung, welche die Spitze eines anderen groszen Blattes durchmessen hatte (durch eine orthogonische Zeichnung gemessen) und zwar zwischen 7.30 a. m. und 10 Uhr p. m., betrug $10\frac{1}{2}$ Zoll. Die Circumnutation zweier junger und zwergartiger Blätter, welche zwischen den längeren Blättern an der Basis der Pflanze entsprangen, wurde während zweier Tage an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet. Am ersten Tage beschrieb die Spitze des einen und am zweiten Tage die Spitze des anderen Blattes zwischen 6.40 a. m. und 4 Uhr p. m. zwei Ellipsen. Die längeren Achsen derselben waren nach sehr verschiedenen Richtungen von den Linien, welche die grosze nächtliche Senkung und die nächtliche Erhebung darstellten, weggerichtet.

Maranta arundinacea (Cannaceae). — Die Scheiben der Blätter, welche mit einem Polster versehen sind, stehen während des Tags hori-

²⁰ Die period. Bewegungen, p. 159.

²¹ Comptes rendus, Jan. 1876, p. 171.

zontal oder zwischen 10° und 20° über dem Horizont und des Nachts senkrecht aufwärts. Sie erheben sich daher zwischen 70° und 90° des Nachts. Die Pflanze wurde am Mittag im Warmhause ins Dunkle gestellt, und am folgenden Tage wurden die Bewegungen der Blätter aufgezeichnet. Zwischen 8.40 und 10.30 a. m. erhoben sie sich und sanken dann bedeutend bis 1.37 p. m. Aber um 3 Uhr p. m. hatten sie sich wieder ein wenig erhoben und fuhren während des Restes des Nachmittags und der Nacht sich zu erheben fort; am folgenden Morgen standen sie in derselben Höhe wie am vorhergehenden Tage. Es stört daher Dunkelheit während anderthalben Tages die Periodicität ihrer Bewegungen nicht. An einem warmen, aber stürmischen Abende wurden die Blätter an einer Pflanze, während sie in das Haus gebracht wurde, heftig erschüttert, und des Nachts schlief nicht ein einziges ein. Am nächsten Morgen wurde die Pflanze in das Warmhaus zurückgebracht, und des Nachts schliefen wiederum die Blätter nicht; aber in der folgenden Nacht erhoben sie sich in der gewöhnlichen Weise zwischen 70° und 80° . Diese Thatsache ist mit der analog, die wir bei kletternden Pflanzen beobachtet haben, nämlich das heftige Bewegung eine lange Zeit ihr Circumnutationsvermögen hemmt; die Wirkung war aber in diesem Falle viel stärker ausgesprochen und dauerte länger.

Colocasia antiquorum (*Caladium esculentum* Hort.) (Aroideae).

— Die Blätter dieser Pflanze schlafen so, dasz ihre Scheiben am Abend sinken, so dasz sie sehr stark geneigt sind oder selbst vollkommen senkrecht stehen, wobei ihre Spitzen nach dem Boden hinweisen. Sie sind nicht mit einem Polster versehen. Die Scheibe eines stand um Mittag 1° unter dem Horizont, um 4.20 p. m. 20° , um 6 p. m. 43° , um 7.20 p. m. 69° und um 8.30 p. m. 68° , es hatte daher jetzt schon begonnen sich zu erheben, um 10.15 p. m. stand es 65° und am folgenden frühen

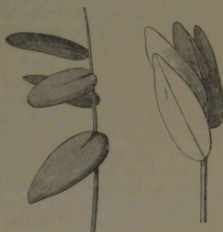


Fig. 164. *Streptium floribundum*: Halme mit Blättern während des Tags und des Nachts schlafend. Figuren verkleinert.

Morgen 11° unter dem Horizont. Die Circumnutation eines andern jungen Blattes (dessen Stiel nur $3\frac{1}{4}$ Zoll und dessen Scheibe 4 Zoll lang war) wurde 48 Stunden lang an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet; es wurde trüb durch ein Oberlicht beleuchtet, und dies schien die gehörige Periodicität seiner Bewegungen zu stören. Trotzdem senkte sich das Blatt

bedeutend während beider Nachmittage, entweder bis 7.10 p. m. oder 9 p. m., wo es sich ein wenig erhob und seitwärts bewegte. Zu einer frühen Stunde an beiden Morgen hatte es seine Tagesstellung angenommen. Die scharf ausgesprochene seitliche Bewegung eine kurze Zeit lang in dem ersten Theile der Nacht war die einzige interessante Thatsache, welche es darbot, da dies die Ursache war, dass die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammenfielen in Übereinstimmung mit der allgemeinen Regel bei circumnutirenden Organen. Die Bewegungen der Blätter dieser Pflanze sind daher von der einfachsten Art, und es ist nicht der Mühe werth die Zeichnung mitzuthellen. Wir haben gesehen, dass bei einer anderen Gattung der Aroideen, nämlich *Pistia*, die Blätter des Nachts sich so bedeutend erheben, dass man beinahe sagen kann, sie schlafen.

*Strepium floribundum*²²

(Gramineae). — Die ovalen Blätter sind mit einem Polster versehen und breiten sich des Tags horizontal aus oder sind ein wenig unter den Horizont geneigt. Diejenigen an den aufrechten Halmen erheben sich einfach des Nachts senkrecht, so dass ihre Spitzen nach dem Zenith hingerichtet sind (Fig. 164). Horizontal ausgebreitete Blätter, welche von stark geneigten oder beinahe horizontalen Halmen entspringen, bewegen sich des Nachts so, dass ihre Spitzen nach der Spitze des Halms hinweisen, während ein Seitenrand nach dem Zenith hingerichtet ist, und, um diese Stellung anzunehmen, müssen sich die Blätter um ihre eigenen Axen durch einen Winkel von nahezu 90° drehen. Es steht auf diese Weise die Oberfläche der Scheibe immer senkrecht, welches auch die Stellung der Mittelrippe oder des Blattes als Ganzes sein mag.

Die Circumnutation eines jungen Blattes (von 2.3 Zoll Länge) wurde während 48 Stunden aufgezeichnet (Fig. 165). Die Bewegung war merk-

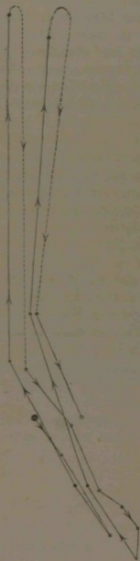


Fig. 165. *Strepium floribundum*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blattes, von 9 a. m., 26. Juni, bis 8.45 a. m., 27., aufgezeichnet; Glasfaden der Mittelrippe entlang befestigt. Spitze des Blattes $8\frac{1}{4}$ Zoll von der senkrechten Glasscheibe entfernt. Pflanze von oben beleuchtet. Temperatur $23\frac{1}{2}$ – $24\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

²² A. Brongniart beobachtete zuerst, dass die Blätter dieser Pflanze und von *Marsilea* schlafen; s. Bull. Soc. Bot. de France, T. 7, 1860, p. 470.

würdig einfach; das Blatt senkte sich von vor 6.40 a. m. bis 2 oder 2.50 p. m. und erhob sich dann so, dass es ungefähr um 6 p. m. senkrecht stand; spät in der Nacht oder am sehr zeitigen Morgen senkte es sich wiederum. Am zweiten Tage war die absteigende Linie unbedeutend zickzackförmig. Wie gewöhnlich fielen die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammen. Bei einer andern Gelegenheit, wo die Temperatur ein wenig höher war, nämlich 24° — $26\frac{1}{2}^{\circ}$ C., wurde ein Blatt zwischen 8.50 a. m. und 12.16 p. m. 17 mal beobachtet; es veränderte seinen Weg in der genannten Zeit von 3 Stunden 26 Minuten sechsmal bedeutend bis zu einem rechten Winkel und beschrieb $2\frac{1}{2}$ unregelmäßige Dreiecke. Das Blatt circumnutirte daher bei dieser Gelegenheit rapid und in einer complicirten Art.

Acotyledonen.

Marsilea quadrifoliata (Marsileaceae). — Die Form eines während des Tages horizontal ausgebreiteten Blattes ist bei A (Fig. 166) dargestellt. Jedes Blättchen ist mit einem gut entwickelten Polster versehen. Wenn die Blätter schlafen, erheben sich die zwei terminalen

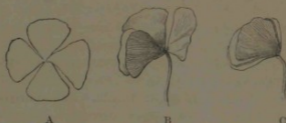


Fig. 166. *Marsilea quadrifoliata*: A Blatt während des Tages, senkrecht von oben gesehen; B Blatt von der Seite gesehen, anfangend einzuschlafen; C dasselbe Blatt, eingeschlafen. Figuren auf die Hälfte der natürlichen Größe reducirt.

Blättchen, drehen sich halb herum und kommen mit einander in Berührung (B) und werden später von den zwei unteren Blättchen umfasst (C),

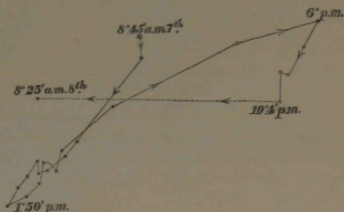


Fig. 167. *Marsilea quadrifoliata*: Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines Blättchens während 24 Stunden an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet. Figur auf zwei Drittel der Originalgröße verkleinert. Pflanze in einer etwas zu niedrigen Temperatur gehalten.

so dass die vier Blättchen mit ihren unteren Flächen nach auszen gewendet ein senkrechtcs Päckchen bilden. Die Krümmung des Gipfels des

Stiels des schlafenden Blattes in der Abbildung ist bloß zufällig. Die Pflanze wurde in ein Zimmer gebracht, dessen Temperatur nur ein wenig über 15.6°C . war, und die Bewegung eines der Blättchen (nach Befestigung des Blattstiels) wurde 24 Stunden lang verfolgt (Fig. 167). Das Blatt senkte sich vom frühen Morgen bis 1.50 p. m. und erhob sich dann bis 6 Uhr p. m., wo es eingeschlafen war. Ein senkrecht herabhängender Glasfaden wurde nun an eines der terminalen und inneren Blättchen befestigt, und ein Theil der Zeichnung in Fig. 167 nach 6 Uhr p. m. zeigt, dasz es, ein Zickzack bildend, bis 10.40 p. m. zu sinken fortfuhr. Um 6.45 a. m. am folgenden Morgen wachte das Blatt auf, und der Glasfaden wies über die verticale Glasscheibe, aber um 8.25 a. m. nahm es die in der Figur gezeigte Stellung ein. Die Zeichnung weicht in ihrem Aussehen bedeutend von den meisten der früher gegebenen ab, und dies ist Folge davon, dasz sich das Blättchen in dem Masse, als es sich seinem Gegenpart nähert und mit ihm in Berührung kommt, dreht und seitwärts bewegt. Die Bewegung eines anderen Blättchens wurde, als es schlief, zwischen 6 p. m. und 10.35 p. m. verfolgt, und es circumnutirte deutlich, denn es fuhr zwei Stunden lang zu sinken fort, dann erhob es sich und sank dann noch niedriger, als es um 6 p. m. war. In der vorstehenden Figur (167) kann man sehen, dasz das Blättchen, als die Pflanze einer verhältnismässig niedrigen Temperatur im Hause ausgesetzt wurde, während der Mitte des Tages in einer etwas zickzackförmigen Linie sank und wieder aufstieg; als sie aber in dem Warmhause von 9 Uhr a. m. bis 3 Uhr p. m. bei einer hohen, aber schwankenden Temperatur (nämlich zwischen 22.2 und 28.3°C .) gehalten wurde, circumnutirte ein Blättchen (dessen Blattstiel festgemacht war) rapid, denn es beschrieb im Verlaufe von 6 Stunden drei grosse senkrechte Ellipsen. Nach der Angabe von BRONGNIART schläft *Marsilea pubescens* so wie die vorliegende Species. Es sind diese Pflanzen die einzigen Kryptogamen, von denen man weisz, dasz sie schlafen.

Zusammenfassung und Schlussbemerkungen über die nyctitropischen oder Schlafbewegungen der Blätter. — Dasz diese Bewegungen in irgend einer Weise für die Pflanzen, welche sie darbieten, von hoher Bedeutung sind, werden nur wenige bestreiten, die beobachtet haben, wie complicirt sie zuweilen sind. So biegen sich bei *Cassia* die Blättchen, welche während des Tags horizontal sind, nicht nur des Nachts senkrecht abwärts, und das terminale Paar ist beträchtlich rückwärts gerichtet, sondern sie rotiren auch um ihre eigenen Achsen, so dasz ihre unteren Flächen nach auszen gewendet werden. Das terminale Blättchen von *Melilotus* rotirt gleichfalls, durch welche Bewegung einer seiner Seitenränder aufwärts gerichtet wird, und in derselben Zeit bewegt es sich entweder nach rechts oder nach links, bis seine obere Fläche in Berührung mit der des seitlichen Blättchens auf derselben Seite kommt, welches gleichfalls um

seine eigene Achse rotirt hat. Bei *Arachis* bilden alle vier Blättchen zusammen während der Nacht ein einziges senkrechtes Päckchen, und um dies zu bewirken, müssen sich die zwei vorderen Blättchen aufwärts und die zwei hinteren vorwärts bewegen, ausserdem, dass sich alle um ihre eigenen Achsen drehen. In der Gattung *Sida* bewegen sich die Blätter einiger Species des Nachts durch einen Winkel von 90° aufwärts und diejenigen anderer Species durch denselben Winkel abwärts. Wir haben eine ähnliche Verschiedenheit in den nyctitropischen Bewegungen der Cotyledonen bei der Gattung *Oxalis* gesehen. Ferner bewegen sich bei *Lupinus* die Blättchen entweder auf- oder abwärts; und in einigen Species z. B. *L. luteus* bewegen sich diejenigen auf der einen Seite des sternförmigen Blattes aufwärts und diejenigen auf der entgegengesetzten Seite abwärts; die dazwischen liegenden rotiren um ihre Achsen; und durch diese verschiedenartige Bewegungen bildet das ganze Blatt des Nachts einen senkrechten Stern, anstatt wie während des Tags einen horizontalen zu bilden. Einige Blätter und Blättchen werden ausser, dass sie sich entweder aufwärts oder abwärts bewegen, des Nachts mehr oder weniger gefaltet, wie bei *Bauhinia* und in einigen Species von *Oxalis*. In der That sind die Stellungen, welche Blätter beim Schlafen annehmen, beinahe unendlich verschiedenartig; sie können entweder senkrecht aufwärts oder abwärts weisen oder, wie es bei den Blättchen der Fall ist, entweder nach der Spitze oder nach der Basis des Blattes oder können in jeder zwischenliegenden Stellung stehen. Sie rotiren häufig mindestens soviel wie 90° um ihre eigenen Achsen. Die Blätter, welche an aufrechten und an horizontalen oder an stark geneigten Zweigen einer und der nämlichen Pflanze entspringen, bewegen sich in einigen wenigen Fällen in einer verschiedenartigen Weise, so bei *Porlieria* und *Strepthium*. Die ganze Erscheinung vieler Pflanzen wird des Nachts wunderbar verändert, wie bei *Oxalis* und noch deutlicher bei *Mimosa* zu sehen ist. Ein Busch von *Acacia Farnesiana* erscheint des Nachts wie mit kleinen, hängenden Stückchen Fäden bedeckt anstatt mit Blättern. Schlieszen wir einige wenige Gattungen aus, die wir selbst nicht gesehen haben, und über die wir im Zweifel sind, und noch einige wenige andere, deren Blättchen des Nachts rotiren und nicht bedeutend sich erheben oder senken, so gibt es 37 Gattungen, in welchen die Blätter oder Blättchen sich erheben, wobei sie sich häufig in derselben Zeit nach der Spitze oder nach der

Basis des Blattes zu bewegen, und 32 Gattungen, in welchen sie des Nachts sinken.

Die nyctitropischen Bewegungen der Blätter, Blättchen und Blattstiele werden auf zwei verschiedenen Wegen bewirkt; erstens durch abwechselnd vermehrtes Wachsthum auf den entgegengesetzten Seiten, welchem eine vermehrte Turgescenz der Zellen vorausgeht; und zweitens mittelst eines Polsters oder eines Aggregates kleiner Zellen, denen meist Chlorophyll fehlt, und welche abwechselnd auf beinahe entgegengesetzten Seiten turgescenter werden; und dieser Turgescenz folgt kein Wachsthum, ausgenommen während des frühen Lebensalters der Pflanze. Ein Polster scheint (wie früher gezeigt wurde) aus einer Gruppe von Zellen gebildet zu werden, welche in einem sehr frühen Alter zu wachsen aufhören und daher nicht wesentlich von den umgebenden Geweben abweichen. Die Cotyledonen einiger Species von *Trifolium* sind mit einem Kissen versehen, und anderen fehlen die Kissen; dasselbe ist auch mit den Blättern in der Gattung *Sida* der Fall. Wir sehen also in dieser nämlichen Gattung Abstufungen in dem Entwicklungszustande des Polsters; und bei *Nicotiana* haben wir das, was wahrscheinlich als der Beginn der Entwicklung eines solchen betrachtet werden kann. Die Ursache der Bewegung ist nahebei ähnlich, mag ein Polster vorhanden sein oder fehlen, wie es aus vielen der in diesem Capitel mitgetheilten Zeichnungen deutlich hervorgeht. Es verdient Beachtung, dasz, wenn ein Polster vorhanden ist, die aufsteigenden und absteigenden Linien kaum jemals zusammenfallen, so dasz gewöhnlich von den damit versehenen Blättern Ellipsen beschrieben werden, mögen sie jung sein oder so alt, dasz sie vollständig aufgehört haben zu wachsen. Diese Thatsache, dasz nämlich Ellipsen beschrieben werden, zeigt, dasz die abwechselnd vermehrte Turgescenz der Zellen nicht auf genau entgegengesetzten Seiten des Polsters eintritt, eben so wenig wie das vermehrte Wachsthum, welches die Bewegungen der nicht mit Polster versehenen Blätter verursacht. Wenn ein Polster vorhanden ist, werden die nyctitropischen Bewegungen eine sehr viel längere Zeit hindurch fortgesetzt, als wenn solche nicht vorhanden sind. Dies ist für die Cotyledonen reichlich bewiesen worden, und PFEFFER hat dasselbe beweisende Beobachtungen in Bezug auf Blätter mitgetheilt. Wir haben gesehen, dasz ein Blatt von *Mimosa pudica* fortfuhr in der gewöhnlichen Weise sich zu bewegen, obschon etwas einfacher, bis es verwelkte und abstarb. Es mag noch

hinzugefügt werden, dasz einige Blättchen von *Trifolium pratense* zehn Tage lang durch Nadeln offengehalten wurden, und am ersten Abende, nachdem sie freigemacht worden waren, erhoben sie sich und schiefen in der gewöhnlichen Weise. Auszer der langen Fortdauer der Bewegungen, wo sie durch Hilfe eines Polsters ausgeführt werden (und dies scheint die Ursache seiner Entwicklung zu sein), ist eine drehende Bewegung des Nachts, wie PFEFFER bemerkt hat, beinahe auf in dieser Weise ausgerüstete Blätter beschränkt.

Es ist eine sehr allgemeine Regel, dasz das erste echte Blatt, obschon es etwas der Gestalt nach von den Blättern an der reifen Pflanze abweichen mag, doch in gleicher Weise wie diese schläft, und dies tritt vollkommen unabhängig von der Thatsache ein, ob die Cotyledonen selbst schlafen oder nicht, oder ob sie in derselben Weise schlafen. Aber bei *Phaseolus Roxburghii* erheben sich die ersten einblättrigen Blätter des Nachts beinahe hinreichend hoch, um schlafend genannt werden zu können, während die Blättchen der secundären dreiblättrigen Blätter des Nachts senkrecht herabsinken. An jungen Pflanzen von *Sida rhombifolia* von nur einigen wenigen Zollen Höhe schiefen die Blätter nicht, obschon sie sich an etwas älteren Pflanzen des Nachts senkrecht erhoben. Andererseits schiefen die Blätter an sehr jungen Pflanzen von *Cytisus fragrans* in einer augenfälligen Weise, während die Blätter an alten und kräftigen, im Gewächshause gehaltenen Sträuchen keine deutlichen nyctitropischen Bewegungen darboten. Bei der Gattung *Lotus* erheben sich die basalen nebenblättchenartigen Blättchen des Nachts senkrecht und sind mit Polstern versehen.

Wie bereits bemerkt, läsz sich, wenn Blätter oder Blättchen ihre Stellung des Nachts bedeutend und durch complicirte Bewegungen ändern, kaum daran zweifeln, dasz die letzteren in irgend einer Weise für die Pflanze wohlthätig sein müssen. Ist dies der Fall, so müssen wir dieselbe Schlussfolgerung auf eine grosze Zahl schlafender Pflanzen ausdehnen, denn die complicirtesten und einfachsten nyctitropischen Bewegungen werden durch die feinsten Abstufungen miteinander verbunden. Aber in Folge der im Anfange dieses Capitels angeführten Ursachen ist es in einigen wenigen Fällen unmöglich zu bestimmen, ob gewisse Bewegungen nyctitropisch genannt werden müssen oder nicht. Meistens deutet die Stellung, welche die Blätter des Nachts annehmen, mit hinreichender Sicherheit an, dasz der hieraus erlangte

Vortheil der Schutz der oberen Flächen vor der Strahlung in den offenen Himmel ist, und in vielen Fällen der gegenseitige Schutz sämtlicher Theile gegen die Kälte, und zwar dadurch, dasz sie in dichte Annäherung an einander gebracht werden. Man musz sich erinnern, dasz es im letzten Capitel nachgewiesen wurde, dasz Blätter, die des Nachts horizontal ausgebreitet zu bleiben gezwungen wurden, viel mehr von der Strahlung litten, als diejenigen, denen gestattet wurde, ihre normale senkrechte Stellung anzunehmen.

Die Thatsache, dasz Blätter mehrerer Pflanzen nicht schlafen, wenn sie nicht während des Tags gut beleuchtet worden waren, liesz uns eine Zeit lang zweifeln, ob der Schutz ihrer oberen Flächen gegen Strahlung in allen Fällen die Endursache ihrer gut ausgesprochenen nyctitropischen Bewegungen sei. Wir haben aber keinen Grund anzunehmen, dasz die Beleuchtung von dem offenen Himmel aus selbst während des bewölktesten Tages für diesen Zweck unzureichend sei, und wir müssen im Auge behalten, dasz Blätter, welche dadurch, dasz sie tief unten an der Pflanze stehen, beschattet sind, und welche zuweilen nicht schlafen, gleichfalls des Nachts gegen die Strahlung geschützt sind. Trotzdem möchten wir doch nicht leugnen, dasz noch Fälle existiren können, in welchen Blätter ihre Stellung des Nachts beträchtlich ändern, ohne irgend einen Vortheil aus solchen Bewegungen zu ziehen.

Obschon bei schlafenden Pflanzen die Blattscheiben beinahe immer des Nachts eine senkrechte oder nahezu senkrechte Stellung annehmen, so ist es doch ein Punkt von vollständiger Gleichgiltigkeit, ob die Spitze oder die Basis oder einer der Seitenränder nach dem Zenith gerichtet wird. Es ist eine Regel von groszer Allgemeinheit, dasz, wenn nur überhaupt ein Unterschied in dem Grade des Exponirtseins gegen die Strahlung zwischen der oberen und unteren Fläche von Blättern und Blättchen besteht, es die obere ist, welche die wenigst exponirte ist, wie bei *Lotus*, *Cytisus*, *Trifolium* und anderen Gattungen zu sehen ist. Bei mehreren Species von *Lupinus* stellen sich die Blättchen, und können sich allem Anscheine nach wegen ihrer Structur nicht, des Nachts nicht senkrecht, und in Folge dessen sind ihre oberen Flächen, obschon hochaufgerichtet, doch mehr exponirt, als die unteren, und hier haben wir eine Ausnahme von unserer Regel vor uns. Aber in anderen Species dieser Gattung haben die Blättchen bei ihrer Bewegung Erfolg und stellen sich senkrecht. Dies wird indessen

durch eine sehr ungewöhnliche Bewegung ausgeführt, nämlich dadurch, dasz die Blättchen auf den entgegengesetzten Seiten eines und desselben Blattes sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen.

Es ist ferner eine sehr gewöhnliche Regel, dasz, wenn Blättchen miteinander in dichte Berührung kommen, sie das mit ihren oberen Flächen thun, welche hierdurch am besten geschützt werden. In einigen Fällen kann dies das directe Resultat ihrer Erhebung senkrecht aufwärts sein; aber es ist offenbar zum Schutze der oberen Flächen, dasz die Blättchen von *Cassia* in einer so wundervollen Weise, während sie sich nach unten senken, rotiren, und dasz das terminale Blättchen von *Melilotus* rotirt und sich nach einer Seite bewegt, bis es das seitliche Blättchen auf derselben Seite trifft. Wenn gegenständige Blättchen oder Blätter senkrecht abwärts sinken ohne irgend welche Drehung, nähern sich ihre unteren Flächen einander und kommen zuweilen in Berührung. Dies ist aber das directe und unvermeidliche Resultat ihrer Stellung. Bei manchen Species von *Oxalis* werden die unteren Flächen der benachbarten Blättchen zusammengedrückt und hierdurch besser geschützt, als die oberen Flächen; dies hängt aber einfach davon ab, dasz ein jedes Blättchen des Nachts so gefaltet wird, dasz es im Stande ist, senkrecht abwärts zu sinken. Die Torsion oder Rotation von Blättern und Blättchen, welche in so vielen Fällen eintritt, dient allem Anscheine nach immer dazu, ihre oberen Flächen in dichte Annäherung mit einander zu bringen oder mit anderen Theilen der Pflanze, und zwar zu ihrem gegenseitigen Schutze. Wir sehen dies am besten in derartigen Fällen, wie bei *Arachis*, *Mimosa albida* und *Marsilea*, bei welchen allen die Blättchen des Nachts zusammen ein einziges senkrechtes Päckchen bilden. Wenn bei *Mimosa pudica* die gegenständigen Blättchen einfach sich aufwärts bewegt hätten, würden die oberen Flächen mit einander in Berührung gekommen und gut geschützt sein; wie es aber ist, bewegen sie sich sämmtlich nach einander der Spitze des Blattes zu und hierdurch werden nicht nur ihre oberen Flächen geschützt, sondern die aufeinanderfolgenden Paare werden dachziegelförmig gedeckt und schützen einander gegenseitig, ebenso wie die Stiele. Die dachziegelförmige Anordnung der Blättchen schlafender Pflanzen ist eine gewöhnliche Erscheinung.

Die nyctitropische Bewegung der Blattscheibe wird meist durch die Krümmung des obersten Theils des Blattstiels bewirkt, welcher

häufig zu einem Kissen modificirt worden ist, oder der ganze Blattstiel kann, wenn er kurz ist, in dieser Weise umgeändert sein. Aber die Scheibe selbst krümmt oder bewegt sich zuweilen, für welche Thatsache *Bauhinia* ein auffallendes Beispiel darbietet, da die zwei Hälften des Nachts sich erheben und in dichte Berührung kommen. Oder die Blattscheibe und der obere Theil des Blattstiels können sich beide bewegen. Ausserdem erhebt oder senkt sich des Nachts der Blattstiel als ein Ganzes sehr häufig. Diese Bewegung ist zuweilen grosz: so stehen die Blattstiele von *Cassia pubescens* während des Tags nur ein wenig über dem Horizont und steigen des Nachts beinahe oder vollständig senkrecht in die Höhe. Auch die Blattstiele der jüngeren Blätter von *Desmodium gyrans* erheben sich des Nachts häufig senkrecht. Andererseits sanken bei *Amphicarpaea* die Stiele einiger Blätter des Nachts so bedeutend wie 57° herab. Bei *Arachis* sanken sie 39° , und dann standen sie rechtwinklig zum Stamme. Wenn dies Erheben oder Senken mehrerer Blattstiele an einer und derselben Pflanze gemessen wurde, differirte der Betrag meistens bedeutend. Dies wird zum groszen Theil durch das Alter des Blattes bestimmt: so erhob sich beispielsweise der Stiel eines mäsizig alten Blattes von *Desmodium gyrans* nur 46° , während die jungen senkrecht emporstiegen: der eines jungen Blattes von *Cassia floribunda* erhob sich 41° , während der eines älteren Blattes sich nur 12° erhob. Es ist eine noch eigenthümlichere Thatsache, dasz das Alter der Pflanze zuweilen bedeutend den Betrag an Bewegung beeinflusst; so erhoben sich bei einigen jungen Sämlingen einer *Bauhinia* die Blattstiele des Nachts 30° und 34° , während dieselben an diesen nämlichen Pflanzen, als diese bis zu einer Höhe von zwei oder drei Fusz gewachsen waren, sich überhaupt kaum bewegten. Die Stellung der Blätter an der Pflanze, wie sie durch das Licht bestimmt wird, scheint auch die Grösze der Bewegung des Blattstiels zu beeinflussen; denn es liesz sich keine andere Ursache dafür erkennen, warum die Stiele einiger Blätter von *Melilotus officinalis* so bedeutend sich des Nachts erhoben wie 59° und andere nur 7° und 9° .

Bei vielen Pflanzen bewegen sich die Blattstiele des Nachts in einer Richtung und die Blättchen in einer direct entgegengesetzten. So bewegten sich bei drei Gattungen der Phaseoleen die Blättchen des Nachts senkrecht abwärts, und die Blattstiele erhoben sich in zwei von ihnen, während sie in der Dritten sanken. Species in einer und derselben

Gattung weichen häufig weit in den Bewegungen ihrer Blattstiele von einander ab. Selbst an einer und derselben Pflanze von *Lupinus pubescens* erhoben sich einige von den Blattstielen des Nachts 30°, andere nur 6° und andere sanken 4°. Die Blättchen von *Cassia Barclayana* bewegten sich des Nachts so wenig, dasz man nicht sagen konnte, sie schliefen, und doch erhoben sich die Stiele einiger junger Blätter bis 34°. Diese verschiedenen Thatsachen weisen allem Anschein nach darauf hin, dasz die Bewegungen der Blattstiele nicht zu irgend einem speciellen Zwecke ausgeführt werden, obschon eine Schlussfolgerung dieser Art meistens vorschnell ist. Wenn die Blättchen des Nachts senkrecht herabsinken und die Blattstiele sich erheben, wie es häufig vorkommt, so ist es sicher, dasz die Aufwärtsbewegung der letzteren die Blättchen nicht darin unterstützt, sich des Nachts in ihre gehörige Stellung zu bringen; denn sie haben sich dann durch einen größeren Winkel zu bewegen, als im andern Falle nothwendig gewesen sein würde.

Trotz dem, was soeben gesagt worden ist, lässt sich stark vermuthen, dasz in einigen Fällen die Erhebung der Blattstiele, wenn sie beträchtlich ist, für die Pflanze wohlthätig ist dadurch, dasz sie die der Strahlung des Nachts ausgesetzte Oberfläche bedeutend verringert. Wenn der Leser die zwei Zeichnungen (Fig. 155 p. 316) von *Cassia pubescens*, die nach Photographien copirt waren, miteinander vergleichen will, so wird er sehen, dasz der Durchmesser der Pflanze des Nachts ungefähr ein Drittel von dem beträgt, was er des Tages ist; und es ist daher die der Strahlung ausgesetzte Oberfläche nahezu neunmal kleiner. Eine ähnliche Folgerung kann aus den Zeichnungen (Fig. 149 p. 304) eines wachen und schlafenden Zweiges von *Desmodium gyrans* abgeleitet werden. Dasselbe war auch in einer sehr auffallenden Art und Weise bei jungen Pflanzen von *Bauhinia* und bei *Oxalis Ortegiesii* der Fall.

Zu einer analogen Folgerung werden wir in Bezug auf die Bewegungen der secundären Stielchen gewisser gefiederter Blätter geführt. Die Fiedern von *Mimosa pudica* convergiren des Nachts, und hierdurch werden die dachziegligen und geschlossenen Blättchen an jeder einzelnen Fieder sämmtlich in ein einziges Bündel zusammengebracht, und sie beschützen eines das andere, während eine etwas kleinere Oberfläche der Strahlung ausgesetzt wird. Bei *Albizzia lophantha* schlieszen sich die Fiedern in derselben Weise zusammen. Obgleich die Fiedern von *Acacia Farnesiana* nicht bedeutend convergiren, sinken

sie doch abwärts. Diejenigen von *Neptunia oleracea* bewegen sich gleichfalls abwärts eben sowie rückwärts nach der Basis des Blattes zu, während der Hauptblattstiel sich erhebt. Ferner werden bei *Schrankia* die Fiedern des Nachts niedergedrückt. In diesen drei letzteren Fällen nun bieten die Fiedern, obgleich sie sich des Nachts nicht gegenseitig schützen, doch, nachdem sie niedergesunken sind, wie es ein herabhängendes, schlafendes Blatt thut, dem Zenith und der Strahlung viel weniger Oberfläche dar, als wenn sie horizontal geblieben wären.

Ein jeder, welcher eine schlafende Pflanze niemals anhaltend beobachtet hat, wird natürlich vermuthen, dasz die Blätter sich nur am Abend bewegen, wenn sie einschlafen, und am Morgen wieder, wenn sie aufwachen. Er würde sich aber hier vollständig irren; denn wir haben von der Regel keine Ausnahme gefunden, dasz Blätter, welche schlafen, sich während der ganzen vierundzwanzig Stunden bewegen; sie bewegen sich indessen schneller, wenn sie einschlafen und wenn sie aufwachen, als zu andern Zeiten. Dasz sie während des Tags nicht stationär sind, wird durch alle mitgetheilten Zeichnungen nachgewiesen, ebenso wie durch die vielen andern, welche aufgezeichnet wurden. Es ist mühsam, die Bewegungen der Blätter in der Mitte der Nacht zu beobachten. Dies wurde aber in einigen wenigen Fällen ausgeführt; und Aufzeichnungen wurden während des ersten Theils der Nacht von den Bewegungen von *Oxalis*, *Amphicarpaea*, zwei Species von *Erythrina*, einer *Cassia*, *Passiflora*, *Euphorbia* und *Marsilea* gemacht, und es ergab sich, dasz die Blätter, nachdem sie eingeschlafen waren, in beständiger Bewegung waren. Wenn indessen gegenständige Blättchen miteinander oder mit dem Stamme des Nachts in dichte Berührung kommen, so werden sie, wie wir annehmen, mechanisch an der Bewegung gehindert. Doch wurde dieser Punkt nicht hinreichend untersucht.

Wenn die Bewegungen schlafender Blätter während vierundzwanzig Stunden aufgezeichnet werden, so fallen die aufsteigenden und absteigenden nicht zusammen, ausgenommen gelegentlich und durch Zufall auf eine kurze Strecke, so dasz bei vielen Pflanzen eine einzige grosse Ellipse während einer jeden Zeit von vierundzwanzig Stunden beschrieben wird. Derartige Ellipsen sind meistens eng und senkrecht gerichtet, denn der Betrag an seitlicher Bewegung ist gering. Dasz etwas Seitenbewegung vorhanden ist, wird dadurch bewiesen, dasz die aufsteigenden und absteigenden Linien nicht zusammenfallen, und gelegentlich, wie

bei *Desmodium gyrans* und *Thalia dealbata*, war sie stark ausgesprochen. Bei *Melilotus* waren die von dem terminalen Blättchen während des Tags beschriebenen Ellipsen nach den Seiten ausgebreitet, statt senkrecht, wie es gewöhnlich der Fall ist, und diese Thatsache steht offenbar damit in Beziehung, dasz das terminale Blättchen sich seitlich bewegt, wenn es einschläft. Bei der Majorität der schlafenden Pflanzen oscilliren die Blättchen mehr als einmal in den vierundzwanzig Stunden auf und nieder, so dasz häufig zwei Ellipsen, eine von mäsziger Grösze und eine von sehr bedeutender Grösze, welche letztere die nächtliche Bewegung einschlieszt, innerhalb der vierundzwanzig Stunden beschrieben werden. So wird beispielsweise ein Blatt, welches während der Nacht senkrecht aufwärts steht, am Morgen sinken, sich dann beträchtlich erheben, am Nachmittage wiederum sinken und am Abend wieder aufsteigen und seine senkrechte nächtliche Stellung annehmen. Es wird hiernach im Verlaufe der vierundzwanzig Stunden zwei Ellipsen von ungleicher Grösze beschreiben. Andere Pflanzen beschreiben innerhalb derselben Zeit drei, vier oder fünf Ellipsen. Gelegentlich sind die längeren Achsen der verschiedenen Ellipsen nach verschiedenen Richtungen hingerrichtet, wofür *Acacia Farnesiana* ein gutes Beispiel darbietet. Die folgenden Fälle werden eine Idee von der Geschwindigkeit der Bewegung geben: *Oxalis acetosella* vollendete zwei Ellipsen mit der Geschwindigkeit von 1 Stunde 25 Minuten für jede; *Marsilea quadrifoliata* mit der Geschwindigkeit von 2 Stunden, *Trifolium subterraneum* eine in 3 Stunden 30 Minuten und *Arachis hypogaea* in 4 Stunden 50 Minuten. Aber die Anzahl von Ellipsen, die innerhalb einer gegebenen Zeit beschrieben wird, hängt in hohem Grade von dem Zustande der Pflanze und von den Bedingungen ab, denen dieselbe ausgesetzt wird. Es ereignet sich häufig, dasz während des einen Tages eine einzige Ellipse beschrieben werden kann und zwei am nächsten. *Erythrina corallodendron* beschrieb am ersten Tage der Beobachtung vier Ellipsen und am dritten nur eine einzige, allem Anschein nach in Folge davon, dasz die Pflanze nicht hinreichend beleuchtet und vielleicht nicht warm genug gehalten worden war. Es scheint aber gleichfalls eine eingeborene Neigung bei verschiedenen Species einer und derselben Gattung zu bestehen, in den vierundzwanzig Stunden eine verschiedene Anzahl von Ellipsen zu beschreiben: Die Blättchen von *Trifolium repens* beschrieben nur eine, diejenigen von *T. resupinatum* zwei und diejenigen von *T. subterraneum* drei in dieser Zeit. Ferner beschrieben die Blättchen von *Oxalis*

Plumierii eine einzige Ellipse, diejenige von *O. bupleurifolia* zwei, diejenigen von *O. Valdiviana* zwei oder drei und diejenigen von *O. acetosella* mindestens fünf in den vierundzwanzig Stunden.

Die von der Spitze des Blattes oder Blättchens beim Beschreiben einer oder mehrerer Ellipsen während des Tags gezogene Linie ist häufig zickzackförmig, und zwar entweder durch ihren ganzen Verlauf oder nur während des Morgens oder Abends: *Robinia* bot einen Fall dar, wo die Zickzackbewegung auf den Morgen beschränkt war, und eine ähnliche Bewegung am Abend ist in der Zeichnung, die bei *Sida* mitgetheilt wurde (Fig. 126) zu sehen. Die Grösze der Zickzackbewegung hängt in hohem Grade davon ab, dass die Pflanze unter bedeutend günstige Bedingungen gestellt werde. Aber selbst unter solchen günstigen Bedingungen wird, wenn die Punkte, welche die Stellung der Spitze markiren, nach beträchtlichen Zeitintervallen gemacht und dann verbunden werden, der eingehaltene Lauf noch immer vergleichsweise einfach erscheinen, obgleich die Zahl der Ellipsen vergrössert sein wird; wenn aber Punkte alle zwei oder drei Minuten gemacht und diese dann verbunden werden, so ist das Resultat häufig, dass sämmtliche Linien stark zickzackförmig sind, während viele kleine Schlingen, Dreiecke und andere Figuren gebildet werden. Diese Thatsache ist an zwei Stellen der Zeichnung (Fig. 150) der Bewegungen von *Desmodium gyrans* zu sehen. *Strepium floribundum* beschrieb, unter einer hohen Temperatur beobachtet, mehrere kleine Dreiecke mit der Geschwindigkeit von 43 Minuten für jedes. *Mimosa pudica*, in ähnlicher Weise beobachtet, beschrieb drei kleine Ellipsen in 67 Minuten, und die Spitze eines Blättchens kreuzte $\frac{1}{500}$ Zoll in einer Secunde oder 0.12 Zoll in einer Minute. Die Blättchen von *Averrhoa* machten eine unzählige Menge kleiner Oscillationen, als die Temperatur hoch war und die Sonne schien. Die Zickzackbewegung kann in allen Fällen als ein Versuch betrachtet werden, kleine Schlingen zu bilden, welche durch eine in irgend einer Richtung vorherrschende Bewegung ausgezogen werden. Die rapiden Kreisbewegungen der kleinen seitlichen Blättchen von *Desmodium* gehören zu derselben Classe von Bewegungen, die in Schnelligkeit und Amplitude etwas übertrieben sind. Die schnellen Bewegungen mit einem kleinen Fortschritt und einem noch kleineren Rückschritt, scheinbar nicht in genau derselben Linie, beim Hypocotyl des Kohls und den Blättern von *Dionaea*, wie sie unter dem Microscop sich zeigen, gehören wahrscheinlich unter diese selbe Categorie. Wir

können vermuthen, dasz wir hier die Kraft vor uns haben, welche während der beständigen chemischen Processe, die in den Geweben vor sich gehen und in Bewegung umgewandelt werden, frei wird. Endlich musz bemerkt werden, dasz Blättchen und wahrscheinlich einige Blätter, während sie ihre Ellipsen beschreiben, häufig unbedeutend um ihre Achsen rotiren, so dasz die Ebene des Blattes zuerst nach einer und dann nach der andern Seite hin gerichtet ist. Man sah deutlich, dasz dies der Fall war bei den groszen terminalen Blättchen von *Desmodium*, *Erythrina* und *Amphicarpea*, und es ist wahrscheinlich allen mit einem Polster versehenen Blättchen gemeinsam.

In Bezug auf die Periodicität der Bewegungen schlafender Blätter hat PFEFFER²³ so klar gezeigt, dasz dies von den täglichen Änderungen von Licht und Dunkelheit abhängt, dasz über diesen Punkt nichts weiter gesagt zu werden braucht. Wir können aber hier das Benehmen von *Mimosa* im Norden ins Gedächtnis zurückrufen, wo die Sonne nicht untergeht, und dann die vollständige Umkehr der täglichen Bewegungen durch künstliches Licht und künstliche Dunkelheit. Wir haben gleichfalls gezeigt, dasz, obgleich Blätter, welche eine mäsiz lange Zeit der Dunkelheit ausgesetzt waren, zu circumnutiren fortführen, doch die Periodicität ihrer Bewegungen bald bedeutend gestört oder vollständig vernichtet wird. Die Gegenwart von Licht oder dessen Fehlen kann nicht als directe Ursache der Bewegungen angenommen werden, denn diese sind selbst bei den Blättchen eines und desselben Blattes wunderbar verschiedenartig, obgleich natürlich alle in ähnlicher Weise exponirt gewesen sind. Die Bewegungen hängen von eingeborenen Ursachen ab und sind von einer adaptiven Natur. Die Abwechselungen von Licht und Dunkelheit geben den Blättern nur davon eine Notiz, dasz die Periode für sie gekommen ist, sich in einer bestimmten Weise zu bewegen. Wir können aus der Thatsache, dasz mehrere Pflanzen (*Tropaeolum*, *Lupinus* etc.) nicht schlafen, wenn sie nicht während des Tags gut beleuchtet worden sind, folgern, dasz es nicht die factische Abnahme von Licht am Abend, sondern der Contrast zwischen der Menge Licht zu dieser Stunde und während des früheren Theils des Tages ist, welcher die Blätter reizt ihre gewöhnliche Weise zu circumnutiren zu verändern.

²³ Die periodischen Bewegungen der Blattoorgane, 1875, p. 30 und an anderen Stellen.

Da die Blätter der meisten Pflanzen ihre gehörige Tagesstellung am Morgen annehmen, wengleich das Licht ausgeschlossen ist, und da die Blätter einiger Pflanzen sich in der normalen Weise im Dunkeln während mindestens eines ganzen Tages zu bewegen fortfahren, so können wir schlieszen, dasz die Periodicität ihrer Bewegungen in einer gewissen Ausdehnung vererbt wird²⁴. Die Stärke einer derartigen Vererbung ist in verschiedenen Species bedeutend verschieden und scheint niemals ganz starr zu sein. Denn Pflanzen sind aus allen Theilen der Welt in unsere Gärten und Gewächshäuser eingeführt worden, und wenn ihre Bewegungen durchaus streng in Bezug auf die Abwechslung von Tag und Nacht fixirt gewesen wären, so würden sie hier im Lande zu sehr verschiedenen Stunden geschlafen haben, was nicht der Fall ist. Überdies ist beobachtet worden, dasz schlafende Pflanzen in ihrem Heimathlande ihre Schlafzeit mit den wechselnden Jahreszeiten ändern²⁵.

Wir wollen uns nun zu der systematischen Liste wenden (p. 273). Dieselbe enthält die Namen aller uns bekannten schlafenden Pflanzen, obschon die Liste zweifellos sehr unvollständig ist. Es mag als allgemeine Regel vorausgeschickt werden, dasz sämtliche Species in einer und derselben Gattung in nahezu derselben Art und Weise schlafen. Es scheinen aber einige Ausnahmen zu bestehen; in mehreren groszen Gattungen, welche viele schlafende Species enthalten (z. B. *Oxalis*), schlafen einige nicht. Eine Species von *Melilotus* schläft wie ein *Trifolium* und daher von seinen Gattungsgenossen sehr verschieden; dasselbe thut eine Species von *Cassia*. In der Gattung *Sida* erheben sich entweder die Blätter oder senken sich des Nachts, und bei *Lupinus* schlafen sie nach drei verschiedenen Methoden. Kehren wir

²⁴ Pfeffer leugnet eine solche Vererbung (Die period. Bewegungen u. s. w. p. 30—56); er schreibt die Periodicität, wenn sie einen oder zwei Tage im Dunkeln fort dauert, der Nachwirkung des Lichts und der Dunkelheit zu. Wir sind aber nicht im Stande, seinem Raisonement zu folgen. Derartige Bewegung dieser Ursache zuzuschreiben, scheint nicht mehr Grund vorhanden zu sein, als beispielsweise die vererbte Gewohnheit von Winter- und Sommer-Weizen, am besten in verschiedenen Jahreszeiten zu wachsen; denn diese Gewohnheit geht nach wenigen Jahren verloren, gleich den Bewegungen der Blätter im Dunkeln nach wenigen Tagen. Ohne Zweifel musz irgend eine Wirkung durch die lange fortgesetzte Cultur der Elternpflanzen unter verschiedenen Climates auf die Samen hervorgebracht werden, aber wahrscheinlich wird dies doch Niemand eine „Nachwirkung“ der Climate nennen.

²⁵ Pfeffer, a. a. O. p. 46.

zur Liste zurück, so ist der erste Punkt, welcher uns auffällt, der, dasz es unter den Leguminosen (und in beinahe jeder einzelnen Tribus der Leguminosen) viel mehr Gattungen gibt, als in allen den übrigen Familien zusammengenommen, und wir werden in Versuchung gebracht, diese Thatsache mit der groszen Beweglichkeit der Stämme und Blätter in dieser Familie in Zusammenhang zu bringen, wie es sich durch die grosze Zahl kletternder Species, welche sie enthält, zeigt. Den Leguminosen zunächst kommen die Malvaceen zusammen mit einigen nahe verwandten Familien. Aber bei weitem der bedeutungsvollste Punkt in der Liste ist der, dasz wir schlafende Pflanzen in 28 Familien in sämmtlichen groszen Abtheilungen der Phanerogamenreihe und bei einer kryptogamen Pflanze finden. Obschon es nun wahrscheinlich ist, dasz bei den Leguminosen die Neigung zu schlafen von einem oder einigen wenigen Urerzeugern ererbt worden sein mag und möglicherweise ebenso in den Cohorten der Malvales und Chenopodiales, so musz doch offenbar diese Neigung von den verschiedenen Gattungen in den anderen Familien vollkommen unabhängig von einander erlangt worden sein. Es entsteht daher natürlich die Frage: Wie ist dies möglich gewesen? Und die Antwort ist, wie wir nicht bezweifeln können, die, dasz Blätter ihre nyctotropischen Bewegungen ihrer Gewohnheit zu circumnutiren verdanken, einer Gewohnheit, die allen Pflanzen gemein ist und überall zu einer jeden wohlthätigen Weiterentwicklung oder Modification bereit ist.

Es ist in den vorhergehenden Capiteln gezeigt worden, dasz die Blätter und Cotyledonen aller Pflanzen sich beständig auf und ab bewegen, meistens in einer geringen, aber zuweilen in einer beträchtlichen Ausdehnung, und dasz sie entweder eine oder mehrere Ellipsen im Verlaufe von vierundzwanzig Stunden beschreiben; sie werden auch in so weit durch den Wechsel von Tag und Nacht afficirt, dasz sie meistens oder wenigstens häufig sich periodisch in einer geringen Ausdehnung bewegen; und hier haben wir eine Grundlage für die Entwicklung der gröszeren nyctitropischen Bewegungen. Dasz die Bewegungen von Blättern und Cotyledonen, welche nicht schlafen, in die Classe der circumnutirenden Bewegungen gehören, können wir nicht bezweifeln, denn sie sind denjenigen der Hypocotyle, Epicotyle, der Stämme erwachsener Pflanzen und verschiedener anderer Organe sehr ähnlich. Wenn wir nun den einfachsten Fall eines schlafenden Blattes annehmen, so sehen wir, dasz es in den 24 Stunden eine einzige

Ellipse beschreibt, welche einer solchen, welche ein nicht schlafendes Blatt beschreibt, in jeder Beziehung ähnlich ist, ausgenommen, dass sie viel grösser ist. In beiden Fällen ist der eingehaltene Weg häufig zickzackförmig. Da alle nicht schlafenden Blätter beständig circumnutiren, so müssen wir schliessen, dass wenigstens ein Theil der Aufwärts- und Abwärtsbewegung eines Blattes, welches schläft, Folge der gewöhnlichen Circumnutation ist; und es scheint durchaus willkürlich zu sein, den Rest der Bewegung unter eine vollständig verschiedene Kategorie bringen zu wollen. Bei einer Menge von kletternden Pflanzen sind die Ellipsen, welche sie beschreiben, zu einem andern Zweck, nämlich dazu, eine Stütze zu ergreifen, bedeutend vergrößert worden. Bei diesen kletternden Pflanzen sind die verschiedenen circumnutirenden Organe in so weit in Bezug auf das Licht modificirt worden, dass sie sich, verschieden von allen gewöhnlichen Pflanzen, nicht nach ihm hinbiegen. Bei schlafenden Pflanzen ist die Geschwindigkeit und die Weite der Bewegungen der Blätter in so weit in Bezug auf das Licht modificirt worden, dass sie sich in einer gewissen Richtung mit dem absterbenden Lichte des Abends und mit dem zunehmenden Lichte des Morgens rapider bewegen und in einer grösseren Ausdehnung, als zu anderen Stunden.

Aber die Blätter und Cotyledonen vieler nicht schlafender Pflanzen bewegen sich in einer viel complicirteren Art und Weise, als in den eben erwähnten Fällen; denn sie beschreiben im Laufe eines Tages zwei, drei oder mehr Ellipsen. Wenn nun eine Pflanze dieser Art in eine solche, welche schläft, verwandelt werden sollte, so würde eine Seite einer der verschiedenen Ellipsen, welche jedes Blatt täglich beschreibt, am Abend bedeutend an Länge vergrößert werden müssen, bis das Blatt senkrecht stand, wo es dann um den nämlichen Fleck weiter circumnutiren würde. Am folgenden Morgen würde die Seite einer anderen Ellipse ähnlich in ihrer Länge zu vergrößern gewesen sein, so dass das Blatt in seine Tagesstellung zurückgebracht würde, wo es wiederum bis zum Abend circumnutiren würde. Wenn der Leser beispielsweise sich die Zeichnung (Fig. 142 p. 298), welche die nyctitropischen Bewegungen des terminalen Blättchens von *Trifolium subterraneum* darstellt, ansehen will und sich erinnern, dass die punktirten bogenförmigen Linien an der Spitze der Zeichnung viel höher hinauf hätten verlängert werden müssen, so wird er sehen, dass die bedeutende Erhebung am Abende und die bedeutende Senkung am Morgen

zusammen eine grosse Ellipse bilden gleich einer von denen, welche während des Tages beschrieben wurden, und nur in der Grösze verschieden. Oder er mag die Zeichnung (Fig. 103 p. 200) von den $3\frac{1}{2}$ Ellipsen betrachten, welche im Verlaufe von 6 Stunden 35 Minuten von einem Blatt von *Lupinus speciosus* beschrieben wurden, welche eine von den Species in dieser Gattung ist, welche nicht schläft; und er wird hier sehen, dasz einfach durch eine Verlängerung der Linie, welche bereits spät am Abend sich erhob, nach oben und durch Herabführen derselben am nächsten Morgen die Zeichnung die Bewegung einer schlafenden Pflanze darstellen würde.

Bei denjenigen schlafenden Pflanzen, welche in der Zeit des Tages mehrere Ellipsen beschreiben, und welche sich in einer stark zickzackförmigen Linie bewegen, die häufig in ihrem Verlaufe minutiöse Schlingen, Dreiecke etc. bildet, wird die Linie, welche beschrieben wird, sobald eine der Ellipsen am Abend anfängt an Grösze bedeutend zuzunehmen, und wenn Punkte alle zwei bis drei Minuten gemacht und diese dann verbunden werden, beinahe genau geradlinig sein in starkem Contraste zu den während des Tags gemachten Linien. Dies wurde bei *Desmodium gyrans* und *Mimosa pudica* beobachtet. Überdies convergiren bei dieser letzteren Pflanze die Fiedern am Abend durch eine stetige Bewegung, während sie den Tag über in einer geringen Ausdehnung beständig convergiren und divergiren. In allen derartigen Fällen war es kaum möglich, die Verschiedenheit in der Bewegung während des Tags und Abends zu beobachten, ohne davon überzeugt zu sein, dasz am Abend die Pflanze den Aufwand an Kraft dadurch erspart, dasz sie sich nicht seitlich bewegt, und dasz ihre ganze Energie jetzt darauf verwandt wird, schnell ihre gehörige nächtliche Stellung in einem directen Laufe anzunehmen. In mehreren anderen Fällen, so beispielsweise, wenn ein Blatt, nachdem es während des Tags eine oder mehrere ziemlich regelmässige Ellipsen beschrieben hat, am Abend sich bedeutend zickzackförmig bewegt, hat es den Anschein, als wenn Energie aufgewendet würde, so dasz die bedeutende abendliche Hebung oder Senkung mit der Periode des Tags, welche für diese Bewegung die gehörige ist, zusammenfallen kann.

Die complicirteste Bewegung von allen den von schlafenden Pflanzen ausgeführten ist die, wenn Blätter oder Blättchen, nachdem sie in der Zeit des Tags mehrere senkrecht gerichtete Ellipsen beschrieben haben, am Abend bedeutend um ihre Achsen rotiren, durch

welche drehende Bewegung sie des Nachts eine gänzlich verschiedene Stellung von der annehmen, welche sie während des Tages einnehmen. So bewegen sich beispielsweise die terminalen Blättchen von *Cassia* nicht bloß senkrecht abwärts am Abend, sondern drehen sich herum, so dasz ihre unteren Flächen nach auszen sehen. Derartige Bewegungen sind gänzlich oder beinahe gänzlich auf mit einem Polster versehene Blättchen beschränkt. Aber diese Drehung ist nicht eine neue Art von Bewegung, welche nur zum Zwecke des Schlafs eingeführt ist; denn es ist gezeigt worden, dasz einige Blättchen, während sie ihre gewöhnlichen Ellipsen am Tage beschreiben, unbedeutend rotiren und dadurch es veranlassen, dasz ihre Blattscheiben zuerst nach einer Seite und dann nach der andern sehen. Obschon wir einsehen können, wie die unbedeutenden periodischen Bewegungen der Blätter in einer senkrechten Ebene leicht in die bedeutenderen, aber einfachen nyctitropischen Bewegungen umgewandelt werden können, so wissen wir doch für jetzt nicht, durch welche abgestuften Übergänge die complicirteren Bewegungen, welche durch die Torsion der Polster bewirkt werden, erlangt worden sind. Eine wahrscheinliche Erklärung könnte in jedem einzelnen Falle nur nach einer genauen Untersuchung der Bewegungen in sämtlichen verwandten Formen gegeben werden.

Nach den nun vorgebrachten Thatsachen und Betrachtungen können wir schlieszen, dasz Nyctitropismus oder der Schlaf von Blättern und Cotyledonen nur eine Modification ihrer gewöhnlichen circumnutirenden Bewegung ist, die in ihrer Periode und Weite durch die Abwechslungen von Licht und Dunkelheit regulirt werden. Der zu erreichende Zweck ist der Schutz der oberen Flächen der Blätter vor der Strahlung des Nachts, häufig combinirt mit dem gegenseitigen Schutze der verschiedenen Theile durch ihre dichte Annäherung. In solchen Fällen wie bei den Blättchen von *Cassia* — den terminalen Blättchen von *Melilotus* — den sämtlichen Blättchen von *Arachis*, *Marsilea* etc. — haben wir gewöhnliche Circumnutation in der äussersten, uns in irgend einer der verschiedenen groszen Classen von modificirter Circumnutation bekannt gewordenen Ausdehnung modificirt. Nach dieser Ansicht von dem Ursprunge des Nyctitropismus können wir einsehen, woher es kommt, dasz einige wenige weit durch die Reihe der Gefäßpflanzen vertheilte Pflanzen im Stande gewesen sind, die Gewohnheit zu erlangen, die Scheiben ihrer Blätter des Nachts senkrecht zu stellen, d. h. zu schlafen, — eine sonst unerklärliche Thatsache.

Die Blätter einiger Pflanzen bewegen sich während des Tages in einer Weise, welche uneigentlich Tagesschlaf genannt worden ist; denn wenn die Sonne hell auf sie scheint, richten sie ihre Ränder nach ihr hin. Auf derartige Fälle werden wir im folgenden Capitel über Heliotropismus zurückkommen. Es ist gezeigt worden, dass die Blättchen einer Form von *Porlieria hygrometrica* sich den Tag über geschlossen halten, solange die Pflanze spärlich mit Wasser versorgt wird, in derselben Weise, als wenn sie schlafen; und dies dient augenscheinlich dazu, die Verdunstung zu hemmen. Es gibt nur einen andern uns bekannten analogen Fall, nämlich der gewisser Gramineen, welche die Seiten ihrer schmalen Blätter einwärts falten, wenn dieselben der Sonne und einer trockenen Atmosphäre ausgesetzt werden, wie es DUVAL-JOUVE beschrieben hat²⁶. Wir haben auch dieselbe Erscheinung bei *Elymus arenarius* beobachtet.

Es gibt noch eine andere Bewegung, welche seit der Zeit LINNÉ's meistens Schlaf genannt worden ist, nämlich die der Kronblätter der vielen Blüten, welche sich des Nachts schlieszen. Diese Bewegungen sind von PFEFFER trefflich untersucht worden, welcher gezeigt hat (wie zuerst HOFMEISTER beobachtet hatte), dass sie mehr durch die Temperatur als durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit verursacht oder regulirt werden. Obschon sie die Reproductionsorgane des Nachts gegen Strahlung schützen müssen, so scheint dies doch nicht ihre hauptsächliche Function zu sein, sondern mehr der Schutz der Organe gegen Kälte, Wind und besonders gegen den Regen während des Tages. Das letztere scheint wahrscheinlich zu sein, da KERNER²⁷ gezeigt hat, dass eine sehr verschiedene Art von Bewegung, nämlich das Niederbeugen des oberen Theils des Blütenstiels in vielen Fällen demselben Zwecke dient. Das Schlieszen der Blüten wird auch nächtliche Insecten fernhalten, welche zu ihrer Befruchtung schlecht angepasst sein mögen, ebenso wie die gut angepassten Arten zu Zeiten, wo die Temperatur nicht günstig ist. Ob diese Bewegungen der Kronblätter, wie es wahrscheinlich ist, aus einer modificirten Circumnutation bestehen, wissen wir nicht.

Embryologie der Blätter. — Im Laufe dieses Capitels sind einige wenige Thatsachen beiläufig darüber mitgetheilt worden, was

²⁶ Annal. des Sc. Natur. (Botan.) 1875, T. 1, p. 326—329.

²⁷ Die Schutzmittel des Pollens, 1873, p. 30—39.

man die Embryologie der Blätter nennen kann. Bei den meisten Pflanzen ist das erste Blatt, welches nach den Cotyledonen entwickelt wird, den von der erwachsenen Pflanze hervorgebrachten Blättern sehr ähnlich, aber dies ist nicht immer der Fall. Die ersten von einigen Species von *Drosera*; z. B. von *D. capensis*, hervorgebrachten Blättern sind in der Gestalt von den von der erwachsenen Pflanze getragenen Blättern sehr verschieden und sind den Blättern von *D. rotundifolia* äusserst ähnlich, wie uns Professor WILLIAMSON von Manchester gezeigt hat. Das erste echte Blatt des Ginster oder *Ulex* ist nicht schmal und stachelförmig, wie es die älteren sind. Auf der andern Seite hat bei vielen Leguminosen, so z. B. bei *Cassia*, *Acacia lophantha* etc., das erste Blatt wesentlich denselben Character wie die älteren Blätter, ausgenommen, dass es weniger Blättchen trägt. Bei *Trifolium* trägt das erste Blatt meistens nur ein einziges Blättchen anstatt drei, und dieses weicht in der Gestalt etwas von dem entsprechenden Blättchen an den alten Blättern ab. Nun war bei *Trifolium pannonicum* das erste echte Blatt bei manchen Sämlingen einblättrig und bei andern vollständig dreiblättrig, und zwischen diesen zwei extremen Zuständen fanden sich alle Arten von Übergängen. Einige Sämlinge trugen ein einziges mehr oder weniger tief an einer oder beiden Seiten eingeschnittenes Blättchen, und einige trugen ein einzelnes weiteres und vollkommenes seitliches Blättchen. Wir haben daher hier die seltene Gelegenheit, eine Bildung, welche einem vorgerückteren Alter eigen ist, im Acte des allmählichen Übergreifens und Ersetzens eines früheren oder embryologischen Zustandes zu sehen.

Die Gattung *Melilotus* ist mit *Trifolium* nahe verwandt, und das erste Blatt trägt nur ein einzelnes Blättchen, welches des Nachts um seine Achse rotirt, so dass es einen Seitenrand dem Zenith darbietet. Es schläft daher wie das terminale Blättchen einer erwachsenen Pflanze, wie in 15 Species beobachtet wurde, und gänzlich verschieden von dem entsprechenden Blättchen von *Trifolium*, welches sich einfach aufwärts biegt. Es ist daher eine merkwürdige Thatsache, dass in einer unter diesen 15 Species, nämlich *M. taurica* (und in einem geringeren Grade noch in zwei anderen) von jungen Sprossen ausgehende Blätter, welche an Pflanzen sich entwickelten, die während des Winters eingeschnitten und im Gewächshaus in Töpfen gehalten wurden, gleich den Blättern eines *Trifolium* schliefen, während die Blätter an den

voll ausgewachsenen Zweigen an den nämlichen Pflanzen später normal wie die eines *Melilotus* schliefen. Wenn junge aus der Erde sich erhebende Schöszlinge als neue Individuen betrachtet werden können, die in einer gewissen Ausdehnung die Natur von Sämlingen theilen, so kann die eigenthümliche Art, in welcher ihre Blätter schlafen, als eine embryologische Gewohnheit betrachtet werden, wahrscheinlich als das Resultat davon, dasz *Melilotus* von irgend einer Form abstammt, welche gleich einem *Trifolium* schlief. Diese Ansicht wird zum Theil dadurch unterstützt, dasz die Blätter an alten und jungen Zweigen einer anderen Species *M. messanensis* (nicht unter den obigen 15 Species mit inbegriffen) immer gleich denen eines *Trifolium* schlafen.

Das erste echte Blatt von *Mimosa albida* besteht aus einem einfachen Blattstiele, welcher häufig drei Paare von Blättchen trägt, welche sämmtlich von nahezu gleicher Grösze und von derselben Gestalt sind: das zweite Blatt weicht von dem ersten bedeutend ab und ist dem an einer erwachsenen Pflanze ähnlich (s. Fig. 159 p. 323). Denn es besteht aus zwei Fiedern, von denen jede zwei Paare von Blättchen trägt, von denen das innere, basale sehr klein ist. Aber an der Basis einer jeden Fieder finden sich ein paar minutiöse Spitzchen, offenbar Rudimente von Blättchen; denn sie sind von ungleicher Grösze gleich den zwei vorausgehenden Blättchen. Diese Rudimente sind in einem gewissen Sinne embryologisch, denn sie existiren nur während der Jugend des Blattes. Sobald es vollständig erwachsen ist, fallen sie ab und verschwinden.

Bei *Desmodium gyrans* sind die zwei seitlichen Blättchen sehr viel kleiner als die entsprechenden Blättchen bei den meisten Species in dieser groszen Gattung; sie variiren auch in der Stellung und Grösze; eines oder beide fehlen zuweilen, und sie schlafen auch nicht, wie die voll entwickelten Blättchen. Sie können daher als beinahe rudimentär betrachtet werden, und in Übereinstimmung mit den allgemeinen Grundsätzen der Embryologie sollten sie bei sehr jungen Pflanzen constanter und vollständiger entwickelt sein als an alten Pflanzen. Dies ist aber nicht der Fall, denn sie fehlten vollständig an einigen jungen Sämlingen und erschienen nicht eher, als bis von 10 bis 20 Blätter gebildet worden waren. Diese Thatsache führt uns auf die Vermuthung, dasz *D. gyrans* durch eine einblättrige Form von denen einige existiren) von einer dreiblättrigen Species abstammt,

und dasz die kleinen seitlichen Blättchen in Folge von Rückschlag wieder erscheinen. Wie sich dies aber auch verhalten möge, die interessante Thatsache, dasz die Polster oder Bewegungsorgane dieser kleinen Blättchen nicht annähernd so bedeutend reducirt sind, als ihre Blattscheiben (wenn wir das grosze terminale Blättchen als Vergleichungsmaszstab annehmen), gibt uns wahrscheinlich die entfernte Ursache ihres auszerordentlichen Drehungsvermögens.

Achtes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Durch das Licht angeregte Bewegungen.

Unterschied zwischen Heliotropismus und den Wirkungen des Lichts auf die Periodicität der Bewegungen von Blättern. — Heliotropische Bewegungen von *Beta*, *Solanum*, *Zea* und *Avena*. — Heliotropische Bewegungen nach einem schwachen Lichte hin bei *Apios*, *Brassica*, *Phalaris*, *Tropaeolum* und *Cassia*. — Apheliotropische Bewegungen der Ranken von *Bignonia*. — Der Blüthenstengel von *Cyclamen*. — Eingraben der Samenkapsel. — Heliotropismus und Apheliotropismus modificirte Formen von Circumnutation. — Schritte, durch welche eine Bewegung in die andere umgewandelt worden ist. — Transversaler Heliotropismus oder Diaheliotropismus, beeinflusst von Epinastie, dem Gewichte des Theils und Apogeotropismus. — Apogeotropismus während der Mitte des Tags von Diaheliotropismus überwältigt. — Wirkungen des Gewichts der Cotyledonscheiben. — Sogenannter Tagesschlaf. — Chlorophyll durch intensives Licht geschädigt. — Bewegungen um intensives Licht zu vermeiden.

SACHS wies zuerst klar auf den bedeutungsvollen Unterschied zwischen der Wirkung des Lichtes hin, als einmal die periodischen Bewegungen der Blätter modificirend und als die Ursache, dass sich dieselben nach der Lichtquelle hinbiegen¹. Die letzteren oder heliotropischen Bewegungen werden durch die Richtung des Lichtes bestimmt, während periodische Bewegungen durch Veränderungen in seiner Intensität und nicht durch seine Richtung afficirt werden. Die Periodicität der circumnutirenden Bewegungen dauert oft einige Zeit lang noch im Dunkeln fort, wie wir im letzten Capitel gesehen haben, während heliotropische Wirkung sehr schnell aufhört, wenn das Licht vergeht. Trotzdem sind Pflanzen, welche in Folge lang anhaltender Dunkelheit aufgehört haben, sich periodisch zu bewegen, wenn sie wieder dem Lichte ausgesetzt werden, noch immer nach der Angabe von SACHS heliotropisch.

¹ Physiologie végétale (franz. Übersetz.), 1868. p. 42, 517 etc.

Unter Apheliotropismus oder, wie er gewöhnlich bezeichnet wird, negativem Heliotropismus versteht man, dasz eine Pflanze, wenn sie auf den zwei Seiten ungleich beleuchtet wird, sich, anstatt wie in der letzten Unterklasse von Fällen nach dem Lichte hinzubiegen, von dem Lichte wegbiegt; es ist aber Apheliotropismus vergleichsweise selten, wenigstens in einem gut ausgesprochenen Grade. Es gibt noch eine dritte grosse Unterklasse von Fällen, nämlich die von Transversal-Heliotropismus von FRANK, welchen wir hier Diaheliotropismus nennen wollen. Unter seinem Einflusse stellen sich Pflanzentheile mehr oder weniger quer zu der Richtung, von welcher das Licht ausgeht, und werden in dieser Weise voll beleuchtet. Es gibt noch eine vierte Unterklasse, soweit die Endursache der Bewegung in Betracht kommt; denn die Blätter einiger Pflanzen richten sich, wenn sie einem intensiven und schädlichen Grade von Licht ausgesetzt werden, durch Hebung oder Senkung oder Drehung so, dasz sie weniger intensiv beleuchtet werden. Derartige Bewegungen sind zuweilen Tagesschlaf genannt worden. Wenn es für zweckmässig gehalten werden sollte, könnte man sie paraheliotropisch nennen, und dieser Ausdruck würde mit unseren anderen Bezeichnungen übereinstimmen.

In dem vorliegenden Capitel wird gezeigt werden, dass die sämtlichen unter diesen vier Unterclassen begriffenen Bewegungen in modificirter Circumnutation bestehen. Wir wollen nicht behaupten, dasz, wenn ein Pflanzentheil, so lange er noch wächst, nicht circumnutirt, obschon eine solche Vermuthung äusserst unwahrscheinlich ist, er sich nicht nach dem Lichte hinbiegen könne, aber den Thatsachen nach scheint Heliotropismus immer in modificirter Circumnutation zu bestehen. Jede Art von Bewegung in Bezug auf das Licht wird offenbar dadurch bedeutend erleichtert werden, dasz ein jeder Theil circumnutirt oder sich nacheinander in allen Richtungen biegt, so dasz eine bereits vorhandene Bewegung nur in irgend einer Richtung vergrößert zu werden und in den andern Richtungen vermindert oder gehemmt zu werden braucht, damit er heliotropisch, apheliotropisch u. s. w., wie der Fall gerade liegen mag, werden kann. Im nächsten Capitel werden einige Beobachtungen über die Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Licht mitgetheilt werden, die Geschwindigkeit, mit welcher sie sich nach ihm hinbiegen, und die Genauigkeit, mit welcher sie nach der Lichtquelle hinweisen u. s. w. Später wird gezeigt werden — und dies scheint uns ein Punkt von groszem Interesse zu sein —

dasz die Empfindlichkeit gegen das Licht zuweilen auf einen kleinen Theil der Pflanze beschränkt ist, und dasz dieser Theil, wenn er durch das Licht gereizt wird, einen Einflusz auf entfernt liegende Theile hinleitet und sie dadurch zum Biegen reizt.

Heliotropismus. — Wenn eine Pflanze, welche stark heliotropisch ist (und die Species weichen in dieser Beziehung bedeutend ab), einem hellen seitlichen Lichte ausgesetzt wird, so biegt sie sich schnell nach ihm hin, und der vom Stamme dabei eingeschlagene Weg ist vollkommen oder nahezu gerade. Wenn aber das Licht bedeutend getrübt ist oder gelegentlich unterbrochen oder nur in einer unbedeutend schrägen Richtung zugelassen wird, so wird der eingeschlagene Weg mehr oder weniger zickzackförmig und, wie wir gesehen haben und noch weiter sehen werden, ist eine derartige Zickzackbewegung das Resultat der Verlängerung oder des Ausziehens der Ellipsen, Schleifen etc., welche die Pflanze beschrieben haben würde, wenn sie von oben beleuchtet worden wäre. Bei mehreren Gelegenheiten wurden wir von dieser Thatsache sehr frappirt, während wir die Circumnutation in hohem Grade empfindlicher Sämlinge beobachteten, welche unabsichtlich etwas schräg oder nur in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen beleuchtet wurden.

So wurden beispielsweise zwei junge Sämlinge von *Beta vulgaris* in die Mitte eines Zimmers mit Nordost-Fenstern gestellt und mit Ausnahme der Zeit jeder Beobachtung, welche nur eine oder zwei Minuten dauerte, bedeckt gehalten; das Resultat war aber, dasz ihre Hypocotyle sich nach der Seite hinbogen, von welcher gelegentlich etwas Licht eintrat, und zwar in Linien, welche nur unbedeutend zickzackförmig waren. Obgleich

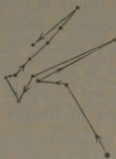


Fig. 168. *Beta vulgaris*: Circumnutation des Hypocotyls, dadurch abgelenkt, dasz das Licht unbedeutend seitlich war, an einer horizontalen Glasplatte von 8.30 a. m. bis 5.30 p. m. aufgezeichnet. Richtung des angezündeten Wachskerzens, mit welchem er beleuchtet wurde, durch eine, den ersten und den vorletzten Punkt verbindende Linie dargestellt. Figur auf ein Drittel der Originalgröße reducirt.

nicht eine einzige Ellipse auch nur annähernd gebildet wurde, so schlossen wir doch nach den zickzackförmigen Linien, und wie es sich herausstellte ganz richtig, dasz ihre Hypocotyle circumnutirten; denn am folgenden

Tage wurden diese nämlichen Sämlinge in ein vollständig verdunkeltes Zimmer gestellt; wir beobachteten sie jedesmal mit Hilfe eines kleinen Wachszünders, welcher beinahe direct über sie gehalten wurde, und ihre Bewegungen wurden an einer horizontalen Glasscheibe darüber aufgezeichnet. Und nun circumnutirten ihre Hypocotyle deutlich (Fig. 168 und Fig. 36, die früher auf pag. 40 mitgetheilt wurde). Doch bewegten sie sich eine kurze Strecke weit nach der Seite hin, wo der Wachszünder gehalten wurde. Wenn wir diese Zeichnungen betrachten und annehmen, dass der Wachszünder mehr auf einer Seite gehalten worden wäre, und die noch immer circumnutirenden Hypocotyle sich innerhalb derselben Zeit viel mehr nach dem Lichte hingebogen hätten, so würden offenbar lange Zickzacklinien das Resultat gewesen sein.

Ferner wurden zwei Sämlinge von *Solanum lycopersicum* von oben beleuchtet, aber zufällig trat ein wenig mehr Licht auf einer Seite als auf der andern ein, und ihre Hypocotyle wurden unbedeutend nach der helleren Seite hin gebogen; sie bewegten sich in einer zickzackförmigen Linie und beschrieben in ihrem Wege zwei kleine Dreiecke, wie in Fig. 37 (pag. 41) zu sehen ist, und auch noch in einer nicht mitgetheilten Aufzeichnung. Die scheidenartigen Cotyledonen von *Zea mays* benahmen sich unter nahezu ähnlichen Umständen in einer nahezu ähnlichen Art und Weise, wie in unserem ersten Capitel beschrieben wurde (pag. 52). Denn sie beugten sich während des ganzen Tages nach einer Seite, beschrieben indes auf ihrem Wege einige deutliche Biegungen. Ehe wir wussten, wie bedeutend gewöhnliche Circumnutation durch ein seitliches Licht modificirt wird, wurden einige Hafer sämlinge mit verhältnismässig alten und daher nicht in hohem Grade sensitiven Cotyledonen vor ein Nordost-Fenster gestellt, gegen welches sie sich den ganzen Tag in einem stark zickzackartigen Verlaufe bogen. Am folgenden Tage fuhren sie fort, sich in derselben Richtung zu biegen (Fig. 169), aber bewegten sich viel weniger im Zickzack. Der Himmel wurde indes zwischen 12.40 und 2.35 p. m. mit ausserordentlich dunklen Gewitterwolken überzogen, und es war interessant zu bemerken, wie deutlich die Cotyledonen während dieses Intervalls circumnutirten.

Die vorstehenden Beobachtungen sind von einigem Werthe, da sie gemacht worden sind, als wir nicht auf Heliotropismus achteten, und sie führten uns darauf, an mehreren Arten von Sämlingen in der Weise Versuche anzustellen, dass wir sie einem schwachen seitlichen Lichte aussetzten, so dass wir die Abstufungen zwischen gewöhnlicher Circumnutation und Heliotropismus beobachten konnten. Sämlinge in Töpfen wurden vor ein Nordost-Fenster und ungefähr ein Yard davon entfernt gestellt; an

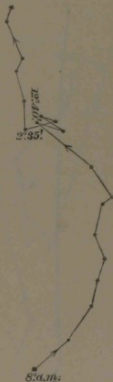


Fig. 169. *Avena sativa*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation eines scheidenartigen Cotyledons (von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe) an einer horizontalen Glasplatte von 8 a. m. bis 10.25 p. m., 16. Oct., aufgezeichnet.

jede Seite und über die Töpfe wurden schwarze Bretter gestellt; nach hinten blieben die Töpfe offen für das diffuse Licht des Zimmers, welches noch ein zweites Nordost- und ein Nordwest-Fenster hatte. Durch Aufhängen von einem oder mehreren Vorhängen vor dem Fenster, wo die Sämlinge standen, war es leicht das Licht abzuschwächen, so dass sehr wenig mehr auf dieser Seite eintrat als auf der entgegengesetzten, welche das diffuse Licht des Zimmers erhielt. Spät am Abend wurden die Vorhänge nach einander entfernt, und da die Pflanzen während des Tages einem sehr trüben Lichte ausgesetzt worden waren, fuhren sie fort sich noch später am Abende nach dem Fenster hinzubiegen, als sonst eingetreten sein würde. Die meisten der Sämlinge wurden ausgewählt, weil von ihnen bekannt war, dass sie gegen Licht in hohem Grade empfindlich seien, und einige, weil sie nur wenig empfindlich waren, oder so geworden waren, als sie herangewachsen waren. Die Bewegungen wurden in der gewöhnlichen Weise auf einer horizontalen Glasplatte aufgezeichnet; ein Glasfaden mit kleinen Dreieckchen von Papier war in einer aufrechten Stellung an die Hypocotyle angekittet worden. Sobald nur immer der Stamm oder Hypocotyl bedeutend nach dem Lichte hingebogen wurde, musste der letzte Theil seines Laufes an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet werden, die dem Fenster parallel und rechtwinklig zur horizontalen Glasdecke standen.

Apios graveolens. — Der Hypocotyl biegt sich in wenigen Stunden rechtwinklig nach einem hellen seitlichen Lichte hin. Um zu ermitteln, wie gerade der Weg sein würde, den er einschläge, wenn er ziemlich gut auf einer Seite beleuchtet würde, wurden Sämlinge zuerst vor ein Südwest-Fenster an einem wolkigen und regnerischen Morgen gestellt, und die Bewegung zweier Hypocotyle wurde drei Stunden hindurch aufgezeichnet, während welcher Zeit sie bedeutend nach dem Lichte hingebogen wurden. Eine dieser Aufzeichnungen wird hier (Fig. 170) mitgetheilt, und man sieht, dass der Lauf beinahe gerade ist. Aber die Lichtmenge war bei dieser Gelegenheit überflüssig, denn zwei Sämlinge wurden vor ein Nordost-Fenster gestellt, welches

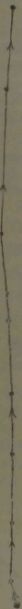


Fig. 170. *Apios graveolens*: Heliotropische Bewegung des Hypocotyls (0.45 Zoll hoch) nach einem mäßig hellen, seitlichen Lichte hin, an einer horizontalen Glasscheibe von 8.30 a. m. bis 11.30 a. m., am 18. Sept., aufgezeichnet. Figur auf ein Drittel der Originalgröße reducirt.

durch einen gewöhnlichen Leinen- und zwei Musselinvorhänge beschützt war, und doch bewegten sich ihre Hypocotyle nach diesem verhältnismäßig schwachen Lichte in nur unbedeutenden Zickzacklinien; aber nach 4 Uhr p. m., wie das Licht allmählich schwand, wurden die Linien deutlich

zickzackförmig. Überdies beschrieb einer dieser Sämlinge am Nachmittage eine Ellipse von beträchtlicher Grösze, deren längere Axe nach dem Fenster hingichtet war.

Wir beschlossen nun, dasz das Licht hinreichend schwach gemacht werden müsse, und fiengen daher damit an, mehrere Sämlinge dem Lichte vor einem Nordost-Fenster zu exponiren, welches durch einen Leinen-, drei Musselinvorhänge und ein breites Handtuch geschützt war. Es drang aber so wenig Licht ein, dasz ein Bleistift keinen wahrnehmbaren Schatten auf weissen Carton warf, und die Hypocotyle bogen sich durchaus nicht nach dem Fenster hin. Während dieser Zeit von 8.15 bis 10.50 a. m. bewegten sich die Hypocotyle im Zickzack oder circumnutirten

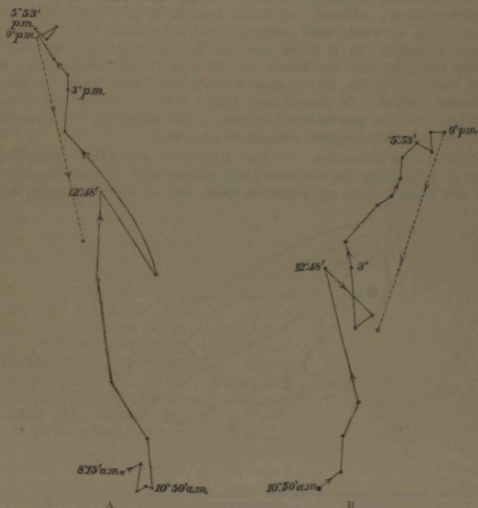


Fig. 171. *Apis gracilens*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation der Hypocotyle zweier Sämlinge nach einem schwachen seitlichen Lichte hin, an einer horizontalen Glasplatte während des Tages aufgezeichnet. Die unterbrochene Linie zeigt ihren nächtlichen rückläufigen Weg. Höhe des Hypocotyls von A 0.5 und von B 0.55 Zoll. Figur auf die Hälfte der Grösze des Originals reducirt.

in der Nähe desselben Flecks, wie in A (Fig. 171) zu sehen ist. Es wurde daher um 10.50 a. m. das Handtuch entfernt und durch zwei Musselinvorhänge ersetzt, und nun trat das Licht durch ein gewöhnliches leinenes Rouleau und vier Musselinvorhänge. Wenn ein Bleistift aufrecht

vor ein Stück Carton dicht bei den Sämlingen gehalten wurde, so warf er vom Fenster ausgehend einen Schatten darauf, welcher nur so eben noch unterschieden werden konnte. Und doch genügte dieser sehr unbedeutende Überschuss von Licht auf einer Seite, um die Hypocotyle sämtlicher Sämlinge unmittelbar zu veranlassen, sich in Zickzacklinien nach dem Fenster hinzubiegen. Der Verlauf eines derselben ist in A (Fig. 171) dargestellt: Nachdem er sich von 10.50 a. m. bis 12.48 p. m. nach dem Fenster hin bewegt hatte, bewegte er sich vom Fenster ab und kehrte dann in einer nahezu parallelen Linie wieder zurück, d. h. er vollendete zwischen 12.48 und 2 Uhr p. m. eine enge Ellipse. Spät am Abend, als das Licht schwand, hörte der Hypocotyl auf sich nach dem Fenster hinzubiegen und circumnutirte in geringem Masse rings um den nämlichen Fleck; während der Nacht bewegte er sich beträchtlich rückwärts, d. h. er wurde mehr aufrecht, und zwar durch die Wirkung des Apogeotropismus. In B haben wir eine Zeichnung der Bewegungen des andern Sämlings von der Stunde an (10 p. m.), als das Handtuch entfernt wurde, und sie ist in allen wesentlichen Beziehungen der vorhergehenden ähnlich. In diesen zwei Fällen konnte darüber kein Zweifel bestehen, dass die gewöhnliche circumnutirende Bewegung des Hypocotyls modificirt und heliotropisch gemacht worden war.

Brassica oleracea. — Der Hypocotyl des Kohls circumnutirt, wenn er nicht durch ein seitliches Licht gestört wird, in einer complicirten Art und Weise nahezu um denselben Fleck, und es wird eine früher schon

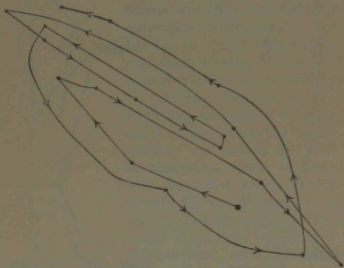


Fig. 172. *Brassica oleracea*: Gewöhnliche circumnutirende Bewegung des Hypocotyls einer Sämlingspflanze.

mitgetheilte Figur hier reproducirt (Fig. 172). Wenn der Hypocotyl einem mäßig starken, seitlichen Lichte ausgesetzt wird, so bewegt er sich schnell nach dieser Seite hin und bewegt sich in einer geraden oder nahezu geraden Linie. Wenn aber das seitliche Licht sehr schwach ist, wird sein Verlauf äusserst gewunden und besteht offenbar aus modificirter Circumnutation. Sämlinge wurden vor ein Nordost-Fenster gestellt, welches durch ein Leinenrouleau und Musselinvorhänge und durch ein Handtuch geschützt

wurde. Der Himmel war wolkig, und so oft die Wolken ein wenig heller wurden, wurde ein weiterer Musselinvorhang zeitweise aufgehängt. Das Licht vom Fenster her wurde in dieser Weise so stark geschwächt, dass, nach dem Eindrucke des unbewaffneten Auges zu urtheilen, die Sämlinge augenscheinlich mehr Licht vom Innern des Zimmers als vom Fenster her erhielten; dies war aber nicht wirklich so der Fall, wie es sich durch einen sehr schwach von einem Bleistifte auf Carton geworfenen Schatten

zeigte. Nichts desto weniger war dieser äusserst geringe Überschuss von Licht auf einer Seite die Ursache davon, dass die Hypocotyle, welche am Morgen aufrecht standen, sich rechtwinklig nach dem Fenster hinbogen, so dass am Abend (nach 4.23 p. m.) ihr weiterer Verlauf auf einer senkrechten Glasscheibe parallel mit dem Fenster aufgezeichnet werden musste. Es muss noch angegeben werden, dass um 3.30 p. m., um welche Zeit der Himmel dunkler geworden war, das Handtuch entfernt und durch einen weiteren Musselinvorhang ersetzt wurde, welcher seinerseits wieder um 4 p. m. entfernt wurde, während die andern zwei aufgehängt gelassen wurden. In Fig. 173 ist der zwischen 8.9 a. m. und 7.10 p. m. von einem der in dieser Weise exponirt gewesenen Hypocotyle eingeschlagene Lauf dargestellt. Es ist zu beobachten, dass während der ersten 16 Minuten der Hypocotyl sich schräg von dem Lichte wegbewegte, und dies war ohne Zweifel Folge davon, dass er damals in dieser Richtung circumnutirte. Ähnliche Fälle wurden wiederholt beobachtet, und ein schwaches Licht rief selten oder niemals irgend eine Wirkung hervor, bis eine oder $\frac{3}{4}$ Stunden Zeit vergangen waren. Nach 5.15 p. m., um welche Zeit das Licht dunkel geworden war, fieng der Hypocotyl an, um den nämlichen Fleck zu circumnutiren. Der Contrast zwischen den beiden Figuren (172 und 173) würde noch auffallender gewesen sein, wenn sie ursprünglich

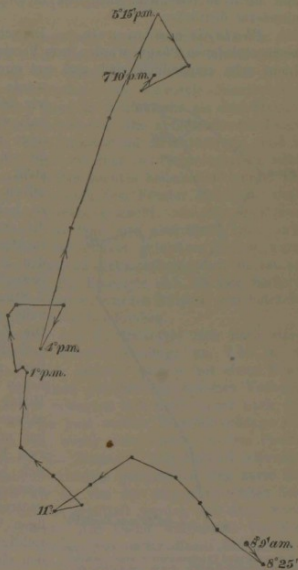


Fig. 173. *Brassica oleracea*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation eines Hypocotyls nach einem sehr schwachen seitlichen Lichte hin, während 11 Stunden, am Morgen an einer horizontalen und am Abend an einer senkrechten Glasscheibe aufgezeichnet. Figur hier auf ein Drittel der Originalgröße reducirt.

Nach 5.15 p. m., um welche Zeit das Licht dunkel geworden war, fieng der Hypocotyl an, um den nämlichen Fleck zu circumnutiren. Der Contrast zwischen den beiden Figuren (172 und 173) würde noch auffallender gewesen sein, wenn sie ursprünglich

Weg. Derselbe wurde stark gebogen, beugte sich aber niemals rechtwinklig nach dem Lichte zu. Von 11 a. m., wo der Himmel etwas trüb wurde, bis 6.30 p. m. war die Zickzackbewegung augenfällig und bestand offenbar aus ausgezogenen Ellipsen. Nach 6.30 p. m. und während der Nacht zog er sich in einer krummen Linie vom Fenster zurück. Ein anderer und jüngerer Sämling bewegte sich während derselben Zeit viel schneller und bis in eine viel grözere Entfernung in einer nur unbedeutenden Zickzacklinie nach dem Lichte hin; um 11 a. m. war er beinahe rechtwinklig in dieser Richtung gebogen und circumnutirte nun um denselben Fleck.

Tropaeolum majus. — Einige sehr junge Sämlinge, die nur zwei Blätter trugen und daher noch nicht bis zum kletternden Alterszustande gekommen waren, wurden zuerst vor einem Nordost-Fenster ohne irgend einen Vorhang dem Versuche unterworfen. Die Epicotyle beugten sich so schnell nach dem Lichte hin, dasz in wenig mehr als drei Stunden ihre Spitzen rechtwinklig nach ihm hinwiesen. Die aufgezeichneten Linien waren entweder nahezu gerade oder unbedeutend zickzackförmig, und in diesem letzteren Falle sahen wir, dasz eine Spur von Circumnutation selbst unter dem Einflusse eines mäszig hellen Lichtes beibehalten wurde. Es wurden, während diese Epicotyle sich nach dem Fenster hinbogen, zweimal alle fünf oder sechs Minuten Punkte gemacht, um jede Spur einer seitlichen Bewegung zu entdecken, es fand sich aber kaum eine solche vor, und die aus der Verbindung der Punkte gebildeten Linien waren nahezu gerade oder nur sehr unbedeutend zickzackförmig, wie in den anderen Theilen der Figuren. Nachdem die Epicotyle sich bis zum höchsten Grade nach dem Lichte hingebogen hatten, wurden Ellipsen von beträchtlicher Grözse in der gewöhnlichen Weise beschrieben.

Nachdem wir gesehen hatten, wie die Epicotyle sich nach einem mäszig hellen Lichte hinbewegten, wurden Sämlinge um 7.48 a. m. (7. September) vor ein Nordost-Fenster gestellt, welches mit einem Handtuche und kurze Zeit später mit einem gewöhnlichen leinenen Vorhange bedeckt wurde. Aber die Epicotyle bewegten sich noch immer nach dem Fenster hin. Um 9.13 a. m. wurden zwei weitere Musselinvorhänge aufgehängt, so dasz die Sämlinge sehr wenig mehr Licht von dem Fenster her erhielten, als von dem Innern des Zimmers. Der Himmel schwankte in der Helligkeit, und die Sämlinge erhielten gelegentlich eine kurze Zeit lang weniger Licht vom Fenster her als von der entgegengesetzten Seite (wie durch das Werfen eines Schattens ermittelt wurde), und dann wurde einer der Vorhänge zeitweise entfernt. Am Abend wurden die Vorhänge einer nach dem andern weggenommen. Der unter diesen Verhältnissen von einem Epicotyl zurückgelegte Weg ist in Fig. 175 dargestellt. Während des ganzen Tages bis 6.45 p. m. beugte er sich deutlich nach dem Lichte hin, und die Spitze bewegte sich über einen beträchtlichen Raum hin. Nach 6.45 p. m. bewegte er sich rückwärts, oder vom Fenster weg, bis 10.45 p. m., wo der letzte Punkt gemacht wurde. Wir haben daher hier eine deutliche heliotropische Bewegung, welche mittelst sechs verlängerter Figuren ausgeführt wurde (welche, wenn alle paar Minuten Punkte gemacht worden wären, mehr oder weniger elliptisch geworden wären); sie waren nach dem Lichte hin gerichtet und die Spitze einer

jeden der aufeinanderfolgenden Ellipsen dem Fenster näher, als die vorhergehenden. Wenn nun das Licht nur ein wenig heller gewesen wäre, würde sich der Epicotyl mehr nach dem Lichte hingebogen haben, wie

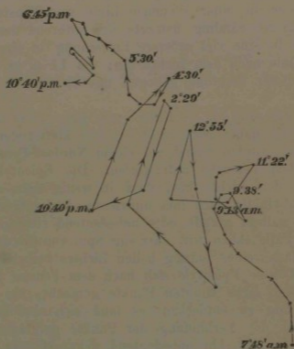


Fig. 175. *Tropaeolum majus*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation des Epicotyls eines jungen Sämlings nach einem schwachen seitlichen Lichte hin, auf einer horizontalen Glasplatte von 7.48 a. m. bis 10.40 p. m. aufgezeichnet. Figur hier auf die Hälfte der Originalgröße reducirt.

wir aus den vorhergehenden Versuchen mit Sicherheit schlieszen können; es würde auch weniger seitliche Bewegung eingetreten sein und die Ellipse oder die anderen Figuren würden im stark ausgesprochenen Zickzackverlaufe ausgezogen worden sein, wobei sich wahrscheinlich ein oder zwei kleine Schleifen gebildet haben würden. Wenn das Licht viel heller gewesen wäre, würden wir nur eine unbedeutend zickzackförmige oder eine vollkommene gerade Linie gehabt haben; denn es würde dann viel mehr Bewegung in der Richtung des Lichtes und viel weniger von einer Seite zur anderen eingetreten sein.

SACHS gibt an, dass die älteren Internodien dieses *Tropaeolum* apheliotropisch sind; wir stellten daher eine $11\frac{3}{4}$ Zoll hohe Pflanze in einen innen geschwärzten Kasten, welcher auf einer Seite vor einem Nordost-Fenster ohne irgend einen Vorhang offen war. Ein Glasfaden wurde an das dritte Internodium vom Gipfel aus an einer Pflanze und an das vierte Internodium einer anderen befestigt. Diese Internodien waren entweder nicht alt oder das Licht nicht hell genug, um Apheliotropismus zu veranlassen, denn beide Pflanzen bogen sich langsam anstatt vom Lichte weg während vier Tagen nach ihm hin. Der während zweier Tage von dem ersterwähnten Internodium zurückgelegte Weg ist in Fig. 176 mitgetheilt, und wir sehen, dass es entweder in einem geringen Grade circumnutirte oder in einer zickzackförmigen Linie nach dem Lichte sich hinbewegte. Wir haben gemeint, dass dieser Fall von schwachem Helio-

tropismus in einem der älteren Internodien einer Pflanze, welche, so lange sie jung ist, so äusserst empfindlich gegen Licht ist, der Mittheilung werth sei.

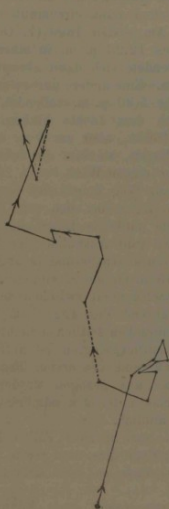


Fig. 176. *Tropaeolum majus*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation eines alten Internodium nach einem seitlichen Lichte hin, auf einer horizontalen Glasplatte von 8 a. m., 2. Nov., bis 10.20 a. m., am 4., aufgezeichnet. Die unterbrochenen Linien geben den nächtlichen Lauf.

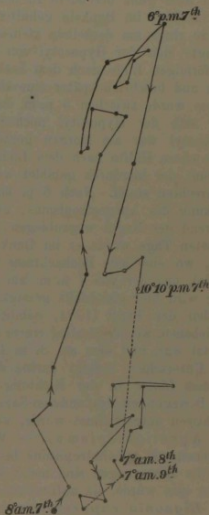


Fig. 177. *Cassia tora*: Heliotropische Bewegung und Circumnutation eines Hypocotyls (von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe) an einer horizontalen Glasscheibe von 8 a. m. bis 10.10 p. m., 7. Oct., aufgezeichnet. Auch seine Circumnutation im Dunkeln von 7 a. m., 8. Oct., bis 7.45 a. m., 9. Oct.

Cassia tora. — Die Cotyledonen dieser Pflanze sind äusserst empfindlich gegen das Licht, während die Epicotyle viel weniger empfindlich sind, als diejenigen der meisten anderen Sämlinge, wie wir häufig mit Überraschung beobachtet hatten. Es schien uns daher der Mühe werth zu sein, ihre Bewegungen aufzuzeichnen. Sie wurden vor einem Nordost-Fenster, welches zuerst nur mit einem Musselinvorhange bedeckt war, vor welches aber, wie der Himmel heller wurde, ungefähr um 11 a. m., ein weiterer leinener Vorhang aufgehängt wurde, einem seitlichen Lichte ausgesetzt. Nach 4 p. m. wurde ein Vorhang und dann der andere entfernt. Die Sämlinge wurden an jeder Seite und von oben bedeckt, waren aber für das diffuse Licht des Zimmers auf der hinteren Seite offen. Aufrecht-

stehende Glasfäden wurden an die Hypocotyle zweier Sämlinge, welche am Morgen senkrecht standen, befestigt. Die beistehende Figur (Fig. 177) zeigt den von einem derselben während zweier Tage eingeschlagenen Weg; es ist aber ganz besonders zu beachten, dass während des zweiten Tages die Sämlinge im Dunkeln gehalten wurden; und dann circumnutirten sie nahezu rings um denselben kleinen Fleck. Am ersten Tage (7. October) bewegte sich der Hypocotyl von 8 a. m. bis 12.23 p. m. in einer zickzackförmigen Linie nach dem Lichte hin, wendete sich dann abrupt nach links und beschrieb später eine kleine Ellipse. Eine andere unregelmäßige Ellipse wurde zwischen 3 p. m. und ungefähr 5.30 p. m. vollendet, während sich der Hypocotyl noch immer nach dem Lichte hinbog. Der Hypocotyl war am Morgen gerade und aufrecht, aber um 6 p. m. war seine obere Hälfte nach dem Lichte hin gebogen, so dass die Sehne des Bogens, der hierdurch gebildet wurde, unter einem Winkel von 20° zur Senkrechten stand. Nach 6 p. m. wurde sein Weg umgekehrt durch die Wirkung des Apogeotropismus, und er fuhr dann fort sich vom Fenster während der Nacht wegzubiegen, wie es die punktirte Linie zeigt. Am nächsten Tage wurde er im Dunkeln gehalten (mit Ausnahme der kurzen Zeit, wo eine jede Beobachtung mit Hilfe eines Wachszünders angestellt wurde), und der von 7 a. m. am 8. bis 7.45 a. m. am 9. eingeschlagene Weg wird hier gleichfalls gezeigt. Die Verschiedenheit zwischen den zwei Theilen der Figur (177), nämlich dem während des Tages am 7. beschriebenen, wo der Sämling einem ziemlich schwachen seitlichen Lichte ausgesetzt war, und dem am 8. in Dunkelheit zurückgelegten ist auffallend. Der Unterschied besteht darin, dass die während des ersten Tages gezogenen Linien in der Richtung des Lichtes aus gezogen worden sind. Die Bewegungen des anderen Sämlings, welcher unter den nämlichen Verhältnissen aufgezeichnet wurde, waren sehr ähnlich.

Apheliotropismus. — Wir hatten nur in zwei Fällen Erfolg, in denen wir Apheliotropismus beobachteten; denn diese sind etwas selten; und die Bewegungen sind meist so langsam, dass es sehr mühsam gewesen sein würde, sie aufzunehmen.

Bignonia capreolata. — Kein Organ irgend einer Pflanze, so weit wir es gesehen haben, biegt sich vom Lichte so schnell weg, wie es die Ranken dieser *Bignonia* thun. Sie sind auch deshalb merkwürdig, dass sie viel weniger regelmässig als die meisten anderen Ranken circumnutiren und häufig stationär bleiben. Sie hängen von Apheliotropismus ab, um mit den Stämmen von Bäumen in Berührung zu kommen². Der Stamm einer jungen Pflanze wurde an der Basis eines Paares feiner Ranken, welche beinahe senkrecht aufwärts vorsprangen, an einen Stock gebunden, und sie wurden dann vor ein Nordost-Fenster gestellt und auf allen übrigen Seiten gegen das Licht geschützt. Der erste Punkt wurde um 6.45 a. m. gemacht und um 7.35 a. m. empfanden beide Ranken den vollen Einfluss des Lichtes, denn sie bewegten sich bis 9.20 a. m. in einer geraden Linie von ihm weg, zu welcher letzteren Zeit sie eine Zeit lang circumnutirten, sich dabei noch immer, aber nur wenig, vom Lichte abbewegten (s. Fig. 178

² Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen. Übersetzung 1875, p. 75.

von der linksseitigen Ranke). Nach 3 p. m. bewegten sie sich wiederum rapid in Zickzacklinien vom Lichte weg. In einer späten Stunde am Abend hatten sich beide soweit bewegt, dass sie in einer directen Linie vom Lichte wegwiesen. Während der Nacht kehrten sie in einer nahezu entgegengesetzten Richtung ein wenig zurück. Am folgenden Morgen bewegten sie sich wiederum vom Lichte weg und convergirten, so dass sie am Abende verschlungen waren, dabei noch immer vom Lichte wegweisend. Die Ranke rechter Hand bewegte sich, während sie convergirte, viel bedeutender im Zickzack als die eine hier abgebildete. Beide Zeichnungen wiesen nach, dass die apheliotropische Bewegung eine modificirte Form von Circumnutation war.

Cyclamen persicum. — So lange diese Pflanze in Blüthe ist, stehen die Blütenstengel aufrecht, aber ihr oberster Theil ist hakenförmig, so dass die Blüthe selbst abwärts hängt. Sobald die Samenkapseln zu schwellen anfangen, vermehrt sich die Länge der Blütenstengel bedeutend, und sie krümmen sich langsam abwärts, aber der kurze, obere hakenförmige Theil streckt sich gerade. Schliesslich erreichen die Samenkapseln den Boden, und wenn derselbe mit Moos oder abgestorbenen Blättern bedeckt ist, graben sie sich ein. Wir haben öfters untertassenförmige Depressionen in feuchtem Sande oder Sägespänen gesehen, welche von den Samenkapseln gebildet wurden; und eine Kapsel (0.3 Zoll im Durchmesser) grub sich ein Viertel Zoll ihrer Länge in Sägespänen ein³. Wir werden später Gelegenheit haben, den Zweck zu betrachten, der durch diesen Process des Eingrabens erreicht wird. Die Blütenstengel können die Richtung ihrer Krümmung verändern; denn wenn ein Topf mit Pflanzen, deren Blütenstengel bereits abwärts gekrümmt sind, horizontal gelegt wird, so biegen sich dieselben langsam rechtwinklig auf ihrer früheren Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde hin. Wir schrieben daher zuerst die Bewegung dem Geotropismus zu; es wurde aber nun ein Topf, welcher horizontal gelegen hatte, und an welchem die Samenkapseln sämmtlich nach dem Boden hinwiesen, umgekehrt und noch immer horizontal gehalten, so dass die Samenkapseln nun direct aufwärts wiesen. Er wurde dann



Fig. 178. *Bignonia capreolata*: Apheliotropische Bewegung einer Ranke, an einer horizontalen Glasscheibe von 6.45 a. m., 19. Juli, bis 10 a. m., am 20., aufgezeichnet. Bewegungen in der Originalaufzeichnung wenig vergrößert, hier auf zwei Drittel der Originalgröße reducirt.

³ Die Blütenstiele mehrerer anderer Arten von *Cyclamen* drehen sich zu einer Spirale auf und nach der Angabe von Erasmus Darwin (Botanic Garden, Canto III, p. 126) dringen die Samenkapseln gewaltsam in den Boden ein; s. auch Grenier und Godron, Flore de France, T. 2, p. 459.

in einen dunklen Schrank gestellt, aber die Samenkapseln wiesen nach vier Tagen und Nächten immer aufwärts. Es wurde nun zunächst der Topf in derselben Stellung in das Licht zurück gebracht, und nach zwei Tagen zeigte sich etwas Abwärtsbiegung der Blütenstengel, und am vierten Tage wiesen zwei von ihnen nach der Mitte der Erde hin, wie es die andern nach einem weitem oder nach zwei Tagen thaten. Eine andere Pflanze in einem Topfe, welcher immer aufrecht gestanden hatte, wurde 6 Tage lang in einem dunklen Schrank gelassen; sie trug drei Blütenstengel, und nur einer wurde innerhalb dieser Zeit überhaupt abwärts gekrümmt, und das nur zweifelhaft. Es ist daher das Gewicht der Samenkapseln nicht die Ursache der Abwärtsbiegung. Dieser Topf wurde dann in das Licht zurückgebracht, und nach drei Tagen waren die Blütenstengel beträchtlich abwärts gebogen. Wir werden hierdurch veranlaszt zu schlieszen, dasz die Abwärtskrümmung eine Folge des Apheliotropismus ist, obschon mehr Versuche hätten angestellt werden sollen.

Um die Natur dieser Bewegung zu beobachten, wurde ein Blütenstengel, der eine grosse Samenkapsel trug, die den Boden erreicht hatte und auf ihm ruhte, ein wenig emporgehoben und an einen Stock befestigt. Ein Glasfaden wurde quer auf die Samenkapseln befestigt und ein Zeichen darunter gemacht, und seine Bewegung wurde bedeutend vergrößert auf einer horizontalen Glasscheibe 67 Stunden lang aufgezeichnet. Die Pflanze war während des Tages von oben beleuchtet. Eine Copie der

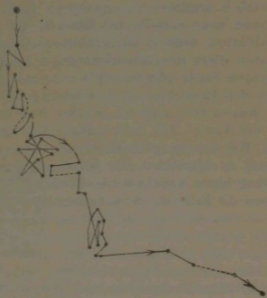


Fig. 179. *Cyclamen persicum*: Apheliotropische Abwärtsbewegung eines Blütenstiels, bedeutend (ungefähr 47mal) vergrößert, an einer horizontalen Glasplatte von 1 p. m., 18. Febr., bis 8 a. m., 21., aufgezeichnet.

Zeichnung wird hier mitgetheilt (Fig. 179); und es lässt sich nicht daran zweifeln, dasz die absteigende Bewegung eine modificirte Circumnutation ist, aber in einem äusserst geringen Masse. Die Beobachtung wurde an einer andern Samenkapsel wiederholt, welche sich zum Theil in Sägespäne eingegraben hatte, und welche $\frac{1}{4}$ Zoll über die Oberfläche emporgehoben wurde; sie beschrieb in 24 Stunden drei sehr kleine Kreise. In

Anbetracht der groszen Länge und Dünne der Blütenstengel und der Leichtigkeit der Samenkapseln können wir schlieszen, dasz sie nicht im Stande sein würden untertassenartige Depressionen im Sande oder Sägespänen auszuhöhlen oder sich in Moos u. s. w. einzugraben, wenn sie nicht durch ihre beständigen stoszenden oder circumnutirenden Bewegungen dabei unterstützt würden.

Beziehungen zwischen Circumnutation und Heliotropismus. — Wer nur immer die vorstehenden Zeichnungen, welche die Bewegungen der Stämme verschiedener Pflanzen nach einem seitlichen oder mehr oder weniger gedämpften Lichte hin darstellen, betrachten will, wird zu der Annahme genöthigt sein, dasz gewöhnliche Circumnutation und Heliotropismus allmählich in einander übergehen. Wenn eine Pflanze einem schwachen seitlichen Lichte ausgesetzt ist und während des ganzen Tags fortfährt, sich nach ihm hin zu biegen und spät am Abend zurückzukehren, so ist die Bewegung ohne Frage eine solche des Heliotropismus. Nun circumnutirte bei *Tropaeolum* (Fig. 175) der Stamm oder der Epicotyl offenbar während des ganzen Tags, und doch fuhr er fort in derselben Zeit sich heliotropisch zu bewegen; diese letztere Bewegung wurde in der Weise ausgeführt, dasz die Spitze einer jeden der aufeinanderfolgenden verlängerten Figuren oder Ellipsen dem Lichte näher standen als die der vorausgehenden. Bei *Cassia* (Fig. 117) ist der Vergleich der Bewegung des Hypocotyls, wenn er einem schwachen seitlichen Lichte, und wenn er der Dunkelheit ausgesetzt ist, sehr instructiv, wie es auch ein Vergleich zwischen der gewöhnlichen circumnutirenden Bewegung eines Kohlsämlings (Figg. 172, 173) oder eines solchen von *Phalaris* (Figg. 49, 174) und deren heliotropischen Bewegungen nach einem von Vorhängen geschützten Fenster hin ist. In diesen beiden Fällen und in vielen andern war es interessant zu beachten, wie allmählich die Stämme zu circumnutiren anfiengen in dem Masse, als am Abend das Licht verschwand. Wir haben daher viele Arten von Übergängen von einer Bewegung nach dem Lichte hin, welche als eine sehr unbedeutend modificirte und noch immer aus Ellipsen oder Kreisen bestehende Circumnutation betrachtet werden musz, durch eine mehr oder weniger stark zickzackförmige Bewegung mit gelegentlich gebildeten Schleifen oder Ellipsen bis zu einer nahezu geraden oder selbst vollkommen geraden heliotropischen Bewegung.

Wenn eine Pflanze einem seitlichen Lichte ausgesetzt wird, ob schon dies hell sein kann, so bewegt sie sich gewöhnlich zuerst in

einer Zickzacklinie oder selbst direct vom Lichte weg, und dies ist ohne Zweifel Folge davon, dasz sie zu der Zeit in einer entweder der Lichtquelle entgegengesetzten oder mehr oder weniger quer zu ihr stehenden Richtung circumnutirt. Sobald indessen die Richtung der circumnutirenden Bewegung nahezu mit der des eintretenden Lichtes zusammenfällt, biegt sich die Pflanze in einem geraden Wege nach dem Lichte hin, wenn dies hell ist. Die Bewegung scheint mehr oder weniger rapid und geradlinig zu werden in Übereinstimmung mit dem Grade der Helligkeit des Lichtes, und zwar zuerst dadurch, dasz die längeren Achsen der elliptischen Figuren, welche die Pflanze fortführt so lange zu beschreiben als das Licht sehr trüb bleibt, mehr oder weniger genau nach der Lichtquelle hingerichtet werden können, und dadurch, dasz jede der aufeinanderfolgenden Ellipsen dem Lichte immer mehr genähert wird, und zweitens, wenn das Licht nur etwas getrübt wird, durch die Beschleunigung und die Zunahme der Bewegung nach ihm hin und durch die Verzögerung oder die Unterbrechung derjenigen von ihm weg, wobei noch immer etwas seitliche Bewegung beibehalten wird, denn das Licht wird weniger eine Bewegung unter rechten Winkeln auf seine Richtung stören, als eine, die in seiner Richtung selbst erfolgt⁴. Das Resultat ist, dasz der Weg mehr oder weniger zickzackförmig und in der Geschwindigkeit ungleich gemacht wird. Endlich, wenn das Licht sehr hell ist, geht alle seitliche Bewegung verloren, und die ganze Energie der Pflanze wird darauf verwendet, die circumnutirende Bewegung geradlinig und rapid in einer Richtung allein zu machen, nämlich nach dem Lichte hin.

Die gewöhnliche Ansicht scheint die zu sein, dasz Heliotropismus eine vollständig besondere Art von Bewegung ist, verschieden von Circumnutation. Und es kann geltend gemacht werden, dasz in den vorstehenden Zeichnungen Heliotropismus nur in Combination oder als Zusatz zur Circumnutation zu sehen ist. Wenn dies aber der Fall wäre, müsste angenommen werden, dasz ein helles seitliches Licht Circumnutation vollständig aufhebt; denn eine in dieser Weise exponirte

⁴ In seinem Aufsätze „Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile“ (Arbeit. d. Botan. Instit. Würzburg, 2. Bd., 2. Heft, 1879) hat Sachs die Art und Weise erörtert, in welcher der Geotropismus und Heliotropismus durch die Verschiedenheiten in den Winkeln afficirt werden, unter welchen die Organe der Pflanze in Beziehung zur Richtung der auf sie wirkenden Kraft stehen.

Pflanze bewegt sich in einer geraden Linie nach ihm hin, ohne irgend welche Ellipsen oder Kreise zu beschreiben. Wenn das Licht etwas getrübt wird, obschon es noch reichlich hinreicht, die Pflanze zu veranlassen, sich nach ihm hinzubiegen, erhalten wir mehr oder weniger deutliche Belege für eine noch immer fortdauernde Circumnutation. Es musz ferner angenommen werden, dasz es nur ein seitliches Licht ist, welches dies auszerordentliche Vermögen die Circumnutation aufzuhalten besitzt, denn wir wissen, dasz die verschiedenen Pflanzen, an denen die obigen Versuche ausgeführt wurden, und sämmtliche übrigen, welche von uns während ihres Wachsthums beobachtet wurden, fortfahren zu circumnutiren, wie hell auch das Licht sein mag, wenn es von oben kommt. Auch ist nicht zu vergessen, dasz im Leben einer jeden Pflanze Circumnutation dem Heliotropismus vorausgeht, denn Hypocotyle, Epicotyle und Blüthenstengel circumnutiren, ehe sie den Boden durchbrechen und jemals den Einflusz des Lichtes empfunden haben.

Wir sind daher vollständig berechtigt, wie es uns scheint, anzunehmen, dasz, wenn nur immer Licht seitlich eintritt, es die Bewegung der Circumnutation ist, welche den Heliotropismus und Apheliotropismus veranlaszt oder in dieselben verwandelt wird. Nach dieser Ansicht brauchen wir nicht gegen alle Analogie anzunehmen, dasz ein seitliches Licht Circumnutation gänzlich aufhebt; es reizt die Pflanze nur dazu, ihre Bewegung für einige Zeit in einer wohlthätigen Weise zu modificiren. Das Vorhandensein jeder möglichen Abstufung zwischen einem geraden Wege nach einem seitlichen Lichte hin und einem aus einer Reihe von Schlingen oder Ellipsen bestehender Wege wird vollkommen verständlich. Endlich ist die Umwandlung der Circumnutation in Heliotropismus oder Apheliotropismus dem analog, was bei schlafenden Pflanzen statt hat, welche während des Tags eine oder mehrere Ellipsen beschreiben, sich häufig in Zickzacklinien bewegen, und kleine Schleifen bilden; denn wenn sie am Abend anfangen einzuschlafen, wenden sie gleichfalls alle ihre Energie darauf ihren Lauf geradlinig und rapid zu machen. Was die Schlafbewegungen betrifft, so ist die erregende oder regulirende Ursache ein Unterschied in der Intensität des Lichtes, welches von oben kommt, zu verschiedenen Zeiten der vierundzwanzig Stunden, während bei heliotropischen und apheliotropischen Bewegungen es eine Verschiedenheit der Intensität des Lichtes auf den zwei Seiten der Pflanze ist.

Transversal-Heliotropismus (von FRANK⁵) oder Diaheliotropismus. — Die Ursache, warum sich Blätter mehr oder weniger quer zum Lichte stellen, so dasz ihre oberen Flächen nach ihm hingerrichtet sind, ist in letzter Zeit der Gegenstand vieler Controverse gewesen. Wir gehen hier nicht auf den Zweck der Bewegung ein, welcher ohne Zweifel der ist, dasz ihre oberen Flächen voll beleuchtet werden, sondern auf die Mittel, durch welche diese Stellung erreicht wird. Es kann kaum ein besseres und einfacheres Beispiel von Diaheliotropismus angeführt werden, als das, welches viele Sämlinge darbieten, deren Cotyledonen horizontal ausgebreitet sind. Wenn sie zuerst aus den Samenhüllen hervorbrechen, sind sie miteinander in Berührung und sehen in verschiedenen Stellungen häufig senkrecht aufwärts; bald divergiren sie, und dies wird durch Epinastie bewirkt, welche, wie wir gesehen haben, eine modificirte Form von Circumnutation ist. Nachdem sie bis zu einer völligen Ausdehnung divergirt haben, behalten sie nahezu die nämliche Stellung bei, obschon sie den ganzen Tag lang von oben glänzend beleuchtet werden, wobei ihre unteren Flächen dicht am Boden und daher stark beschattet sind. Es findet daher ein bedeutender Contrast im Grade der Beleuchtung ihrer oberen und unteren Flächen statt, und wenn sie heliotropisch wären, würden sie sich schnell nach oben biegen. Es darf indessen nicht angenommen werden, dasz derartige Cotyledonen unbeweglich in einer horizontalen Stellung fixirt sind. Wenn Sämlinge an einem Fenster dem Lichte ausgesetzt werden, biegen sich ihre Hypocotyle, welche in hohem Grade heliotropisch sind, schnell nach ihm hin, und die oberen Flächen ihrer Cotyledonen bleiben noch immer rechtwinklig zum Lichte ausgebreitet; wenn aber die Hypocotyle befestigt werden, so dasz sie sich nicht beugen können, verändern die Cotyledonen selbst ihre Stellung. Wenn sie beide in eine Linie mit dem eintretenden Licht gestellt werden, so erhebt sich der eine, welcher am weitesten von ihm weg ist, und der dem Lichte nächste sinkt häufig herab; wenn sie quer zum Lichte gestellt werden, drehen sie sich ein wenig seitlich, so dasz sie in jedem Falle versuchen ihre oberen Flächen rechtwinklig zum Lichte zu stellen. Dies ist notorisch auch mit den Blättern an Pflanzen der Fall, die an eine Wand genagelt sind oder an einem

⁵ „Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen“, 1870; s. auch einige interessante Aufsätze desselben Verfassers: „Zur Frage über Transversal-Geo- und Heliotropismus“, Botan. Zeitung, 1873, p. 17 u. f.

Fenster wachsen. Ein mäsiger Betrag an Licht reicht schon hin, derartige Bewegungen zu veranlassen; alles, was nöthig ist, ist, dasz das Licht die Pflanze stetig in schräger Richtung treffe. In Bezug auf die obige drehende Bewegung der Cotyledonen hat FRANK viele und viel auffallendere Beispiele von Blättern an Zweigen gegeben, welche in verschiedenen Stellungen befestigt oder mit der oberen Seite nach unten gekehrt worden waren.

Bei unseren Beobachtungen über die Cotyledonen von Pflanzensämlingen waren wir häufig überrascht über ihre dauernde horizontale Stellung während des Tags, und ehe wir FRANK'S Abhandlung gelesen hatten, waren wir überzeugt, dasz irgend eine specielle Erklärung nothwendig sei. DE VRIES hat gezeigt⁶, dasz die mehr oder weniger horizontale Stellung der Blätter in den meisten Fällen von Epinastie, von ihrem eigenen Gewichte und von Apogeotropismus beeinflusst wird. Nachdem ein junger Cotyledon oder ein junges Blatt hervorgebrochen ist, wird er, wie bereits bemerkt wurde, in seine gehörige Stellung durch Epinastie gebracht, welche nach der Angabe von DE VRIES noch lange fortfährt auf die Mittelrippen [und Blattstiele zu wirken. Das Gewicht kann bei Cotyledonen kaum von Einfluss sein, einige wenige sofort zu erwähnende Fälle ausgenommen, es musz aber bei groszen und dicken Blättern von Einfluss sein. In Bezug auf Apogeotropismus behauptet DE VRIES, dasz er meistens ins Spiel kommt, und für diese Thatsache werden wir sofort einige indirecte Beweise beibringen. Aber auszer diesen und andern constant vorhandenen Kräften glauben wir, dasz in vielen Fällen, wir sagen nicht in allen, in Blättern und Cotyledonen eine überwiegende Neigung vorhanden ist, sich in Bezug auf das Licht mehr oder weniger quer zu stellen.

In den oben angedeuteten Fällen, wo Sämlinge, deren Hypocotyle festgemacht waren, einem seitlichen Lichte ausgesetzt wurden, ist es unmöglich, dasz Epinastie, Gewicht und Apogeotropismus entweder in Gegenwirkung oder combinirt die Ursache der Erhebung des einen Cotyledon und der Senkung des andern sein kann, da die in Frage stehenden Kräfte gleichmäszig auf beide wirken; und da Epinastie, Gewicht und Apogeotropismus sämmtlich in einer senkrechten Ebene wirken, können sie nicht die Ursache der Drehung der Blattstiele sein,

⁶ Arbeit. d. Botan. Instituts Würzburg, 2. Heft, 1872, p. 223—277.

welche bei Sämlingen unter den obigen Bedingungen der Beleuchtung vorkommt. Alle diese Bewegungen hängen offenbar in irgend einer Weise von der Schrägheit des Lichtes ab, können aber nicht heliotropisch genannt werden, da dies ein Biegen nach dem Lichte hin einschlieszt, während der dem Licht nächstliegende Cotyledon sich in einer entgegengesetzten Richtung oder abwärts biegt, und beide sich so nahe wie möglich unter rechtem Winkel zum Lichte stellen. Die Bewegung verdient daher einen besonderen Namen. Da Cotyledonen und Blätter beständig auf und ab oscilliren und doch den ganzen Tag lang ihre gehörige Stellung beibehalten, wobei ihre oberen Flächen quer auf das Licht gerichtet sind, und wenn sie aus der Lage gebracht werden, diese Stellung wieder annehmen, so musz Diaheliotropismus als eine modificirte Form von Circumnutation angesehen werden. Dies war häufig augenfällig, wenn die Bewegungen von an einem Fenster stehenden Cotyledonen verfolgt wurden. Wir sehen etwas Analoges in dem Falle von schlafenden Blättern oder Cotyledonen, welche, nachdem sie während des ganzen Tags aufwärts und abwärts oscillirt haben, spät am Abend sich zu einer senkrechten Stellung erheben und am folgenden Morgen wiederum in ihre horizontale oder diaheliotropische Stellung herabsinken in directem Gegensatze zum Heliotropismus. Diese Rückkehr in ihre Tagesstellung, welche häufig eine Winkelbewegung von 90° erfordert, ist der Bewegung von Blättern an aus ihrer Lage gebrachten Zweigen analog, welche ihre früheren Stellungen wieder einnehmen. Es verdient Beachtung, dasz eine jede solche Kraft, wie Apogeotropismus, in den verschiedenen Stellungen derjenigen Blätter oder Cotyledonen, welche während des Tags weit aufwärts und abwärts oscilliren, mit verschiedenen Mächtigkeitsgraden⁷ wirken wird, und doch nehmen diese Blätter oder Cotyledonen ihre horizontale oder diaheliotropische Stellung wieder an.

Wir können daher schlieszen, dasz diaheliotropische Bewegungen nicht vollständig durch die directe Wirkung des Lichtes, der Gravitation, des Gewichtes, und zwar eben so wenig, wie die nyctitropischen Bewegungen der Cotyledonen und Blätter erklärt werden können. In dem letzteren Falle stellen sie sich so, dasz ihre oberen Flächen des Nachts so wenig als möglich in den offenen Raum aus-

⁷ s. die frühere Anmerkung in Bezug auf Sachs' Bemerkungen über diesen Gegenstand.

strahlen können, wobei die oberen Flächen der gegenständigen Blättchen häufig in Berührung kommen. Diese Bewegungen, welche zumeist äusserst complicirt sind, werden, wenn auch nicht direct verursacht, doch regulirt durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit. Was den Diaheliotropismus betrifft, so stellen sich Cotyledonen und Blätter so, dass ihre oberen Flächen dem Lichte ausgesetzt sind, und diese Bewegung wird, wenn nicht direct verursacht, doch regulirt durch die Richtung, von welcher das Licht ausgeht. In beiden Fällen besteht die Bewegung in einer durch eingeborene oder constitutionelle Ursachen modificirten Circumnutation, in derselben Weise, wie bei kletternden Pflanzen, deren Circumnutation in ihrer Amplitude vergrößert und kreisförmig gemacht wird, oder ferner wie bei sehr jungen Cotyledonen und Blättern, welche in dieser Weise durch Epinastie in eine horizontale Stellung gebracht werden.

Wir haben uns bis jetzt nur auf diejenigen Blätter und Cotyledonen bezogen, welche eine permanente horizontale Stellung annehmen; aber viele stehen mehr oder weniger schräg und einige wenige aufrecht. Die Ursache dieser Verschiedenheiten der Stellung ist nicht bekannt; aber in Übereinstimmung mit WIESNER'S Ansichten, die später mitgetheilt werden, ist es wahrscheinlich, dass einige Blätter und Cotyledonen darunter leiden würden, wenn sie in einer rechtwinklig zum Lichte gerichteten Stellung vollständig beleuchtet würden.

Wir haben im zweiten und vierten Capitel gesehen, dass diejenigen Cotyledonen und Blätter, welche des Nachts ihre Stellungen nicht genügend verändern, um schlafend genannt zu werden, sich gewöhnlich am Abend ein wenig erheben und am nächsten Morgen sich wiederum senken, so dass sie während der Nacht in einer etwas höher aufgerichteten Stellung stehen als während der Mitte des Tags. Es ist unglaublich, dass eine hebende Bewegung von 20° oder 30° oder selbst von 10° oder 20° für die Pflanze von irgend welchem Nutzen sein kann, so dass sie besonders hätte erlangt werden können. Sie muss das Resultat irgend einer periodischen Veränderung in den Bedingungen sein, denen sie ausgesetzt wird, und es lässt sich kaum daran zweifeln, dass dies der tägliche Wechsel von Licht und Dunkelheit ist. DE VRIES gibt in dem vorhin erwähnten Aufsätze an, dass die meisten Blattstiele und Mittelrippen apogeotropisch sind⁸, und

⁸ Nach der Angabe von Frank (Die natürl. wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, 1870, p. 46) erheben sich die Wurzelblätter vieler im Dunkeln gehaltener

Apogeotropismus würde die obige erhebende Bewegung erklären, welche so vielen weit verschiedenen Pflanzen gemein ist, wenn wir annehmen, dasz sie während der Mitte des Tage vom Diaheliotropismus überwunden wird, solange es für die Pflanze von Wichtigkeit ist, dasz ihre Cotyledonen und Blätter dem Lichte vollständig exponirt sind. Die genaue Stunde des Nachmittags, zu welcher sie sich unbedeutend aufwärts zu biegen anfangen, und die Ausdehnung der Bewegung wird von dem Grade ihrer Empfindlichkeit gegen die Schwerkraft und von ihrem Vermögen, deren Wirkung während der Mitte des Tages zu widerstehen, ebenso wie von der Amplitude ihrer gewöhnlichen circumnutirenden Bewegungen abhängen; und da diese Qualitäten in verschiedenen Species bedeutend verschieden sind, so können wir erwarten, dasz die Stunde am Nachmittage, in welcher sie sich zu erheben beginnen, in verschiedenen Species bedeutend abweichen wird, wie es auch der Fall ist. Es musz indessen noch irgend eine andere Einwirkung auszer dem Apogeotropismus entweder direct oder indirect bei dieser Aufwärtsbewegung in's Spiel kommen. So wurde eine junge Bohne (*Vicia faba*), die in einem kleinen Topfe wuchs, vor einem Fenster in einen Clinostat gestellt, und des Nachts erhoben sich die Blätter ein wenig, obgleich die Wirkung des Apogeotropismus vollständig eliminirt war. Trotzdem erhoben sie sich des Nachts auch nicht annähernd so bedeutend, als wenn sie dem Apogeotropismus ausgesetzt gewesen wären. Ist es nicht möglich oder selbst wahrscheinlich, dasz Blätter und Cotyledonen, welche sich am Abend durch die Wirkung des Apogeotropismus zahllose Generationen hindurch aufwärts bewegt haben, eine Neigung zu dieser Bewegung vererbt haben könnten? Wir haben gesehen, dasz die Hypocotyle mehrerer Leguminosen-Pflanzen von einer weit entfernt zurückliegenden Periode eine Neigung sich bogenförmig zu krümmen geerbt haben, und wir wissen, dasz die Schlafbewegungen der Blätter bis zu einer gewissen

Pflanzen und werden selbst senkrecht; und dasselbe ist auch bei einigen Sprossen der Fall (s. Rauwenhoff, in: Archiv. Néerland. T. 12, p. 32). Diese Bewegungen deuten Apogeotropismus an; wenn aber Organe lange im Dunkeln gehalten worden sind, ist die Menge von Wasser und Mineralbestandtheilen, die sie enthalten, so bedeutend verändert, und ihr regelmäsziges Wachsthum ist so sehr gestört, dasz es vielleicht vorschnell ist, aus ihren unter solchen Umständen eintretenden Bewegungen auf das zu schlieszen, was unter normalen Bedingungen eintreten würde (s. Godlewski, Botan. Zeitung, 14. Febr. 1879).

Ausdehnung unabhängig von dem Wechsel von Licht und Dunkelheit vererbt werden.

Bei unseren Beobachtungen über die Circumnutation derjenigen Cotyledonen und Blätter, welche des Nachts nicht schlafen, haben wir kaum irgend einen deutlichen Fall angetroffen, wo sie sich am Abend ein wenig senkten und wieder am Morgen sich erhoben, d. h. von Bewegungen, die von den eben erörterten die umgekehrten sind. Wir zweifeln nicht daran, dass derartige Fälle vorkommen, insofern die Blätter vieler Pflanzen so schlafen, dass sie senkrecht nach abwärts sinken. Wie die wenigen Fälle, welche beobachtet wurden, zu erklären sind, muss zweifelhaft gelassen werden. Die jungen Blätter von *Cannabis sativa* sinken des Nachts zwischen 30° und 40° unter den Horizont, und KRAUS schreibt dies der Epinastie in Verbindung mit der Absorption von Wasser zu. Sobald nur epinastisches Wachsthum kräftig ist, kann es den Diaheliotropismus am Abend überwinden, zu welcher Zeit es für die Pflanze von keiner Bedeutung sein würde, ihre Blätter horizontal zu halten. Die Cotyledonen von *Anoda Wrightii*, einer Varietät von *Gossypium*, und mehrerer Species von *Ipomoea* bleiben, während sie noch sehr jung sind, am Abend horizontal; wenn sie ein wenig älter werden, krümmen sie sich ein wenig abwärts, und, wenn sie groß und schwer sind, senken sie sich so bedeutend, dass sie unter unsere Definition von Schlaf fallen. Bei *Anoda* und bei einigen Species von *Ipomoea* wurde nachgewiesen, dass die Abwärtsbewegung nicht von dem Gewichte der Cotyledonen abhängt, aber nach der Thatsache, dass die Bewegung so viel stärker ausgesprochen ist, nachdem die Cotyledonen groß und schwer geworden sind, können wir vermuthen, dass ihr Gewicht ursprünglich eine gewisse Rolle bei der Entscheidung spielte, dass die Modification der circumnutirenden Bewegung in der Richtung nach abwärts erfolge.

Der sogenannte Tagesschlaf der Blätter oder Paraheliotropismus. — Dies ist noch eine andere Classe von Bewegungen, die von der Wirkung des Lichts abhängen, welche in einer gewissen Ausdehnung die Annahme unterstützen, dass die oben beschriebenen Bewegungen nur indirecte Folgen seiner Einwirkung sind. Wir beziehen uns auf die Bewegungen von Blättern und Cotyledonen, welche, wenn sie mässig beleuchtet werden, diaheliotropisch sind, welche aber ihre Stellungen ändern und ihre Ränder dem Lichte aussetzen, wenn die Sonne hell auf sie scheint. Diese Bewegungen sind zuweilen

Tagesschlaf genannt worden. Sie weichen aber in Bezug auf den Zweck, der zu erreichen war, gänzlich von denen ab, die eigentlich nyctitropisch genannt werden, und in einigen Fällen ist die während des Tags eingenommene Stellung die umgekehrte von der während der Nacht eingenommenen.

Es ist schon lange bekannt⁹, dasz, wenn die Sonne hell auf die Blättchen der *Robinia* scheint, diese sich erheben und ihre Ränder dem Lichte darbieten, während ihre Stellung des Nachts senkrecht nach abwärts ist. Wir haben die nämliche Bewegung beobachtet, wenn die Sonne hell auf die Blättchen einer australischen *Acacia* schien. Diejenigen von *Amphicarpaea monoica* drehten ihre Ränder der Sonne zu, und eine analoge Bewegung der kleinen, beinahe rudimentären basalen Blättchen von *Mimosa albida* war bei einer Gelegenheit so rapid, dasz sie durch eine Lupe deutlich gesehen werden konnte. Die verlängerten, einblättrigen, ersten Blätter von *Phaseolus Roxburghii* standen um 7 a. m. 20° über dem Horizont, und ohne Zweifel sanken sie später ein wenig niedriger. Nachdem sie ungefähr zwei Stunden lang einer hellen Sonne ausgesetzt worden waren, standen sie um Mittag 56° über dem Horizont; sie wurden dann vor den Sonnenstrahlen geschützt, wurden aber gut von oben beleuchtet gelassen, und nach 30 Minuten waren sie 40° gesunken, denn sie standen nun nur noch 16° über dem Horizonte. Einige junge Pflanzen von *Phaseolus Hernandezii* waren demselben hellen Sonnenlichte ausgesetzt gewesen, und ihre breiten, einblättrigen, ersten Blätter standen nun beinahe oder vollkommen senkrecht aufwärts, wie es auch viele von den Blättchen an den dreiblättrigen, secundären Blättchen thaten; aber einige von den Blättchen hatten sich rund um ihre eigenen Axen selbst bis zu 90° gedreht, ohne sich zu erheben, so dasz sie ihre Ränder der Sonne darboten. Die Blättchen an einem und demselben Blatte benahmen sich zuweilen in diesen zwei verschiedenen Weisen, aber immer mit dem Resultate, dasz sie weniger intensiv beleuchtet wurden. Diese Pflanzen wurden dann gegen die Sonne geschützt, und es wurde nach anderthalb Stunden wieder nach ihnen gesehen; und nun hatten sämtliche Blätter und Blättchen ihre gewöhnlichen subhorizontalen Stellungen wieder angenommen. Die kupferfarbigen Cotyledonen einiger Sämlinge von *Cassia mimosoides* waren am Morgen horizontal, aber nachdem die Sonne auf sie geschienen hatte, hatte sich ein jeder derselben 45¹/₂° über den Horizont erhoben. Die Bewegung in diesen verschiedenen Fällen darf nicht mit dem plötzlichen Schlieszen der Blättchen von *Mimosa pudica* verwechselt werden, welches zuweilen beobachtet werden kann, wenn eine an einem dunklen Orte gehaltene Pflanze plötzlich der Sonne ausgesetzt wird. Denn in diesem Falle scheint das Licht zu wirken, als wenn es eine Berührung wäre.

Nach Professor WIESNER's interessanten Beobachtungen ist es wahrscheinlich, dasz die obigen Bewegungen zu einem speciellen Zwecke

⁹ Pfeffer führt die Namen und Jahreszahlen mehrerer älterer Schriftsteller an in seiner Schrift: „Die periodischen Bewegungen“ u. s. w. 1875, p. 62.

erlangt worden sind. Das Chlorophyll in den Blättern wird häufig durch ein zu intensives Licht beschädigt und Professor WIESNER¹⁰ glaubt, dasz es auf die verschiedenartigsten Weisen geschützt wird, so durch das Vorhandensein von Haaren, von Farbstoffen u. s. w. und unter andern Mitteln auch dadurch, dasz die Blätter ihre Ränder der Sonne darbieten, so dasz die Blattscheibe dadurch viel weniger Licht erhält. Er stellte mit den jungen Blättchen von *Robinia* Versuche an, fixirte dieselben in einer solchen Stellung, dasz sie einer intensiven Beleuchtung nicht entgehen konnten, während anderen gestattet wurde sich schräg zu stellen, und im Verlaufe von zwei Tagen fiengen die ersteren an in Folge des Lichtes zu leiden.

In den oben mitgetheilten Fällen, bewegen sich die Blättchen entweder aufwärts oder drehen sich seitwärts so, dasz sie ihre Ränder in der Richtung des Sonnenlichtes stellen; aber COHN beobachtete vor langer Zeit schon, dasz die Blättchen von *Oxalis* sich abwärts biegen, wenn sie der Sonne vollständig exponirt werden. Wir waren Zeuge eines auffallenden Beispiels dieser Bewegung bei den sehr groszen Blättchen von *O. Ortyesii*. Eine ähnliche Bewegung kann häufig an den Blättchen von *Averrhoa bilimbi* (ein Glied der Familie der Oxalideen) beobachtet werden,

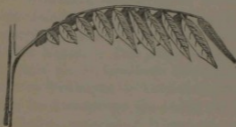


Fig. 180. *Averrhoa bilimbi*: Blatt und Blättchen deprimirt, nachdem es der Sonne ausgesetzt war; die Blättchen sind aber zuweilen noch stärker deprimirt als hier dargestellt ist. Figur bedeutend verkleinert.

und es wird hier ein Blatt dargestellt (Fig. 180), auf welches die Sonne geschienen hatte. Im letzten Capitel wurde eine Zeichnung (Fig. 134) mitgetheilt, welche die Oscillationen darstellt, durch welche ein Blättchen unter diesen Umständen sich rapid senkte, und man kann sehen, dasz die Bewegung der, durch welche es seine nächtliche Stellung annimmt, äusserst ähnlich ist. In Bezug auf unseren vorliegenden Fall ist es eine interessante Thatsache, dasz, wie uns Professor BATALIN in einem vom Februar 1879 datirten Briefe mittheilt, die Blättchen von *Oxalis acetosella* täglich während vieler Wochen der Sonne ausgesetzt werden können, und sie leiden nicht, wenn ihnen gestattet wird, sich herabzusenken. Wird dies aber verhindert, so verlieren sie ihre Farbe und verwelken in zwei oder drei Tagen. Und doch ist die Dauer eines Blattes ungefähr zwei Monate, wenn es nur diffusum Lichte ausgesetzt wird, und in diesem Falle sinken die Blättchen während des Tages niemals abwärts.

¹⁰ Die natürlichen Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls u. s. w., 1876. Pringsheim hat neuerdings unter dem Microscop die in einigen wenigen Minuten erfolgende Zerstörung des Chlorophylls durch die Wirkung concentrirten Lichtes von der Sonne bei Anwesenheit von Sauerstoff beobachtet; s. auch Stahl, über den Schutz des Chlorophylls gegen intensives Licht, in: Botan. Zeitung, 1880.

Da gezeigt worden ist, dass die Aufwärtsbewegungen der Blättchen von *Robinia* und die Abwärtsbewegungen derjenigen von *Oxalis* für diese Pflanzen in hohem Grade wohlthätig sind, wenn sie hellem Sonnenschein ausgesetzt sind, so scheint es wahrscheinlich, dass sie für den speciellen Zweck, eine zu intensive Beleuchtung zu vermeiden, erlangt worden sind. Da es sehr mühsam gewesen wäre, in allen den oben-erwähnten Fällen eine passende Gelegenheit abzuwarten, und die Bewegung der Blätter aufzuzeichnen, während sie dem Sonnenschein vollständig exponirt waren, haben wir nicht ermittelt, ob Paraheliotropismus immer in einer modificirten Circumnutation besteht. Dies war aber bei *Averrhoa* sicher der Fall und wahrscheinlich auch bei den anderen Species, da ihre Blätter beständig circumnutiren.

Neuntes Capitel.

Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Licht; seine fortgeleiteten Wirkungen.

Nutzen des Heliotropismus. — Insectenfressende und kletternde Pflanzen nicht heliotropisch. — Ein und dasselbe Organ auf einer Altersstufe heliotropisch und auf einer andern nicht. — Ausserordentliche Empfindlichkeit einiger Pflanzen gegen das Licht. — Die Wirkungen des Lichts entsprechen nicht seiner Intensität. — Wirkungen vorausgehender Beleuchtung. — Für die Wirkung des Lichts erforderliche Zeit. — Nachwirkungen des Lichts. — Apogeeotropismus wirkt sobald das Licht fehlt. — Genauigkeit, mit welcher Pflanzen sich nach dem Lichte biegen. — Dies hängt von der Beleuchtung der einen ganzen Seite des Theils ab. — Localisirte Empfindlichkeit gegen das Licht und seine fortgeleiteten Wirkungen. — Cotyledonen von *Phalaris*, Art sich zu biegen. — Resultate des Ausschlusses des Lichts von ihren Spitzen. — Unter die Oberfläche des Bodens fortgeleitete Wirkungen. — Seitliche Beleuchtung der Spitze bestimmt die Richtung der Krümmung der Basis. — Cotyledonen von *Avena*, die Krümmung des basalen Theils, Folge der Beleuchtung des oberen Theils. — Ähnliche Resultate bei den Hypocotylen von *Brassica* und *Beta*. — Würzelchen von *Sinapis* apheliotropisch, Folge der Empfindlichkeit ihrer Spitzen. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung des Capitels. — Mittel, durch welche die Circumnutation in Heliotropismus und Apheliotropismus umgewandelt worden ist.

Niemand kann die Pflanzen an einem Abhange oder an den Rändern eines dichten Waldes wachsen sehen und daran zweifeln, dass sich die jungen Stämme und Blätter so stellen, dass die Blätter gut beleuchtet werden können. Sie werden dadurch in den Stand gesetzt, Kohlensäure zu zersetzen. Aber die scheidenartigen Cotyledonen einiger Gramineen, so beispielsweise diejenigen von *Phalaris*, sind nicht grün und enthalten sehr wenig Stärke; aus dieser Thatsache können wir schlieszen, dass sie wenig oder keine Kohlensäure zersetzen. Nichtsdestoweniger sind sie äusserst heliotropisch; und dies ist ihnen wahrscheinlich in einer anderen Weise von Nutzen, nämlich als Führer aus den im Boden eingegrabenen Samen durch Spalten im Boden oder

durch darüberliegende Pflanzenmassen in das Licht und die Luft. Diese Ansicht wird durch die Thatsache unterstützt, dasz bei *Phalaris* und *Avena* das erste echte Blatt, welches hellgrün ist und ohne Zweifel Kohlensäure zersetzt, kaum irgend eine Spur von Heliotropismus darbietet. Die heliotropischen Bewegungen vieler anderen Sämlinge unterstützen dieselben wahrscheinlich in gleicher Weise beim Heraustreten aus der Erde; denn Apogeotropismus würde dieselben einfach blind aufwärts führen gegen jedes darüberliegende Hindernis.

Heliotropismus herrscht so weit verbreitet unter den höheren Pflanzen vor, dasz es nur äusserst wenige gibt, von denen sich irgend ein Theil, entweder der Stamm, Blütenstengel, Blattstiel oder ein Blatt nicht nach einem seitlichen Lichte hin biegt. *Drosera rotundifolia* ist eine der wenigen Pflanzen, deren Blätter keine Spur von Heliotropismus darbieten. Ebenso wenig konnten wir eine solche bei *Dionaea* bemerken, obgleich die Pflanzen nicht so sorgfältig beobachtet wurden. Sir J. HOOKER setzte die Eimer von *Sarracenia* einige Zeit lang einem seitlichen Lichte aus, sie bogen sich aber nicht nach ihm hin¹. Wir können die Ursache wohl einsehen, warum diese insectenfressenden Pflanzen nicht heliotropisch zu sein brauchen, da sie nicht hauptsächlich von Zersetzung der Kohlensäure leben; es ist für sie von viel grösserer Bedeutung, dasz die Blätter die zum Fangen von Insecten am besten geeignete Stellung einnehmen, als dasz sie dem Lichte voll ausgesetzt sind.

Ranken, welche aus modificirten Blättern oder anderen Organen bestehen, und die Stämme von windenden Pflanzen sind, wie MOHL schon vor langer Zeit bemerkt hat, selten heliotropisch; und hier können wir wiederum den Grund verstehen, warum dies so ist; denn wenn sie sich nach einem seitlichen Lichte hin bewegten, würden sie von ihren Stützen weggezogen worden sein. Manche Ranken sind aber apheliotropisch, so z. B. diejenigen von *Bignonia capreolata* und von *Smilax aspera*; und die Stämme einiger Pflanzen, welche mittelst Würzelchen klettern, wie die des Epheu und von *Tecoma radicans* sind gleichfalls apheliotropisch und auf diese Weise finden sie einen Anhalt. Auf der andern Seite sind die Blätter der meisten

¹ Nach der Angabe von F. Kurtz (Verhandl. des Botan. Vereins d. Prov. Brandenburg, 20. Bd., 1878) sind die Blätter oder Eimer von *Darlingtonia californica* stark apheliotropisch. Wir konnten an einer Pflanze, welche wir kurze Zeit besaßen, diese Bewegung nicht entdecken.

Kletterpflanzen heliotropisch; bei denen von *Mutisia elematis* konnten wir aber kein Zeichen irgend einer derartigen Bewegung entdecken.

Da Heliotropismus in so weiter Verbreitung vorherrscht und da windende Pflanzen durch die ganze Reihe der Gefäßpflanzen verbreitet sind, schien uns das anscheinende Fehlen irgend einer Neigung in ihren Stämmen sich nach dem Lichte hin zu biegen, eine so merkwürdige Thatsache zu sein, dasz sie weitere Untersuchung verdiente; denn sie legt die Ansicht nahe, dasz Heliotropismus leicht eliminirt werden kann. Wenn windende Pflanzen einem seitlichen Lichte ausgesetzt werden, so fahren ihre Stämme fort, um einen und denselben Fleck zu revolviren oder zu circumnutiren, ohne irgend eine sichtbare Ablenkung nach dem Lichte hin; wir glaubten aber eine Spur von Heliotropismus dadurch entdecken zu können, dasz wir die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher sich die Stämme während ihrer aufeinanderfolgenden revolutiven Bewegungen nach dem Lichte hin bewegten, mit der verglichen, mit welcher sie sich in denselben Revolutionen von ihm weg bewegten². Drei junge Pflanzen (von ungefähr einem Fusz Höhe) von *Ipomoea coerulea* und vier von *I. purpurea*, in besonderen Töpfen wachsend, wurden an einem hellen Tage vor ein Nordost-Fenster in einem im Übrigen verdunkelten Zimmer mit den Spitzen ihrer revolvirenden Stämme nach dem Fenster hinsehend gestellt. Wenn die Spitze einer jeden Pflanze direct vom Fenster weg wies und wenn sie wiederum nach ihm hinwies, wurde die Zeit angemerkt. Dies wurde von 6.45 a. m. bis ein wenig nach 2 p. m. am 17. Juni fortgesetzt. Nach einigen wenigen Beobachtungen schlossen wir, dasz wir mit Sicherheit die Zeit schätzen könnten, welche zu jedem Halbkreise nöthig war, und zwar innerhalb einer Fehlergrenze von höchstens 5 Minuten. Obgleich die Schnelligkeit der Bewegung in verschiedenen Theilen der nämlichen revolutiven Bewegung bedeutend schwankte, so wurden doch 22 Halbkreise nach dem Lichte hin, ein jeder im Mittel in 73.95 Minuten vollendet, und 22 Halbkreise von dem Lichte weg, ein jeder in 73,5 Minuten. Man kann daher sagen, dasz

² Unglücklicherweise sind über diesen Gegenstand in den „Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen“, Übers. 1876, p. 22, 26, 33 und 41, einige unrichtige Angaben mitgetheilt worden. Es wurden aus einer ungenügenden Anzahl von Beobachtungen Folgerungen gezogen; denn wir wussten damals noch nicht, mit welch' ungleicher Geschwindigkeit die Stämme und Ranken von Kletterpflanzen sich in verschiedenen Theilen einer und derselben Revolution bewegen.

sich die Spitzen der Stämme nach dem Lichte hin und von dem Lichte weg mit genau derselben mittleren Geschwindigkeit bewegten, obschon wahrscheinlich die Genauigkeit des Resultats zum Theil zufällig war. Am Abend wurden die Stämme nicht im Mindesten nach dem Fenster hin abgelenkt. Nichtsdestoweniger scheint doch eine Spur von Heliotropismus zu existiren, denn bei 6 unter den 7 Pflanzen erforderte der erste Halbkreis vom Lichte weg, welcher am frühen Morgen beschrieben wurde, nachdem die Pflanzen während der Nacht der Dunkelheit ausgesetzt gewesen und dadurch wahrscheinlich empfindlicher geworden waren, etwas mehr Zeit und der erste Halbkreis nach dem Lichte hin beträchtlich weniger Zeit als die mittlere Dauer. So war bei allen 7 Pflanzen zusammen genommen die mittlere Zeit des ersten Halbkreises am Morgen vom Lichte weg 76.8 Minuten anstatt 73.5 Minuten, welch' letzteres das Mittel aus allen Halbkreisen vom Lichte weg während des Tages ist; und die mittlere Dauer des ersten Halbkreises nach dem Lichte hin betrug nur 63.1 anstatt 73.95 Minuten, welch' letztere Zahl das Mittel aus allen Halbkreisen während des Tages nach dem Lichte hin ist.

Ähnliche Beobachtungen wurden bei *Wistaria sinensis* gemacht; das Mittel aus 9 Halbkreisen vom Lichte weg war 117 Minuten und von 7 Halbkreisen nach dem Lichte hin 122 Minuten und es übersteigt dieser Unterschied nicht die wahrscheinliche Fehlergrenze. Während der drei Tage, an denen die Pflanzen dem Lichte ausgesetzt wurden, wurde der Sprosz durchaus nicht nach dem Fenster hin gebogen, vor welchem er stand. In diesem Falle erforderte der erste Halbkreis vom Lichte weg am zeitigen Morgen eines jeden Tages etwas weniger Zeit zu seiner Vollendung als der erste Halbkreis nach dem Lichte hin; und dies Resultat scheint, wenn es nicht zufällig war, darauf hin zu deuten, dasz die Sprossen eine Spur einer ursprünglichen apheliotropischen Neigung beibehalten. Bei *Lonicera brachypoda* weichen die Halbkreise nach dem Lichte hin und von ihm weg in Bezug auf die erforderte Zeit beträchtlich von einander ab; denn 5 Halbkreise vom Lichte weg erforderten im Mittel 202.4 Minuten und 4 Halbkreise nach dem Lichte hin 229.5 Minuten; der Sprosz bewegte sich aber sehr unregelmäßig, und unter diesen Umständen waren die angestellten Beobachtungen viel zu wenige.

Es ist merkwürdig, dasz ein und derselbe Theil an der nämlichen Pflanze durch das Licht in verschiedenen Altersstufen und, wie es

scheint, auch in verschiedenen Jahreszeiten auf eine sehr verschiedene Weise afficirt werden kann. Die hypocotyledonen Stämme von *Ipomoea coerulea* und *purpurea* sind äusserst heliotropisch, während die Stämme älterer Pflanzen von nur ungefähr einem Fusz Höhe, wie wir soeben gesehen haben, gegen das Licht beinahe gänzlich unempfindlich sind. SACHS gibt an (und wir haben dieselbe Thatsache beobachtet), dasz die Hypocotyle des Epheus (*Hedera helix*) unbedeutend heliotropisch sind, während die Stämme von Pflanzen, welche einige wenige Zoll hoch gewachsen sind, so stark apheliotropisch werden, dasz sie sich unter rechtem Winkel vom Lichte abbiegen. Trotzdem wurden einige junge Pflanzen, welche sich zeitig im Sommer in dieser Weise benommen hatten, Anfangs September wieder deutlich heliotropisch; die zickzackförmigen Bewegungen ihrer Stämme wurden, wie sie sich langsam nach einem Nordost-Fenster hin krümmten, 10 Tage lang aufgezeichnet. Die Stämme sehr junger Pflanzen von *Tropaeolum majus* sind in hohem Grade heliotropisch, während diejenigen älterer Pflanzen nach der Angabe von SACHS unbedeutend apheliotropisch sind. In allen diesen Fällen dient der Heliotropismus der sehr jungen Stämme dazu, die Cotyledonen oder, wenn die Cotyledonen unterirdisch sind, die ersten echten Blätter dem Lichte voll auszusetzen; und der Verlust dieses Vermögens bei den älteren Stämmen oder ihr Apheliotropischwerden steht mit ihrer Gewohnheit zu klettern im Zusammenhang.

Die meisten Pflanzensämlinge sind stark heliotropisch, und es ist ohne Zweifel in ihrem Kampfe um's Dasein für sie von groszem Vortheil, ihre Cotyledonen dem Lichte so schnell und so vollständig wie möglich auszusetzen zum Zwecke Kohlenstoff zu erhalten. Es ist im ersten Capitel gezeigt worden, dasz die gröszere Zahl der Sämlinge bedeutend und schnell circumnutirt, und da Heliotropismus in einer modificirten Circumnutation besteht, so werden wir versucht, die hohe Entwicklung dieser beiden Vermögen als in innigem Zusammenhange stehend zu betrachten. Ob es irgend welche Pflanzen gibt, welche langsam und in einer geringen Ausdehnung circumnutiren und doch in hohem Masze heliotropisch sind, wissen wir nicht; es gibt aber mehrere, und diese Thatsache hat nichts Überraschendes, welche bedeutend circumnutiren und doch durchaus nicht oder nur unbedeutend heliotropisch sind. Von derartigen Fällen bietet *Drosera rotundifolia* ein ausgezeichnetes Beispiel dar. Die Ausläufer der Erdbeere circumnutiren beinahe ebenso wie die Stämme von Kletterpflanzen und

sie werden von einem mäsigen Lichte durchaus gar nicht afficirt; als sie aber spät im Sommer einem etwas helleren Lichte ausgesetzt wurden, waren sie unbedeutend heliotropisch; im Sonnenlichte sind sie nach der Angabe von DE VRIES apheliotropisch. Kletternde Pflanzen circumnutiren viel ausgedehnter als irgend welche andere Pflanzen und doch sind sie durchaus nicht heliotropisch.

Ogleich die Stämme der meisten Pflanzensämlinge in hohem Grade heliotropisch sind, so sind doch einige wenige nur unbedeutend heliotropisch, ohne dasz wir im Stande wären, eine Ursache hiervon anzugeben. Dies ist mit dem Hypocotyl von *Cassia tora* der Fall, und dieselbe Thatsache überraschte uns noch bei einigen anderen Sämlingen, so z. B. bei denen von *Reseda odorata*. Was den Grad der Empfindlichkeit der empfindlicheren Arten betrifft, so wurde im letzten Capitel gezeigt, dasz die Sämlinge mehrerer Species, wenn sie vor ein mit mehreren Vorhängen geschütztes Nordost-Fenster gestellt und von hinten her dem diffusen Licht des Zimmers ausgesetzt werden, sich mit nicht irrender Sicherheit nach dem Fenster hin bewegen, obgleich es unmöglich entschieden werden konnte, ausgenommen durch den auf ein Stück weissen Cartons geworfenen Schatten eines Bleistifts, von welcher Seite her mehr Licht eintrat, so dasz der Überschusz auf der einen Seite äusserst gering gewesen sein musz.

Ein Topf mit Sämlingen von *Phalaris canariensis*, welche im Dunkeln gezogen worden waren, wurden in ein vollständig verdunkeltes Zimmer zwölf Fusz von einer sehr kleinen Lampe entfernt gestellt. Nach 3 Stunden waren die Cotyledonen in einer zweifelhaften Weise nach dem Lichte gekrümmt, und nach 7 Stunden 40 Minuten von der ersten Zeit des Ausgesetztseins an gerechnet waren sie alle deutlich, wengleich unbedeutend nach der Lampe hin gekrümmt. Es war nun in dieser Entfernung von 12 Fusz das Licht so trübe, dasz wir die Sämlinge selbst nicht sehen, noch die groszen römischen Zahlen auf dem weissen Zifferblatt einer Uhr ablesen, noch eine Bleistiftlinie auf Papier erkennen, und nur eben eine mit Tusche gezogene Linie unterscheiden konnten. Es ist eine noch überraschendere Thatsache, dasz von einem aufrecht gehaltenen Bleistift auf einen weissen Carton kein sichtbarer Schatten geworfen wurde; es wirkte daher auf die Sämlinge ein Unterschied in der Beleuchtung ihrer beiden Seiten, welchen das menschliche Auge nicht unterscheiden konnte. Bei einer andern Gelegenheit wirkte selbst ein noch geringerer Grad von Licht, denn einige

Sämlinge von *Phalaris* wurden in einer Entfernung von 20 Fusz unbedeutend nach der nämlichen Lampe hin gekrümmt; in dieser Entfernung konnten wir einen kreisförmigen, mit Tusche auf weisses Papier gemachten Fleck von 2.29 mm (0.09 Zoll) Durchmesser nicht sehen, obgleich wir einen Fleck von 3.56 mm (0.14 Zoll) Durchmesser noch eben sehen konnten; und doch erscheint ein Fleck der ersten Größe im Lichte gesehen gross³.

Wir versuchten nun zunächst, ein wie kleiner Lichtstrahl wirken würde, da dies von Bedeutung für den Umstand ist, dass das Licht als Führer für die Sämlinge dient, während sie durch zerklüfteten oder zerdrückten Boden hervortreten. Ein Topf mit Sämlingen von *Phalaris* wurde mit einem Zinngefäß bedeckt, welches an einer Seite ein kreisförmiges Loch von 1.23 mm Durchmesser hatte (d. h. etwas weniger als $\frac{1}{20}$ Zoll); die Büchse wurde vor eine Paraffin-Lampe und bei einer andern Gelegenheit vor ein Fenster gestellt, und beide male wurden die Sämlinge offenbar nach einigen wenigen Stunden nach dem kleinen Loche hin gebogen.

Es wurde nun ein noch entscheidenderer Versuch angestellt; kleine Röhren von sehr dünnem Glas, welche an ihrem oberen Ende geschlossen und mit schwarzem Lack überzogen waren, wurden über die Cotyledonen von *Phalaris* (die im Dunkeln gekeimt hatten), gestülpt und paszten gerade über sie. Auf der einen Seite, durch welche allein das Licht eintreten konnte, waren schmale Streifen des Lacks vorher abgekratzt worden; ihre Dimensionen waren nachher unter dem Microscop gemessen worden. Als Controle wurden Versuche mit ähnlichen nicht gefirnizten und durchsichtigen Röhren angestellt und es ergab sich, dass sie die Cotyledonen nicht hinderten, sich nach dem Lichte hin zu biegen. Zwei Cotyledonen wurden vor ein Südwest-Fenster gestellt, von denen der eine durch einen Spalt im Lacküberzuge von nur 0.004 Zoll (0.1 mm) in der Breite und 0.016 Zoll (0.4 mm) in der Länge, der andere durch einen Spalt von 0.008 Zoll in der Breite und 0.06 Zoll in der Länge beleuchtet wurde. Nachdem die Sämlinge 7 Stunden 40 Minuten exponirt gewesen waren, wurden sie untersucht und es zeigte sich, dass sie deutlich nach dem Lichte hin gebogen waren. Es wurden zu derselben Zeit ähnliche Versuche mit einigen anderen Coty-

³ Strasburger sagt (Wirkung des Lichts auf Schwärmosporen, 1878, p. 52), dass die Sporen von *Haematococcus* sich nach einem Lichte hin bewegten, welches nur eben genügte, mittelgrossen Druck zu lesen.

ledonen angestellt, ausgenommen, dasz die kleinen Spalten nicht nach dem Himmel, sondern so gerichtet waren, dasz sie nur das diffuse Licht vom Zimmer her empfingen; und diese Cotyledonen wurden durchaus gar nicht gebeugt. Sieben andere Cotyledonen wurden durch schmale, aber vergleichsweise lange abgekratzte Streifen im Lacküberzuge beleuchtet, nämlich von zwischen 0.01 und 0.026 Zoll Breite und 0.15 bis 0.3 Zoll Länge; und diese wurden alle nach der Seite hin gebogen, von welcher her das Licht durch die Spalten eintrat, mochten diese nun nach dem Himmel hin oder nach einer Seite des Zimmers gerichtet sein. Dasz Licht, welches durch eine Öffnung von nur 0.004 Zoll Breite und 0.016 Zoll Länge durchtrat, eine Krümmung veranlassen könne, schien uns eine überraschende Thatsache zu sein.

Ehe wir wussten, wie äusserst empfindlich die Cotyledonen von *Phalaris* gegen Licht sind, bemühten wir uns, ihre Circumnutation im Dunkeln mittelst eines kleinen Wachszünders zu verfolgen, welches eine oder zwei Minuten lang bei jeder Beobachtung in nahezu der nämlichen Stellung ein wenig nach der linken Seite vor der senkrechten Glasscheibe gehalten wurde, auf welcher die Aufzeichnung bewirkt wurde. In dieser Weise wurden die Sämlinge siebzehnmahl im Verlaufe des Tages in Zwischenräumen von einer halben bis zu drei Viertelstunden beobachtet; und spät am Abend waren wir überrascht, als wir fanden, dasz sämtliche 29 Cotyledonen bedeutend gekrümmt waren und nach der senkrechten Glasscheibe hinwiesen, ein wenig nach links, wo der Wachszünder gehalten worden war. Die Zeichnung wies nach, dasz sie sich in Zickzacklinien bewegt hatten. Dasz sie einem schwachen Lichte eine sehr kurze Zeit lang in den oben angegebenen Zwischenräumen ausgesetzt waren, reichte daher hin, gut ausgesprochenen Heliotropismus zu veranlassen. Ein analoger Fall wurde an den Hypocotylen von *Solanum lycopersicum* beobachtet. Wir schrieben dies Resultat anfangs den in jedem Falle eintretenden Nachwirkungen des Lichtes zu; seitdem wir aber WIESNER'S Beobachtungen⁴ gelesen haben, auf welche wir im letzten Capitel uns beziehen werden, können wir nicht daran zweifeln, dasz ein intermittirendes Licht wirksamer ist als ein continuirliches, da Pflanzen in Bezug auf seine Stärke für jeden Contrast besonders empfindlich sind.

⁴ Sitzungsberichte der k. k. Acad. d. Wissensch. Wien, math.-nat. Cl. Januar 1880, p. 12.

Die Cotyledonen von *Phalaris* biegen sich viel langsamer nach einem sehr trüben Lichte als nach einem hellen hin. So waren sie in den Versuchen, wo Sämlinge in einem dunklen Zimmer in einer Entfernung von 12 Fusz von einer sehr kleinen Lampe gestellt waren, nach 3 Stunden eben merkbar und in etwas zweifelhafter Art, sicher aber nach 4 Stunden nach ihm hin gekrümmt. Nach 8 Stunden 40 Minuten waren die Sehnen der von ihnen gebildeten Bogen unter einem mittleren Winkel von nur 16° von der Senkrechten abgelenkt. Wäre das Licht hell gewesen, so würden sie in einer Zeit von zwischen 1 und 2 Stunden viel bedeutender gekrümmt worden sein. Es wurden mehrere Versuche mit Sämlingen angestellt, welche in verschiedenen Entfernungen von einer kleinen Lampe in einem dunklen Zimmer aufgestellt wurden; wir wollen aber nur einen Versuch anführen. Es wurden sechs Töpfe in Entfernungen von 2, 4, 8, 12, 16 und 20 Fusz von der Lampe gestellt, vor welcher sie 4 Stunden lang gelassen wurden. Da das Licht in geometrischem Verhältnis abnimmt, erhielten die Sämlinge im zweiten Topf $\frac{1}{4}$, diejenigen im dritten Topf $\frac{1}{16}$, diejenigen im vierten $\frac{1}{36}$, diejenigen im fünften $\frac{1}{64}$ und diejenigen im sechsten Topfe $\frac{1}{100}$ des Lichts, welches die Sämlinge im ersten oder nächsten Topfe erhielten. Es wäre daher zu erwarten gewesen, dasz in dem Grade ihrer heliotropischen Krümmung ein ungeheurer Unterschied bei den einzelnen Töpfen auftreten würde; und es bestand auch eine scharf ausgesprochene Verschiedenheit zwischen denen, welche am nächsten und welche am weitesten von der Lampe standen, der Unterschied zwischen je zweien der aufeinanderfolgenden Paare von Töpfen war aber äusserst gering. Um jede Voreingenommenheit zu vermeiden, frugen wir drei Personen, welche Nichts von dem Versuche wuszten, und lieszen die Töpfe je nach dem Grade der Krümmung der Cotyledonen in eine Reihe bringen. Die erste Person brachte sie in die richtige Reihenfolge, war aber in Bezug auf die Töpfe aus 12 und 16 Fusz Entfernung lange im Zweifel; und doch erhielten diese Licht im Verhältnis von 36 zu 64. Die zweite Person ordnete sie gleichfalls richtig an, war aber in Bezug auf die Töpfe aus 8 und 12 Fusz Entfernung im Zweifel, welche Licht im Verhältnis von 16 zu 36 erhielten. Die dritte Person brachte sie in eine falsche Reihe und zweifelte in Bezug auf vier Töpfe. Dies Zeugnis beweist, wie wenig die Krümmung der Sämlinge in den aufeinanderfolgenden Töpfen verschieden war, im Vergleich zu dem groszen Unterschiede in der Lichtstärke, welche sie

erhielten; es ist auch noch zu bemerken, dass kein Excesz von überflüssigem Lichte vorhanden war, denn die Cotyledonen wurden selbst in dem nächsten Topfe nur wenig und langsam gekrümmt. Dicht am 6. Topf, in der Entfernung von 20 Fusz von der Lampe, gestattete uns das Licht, einen mit Tusche auf weisses Papier gemachten Fleck von 3.56 mm (0.14 Zoll) Durchmesser eben noch zu erkennen, aber nicht mehr einen solchen von 2.29 mm (0.09 Zoll) Durchmesser.

Der Grad der Krümmung der Cotyledonen von *Phalaris* innerhalb einer gegebenen Zeit hängt nicht bloz von der Menge seitlichen Lichts ab, welche sie in dieser Zeit erhalten, sondern von der, welche sie vorher schon von oben und von allen Seiten erhalten haben. Es sind analoge Thatsachen in Bezug auf die nyctitropischen und periodischen Bewegungen der Pflanzen mitgetheilt worden. Von zwei Töpfen mit Sämlingen von *Phalaris*, welche im Dunkeln gekeimt hatten, wurde einer noch immer im Dunkeln gehalten und der andere wurde (am 26. Sept.) während eines bewölkten Tages und des folgenden hellen Morgens dem Lichte im Gewächshause ausgesetzt. An diesem Morgen (27.) um 10.30 a. m. wurden beide Töpfe in eine innen geschwärzte und an der Vorderseite offene Kiste vor ein Nordost-Fenster gestellt, welches mit einem leinenen und einem musselinen Vorhange und einem breiten Handtuch geschützt war, so dass nur wenig Licht zugelassen wurde, obschon der Himmel hell war. So oft nach den Töpfen gesehen wurde, wurde dies so schnell wie möglich ausgeführt, und die Cotyledonen wurden dann quer in Bezug auf das Licht gehalten, so dass dadurch ihre Krümmung weder vermehrt noch vermindert werden sein konnte. Nach 50 Minuten waren die Sämlinge, welche vorher im Dunkeln gehalten worden waren, vielleicht, und nach 70 Minuten ganz sicher wenn schon sehr unbedeutend nach dem Fenster hin gekrümmt. Nach 85 Minuten waren einige von den Sämlingen, welche vorher beleuchtet worden waren, vielleicht ein wenig afficirt und nach 100 Minuten waren einige von den jüngeren sicher ein wenig nach dem Lichte hin gekrümmt. Um diese Zeit (d. h. nach 100 Minuten) bestand ein deutlicher Unterschied in der Krümmung der Sämlinge in den beiden Töpfen. Nach 2 Stunden 12 Minuten wurden die Sehnen der Bogen von vier der am stärksten gekrümmten Sämlinge in jedem Topf gemessen, und der mittlere Winkel, welchen dieselben mit der Senkrechten bildete, betrug bei denjenigen, welche vorher im Dunkeln gehalten worden waren, 19° , und bei denjenigen, welche vorher beleuchtet worden

waren, 7°. Auch verminderte sich dieser Unterschied während zweier weiterer Stunden nicht. Um die Bewegung zu unterbrechen, wurden die Sämlinge in beiden Töpfen zwei Stunden lang in vollkommene Dunkelheit gebracht, damit der Apogeotropismus auf sie wirken könne; diejenigen in dem einen Topfe, welche wenig gekrümmt waren, wurden in dieser Zeit beinahe vollkommen aufrecht, während die stärker gekrümmten in dem anderen Topfe noch immer deutlich gekrümmt blieben.

Zwei Tage darauf wurde der Versuch wiederholt, mit der einzigen Verschiedenheit, daß durch das Fenster selbst noch weniger Licht zugelassen wurde, da es mit einem leinenen und einem musselinen Vorhang und zwei breiten Handtüchern bedeckt wurde; überdies war der Himmel etwas weniger hell. Das Resultat war dasselbe wie früher, ausgenommen daß Alles etwas langsamer eintrat. Die Sämlinge, welche vorher im Dunkeln gehalten worden waren, waren nach 54 Minuten nicht im Mindesten gekrümmt, waren es aber nach 70 Minuten. Diejenigen, welche vorher beleuchtet gewesen waren, waren durchaus gar nicht afficirt, bis 130 Minuten vergangen waren, und auch dann nur unbedeutend. Nach 145 Minuten waren einige von den Sämlingen in diesem letzten Topfe sicher nach dem Lichte hin gekrümmt; auch bestand nun ein deutlicher Unterschied zwischen den zwei Töpfen. Nach 3 Stunden 45 Minuten wurden die Sehnen der Bogen von 3 Sämlingen in jedem Topfe gemessen, und der mittlere Winkel, den sie mit der Senkrechten bildeten, betrug 16° bei denjenigen in dem Topfe, welcher vorher im Dunkeln gehalten, und nur 5° bei denjenigen in dem Topfe, welcher vorher beleuchtet worden war.

Die Krümmung der Cotyledonen von *Phalaris* nach einem seitlichen Lichte hin wird daher sicher von dem Grade, bis zu welchem sie vorher beleuchtet gewesen waren, beeinflusst. Wir werden sofort sehen, daß der Einfluss des Lichts auf ihre Biegung noch eine kurze Zeit fort dauert, nachdem das Licht beseitigt worden ist. Diese That sachen, ebenso die, daß die Krümmung nicht in einem nahezu gleichen Verhältnis zu der Lichtmenge, welche sie erhalten, zunimmt oder abnimmt, wie in den Versuchen mit den Pflanzen vor der Lampe nachgewiesen wurde, weisen sämtlich darauf hin, daß das Licht auf die Cotyledonen wie ein Reiz wirkt, in ungefähr derselben Art und Weise, wie auf das Nervensystem der Thiere, und nicht in einer directen Art und Weise auf die Zellen oder Zellenwandungen, welche durch ihre Zusammenziehung oder Ausdehnung die Krümmung verursachen.

Es ist bereits gelegentlich gezeigt worden, wie langsam sich die Cotyledonen von *Phalaris* nach einem sehr trüben Lichte hin beugen; als sie aber vor eine helle Paraffin-Lampe gestellt wurden, waren ihre Spitzen in 2 Stunden 20 Minuten sämmtlich rechtwinklig nach ihr hin gebogen. Die Hypocotyle von *Solanum lycopersicum* hatten sich am Morgen unter rechtem Winkel nach einem Nordost-Fenster hingebogen. Um 1 p. m. (21. Oct.) wurde der Topf herumgedreht, so dasz die Sämlinge nun von dem Lichte weg wiesen; aber um 5 p. m. hatten sie ihre Krümmung umgekehrt und sie wiesen nun wiederum nach dem Lichte hin. Sie hatten sich hienach in 4 Stunden durch 180° bewegt, nachdem sie vorher am Morgen schon ungefähr 90° durchmessen hatten. Die Umkehr der ersten Hälfte der Krümmung wird aber durch Apogeotropismus unterstützt worden sein. Ähnliche Fälle wurden noch bei anderen Sämlingen beobachtet, so beispielsweise bei denen von *Sinapis alba*.

Wir versuchten zu ermitteln, in wie kurzer Zeit das Licht auf die Cotyledonen von *Phalaris* wirkte; dies war aber wegen der Schnelligkeit ihrer circumnutirenden Bewegung schwierig; überdies sind sie in ihrer Empfindlichkeit je nach ihrem Alter sehr verschieden; nichtsdestoweniger sind einige von unseren Beobachtungen der Mittheilung werth. Es wurden Töpfe mit Sämlingen unter ein Microscop gebracht, welches mit einem Ocular-Micrometer versehen war, an welchem jeder Theilstrich gleich $\frac{1}{500}$ Zoll (0.051 mm) war; sie wurden zuerst mit Licht von einer Paraffin-Lampe beleuchtet, welches durch eine Lösung von doppeltechromsaurem Kali trat und daher keinen Heliotropismus veranlaszte. Es konnte in dieser Weise die Richtung, in welcher die Cotyledonen circumnutirten, unabhängig von irgend einer vom Licht ausgehenden Wirkung beobachtet werden; auch konnte man sie, durch Herumdrehen der Töpfe, veranlassen, quer auf die Linie zu circumnutiren, in welcher das Licht sie treffen würde, so bald die Lösung entfernt wurde. Die Thatsache, dasz die Richtung der circumnutirenden Bewegung in jedem Augenblicke sich ändern und daher die Pflanze sich entweder nach der Lampe hin oder von ihr weg biegen konnte, unabhängig von der Wirkung des Lichts, brachte ein Element der Unsicherheit in die Resultate. Nachdem die Lösung entfernt worden war, fiengen fünf Sämlinge, welche quer auf die Richtung des Lichtes circumnutirten, nach 6, 4, $7\frac{1}{2}$, 6 und 9 Minuten an, sich nach dem Lichte hin zu bewegen. In einem dieser Fälle kreuzte die Spitze des

Cotyledon in 3 Minuten fünf Theilstriche des Micrometers (d. h. $\frac{1}{1000}$ Zoll oder 0.254 mm) nach dem Lichte hin. Von zwei Sämlingen; welche sich zu der Zeit, als die Lösung entfernt wurde, direct vom Lichte weg bewegten, fieng der eine in 13 Minuten, der andere in 15 Minuten an, sich nach dem Lichte hin zu bewegen. Dieser letzte Sämling wurde noch länger als eine Stunde beobachtet, und er fuhr fort, sich nach dem Lichte hin zu bewegen; einmal durchkreuzte er in 2 Minuten 30 Secunden 5 Abtheilungen des Micrometers (0.254 mm). In allen diesen Fällen war die Bewegung nach dem Lichte hin in ihrer Geschwindigkeit äusserst ungleichmässig, und die Cotyledonen blieben häufig einige Minuten lang beinahe stationär und zwei von ihnen bewegten sich ein wenig rückwärts. Ein anderer Sämling, welcher quer zur Richtung des Lichts circumnutirte, bewegte sich in 4 Minuten, nachdem die Lösung entfernt war, nach dem Lichte hin; dann blieb er 10 Minuten lang beinahe stationär; dann kreuzte er 5 Abtheilungen des Micrometers in 6 Minuten und dann 8 Abtheilungen in 11 Minuten. Diese ungleiche Schnelligkeit der Bewegung, von Pausen unterbrochen und anfangs mit gelegentlichen Rückwärtsbewegungen, stimmt mit unserer Schlussfolgerung gut überein, dass Heliotropismus in modificirter Circumnutation besteht.

Um zu beobachten, wie lange die Nachwirkungen des Lichts dauerten, wurde ein Topf mit Sämlingen von *Phalaris*, welche im Dunkeln gekeimt hatten, um 10.40 a. m. vor ein Nordost-Fenster gestellt, während sie auf allen übrigen Seiten gegen das Licht geschützt waren; die Bewegung eines Cotyledon wurde dann auf einer horizontalen Glasscheibe aufgezeichnet. Er circumnutirte während der ersten 24 Minuten ungefähr um einen und den nämlichen Fleck und bewegte sich während der nächsten 1 Stunde 33 Minuten rapid nach dem Lichte hin. Das Licht wurde nun (d. h. nach 1 Stunde 57 Minuten) vollständig ausgeschlossen; der Cotyledon fuhr aber gewisz für länger als 15 Minuten, wahrscheinlich ungefähr 27 Minuten lang sich in derselben Richtung zu biegen fort. Der hier ausgedrückte Zweifel rührte daher, dass es doch nothwendig war nicht zu häufig nach dem Sämling zu sehen und ihn dabei, wenn auch nur für Augenblicke, dem Lichte auszusetzen. Dieser selbe Sämling wurde nun bis um 2.18 p. m. im Dunkeln gehalten, in welcher Zeit er durch Apogeotropismus seine ursprüngliche aufrechte Stellung wieder erlangt hatte, als er nun wiederum dem Lichte eines bewölkten Himmels ausgesetzt wurde. Um 3 p. m.

hatte er sich eine sehr kurze Strecke lang nach dem Lichte hin bewegt, aber während der nächsten 45 Minuten bewegte er sich schnell nach ihm hin. Nachdem er hiermit 1 Stunde 27 Minuten lang einem ziemlich trüben Lichte ausgesetzt worden war, wurde das Licht wiederum vollständig abgeschlossen, der Cotyledon fuhr aber wie vorher 14 Minuten lang (innerhalb einer sehr kleinen Fehlergrenze) in derselben Richtung sich zu biegen fort. Er wurde dann in's Dunkle gebracht, und nun bewegte er sich zurück, so dasz er nach 1 Stunde 7 Minuten dicht an dem Punkte stand, von welchem er um 2.18 p. m. ausgegangen war. Diese Beobachtungen weisen nach, dasz, nachdem die Cotyledonen von *Phalaris* einem seitlichen Lichte ausgesetzt gewesen sind, sie sich eine Zeit lang, zwischen einer Viertel- und einer halben Stunde, in derselben Richtung zu biegen fortfahren.

In den zwei oben angeführten Experimenten bewegten sich die Cotyledonen kurze Zeit, nachdem sie der Dunkelheit ausgesetzt worden waren, rückwärts oder vom Fenster weg, und während wir die Circumnutation verschiedener Arten von Sämlingen, die einem seitlichen Lichte ausgesetzt wurden, aufzeichneten, beobachteten wir wiederholt, dasz sie sich spät am Abend, wie das Licht abnahm, von ihm weg bewegten. Diese Thatsache ist in einigen der im letzten Capitel mitgetheilten Zeichnungen zu erkennen. Wir wünschten daher zu erfahren, ob dies gänzlich Folge des Apogeotropismus sei, oder ob ein Organ, nachdem es sich nach dem Lichte hin gebogen hatte, aus irgend einer andern Ursache sich, so bald das Licht verschwindet, von ihm weg zu biegen strebt. Dem entsprechend wurden zwei Töpfe mit Sämlingen von *Phalaris* und ein Topf mit *Brassica*-Sämlingen 8 Stunden lang dem Lichte einer Paraffin-Lampe ausgesetzt, in welcher Zeit die Cotyledonen der ersteren und die Hypocotyle der letzteren rechtwinklig nach dem Lichte hin gebogen wurden. Die Töpfe wurden nun schnell horizontal gelegt, so dasz die oberen Theile der Cotyledonen und der Hypocotyle von 9 Sämlingen senkrecht aufwärts vorsprangen, wie durch ein Bleiloth erwiesen wurde. In dieser Stellung konnte Apogeotropismus nicht auf sie einwirken, und wenn sie irgend eine Neigung besaßen, sich zu strecken oder sich im Gegensatz zu ihrer früheren heliotropischen Krümmung zu biegen, so würde dies zum Ausdruck kommen, denn es würde zuerst der Apogeotropismus sehr unbedeutend entgegenwirken. Sie wurden 4 Stunden lang im Dunkeln gehalten, während welcher Zeit zweimal nach ihnen gesehen

wurde; es konnte aber keine gleichförmige Biegung im Gegensatz zu ihrer früheren heliotropischen Krümmung entdeckt werden. Wir haben gesagt „gleichförmige“ Biegung, weil sie in dieser neuen Stellung circumnutirten und nach 2 Stunden in verschiedenen Richtungen (zwischen 4° und 11°) von der Senkrechten ab geneigt waren. Ihre Richtungen änderten sich auch nach zwei weiteren Stunden und wiederum am folgenden Morgen. Wir können daher schlieszen, dasz das Zurückbiegen von Pflanzen vom Lichte weg, wenn dies trübe wird oder im Verlöschen ist, gänzlich eine Folge des Apogeotropismus ist⁵.

Bei unseren verschiedenen Experimenten waren wir häufig von der Genauigkeit überrascht, mit welcher Sämlinge nach einem Lichte hinwiesen, auch wenn dies von geringer Grösze war. Um dies zu beweisen, wurden viele Sämlinge von *Phalaris*, welche im Dunkeln in einem sehr schmalen mehrere Fusz langen Kasten gekeimt hatten, in einem verdunkelten Zimmer in die Nähe und vor eine Lampe mit einem kleinen cylindrischen Docht gestellt. Die Cotyledonen an den beiden Enden und in dem mittleren Theile des Kastens würden sich daher in sehr verschiedenen Richtungen zu biegen haben, um nach dem Lichte hinzuweisen. Nachdem sie rechtwinklig gebogen waren, wurde von zwei Personen ein langer weisser Faden dicht über und parallel zuerst zu dem einen und dann zu einem andern Cotyledon ausgestreckt gehalten; und beinahe in jedem einzelnen Falle ergab sich, dasz der Faden factisch den Docht der kleinen nun ausgelöschten Lampe durchschnitt. Die Abweichung von der genauen Richtung überschritt, so viel wir beurtheilen konnten, niemals einen Grad oder zwei. Diese äusserste Genauigkeit scheint auf den ersten Blick überraschend, ist es aber factisch nicht; denn an einem aufrechten cylindrischen Stamme wird, welches auch seine Stellung in Bezug auf das Licht sein mag, genau die Hälfte des Umfangs beleuchtet und die andere Hälfte im Schatten sein; und da der Unterschied in der Beleuchtung der beiden Seiten die den Heliotropismus anregende Ursache ist, wird sich natürlich ein Cylinder mit groszer Genauigkeit nach dem Lichte hin biegen. Die Cotyledonen von *Phalaris* sind indessen nicht cylindrisch, sondern auf dem Durchschnitt oval, und die längere Axe verhielt sich zur

⁵ Aus einem Citat bei Wiesner („Die undulirende Nutation der Internodien“ p. 7) geht hervor, dasz H. Müller von Thurgau gefunden hat, dasz ein Stamm, welcher sich heliotropisch biegt, sich zu der nämlichen Zeit durch Apogeotropismus bestrebt, sich in eine senkrechte Stellung zu erheben.

kürzeren (bei dem einen, welcher gemessen wurde) wie 100 zu 70. Trotzdem konnte kein Unterschied in der Genauigkeit ihrer Biegung entdeckt werden, mochten sie nun so stehen, dasz ihre breiten, oder dasz ihre schmalen Seiten nach dem Lichte hingekehrt waren, oder in irgend einer dazwischen liegenden Stellung; dasselbe war auch bei den Cotyledonen von *Avena sativa* der Fall, welche gleichfalls im Durchschnitt oval sind. Ein wenig Überlegung ergibt nun, dasz, in welcher Stellung die Cotyledonen auch stehen mögen, es eine Linie der stärksten Beleuchtung, genau dem Lichte gegenüber, geben wird und dasz auf jeder Seite dieser Linie ein gleicher Betrag an Licht empfangen werden wird; wenn aber das Oval schräg in Bezug auf das Licht steht, wird dies auf der einen Seite der Mittellinie über eine gröszere Oberfläche zerstreut werden als auf der andern. Wir können daher schlieszen, dasz dieselbe Menge Lichts, mag es über eine gröszere Oberfläche zerstreut oder auf einer kleineren Fläche concentrirt sein, genau dieselbe Wirkung hervorbringt; denn die Cotyledonen in den langen schmalen Kasten standen in allen möglichen Arten von Stellungen in Bezug auf das Licht und doch wiesen sie sämmtlich richtig nach ihm hin.

Dass die Biegung der Cotyledonen nach dem Lichte hin davon abhängt, dasz die ganze eine Seite beleuchtet oder dasz die ganze entgegengesetzte Seite verdunkelt ist, und nicht davon, dasz eine schmale Längszone in der Richtung des Lichts afficirt wird,⁹ wurde auch durch die Wirkungen nachgewiesen, welche das längsweise Bemalen einer Seite von fünf Cotyledonen von *Phalaris* mit Tusche hervorrief. Dieselben wurden dann auf einen Tisch in der Nähe eines nach Südwest gelegenen Fensters gestellt und die bemalte Seite wurde entweder nach rechts oder nach links hin gerichtet. Das Resultat war, dass sie, anstatt sich in einer directen Linie nach dem Fenster hin zu biegen, vom Fenster weg und nach der nicht bemalten Seite abgelenkt wurden, und zwar unter den folgenden Winkeln: 35°, 83°, 31°, 43° und 39°. Es musz bemerkt werden, dasz es kaum möglich war, ganz genau eine Hälfte zu bemalen oder sämmtliche Cotyledonen, welche im Durchschnitt oval sind, in völlig der nämlichen Stellung in Bezug auf das Licht aufzustellen; und dies dürfte die Verschiedenheiten in den Winkeln erklären. Es wurden auch fünf Cotyledonen von *Avena* in derselben Weise, aber mit gröszerer Sorgfalt bemalt; sie wurden von der Linie des Fensters seitwärts nach der nicht bemalten Seite hin in

den folgenden Winkeln abgelenkt: 44° , 44° , 55° , 51° und 57° . Diese Abbiegung der Cotyledonen vom Fenster ist verständlich, denn die ganze nicht bemalte Seite musz etwas Licht erhalten haben, während die entgegengesetzte bemalte keines erhielt; es wird aber eine schmale Zone auf der nicht bemalten Seite direct vor dem Fenster das meiste Licht und sämmtliche hinteren Partien (halb oval im Durchschnitt) in verschiedenen Graden immer weniger und weniger Licht erhalten haben; und wir können folgern, dasz der Ablenkungswinkel die Resultante der Wirkung des Lichts auf die ganze nicht bemalte Seite ist.

Es hätte vorausgeschickt werden sollen, dasz Tusche die Pflanzen nicht beschädigt, wenigstens nicht innerhalb mehrerer Stunden; es könnte dieselbe ihnen auch nur dadurch schaden, dasz sie die Respiration unterbrach. Um zu ermitteln, ob in dieser Weise eine Schädigung schnell herbeigeführt würde, wurden die oberen Hälften von 8 Cotyledonen von *Avena* dick mit durchsichtiger Masse überzogen, — 4 mit Gummi und 4 mit Gelatine; sie wurden am Morgen an ein Fenster gestellt, und am Abend waren sie in normaler Weise nach dem Lichte hin gebogen, obgleich die Überzüge nun aus trockenen Krusten von Gummi und Gelatine bestanden. Überdies, wenn die Sämlinge, welche längsweise mit Tusche bemalt waren, auf der bemalten Seite beschädigt worden wären, würde die entgegengesetzte Seite fortgefahren haben zu wachsen und sie würden in Folge dessen nach der gemalten Seite hin gebogen worden sein, während die Krümmung, wie wir gesehen haben, in der entgegengesetzten Richtung oder nach der nicht bemalten Seite, welche dem Lichte ausgesetzt war, eintrat. Wir beobachteten auch die Wirkungen einer longitudinalen Verletzung der einen Seite der Cotyledonen von *Avena* und *Phalaris*; denn ehe wir erfahren hatten, in wie hohem Grade ein Fettüberzug ihnen schädlich sei, bemalten wir mehrere an der einen Seite hinab mit einer Mischung von Öl und Lampenrusz, worauf sie an einem Fenster dem Lichte ausgesetzt wurden; andere ähnlich behandelte wurden später dem Versuche im Dunkeln unterworfen. Diese Cotyledonen wurden bald deutlich nach der geschwärzten Seite hin gebogen, offenbar in Folge davon, dasz der Fettüberzug auf dieser Seite ihr Wachsthum unterbrochen hatte, während auf der entgegengesetzten Seite das Wachsthum fortschritt. Es verdient aber Beachtung, dasz die Krümmung von der durch das Licht verursachten verschieden ist, welche schliesslich in

der Nähe des Bodens plötzlich wird. Diese Sämlinge starben später nicht ab, waren aber bedeutend verletzt und wuchsen schlecht.

Localisirte Empfindlichkeit gegen das Licht und seine fortgeleiteten Wirkungen.

Phalaris canariensis. — Während wir die Genauigkeit beobachteten, mit welcher die Cotyledonen dieser Pflanze nach dem Lichte einer kleinen Lampe hin gebogen wurden, drängte sich uns der Gedanke auf, dasz der oberste Theil die Richtung der Krümmung des unteren Theils bestimme. Wenn die Cotyledonen einem seitlichen Lichte ausgesetzt werden, biegt sich der obere Theil zuerst, und später erstreckt sich die Biegung allmählich abwärts nach der Basis und, wie wir sofort sehen werden, selbst noch ein wenig unter den Boden. Dies gilt auch für Cotyledonen von einer Höhe von weniger als 0.1 Zoll (wir beobachteten einen, welcher sich so bewegte, der nur 0.03 Zoll hoch war) bis zu ungefähr 0.5 Zoll; wenn sie aber bis zu einer Höhe von nahezu einem Zoll herangewachsen sind, hört der basale Theil, in einer Längenausdehnung von 0.15 bis 0.2 Zoll über der Erde, sich zu biegen auf. Da bei jungen Cotyledonen der untere Theil sich zu biegen fortfährt, nachdem der obere Theil nach einem seitlichen Lichte hin ordentlich gekrümmt ist, so würde schliesslich die Spitze nach der Erde hinweisen anstatt nach dem Lichte, wenn der obere Theil nicht die Richtung seiner Krümmung umkehrte und sich gerade streckte, sobald die obere convexe Fläche der niedergebogenen Partie mehr Licht empfängt als die untere concave Fläche. Die schliesslich von jungen und aufrecht stehenden Cotyledonen, welche einem schräg von oben durch ein Fenster eintretenden Lichte ausgesetzt waren, angenommene

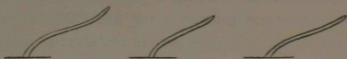


Fig. 181. *Phalaris canariensis*: Cotyledonen, nachdem sie in einem, an einer Seite offenen Kasten vor einem Südwest-Fenster während 8 Stunden dem Lichte ausgesetzt gewesen sind. Die Krümmung nach dem Lichte hin ist genau gezeichnet. Die kurzen horizontalen Linien geben das Niveau der Erde an.

Stellung ist in der beistehenden Figur (Fig. 181) dargestellt; und hier kann man sehen, dasz der ganze obere Theil beinahe ganz gerade geworden ist. Als die Cotyledonen dem Lichte einer hellen Lampe ausgesetzt wurden, welche in derselben Höhe wie sie selbst stand, wurde der obere Theil, welcher zuerst bedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt war, gerade und streng parallel zu der Erde in den Töpfen;

der basale Theil war nun rechtwinklig gebogen. Diese ganze beträchtliche Grösze der Krümmung, zusammen mit der darauffolgenden Geradestreckung des oberen Theils, wurde häufig in einigen wenigen Stunden ausgeführt.

Nachdem sich der oberste Theil ein wenig nach dem Lichte hin gekrümmt hat, musz das Gewicht des überhängenden Stückes dahin streben, die Krümmung des unteren Theils zu vermehren; aber eine irgend derartige Wirkung wurde in verschiedenen Weisen als völlig unbedeutend nachgewiesen. Wenn kleine (später noch zu beschreibende) Kappen von Stanniol auf die Spitzen der Cotyledonen gebracht wurden, so wurde, obgleich dies ihr Gewicht beträchtlich vermehrt haben musz, die Geschwindigkeit oder die Grösze der Biegung hierdurch nicht vergrößert. Der beste Beweis wurde aber dadurch erlangt, dasz Töpfe mit Sämlingen von *Phalaris* vor eine Lampe in einer solchen Stellung aufgestellt wurden, dasz die Cotyledonen horizontal ausgebreitet waren und rechtwinklig zur Richtung des Lichtes vorsprangen. Im Verlaufe von $5\frac{1}{2}$ Stunden waren sie nach dem Lichte hingerichtet und ihre Basen rechtwinklig gebogen; und diese abrupte Krümmung konnte nicht im mindesten durch das Gewicht des obereu Theils unterstützt worden sein, welches unter rechtem Winkel auf die Ebene der Krümmung wirkte.

Es wird noch gezeigt werden, dasz, als die oberen Hälften der Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena* in kleine Röhrchen von Stanniol oder von geschwärztem Glase eingeschlossen wurden, wo der obere Theil mechanisch verhindert wurde, sich zu biegen, sich der untere und nicht eingeschlossene Theil nicht bog, wenn er einem seitlichen Lichte ausgesetzt wurde; es kam uns dabei der Gedanke, dasz diese Thatsache nicht sowohl eine Folge des Ausschlusses des Lichts vom oberen Theil sei, als vielmehr Folge irgend einer Nöthigung zum Biegen, welche allmählich sich in den Cotyledonen abwärts bewegte, so dasz, wenn nicht der obere Theil zuerst gebogen würde, der untere Theil sich nicht biegen könnte, so viel er gereizt werden möchte. Für unsern Zweck war es nothwendig, zu ermitteln, ob diese Idee richtig wäre, und es erwies sich dieselbe als falsch; denn die unteren Hälften mehrerer Cotyledonen wurden nach dem Lichte hin gebogen, obgleich ihre oberen Hälften in kleine (nicht geschwärzte) Glasröhrchen eingeschlossen wurden, welche, soviel wir beurtheilen konnten, ihr Biegen verhinderten. Da nichtsdestoweniger der Theil innerhalb der Röhrchen sich möglicherweise sehr wenig biegen könnte, so wurden dünne starre Stäbchen oder platte Splitter dünnen Glases mit Schellack an die Seite des oberen Theils von 15 Cotyledonen angekittet, und in sechs Fällen wurden sie ausserdem noch mit Fäden angebunden. Sie wurden auf diese Weise gezwungen, vollkommen gerade zu bleiben. Das Resultat war, dasz die untere Hälfte von ihnen allen nach dem Lichte hin gebogen wurden, aber meistens in keinem so bedeutenden Grade wie der entsprechende Theil der freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen; und dies kann vielleicht durch einen unbedeutenden Grad von Beschädigung erklärt werden, die dadurch verursacht wurde, dasz ein beträchtlicher Flächentheil mit Schellack beschmiert worden war. Es mag noch

hinzugefügt werden, dasz, wenn der Apogeotropismus auf die Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena* einwirkt, es der obere Theil ist, welcher zuerst anfängt, sich zu biegen; und wenn dieser Theil in der oben beschriebenen Weise starr gemacht wird, wird die Aufwärtskrümmung des basalen Theils nicht verhindert.

Um unsere Annahme zu prüfen, dasz der obere Theil der Cotyledonen von *Phalaris*, wenn sie einem seitlichen Lichte ausgesetzt werden, die Biegung des unteren Theils regulirt, wurden viele Versuche angestellt; aus verschiedenen, einer speciellen Aufzählung nicht weiter werthen Ursachen erwiesen sich aber die meisten unserer ersten Bemühungen als nutzlos. An sieben Cotyledonen wurden die Spitzen in einer zwischen 0.1 und 0.16 Zoll variirenden Länge abgeschnitten, und diese blieben, wenn sie den ganzen Tag lang einem seitlichen Lichte ausgesetzt wurden, aufrecht. Bei einem andern Satze von 7 Cotyledonen wurden die Spitzen nur in einer Länge von ungefähr 0.05 Zoll (1.27 mm) abgeschnitten, und diese wurden nach einem seitlichen Lichte hingebogen, aber nicht annähernd so bedeutend wie die vielen andern Sämlinge in den nämlichen Töpfen. Dieser letzte Fall zeigt, dasz das Abschneiden der Spitzen an und für sich die Pflanzen nicht so ernstlich beschädigt, dasz der Heliotropismus verhindert würde; zur Zeit glaubten wir aber, dasz eine solche Schädigung eintreten würde, wenn ein längeres Stück abgeschnitten würde, wie in der ersten Reihe von Versuchen. Es wurden daher keine weiteren Versuche dieser Art gemacht, was wir jetzt bedauern; denn wir fanden später, dasz, als die Spitzen dreier Cotyledonen in einer Länge von 0.2 Zoll und von vier andern in Längen von 0.14, 0.12, 0.1 und 0.07 abgeschnitten und sie horizontal ausgestreckt wurden, die Amputation nicht im mindesten ihre Aufwärtsbiegung durch Apogeotropismus, gleich der bei nicht verstümmelten Exemplaren, störte. Es ist daher äusserst unwahrscheinlich, dasz die Amputation der Spitzen in Längen von 0.1 bis 0.14 Zoll in Folge der dadurch verursachten Beschädigung den untern Theil verhindert haben könnte, sich nach dem Lichte hin zu biegen.

Wir stellen nun zunächst Versuche darüber an, welche Wirkungen das Bedecken des oberen Theils der Cotyledonen von *Phalaris* mit kleinen, für das Licht undurchgänglichen Kappen äuszern würde; der ganze untere Theil blieb dabei dem Lichte an einem Südwest-Fenster oder vor einer hellen Paraffin-Lampe ausgesetzt. Einige von diesen Kappen wurden von äusserst dünnem Stanniol gemacht und innen geschwärzt; diese hatten den Nachtheil, dasz sie gelegentlich, wenn schon selten, zu schwer waren, besonders wenn sie zweimal gefaltet waren. Die basalen Ränder konnten bis zur dichten Berührung mit den Cotyledonen angedrückt werden, ob schon dies Sorgfalt erforderte, um eine Verletzung derselben zu vermeiden. Nichtsdestoweniger konnte irgend eine auf diese Weise verursachte Verletzung durch Entfernung der Kappen nachgewiesen werden und durch den Versuch, ob dann die Cotyledonen für Licht empfindlich seien. Andere Kappen wurden aus Röhren von dünnstem Glase gefertigt, welche, wenn sie geschwärzt waren, ganz gut dienten, aber mit dem einen groszen Nachtheile, dasz die unteren Enden nicht geschlossen werden konnten. Es wurden aber Röhren gebraucht, welche beinahe ganz dicht auf die Cotyledonen paszten, und schwarzes Papier wurde rings um einen jeden

auf die Erde gelegt, um die Reflexion des Lichts von der Erde aufwärts zu beseitigen. Derartige Röhren waren in einer Beziehung viel besser als Kappen von Stanniol, da es möglich war, zu derselben Zeit einige Cotyledonen mit durchsichtigen und andere mit undurchsichtigen Röhren zu bedecken, und auf diese Weise konnten wir unsere Versuche controliren. Man musz im Auge behalten, dasz junge Cotyledonen zu den Versuchen ausgewählt wurden und dasz diese, wenn sie nicht gestört werden, nach dem Boden abwärts dem Lichte zu gebogen werden.

Wir wollen mit den Glasröhren beginnen. Die Spitzen von neun Cotyledonen, die in der Höhe etwas verschieden waren, wurden für etwas weniger als die Hälfte ihrer Länge in nicht gefärbten oder durchsichtigen Röhren eingeschlossen; und diese wurden dann an einem hellen Tage 8 Stunden lang an einem Südwest-Fenster dem Lichte ausgesetzt. Sie wurden sämmtlich stark nach dem Lichte hin gekrümmt, und zwar in demselben Grade wie die vielen andern freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen, so dasz also die Glasröhren sicher es nicht verhinderten, dasz sich die Cotyledonen nach dem Lichte hin bogen. Neunzehn andere Cotyledonen wurden zu derselben Zeit ähnlich in Röhren eingeschlossen, welche dick mit Tusche bestrichen waren. An fünf von ihnen zog sich zu unserer Überraschung der Tuschüberzug, nachdem er dem Sonnenlicht ausgesetzt war, zusammen und es bildeten sich sehr schmale Risse, durch welche ein wenig Licht eintrat; diese fünf Fälle wurden verworfen. Von den übrig bleibenden 14 Cotyledonen, deren untere Hälften vollständig die ganze Zeit hindurch dem Lichte ausgesetzt waren, blieben 7 vollkommen gerade und aufrecht; 1 war beträchtlich nach dem Lichte hin gebogen und 6 waren unbedeutend gebogen, aber der exponirt gewesene basale Theil war bei den meisten von ihnen beinahe oder vollkommen gerade. Es ist möglich, dasz etwas Licht vom Boden aufwärts zurückgeworfen und in die Basen dieser 7 Röhren eingedrungen sein konnte, da die Sonne hell schien, obschon Stücke geschwärtzten Papiers auf den Boden rings um sie herum gelegt worden waren. Nichtsdestoweniger boten die 7 Cotyledonen, welche unbedeutend gebogen waren, zusammen mit den 7 aufrechten einen äusserst merkwürdigen Contrast zu den vielen andern Sämlingen in den nämlichen Töpfen dar, mit welchen nichts gemacht worden war. Die geschwärtzten Röhren wurden dann von 10 dieser Sämlinge entfernt und es wurden dieselben nun 8 Stunden lang dem Lichte vor einer Lampe ausgesetzt: 9 von ihnen wurden bedeutend und 1 mäszig nach dem Lichte hin gebeugt; und dies bewies, dasz das vorherige Fehlen irgend welcher Krümmung in dem basalen Theile oder das Auftreten eines nur unbedeutenden Grades von Krümmung desselben eine Folge des Ausschlusses des Lichtes vom oberen Theile war.

Ähnliche Beobachtungen wurden an 12 jüngeren Cotyledonen gemacht, deren obere Hälften in mit schwarzem Firnisz überzogene Glasröhren eingeschlossen wurden und deren untere Hälften dem hellen Sonnenscheine voll ausgesetzt wurden. Bei diesen jüngeren Sämlingen scheint sich die sensitive Zone eher noch etwas weiter hinab zu erstrecken, wie bei einigen andern Gelegenheiten beobachtet wurde, denn zwei wurden fast ebenso bedeutend nach dem Lichte hin gebogen, wie die freien Sämlinge, und die übrigen zehn waren unbedeutend gekrümmt, obgleich der basale Theil

von mehreren unter ihnen, welcher unter normalen Verhältnissen stärker gekrümmt wird, als irgend ein anderer Theil, kaum irgend eine Spur von Krümmung darbot. Diese 12 Sämlinge zusammen genommen wichen im Grade ihrer Krümmung bedeutend von allen den vielen andern Sämlingen in den nämlichen Töpfen ab.

Bessere Beweise für die Wirksamkeit der geschwärzten Röhren boten beiläufig einige andere später mitzutheilende Versuche dar, in denen die oberen Hälften von 14 Cotyledonen in Röhren eingeschlossen wurden, an denen ein äusserst schmaler Streifen des schwarzen Lacküberzugs abgekratzt worden war. Diese aufgehellten Streifen wurden nicht nach dem Fenster, sondern schräg nach einer Seite des Zimmers hin gerichtet, so dass nur eine sehr geringe Menge Licht auf die oberen Hälften der Cotyledonen wirken konnte. Diese 14 Sämlinge blieben acht Stunden lang, während welcher sie an einem nebligen Tage an einem Südwest-Fenster dem Lichte ausgesetzt waren, vollkommen gerade, während alle die vielen andern freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen bedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt wurden.

Wir wollen uns nun zu den Versuchen mit aus sehr dünnem Stanniol angefertigten Kappen wenden. Dieselben wurden zu verschiedenen Zeiten auf die Spitzen von 24 Cotyledonen gebracht und sie reichten auf eine Länge von zwischen 0.15 und 0.2 Zoll hinab. Die Sämlinge wurden einem seitlichen Lichte in Perioden, welche zwischen 6 Stunden 30 Minuten und 7 Stunden 45 Minuten variierten, ausgesetzt, eine Dauer, welche hinreichend war, alle die andern Sämlinge in den nämlichen Töpfen zu veranlassen, sich beinahe rechtwinklig nach dem Lichte hin zu biegen. Sie waren in der Höhe verschieden, von nur 0.04 bis zu 1.15 Zoll, die grössere Zahl war aber ungefähr 0.75 Zoll hoch. Von den 24 Cotyledonen, deren Spitzen in dieser Weise geschützt waren, wurden 3 bedeutend gebogen, aber nicht in der Richtung des Lichts, und da sie sich während der folgenden Nacht nicht durch Apogeotropismus gerade streckten, waren entweder die Kappen zu schwer, oder die Pflanzen selbst waren schwächlich; diese drei Fälle können daher ausgeschlossen werden. Es bleiben nun 21 Cotyledonen zu betrachten; von diesen blieben 17 die ganze Zeit vollkommen aufrecht; die andern 4 wurden unbedeutend nach dem Lichte hin geneigt, aber nicht in einem Grade, der mit dem vergleichbar gewesen wäre; den die vielen freien Sämlinge in den nämlichen Töpfen darboten. Da die Glasröhren, wenn sie nicht geschwärzt sind, es nicht verhindern, dass die Cotyledonen stark gebogen werden, so kann nicht angenommen werden, dass die Kappen von sehr dünnem Stanniol dies thäten, ausgenommen durch den Ausschluss des Lichts. Um nachzuweisen, dass die Pflanzen nicht verletzt worden waren, wurden die Kappen von 6 der aufrechten Sämlinge entfernt, und diese wurden nun vor einer Paraffin-Lampe während einer gleich langen Zeit wie vorher dem Lichte ausgesetzt, und jetzt wurden sie alle bedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt.

Da hiermit bewiesen war, dass Kappen von zwischen 0.15 und 0.2 Zoll Tiefe in hohem Grade wirksam sind, es zu verhindern, dass die Cotyledonen sich nach dem Lichte hin biegen, wurden 8 andere Cotyledonen mit Kappen von nur zwischen 0.06 und 0.12 Zoll Tiefe geschützt. Von diesen blieben 2 senkrecht, einer wurde beträchtlich und fünf

unbedeutend nach dem Lichte gekrümmt, aber weit weniger so, als die freien Sämlinge in den nämlichen Töpfen.

Ein anderer Versuch wurde noch in einer verschiedenen Art angestellt, nämlich so, dasz der obere Theil, aber nicht die factische Spitze von acht mäszig jungen Sämlingen von wenig über einen Zoll Höhe, mit Streifen von Stanniol von ungefähr 0.2 Zoll Breite umbunden wurde. Die Spitzen und die basalen Theile wurden auf diese Weise während 8 Stunden einem seitlichen Lichte vollständig exponirt gelassen, während eine obere intermediäre Zone geschützt war. Bei vier von diesen Sämlingen waren die Spitzen in einer Länge von 0.05 Zoll ausgesetzt und bei zwei von ihnen wurde dieser Theil nach dem Lichte hin gekrümmt, aber der ganze untere Theil blieb vollständig aufrecht; während die anderen zwei Sämlinge in ihrer ganzen Länge unbedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt wurden. Die Spitzen der vier anderen Sämlingen wurde auf eine Länge von 0.04 Zoll dem Lichte exponirt, und von diesen blieb einer beinahe aufrecht, während die andern drei beträchtlich nach dem Lichte hin gekrümmt wurden. Die vielen freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen waren sämmtlich bedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt.

Aus diesen verschiedenen Versuchsreihen, mit Einschluß derer mit den Glasröhren und derjenigen, wo die Spitzen abgeschnitten wurden, können wir schlieszen, dasz der Ausschluss des Lichts von dem oberen Theile der Cotyledonen von *Phalaris* den unteren Theil, auch wenn derselbe vollständig einem seitlichen Lichte ausgesetzt ist, verhindert sich zu krümmen. Die Spitze hat, obgleich sie selbst empfindlich ist und sich nach dem Lichte hin krümmt, nur eine unbedeutende Kraft, den unteren Theil zum Biegen zu veranlassen. Auch hat der Abschluss des Lichts von der Spitze in einer Längenausdehnung von 0.1 Zoll keinen starken Einfluss auf die Krümmung des unteren Theils. Andererseits verhindert es der Abschluss des Lichts von der Spitze in einer Längenausdehnung von zwischen 0.15 und 0.2 Zoll oder von der ganzen oberen Hälfte deutlich, dasz der untere und vollständig beleuchtete Theil in der Art und Weise (s. Fig. 181) sich krümmt, welche ausnahmslos eintritt, wenn ein freigelassener Cotyledon einem seitlichen Lichte ausgesetzt wird. Bei sehr jungen Sämlingen scheint sich die empfindliche Zone etwas weiter hinab zu erstrecken, im Verhältnis zu ihrer Höhe, als bei älteren Sämlingen. Wir müssen daher folgern, dasz, wenn Sämlinge einem seitlichen Lichte frei ausgesetzt sind, ein gewisser Einfluss vom oberen Theil nach dem unteren hingeleitet wird, welcher die Ursache ist, dasz sich der letztere biegt.

Diese Folgerung wird noch durch das unterstützt, was man in kleinem Maszstabe, besonders bei jungen Cotyledonen, ohne künstlichen Abschluss des Lichts eintreten sehen kann; denn sie biegen sich unter der Erde, wohin kein Licht eindringen kann. Samen von *Phalaris* wurden mit einer Schicht sehr feinen Sandes, welcher aus äusserst minutiösen, von einem Überzuge von Eisenoxyd bedeckten Kieselkörnchen bestand, von einem Viertel Zoll Dicke bedeckt. Eine Schicht von diesem Sande, in demselben Grade befeuchtet wie diejenige über den Samen, wurde auf einer Glasplatte ausgebreitet; als die Schicht eine Dicke von 0.05 Zoll hatte (sorgfältig gemessen), konnte man kein Licht von einem hellen Himmel sie durchdringen sehen, wenn man sie nicht durch ein langes geschwärztes Rohr betrachtete;

dann liesz sich wohl eine Spur von Licht entdecken, aber wahrscheinlich viel zu wenig um irgend eine Pflanze afficiren zu können. Eine Schicht von 0.1 Zoll Dicke war für das Licht vollständig undurchgängig, nach dem Versuch mit dem geschwärzten Rohr zu urtheilen. Es dürfte der Erwähnung werth sein, dasz die Schicht, auch wenn sie getrocknet war, gleichfalls für das Licht undurchgängig war. Dieser Sand gab, so lange er feucht gehalten wurde, sehr geringem Drucke nach und in diesem Zustande zog er sich auch nicht im geringsten zusammen und erhielt keine Spalten. In einem ersten Versuche wurden Cotyledonen, welche bis zu einer mäsigen Höhe herangewachsen waren, 8 Stunden lang dem Lichte vor einer Paraffin-Lampe ausgesetzt, und sie wurden bedeutend gebogen. An ihren Basen bildeten sich auf der beschatteten Seite, dem Lichte entgegengesetzt, gut bestimmte, halbmondförmige offene Furchen, welche (unter dem Microscop mit einem Micrometer gemessen) eine Breite von 0.02 bis 0.03 Zoll hatten, und diese waren offenbar durch die Biegung der eingegrabenen Basen der Cotyledonen nach dem Lichte hin gebildet worden. Auf der Seite des Lichts waren die Cotyledonen in dichter Berührung mit dem Sande, welcher sehr wenig aufgehäuft war. Durch Entfernung des Sandes auf einer Seite der Cotyledonen in der Richtung des Lichts mit einem scharfen Messer fand sich, dasz die gebogene Partie und die offenen Furchen sich bis zu einer Tiefe von ungefähr 0.1 Zoll, bis wohin kein Licht dringen konnte, erstreckten. Die Sehnen der kurzen eingegrabenen Bogen bildeten in vier Fällen Winkel von 11° , 13° , 15° und 18° mit der Senkrechten. Am folgenden Morgen hatten sich diese kurzen gebogenen Partien durch Apogeotropismus gerade gestreckt.

In dem nächsten Versuche wurden viel jüngere Cotyledonen ähnlich behandelt, aber einem verhältnismäszig schwachen seitlichen Lichte ausgesetzt. Nach einigen Stunden war an einem gebogenen Cotyledon von 0.3 Zoll Höhe an der beschatteten Seite eine offene Furche von 0.04 Zoll Breite; ein anderer Cotyledon von nur 0.13 Zoll Höhe hatte eine Furche von 0.02 Zoll Breite hinterlassen. Aber den merkwürdigsten Fall bot ein Cotyledon dar, welcher eben über die Erde hervorgetreten war und nur 0.03 Zoll in der Höhe masz; und es fand sich, dasz er in der Richtung des Lichts bis zu einer Tiefe von 0.2 Zoll unter der Oberfläche gebogen war. Nach dem, was wir von der Undurchgängigkeit dieses Sandes für Licht wissen, musz der obere beleuchtete Theil in diesen verschiedenen Fällen die Krümmung der unteren eingegrabenen Partien bestimmt haben. Man könnte hier aber eine scheinbare Veranlassung zu zweifeln vermuthen: da die Cotyledonen in beständiger Circumnutation sind, bestreben sie sich eine minutiöse Furche oder Spalte rings um ihre Basis zu bilden, welche von allen Seiten ein wenig Licht zulassen würde; dies würde aber nicht eintreten, wenn sie von der Seite beleuchtet werden, denn wir wissen, dasz sie sich schnell nach einem seitlichen Lichte hin biegen und sie drücken dann so fest gegen den Sand auf der beleuchteten Seite, dasz sie ihn furchen, und dies würde das Licht auf dieser Seite wirksam abschlieszen. Irgend ein auf der entgegengesetzten und beschatteten Seite, wo eine offene Furche gebildet ist, eintretendes Licht, würde dahin streben, der Krümmung nach der Lampe oder nach irgend einer anderen Lichtquelle hin entgegenzuwirken. Es mag noch hinzugefügt werden, dasz die Anwendung feinen

feuchten Sandes, welcher dem Drucke leicht nachgibt, in den obigen Versuchen unumgänglich war; denn in gewöhnlicher nicht besonders feucht gehaltener Erde erzogene Sämlinge, welche 9 Stunden 30 Minuten lang einem starken seitlichen Lichte ausgesetzt waren, bildeten keine offene Furche an ihren Basen auf der beschatteten Seite und waren unter der Oberfläche nicht gebogen.

Vielleicht der allerauffallendste Beweis für die Einwirkung des oberen auf den unteren Theil der Cotyledonen von *Phalaris*, wenn dieselbe von der Seite beleuchtet worden, wurde in den Versuchen erhalten, wo die (vorhin erwähnten) Glasröhren angewandt wurden, an welchen schmale Streifen auf einer Seite abgekratzt waren, durch welche das Licht eingelassen wurde. Die Breite dieser Streifen oder Spalten variierte zwischen 0.01 und 0.02 Zoll (0.25 und 0.51 mm). Es wurde die obere Hälfte von Cotyledonen in solche Röhren gesteckt und sie dann an einem Südwest-Fenster in eine solche Stellung gebracht, dass die fein gekratzten Streifen nicht direct nach dem Fenster gerichtet waren, sondern schräg nach einer Seite. Die Sämlinge wurden 8 Stunden dem Lichte ausgesetzt gelassen, und vor dem Ablauf dieser Zeit waren die vielen freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen bedeutend nach dem Fenster hingebogen. Unter diesen Umständen waren die unteren Hälften der Cotyledonen, deren Gipfel in den Röhren eingeschlossen waren, dem Lichte des Himmels völlig ausgesetzt, während ihre oberen Hälften ausschliesslich oder hauptsächlich diffuses Licht vom Zimmer her erhielten und dies auch nur durch einen sehr schmalen Spalt auf einer Seite. Wenn nun die Krümmung des unteren Theils durch die Beleuchtung dieses Theils bestimmt worden wäre, so würden zuversichtlich sämtliche Cotyledonen nach dem Fenster hin gekrümmt worden sein; dies war aber bei weitem nicht der Fall. Es wurden Röhren der eben beschriebenen Art bei mehreren Gelegenheiten über die oberen Hälften von 27 Cotyledonen gethan; 14 von ihnen blieben die ganze Zeit hindurch senkrecht, dasz nicht genügendes diffuses Licht durch die schmalen Spalten eindrang, irgend eine Wirkung hervorzubringen; sie benahmen sich in derselben Weise, als wenn ihre oberen Hälften in vollständig geschwärzte Röhren eingeschlossen gewesen wären. Die unteren Hälften der 13 anderen Cotyledonen wurden nicht direct in der Richtung des Fensters gebogen, sondern schräg zu ihm; eine wies in einen Winkel von nur 18° , aber die übrigen 12 unter Winkeln, die zwischen 45° und 62° schwankten, von der Richtung des Fensters. Beim Beginn unserer Versuche waren Nadeln in der Richtung auf die Erde gelegt worden, in welcher die Spalten im Lacküberzuge wiesen, und nur in dieser Richtung drang eine kleine Lichtmenge ein. Beim Schlusse unserer Experimente wiesen 7 von den gebogenen Cotyledonen genau in der Richtung der Nadeln, und 6 in einer Richtung, welche zwischen der des Fensters und der Nadeln mitten inne lag. Diese mittlere Stellung ist verständlich; denn irgend welches Licht vom Himmel, welches schräg durch die Spalten drang, würde bei weitem wirksamer sein als das diffuse Licht, welches direct durch sie eintrat. Nachdem die Cotyledonen 8 Stunden dem Lichte ausgesetzt gewesen waren, war der Contrast im äusseren Ansehen zwischen diesen 13 Cotyledonen und den vielen andern Sämlingen in den nämlichen Töpfen, welche sämmtlich (ausgenommen die oben

erwähnten 14 senkrecht gebliebenen) bedeutend in geraden und parallelen Linien nach dem Fenster hin gebogen waren, äusserst merkwürdig. Es ist daher sicher, dass ein wenig schwaches Licht, welches die oberen Hälften der Cotyledonen von *Phalaris* trifft, viel wirksamer ist, die Richtung der Krümmung der unteren Hälften zu bestimmen, als die volle Beleuchtung der letzteren während der ganzen Zeit, in welcher sie dem Lichte ausgesetzt sind.

Zur Bestätigung der obigen Resultate ist es vielleicht der Mühe werth, die Resultate mitzutheilen, welche das Auftragen einer dicken Schicht von Tusche auf eine Seite des oberen Theils dreier Cotyledonen von *Phalaris* in einer Länge von 0.2 Zoll von der Spitze aus bewirkte. Dieselben wurden so gestellt, dass die nicht bemalte Fläche nicht nach dem Fenster hin, sondern ein wenig nach einer Seite gerichtet war; und sie wurden sämmtlich nach der nicht bemalten Seite hin und von der Richtung des Fensters weg gekrümmt, und zwar unter Winkeln, welche bis zu 31° , 35° und 83° betragen. Die Krümmung in dieser Richtung erstreckte sich bis zu ihrer Basis hinab, obgleich der ganze untere Theil dem Lichte vom Fenster her vollständig ausgesetzt war.

Obgleich endlich daran nicht gezweifelt werden kann, dass die Beleuchtung des oberen Theils der Cotyledonen von *Phalaris* das Vermögen und die Art und Weise, sich im unteren Theile zu biegen bedeutend afficirt, so scheinen einige Beobachtungen es doch wahrscheinlich zu machen, dass die gleichzeitige Reizung des unteren Theils durch das Licht dessen gut ausgesprochene Krümmung bedeutend begünstigt, oder zu einer solchen beinahe nothwendig ist; unsere Versuche waren aber nicht beweisend in Folge der Schwierigkeit das Licht von den unteren Hälften abzuhalten ohne mechanisch ihre Krümmung zu verhindern.

Avena sativa. — Die Cotyledonen dieser Pflanze werden schnell nach einem seitlichen Lichte hin gebogen, genau so wie diejenigen von *Phalaris*. Es wurden Versuche angestellt, welche den vorstehend erwähnten ähnlich waren, und wir wollen die Resultate so kurz wie möglich mittheilen. Sie sind etwas weniger entscheidend als die an *Phalaris* angestellten; dies kann möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die empfindliche Zone bei einer so lange cultivirten und so variablen Species wie dem gemeinen Hafer in ihrer Längenausdehnung variirt. Es wurden Cotyledonen zum Versuche ausgewählt, welche ein wenig unter drei Viertel Zoll hoch waren; bei sechs von ihnen wurden die Spitzen durch Kappen von Stanniol, von 0.25 Zoll Tiefe, und zwei von ihnen von 0.3 Zoll Tiefe gegen das Licht geschützt. Von diesen 8 Cotyledonen blieben fünf aufrecht als sie 8 Stunden lang dem Lichte ausgesetzt wurden, obgleich ihr unterer Theil die ganze Zeit hindurch dem Lichte vollständig ausgesetzt war; zwei wurden sehr unbedeutend und einer beträchtlich nach ihm hin gebogen. Kappen von nur 0.2 oder 0.22 Zoll Tiefe wurden über 4 andere Cotyledonen gethan, und nun blieb nur einer aufrecht, einer wurde unbedeutend und zwei andere beträchtlich nach dem Lichte hin gebogen. In diesem Falle und den folgenden wurden die sämmtlichen frei gelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen bedeutend nach dem Lichte hingebogen.

Unsere nächsten Versuche wurden mit kurzen Stückchen dünner und ziemlich durchscheinender Federspulen angestellt; denn Glasröhren von

genügendem Durchmesser, um über die Cotyledonen zu gehen, würden zu schwer gewesen sein. Erstens wurden die Spitzen von 13 Cotyledonen in nicht bemalte Spulen eingeschlossen, und von diesen wurden 11 bedeutend und 2 unbedeutend nach dem Lichte hin gebogen, so dasz der bloße Act des Einschließens es nicht verhinderte, dasz der untere Theil gebogen wurde. Zweitens wurden die Spitzen von 11 Cotyledonen in 0.3 Zoll lange Spulenstückchen eingeschlossen, welche so angestrichen waren, dasz sie für Licht undurchgängig waren; von diesen wurden 7 durchaus gar nicht nach dem Lichte hin geneigt, aber 3 wurden unbedeutend und mehr oder weniger quer in Bezug auf die Richtung des Lichts gebogen, und diese hätten vielleicht ganz und gar ausgeschlossen werden können, nur einer wurde unbedeutend nach dem Lichte hin gebogen. Angestrichene Spulenstückchen von 0.25 Zoll Länge wurden über die Spitzen von 4 anderen Cotyledonen gethan; von diesen blieb nur ein einziger aufrecht, ein zweiter wurde unbedeutend gebogen und die zwei andern wurden so bedeutend nach dem Lichte hin gebogen, wie die freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen. In Anbetracht des Umstandes, dasz die Kappen eine Länge von 0.25 Zoll hatten, sind diese zwei letzteren Fälle unerklärlich.

Endlich wurden die Spitzen von 8 Cotyledonen mit biegsamen und in hohem Grade durchsichtigen Goldschlägerhäutchen bedeckt, und sie wurden sämmtlich so stark gegen das Licht gebogen wie die freigelassenen Sämlinge. Die Spitzen von 9 anderen Cotyledonen wurden in ähnlicher Weise mit Goldschlägerhäutchen bedeckt, welches bis zu einer Tiefe von zwischen 0.25 und 0.3 Zoll so angestrichen war, dasz es für das Licht undurchgängig war; von diesen blieben 5 aufrecht und 4 wurden gut nach dem Lichte hin gebogen, beinahe oder vollständig so gut wie die freigelassenen Sämlinge. Diese letzteren vier Fälle bieten ebenso wie die zwei im letzten Absatze erwähnten eine auffallende Ausnahme von der Regel dar, dasz die Beleuchtung des oberen Theils die Krümmung des unteren Theils bestimmt. Nichtsdestoweniger blieben 5 von diesen 8 Cotyledonen aufrecht, obschon ihre unteren Hälften die ganze Zeit hindurch vollständig beleuchtet wurden; es wäre beinahe ein Wunder fünf freigelassene Sämlinge zu finden, welche, nachdem sie mehrere Stunden einem seitlichen Lichte ausgesetzt gewesen wären, aufrecht ständen.

Die Cotyledonen von *Avena* lassen gleich denen von *Phalaris*, wenn sie in weichem, feuchtem, feinem Sande wachsen, eine offene halbmondförmige Furche auf der beschatteten Seite zurück, nachdem sie sich gegen ein seitliches Licht hingebogen haben; sie werden auch unter der Oberfläche bis zu einer Tiefe hinab gebogen, bis zu welcher, wie wir wissen, das Licht nicht eindringen kann. Die Sehnen der Bogen der eingegrabenen Theile bildeten in zwei Fällen Winkel von 20° und 21° mit der Senkrechten. Die offenen Furchen auf der beschatteten Seite waren in vier Fällen 0.008, 0.016, 0.024 und 0.024 Zoll breit.

Brassica oleracea (Gewöhnlicher Rothkohl). — Es wird hier gezeigt werden, dasz die obere Hälfte des Hypocotyls des Kohls, wenn er durch ein seitliches Licht beleuchtet wird, die Krümmung der unteren Hälfte bestimmt. Es ist nothwendig, die Versuche an jungen Sämlingen von ungefähr einem halben Zoll oder noch etwas weniger Höhe anzustellen,

denn wenn sie bis zu einem Zoll und darüber gewachsen sind, hört der basale Theil auf sich zu biegen. Wir machten zuerst die Versuche so, dasz wir die Hypocotyle mit Tusche färbten oder ihre Spitzen in verschiedener Längenausdehnung abschnitten; es ist aber nicht der Mühe werth, diese Versuche mitzuthellen, obschon sie, soweit man sich auf sie verlassen kann, die folgenden bestätigen. Diese wurden so angestellt, dasz Goldschlägerhäutchen einmal rund um die obere Hälfte junger Hypocotyle gefaltet und dick mit Tusche oder mit dem schwarzen Ölgemisch bestrichen wurde. Als ein Controlversuch wurde dasselbe durchscheinende Häutchen, aber unbemalt gelassen, rund um die obere Hälfte von 12 Hypocotylen gefaltet; diese wurden sämmtlich bedeutend nach dem Lichte hin gekrümmt, mit Ausnahme eines, welches nur mäßig gekrümmt wurde. An zwanzig andern jungen Hypocotylen wurde das Häutchen rund um ihre obere Hälfte bestrichen, während die untere Hälfte völlig unbedeckt gelassen wurde. Diese Sämlinge wurden dann, meistens auf eine Zeit von zwischen 7 und 8 Stunden in einem innen geschwärzten und vorne offenen Kasten entweder vor einem Südwest-Fenster oder einer Paraffin-Lampe dem Lichte ausgesetzt. Diese Zeit, während welcher sie dem Lichte ausgesetzt wurden, war reichlich genügend, wie sich in dem stark ausgesprochenen Heliotropismus der sämmtlichen freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen zeigte; nichtsdestoweniger wurden einige dem Lichte für viel längere Zeit ausgesetzt gelassen. Von den 20 so behandelten Hypocotylen blieben 14 vollkommen aufrecht und 6 wurden unbedeutend nach dem Lichte hin gebogen; aber 2 von diesen letzteren Fällen waren nicht wirklich Ausnahmen; denn als das Häutchen entfernt wurde, fand sich, dasz der Farbüberzug unvollkommen und von vielen kleinen durchscheinenden Stellen auf der Seite durchbohrt war, von welcher her das Licht eintrat. Überdies erstreckte sich in zwei andern Fällen das bestrichene Häutchen nicht völlig halbwegs am Hypocotyl hinab. Im Ganzen bestand ein wunderbarer Contrast in den verschiedenen Töpfen zwischen diesen 20 Hypocotylen und den vielen anderen freigelassenen Sämlingen, welche sämmtlich in der Richtung des Lichts bedeutend nach ihren Basen zu niedergebeugt waren; einige waren beinahe ganz auf den Boden niedergestreckt.

Der erfolgreichste Versuch an irgend einem Tage (in den obigen Resultaten eingeschlossen) ist der Beschreibung im Einzelnen werth. Es wurden 6 junge Sämlinge ausgewählt, deren Hypocotyle nahezu 0.45 Zoll an Höhe maszen, mit Ausnahme eines, welcher 0.6 Zoll hoch war, von der Basis ihrer Blattstiele bis auf die Erde gemessen. Ihre oberen Hälften, so genau als mit bloßem Auge ausgeführt werden konnten, wurden einmal rund um mit Goldschlägerhäutchen umhüllt und dies wurde dick mit Tusche bemalt. Dieselben wurden in einem übrigens verdunkelten Zimmer vor einer hellen Paraffin-Lampe, welche in einer Höhe mit den zwei die Sämlinge enthaltenden Töpfen stand, dem Lichte ausgesetzt. Zuerst wurde nach Verlauf von 5 Stunden 10 Minuten nach ihnen gesehen; fünf von den gegen das Licht geschützten Hypocotylen wurden vollkommen aufrecht gefunden, der sechste war sehr unbedeutend nach dem Lichte hin geneigt; während alle die vielen frei gelassenen Sämlinge in den nämlichen zwei Töpfen bedeutend nach dem Lichte hin gebogen waren. Nachdem sie fortdauernd

20 Stunden 35 Minuten dem Lichte ausgesetzt gewesen waren, wurden sie wiederum untersucht, und nun war der Contrast zwischen den beiden Sätzen wunderbar gross, denn an den freigelassenen Sämlingen waren die Hypocotyle beinahe horizontal in der Richtung des Lichts ausgestreckt und abwärts nach dem Boden gebogen, während diejenigen, deren obere Hälften durch das bestrichene Häutchen gegen das Licht geschützt, deren untere Hälfte aber vollständig dem Licht ausgesetzt war, noch immer vollständig aufrecht waren, mit Ausnahme des einen, welcher die nämliche unbedeutende Neigung nach dem Lichte hin beibehalten hatte, welche er schon vorher zeigte. Es ergab sich, dass dieser letzte Sämling verhältnismässig schlecht bemalt worden war; denn auf der nach dem Lichte hinsehenden Seite war die rothe Farbe der Hypocotyle durch die Farbschicht hindurch zu unterscheiden.

Wir stellten dann Versuche mit neun älteren Sämlingen an, deren Hypocotyle in der Höhe zwischen 1 und 1.6 Zoll schwankten. Das Goldschlägerhäutchen rings um ihre oberen Theile wurde bis zu einer Tiefe von nur 0.3 Zoll, d. h. weniger als ein Drittel bis zu einem Viertel oder Fünftel ihrer Totalhöhe mit dem schwarzen Ölgemisch bestrichen. Sie wurden 7 Stunden 15 Minuten lang dem Lichte ausgesetzt; und das Resultat ergab, dass die sensitive Zone, welche die Krümmung des unteren Theils bestimmt, nicht in der ganzen Ausdehnung gegen die Wirkung des Lichts geschützt war; denn sie wurden alle 9 nach ihm hingebogen, 4 von ihnen sehr unbedeutend, 3 mässig und 2 beinahe so bedeutend wie die nicht geschützten Sämlinge. Nichtsdestoweniger wichen die sämtlichen 9 zusammengenommen in dem Grade ihrer Krümmung deutlich von den vielen frei gelassenen Sämlingen ab, ebenso wie von einigen, welche in nicht bemaltes Häutchen eingeschlagen waren und welche in den nämlichen zwei Töpfen wuchsen.

Es wurden Samen mit einer ungefähr einen Viertel Zoll hohen Schicht des bei *Phalaris* beschriebenen feinen Sandes bedeckt; und als die Hypocotyle bis zu einer Höhe von zwischen 0.4 und 0.55 Zoll herangewachsen waren, wurden sie 9 Stunden lang dem Lichte vor einer Paraffin-Lampe ausgesetzt, nachdem zuerst ihre Basen dicht mit dem feuchten Sande umgeben worden waren. Sie wurden sämtlich nach dem Boden hin gebogen, so dass ihre oberen Theile der Oberfläche des Bodens nahe oder beinahe parallel mit ihr lagen. Auf der Seite des Lichts waren ihre Basen mit dem Sande, welcher hier ein wenig aufgehäuft war, in dichter Berührung; auf der entgegengesetzten Seite fanden sich offene, halbmondförmige Risse oder Furchen, etwas über 0.01 Zoll weit; sie waren aber nicht so scharf und regelmässig wie die von *Phalaris* und *Avena* gemachten, konnten daher auch nicht so leicht unter dem Microscope gemessen werden. Es ergab sich, als der Sand auf der einen Seite entfernt wurde, dass die Hypocotyle unter der Oberfläche bis zu einer Tiefe von, in drei Fällen, mindestens 0.1 Zoll, in einem vierten von 0.11 und in einem fünften von 0.15 Zoll gekrümmt waren. Die Sehnen der Bogen der kurzen, eingegrabenen, gebogenen Partien bildeten Winkel von 11° bis 15° mit der Senkrechten. Nach dem, was wir in Bezug auf die Undurchdringlichkeit dieses Sandes für das Licht gesehen haben, erstreckte sich die Krümmung der Hypocotyle sicherlich bis zu einer Tiefe, bis zu welcher kein Licht eindringen

konnte; die Krümmung musz daher durch einen Einfluss verursacht worden sein, welcher von dem oberen beleuchteten Theil fortgeleitet worden war.

Die unteren Hälften fünf junger Hypocotyle wurden mit nicht gefärbten Goldschlägerhäutchen umgeben, und nachdem sie 8 Stunden lang vor einer Paraffin-Lampe dem Lichte ausgesetzt worden waren, waren sie sämmtlich so stark nach dem Lichte hin gebogen wie die freigelassenen Sämlinge. Die unteren Hälften von 10 andern jungen Hypocotylen wurden ähnlich mit Goldschlägerhäutchen umgeben, dieses aber dick mit Tusche bestrichen; ihre oberen und nicht beschützten Hälften wurden ordentlich nach dem Lichte gekrümmt, aber ihre unteren und gegen das Licht geschützten Hälften blieben in allen Fällen mit Ausnahme eines senkrecht, und an diesem war die Farbschicht unvollkommen. Dies Resultat scheint zu beweisen, dasz der vom oberen Theile aus übergeleitete Einfluss nicht hinreicht, die Biegung des unteren Theils zu verursachen, wenn er nicht in der nämlichen Zeit beleuchtet wird; es bleibt aber, wie in dem Falle bei *Phalaris*, der Zweifel übrig, ob nicht das mit einer verhältnismäszig dicken Schicht trockener Tusche bedeckte Goldschlägerhäutchen mechanisch die Krümmung verhinderte.

Beta vulgaris. — Einige wenige analoge Experimente wurden an dieser Pflanze angestellt, welche für diesen Zweck nicht sehr gut angepasst ist, da der basale Theil des Hypocotyls, nachdem er bis zu einer Höhe von über einem halben Zoll gewachsen ist, sich nicht bedeutend biegt, wenn er einem seitlichen Lichte ausgesetzt wird. Vier Hypocotyle wurden dicht unter den Blattstielen mit Streifen dünnen Stanniols von 0.2 Zoll Breite umgeben und sie blieben den ganzen Tag vor einer Paraffin-Lampe aufrecht; zwei andere wurden mit Streifen von 0.15 Zoll Breite umgeben und einer von diesen blieb aufrecht, während der andere gebogen wurde; der Verband war in zwei anderen Fällen nur 0.1 Zoll breit, und diese beiden Hypocotyle wurden nach dem Lichte hin gebogen, obschon der eine nur unbedeutend. Die frei gelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen wurden sämmtlich ziemlich ordentlich nach dem Lichte hin gebogen und wurden während der folgenden Nacht nahezu aufrecht. Die Töpfe wurden nun herumgedreht und an ein Fenster gestellt, so dasz die entgegengesetzten Seiten der Sämlinge dem Lichte ausgesetzt wurden, nach welchem hin im Verlauf von 7 Stunden die sämmtlichen nicht gegen das Licht geschützten Hypocotyle gebogen wurden. Sieben unter den 8 Hypocotylen, welche Verbände von Stanniol trugen, blieben aufrecht, einer aber, welcher einen Verband von nur 0.1 Zoll Breite trug, wurde nach dem Lichte hin gekrümmt. Bei einer andern Gelegenheit wurden die oberen Hälften von 7 Hypocotylen mit bemalten Goldschlägerhäutchen umgeben; von diesen blieben 4 aufrecht und 3 wurden ein wenig nach dem Lichte gekrümmt; in derselben Zeit wurden 4 andere Sämlinge, welche mit nicht bemalten Goldschlägerhäutchen umgeben waren, ebenso wie die freigelassenen in den nämlichen Töpfen, sämmtlich gegen die Lampe hin gebogen, vor welcher sie 22 Stunden lang dem Lichte ausgesetzt waren.

Würzelchen von *Sinapis alba*. — Die Würzelchen einiger Pflanzen sind, so weit eine Krümmung in Betracht kommt, gegen die Ein-

wirkung des Lichts indifferent, während andere sich nach ihm hin, andere von ihm weg biegen⁶. Ob diese Bewegungen für die Pflanze von irgend welchem Nutzen sind, ist sehr zweifelhaft, wenigstens was die unterirdischen Wurzeln betrifft; sie sind wahrscheinlich das Resultat davon, dass die Würzelchen für Berührung, für Feuchtigkeit und die Gravitation, und als Folge hiervon auch für andere Reizmittel empfindlich sind, welche im Naturzustande niemals von ihnen beegnet werden. Wenn die Würzelchen von *Sinapis alba* in Wasser eingetaucht und einem seitlichen Lichte ausgesetzt werden, biegen sie sich von ihm ab oder sind apheliotropisch. Sie werden in einer Längenausdehnung von ungefähr 4 mm von den Spitzen aus gebogen. Um zu ermitteln, ob diese Bewegung allgemein eintritt, wurden 41 Würzelchen, welche in feuchten Sägespähnen gekeimt hatten, in Wasser getaucht und einem seitlichen Lichte ausgesetzt, und sie wurden sämmtlich, mit zwei zweifelhaften Ausnahmen, vom Lichte abgekrümmt. Zu derselben Zeit wurden die Spitzen von 54 anderen Würzelchen, welche in ähnlicher Weise dem Lichte ausgesetzt wurden, oben mit Höllenstein berührt. Sie wurden in einer Länge von zwischen 0.05 und 0.07 mm geschwärzt und wahrscheinlich getödtet; es ist aber zu bemerken, dass dies, wenn überhaupt, doch das Wachsthum des oberen Theils nicht wesentlich hemmte, denn mehrere, welche gemessen wurden, nahmen im Verlaufe von nur 8—9 Stunden um 5—7 mm an Länge zu. Von den 54 cauterisirten Würzelchen war ein Fall zweifelhaft, 25 krümmten sich in der normalen Art und Weise vom Lichte ab und 28, oder mehr als die Hälfte, waren nicht im mindesten apheliotropisch. In den Resultaten der Versuche, welche gegen das Ende Aprils und in der Mitte des September angestellt wurden, bestand eine beträchtliche Verschiedenheit, welche wir nicht erklären können. Fünfzehn Würzelchen (ein Theil der oben erwähnten 54) wurde zu der früheren Zeit cauterisirt und dem Sonnenschein ausgesetzt; hiervon waren 12 nicht apheliotropisch, 2 waren noch apheliotropisch und eines war zweifelhaft. Im September wurden 39 cauterisirte Würzelchen einem Lichte von Norden ausgesetzt und dabei in einer gehörigen Temperatur gehalten; und nun fuhren 23 fort, in der normalen Art apheliotropisch zu sein und nur 16 schlugen in Bezug auf ihr Abbiegen vom Lichte fehl. Betrachtet man die Resultate beider Perioden in Verbindung, so lässt sich daran nicht zweifeln, dass die Zerstörung der Spitze in einer Längenausdehnung von weniger als einem Millimeter in mehr als der Hälfte der Fälle ihr Vermögen, sich von dem Lichte abzubiegen, zerstörte. Es ist wahrscheinlich, dass, wenn die Spitzen in der Länge eines ganzen Millimeters cauterisirt worden wären, alle Zeichen von Apheliotropismus verschwunden sein würden. Man könnte vermuthen, dass, obgleich die Anwendung des Ätzmittels das Wachsthum nicht aufhebt, doch genug davon absorhirt sein dürfte, um das Bewegungsvermögen in dem oberen Theile zu zerstören; diese Vermuthung muss aber verworfen werden, denn wir haben gesehen und werden ferner noch weiter sehen, dass das Cauterisiren einer Seite der Spitze verschiedener Arten von Würzelchen factisch Bewegung anregt. Die Folgerung scheint unvermeidlich zu sein, dass Empfindlichkeit für das Licht in der Spitze des Würzelchens

⁶ Sachs, Pflanzenphysiologie, Franz. Übers. 1868, p. 44.

von *Sinapis alba* ihren Sitz hat, und dasz, wenn die Spitze in dieser Weise gereizt wird, sie einen gewissen Einflusz dem oberen Theile überliefert, welcher dadurch veranlaszt wird, sich zu biegen. Der Fall ist in dieser Beziehung demjenigen bei den Würzelchen mehrerer Pflanzen parallel, deren Spitzen für Berührung und andere Reizmittel und, wie im elften Capitel gezeigt werden wird, auch für Gravitation empfindlich sind.

Schlussbemerkungen und Zusammenfassung des Capitels.

Wir wissen nicht, ob es eine allgemeine für Pflanzensämlinge gültige Regel ist, dasz die Beleuchtung des oberen Theils die Krümmung des unteren Theils bestimmt. Da dies aber bei den vier von uns untersuchten Species eintrat, welche zu so verschiedenen Familien, wie den Gramineen, Cruciferen und Chenopodiaceen gehörten, so ist es wahrscheinlich von gewöhnlichem Vorkommen. Es kann kaum anders als für die Sämlinge von Nutzen sein, indem es sie darin unterstützt von dem vergrabenen Samenkorn den kürzesten Weg zum Lichte zu finden, beinahe nach demselben Grundsatz, nach welchem die Augen der meisten von den niederen kriechenden Thieren an den vorderen Enden ihrer Körper angebracht sind. Es ist äusserst zweifelhaft, ob bei vollständig entwickelten Pflanzen die Beleuchtung eines Theils jemals die Krümmung eines andern Theils beeinflusst. Die Spitzen 5 junger Pflanzen von *Asparagus officinalis* (welche in der Höhe zwischen 1.1 und 2.7 Zoll schwankten und aus mehreren kurzen Internodien bestanden) wurden mit Kappen von Stanniol von 0.3 bis 0.35 Zoll Tiefe bedeckt; und die unteren nicht bedeckten Theile wurden ebenso stark nach einem seitlichen Lichte hin gekrümmt, wie die freigelassenen Sämlinge in den nämlichen Töpfen. Bei anderen Sämlingen derselben Pflanze wurden die Spitzen mit Tusche bemalt, und das Resultat war das gleiche negative. Es wurden Stücke geschwärzten Papiers an die Ränder und über die Scheiben einiger Blätter an jungen Pflanzen von *Tropaeolum majus* und *Ranunculus ficaria* mit Gummi befestigt; dieselben wurden dann in einem Kasten an ein Fenster gestellt, und die Stiele der gegen das Licht geschützten Blätter wurden nach dem Lichte hin ebenso bedeutend gekrümmt wie diejenigen der nicht beschützten Blätter.

Die vorstehend erwähnten Fälle von Pflanzensämlingen sind ausführlich beschrieben worden, nicht blosz weil die Fortleitung irgend einer vom Licht ausgehenden Wirkung eine neue physiologische Thatsache ist, sondern auch weil wir glauben, dasz sie dazu veranlaszt, die

geläufigen Ansichten über heliotropische Bewegungen etwas zu modificiren. Bis vor Kurzem noch wurde angenommen, dasz derartige Bewegungen einfach das Resultat eines vermehrten Wachsthums auf der beschatteten Seite seien. Gegenwärtig wird gewöhnlich angenommen⁷, dasz vermindertes Licht die Turgescenz der Zellen oder die Ausdehnbarkeit der Zellwandungen oder beides zusammen auf der beschatteten Seite erhöht und dasz diesem dann vermehrtes Wachsthum folgt. PFEFFER hat aber gezeigt, dasz die Verschiedenheit in der Turgescenz auf den zwei Seiten eines Polsters, — d. h. eines Aggregats kleiner Zellen, welche in einem frühen Alter zu wachsen aufgehört haben, — durch eine Verschiedenheit in dem Betrage an Licht angeregt wird, welchen die beiden Seiten erhalten; und dasz in dieser Weise Bewegung verursacht wird, ohne dasz jener ein vermehrtes Wachsthum auf der stärker turgescirenden Seite folgt⁸. Alle Beobachter nehmen, wie es den Anschein hat, an, dasz das Licht direct auf den Theil wirkt, welcher sich biegt; wir haben aber bei den oben beschriebenen Sämlingen gesehen, dasz dies nicht der Fall ist. Ihre unteren Hälften wurden Stunden lang hell beleuchtet und bogen sich doch nicht im mindesten nach dem Lichte hin, ohschon dies derjenige Theil ist, welcher sich unter gewöhnlichen Umständen am meisten biegt. Es ist eine noch auffallendere Thatsache, dasz die schwache Beleuchtung eines schmalen Streifens auf einer Seite des oberen Theils der Cotyledonen von *Phalaris* die Richtung der Krümmung der unteren Hälfte bestimmte, so dasz sich dieser Theil nicht nach dem hellen Lichte hin bog, durch welches er vollständig beleuchtet worden war, sondern schräg nach einer Seite hin, von welcher nur wenig Licht eintrat. Diese Resultate scheinen das Vorhandensein irgend einer Substanz im oberen Theile vorauszusetzen, welche vom Lichte beeinflusst wird, und

⁷ Emil Godlewski hat (Botan. Zeitung, 1879, No. 6—9) eine ausgezeichnete Darstellung (p. 120) des gegenwärtigen Standes der Frage gegeben; s. auch Vines in: Arbeit. Botan. Institut Würzburg, 1878, 2. Bd., p. 114—147. Hugo de Vries hat vor Kurzem einen noch wichtigeren Artikel über diesen Gegenstand veröffentlicht; in: Botan. Zeitung, 19. Dec. und 26. Dec. 1879.

⁸ Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, 1875, p. 7, 63, 123 etc. Auch Frank hat (Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen, 1870, p. 53) die bedeutungsvolle Rolle betont, welche die Polster der Blättchen zusammengesetzter Blätter dabei spielen, die Blättchen in eine im Bezug auf das Licht gehörige Stellung zu bringen. Dies gilt auch besonders für die Blätter kletternder Pflanzen, welche in alle möglichen Arten von Stellungen gebracht worden, für die Einwirkung des Lichts schlecht angepasst.

welche ihre Einwirkungen auf den unteren Theil überleitet. Es ist gezeigt worden, dass diese Fortleitung von der Biegung des oberen empfindlichen Theils unabhängig ist. Wir haben einen analogen Fall von Fortleitung bei *Drosera*; denn wenn hier eine Drüse gereizt wird, biegt sich der basale und nicht der obere oder der dazwischenliegende Theil des Tentakels. Das biegsame und empfindliche Filament von *Dionaea* leitet gleichfalls einen Reiz weiter ohne sich selbst zu biegen, wie es auch der Stamm der *Mimosa* thut.

Das Licht übt einen mächtigen Einfluss auf die meisten Pflanzengewebe aus, und es lässt sich nicht daran zweifeln, dass es meistens dahin neigt, ihr Wachsthum zu unterbrechen. Wenn aber die beiden Seiten einer Pflanze in einem unbedeutend verschiedenen Grade beleuchtet werden, so folgt nicht nothwendig hieraus, dass die Biegung nach der stärker beleuchteten Seite hin durch Veränderungen in den Geweben von derselben Natur verursacht werden wie diejenigen, welche zu vermehrtem Wachsthum im Dunkeln führen. Wir wissen wenigstens, dass sich ein Theil vom Lichte weg biegen kann und dass trotzdem sein Wachsthum nicht durch das Licht begünstigt zu werden brauchte. Dies ist bei den Würzelchen von *Sinapis alba* der Fall, welche deutlich apheliotropisch sind; nichtsdestoweniger wachsen sie im Dunkeln schneller als im Lichte⁹. Dasselbe ist nach der Angabe von WIESNER¹⁰ bei vielen in der Luft wachsenden Wurzeln der Fall; doch gibt es andere entgegengesetzte Fälle. Es scheint daher, dass das Licht das Wachsthum apheliotropischer Theile nicht in einer gleichmässigen Weise bestimmt.

Wir müssen uns daran erinnern, dass das Vermögen sich nach dem Lichte hin zu biegen für die meisten Pflanzen in hohem Grade wohlthätig ist. Es liegt daher keine Unwahrscheinlichkeit darin, dass dies Vermögen speciell erlangt worden ist. In manchen Beziehungen scheint das Licht in nahezu derselben Art und Weise auf Pflanzen zu wirken, wie es bei Thieren mittelst des Nervensystems wirkt¹¹. Bei

⁹ Francis Darwin, über das Wachsthum negativ heliotropischer Wurzeln, in: Arbeit. Botan. Institut Würzburg, 2. Bd. 3. Heft, 1880, p. 521.

¹⁰ Sitzungsber. Kais. Acad. der Wissensch. Wien, Math.-phys. Cl., 1. Abth., 81. Bd., p. 12.

¹¹ Sachs hat einige merkwürdige Angaben in demselben Sinne in Bezug auf die verschiedenen Reize gemacht, welche Bewegung bei Pflanzen erregen; s. seinen Aufsatz „Über orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile“, in: Arbeit. Botan. Instit. Würzburg, 1879., 2. Bd., p. 282.

Sämlingen wird, wie wir so eben gesehen haben, die Wirkung von einem Theile auf einen anderen fortgeleitet. Ein Thier kann durch eine sehr geringe Menge Licht gereizt werden, sich zu bewegen; und es ist gezeigt worden, dasz eine Verschiedenheit in der Beleuchtung der zwei Seiten der Cotyledonen von *Phalaris*, welche von dem menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden konnte, doch genügte sie zum Biegen zu veranlassen. Es ist auch gezeigt worden, dasz zwischen dem Betrag an Licht, welcher auf eine Pflanze wirkt, und dem Grade ihrer Krümmung kein strenger Parallelismus besteht; in der That war es kaum möglich, irgend einen Unterschied in der Krümmung einiger Sämlinge von *Phalaris* wahrzunehmen, als dieselben einem Lichte ausgesetzt wurden, welches, obschon schwach, doch sehr viel heller war als das, welchem andere ausgesetzt waren. Nachdem die Netzhaut von einem hellen Lichte gereizt worden ist, fühlt sie die Wirkung eine Zeit lang; und *Phalaris* fuhr noch nahezu eine halbe Stunde lang fort sich nach der Seite hin zu biegen, welche beleuchtet worden war. Die Netzhaut kann ein schwaches Licht nicht wahrnehmen, nachdem sie einem hellen ausgesetzt gewesen ist; und Pflanzen, welche den Tag und den Morgen vorher im Tageslicht gehalten worden waren, bewegten sich nach einem trüben seitlichen Lichte hin nicht so bald wie andere, welche in vollständiger Dunkelheit gehalten worden waren.

Selbst wenn das Licht in einer solchen Weise auf die wachsenden Theile von Pflanzen einwirkt, dasz es in ihnen immer eine Neigung, sich nach der stärker beleuchteten Seite hin zu biegen, anregt — eine Vermuthung, welcher durch die vorstehend erwähnten Versuche an Sämlingen und durch alle apheliotropischen Organe widersprochen wird, — so ist doch diese Neigung bei verschiedenen Species bedeutend verschieden und ist auch bei den Individuen einer und derselben Species variabel, wie beinahe in jedem Topfe mit Sämlingen einer lange cultivirten Pflanze gesehen werden kann¹². Hiermit ist daher eine

¹² Strasburger hat in seinem interessanten Werke („Wirkung des Lichts . . auf Schwärmsporen“, 1878) nachgewiesen, dasz die Bewegung der Schwärmsporen verschiedener niedrig organisirter Pflanzen nach einem seitlichen Lichte hin durch ihren Entwicklungszustand, durch die Temperatur, welcher sie ausgesetzt werden, durch den Grad der Beleuchtung, unter welchem sie gezogen worden sind, und noch durch andere unbekanntere Ursachen beeinflusst wird; so dasz die Schwärmsporen einer und derselben Species sich quer über das Gesichtsfeld des Microscops entweder nach dem Lichte hin oder von ihm weg bewegen können. Überdies

Grundlage für die Modification dieser Neigung in beinahe jeder wohlthätigen Ausdehnung gegeben. Dazs sie modificirt worden ist, sehen wir in vielen Fällen: so ist es für insectenfressende Pflanzen von grösserer Bedeutung, ihre Blätter in die beste Stellung zum Fangen von Insecten zu bringen als ihre Blätter nach dem Lichte zu drehen, und sie besitzen auch kein derartiges Vermögen. Wenn sich der Stamm von windenden Pflanzen nach dem Lichte biegen müsste, würden sie häufig von ihren Stützen weggezogen werden; und wie wir gesehen haben, biegen sie sich nicht in dieser Weise. Da die Stämme der meisten anderen Pflanzen heliotropisch sind, so können wir darüber beinahe sicher sein, dazs windende Pflanzen, welche durch die ganze Reihe der Gefäszpflanzen verbreitet sind, ein Vermögen verloren haben, welches ihre nicht windenden Vorfahren besazten. Überdies ist bei *Ipomoea*, und wahrscheinlich bei allen übrigen windenden Pflanzen, der Stamm der jungen Pflanze, ehe er zu winden anfängt, in hohem Grade heliotropisch, offenbar zu dem Zwecke, die Cotyledonen oder die ersten echten Blätter vollständig dem Lichte auszusetzen. Beim Epheu sind die Stämme von Sämlingen mäszig heliotropisch, während die der nämlichen Pflanzen, wenn sie ein wenig älter geworden sind, apheliotropisch sind. Manche Ranken, welche aus modificirten Blättern bestehen, — Organe, welche in allen gewöhnlichen Fällen diaheliotropisch sind, — sind apheliotropisch gemacht worden, und ihre Spitzen kriechen in jeden dunklen Spalt ein.

Selbst was die gewöhnlichen heliotropischen Bewegungen betrifft, so ist es kaum glaublich, dazs sie das directe Resultat der Wirkung des Lichtes sind ohne irgend eine specielle Anpassung. Wir können das, was wir meinen, durch die hygroskopischen Bewegungen der Pflanzen erläutern: wenn die Gewebe auf einer Seite eines Organs rapide Verdunstung gestatten, werden sie schnell eintrocknen und sich zusammenziehen und dadurch verursachen, dazs sich der Theil nach dieser Seite hin biegt. Die wunderbar complicirten Bewegungen der Pollinien von *Orchis pyramidalis*, durch welche sie den Rüssel eines

erscheinen manche Individuen gegen das Licht indifferent zu sein, und solche von verschiedenen Species benehmen sich sehr verschieden. Je heller das Licht ist, desto gerader ist ihr Weg. Sie zeigen auch eine kurze Zeit hindurch die Nachwirkungen des Lichts. In allen diesen Beziehungen sind sie den höheren Pflanzen ähnlich; s. auch Stahl, „Über den Einfluss des Lichts auf die Bewegungs-Erscheinungen der Schwärmosporen“, in: Verhandl. d. phys.-med. Gesellschaft, Würzburg, 12. Bd. 1878.

Schmetterlings umfassen und später ihre Stellung zu dem Zweck ändern, die Pollenmassen auf das doppelte Stigma abzulegen, — oder ferner auch die drehenden Bewegungen, durch welche sich gewisse Samen in den Boden eingraben¹³, — sie sind eine Folge der Art und Weise, in welcher der in Frage stehende Theil trocknet; und doch wird Niemand vermuthen, dasz diese Resultate ohne specielle Anpassung erlangt worden sind. In ähnlicher Weise werden wir zu der Annahme einer Anpassung geführt, wenn wir den, Chlorophyll enthaltenden Hypocotyl eines Sämlings sich nach dem Lichte biegen sehen; denn obgleich er hiernach weniger Licht erhält, weil er nun von seinen eigenen Cotyledonen beschattet wird, so bringt er doch diese, — die bedeutungsvolleren Organe, — in die beste Stellung um vollständig beleuchtet zu werden. Man kann daher sagen, dasz sich der Hypocotyl zum Besten der Cotyledonen, oder vielmehr zum Besten der ganzen Pflanze, selbst opferte. Wenn er aber daran verhindert wird, sich zu biegen, wie es zuweilen bei Sämlingen vorkommen musz, welche in einer dicht verwickelten Masse Vegetation aufgehen, so biegen sich die Cotyledonen selbst so, dasz sie nach dem Lichte hinsehen, der am weitesten davon gelegene erhebt sich und der dem Lichte nächste senkt sich abwärts oder beide drehen sich seitwärts¹⁴. Wir können auch annehmen, dasz die äusserste Empfindlichkeit des oberen Theils der scheidenartigen Cotyledonen der Gramineen gegen das Licht und deren Vermögen, die Wirkungen desselben auf den unteren Theil überzuleiten, specielle Anordnungen sind, damit sie den kürzesten Weg zum Lichte finden. Bei Pflanzen, welche an einem Abhange oder vom Winde niedergeworfen wachsen, ist die Art und Weise, in welcher die Blätter sich bewegen und selbst um ihre eigenen Achsen rotiren, so dasz ihre oberen Flächen wieder nach dem Lichte hin gerichtet werden, eine auffallende Erscheinung. Derartige Thatsachen werden noch auffallender, wenn wir uns daran erinnern, dasz ein zu intensives Licht das Chlorophyll schädigt und dasz die Blättchen mehrerer Leguminosen, wenn sie in dieser Weise exponirt werden, sich aufwärts biegen und ihre Ränder der Sonne darbieten und dadurch der Verletzung

¹³ Francis Darwin, On the Hygroscopic Mechanism etc. in: *Transact. Linn. Soc.* 2. Ser. Vol. 1, Bot. p. 149, 1876.

¹⁴ Wiesner hat in Bezug auf Blätter Bemerkungen in nahezu demselben Sinne gemacht: „Die undulirende Nutation der Internodien“, p. 6. (Aus den Sitzungsber. der Kais. Acad. d. Wiss. Wien, 77. Bd., 1878.)

entgehen. Andererseits biegen sich die Blättchen von *Averrhoa* und *Oxalis* abwärts, wenn sie in ähnlicher Weise exponirt werden.

Es wurde in dem letzten Capitel nachgewiesen, dasz *Heliotropis* eine modificirte Form von *Circumnutation* ist; und da jeder wachsende Theil einer jeden Pflanze mehr oder weniger *circumnutirt*, so können wir einsehen woher es kommt, dasz das Vermögen sich nach dem Lichte hinzubiegen, von einer solchen Menge von Pflanzen durch das ganze Pflanzenreich hindurch erlangt worden ist. Die Art und Weise, in welcher eine *circumnutirende* Bewegung, — d. h. eine solche, welche aus einer Reihe von unregelmäßigen Ellipsen oder Schlingen besteht, — allmählich in eine geradlinige Bewegung nach dem Lichte hin umgewandelt wird, ist bereits erklärt worden. Erstens haben wir eine Reihenfolge von Ellipsen mit nach dem Lichte hin gerichteten längeren Achsen, von denen eine jede der Lichtquelle immer näher und näher beschrieben wird; dann werden die Schlingen in eine stark ausgesprochene Zickzacklinie ausgezogen, während hier und da noch eine kleine Schlinge gebildet wird. In der nämlichen Zeit, wo die Bewegung nach dem Lichte hin in Ausdehnung vergrößert und beschleunigt wird, wird die in der entgegengesetzten Richtung vermindert und verlangsamt, und zuletzt ganz aufgehoben. Die Zickzackbewegung nach beiden Seiten hin wird gleichfalls allmählich verringert, so dasz endlich die Bewegung geradlinig wird. Es findet hier nach unter dem Reize eines ziemlich hellen Lichtes kein nutzloser Aufwand von Kraft statt.

Da bei Pflanzen ein jeder Charakter mehr oder weniger variabel ist, so scheint in der Annahme keine große Schwierigkeit zu liegen, dasz ihre *circumnutirenden* Bewegungen durch die Erhaltung variirender Individuen in jeder wohlthätigen Weise vergrößert oder modificirt worden sind. Die Vererbung gewohnheitsgemäßer Bewegungen ist für diesen Process der Auswahl oder des Überlebens der Passenden eine nothwendige begleitende Erscheinung; und wir haben gesehen, dasz wir zu der Annahme guten Grund hatten, dasz gewohnheitsgemäße Bewegungen von Pflanzen vererbt werden. Bei windenden Arten sind die *circumnutirenden* Bewegungen in ihrer Amplitude vergrößert und mehr kreisförmig gemacht worden; der Reiz ist hier ein innerer oder eingeborener. Bei schlafenden Pflanzen sind die Bewegungen in ihrer Amplitude vergrößert und häufig in der Richtung verändert worden; und hier ist der Reiz der Wechsel von Licht und

Dunkelheit, indessen durch Vererbung unterstützt. Beim Heliotropismus ist der Reiz die ungleiche Beleuchtung der beiden Seiten der Pflanze, und dies bestimmt, wie in den vorausgehenden Fällen, die Modification der circumnutirenden Bewegung in einer solchen Weise, dasz sich das Organ nach dem Lichte hin biegt. Eine Pflanze, welche durch die erwähnten Mittel heliotropisch gemacht worden ist, dürfte, nach den bereits mitgetheilten Fällen zu urtheilen, diese Neigung leicht verlieren, sobald dieselbe nutzlos oder schädlich wird. Eine Species, welche aufgehört hat heliotropisch zu sein, kann auch durch die Erhaltung derjenigen Individuum, welche (obgleich die Ursache dieser und der meisten anderen Variationen unbekannt ist) in einer Richtung zu circumnutiren streben, die der, von welcher das Licht ausgeht, mehr oder weniger entgegengesetzt ist, apheliotropisch gemacht werden. In einer gleichen Weise kann eine Pflanze auch diaheliotropisch gemacht werden.

Zehntes Capitel.

Modificirte Circumnutation: Durch Gravitation angeregte Bewegungen.

Beobachtungsmittel. — Apogeotropismus. — *Cytisus*. — *Verbena*. — *Beta*. — Allmähliche Umwandlung der Circumnutationsbewegung in Apogeotropismus bei *Rubus*, *Lilium*, *Phalaris*, *Avena* und *Brassica*. — Apogeotropismus durch Heliotropismus verlangsamt, — durch Hülfe von Gelenken oder Polstern ausgeführt. — Bewegungen der Blütenstengel von *Oxalis*. — Allgemeine Bemerkungen über Apogeotropismus. — Geotropismus. — Bewegungen der Würzelchen. — Eingraben von Samenkapseln. — Nutzen des Vorgangs. — *Trifolium subterraneum*. — *Arachis*. — *Amphicarpaea*. — Diageotropismus. — Schluss.

Unsere Absicht im vorliegenden Capitel ist zu zeigen, dass Geotropismus, Apogeotropismus und Diageotropismus modificirte Formen von Circumnutation sind. Äusserst feine Glasfäden, welche zwei minutiöse Papierdreiecke trugen, wurden an die Gipfel junger Stämme, häufig an die Hypocotyle von Sämlingen, an Blütenstengel, Würzelchen etc. befestigt, und die Bewegungen dieser Theile wurden dann in der bereits beschriebenen Art und Weise an senkrechten und horizontalen Glasscheiben aufgezeichnet. Es musz daran erinnert werden, dass, wenn die Stämme oder andere Theile in Bezug auf die Glasscheiben mehr oder weniger schräg werden, die aufgezeichneten Figuren an den letzteren nothwendigerweise mehr und mehr vergrößert werden. Die Pflanzen wurden gegen das Licht geschützt, ausgenommen so lange, als eine jede Beobachtung gemacht wurde, und dann liesz man das Licht, welches immer ein schwaches war, nur so eintreten, dass es so wenig wie möglich mit der in Fortgang befindlichen Bewegung interferirte; wir konnten auch keinerlei Beweise für eine hieraus sich ergebende Störung entdecken.

Bei der Beobachtung der Abstufungen zwischen Circumnutation und Heliotropismus hatten wir den groszen Vortheil, im Stande zu

sein, das Licht zu vermindern; aber bei Geotropismus waren analoge Experimente natürlich unmöglich. Wir konnten indessen die Bewegungen von Stämmen beobachten, die zuerst nur ein wenig aus der Senkrechten herausgestellt wurden, in welchem Falle Geotropismus mit auch nicht annähernd so starker Kraft wirkte, als wenn die Stämme horizontal und rechtwinklig zur Kraft lagen. Auch wurden Pflanzen ausgewählt, welche nur schwach geotropisch oder apogeotropisch waren oder so geworden waren, weil sie ziemlich alt waren. Ein anderer Plan war noch der, die Stämme erst so zu legen, dass sie 30° oder 40° unter den Horizont wiesen, und dann hatte der Apogeotropismus eine bedeutende Arbeit zu leisten, ehe der Stamm wieder aufrecht gebracht wurde, und in diesem Falle war häufig gewöhnliche Circumnutation nicht gänzlich ausgeschlossen. Noch ein anderer Plan war der, am Abend Pflanzen zu beobachten, welche während des Tags heliotropisch gekrümmt waren, denn ihre Stämme wurden unter dem allmählich verschwindenden Lichte sehr langsam durch die Wirkung des Apogeotropismus wieder aufrecht, und in diesem Falle wurde zuweilen modificirte Circumnutation deutlich entfaltet.

Apogeotropismus. — Zur Beobachtung wurden Pflanzen fast durch Zufall ausgewählt, ausgenommen, dass sie aus sehr verschiedenen Familien genommen wurden. Wenn der Stamm einer Pflanze, welche selbst nur mässig sensitiv für Apogeotropismus ist, horizontal gelegt wird, so biegt sich der obere, wachsende Theil schnell aufwärts, so dass er senkrecht wird, und die durch die Vereinigung der hintereinander auf die Glasscheiben gemachten Punkte gebildete Linie ist meist beinahe gerade. So wurde beispielsweise ein junger *Cytisus fragrans* von 12 Zoll Höhe so gestellt, dass der Stamm 10° unter dem Horizont vorsprang, und seine Bewegung wurde während 72 Stunden aufgezeichnet. Zuerst bog er sich sehr wenig abwärts (Fig. 182), ohne Zweifel in Folge des Gewichtes des Stammes, da dies bei den meisten der anderen beobachteten Pflanzen eintrat, obschon die kurzen, nach abwärts gerichteten Linien, da die Stämme natürlich circumnutirten, häufig schräg waren. Nach drei Viertelstunden fieng der Stamm an sich aufwärts zu krümmen, während der ersten zwei Stunden schnell, aber während des Nachmittags und der Nacht und am folgenden Tage viel langsamer. Während der zweiten Nacht sank er ein wenig und circumnutirte während des folgenden Tags; er bewegte sich aber auch eine kurze Strecke nach rechts, was dadurch verursacht wurde, dass ein wenig Licht zufällig auf dieser Seite Einlasz gefunden hatte. Der Stamm war nun 60° über den Horizont aufgerichtet und hatte sich daher um 70° erhoben. Hätte man ihm Zeit gelassen, so würde er wahrscheinlich aufrecht geworden sein und würde ohne Zweifel fortgefahren haben zu circumnutiren. Der einzige merkwürdige Zug in der Figur, die hier mitgetheilt wird, ist die Geradheit des eingehaltenen Weges.

Indessen bewegte sich der Stamm in keiner gleichmässigen Geschwindigkeit aufwärts, sondern stand zuweilen beinahe oder ganz still. Derartige Perioden stellen wahrscheinlich Versuche zum Circumnutiren im directen Gegensatze zum Apogeotropismus dar.

Der krautartige Stamm einer *Verbena melindres* (?), welcher horizontal gelegt war, erhob sich in 7 Stunden so bedeutend, dasz er nicht länger mehr an der senkrechten Glasscheibe, welche vor der Pflanze stand, beobachtet werden konnte. Die lange Linie, welche die Aufzeichnung ergab, war beinahe absolut gerade. Nach den 7 Stunden fuhr er noch immer fort sich zu erheben, circumnutirte aber nun unbedeutend. Am folgenden Tage stand er aufrecht und circumnutirte regelmässig, wie es in Fig. 82, die im vierten Capitel mitgetheilt wurde, zu sehen ist. Die Stämme mehrerer anderer Pflanzen, welche im hohen Grade empfindlich gegen Apogeotropismus waren, erhoben sich in beinahe geraden Linien und fiengen dann an circumnutiren. Ein zum Theil etiolirter und etwas alter Hypocotyl eines Kohlsämlings (von $2\frac{3}{4}$ Zoll Höhe) war so empfindlich, dasz, als er unter einem Winkel von nur 23° von der Senkrechten gestellt wurde, er in 33 Minuten senkrecht wurde. Da der Apogeotropismus in der eben erwähnten, unbedeutend geneigten Stellung nicht kräftig auf ihn gewirkt haben konnte, erwarteten wir, dasz er circumnutirt oder sich wenigstens in einer zickzackförmigen Weise bewegt haben würde. Dem entsprechend wurden alle drei Minuten Punkte gemacht; als aber diese verbunden wurden, war die Linie beinahe gerade. Nachdem dieser Hypocotyl aufrecht geworden war, bewegte er sich noch immer eine halbe Stunde lang in derselben allgemeinen Richtung, aber zickzackförmig. Während der darauffolgenden neun Stunden circumnutirte er regelmässig und beschrieb drei grosse Ellipsen. In diesem Falle überwand der Apogeotropismus, obgleich er in einem sehr ungünstigen Winkel wirkte, vollständig die circumnutirende Bewegung.

Die Hypocotyle von *Beta vulgaris* sind im hohen Grade empfindlich gegen Apogeotropismus. Einer wurde so gestellt, dasz er 19° unter dem Horizont vorsprang; er senkte sich zuerst sehr wenig (s. Fig. 183), ohne Zweifel in Folge seines Gewichtes; da er aber circumnutirte, war die Linie schräg. Während der nächsten 3 Stunden 8 Minuten erhob er sich in einer nahezu geraden Linie, wobei er durch

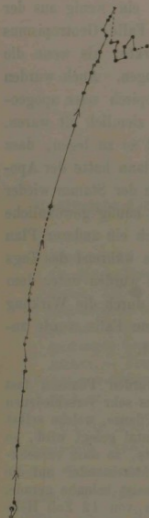


Fig. 183. *Cytisus fragrans*: Apogeotropische Bewegung des Stammes von 10° unter bis 60° über dem Horizont, an einer senkrechten Glasscheibe von 8.30 a. m., 12. März, bis 10.30 p. m., am 13., aufgezeichnet. Die darauf folgende circumnutirende Bewegung ist gleichfalls bis 6.45 a. m., am 15., dargestellt. Die Bewegung während der Nacht ist wie gewöhnlich durch eine punktirte Linie dargestellt. Die Bewegung ist nicht bedeutend vergrössert, die Zeichnung auf zwei Drittel des Originals reducirt.

einen Winkel von 109° sich bewegte, und stand dann aufrecht (um 12.3 p. m.). Er fuhr 55 Minuten lang fort sich in derselben allgemeinen Richtung über die Senkrechte hinaus zu bewegen, aber in einem zickzackartigen Verlaufe. Er kehrte auch in einer Zickzacklinie zurück und circumnutirte dann regelmässig, wobei er während des übrigen Tages drei grosse Ellipsen beschrieb. Es ist zu bemerken, dass die Ellipsen in dieser Figur in ihrer Grösze übertrieben sind, im Verhältnis zur Länge der geraden Linie aufwärts, in Folge der Stellung der senkrechten und der horizontalen Glasscheiben. Ein anderer und etwas alter Hypocotyl wurde so gestellt, dass er nur 31° von der Senkrechten abstand, in welcher Stellung der Apogeotropismus mit geringer Kraft auf ihn wirkte, und in Folge dessen war sein Verlauf unbedeutend zickzackförmig.

Die scheidenartigen Cotyledonen von *Phalaris canariensis* sind für Apogeotropismus äusserst empfindlich. Einer wurde so gestellt, dass er 40° unter den Horizont vorsprang. Obgleich er ziemlich alt und schon 1.3 Zoll hoch war, wurde er doch in 4 Stunden 30 Minuten, nachdem er einen Winkel von 130° in einer nahezu geraden Linie durchlaufen hatte, senkrecht. Er fieng dann plötzlich in der gewöhnlichen Weise zu circumnutiren an. Die Cotyledonen dieser Pflanze sind, nachdem das erste Blatt angefangen hat hervorzutreten, nur unbedeutend apogeotropisch, obgleich sie noch immer fortfahren zu circumnutiren. Ein Cotyledon auf dieser Stufe der Entwicklung wurde horizontal gestellt und wurde selbst nach 13 Stunden nicht aufrecht. Auch war seine Bewegung unbedeutend zickzackförmig. Ferner brauchte ein verhältnismässig alter Hypocotyl von *Cassia tora* (von $1\frac{1}{4}$ Zoll Höhe) 28 Stunden, um aufrecht zu werden, und sein Verlauf war deutlich zickzackförmig, während jüngere Hypocotyle sich viel schneller und in einer nahezu geraden Linie bewegten.

Wenn ein horizontal gelegter Stamm oder ein anderes Organ sich in einer zickzackförmigen Linie erhebt, so können wir aus den vielen, in unseren früheren Capiteln mitgetheilten Fällen schliessen, dass wir eine modificirte Form von Circumnutation vor uns haben; wenn aber die Bewegung geradlinig ist, haben wir keine Beweise für Circumnutation, und

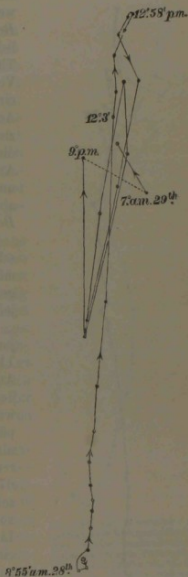


Fig. 183. *Beta vulgaris*: Apogeotropische Bewegung des Hypocotyls von 19° unter dem Horizont in eine senkrechte Stellung mit darauf folgender Circumnutation, an einer senkrechten und einer horizontalen Glasscheibe von 8.28 a. m., 28. Sept., bis 8.40 a. m., am 29., aufgezeichnet. Die Abbildung auf ein Drittel des Originals reducirt.

Jedermann könnte behaupten, dass diese letztere Bewegung durch eine von einer gänzlich verschiedenen Art ersetzt worden sei. Diese Ansicht scheint um so wahrscheinlicher, wenn (wie es zuweilen bei den Hypocotylen von *Brassica* und *Beta*, den Stämmen von *Cucurbita* und den Cotyledonen von *Phalaris* eintrat,) der in Rede stehende Theil, nachdem er sich in einem geradlinigen Verlaufe aufwärts gebogen hatte, plötzlich zu circumnutiren anfieng, und zwar in der vollen Ausdehnung und in der gewöhnlichen Weise. Ein ziemlich gutes Beispiel einer plötzlichen Änderung dieser Art — d. h. von einer nahezu geradlinigen Aufwärtsbewegung in eine Circumnutationsbewegung — ist in Fig. 183 dargestellt; es wurden aber noch auffallendere Beispiele gelegentlich bei *Beta*, *Brassica* und *Phalaris* beobachtet.

Wir wollen nun einige wenige Fälle beschreiben, in denen man sehen kann, wie allmählich Circumnutation in Apogeotropismus umgeändert wird, und zwar unter Umständen, die in jedem einzelnen Falle speciell angeführt wurden.

Rubus Idaeus (Bastardform). — Eine junge, in einem Topfe wachsende Pflanze von 11 Zoll Höhe wurde horizontal gelegt, und die Aufwärtsbewegung wurde nahezu während 70 Stunden beobachtet; obgleich aber die Pflanze kräftig wuchs, war sie doch nicht im hohen Grade empfindlich gegen Apogeotropismus, oder sie war nicht fähig sich schnell zu bewegen; denn während der eben angegebenen Zeit erhob sie sich nur 67^o. Wir können in der Zeichnung (Fig. 184) sehen, dass sie sich während des ersten Tages von zwölf Stunden in einer nahezu geraden Linie erhob. Als sie horizontal gestellt wurde, circumnutirte sie offenbar, denn sie erhob sich zuerst ein wenig trotz des Gewichtes des Stammes und senkte sich dann abwärts, so dass sie nicht früher ihren dauernd aufwärts gerichteten Weg antrat, als bis 1 Stunde 25 Minuten verflossen waren. Am zweiten Tage, in welcher Zeit sie beträchtlich gestiegen war, und als der Apogeotropismus mit etwas weniger Kraft auf sie wirkte, war ihre Bewegung während 15½ Stunden deutlich zickzackförmig, und die Geschwindigkeit der Aufwärtsbewegung war nicht gleichmässig. Während des dritten Tages, gleichfalls von 15½ Stunden, als Apogeotropismus mit noch weniger Kraft auf sie wirkte, circumnutirte der Stamm deutlich; denn er bewegte sich während dieses Tages dreimal aufwärts und dreimal abwärts, viermal zur Linken und



Fig. 184. *Rubus idaeus* (Hybrid): Apogeotropische Bewegung des Stammes, an einer senkrechten Glasplatte während 3 Tage und 3 Nächte, von 10.40 a. m., 18. März, bis 8 a. m., 21. März, aufgezeichnet. Die Figur auf die Hälfte des Originals reducirt.

dreimal abwärts, viermal zur Linken und

viermal zur Rechten. Der eingehaltene Weg war aber so complicirt, dasz er kaum auf der Glasplatte verfolgt werden konnte. Wir können indessen sehen, dasz die aufeinander folgend gebildeten, unregelmäßigen Ellipsen immer höher und höher stiegen. Apogeotropismus fuhr auch noch am vierten Morgen zu wirken fort, da der Stamm noch immer sich erhob, obgleich er nun bloz noch 23° von der Senkrechten abstand. In dieser Zeichnung lassen sich die verschiedenen Stufen verfolgen, durch welche eine beinahe geradlinige, aufwärtsgerichtete, apogeotropische Bewegung zuerst zickzackförmig wird und sich dann in eine circumnutirende Bewegung verändert, wobei die meisten der aufeinanderfolgend gebildeten unregelmäßigen Ellipsen aufwärts gerichtet sind.

Lilium auratum. — Eine 23 Zoll hohe Pflanze wurde horizontal gestellt, und der obere Theil des Stammes erhob sich in 46 Stunden um 58° in der in der beistehenden Zeichnung gezeigten Art und Weise (Fig. 185). Wir sehen hier, dasz während des ganzen zweiten Tages von $15\frac{1}{2}$ Stunden der Stamm deutlich circumnutirte, während er sich durch Apogeotropismus aufwärts bog. Er hatte noch immer beträchtlich sich zu erheben, denn als der letzte Punkt in der Figur gemacht wurde, stand er noch 32° von einer aufrechten Stellung ab.

Phalaris canariensis. — Ein Cotyledon dieser Pflanze (von 1.3 Zoll Höhe) ist bereits beschrieben worden. Er erhob sich in 4 Stunden 30 Minuten von 40° unter dem Horizont in eine senkrechte Stellung, so dasz er durch einen Winkel von 130° in einer nahezu geraden Linie sich bewegte und dann plötzlich zu circumnutiren anfieng. Ein anderer etwas alter Cotyledon von der nämlichen Höhe (von welchem aber noch kein echtes Blatt hervorgetreten war) stand in ähnlicher Weise 40° unter dem Horizont. Während der ersten vier Stunden erhob er sich in einer nahezu geraden Linie (Fig. 186), so dasz er um 1.10 p. m. hoch aufgerichtet war, und nun wirkte der Apogeotropismus mit viel geringerer Kraft auf ihn als früher, und er begann sich nun im Zickzack zu bewegen. Um 4.15 p. m. (d. h. in sieben Stunden vom Anfang an) stand er senkrecht und fuhr später fort, in der gewöhnlichen Weise um einen und denselben Fleck zu circumnutiren. Wir haben daher hier eine allmähliche Veränderung aus einer gerade aufgerichteten geotropischen Bewegung in Circumnutation anstatt eines plötzlichen Wechsels, wie in dem früheren Falle.

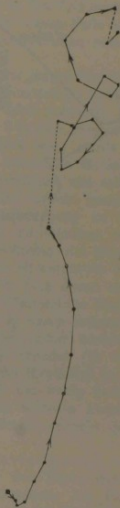


Fig. 185. *Lilium auratum*: Apogeotropische Bewegung des Stammes, an einer senkrechten Glasplatte durch zwei Tage und zwei Nächte, von 10.40 a. m., 18. März, bis 8 a. m., 20. März, aufgezeichnet. Die Figur auf die Hälfte des Maßstabs des Originals reducirt.

Avena sativa. — Die scheidenartigen Cotyledonen sind, so lange sie jung sind, stark apogeotropisch, und einige, welche 45° unter den

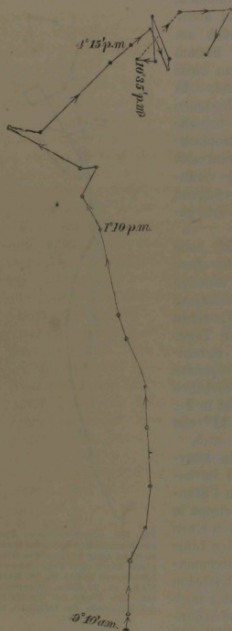


Fig. 186. *Phalaris canariensis*: Apogeotropische Bewegung des Cotyledon, an einer senkrechten und einer horizontalen Glasplatte von 9.10 a. m., 19. Sept., bis 9 a. m., am 20., aufgezeichnet. Abbildung hier auf ein Fünftel der Originalgröße reducirt.

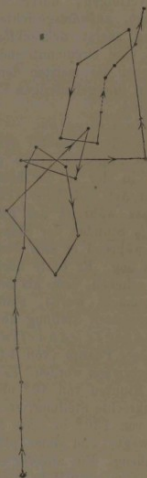


Fig. 187. *Brassica oleracea*: Apogeotropische Bewegung des Hypocotyls, an einer senkrechten Glasscheibe von 9.20 a. m., am 12. Sept., bis 8.30 a. m., am 13., aufgezeichnet. Der obere Theil der Figur ist stärker vergrößert, als der untere Theil. Wenn der ganze zurückgelegte Weg verfolgt worden wäre, würde die gerade aufrechte Linie viel länger gewesen sein. Figur hier auf ein Drittel der Originalgröße reducirt.

Horizont gestellt wurden, erhoben sich in 7 oder 8 Stunden um 90° in beinahe absolut geraden Linien. Ein etwas alter Cotyledon, von welchem das erste echte Blatt hervorzubrechen begann, während die folgenden Beobachtungen angestellt wurden, war 10° unter den Horizont gestellt, und er erhob sich nur 59° in 24 Stunden. Er benahm sich ziemlich verschieden von irgend einer andern von uns beobachteten Pflanze, denn

während der ersten $4\frac{1}{2}$ Stunden erhob er sich in einer nicht weit von einer Geraden entfernten Linie; während der nächsten $6\frac{1}{2}$ Stunden circumnutirte er, d. h. er senkte sich und erhob sich wieder in einer stark ausgesprochenen Zickzacklinie; dann nahm er seine Aufwärtsbewegung in einer mäßig geraden Linie wieder an und würde, wenn ihm Zeit gelassen worden wäre, ohne Zweifel aufrecht geworden sein. In diesem Falle überwand nach den ersten $4\frac{1}{2}$ Stunden gewöhnliche Circumnutation beinahe vollständig eine Zeit lang den Apogeotropismus.

Brassica oleracea. — Die Hypocotyle mehrerer junger Sämlingspflanzen, welche horizontal gelegt worden waren, erhoben sich im Verlaufe von sechs oder sieben Stunden in einer nahezu geraden Linie aufwärts. Ein Sämling, welcher im Dunkeln bis zu einer Höhe von $2\frac{1}{4}$ Zoll gewachsen und daher etwas älter und nicht bedeutend empfindlich war, wurde so gestellt, dasz der Hypocotyl zwischen 30 und 40° unter den Horizont vorsprang. Der obere Theil allein wurde aufwärts gekrümmt und erhob sich während der ersten 3 Stunden 10 Minuten in einer nahezu geraden Linie (Fig. 187); es war nicht möglich die Aufwärtsbewegung an der verticalen Glasscheibe während der ersten 1 Stunde 10 Minuten aufzuzeichnen, so dasz die nahezu gerade Linie in der Zeichnung viel länger gewesen sein sollte. Während der nächsten 11 Stunden circumnutirte der Hypocotyl, wobei er unregelmäßige Figuren beschrieb, von denen eine jede ein wenig über die früher gebildete sich erhob. Während der Nacht und des folgenden frühen Morgens fuhr er fort sich in einem zickzackartigen Laufe zu bewegen, so dasz Apogeotropismus noch immer wirksam war. Beim Schlusse unserer Beobachtungen nach 23 Stunden (in der Zeichnung durch den obersten Punkt dargestellt), war der Hypocotyl noch immer 32° von der Senkrechten entfernt. Es lässt sich nur wenig daran zweifeln, dasz er schliesslich durch Beschreibung einer weiteren Anzahl von unregelmäßigen Ellipsen, eine immer über der anderen, aufrecht geworden wäre.

Apogeotropismus durch Heliotropismus verlangsamt. — Wenn sich der Stamm irgend einer Pflanze während des Tages nach einem seitlichen Lichte hinbiegt, wirkt der Apogeotropismus der Bewegung entgegen; aber in dem Masse, als das Licht am Abend allmählich verschwindet, erlangt die letztere Kraft langsam die Oberhand und zieht den Stamm in eine senkrechte Stellung zurück. Wir haben daher hier eine gute Gelegenheit zu beobachten, wie der Apogeotropismus wirkt, wenn er durch eine entgegengesetzte Kraft beinahe aufgewogen wird. So bewegte sich beispielsweise die Plumula von *Tropaeolum majus* (s. die frühere Fig. 175) nach dem schwachen Abendlichte in einer unbedeutend zickzackförmigen Linie bis 6.45 p. m.; sie kehrte dann in ihrem Wege bis 10.40 p. m. um, während welcher Zeit sie sich im Zickzack bewegte und eine Ellipse von beträchtlicher Größe beschrieb. Der Hypocotyl von *Brassica oleracea* (s. die frühere Fig. 173) bewegte sich in einer geraden Linie nach dem Lichte hin bis 5.15 p. m. und dann vom Lichte ab, während er in seinem Rückwärtslaufe eine winklige Biegung machte und dann auf eine kurze Strecke nach der früheren Lichtquelle hin zurückkehrte; es wurde nach 7.10 p. m. keine weitere Beobachtung gemacht; aber während der Nacht gewann er seine senkrechte Stellung wieder.

Ein Hypocotyl von *Cassia tora* bewegte sich am Abend in einer etwas zickzackartigen Linie nach dem verschwindenden Lichte hin bis 6 p. m. und war nun 20° von der Senkrechten abgebogen. Dann kehrte er in seinem Laufe um und beschrieb vor 10.30 p. m. vier grosse, nahezu rechtwinklige Biegungen und vollendete beinahe eine Ellipse. Mehrere andere analoge Fälle wurden gelegentlich beobachtet, und bei ihnen allein konnte man sagen, dass die apogeotropische Bewegung in modificirter Circumnutation bestand.

Apogeotropische Bewegungen mit Hülfe von Gelenken oder Polstern ausgeführt. — Es ist sehr wohl bekannt, dass Bewegungen dieser Art bei den Gramineen vorkommen und mittelst der verdickten Basen ihrer scheidenartigen Blätter bewirkt werden; der Stamm ist innerhalb dieses Theils dünner als anderswo¹. Nach der Analogie mit allen andern Polstern sollten derartige Gelenke eine lange Zeit hindurch fortfahren zu circumnutiren, nachdem die anstosenden Theile aufgehört haben zu wachsen. Wir wünschten daher zu ermitteln, ob dies bei den Gramineen der Fall sei; denn wenn dies sich so verhält, so würde die Aufwärtskrümmung ihrer Stämme, wenn sie horizontal ausgestreckt werden oder niedergelegt wachsen, in Übereinstimmung mit unserer Ansicht erklärt werden können, nämlich dass Apogeotropismus ein Resultat modificirter Circumnutation ist. Nachdem sich diese Gelenke aufwärts gekrümmt haben, werden sie in dieser neuen Stellung durch vermehrtes Wachstum ihrer unteren Seiten entlang fixirt.

Lolium perenne. — Ein junger Stamm von sieben Zoll Höhe, welcher aus drei Internodien bestand, und aus welchem der Blütenkopf noch nicht hervorgebrochen war, wurde zur Beobachtung ausgewählt. Ein langer und sehr dünner Glasfaden wurde horizontal an den Stamm angekittet, dicht über dem zweiten Gelenk, 3 Zoll oberhalb der Erde. Es wurde später ermittelt, dass dieses Gelenk sich in einem activen Zustand befand, da seine untere Seite bedeutend durch die Wirkung des Apogeotropismus anschwell (in der von DE VRIES beschriebenen Art und Weise), nachdem der Halm 24 Stunden lang in einer horizontalen Stellung befestigt gewesen war. Der Topf wurde so gestellt, dass das Ende des Glasfadens unter einem Zweizollobjectiv eines Microscopes mit einem Ocularmicrometer stand, an welchem jede Abtheilung $\frac{1}{500}$ Zoll gleich war. Das Ende des Glasfadens wurde während sechs Stunden wiederholt beobachtet, und man sah, dass er in beständiger Bewegung war; er durchkreuzte fünf Abtheilungen des Micrometers ($\frac{5}{500}$ Zoll) in zwei Stunden. Gelegentlich bewegte er sich in Sprüngen vorwärts, von denen einige $\frac{1}{1000}$ Zoll weit waren, und dann schritt er langsam ein wenig zurück, um später wiederum vorwärts zu schnellen. Diese Oscillationen waren genau denjenigen gleich, welche bei *Brassica* und *Dionaea* beschrieben worden sind; sie kamen aber nur gelegentlich vor. Wir können daher schlieszen, dass dieses mäsizg alte Gelenk beständig in einem geringen Masse circumnutirte.

¹ Diese Bildungseigenthümlichkeit ist vor Kurzem in einem interessanten Artikel von De Vries beschrieben worden: „Über die Aufrichtung des gelagerten Getreides“ in: „Landwirthschaftl. Jahrbücher“ 1880, p. 473.

Alopecurus pratensis. — Eine junge Pflanze von 11 Zoll Höhe mit vorgetretenem Blüthenkopfe, aber mit noch nicht entfalteteten Blüthchen, wurde mit einem Glasfaden dicht über dem zweiten Gelenk in einer Höhe von nur 2 Zoll oberhalb der Erde versehen. Das basale Internodium von 2 Zoll Länge wurde an einen Stab gekittet, um jede Möglichkeit seiner Circumnutation zu verhüten. Die Spitze des Glasfadens, welche ungefähr 50° über den Horizont vorsprang, wurde während 24 Stunden in derselben Weise wie in dem vorhergehenden Falle oft beobachtet. Sobald danach gesehen wurde, war sie immer in Bewegung, und sie durchkreuzte 30 Abtheilungen des Micrometers ($\frac{3}{10}$ Zoll) in $3\frac{1}{2}$ Stunden; aber zuweilen bewegte sie sich mit einer geringeren Geschwindigkeit; denn einmal durchkreuzte sie fünf Abtheilungen in anderthalb Stunden. Der Topf hatte gelegentlich bewegt werden müssen, da das Ende des Fadens über das Gesichtsfeld hinausgieng; soweit wir aber beurtheilen konnten, hielt er während der Tageszeit einen halbkreisförmigen Lauf ein, und er bewegte sich sicher in zwei verschiedenen Richtungen, welche rechtwinklig aufeinander standen. Zuweilen oscillirte er in derselben Art und Weise, wie bei der letzten Species, wobei einige der sprunghaften Bewegungen vorwärts so bedeutend waren, wie $\frac{1}{1000}$ Zoll. Wir können daher schlieszen, dasz die Gelenke in dieser und der letzten Grasart lange zu circumnutiren fortfahren, so dasz diese Bewegung bereit sein würde, in eine apogeotropische Bewegung umgewandelt zu werden, sobald nur der Stamm in eine geneigte oder horizontale Stellung gebracht wird.

Bewegungen der Blüthenstiele von *Oxalis carnosa* durch Apögeotropismus und andere Kräfte. — Die Bewegungen des Hauptblüthenstengels und der drei oder vier Nebenstiele, welche jeder Hauptstengel dieser Pflanze trägt, sind äusserst complicirt und werden durch mehrere verschiedene Ursachen bestimmt. Während die Blüthen ausgebreitet sind, circumnutiren beide Arten von Stielen um den nämlichen Fleck, wie wir im vierten Capitel (Fig. 91) gesehen haben. Aber bald nachdem die Blüthen angefangen haben zu verwelken, biegen sich die Nebenblüthenstiele abwärts, und dies ist Folge von Epinastie; denn bei zwei Gelegenheiten, wo Töpfe horizontal gelegt wurden, nahmen die Nebenstiele die nämliche Stellung in Bezug auf den Hauptblüthenstengel ein, wie der Fall gewesen sein würde, wenn sie aufrecht geblieben wären, d. h. ein jeder von ihnen bildete mit jenem einen Winkel von ungefähr 40° . Wenn Geotropismus oder Apheliotropismus (denn die Pflanze war von oben beleuchtet) auf sie gewirkt haben würde, so würden sie sich nach dem Mittelpunkte der Erde hin gerichtet haben. Ein Hauptblüthenstengel wurde in einer aufrechten Stellung an einen Stab befestigt, und einer der aufrechten Nebenstiele, den man circumnutiren gesehen hatte, während die Blüthe ausgebreitet war, fuhr mindestens 24 Stunden lang, nachdem sie verwelkt war, zu circumnutiren fort. Dann fieng er an sich abwärts zu biegen und nach 36 Stunden wies er ein wenig unter den Horizont. Nun wurde eine neue Aufzeichnung begonnen (A. Fig. 188), und wir verfolgten die Bewegungen des Nebenstiels, welcher von 7.20 p. m., am 19., bis 9 a. m., am 22., in einer zickzackförmigen Linie sich abwärts bewegte. Nun wies er beinahe senkrecht abwärts, und es musste der Glasfaden entfernt und quer über die Basis der jungen

Samenkapsel befestigt werden. Wir erwarteten, dass der Nebenstiel in seiner neuen Stellung bewegungslos gewesen sein würde. Er fuhr aber fort langsam von einer Seite zur andern zu schwingen wie ein Pendel,

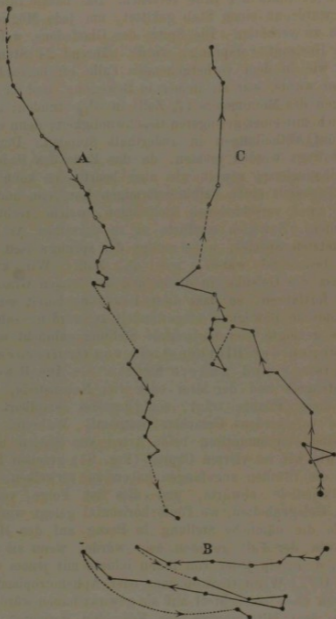


Fig. 188. *Oxalis carnosa*: Bewegungen des Blütenstiels, an einer senkrechten Glasplatte aufgezeichnet: A Epinastische Bewegung nach abwärts; B Circumnutation, während des senkrechten Herabhängens; C darauffolgende Bewegung nach aufwärts durch Combination von Apogeotropismus und Hyponastie.

d. h. in einer Ebene, welche zu der, in welcher er sich abwärts bewegt hatte, rechtwinklig stand. Diese circumnutirende Bewegung wurde von 9 a. m., am 22., bis 9 a. m., am 24., beobachtet, wie in B in der Zeichnung dargestellt ist. Wir waren nicht im Stande diesen besonderen Nebenstiel länger zu beobachten. Er würde aber sicher fortgefahren haben zu circumnutiren, bis die Kapsel nahezu reif war (was nur eine kurze Zeit erfordert), und dann würde er sich aufwärts bewegt haben.

Die Aufwärtsbewegung (C. Fig. 188) wird zum Theil dadurch bewirkt, dass der ganze Nebenstiel in der nämlichen Weise sich erhebt, wie er vorher durch Epinastie gesunken war, — nämlich an dem Gelenke, wo er mit dem Hauptstiele verbunden ist. Da diese Aufwärtsbewegung bei Pflanzen eintrat, welche im Dunkeln gehalten wurden, und in welcher Stellung auch immer der Hauptstengel befestigt wurde, so konnte sie nicht durch Heliotropismus oder Apogeotropismus verursacht worden sein, sondern durch Hyponastie. Auszer dieser Bewegung an dem Gelenke findet sich noch eine andere von sehr verschiedener Art; denn der Nebenstiel wird in dem mittleren Theile aufwärts gebogen. Wenn der Nebenstiel zu dieser Zeit zufällig bedeutend abwärts geneigt ist, ist die Aufwärtskrümmung so gross, dass das Ganze einen Haken bildet. Das obere, die Kapsel tragende Ende stellt sich hierdurch immer aufrecht, und da dies im Dunkeln eintritt und in was für einer Stellung auch immer der Hauptblüthenstengel festgemacht worden sein mag, kann die Aufwärtskrümmung nicht eine Folge von Heliotropismus oder Hyponastie, sondern von Apogeotropismus sein.

Um diese Aufwärtsbewegung zu verfolgen, wurde ein Glasfaden an einen eine nahezu reife Kapsel tragenden Nebenblüthenstiel befestigt, welcher anfangs sich durch die zwei eben beschriebenen Mittel aufwärts zu biegen. Sein Lauf wurde 23 Stunden hindurch verfolgt (s. C. Fig. 188), in welcher Zeit er beinahe aufrecht geworden war. Man sieht, dass der zurückgelegte Weg stark zickzackförmig ist, dabei mit einigen kleinen Schlingen. Wir können daher schliessen, dass die Bewegung in modificirter Circumnutation besteht.

Die verschiedenen Species von *Oxalis* haben wahrscheinlich in der folgenden Art und Weise davon einen Vortheil, dass ihre Nebenblüthenstiele sich zuerst abwärts und dann aufwärts biegen. Man weiss von ihnen, dass sie ihre Samen durch das Bersten der Kapsel austreuen, deren Wandungen so äusserst dünn sind gleich Silberpapier, dass sie leicht vom Regen durchdrungen werden können. Sobald aber die Kronblätter verwelken, erheben sich die Kelchblätter und schliessen die jungen Kapseln ein, indem sie ein vollkommenes Dach über dieselben bilden, sobald der Nebenblüthenstiel sich abwärts gebogen hat. Durch ihre spätere Aufwärtsbewegung steht die Kapsel, wenn sie reif ist, in einer bedeutenderen Höhe über der Erde, und zwar um die doppelte Länge des Nebenblüthenstiels, als sie stand, als sie noch nach unten hieng, und wird dadurch in den Stand gesetzt ihre Samen auf eine grössere Entfernung zu zerstreuen. Die Kelchblätter, welche das Ovarium einschliessen, während es jung ist, bieten noch eine weitere Anpassung dar darin, dass sie sich, wenn die Samen reif sind, weit ausbreiten, so dass sie dem Ausstreuen der Samenkörner nicht hinderlich sind. Bei *Oxalis acetosella* sollen die Kapseln, wie man sagt, sich zuweilen unter losen Blättern oder im Moos auf der Erde eingraben. Dies kann aber bei denen von *O. carnosa* nicht eintreten, da der holzige Stamm zu hoch ist.

Oxalis acetosella. — Die Blüthenstiele sind in ihrer Mitte mit einem Gelenk versehen, so dass der untere Theil dem Hauptblüthenstengel entspricht und der obere Theil einem der Nebenblüthenstiele von *O. carnosa*. Der obere Theil biegt sich abwärts, nachdem die Blüthe angefangen hat

zu verwelken, und der ganze Blütenstengel bildet dann einen Haken. Dasz diese Biegung Folge von Epinastie ist, können wir nach dem Beispiel von *O. carnosa* schlieszen. Wenn die Samenkapsel reif ist, streckt sich der obere Theil gerade und wird aufgerichtet, und das ist Folge von Hyponastie oder Apogeotropismus oder von beiden combinirt, und nicht von Heliotropismus; denn sie tritt auch im Dunkeln ein. Der kurze hakenförmige Theil des Blütenstengels einer cleistogamen Blüthe, welche eine nahezu reife Samenkapsel trug, wurde während dreier Tage im Dunkeln beobachtet. Die Spitze der Samenkapsel wies zuerst senkrecht abwärts, aber im Verlaufe von drei Tagen erhob sie sich 90° , so dasz sie nun horizontal vorsprang. Die Bewegung während der zwei letzteren

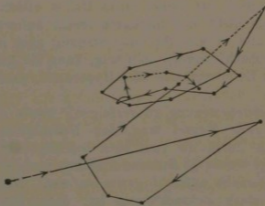


Fig. 189. *Oxalis acetosella*: Der von dem oberen Theil eines Blütenstengels eingeschlagene Weg, während er sich erhob, von 11 a. m., 1. Juni, bis 9 a. m., am 3., aufgezeichnet. Figur hier auf die Hälfte des Originals reducirt.

Tage ist in Fig. 189 dargestellt, und man kann sehen, wie bedeutend der Blütenstengel, während er sich erhob, circumnutirte. Die Linien der Hauptbewegung standen unter rechten Winkeln zur Ebene des ursprünglich hakenförmigen Theils. Die Aufzeichnung wurde nicht länger fortgesetzt; aber nach zwei weiteren Tagen war der Blütenstiel mit seiner Kapsel gerade geworden und stand aufrecht.

Schlussbemerkungen über Apogeotropismus. — Wenn Apogeotropismus auf irgend welche Weise geschwächt wird, so wirkt er, wie in den verschiedenen, vorstehend erwähnten Fällen gezeigt ist, dadurch, dasz er die stets vorhandene circumnutirende Bewegung in einer der Schwerkraft entgegengesetzten Richtung vermehrt, und dasz er die in der Richtung der Schwerkraft ebenso wie die nach beiden Seiten hinggerichtete Bewegung vermindert. Die Aufwärtsbewegung wird hierdurch ungleich in ihrer Geschwindigkeit und wird zuweilen durch stationäre Perioden unterbrochen. Wenn überhaupt noch unregelmäßige Ellipsen oder Schlingen gebildet werden, sind ihre längeren Achsen beinahe immer in der Linie der Schwerkraft gerichtet in einer analogen Art, wie es bei heliotropischen Bewegungen in Bezug

auf das Licht eintritt. In dem Masse, als Apogeotropismus mehr und mehr energisch wirkt, hören Ellipsen und Schlingen auf gebildet zu werden, und die Bewegung wird zuerst stark und dann immer weniger und weniger zickzackförmig und endlich geradlinig. Aus dieser Abstufung in der Natur der Bewegung und besonders aus dem Umstände, dasz alle wachsenden Theile, auf welche allein (ausgenommen wenn Polster vorhanden sind) Apogeotropismus wirkt, beständig circumnutiren, können wir schlieszen, dasz selbst ein geradliniger Weg bloss eine äusserst modificirte Form von Circumnutation ist. Es ist merkwürdig, dasz ein Stamm oder ein anderes Organ, welches für Apogeotropismus in hohem Grade empfindlich ist und welches sich rapid in einer geraden Linie aufwärts gebogen hat, häufig bis über die Senkrechte hinaus geführt wird, als wäre es durch das Trägheitsmoment. Es biegt sich dann ein wenig zurück bis auf einen Punkt, um welchen es schliesslich circumnutirt. Zwei Beispiele hiervon wurden an den Hypocotylen von *Beta vulgaris* beobachtet, von denen eines in Fig. 183 dargestellt ist, und zwei andere Fälle bei den Hypocotylen von *Brassica*. Die mit dem Trägheitsmoment vergleichbare Bewegung ist wahrscheinlich das Resultat der angehäuften Wirkungen des Apogeotropismus. Um zu beobachten, wie lange derartige Nachwirkungen dauern, wurde ein Topf mit Sämlingen von *Beta* im Dunkeln auf seine Seite gelegt, und in 3 Stunden 15 Minuten waren die Hypocotyle hoch aufgerichtet. Der Topf wurde noch immer im Dunkeln dann aufrecht gestellt, und die Bewegungen der zwei Hypocotyle wurden verfolgt; einer fuhr fort sich in seiner früheren Richtung, die nun zum Apogeotropismus im Gegensatz stand, zu bewegen, und zwar ungefähr 37 Minuten lang, vielleicht auch 48 Minuten; aber nach 61 Minuten bewegte er sich in einer entgegengesetzten Richtung; der andere Hypocotyl fuhr fort sich in seiner früheren Richtung mindestens 37 Minuten lang, nachdem er aufrechtgestellt worden war, zu bewegen.

Auf verschiedene Species und auf verschiedene Theile einer und derselben Species wirkt Apogeotropismus in sehr verschiedenen Graden. Junge Sämlinge, von denen die meisten schnell und im weiten Umfange circumnutiren, biegen sich aufwärts und werden senkrecht in viel weniger Zeit, als es irgend welche ältere, von uns beobachtete Pflanzen thun; ob dies aber Folge ihrer grösseren Empfindlichkeit gegen Apogeotropismus oder einfach eine Folge ihrer grösseren Biegsamkeit ist, wissen wir nicht. Ein Hypocotyl von *Beta* durchmasz

einen Winkel von 109° in 3 Stunden 8 Minuten und ein Cotyledon von *Phalaris* einen Winkel von 130° in 4 Stunden 30 Minuten. Auf der anderen Seite erhob sich der Stamm einer krautartigen *Verbena* 90° in ungefähr 24 Stunden, der von *Rubus* 67° in 70 Stunden, der von *Cytisus* 70° in 72 Stunden, der einer jungen americanischen Eiche nur 37° in 72 Stunden. Der Stamm eines jungen *Cyperus alternifolius* erhob sich nur 11° in 96 Stunden, und dabei war die Biegung auf eine Stelle nahe seiner Basis beschränkt. Obgleich die scheidenartigen Cotyledonen von *Phalaris* so äusserst empfindlich für Apogeotropismus sind, bieten die ersten echten Blätter, welche aus ihnen hervorbrechen, nur eine Spur dieser Wirkung dar. Zwei Wedel eines Farns, *Nephrodium molle*, welche beide jung waren, und an deren einem die Spitze noch nach innen gerollt war, wurden 46 Stunden lang in einer horizontalen Stellung gehalten, und während dieser Zeit erhoben sie sich so wenig, dass es zweifelhaft war, ob irgend eine echte, apogeotropische Bewegung vorhanden war.

Der merkwürdigste, uns bekannte Fall von einer Verschiedenheit in der Empfindlichkeit für Schwerkraft und in Folge dessen der Bewegung in verschiedenen Theilen eines und desselben Organs ist der, welchen die Stiele der Cotyledonen von *Ipomoea leptophylla* darbieten. Der basale Theil ist auf eine kurze Strecke, wo er mit dem nicht entwickelten Hypocotyl und dem Würzelchen verbunden ist, stark geotropisch, während der ganze obere Theil stark apogeotropisch ist. Aber auf einen Theil in der Nähe der Scheiben der Cotyledonen wirkt nach einiger Zeit Epinastie ein und krümmt denselben abwärts zu dem Zwecke, in der Form eines Bogens aus der Erde hervorzubrechen; er streckt sich später gerade, und dann wirkt wieder Apogeotropismus auf ihn ein.

Ein horizontal gelegter Zweig von *Cucurbita ovifera* bewegte sich sieben Stunden lang aufwärts in einer geraden Linie, bis er 40° über dem Horizonte stand; dann fieng er an zu circumnutiren, als ob er in Folge seiner niedergestreckten Natur keine Neigung hätte irgend wie höher zu steigen. Ein anderer, aufrechter Zweig wurde dicht an der Basis einer Ranke an einen Stock befestigt, und dann wurde der Topf im Dunkeln horizontal gelegt. In dieser Stellung circumnutirte die Ranke und beschrieb mehrere grosse Ellipsen während 14 Stunden, wie sie gleichfalls am folgenden Tage that; aber während dieser ganzen Zeit wurde sie nicht im mindesten durch Apogeotropismus afficirt.

Als andererseits Zweige einer anderen Cucurbitacee, *Echinocystis lobata*, im Dunkeln so befestigt wurden, dass die Ranken unter den Horizont herabhiengen, fiengen diese sofort an sich aufwärts zu biegen, und während sie sich so bewegten, hörten sie auf in irgend einer deutlichen Weise zu circumnutiren; sobald sie aber horizontal geworden waren, fiengen sie wiederum an augenfällig zu revolviren². Die Ranken von *Passiflora gracilis* sind gleichfalls apogeotropisch. Zwei Zweige wurden so niedergebunden, dass ihre Ranken viele Grade unter den Horizont wiesen. Eine wurde 8 Stunden lang beobachtet, während welcher Zeit sie sich erhob und dabei zwei Kreise, einen über dem anderen, beschrieb. Die andere Ranke erhob sich in einer mässig geraden Linie während der ersten vier Stunden, beschrieb indessen eine kleine Schlinge in ihrer Bewegung; dann stand sie ungefähr 45° über dem Horizont, wo sie während der übrigen acht Beobachtungsstunden circumnutirte.

Ein Theil oder Organ, welches, so lange es jung ist, äusserst empfindlich für Apogeotropismus ist, hört dies zu sein auf, sobald es alt wird, und es ist merkwürdig, da es die Unabhängigkeit dieser Empfindlichkeit und der circumnutirenden Bewegung zeigt, dass die letztere zuweilen noch eine Zeit lang fortfährt, nachdem das Vermögen sich von dem Mittelpunkte der Erde abzubiegen gänzlich verloren gegangen ist. So krümmte sich ein Orangesämling, welcher nur drei junge Blätter trug und einen ziemlich steifen Stamm hatte, während 24 Stunden nicht im mindesten, solange er horizontal ausgestreckt war, doch circumnutirte er diese ganze Zeit über einen kleinen Raum. Der Hypocotyl eines jungen Sämlings von *Cassia tora* in ähnlicher Stellung wurde in 12 Stunden senkrecht, der eines älteren Sämlings von $1\frac{1}{4}$ Zoll Höhe wurde dies in 28 Stunden, und der eines anderen noch älteren von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe blieb während zweier Tage horizontal, circumnutirte aber während dieser ganzen Zeit deutlich.

Wenn die Cotyledonen von *Phalaris* oder *Avena* horizontal gelegt werden, biegt sich der oberste Theil zuerst aufwärts und dann der untere Theil; in Folge dessen ist, nachdem der untere Theil stark aufwärts gekrümmt worden ist, der obere Theil gezwungen sich rückwärts in einer entgegengesetzten Bewegung zu krümmen, um sich

² Wegen der Einzelheiten s. „Die Bewegungen und Lebensweise der Kletterpflanzen“, Übersetzung, 1876, p. 101.

gerade zu strecken und senkrecht zu stehen, und dieser spätere Streckungsprocess ist gleichfalls Folge von Apogeotropismus. Die oberen Theile von acht jungen Cotyledonen von *Phalaris* wurden dadurch steif gemacht, dasz sie an dünne Glasstäbe gekittet wurden, so dasz dieser Theil sich nicht im mindesten biegen konnte, nichts desto weniger hinderte dies den basalen Theil nicht sich aufwärts zu krümmen. Ein Stamm oder ein anderes Organ, welches sich durch Apogeotropismus aufwärts biegt, äuszert eine beträchtliche Kraft; sein eigenes Gewicht, welches natürlich gehoben werden musz, ist in beinahe jedem einzelnen Falle hinreichend, den betreffenden Theil zuerst zu veranlassen sich ein wenig abwärts zu biegen, die Abwärtsbewegung wurde aber häufig durch die gleichzeitige, circumnutirende Bewegung schräg gemacht. Die Cotyledonen von *Avena* waren, horizontal gelegt, ausserdem, dasz sie ihr eigenes Gewicht erhoben, im Stande den weichen Sand über sich zu durchfurchen, so dasz sie kleine halbmondförmige offene Räume an den unteren Seiten ihrer Basen hinterlieszen; und dies ist ein merkwürdiger Beweis für die ausgeübte Kraft.

Da die Spitzen der Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena* sich durch die Wirkung des Apogeotropismus vor dem basalen Theile aufwärts biegen, und da diese selben Spitzen, wenn sie durch ein seitliches Licht gereizt werden, einen bestimmten Einflusz auf den unteren Theil hinleiten, der diesen veranlaszt sich zu biegen, so glaubten wir, dasz diese selbe Regel auch für den Apogeotropismus gelten würde. In Folge dessen wurden die Spitzen von sieben Cotyledonen von *Phalaris* abgeschnitten, und zwar in drei Fällen, in einer Länge von 0,2 Zoll und in den vier anderen Fällen in einer Länge von 0,14, 0,12, 0,1 und 0,07 Zoll. Nachdem aber diese Cotyledonen horizontal ausgestreckt wurden, bogen sie sich ebenso wirkungsvoll aufwärts, wie die nicht verstümmelten Exemplare in denselben Töpfen, woraus hervorgieng, dasz die Empfindlichkeit für die Schwerkraft nicht auf ihre Spitzen beschränkt ist.

Geotropismus.

Diese Bewegung ist das direct Umgekehrte vom Apogeotropismus. Viele Organe biegen sich durch Epinastie oder Apheliotropismus oder durch ihr eigenes Gewicht abwärts; wir haben aber nur sehr wenig Fälle einer Abwärtsbewegung an überirdischen Organen gefunden, welche Folge von Geotropismus sind. Wir werden indessen in den

folgenden Abschnitten ein gutes Beispiel anführen von *Trifolium subterraneum* und wahrscheinlich von *Arachis hypogaea*.

Auf der anderen Seite werden alle Wurzeln, welche den Boden durchbohren (mit Einschluss der modificirten wurzelartigen Blattstiele von *Megarrhiza* und *Ipomoea leptophylla*) in ihrer Abwärtsbewegung durch Geotropismus geleitet, und ebenso werden es auch viele Luftwurzeln, während andere, wie die des Epheu, in Bezug auf seine Wirkung indifferent erscheinen. In unserem ersten Capitel wurden die Bewegungen der Würzelchen mehrerer Sämlinge besprochen. Wir können dort sehen (Fig. 1), wie ein Würzelchen des Kohls, welches senkrecht aufwärts wies, so dass Geotropismus nur sehr wenig auf solches wirken konnte, circumnutirte, und wie ein anderes (Fig. 2), welches zuerst in eine geneigte Stellung gebracht worden war, sich in einer Zickzacklinie abwärts bog, wobei es zuweilen eine Zeit lang stationär blieb. Zwei andere Würzelchen des Kohls bewegten sich in beinahe geradlinigem Verlauf abwärts. Ein aufrecht gestelltes Würzelchen der Bohne (Fig. 20) machte eine grosse Schwingung und bewegte sich im Zickzack; aber in dem Masse als es abwärts sank und stärker vom Geotropismus beeinflusst wurde, bewegte es sich in einem beinahe geraden Verlaufe. Ein aufwärts gerichtetes Würzelchen von *Cucurbita* (Fig. 26) bewegte sich zuerst auch im Zickzack und beschrieb kleine Schlingen; dann bewegte es sich in einer geraden Linie. Nahezu dasselbe Resultat wurde bei den Würzelchen von *Zea mays* beobachtet. Aber der beste Beleg für den intimen Zusammenhang zwischen Circumnutation und Geotropismus wurde von den Würzelchen von *Phaseolus*, *Vicia* und *Quercus* und in einem geringeren Masse von denen von *Zea* und *Aesculus* dargeboten (s. Figg. 18, 19, 21, 41 und 52); denn als diese gezwungen wurden an hochaufgerichteten Flächen besetzten Glases zu wachsen und hinabzugleiten, hinterlieszen sie deutliche serpentine Spuren.

Das Eingraben von Samenkapseln: *Trifolium subterraneum*. — Die Blüthenköpfe dieser Pflanze sind dadurch merkwürdig, dass sie nur drei oder vier vollkommene Blüthen hervorbringen, welche nach auszen gestellt sind. Alle die andern, vielen Blüthen abortiren und werden in starre Spitzen modificirt mit einem Gefäßsbündel, welches in ihrem Centrum hinaufläuft. Nach einiger Zeit entwickeln sich fünf lange, elastische, klauenartige Vorsprünge, welche die Einschnitte des Kelches repräsentiren, an ihren Gipfeln. Sobald die vollkommenen Blüthen verwelken, biegen sie sich abwärts, angenommen, dass der Blüthenstengel

aufrecht stehe, und dann umgeben sie ganz dicht dessen oberen Theil. Diese Bewegung ist Folge von Epinastie, wie es auch bei den Blüthen von *T. repens* der Fall ist. Die unvollkommenen centralen Blüthchen befolgen schliesslich eines nach dem anderen denselben Weg. Während die vollkommenen Blüthen in dieser Weise sich abwärts krümmen, biegt sich der ganze Blüthenstengel abwärts und nimmt bedeutend an Länge zu, bis der Blüthenkopf die Erde erreicht. VAUCHER sagt³, dass, wenn die Pflanze so gestellt wird, dass die Köpfe die Erde nicht bald erreichen können, die Blüthenstengel bis zu der ausserordentlichen Länge von 6—9 Zoll heranwachsen. In was für eine Stellung auch Zweige gebracht werden mögen, der obere Theil des Blüthenstengels biegt sich zuerst senkrecht aufwärts durch Heliotropismus; sobald aber die Blüthen anfangen zu verwelken, fängt die Abwärtskrümmung des ganzen Blüthenstengels an. Da diese letztere Bewegung in vollkommener Dunkelheit eintritt und bei Blüthenstengeln, welche von aufrecht und von nach unten hängenden Zweigen entspringen, kann sie nicht Folge von Apheliotropismus oder von Epinastie sein, sondern muss dem Geotropismus zugeschrieben werden. Neunzehn aufrechte Blüthenköpfe, welche von Zweigen in allen Arten von Stellungen entsprangen, und zwar an Pflanzen, welche in einem warmen Gewächshause wuchsen, wurden mit Fäden bezeichnet, und nach 24 Stunden waren sechs von ihnen senkrecht herabhängend; diese hatten sich daher in dieser Zeit durch 180° bewegt. Zehn waren subhorizontal ausgestreckt, und diese hatten sich ungefähr durch 90° bewegt. Drei sehr junge Blüthenstengel hatten sich bis jetzt nur wenig abwärts bewegt, aber nach weiteren 24 Stunden waren sie bedeutend geneigt.

Zu der Zeit, wenn die Blüthenköpfe die Erde erreichen, sind die jüngeren, unvollkommenen Blüthen in der Mitte noch immer dicht zusammengedrängt und bilden eine kegelförmige Hervorragung, während die vollkommenen und unvollkommenen Blüthen an der Auszenseite nach oben gewendet sind und die Blüthenstengel dicht umgeben. Sie werden auf diese Weise angepasst, so wenig Widerstand, als der Fall zulässt, beim Durchbohren des Bodens darzubieten, obschon der Durchmesser des Blüthenkopfes noch immer beträchtlich ist. Die Mittel, durch welche dieses Durchbrechen bewirkt wird, werden sofort beschrieben werden. Die Blüthenköpfe sind im Stande, sich in gewöhnlicher Gartenerde zu vergraben und leicht in Sand oder in fein gesiebte, ziemlich dicht gepackte Schlacken. Die Tiefe, bis zu welcher sie eindringen, von der Oberfläche bis zur Basis des Kopfes gemessen, betrug zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Zoll, aber in einem Falle eher noch über 0.6 Zoll. Bei einer Pflanze, die im Hause gehalten wurde, grub sich ein Kopf in sechs Stunden zum Theil in Sand ein; nach drei Tagen waren nur die Spitzen der zurückgebogenen Kelche sichtbar, und nach sechs Tagen war das Ganze verschwunden. Aber bei Pflanzen, welche im Freien wachsen, glauben wir nach gelegentlichen Beobachtungen, dass sie sich in einer viel kürzeren Zeit eingraben.

Nachdem sich die Köpfe eingegraben haben, nehmen die centralen, abortiven Blüthen beträchtlich an Länge und Starre zu und werden gebleicht. Sie krümmen sich allmählich eine nach der andern aufwärts oder

³ Hist. Phys. des Plantes d'Europe T. 2. 1841, p. 106.

nach dem Blütenstengel hin in der Weise, wie es zuerst die vollkommenen Blüten thaten. Wenn sie sich in dieser Weise bewegen, führen die langen Klauen an ihren Spitzen etwas Erde mit sich. Es bildet daher ein Blütenkopf, welcher eine hinreichend lange Zeit eingegraben gewesen ist, eine ziemlich grosse Kugel, die aus den abortiven Blüten, eine von der andern durch Erde getrennt, besteht, und welche die kleineren Schoten (das Product der vollkommenen Blüten), welche dicht rings um den oberen Theil des Blütenstiels herumliegen, umgibt. Die Kelche der vollkommenen und unvollkommenen Blüten sind mit einfachen und vielzelligen Haaren bekleidet, welche das Vermögen der Absorption besitzen. Denn als sie in eine schwache Lösung von kohlensaurem Ammoniak (zwei Gran auf eine Unze Wasser) gelegt wurden, wurde ihr protoplasmatischer Inhalt sofort aggregirt und entfaltete später die gewöhnlichen langsamen Bewegungen. Dieser Klee wächst meist in trockenem Boden; ob aber das Absorptionsvermögen der Haare an den eingegrabenen Blütenköpfen für sie von irgend welcher Bedeutung ist, wissen wir nicht. Nur einige wenige von den Blütenköpfen, welche wegen ihrer Stellung nicht im Stande sind, die Erde zu erreichen und sich einzugraben, ergaben Samen, während die eingegrabenen, soweit wir beobachtet haben, niemals fehlgeschlagen und immer so viel produciren als vollkommene Blüten vorhanden gewesen waren.

Wir wollen nun die Bewegungen des Blütenstengels, während er sich nach der Erde hinkrümmt, betrachten. Wir haben in Capitel IV,

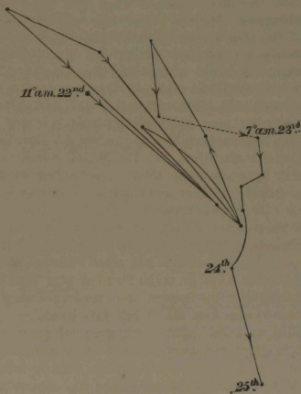


Fig. 190. *Trifolium subterraneum*: Abwärtsbewegung des Blütenstengels von 19° unter dem Horizont bis zu einer beinahe senkrecht herabhängenden Stellung, von 11 a. m., 22. Juli, bis zum Morgen des 25. aufgezeichnet. Glasfaden quer über den Blütenstengel befestigt, an der Basis des Blütenkopfes.

Fig. 92, p. 191, gesehen, dasz ein aufrechter junger Blütenkopf augenfällig circumnutirte, und dasz die Bewegung fort dauerte, nachdem der Blütenstengel angefangen hatte, sich abwärts zu biegen. Derselbe Blütenstengel wurde beobachtet, als er unter einem Winkel von 19° über dem Horizont aufgerichtet war, und er circumnutirte während zweier Tage. Ein anderer, welcher bereits 36° unter den Horizont gekrümmt war, wurde von 11 Uhr a. m. am 22. Juli bis zum 27. beobachtet, in welch' letzterer Zeit er senkrecht hinabhängend geworden war. Seine Bewegung während der ersten zwölf Stunden ist in Fig. 190 dargestellt, ebenso wie seine Stellung an den drei folgenden Morgen bis zum 25., wo er nahezu senkrecht war. Während des ersten Tages circumnutirte der Blütenstengel deutlich, denn er bewegte sich viermal nieder- und viermal aufwärts, und an jedem späteren Tage dauerte, als er abwärts sank, dieselbe Bewegung fort, wurde aber nur gelegentlich beobachtet und war weniger stark ausgesprochen. Es musz noch angegeben werden, dasz diese Blütenstengel unter einem doppelten Oberlichte im Hause beobachtet wurden, und dasz sie sich meist sehr viel langsamer abwärts bewegten, als diejenigen an im Freien oder im Gewächshause wachsenden Pflanzen.

Die Bewegung eines andern, senkrecht herabhängenden Blütenstengels, dessen Blütenkopf $\frac{1}{2}$ Zoll über der Erde stand, wurde verfolgt und ebenso wieder, als er zuerst die Erde berührte; in beiden Fällen wurden alle vier oder fünf Stunden unregelmäßige Ellipsen beschrieben. Ein Blütenstengel an einer Pflanze, welche in das Haus gebracht worden war, bewegte sich in einem einzigen Tage von einer aufrechten in eine senkrecht herabhängende Stellung; und hier war die Bewegung während der ersten zwölf Stunden nahezu gerade, aber doch mit einigen wenigen gut ausgesprochenen Zickzacken, welche die wesentliche Natur der Bewegung verriethen. Endlich wurde die Circumnutation eines Blütenstengels während 51 Stunden verfolgt, während er sich schräg in einen kleinen Haufen Sandes eingrub. Nachdem er sich bis zu einer solchen Tiefe eingegraben hatte, dasz nur noch die Spitzen der Kelchblätter sichtbar waren, wurde die beistehende Figur (Fig. 191) 25 Stunden lang



Fig. 191. *Trifolium subterraneum*: Circumnutirende Bewegung des Blütenstengels, während sich der Blütenkopf in Sand eingrub, die rückgebogenen Spitzen des Kelchs waren noch sichtbar; von 8 a. m., 26. Juli, bis 9 a. m., am 27., aufgezeichnet. Glasfaden quer auf dem Blütenstengel in der Nähe des Blütenkopfes befestigt.

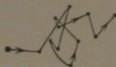


Fig. 192. *Trifolium subterraneum*: Bewegung desselben Blütenstengels, als der Blütenkopf vollständig im Sande eingegraben war; von 8 a. m. bis 7.15 p. m., am 29. Juli, aufgezeichnet.

aufgezeichnet. Als der Blütenkopf vollständig unter dem Sande verschwunden war, wurde eine andere Zeichnung während 11 Stunden 45 Minuten gemacht (Fig. 192), und hier sehen wir wieder, dasz der Blütenstiel circumnutirte.

Wer nur immer einen sich eingrabenden Blütenkopf beobachten will, wird überzeugt sein, dass die stoszende Bewegung, welche eine Folge der fort dauernden Circumnutation des Blütenstengels ist, eine bedeutungsvolle Rolle in diesem Akte spielt. Bedenkt man, dass die Blütenköpfe senkrecht sind, dass die Blütenstengel lang, dünn und biegsam sind, und dass sie von biegsamen Zweigen entspringen, so ist es unglaublich, dass ein so stumpfer Gegenstand, wie einer von diesen Blütenköpfen, die Erde mittelst der Kraft des Wachsthums des Blütenstengels durchbohren könne, wenn er nicht durch die stoszweise Bewegung unterstützt würde. Nachdem ein Blütenkopf die Erde bis zu einer geringen Tiefe durchbohrt hat, kommt noch eine andere und wirksame Kraft ins Spiel: die centralen, starren, abortiven Blüten, von denen eine jede in fünf langen Klauen endet, krümmen sich aufwärts nach dem Stiele zu, und indem sie dies thun, können sie nicht anders als den Kopf in eine grözere Tiefe hinabziehen, wobei diese Thätigkeit durch die circumnutirende Bewegung unterstützt wird, welche noch fort dauert, nachdem der Blütenkopf sich vollständig eingegraben hat. Die abortiven Blüten wirken hiernach etwas ähnlich, wie die Hände des Maulwurfs, welche die Erde zurück und den Körper vorwärts zwängen.

Es ist bekannt, dass die Samenkapseln verschiedener sehr getrennt im System stehender Pflanzen sich entweder in die Erde eingraben oder von unvollkommenen unter der Erdoberfläche entwickelten Blüten hervorgebracht werden. Auszer dem vorliegenden Falle werden zwei andere, scharf ausgesprochene Beispiele sofort mitgetheilt werden. Wahrscheinlich ist der eine hauptsächlichliche Vortheil, der hierdurch erlangt wird, der Schutz der Samen vor Thieren, welche von ihnen leben. Was das *T. subterraneum* betrifft, so werden die Samen nicht nur verborgen dadurch, dass sie eingegraben werden, sondern sie werden gleichfalls noch dadurch geschützt, dass sie dicht von starren, abortiven Blüten umgeben sind. Wir können um so zuversichtlicher folgern, dass hier der Schutz bezweckt wird, weil die Samen mehrerer Species in der nämlichen Gattung auf andere Weise geschützt werden⁴, nämlich durch die Anschwellung und das Verschlieszen des Kelches oder durch das Bestehenbleiben und Niederbiegen des Hauptkronenblattes u. s. w. Aber das merkwürdigste Beispiel ist das von *T. globosum*, bei welchem die oberen Blüten steril sind, wie bei *T. subterraneum*, hier aber zu langen Haarpinseln entwickelt werden, welche die samentragenden Blüten einhüllen und schützen. Auszerdem dürften in allen diesen Fällen die Kapseln mit ihren Samen, wie Mr. T. THISELTON DYER bemerkt hat⁵, dadurch noch einen Vortheil erlangen, dass sie etwas feucht gehalten werden, und der Vortheil einer derartigen Feuchtigkeit wirft vielleicht einiges Licht auf das Vorhandensein der absorbirenden Haare an den eingegrabenen Blütenköpfen von *T. subterraneum*. Nach der Angabe von Mr. BENTHAM, welche Mr. DYER citirt, bringt die niedergestreckte Haltung von *Helianthemum prostratum* „die Kapseln in „Berührung mit der Oberfläche des Bodens, hält ihre Reife auf und begünstigt hierdurch das Heranwachsen der Samen zu einer bedeuten-

⁴ Vaucher, Hist. phys. des Plantes d'Europe T. 2, p. 110.

⁵ s. seinen interessanten Aufsatz in: Nature, 4. April 1878, p. 446.

„deren Größe“. Die Kapseln von *Cyclamen* und *Oxalis acetosella* werden nur gelegentlich eingegraben und dies nur unter abgestorbene Blätter oder Moos. Wenn es ein Vortheil für eine Pflanze ist, dass ihre Kapseln feucht und kühl gehalten werden dadurch, dass sie auf der Erde liegen, so haben wir in diesen letzteren Fällen den ersten Schritt, von welchem her das Vermögen, den Boden zu durchbohren, mit Hilfe der immer vorhandenen Bewegung der Circumnutation später wohl erlangt worden sein könnte.

Arachis hypogaea. — Die Blüten, welche sich eingraben, entspringen von steifen Zweigen wenige Zolle über der Erde und stehen aufrecht. Nachdem sie abgefallen sind, wächst der Gynophor, d. h. der Theil, welcher das Ovarium trägt, zu einer grossen Länge heran, selbst bis zu 3 oder 4 Zoll und biegt sich senkrecht abwärts. Er ist einem Blütenstengel sehr ähnlich, hat aber eine glatte und scharfe Spitze, welche die Ei'chen enthält und anfangs nicht im mindesten vergrößert ist. Nachdem die Spitze den Boden erreicht hat, durchbohrt sie ihn, und zwar in einem von uns beobachteten Falle bis zu einer Tiefe von 1 Zoll und in einem andern bis zu 0.7 Zoll. Sie wird dann zu einer grossen Samenkapsel entwickelt. Blüten, welche zu hoch an der Pflanze stehen, als dass der Gynophor den Boden erreichen könnte, sollen⁶, wie man sagt, niemals Samenkapseln produciren.

Die Bewegung eines jungen Gynophors von etwas unter 1 Zoll Länge und senkrecht herabhängend, wurde 46 Stunden lang mittelst eines quer, ein wenig über der Spitze befestigten Glasfadens (mit Leitpunkten) verfolgt. Er circumnutirte deutlich (Fig. 193), während er an Länge zunahm und abwärts wuchs. Er wurde dann aufgerichtet, so dass er beinahe horizontal ausgestreckt war, und das Endstück krümmte sich abwärts, während 12 Stunden einen nahezu geraden Weg einschlagend, aber mit einem Versuche zu circumnutiren, wie es Fig. 194 darstellt. Nach 24 Stunden war er beinahe senkrecht geworden. Ob die anregende Ursache der Abwärtsbewegung Geotropismus oder Apheliotropismus ist, wurde nicht ermittelt; wahrscheinlich ist es aber nicht Apheliotropismus, da alle Gynophoren gerade abwärts nach der Erde wuchsen, während das Licht im Warmhause von einer Seite her ebenso gut wie von oben eintrat. Ein anderer und älterer Gynophor, dessen Spitze nahezu die Erde erreicht hatte, wurde während dreier Tage in derselben Weise, wie der ersterwähnte kurze, beobachtet, und es ergab sich, dass er immer circumnutirte. Während der ersten 34 Stunden beschrieb er eine Figur, welche vier Ellipsen darstellte. Endlich wurde ein langer Gynophor, dessen Spitze sich bis zur Tiefe von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll eingegraben hatte, heraufgezogen und horizontal ausgestreckt: er begann sich sehr schnell in einer Zickzacklinie abwärts zu krümmen; aber am folgenden Tage war die terminale, gebleichte Partie ein wenig verschrumpft. Da die Gynophoren starr sind und von starren Zweigen entspringen, und da sie in scharfe, glatte Spitzen enden, so ist es wahrscheinlich, dass sie die Erde durch die blosze Kraft des Wachsthum's durchdringen können. Aber dieser Procesz musz durch die circumnutirende Bewegung unterstützt werden, denn feiner, feucht

⁶ Gardener's Chronicle. 1857, p. 566.

gehaltener Sand wurde dicht rund um die Spitze eines Gynophors, welcher den Boden erreicht hatte, zusammengedrückt, und nach einigen wenigen



Fig. 193. *Arachis hypogaea*: Circumnutation eines senkrecht herabhängenden jungen Gynophors, an einer senkrechten Glasplatte von 10 a. m., 31. Juli, bis 8 a. m., 2. August, aufgezeichnet.



Fig. 194. *Arachis hypogaea*: Abwärtsbewegung des nämlichen jungen Gynophors, nachdem er horizontal ausgestreckt war; an einer senkrechten Glasscheibe von 8.30 a. m. bis 8.30 p. m., am 2. August aufgezeichnet.

Stunden war er von einem schmalen, offenen Spalt umgeben. Nach drei Wochen wurde dieser Gynophor entblost, und es fand sich, dass die Spitze einer Tiefe von etwas über $\frac{1}{2}$ Zoll sich in eine kleine, weisse, ovale Samenkapsel entwickelt hatte.

Amphicarpaea monoica. — Diese Pflanze bringt lange, dünne Sprossen, welche sich rund um eine Stütze winden und natürlich circumnutiren, hervor. Zeitig im Sommer werden kürzere Sprossen von den unteren Theilen der Pflanze entwickelt, welche senkrecht abwärts wachsen und sich in den Boden einbohren. Einer von diesen, in einer minutiösen Knospe endend, wurde beobachtet, und er grub sich bis zu einer Tiefe von 0.2 Zoll in 24 Stunden in Sand ein. Er wurde in die Höhe gezogen und in einer geneigten Stellung von ungefähr 25° unter dem Horizont fixirt, wobei er schwach von oben beleuchtet wurde. In dieser

Stellung beschrieb er in 24 Stunden zwei senkrechte Ellipsen; aber am folgenden Tage, als er in das Haus gebracht war, circumnutirte er nur sehr wenig rings um denselben Fleck. Es wurde noch beobachtet, dasz andere Zweige sich in die Erde bohrten, und später fand sich, dasz sie wie Wurzeln unter der Oberfläche in einer Längenausdehnung von nahezu zwei Zoll hinliefen und dabei dick geworden waren. Einer von diesen war, nachdem er in der Weise ausgelaufen war, in die Luft hervorgetreten. Wie weit Circumnutation diese zarten Zweige darin unterstützt in die Erde einzudringen, wissen wir nicht; aber die rückgebogenen Haare, mit denen sie bekleidet sind, werden sie in der Arbeit unterstützen. Diese Pflanzen bringen Samenkapseln in der Luft und unter der Erde hervor, welche im Aussehen bedeutend von einander abweichen. ASA GRAY sagt⁷, dasz es die unvollkommenen Blüthen auf den kriechenden Zweigen in der Nähe der Basis der Pflanze sind, welche die unterirdischen Samenkapseln produciren; es müssen sich daher diese Blüthen gleich denen von *Arachis* eingraben. — Man kann aber vermuthen, dasz die Zweige, von denen wir gesehen haben, dasz sie die Erde durchbohren, gleichfalls unterirdische Blüthen und Samenkapseln hervorbringen.

Diageotropismus.

Auszer dem Geotropismus und Apogeotropismus ist noch, nach der Angabe von FRANK, eine verwandte Form von Bewegung vorhanden, nämlich „Transversal-Geotropismus“ oder „Diageotropismus“, wie wir ihn nennen können, damit er mit unseren anderen Ausdrücken in Übereinstimmung kommt. Unter dem Einflusse der Gravitation werden gewisse Theile angeregt, sich mehr oder weniger quer auf die Linie ihrer Einwirkung zu stellen⁸. Wir haben über diesen Gegenstand keine Beobachtungen angestellt und wollen hier nur bemerken, dasz die Stellung der secundären Würzelchen verschiedener Pflanzen, welche sich horizontal ausstrecken oder ein wenig abwärts geneigt sind, wahrscheinlich von FRANK für eine Folge des Transversal-Geotropismus angesehen werden würde. Wie im ersten Capitel gezeigt worden ist, dasz die secundären Würzelchen von *Cucurbita serpentina* Spuren auf einer beruszten Glasplatte hinterlassen, so circumnutiren sie deutlich, und es läsz sich kaum daran zweifeln, dasz dies auch für andere secundäre Würzelchen gilt. Es scheint daher im hohen Grade wahrscheinlich zu sein, dasz sie sich mittelst modificirter Circumnutation in ihre diageotropische Stellung bringen.

⁷ Manual of the Botany of the Northern United States, 1856, p. 106.

⁸ Elfving hat vor Kurzem (Arbeiten des Botan. Instit. Würzburg, 2. Bd., 1880, p. 489) ein ausgezeichnetes Beispiel solcher Bewegungen an den Rhizomen gewisser Pflanzen beschrieben.

Endlich können wir schlieszen, dasz die drei Arten von Bewegung, welche wir nun beschrieben haben und welche durch die Schwerkraft angeregt werden, in modificirter Circumnutation bestehen. Verschiedene Theile oder Organe an einer und derselben Pflanze und derselbe Theil an verschiedenen Species werden hierdurch angeregt, sich in sehr verschiedenen Weisen zu bewegen. Wir sehen keinen Grund ein, warum die Anziehung der Schwerkraft den Zustand der Turgescenz und des darauffolgenden Wachsthums eines Theiles auf der oberen Seite und eines anderen Theiles auf der unteren Seite direct modificiren sollte. Wir werden daher zu dem Schlusse geführt, dasz sowohl geotropische als apogeotropische und diageotropische Bewegungen, deren Zweck wir im Allgemeinen einsehen können, durch Modification der immer vorhandenen Bewegung der Circumnutation zum Vortheil der Pflanze erlangt worden sind. Dies setzt indessen voraus, dasz die Schwerkraft irgend eine Wirkung auf junge Gewebe ausübt, hinreichend, der Pflanze als Führer zu dienen.

Elftes Capitel.

Localisirte Empfindlichkeit gegen die Schwerkraft und ihre fortgeleiteten Wirkungen.

Allgemeine Betrachtungen. — *Vicia faba*: Wirkungen der Amputation der Spitzen der Würzelchen. — Regeneration der Spitzen. — Wirkung des geotropischen Einflusses, wenn die Spitzen kurze Zeit demselben ausgesetzt sind, und deren späteren Amputation. — Wirkungen einer schrägen Amputation ihrer Spitzen. — Wirkungen der Ätzung der Spitzen. — Wirkungen eines Fettüberzuges auf die Spitzen. — *Pisum sativum*: Spitzen der Würzelchen quer und auf ihren oberen und unteren Seiten cauterisirt. — *Phaseolus*: Cauterisation und Fettüberzug der Spitzen. — *Gossypium*. — *Cucurbita*: Spitzen quer und auf ihren oberen und unteren Seiten cauterisirt. — *Zea*: Spitzen cauterisirt. — Schlussbemerkungen und Zusammenfassung des Capitels. — Vortheil der in den Spitzen der Würzelchen localisirten Empfindlichkeit für Geotropismus.

CIESIELSKI gibt an¹, dasz, wenn die Wurzeln von *Pisum*, *Lens* und *Vicia* horizontal ausgestreckt und die Spitzen abgeschnitten werden, Geotropismus nicht auf sie einwirkt. Aber einige Tage später, wenn eine neue Wurzelkappe und ein Vegetationspunkt gebildet worden sind, biegen sie sich senkrecht abwärts. Er gibt ferner an, dasz, wenn die Spitzen abgeschnitten werden, nachdem die Wurzeln eine kurze Zeit lang horizontal ausgestreckt gelassen worden sind, aber ehe sie angefangen haben sich abwärts zu biegen, sie in irgend welche Stellung gebracht werden können und sie biegen sich doch, als wenn Geotropismus noch immer auf sie wirkte; und dies zeigt, dasz irgend ein Einflusz bereits von der Spitze, ehe sie amputirt wurde, auf den sich biegenden Theil übergeleitet worden war. SACHS wiederholte diese Experimente; er schnitt ein Stückchen von zwischen 0.05 und 1 mm Länge (von der Spitze des Vegetationspunktes an gemessen) von den Spitzen der Würzelchen der Bohne (*Vicia faba*) ab und legte sie horizontal oder senkrecht in

¹ Abwärtskrümmung der Wurzel. Inaug.-Dissert. Breslau, 1871, p. 29.

feuchte Luft, Erde und Wasser mit dem Resultate, dass sie in allen Arten von Richtungen gekrümmt wurden². Er zweifelte daher an CIESIELSKI's Folgerungen. Da wir aber bei verschiedenen Pflanzen gesehen haben, dass die Spitze des Würzelchens gegen Berührung und andere Reizmittel empfindlich ist, und dass sie einen gewissen Einfluss auf den oberen wachsenden Theil hinleitet, welcher diesen zu biegen verursacht, schien uns in CIESIELSKI's Angabe keine a priori-Unwahrscheinlichkeit zu liegen. Wir beschlossen daher seine Versuche zu wiederholen und noch andere an verschiedenen Species nach verschiedenen Methoden anzustellen.

Vicia faba. — Würzelchen dieser Pflanze wurden horizontal entweder über Wasser oder mit ihren unteren Oberflächen dasselbe so eben berührend ausgestreckt. Ihre Spitzen waren vorher in einer so genauen queren Richtung, als nur ausgeführt werden konnte, in verschiedenen Längen abgeschnitten worden, welche von der Spitze der Wurzelkappe gemessen wurden, und welche in jedem einzelnen Falle speciell werden angeführt werden. Licht wurde immer ausgeschlossen. Wir hatten vorher Hunderte von nicht verstümmelten Würzelchen unter denselben Umständen versucht und gefunden, dass jedes einzelne, welches gesund war, in weniger als 12 Stunden deutlich geotropisch wurde. Bei vier Würzelchen, an denen die Spitzen in einer Länge von 1.5 mm abgeschnitten worden waren, wurden neue Wurzelkappen und neue Vegetationspunkte nach einem Verlaufe von 3 Tagen 20 Stunden wiedergebildet, und als diese horizontal gelegt wurden, wirkte Geotropismus auf sie ein. Bei einigen anderen Gelegenheiten trat diese Regeneration der Spitzen und die wiedererlangte Empfindlichkeit innerhalb einer etwas kürzeren Zeit ein. Man muss daher Würzelchen, deren Spitzen amputirt waren, von 12—48 Stunden nach der Operation beobachten.

Vier Würzelchen wurden horizontal ausgestreckt, so dass ihre unteren Flächen das Wasser berührten und ihre Spitzen wurden in einer Länge von nur 0.5 mm abgeschnitten: nach 23 Stunden waren drei von ihnen noch immer horizontal; nach 47 Stunden war eins von den dreien deutlich geotropisch; und nach 70 Stunden zeigten die anderen zwei eine Spur dieser Wirkung. Das vierte Würzelchen war nach 23 Stunden senkrecht geotropisch; aber durch einen Zufall war, wie sich ergab, allein die Wurzelkappe und nicht der Vegetationspunkt mit amputirt worden, sodass dieser Fall keine wirkliche Ausnahme bildete und hätte ausgeschlossen werden können.

Fünf Würzelchen wurden wie die letzteren horizontal ausgestreckt, ihre Spitzen wurden in einer Länge von 1 mm abgeschnitten; nach 22—23 Stunden waren vier von ihnen noch immer horizontal und eins war unbedeutend geotropisch; nach 48 Stunden war das letztere senkrecht geworden; auch ein zweites war etwas geotropisch; zwei blieben annähernd horizontal; und das letzte oder fünfte war in einer unordentlichen

² Arbeit. Botan. Institut. in Würzburg, 3. Heft, 1873, p. 432.

Weise gewachsen, denn es war unter einem Winkel von 65° über den Horizont aufgerichtet.

Vierzehn Würzelchen wurden in einer geringen Höhe über dem Wasser horizontal ausgestreckt und ihre Spitzen in einer Länge von 1.5 mm abgeschnitten. Nach 12 Stunden wurden sie sämtlich horizontal, während fünf Control- oder Musterexemplare in demselben Glase sämtlich bedeutend abwärts gebogen waren. Nach 24 Stunden blieben mehrere von den amputirten Würzelchen noch horizontal, einige zeigten aber eine Spur von Geotropismus, und eins war deutlich geotropisch, denn es war in einem Winkel von 40° unter den Horizont geneigt.

Sieben horizontal ausgestreckte Würzelchen, von denen die Spitzen in der ungewöhnlichen Länge von 2 mm abgeschnitten worden waren, wurden unglücklicherweise nicht eher wieder angesehen, als bis 35 Stunden verflossen waren; drei waren noch immer horizontal, aber vier waren zu unserer Überraschung mehr oder weniger deutlich geotropisch.

Die Würzelchen in den vorstehenden Fällen wurden gemessen, ehe ihre Spitzen amputirt wurden, und im Verlaufe von 24 Stunden hatten sie sämtlich bedeutend an Länge zugenommen; die Messungen sind aber nicht der Mittheilung werth. Von grösserer Bedeutung ist, dasz SACHS gefunden hat, dasz die Wachstumsgeschwindigkeit der verschiedenen Theile der Würzelchen mit amputirten Spitzen dieselbe war wie bei nicht verstümmelten. Im Ganzen wurde an 29 Würzelchen die Operation in der oben beschriebenen Weise ausgeführt, und von diesen zeigten nur einige wenige irgend welche geotropische Krümmung innerhalb 24 Stunden; während Würzelchen mit nicht verstümmelten Spitzen in weniger als der Hälfte dieser Zeit, wie bereits angeführt wurde, immer bedeutend abwärts gekrümmt wurden. Der Theil des Würzelchens, welcher sich am meisten biegt, liegt in der Entfernung von 3—6 mm von der Spitze, und da der sich biegende Theil nach der Operation zu wachsen fortfährt, scheint kein Grund vorhanden zu sein, warum er nicht von Geotropismus hätte beeinflusst werden sollen, wenn nicht seine Krümmung von irgend einem von der Spitze her überlieferten Reize abhienge; und wir haben klare Beweise einer solchen Überlieferung in CIESIELSKI'S Experimenten, welche wir wiederholten und in der folgenden Art und Weise ausdehnten.

Bohnen wurden in zerreiblichen Torf mit dem Hilum nach abwärts eingebracht, und nachdem ihre Würzelchen bis zu einer Länge von $\frac{1}{2}$ —1 Zoll senkrecht abwärts gewachsen waren, wurden 16 ausgewählt, welche vollkommen gerade waren, und diese wurden auf dem Torfe horizontal hingelegt und von einer dünnen Schicht desselben bedeckt. Sie wurden für eine mittlere Zeit von 1 Stunde 37 Min. so gelassen. Dann wurden die Spitzen quer in einer Länge von 1.5 mm abgeschnitten, und unmittelbar darauf wurden sie senkrecht in den Torf eingelegt. In dieser Stellung wird der Geotropismus nicht dahinstreben, irgend welche Krümmung hervorzurufen, wenn aber irgend ein Einfluss bereits von der Spitze aus auf den Theil, welcher sich am meisten biegt, hin geleitet worden wäre, so könnten wir erwarten, dasz dieser Theil in der Richtung sich krümmen würde, in welcher Geotropismus vorher eingewirkt hat; denn es musz beachtet werden, dasz diese Würzelchen, nun ihrer Empfindlichkeit beraubt, nicht durch Geotropismus daran verhindert werden, in irgend

welcher Richtung sich zu krümmen. Das Resultat war, dass von den sechzehn senkrecht eingelegten Würzelchen vier während mehrerer Tage abwärts zu wachsen fortführen, während zwölf mehr oder weniger seitlich gebogen wurden. Bei zweien von diesen zwölf war eine Spur von Krümmung in 3 Stunden 30 Min. wahrnehmbar, von der Zeit an gezählt, als sie zuerst horizontal gelegt worden waren; und sämmtliche zwölf waren in 6 Stunden deutlich gekrümmt und in 9 Stunden noch deutlicher. Bei jedem einzelnen von ihnen war die Krümmung nach der Seite hin gerichtet, welche, während die Würzelchen horizontal geblieben waren, nach unten gerichtet war. Die Krümmung erstreckte sich auf eine Länge von 5 bis, in einem Falle, 8 mm von dem abgeschnittenen Ende. Von den zwölf gebogenen Würzelchen wurden fünf dauernd in einen rechten Winkel gebogen; die anderen sieben waren zuerst viel weniger gebogen und ihre Krümmung nahm meist nach 24 Stunden ab, verschwand aber nicht gänzlich. Diese Abnahme der Krümmung wird natürlich dann eintreten, wenn der Umstand, dass sie nur 1 Stunde 37 Minuten dem Geotropismus ausgesetzt waren, dazu diente, die Turgescenz der Zellen, aber nicht ihr späteres Wachsthum bis zur vollen Ausdehnung zu modificiren. Die fünf Würzelchen, welche rechtwinklig gebogen waren, wurden in dieser Richtung fixirt, und sie fuhren von 4—6 Tage hindurch horizontal im Torfe zu wachsen fort bis zu einer Länge von ungefähr 1 Zoll. In dieser Zeit hatten sich neue Spitzen gebildet, und es ist zu bemerken, dass diese Regeneration im Torfe langsamer eintrat als im Wasser, vielleicht in

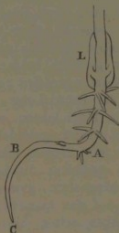


Fig. 195. *Vicia faba*: Würzelchen bei A nach der Amputation der Spitze rechtwinklig gebogen in Folge des früheren Einflusses des Geotropismus. L Seite der Bohne, welche auf dem Torfe lag, während Geotropismus auf das Würzelchen wirkte. A Punkt der Hauptkrümmung des Würzelchens, als es senkrecht abwärts stand, B Punkt der Hauptkrümmung nach der Regeneration der Spitze, als Geotropismus wiederum einwirkte. C regenerirte Spitze.

Folge davon, dass häufig nach den Würzelchen gesehen wurde und sie dadurch gestört wurden. Nachdem die Spitzen regenerirt waren, war Geotropismus wieder im Stande auf sie zu wirken, so dass sie nun senkrecht abwärts gekrümmt wurden. Eine genaue Zeichnung (Fig. 195) wird hier von einem von diesen fünf Würzelchen mitgetheilt, auf die halbe natürliche Grösze reducirt.

Wir versuchten zunächst, ob, wenn man die Würzelchen eine kurze Zeit dem Geotropismus aussetzt, dies genügen würde, eine Nachwirkung

hervorzubringen. Sieben Würzelchen wurden 1 Stunde lang horizontal ausgestreckt, anstatt 1 Stunde 37 Min. lang, wie in dem früheren Versuche, und nachdem ihre Spitzen (1.5 mm lang) amputirt worden waren, wurden sie senkrecht in feuchten Torf gestellt. Von diesen wurden drei nicht im mindesten afficirt und fuhren Tage lang fort gerade abwärts zu wachsen. Vier zeigten nach 8 Stunden 30 Min. bloß eine Spur von Krümmung in der Richtung, in welcher sie vom Geotropismus beeinflusst worden waren, und in dieser Beziehung wichen sie bedeutend von denen ab, welche 1 Stunde 37 Min. lang ausgesetzt worden waren. Denn viele von den letzteren waren in 6 Stunden deutlich gekrümmt. Die Krümmung eines dieser vier Würzelchen verschwand nach 24 Stunden beinahe ganz. Bei dem zweiten nahm die Krümmung während zweier Tage zu und nahm dann ab. Das dritte Würzelchen wurde permanent gebogen, so dasz sein terminaler Theil einen Winkel von ungefähr 45° mit seiner ursprünglich senkrechten Richtung bildete. Das vierte Würzelchen wurde horizontal. Diese zwei letzteren Würzelchen fuhren während zweier weiteren Tage fort im Torf in denselben Richtungen zu wachsen, d. h. unter einem Winkel von 45° unter dem Horizont und horizontal. Am vierten Morgen waren neue Spitzen gebildet worden, und nun war der Geotropismus wieder im Stande auf sie zu wirken, und sie wurden nun senkrecht niedergebogen, genau wie in dem Falle von den fünf Würzelchen, die im letzten Absatze beschrieben wurden, und wie es hier in der vorstehenden Figur (Fig. 195) mitgetheilt ist.

Endlich wurden fünf andere Würzelchen in ähnlicher Weise behandelt, wurden aber nur 45 Minuten lang dem Geotropismus ausgesetzt. Nach 8 Stunden 30 Min. war nur eins in einer zweifelhaften Weise afficirt; nach 24 Stunden waren zwei eben merkbar nach der Seite hingekrümmt, auf welcher der Geotropismus gewirkt hatte; nach 48 Stunden war an dem zuerst erwähnten ein Krümmungsradius von 60 mm vorhanden. Dasz diese Krümmung eine Folge der Einwirkung des Geotropismus während der horizontalen Stellung des Würzelchens war, zeigte sich nach vier Tagen, als eine neue Spitze wieder gebildet worden war. Denn nun wuchs es senkrecht abwärts. Wir lernen aus diesem Fall, dasz, wenn die Spitzen amputirt werden, nachdem die Spitzen nur 45 Minuten der Wirkung des Geotropismus ausgesetzt gewesen waren, zwar ein unbedeutender Einfluss zuweilen auf das benachbarte Stück des Würzelchens überliefert wird, dasz dies aber selten hinreicht, und dann auch nur langsam, selbst eine mäßig gut ausgesprochene Krümmung herbeizuführen.

In den früher gegebenen Experimenten an 29 horizontal ausgestreckten Würzelchen, an denen die Spitzen amputirt waren, wuchs nur ein einziges in irgend einer ausgesprochenen Weise unregelmäßig. Und dies wurde unter einem Winkel von 65° aufwärts gebogen. In CIESIELSKI'S Versuchen konnten die Würzelchen nicht sehr unregelmäßig gewachsen sein; denn wenn sie es gethan hätten, würde er nicht haben zuversichtlich von der Obliteration jeder geotropischen Einwirkung sprechen können. Es ist daher merkwürdig, dasz SACHS, welcher an vielen Würzelchen Versuche anstellte, deren Spitzen amputirt waren, äusserst unordentliches Wachstum als das gewöhnliche Resultat fand. Da horizontal ausgestreckte Würzelchen mit amputirten Spitzen zuweilen unbedeutend von Geotropismus inner-

halb einer kurzen Zeit beeinflusst werden, derselbe auch häufig nach einem oder zwei Tagen deutlich auf sie wirkt, glaubten wir, dass dieser Einfluss möglicherweise unregelmäßiges Wachsthum verhindern könnte, obschon er nicht im Stande wäre, unmittelbar eine Krümmung zu veranlassen. Es wurden daher 13 Würzelchen, an sechs von denen die Spitzen in einer Längenausdehnung von 1.5 mm und an den anderen sieben in einer Längenausdehnung von nur 0.5 mm quer amputirt worden waren, senkrecht in feuchter Luft aufgehängt, in welcher Stellung sie von Geotropismus nicht beeinflusst werden würden. Sie boten aber keine grosse Unregelmäßigkeit des Wachsthums dar, solange sie während 4—6 Tagen beobachtet wurden. Wir glaubten dann zunächst, dass wenn man bei dem queren Abschneiden der Spitzen nicht Sorgfalt angewendet habe, eine Seite des Stumpfes stärker als die andere gereizt werden möchte, entweder schon anfangs oder später während der Regeneration der Spitze, und dass dies die Ursache davon sein könnte, dass das Würzelchen nach einer Seite sich biegt. Auch ist im dritten Capitel gezeigt worden, dass, wenn ein dünnes Scheibchen von einer Seite der Spitze des Würzelchens abgeschnitten wird, dies die Ursache wird, dass sich das Würzelchen von der operirten Seite wegbiegt. Dem entsprechend lieszen wir 30 Würzelchen, an denen die Spitzen in einer Längenausdehnung von 1.5 mm amputirt waren, senkrecht abwärts im Wasser wachsen. An zwanzig von ihnen wurden die Spitzen unter einem Winkel von 20° mit einer quer auf ihrer Längensachse stehenden Linie amputirt, und derartige Stümpfe erschienen nur mäßig schräg. An den übrigen zehn Würzelchen wurde die Spitze unter einem Winkel von ungefähr 45° amputirt. Unter diesen Umständen wurden nicht weniger als 19 unter den 30 im Verlaufe von zwei oder drei Tagen bedeutend verdreht. Elf andere Würzelchen wurden ähnlich behandelt, ausgenommen dass nur 1 mm (in diesen, wie in allen übrigen Fällen mit Einschlusz der Wurzelkappe) amputirt wurde; und von diesen wuchs nur eins bedeutend und zwei andere unbedeutend gewunden, so dass dieser Grad von schräger Amputation nicht hinreichend war. Unter den obigen 30 Würzelchen zeigte nur eins oder zwei in den ersten 24 Stunden irgend welche Verdrehung, aber dieselbe wurde in den 19 Fällen am zweiten Tage deutlich und am Ende des dritten Tages noch augenfälliger, in welcher Zeit neue Spitzen theilweise oder vollständig regenerirt worden waren. Wenn daher eine neue Spitze auf einem schrägen Stumpf wieder gebildet wird, so wird sie wahrscheinlich auf einer Seite zeitiger als auf der andern entwickelt, und dies reizt in irgend einer Weise den benachbarten Theil sich nach einer Seite zu biegen. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass SACHS unabsichtlich die Würzelchen, an denen er seine Versuche anstellt, nicht in einer streng queren Richtung amputirt hat.

Diese Erklärung des gelegentlich unregelmäßigen Wachsthums von Würzelchen mit amputirten Spitzen wird durch die Resultate der Cauterisation ihrer Spitzen unterstützt; denn häufig wurde ein längeres Stück auf einer Seite als auf der andern unvermeidlich verletzt oder getödtet. Es ist zu bemerken, dass in den folgenden Versuchen die Spitzen zuerst mit Löschpapier getrocknet und dann leicht mit einem trockenen Stift von Höllenstein gerieben wurden. Wenige Berührungen mit dem Ätztifte

reichen hin, die Wurzelkappe und einige der oberen Schichten von Zellen des Vegetationspunktes zu tödten. Es wurden siebenundzwanzig Würzelchen, einige jung und sehr kurz, andere von mäsiger Länge senkrecht über Wasser aufgehängt, nachdem sie in der geschilderten Weise geätzt worden waren. Von diesen traten einige sofort in das Wasser ein und andere am zweiten Tage. Die nämliche Anzahl nicht geätzter Würzelchen von demselben Alter wurde als Controlexemplare beobachtet. Nach einem Verlaufe von drei oder vier Tagen war der Contrast in der äusseren Erscheinung zwischen den cauterisirten und den Controlexemplaren wunderbar gross. Die zur Controle dienenden Würzelchen waren gerade abwärts gewachsen, mit Ausnahme der normalen Krümmung, welche wir Sachs' Krümmung genannt haben. Von den 27 cauterisirten Würzelchen waren 15 äusserst gewunden geworden, 6 von ihnen waren aufwärts gewachsen und bildeten Haken, so dass ihre Spitzen zuweilen mit der Bohne darüber in Berührung kamen; fünf wuchsen rechtwinklig nach einer Seite aus, und nur einige wenige von den übrigen zwölf waren vollkommen gerade, und einige von diesen wurden gegen das Ende unserer Beobachtungen hin an ihren äussersten unteren Enden hakenförmig. Würzelchen, welche horizontal ausgestreckt wurden, anstatt senkrecht, und deren Spitzen cauterisirt wurden, wuchsen gleichfalls zuweilen in einer verdrehten Weise, aber nicht so häufig, soweit wir es beurtheilen konnten, wie die senkrecht aufgehängten; denn es trat nur an 5 unter 19 in dieser Weise behandelten Würzelchen ein.

Anstatt die Spitzen abzuschneiden, wie in der ersten Reihe von Versuchen, versuchten wir nun zunächst die Wirkungen einer Berührung mit dem Ätzmittel in der eben geschilderten Art und Weise an horizontal ausgestreckten Würzelchen. Es müssen aber erst noch einige vorläufige Bemerkungen gemacht werden. Es kann eingehalten werden, dass das Ätzmittel die Würzelchen verletzen und sie daran hindern könne sich zu biegen; aber im dritten Capitel sind hinreichende Beweise dafür beigebracht worden, dass eine Berührung der Spitzen senkrecht aufgehängter Würzelchen mit dem Ätzmittel an einer Seite ihre Biegung nicht aufhört; im Gegentheil, es verursacht es, dass sie sich von der berührten Seite wegbiegen. Wir versuchten es auch, sowohl die obere als die untere Seite der Spitzen einiger Würzelchen der Bohne zu berühren, welche horizontal in feuchter, zerreiblicher Erde ausgestreckt waren. Die Spitzen von dreien wurden mit dem Ätzmittel auf ihren oberen Seiten berührt, und dies würde ihre geotropische Biegung unterstützen; die Spitzen von dreien wurden an ihrer unteren Seite berührt, was dahinführen würde, der Abwärtsbiegung entgegenzuwirken; und drei wurden als Control-exemplare gelassen. Nach Verlauf von 24 Stunden wurde ein unbetheiligter Beobachter gebeten, unter den neun Würzelchen diejenigen zwei auszusuchen, welche am meisten, und diejenigen zwei, welche am wenigsten gebogen waren. Als letztere wählte er zwei von denjenigen aus, welche an ihren unteren Seiten berührt worden waren, und als die am meisten gebogenen zwei von denjenigen, welche an der oberen Seite geätzt worden waren. Es werden später noch analoge und noch auffallendere Versuche an *Pisum sativum* und *Cucurbita ovifera* mitgetheilt werden. Wir können daher getrost folgern, dass die bloße Anwendung eines

Ätzmittels auf die Spitze der Würzelchen sie nicht daran hindert, sich zu biegen.

In den folgenden Experimenten wurden die Spitzen junger, horizontal ausgestreckter Würzelchen mit einem Stifte eines trockenen Ätzmittels nur eben berührt, und derselbe wurde quer gehalten, so dasz die Spitze ganz rings herum so symmetrisch als möglich cauterisirt werden möchte. Die Würzelchen wurden dann in einem geschlossenen Gefäß über Wasser aufgehängt, welches verhältnismässig kühl gehalten wurde, nämlich 12.7 bis 15⁰ C. Dies wurde deshalb gethan, weil wir gefunden hatten, dasz die Spitzen unter einer niederen Temperatur empfindlicher gegen Berührung waren als unter einer hohen Temperatur, und wir glaubten, dasz dieselbe Regel auf Geotropismus anzuwenden sei. In einem ausnahmsweisen Versuche wurden neun Würzelchen (welche eher zu alt waren, denn sie waren bis zu einer Länge von 3—5 cm ausgewachsen) horizontal in feuchte, zerreibliche Erde ausgestreckt, nachdem ihre Spitzen cauterisirt worden waren, und wurden in einer zu hohen Temperatur gehalten, nämlich bei 20⁰ C. Das Resultat war in Folge hiervon nicht so auffallend wie in den folgenden Fällen; denn obgleich, als nach Verlauf von 9 Stunden 40 Minuten sechs von ihnen untersucht wurden, diese keinerlei geotropische Biegung darboten, so waren doch nach Verlauf von 24 Stunden, als sämmtliche neun untersucht wurden, nur zwei horizontal geblieben, zwei boten eine Spur von Geotropismus dar und fünf waren unbedeutend oder mässig geotropisch, doch dem Grade nach durchaus nicht mit den Control-exemplaren zu vergleichen. An sieben von diesen cauterisirten Würzelchen waren in einer Entfernung von 10 mm von der Spitze, welche Länge den ganzen wachsenden Theil umfaßt, Zeichen gemacht worden; und nach Verlauf der 24 Stunden hatte dieser Theil eine mittlere Länge von 37 mm, so dasz er um mehr als 3¹/₂ mal seiner ursprünglichen Länge gewachsen war; es musz aber daran erinnert werden, dasz diese Bohnen einer verhältnismässig hohen Temperatur ausgesetzt waren.

Neunzehn junge Würzelchen mit cauterisirten Spitzen wurden zu verschiedenen Zeiten horizontal über Wasser ausgestreckt. In jedem einzelnen Versuche wurde eine gleiche Anzahl von Control-exemplaren beobachtet. In dem ersten Versuche wurden die Spitzen von drei Würzelchen leicht mit dem Ätzmittel sechs oder sieben Secunden lang berührt, was eine längere Application war als gewöhnlich. Nach Verlauf von 23 Stunden 30 Minuten (12.7 bis 13.3⁰ C. Temperatur) waren diese drei Würzelchen A, B, C (Fig. 196) noch immer horizontal, während die drei Control-exemplare innerhalb 8 Stunden unbedeutend geotropisch und in 23 Stunden 30 Minuten stark geotropisch geworden waren (D, E, F). An allen sechs Würzelchen war in einer Entfernung von 10 mm von ihren Spitzen, als sie zuerst horizontal gestellt worden waren, ein Zeichen gemacht worden. Nach Verlauf der 23 Stunden 30 Minuten war dieser terminale, ursprünglich 10 mm lange Theil an den cauterisirten Exemplaren bis zu einer mittleren Länge von 15.7 mm gewachsen, wie in den Abbildungen durch die nicht unterbrochenen, queren Linien dargestellt wird. Die punktirte Linie liegt 10 mm von der Spitze. Es waren daher die Control-exemplare oder die nicht cauterisirten Würzelchen factisch weniger gewachsen, als die cauterisirten; dies war aber ohne Zweifel zufällig. Denn

Würzelchen von verschiedenem Alter wachsen mit verschiedenen Geschwindigkeiten, und das Wachsthum verschiedener Individuen wird gleichfalls durch unbekannte Ursachen afficirt. Der Zustand der Spitzen dieser

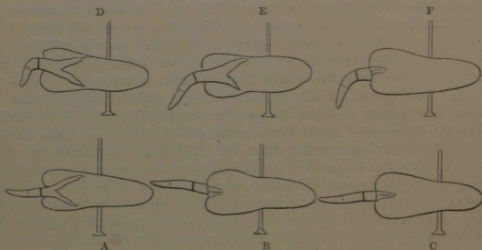


Fig. 196. *Vicia faba*: Zustand der Würzelchen, welche 23 Stunden 30 Minuten horizontal ausgestreckt gewesen waren: A, B, C Spitzen mit dem Ätztift berührt; D, E, F Spitzen nicht geätzt. Die Länge der Würzelchen auf den halben Maszstab reducirt; die Bohnen selbst wurden aber durch keinen Zufall nicht in dem nämlichen Grade reducirt.

drei Würzelchen, welche eine verhältnismässig längere Zeit hindurch, als gewöhnlich, cauterisirt worden waren, war der folgende: Auf die geschwärzte Spitze oder den Theil, welcher factisch mit dem Ätzmittel berührt worden war, folgte eine gelbliche Zone, wahrscheinlich in Folge der Absorption eines Theiles des Ätzmittels; bei A maszen beide Zonen zusammen 1.1 mm in der Länge und 1.4 mm im Durchmesser an der Basis der gelblichen Zone; bei B betrug die Länge von beiden nur 0.7 mm und der Durchmesser 0.7 mm; bei C betrug die Länge 0.8 mm und der Durchmesser 1.2 mm.

Drei andere Würzelchen, deren Spitzen während 2 oder 3 Sekunden mit dem Ätzmittel berührt worden waren, blieben (bei einer Temperatur von 14.4 bis 15⁰ C.) 23 Stunden lang horizontal; die Controlwürzelchen waren natürlich innerhalb dieser Zeit geotropisch geworden. Der terminale wachsende Theil von 10 mm Länge der cauterisirten Würzelchen hatte in dieser Zeit bis zu einer mittleren Länge von 24.5 mm zugenommen und der der Controlexemplare bis zu einer mittleren Länge von 26 mm. Ein Durchschnitt eines der cauterisirten Spitzchen zeigte, dasz der geschwärzte Theil 0.5 mm lang war, wovon sich 0.2 mm in den Vegetationspunkt hinein erstreckten; und eine schwache Misfärbung liesz sich bis zu einer Länge von 1.6 mm von der Spitze der Wurzelkappe nachweisen.

Bei einem andern Satz von sechs Würzelchen (bei einer Temperatur von 12.7 bis 13.8⁰ C.) waren die drei Controlexemplare in 8¹/₂ Stunden deutlich geotropisch; und nach 24 Stunden hatte die mittlere Länge ihres terminalen Theils von 10 mm bis 21 mm zugenommen. Als das Ätzmittel auf die drei cauterisirten Exemplare angewendet wurde, wurde es während 5 Sekunden vollständig bewegungslos gehalten, und das Resultat war, dasz die schwarzen Flecke äusserst minutiös waren. Es wurde

daher das Ätzmittel nach $8\frac{1}{2}$ Stunden wiederum applicirt, während welcher Zeit keine geotropische Wirkung eingetreten war. Als die Exemplare nach einem weiteren Verlaufe von $15\frac{1}{2}$ Stunden wieder untersucht wurden, war eines horizontal, und die zwei anderen zeigten zu unserer Überraschung eine Spur von Geotropismus, welcher bei einem derselben bald darauf stark ausgesprochen war; aber in diesem letzteren dieser drei Würzelchen war die misfarbige Spitze nur $\frac{2}{3}$ mm lang. Der wachsende Theil dieser drei Würzelchen nahm in 24 Stunden von 10 mm bis zu einer mittleren Länge von 16.5 mm zu.

Es würde überflüssig sein, im Einzelnen das Benehmen der zehn übrigen cauterisirten Würzelchen zu beschreiben. Die entsprechenden Control-exemplare wurden alle in 8 Stunden geotropisch. Von den cauterisirten wurde nach sechs nach 8 Stunden gesehen, und nur eines zeigte eine Spur von Geotropismus. Nach vierein wurde zuerst nach 14 Stunden gesehen, und von diesen war eines allein unbedeutend geotropisch. Nach Verlauf von 23—24 Stunden waren 5 unter 10 noch immer horizontal, 4 unbedeutend und 1 entschieden geotropisch. Nach Verlauf von 48 Stunden waren einige von ihnen stark geotropisch. Die cauterisirten Würzelchen nahmen bedeutend an Länge zu. Die Messungen sind aber nicht der Mittheilung werth.

Da fünf von den letzt erwähnten cauterisirten Würzelchen im Verlaufe von 24 Stunden etwas geotropisch geworden waren, so wurde (zusammen mit dreien, welche noch immer horizontal waren) ihre Stellung umgekehrt, so dass ihre Spitzen nur ein wenig aufwärts gebogen waren, und sie wurden wiederum mit dem Ätzmittel berührt. Nach 24 Stunden zeigten sie noch keine Spur von Geotropismus, während die acht entsprechenden Controlexemplare, welche gleichfalls umgekehrt worden waren, in welcher Lage dann die Spitzen mehrerer nach dem Zenith hinwiesen, sämmtlich geotropisch wurden; einige waren in den 24 Stunden durch einen Winkel von 180° gegangen, andere durch einen Winkel von ungefähr 135° und noch andere durch einen Winkel von 90° . Die acht Würzelchen, welche zweimal cauterisirt worden waren, wurden noch einen weiteren Tag beobachtet (d. h. 48 Stunden lang, nachdem sie umgekehrt worden waren), und sie zeigten noch immer kein Anzeichen von Geotropismus. Nichts desto weniger führen sie rapid zu wachsen fort; vier wurden 24 Stunden, nachdem sie umgekehrt worden waren, gemessen, und sie hatten in dieser Zeit zwischen 8 und 11 mm an Länge zugenommen; die anderen vier wurden 48 Stunden, nachdem sie umgekehrt worden waren, gemessen, und diese hatten um 20, 18, 23 und 28 mm zugenommen.

Wenn wir dazu kommen, in Bezug auf die Wirkungen der Cauterisation der Spitze dieser Würzelchen eine Schlussfolgerung zu ziehen, so müssen wir erstens im Auge behalten, dass horizontal ausgestreckte Controlwürzelchen immer vom Geotropismus beeinflusst wurden, und in 8 oder 9 Stunden etwas abwärts gebogen wurden; zweitens, dass der hauptsächlichste Sitz der Krümmung in einer Entfernung von 3—6 mm von der Spitze liegt; drittens, dass die Spitze durch das Ätzmittel selten in einer grösseren Längenausdehnung als 1 mm entfärbt wurde; viertens, dass die grössere Anzahl der cauterisirten Würzelchen, obschon sie während

der ganzen Zeit dem vollen Einflusz des Geotropismus ausgesetzt wurden, doch 24 Stunden lang und einige sogar zweimal so lange horizontal blieben, und dasz diejenigen, welche gekrümmt wurden, dies nur in einem unbedeutenden Grade wurden; fünftens, dasz die cauterisirten Würzelchen beinahe, und zuweilen vollständig so gut zu wachsen fortfuhren, wie die nicht verletzten, und zwar dem Theile entlang, welcher sich am meisten biegt, und endlich, dasz eine Berührung der Spitze mit dem Ätzmittel, wenn sie auf einer Seite eintritt, weit davon entfernt eine Krümmung zu verhindern, sie factisch herbeiführt. Hält man sich diese sämmtlichen Thatsachen vor Augen, so müssen wir schlieszen, dasz unter normalen Bedingungen die geotropische Krümmung der Wurzeln eine Folge eines Einflusses ist, welcher von der Spitze auf den benachbarten Theil übergeleitet wird, wo die Biegung stattfindet, und dasz, wenn die Spitze der Wurzel cauterisirt wird, sie nicht im Stande ist den zur Hervorbringung einer geotropischen Krümmung nothwendigen Reiz entstehen zu lassen.

Da wir beobachtet hatten, dasz ein Fettüberzug einigen Pflanzen in hohem Grade schädlich ist, so entschlossen wir uns seine Wirkungen auf Würzelchen zu versuchen. Als die Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena* mit Fett der einen Seite entlang bedeckt wurden, wurde das Wachsthum dieser Seite vollkommen unterbrochen oder bedeutend aufgehalten, und da die entgegengesetzte Seite fortfuhr zu wachsen, wurden die in dieser Weise behandelten Cotyledonen nach der mit Fett überzogenen Seite hingebogen. Diese selbe Substanz tödtete auch schnell die zarten Hypocotyle und jungen Blätter gewisser Pflanzen. Der Fettüberzug, welchen wir anwendeten, war so hergestellt, dasz wir Lampenrusz und Olivenöl bis zu einer solchen Consistenz mischten, dasz sie in einer dicken Schicht aufgetragen werden konnten. Die Spitzen von fünf Würzelchen der Bohne wurden mit dieser Mischung in einer Längenausdehnung von 3 mm überzogen und zu unserer Überraschung nahm dieser Theil in 23 Stunden bis zu 7.1 mm an Länge zu; die dicke Schicht von Fett war dabei in einer merkwürdigen Weise ausgezogen worden. Sie konnte daher, wenn überhaupt, das Wachsthum des terminalen Theils des Würzelchens nicht bedeutend gehemmt haben. Was den Geotropismus betrifft, so wurden die Spitzen von sieben horizontal ausgestreckten Würzelchen in einer Längenausdehnung von 2 mm mit Fett überzogen und nach Verlauf von 24 Stunden konnte kein deutlicher Unterschied zwischen ihrer Abwärtskrümmung und derjenigen einer gleichen Anzahl von Controlexemplaren wahrgenommen werden. Die Spitzen von 33 anderen Würzelchen wurden bei verschiedenen Gelegenheiten in einer Längenausdehnung von 3 mm überzogen; und diese wurden mit den Controlexemplaren nach 8 Stunden, 24 Stunden und 48 Stunden verglichen. Bei einer Gelegenheit bestand nach 24 Stunden eine sehr geringe Verschiedenheit in der Krümmung zwischen den eingeöhlten und den Controlexemplaren, aber meistens war der Unterschied unverkennbar: diejenigen mit eingeöhlten Spitzen waren beträchtlich weniger abwärts gekrümmt. Der ganze wachsende Theil (mit Einschlusz der eingeöhlten Spitzen) von sechs unter diesen Würzelchen wurde gemessen, und es fand sich, dasz er in 23 Stunden von 10 mm bis zu einer mittleren Länge von 17.7 mm zugenommen hatte, während der entsprechende Theil der Controlexemplare bis zu 20.8 mm zugenommen hatte. Hieraus geht

hervor, dasz, obgleich die Spitze selbst, wenn sie eingeölt ist, zu wachsen fortfährt, doch das Wachsthum des ganzen Würzelchens etwas gehemmt wird, und dasz die geotropische Krümmung des oberen Theiles, welcher vom Fett frei war, in den meisten Fällen beträchtlich vermindert war.

Pisum sativum. — An fünf horizontal über Wasser ausgestreckten Würzelchen wurden die Spitzen leicht zwei- oder dreimal mit trockenem Ätzmittel berührt. Diese Spitzen wurden in zwei Fällen gemessen, und es ergab sich, dasz sie in einer Länge von nur einem halben Millimeter geschwärtzt waren. Fünf andere Würzelchen wurden als Controlexemplare gelassen. Der Theil, welcher durch Geotropismus am meisten gebogen wird, liegt in einer Entfernung von mehreren Millimetern von der Spitze. Nach 24 Stunden und wieder nach 32 Stunden vom Anfang an waren vier von den cauterisirten Würzelchen noch immer horizontal, aber eins war deutlich geotropisch, indem es 45° unter den Horizont geneigt war. Die fünf Controlexemplare waren nach 7 Stunden 20 Min. etwas geotropisch, und nach 24 Stunden waren sie sämmtlich stark geotropisch; sie waren unter den folgenden Winkeln unter den Horizont geneigt: 59° , 60° , 65° , 57° und 43° . Die Länge der Würzelchen wurde in keinem dieser Sätze gemessen, es war aber offenbar, dasz die cauterisirten Würzelchen bedeutend gewachsen waren.

Der folgende Fall beweist, dasz die Wirkung des Ätzmittels an sich selbst die Krümmung des Würzelchens nicht verhindert. Zehn Würzelchen wurden horizontal auf und unter einer Schicht feuchter, zerreiblicher Torferde ausgestreckt, und ehe sie ausgestreckt wurden, wurden ihre Spitzen mit trockenem Ätzmittel auf der oberen Seite berührt. Zehn andere, ähnlich gestellte Würzelchen wurden auf der unteren Seite berührt, und dies würde dahin streben sie von der cauterisirten Seite weg biegen zu lassen und daher, wie sie nun lagen, aufwärts oder im Gegensatz zu Geotropismus. Endlich wurden zehn nicht cauterisirte Würzelchen als Controlexemplare horizontal ausgestreckt. Nach 24 Stunden waren die letzteren sämmtlich geotropisch, und die zehn, an welchen die Spitzen auf der oberen Seite cauterisirt worden waren, waren gleichfalls geotropisch, und wir glauben, dasz sie noch vor den Controlexemplaren abwärts gekrümmt wurden. Die zehn, welche auf der unteren Seite cauterisirt worden waren, boten ein sehr verschiedenes Ansehen dar: Nr. 1 war indessen senkrecht geotropisch; dies war aber keine wirkliche Ausnahme, denn bei einer Untersuchung unter dem Microscop zeigte sich keine Spur eines gefärbten Fleckens an der Spitze, und es war offenbar, dasz es durch ein Versehen nicht mit dem Ätzmittel berührt worden war. Nr. 2 war deutlich geotropisch, indem es ungefähr 45° unter den Horizont geneigt war. Nr. 3 war unbedeutend und Nr. 4 eben nur merkbar geotropisch; Nr. 5 und 6 waren richtig geotropisch, und die vier übrigen waren aufwärts gebogen im Gegensatz zum Geotropismus. In diesen vier Fällen betrug der Radius der Aufwärtsbewegung (nach Sachs' Cyclometer) 5 mm, 10 mm, 30 mm und 70 mm. Diese Krümmung war lange vor Ablauf der 24 Stunden deutlich, nämlich nach 8 Stunden 45 Min. von der Zeit an, wo die unteren Seiten der Spitzen mit dem Ätzmittel berührt worden waren.

Phaseolus multiflorus. — Acht zur Controle dienende Würzelchen wurden horizontal ausgestreckt, und zwar einige in feuchtem, zerreiblichem Torfe und andere in feuchter Luft. Sie wurden alle (Temperatur 20 bis 21^o C.) in 8 Stunden 30 Min. deutlich geotropisch, denn sie standen nun unter einem mittleren Winkel von 63^o unter dem Horizont. Es wird hier ein verhältnismässig längeres Stück des Würzelchens durch Geotropismus abwärts gebogen, als bei *Vicia faba*, d. h. etwas mehr als 6 mm von der Spitze der Wurzelkappe aus gemessen. Neun andere Würzelchen wurden in ähnlicher Weise ausgestreckt, drei in feuchtem Torfe und sechs in feuchter Luft, und es wurde nun 4 oder 5 Secunden lang quer auf ihre Spitzen trockener Ätztift gehalten. Später wurden drei ihrer Spitzen untersucht: beim ersten war eine Länge von 0.68 mm entfärbt, und hiervon war das basale Stück von 0.136 mm gelb, der Spitzentheil schwarz; bei Nr. 2 war die Entfärbung 0.65 mm in der Längenausdehnung, und davon war das basale Stück von 0.04 mm gelb; bei Nr. 3 war das entfärbte Stück 0.6 mm lang, und hiervon der basale Theil von 0.13 mm gelb. Es war daher weniger als 1 mm durch das Ätzmittel afficirt; dies genügte aber geotropische Wirkung beinahe gänzlich zu verhindern; denn nach 24 Stunden war nur eines von den neun cauterisirten Würzelchen in unbedeutendem Grade geotropisch, indem es nun 10^o unter den Horizont geneigt war; die acht anderen blieben horizontal, obschon eines unbedeutend seitwärts gekrümmt war.

Der terminale Theil (von 10 mm in der Länge) der sechs cauterisirten Würzelchen in der feuchten Luft war in den 24 Stunden mehr als doppelt so lang geworden; denn dieser Theil war nun im Mittel 20.7 mm lang. Die Längenzunahme innerhalb der nämlichen Zeit war an den Controlexemplaren bedeutender, denn der terminale Theil war im Mittel von 10 mm bis 26.6 mm gewachsen. Da aber die cauterisirten Würzelchen ihre Länge in den 24 Stunden mehr als verdoppelt hatten, so ist es offenbar, dasz sie durch das Ätzmittel nicht ernstlich verletzt worden waren. Wir wollen hier noch hinzufügen, dasz beim ersten Anstellen der Versuche über die Wirkungen der Berührung mit Ätzmitteln auf einer Seite zuerst zu viel angewendet wurde, und die ganze Spitze (wir glauben aber nicht mehr als 1 mm lang) von sechs horizontal ausgestreckten Würzelchen wurde getödtet; und diese fuhren 2 oder 3 Tage lang fort, horizontal auszuwachsen.

Es wurden viele Versuche in der Weise angestellt, dasz die Spitzen horizontal ausgestreckter Würzelchen mit dem früher beschriebenen dicken Ölüberzug bedeckt wurden. Die geotropische Krümmung von 12 Würzelchen, welche in einer Längenausdehnung von 2 mm in dieser Weise überzogen wurden, wurde während der ersten 8 oder 9 Stunden aufgehoben, war aber nach 24 Stunden nahezu so bedeutend wie die der Controlexemplare. Die Spitzen von neun Würzelchen wurden in einer Länge von 3 mm überzogen, und nach 7 Stunden 10 Min. standen diese in einem mittleren Winkel von 30^o unter dem Horizont, während die Controlexemplare in einem mittleren Winkel von 54^o standen. Nach 24 Stunden wichen die zwei Sätze nur unbedeutend in dem Grade ihrer Krümmung von einander ab. Indessen bestand in einigen anderen Versuchen ein ziemlich gut ausgesprochener Unterschied nach 24 Stunden zwischen den Würzelchen mit

ingeöhlten Spitzen und den Controlexemplaren. Der terminale Theil von acht Controlexemplaren nahm in 24 Stunden in der Länge von 10 mm bis zu einer mittleren Länge von 24.3 mm zu, während die mittlere Längenzunahme der Würzelchen mitingeöhlten Spitzen 20.7 mm betrug. Der Ölüberzug hemmte daher in unbedeutendem Grade das Wachsthum des terminalen Theils, es war aber dieser Theil nicht bedeutend verletzt; denn mehrere Würzelchen, deren Spitzen in einer Längenausdehnung von 2 mmingeöht waren, fuhren während 7 Tagen zu wachsen fort und waren dann nur ein wenig kürzer als die Controlexemplare. Das Ansehen, welches diese Würzelchen nach diesen sieben Tagen darboten, war sehr merkwürdig, denn der schwarze Fettüberzug war in die feinsten Längsstreifen ausgezogen worden mit Flecken und netzförmigen Stellen, welche ihre Oberfläche in einer Längenausdehnung von 26—44 mm oder von 1—1.7 Zoll bedeckten. Wir können daher schlieszen, dasz Fett auf die Spitzen der Würzelchen dieses *Phaseolus* aufgetragen die geotropische Krümmung des Theils, welcher sich am meisten biegen müszte, etwas aufhält und verringert.

Gossypium herbaceum. — Die Würzelchen dieser Pflanze biegen sich durch Einwirkung des Geotropismus in einer Länge von ungefähr 6 mm. An fünf, in feuchter Luft horizontal gestellten Würzelchen wurde die Spitze mit dem Ätzmittel berührt, und die Entfärbung erstreckte sich auf eine Länge von $\frac{2}{3}$ bis 1 mm. Sie zeigten nach 7 Stunden 45 Min. und dann wiederum nach 23 Stunden nicht eine Spur von Geotropismus; und doch hatte die terminale Partie von 9 mm Länge im Mittel bis zu 15.9 mm zugenommen. Sechs zur Controle dienende Würzelchen waren nach 7 Stunden 45 Min. sämmtlich deutlich geotropisch, zwei von ihnen hiengen senkrecht herab und nach 23 Stunden waren sie alle senkrecht oder nahezu so.

Cucurbita ovifera. — Eine grosse Anzahl von Versuchen ergab sich als beinahe unnütz, und zwar aus den folgenden Ursachen: Erstens sind die Spitzen von Würzelchen, welche schon etwas alt geworden sind, nur in schwachem Grade geotropisch, wenn sie in feuchter Luft gehalten werden; auch hatten wir in unseren Versuchen keinen rechten Erfolg, bis die keimenden Samen in Torf gebracht und unter einer verhältnismässig hohen Temperatur gehalten wurden. Zweitens wurden die Hypocotyle der Samen, welche an die Deckel der Glasgefäsz mit Stecknadeln befestigt wurden, allmählich bogenförmig gekrümmt, und da die Cotyledonen fixirt waren, afficirte die Bewegung des Hypocotyls die Stellung des Würzelchens und verursachte Verwirrung. Drittens ist die Spitze des Würzelchens so fein, dasz es schwierig ist, nicht entweder zu viel oder zu wenig zu cauterisiren. Im Allgemeinen brachten wir es doch dahin, diese letztere Schwierigkeit zu überwinden, wie die folgenden Experimente zeigen, welche mitgetheilt werden um zu beweisen, dasz eine Berührung mit einem Ätzmittel auf einer Seite der Spitze den oberen Theil des Würzelchens nicht sich zu biegen verhindert. Zehn Würzelchen wurden horizontal unter und auf feuchten, zerreiblichen Torf gelegt, und ihre Spitzen wurden mit dem Ätzmittel auf der oberen Seite berührt. Nach 8 Stunden waren sie sämmtlich deutlich geotropisch, drei von ihnen rechtwinklig; nach 19 Stunden waren sie sämmtlich stark geotropisch, die meisten von

ihnen wiesen senkrecht abwärts. An zehn anderen, ähnlich gestellten Würzelchen wurde die Spitze mit dem Ätzmittel auf der unteren Seite berührt; nach 8 Stunden waren drei unbedeutend geotropisch, aber nicht annähernd so viel, wie die geringste geotropische Krümmung der vorhergehenden Exemplare war; vier blieben horizontal, und drei wurden im Gegensatz zum Geotropismus aufwärts gekrümmt. Nach 19 Stunden waren die drei, welche unbedeutend geotropisch gewesen waren, nun stark geotropisch geworden. Von den vier horizontalen Würzelchen zeigte eines allein eine Spur von Geotropismus; von den drei aufwärts gekrümmten Würzelchen behielt eins diese Krümmung bei und die anderen zwei waren horizontal geworden.

Die Würzelchen dieser Pflanze gedeihen, wie bereits bemerkt wurde, in feuchter Luft nicht gut, aber das Resultat eines Versuches mag noch kurz mitgetheilt werden. Neun junge Würzelchen von einer Länge von zwischen 0.3 und 0.5 Zoll, deren Spitzen cauterisirt und in einer Längenausdehnung, die niemals $\frac{1}{2}$ mm überstieg, geschwärzt waren, wurden zusammen mit acht Control-exemplaren horizontal in feuchter Luft ausgestreckt. Nach Verlauf von nur 4 Stunden 10 Min. waren die sämtlichen Controlwürzelchen unbedeutend geotropisch, während nicht eines der cauterisirten Exemplare eine Spur dieser Wirkung zeigte. Nach 8 Stunden 35 Min. bestand die nämliche Verschiedenheit zwischen den zwei Sätzen, aber eher noch etwas stärker ausgesprochen. In dieser Zeit waren beide Sätze bedeutend an Länge gewachsen. Indessen wurden die Control-exemplare niemals viel mehr abwärts gekrümmt, und nach 24 Stunden bestand kein grosser Unterschied zwischen den zwei Sätzen in dem Grade ihrer Krümmung.

Acht junge Würzelchen von nahezu gleicher Länge (im Mittel 0.36 Zoll) wurden unter und auf Torferde gelegt und einer Temperatur von 23.8 bis 24.4° C. ausgesetzt. Ihre Spitzen waren quer mit dem Ätzmittel berührt, und fünf von ihnen waren in einer Längenausdehnung von ungefähr 0.5 mm geschwärzt worden, während die anderen drei nur eben sichtbar entfärbt waren. In demselben Kasten fanden sich 15 Controlwürzelchen, meistens ungefähr 0.36 Zoll lang, aber einige etwas länger und älter und daher weniger empfindlich. Nach 5 Stunden waren die 15 Controlwürzelchen sämtlich mehr oder weniger geotropisch: nach 9 Stunden waren acht von ihnen unter den Horizont unter verschiedenen Winkeln zwischen 45° und 90° hinabgebogen, die übrigen sieben waren nur unbedeutend geotropisch: nach 25 Stunden waren sie sämtlich rechtwinklig geotropisch. Der Zustand der acht cauterisirten Würzelchen nach Verlauf derselben Zeiten war der folgende: nach 5 Stunden war nur eines allein unbedeutend geotropisch, und dies war eines, dessen Spitze nur sehr wenig entfärbt war; nach 9 Stunden war das eine, oben erwähnte rechtwinklig geotropisch, und zwei andere waren es in geringem Grade, und diese waren diejenigen drei, welche durch das Ätzmittel kaum afficirt waren; die andern fünf waren noch immer genau horizontal. Nach 24 Stunden 40 Min. waren die drei mit nur unbedeutend entfärbten Spitzen rechtwinklig abwärts gebogen; die anderen fünf waren nicht im mindesten afficirt; aber mehrere von ihnen waren ziemlich gewunden gewachsen, obgleich noch immer in einer horizontalen Ebene. Die acht cauterisirten Würzelchen,

welche zuerst eine mittlere Länge von 0.36 Zoll hatten, waren nach neun Stunden bis zu einer mittleren Länge von 0.79 Zoll gewachsen und nach 24 Stunden 40 Min. bis zu der ausserordentlichen mittleren Länge von 2 Zoll. Es bestand kein deutlicher Unterschied in der Länge zwischen den fünf gut cauterisirten Würzelchen, welche horizontal blieben, und den dreien mit unbedeutend cauterisirten Spitzen, welche abrupt abwärts gebogen wurden. Einige wenige der Controlwürzelchen wurden nach 25 Stunden gemessen und sie waren im Mittel nur ein wenig länger als die cauterisirten, nämlich 2.19 Zoll. Wir sehen hieraus, dass ein Töden der äussersten Spitze des Würzelchens dieser Pflanze in einer Längenausdehnung von ungefähr 0.5 mm, obschon es die geotropische Biegung des oberen Theils aufhält, doch kaum das Wachsthum des ganzen Würzelchens stört.

In demselben Kasten mit den 15 Controlexemplaren, deren rapide geotropische Krümmung und deren Wachsthum soeben beschrieben wurden, fanden sich noch sechs Würzelchen von ungefähr 0.6 Zoll Länge horizontal ausgestreckt, an denen die Spitzen in einer queren Richtung für eine Länge von kaum 1 mm abgeschnitten worden waren. Diese Würzelchen wurden nach 9 Stunden und dann wiederum nach 24 Stunden 40 Min. untersucht, und sie waren alle horizontal geblieben. Sie waren nicht annähernd so gewunden geworden, wie die oben beschriebenen, welche cauterisirt worden waren. Die Würzelchen, deren Spitzen abgeschnitten worden waren, waren in den 24 Stunden 40 Min. nach dem blossen Auge zu urtheilen so viel gewachsen wie die cauterisirten Exemplare.

Zea mays. — Die Spitzen mehrerer, horizontal in feuchter Luft ausgestreckter Würzelchen wurden mit Löschpapier getrocknet und dann im ersten Versuche zwei oder drei Secunden lang mit trockenem Ätzmittel berührt; dies war aber eine zu lange Berührung, denn die Spitzen wurden in einer Längenausdehnung von etwas über 1 mm geschwärzt. Sie zeigten nach Verlauf von 9 Stunden kein Anzeichen von Geotropismus und wurden dann weggeworfen. In einem zweiten Versuche wurden die Spitzen von drei Würzelchen eine kürzere Zeit lang berührt und waren in einer Längenausdehnung von 0.5—0.75 mm geschwärzt; sie blieben alle vier Stunden lang horizontal, aber nach 8 Stunden 30 Min. war eines von ihnen, an welchem die geschwärzte Spitze nur 0.5 mm lang war, zu 21° unter den Horizont geneigt. Sechs Controlwürzelchen wurden sämmtlich unbedeutend geotropisch in 4 Stunden und nach 8 Stunden 30 Min. stark geotropisch, wobei der Hauptsitz der Krümmung meist zwischen 6 oder 7 mm von der Spitze lag. An den cauterisirten Exemplaren nahm der terminale wachsende Theil von 10 mm Länge während der 8 Stunden 30 Min. bis zu einer mittleren Länge von 13 mm zu und an den Control-exemplaren bis zu 14.3 mm.

In einem dritten Versuche wurden die Spitzen von fünf Würzelchen (einer Temperatur von 21 bis 21.6° C. ausgesetzt) mit dem Ätzmittel nur einmal und sehr unbedeutend berührt; sie wurden später unter dem Microscop untersucht, und der Theil, welcher überhaupt etwas entfärbt war, masz im Mittel 0.76 mm in der Länge. Nach 4 Stunden 10 Min. war keines gebogen, nach 5 Stunden 45 Min. und wiederum nach 23 Stunden 30 Min. waren sie noch immer horizontal, ausgenommen eines, welches nun 20° unter den Horizont geneigt war. Der terminale Theil von

10 mm Länge hatte während der 23 Stunden 30 Min. bedeutend an Länge zugenommen, nämlich im Mittel bis zu 26 mm. Vier Controlwürzelchen wurden nach den 4 Stunden 10 Min. unbedeutend geotropisch und nach den 5 Stunden 45 Min. waren sie deutlich geotropisch. Ihre mittlere Länge hatte nach den 23 Stunden 30 Min. von 10 mm bis 31 mm zugenommen. Eine unbedeutende Cauterisation der Spitze hemmt daher unbedeutend das Wachsthum des ganzen Würzelchens und hält offenbar die Biegung jenes Theiles auf, welcher sich unter dem Einfluss des Geotropismus am meisten biegen sollte, und welcher noch immer fortfährt an Länge zuzunehmen.

Schlussbemerkungen. — Es sind nun zahlreiche Belege dafür mitgetheilt worden, dass bei verschiedenen Pflanzen die Spitze des Würzelchens allein für Geotropismus empfindlich ist, und dass, wenn sie in dieser Weise gereizt wird, sie es verursacht, dass die benachbarten Theile sich biegen. Die genaue Länge des empfindlichen Theils scheint etwas variabel zu sein und zum Theil von dem Alter des Würzelchens abzuhängen; aber meistens genügte die Zerstörung von einer Längenausdehnung von weniger als 1 bis 1.5 mm. (ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll) bei den verschiedenen beobachteten Species, es zu verhindern, dass sich irgend ein Theil des Würzelchens innerhalb 24 Stunden oder selbst in einer noch längeren Periode biege. Die Thatsache, dass die Spitze allein empfindlich ist, ist eine so merkwürdige, dass wir hier eine kurze Zusammenfassung der vorausgehenden Versuche geben wollen. An 29 horizontal ausgestreckten Würzelchen von *Vicia faba* wurden die Spitzen abgeschnitten, und mit einigen wenigen Ausnahmen wurden sie in 22 oder 23 Stunden nicht geotropisch, während nicht verstümmelte Würzelchen sich in acht oder neun Stunden immer abwärts bogen. Es ist im Auge zu behalten, dass der bloße Akt des Abschneidens der Spitze eines horizontal ausgestreckten Würzelchens die benachbarten Theile nicht am Biegen hindert, wenn die Spitze vorher ein oder zwei Stunden lang der Einwirkung des Geotropismus ausgesetzt gewesen war. Die Spitze wird nach der Amputation zuweilen in drei Tagen vollständig regenerirt, und es ist möglich, dass sie im Stande sein könnte, einen Anstoss den benachbarten Theilen zu überliefern, ehe sie vollständig regenerirt ist. Die Spitzen von sechs Würzelchen von *Cucurbita ovifera* wurden gleich denen von *Vicia faba* amputirt, und diese Würzelchen zeigten in 24 Stunden kein Anzeichen von Geotropismus, während die Control-exemplare in fünf Stunden unbedeutend, und in neun Stunden stark afficirt waren.

Bei zu sechs Gattungen gehörigen Pflanzen wurden die Spitzen der Würzelchen quer mit dem trockenen Ätzmittel berührt, und die hierdurch verursachte Verletzung erstreckte sich selten in eine grözere Längenausdehnung als 1 mm und zuweilen bis in eine geringere Entfernung, wie nach der selbst blassesten Entfärbung beurtheilt wurde. Wir glaubten, dasz dies eine bessere Methode, den Vegetationspunkt zu zerstören sein dürfte, als ihn abzuschneiden; denn wir wussten aus vielen früheren Experimenten und aus einigen in dem vorliegenden Capitel mitgetheilten, dasz eine Berührung mit dem Ätzmittel auf einer Seite der Spitze, weit entfernt davon die Biegung des benachbarten Theils zu verhindern, ihn veranlaszte sich zu biegen. In sämtlichen folgenden Fällen wurden Würzelchen mit nicht cauterisirten Spitzen in derselben Zeit und unter ähnlichen Umständen beobachtet, und sie wurden in beinahe jedem einzelnen Falle in der Hälfte oder einem Drittel der Zeit deutlich abwärts gebogen, während welcher die cauterisirten Exemplare beobachtet wurden. Bei *Vicia faba* wurden 19 Würzelchen cauterisirt; zwölf blieben während 23—24 Stunden horizontal, sechs wurden unbedeutend und eines stark geotropisch. Acht von diesen Würzelchen wurden später umgekehrt und wiederum mit dem Ätzmittel berührt, und keines von ihnen wurde in 24 Stunden geotropisch, während die umgedrehten Controlexemplare innerhalb dieser Zeit stark abwärts gebogen wurden. Bei *Pisum sativum* wurden an fünf Würzelchen die Spitzen mit dem Ätzmittel berührt, und nach 32 Stunden waren vier noch immer horizontal. Die Controlexemplare waren in 7 Stunden 20 Minuten unbedeutend, und in 24 Stunden stark geotropisch. Die Spitzen von neun anderen Würzelchen dieser Pflanze wurden nur auf ihrer unteren Seite berührt und sechs von ihnen blieben 24 Stunden lang horizontal oder wurden im Gegensatz zum Geotropismus nach oben gewandt. Zwei waren unbedeutend und eines deutlich geotropisch. Bei *Phaseolus multiflorus* wurden 15 Würzelchen cauterisirt, und acht blieben 24 Stunden lang horizontal, während sämtliche Controlexemplare in 8 Stunden 30 Minuten deutlich geotropisch waren. Von 5 cauterisirten Würzelchen von *Gossypium herbaceum* blieben vier 23 Stunden lang horizontal, und eines wurde unbedeutend geotropisch; sechs Controlwürzelchen waren in 7 Stunden 45 Minuten deutlich geotropisch. Fünf Würzelchen von *Cucurbita ovifera* blieben in Torferde 25 Stunden horizontal, und neun blieben in feuchter Luft während 8 $\frac{1}{2}$ Stunden horizontal, während die

Controlwürzelchen in 4 Stunden 10 Minuten unbedeutend geotropisch wurden. Die Spitzen von 10 Würzelchen dieser Pflanze wurden auf ihren unteren Seiten berührt und sechs von ihnen waren nach 19 Stunden horizontal geblieben oder nach oben gewendet; eines war unbedeutend und drei stark geotropisch.

Endlich wurden die Spitzen von mehreren Würzelchen von *Vicia faba* und *Phaseolus multiflorus* dick in einer Längenausdehnung von 3 mm mit Fett überzogen. Diese Substanz, welche den meisten Pflanzen im hohen Grade schädlich ist, tödtete die Spitzen nicht, auch hemmte sie nicht ihr Wachsthum, sondern verringerte nur unbedeutend die Geschwindigkeit des Wachsthums des ganzen Würzelchens; sie hielt aber meistens die geotropische Abbiegung des oberen Theils ein wenig auf.

Die verschiedenen vorstehend erwähnten Fälle würden nichts aussagen, wenn die Spitze selbst der Theil wäre, welcher am meisten gebogen wird; wir wissen aber, dasz es ein von der Spitze um einige Millimeter entfernter Theil ist, welcher am schnellsten wächst, und welcher unter dem Einflusz von Geotropismus sich am meisten biegt. Wir haben keinen Grund zu vermuthen, dasz dieser Theil durch das Absterben oder eine Verletzung der Spitze beschädigt wird, und sicher ist es, dasz, nachdem die Spitze zerstört worden ist, dieser Theil mit einer solchen Geschwindigkeit zu wachsen fortfährt, dasz seine Länge häufig in einem Tage verdoppelt wird. Wir haben auch gesehen, dasz die Zerstörung der Spitze die Krümmung des benachbarten Theils nicht hindert, wenn dieser Theil bereits etwas Einflusz von der Spitze her erhalten hatte. Da bei horizontal ausgestreckten Würzelchen, an denen die Spitzen abgeschnitten oder zerstört worden waren, der Theil, welcher sich am meisten biegen sollte, viele Stunden oder Tage lang bewegungslos blieb, obgleich er rechtwinklig dem vollen Einflusse des Geotropismus ausgesetzt war, so müssen wir schlieszen, dasz die Spitze allein für diese Kraft empfindlich ist und irgend einen Einflusz oder Reiz auf die benachbarten Theile überliefert und sie veranlaszt sich zu biegen. Wir haben directe Belege für eine solche Leitung; denn wenn ein Würzelchen horizontal 1 Stunde oder 1½ Stunden ausgestreckt gelassen wurde, in welcher Zeit der vorausgesetzte Einflusz eine kurze Strecke weit von der Spitze sich bewegt haben wird, und die Spitze dann abgeschnitten wurde, so wurde das Würzelchen später gebogen, obschon es senkrecht gestellt wurde. Die terminalen Theile mehrerer in dieser Weise behandelten Würzelchen fuhren nach einiger

Zeit in der Richtung ihrer neuerlangten Krümmung zu wachsen fort; denn da sie nun der Spitze beraubt waren, wirkte der Geotropismus nicht länger mehr auf sie ein. Aber nach drei oder vier Tagen, während sich neue Vegetationspunkte gebildet hatten, wurden die Würzelchen wiederum vom Geotropismus beeinflusst, und nun krümmten sich dieselben senkrecht abwärts. Um irgend etwas der geschilderten Art im Thierreiche zu sehen, müszten wir annehmen, dasz ein Thier, während es niedergelegen hatte, sich vornahm in irgend einer besonderen Richtung sich zu erheben, und dasz, nachdem sein Kopf abgeschnitten worden ist, ein Reiz den Nerven entlang, welcher zu den betreffenden Muskeln geht, sehr langsam sich fortsetzte, so dasz nach mehreren Stunden das kopflose Thier in der vorher bestimmten Richtung aufstünde.

Da gefunden worden ist, dasz die Spitze des Würzelchens in Gliedern so verschiedener Familien, wie den Leguminosen, Malvaceen, Cucurbitaceen und Gramineen, der Theil ist, welcher für Geotropismus empfindlich ist, so können wir schlieszen, dasz dieser Character der Wurzeln den meisten Pflanzensämlingen gemeinsam zukommt. Während eine Wurzel den Boden durchbohrt, musz die Spitze vorausschreiten, und wir können den Vortheil davon, dasz sie für Geotropismus empfindlich ist, sehen, da sie den Verlauf der ganzen Wurzel zu bestimmen hat; sobald nur immer die Spitze durch irgend ein unter der Erde gelegenes Hindernis abgelenkt wird, wird es auch ein Vortheil sein, dasz eine beträchtliche Länge der Wurzel im Stande sei sich zu biegen, besonders noch, da die Spitze selbst langsam wächst und sich nur wenig biegt, damit die gehörige Abwärtsrichtung bald wieder erlangt werde. Auf den ersten Blick scheint es aber unwesentlich zu sein, ob dies dadurch ausgeführt wird, dasz der ganze wachsende Theil für Geotropismus empfindlich ist, oder dasz ein Einfluss ausschliesslich von der Spitze aus überliefert werde. Wir müssen indessen daran erinnern, dasz es die Spitze ist, welche für Berührung mit harten Gegenständen empfindlich ist und es verursacht, dasz das Würzelchen sich von ihnen wegbiegt, und dies damit den Richtungen des geringsten Widerstandes im Boden entlang führt. Es ist ferner auch die Spitze, welche wenigstens in einigen Fällen für Feuchtigkeit empfindlich ist und das Würzelchen veranlaszt sich nach ihrer Quelle hinzubiegen. Diese beiden Arten von Empfindlichkeit überwinden eine Zeit lang die Empfindlichkeit für Geotropismus, welcher indessen

schliesslich vorherrscht. Es müssen daher die drei Arten von Empfindlichkeit häufig in Antagonismus kommen. Zuerst herrscht die eine vor und dann eine andere, und es würde ein Vortheil, vielleicht sogar eine Nothwendigkeit für das Abwägen und Ausgleichen dieser drei Arten von Empfindlichkeit sein, dass sie sämmtlich in denselben Gruppen von Zellen localisirt sind, welche den benachbarten Theilen des Würzelchens den Befehl zu übermitteln haben, dass sich dasselbe nach der Quelle des Reizes hin oder von ihr weg zu biegen habe.

Endlich hat die Thatsache, dass die Spitze allein für die Wirkung der Schwerkraft empfindlich ist, eine bedeutungsvolle Tragweite in Bezug auf die Theorie des Geotropismus. Die Botaniker scheinen allgemein die Biegung eines Würzelchens nach dem Mittelpunkt der Erde hin als das directe Resultat der Gravitation zu betrachten, von der man glaubt, dass sie das Wachsthum der oberen und unteren Flächen in einer solchen Weise modificirt, dass eine Krümmung in der gehörigen Richtung veranlaszt werde. Wir wissen aber jetzt, dass es allein die Spitze ist, welche beeinflusst wird, und dass dieser Theil einen Einfluss auf die benachbarten Theile überleitet und es verursacht, dass diese sich abwärts krümmen. Die Schwerkraft scheint in keiner directeren Weise auf ein Würzelchen einzuwirken, als sie auf irgend ein niedrig organisirtes Thier wirkt, welches sich fortbewegt, wenn es irgend ein Gewicht oder einen Druck fühlt.

Zwölftes Capitel.

Zusammenfassung und Schlussbemerkungen.

Natur der circumnutirenden Bewegung. — Geschichte eines keimenden Samenkorns. — Das Würzelchen tritt zuerst hervor und circumnutirt. — Seine Spitze in hohem Grade empfindlich. — Hervorbrechen des Hypocotyls und des Epicotyls aus der Erde unter der Form eines Bogens. — Seine Circumnutation und die der Cotyledonen. — Der Sämling treibt einen blatttragenden Stamm. — Die Circumnutation sämmtlicher Theile oder Organe. — Modificirte Circumnutation. — Epinastie und Hyponastie. — Bewegungen kletternder Pflanzen. — Nyctitropische Bewegungen. — Durch Licht und Gravitation angeregte Bewegungen. — Localisirte Empfindlichkeit. — Ähnlichkeit zwischen den Bewegungen der Pflanzen und Thiere. — Die Spitze des Würzelchens wirkt wie ein Gehirn.

Es dürfte für den Leser von Nutzen sein, wenn wir kurz die Hauptschlussfolgerungen zusammenfassen, welche, so weit wir es beurtheilen können, durch die in diesem Bande gemachten Beobachtungen ziemlich gut sichergestellt sind. Sämmtliche Theile oder Organe an jeder Pflanze sind, so lange sie zu wachsen fortfahren, und einige Theile, welche mit Polstern versehen sind, auch nachdem sie zu wachsen aufgehört haben, in beständiger circumnutirender Bewegung. Diese Bewegung beginnt selbst ehe der junge Sämling durch die Erde durchgebrochen ist. Die Natur der Bewegung und ihre Ursachen sind, so weit dies ermittelt wurde, kurz in der Einleitung beschrieben worden. Warum jeder Theil einer Pflanze, so lange er wächst, und in einigen Fällen, nachdem das Wachsthum aufgehört hat, mit stärker turgescirenden Zellen und mit Zellwandungen, die erst auf einer Seite und dann auf einer anderen ausdehnbarer sind, versehen ist, wodurch eben Circumnutation veranlaszt wird, ist unbekannt. Es möchte scheinen, als ob die Veränderungen in den Zellen Ruheperioden verlangten.

In einigen Fällen, so bei den Hypocotylen von *Brassica*, den Blättern von *Dionaea* und den Gelenken der Gramineen, sieht man, dasz die circumnutirende Bewegung, wenn sie unter dem Microscop betrachtet wird, aus unzählig kleinen Oscillationen besteht. Der der Beobachtung unterliegende Theil springt plötzlich in einer Länge von 0.002 bis 0.001 Zoll vorwärts und zieht sich dann auf einen Theil dieser Strecke langsam zurück, nach einigen wenigen Secunden schnellt er wiederum vorwärts, aber nur mit vielen Intermissionen. Die zurückziehende Bewegung ist allem Anscheine nach Folge der Elasticität der widerstehenden Gewebe. Wie weit diese oscillirende Bewegung allgemein ist, wissen wir nicht, da nicht viele circumnutirende Pflanzen von uns unter dem Microscop beobachtet wurden; aber bei *Drosera* konnte mit einem zweizölligen Objectiv, welches wir benutzten, keine derartige Bewegung entdeckt werden. Die Erscheinung ist eine merkwürdige. Der ganze Hypocotyl eines Kohlsämlings oder das ganze Blatt einer *Dionaea* könnte nicht vorwärts schnellen, wenn nicht eine sehr grosse Zahl von Zellen auf einer Seite gleichzeitig afficirt würde. Haben wir nun anzunehmen, dasz diese Zellen stetig auf einer Seite immer mehr und mehr turgesciren, bis der Theil plötzlich nachgibt und sich biegt und das veranlaszt, was man ein microscopisch minutiöses Erdbeben in der Pflanze nennen könnte, oder werden die Zellen auf einer Seite plötzlich in einer intermittirenden Art und Weise turgescirent, wobei eine jede hierdurch veranlaszte Vorwärtsbewegung in der Elasticität der Gewebe einen Widerstand findet?

Circumnutation ist von oberster Bedeutung in dem Leben jeder Pflanze; denn durch eine Modification derselben sind viele, in hohem Grade wohlthätige und nothwendige Bewegungen erlangt worden. Wenn das Licht eine Seite einer Pflanze trifft, oder das Licht mit Dunkelheit wechselt, oder wenn die Schwerkraft auf einen aus der Lage gebrachten Theil wirkt, wird die Pflanze in irgend einer unbekanntem Weise befähigt, die immer variirende Turgescenz der Zellen auf einer Seite zu erhöhen, so dasz die gewöhnliche circumnutirende Bewegung modificirt wird und der Theil sich nothwendig nach der erregenden Ursache hin oder von ihr wegbiegt; oder er kann auch eine neue Stellung annehmen, wie in dem sogenannten Schlaf der Pflanzen. Der Einfluss, welcher die Circumnutation modificirt, kann von einem Theil auf einen andern überliefert werden. Eingeborene oder constitutionelle Veränderungen, die von irgend welcher äusseren Einwirkung unab-

hängig sind, modificiren häufig die circumnutirenden Bewegungen zu besonderen Perioden des Lebens der Pflanze. Da Circumnutation ganz allgemein vorhanden ist, so können wir einsehen, woher es kommt, dass Bewegungen einer und derselben Art in den verschiedensten Gliedern der Pflanzenreihe entwickelt worden sind. Es darf aber nicht angenommen werden, dass alle Bewegungen von Pflanzen aus modificirter Circumnutation entstehen; denn, wie wir sofort sehen werden, haben wir Grund zu der Annahme, dass dies nicht der Fall ist.

Nachdem wir diese wenigen vorläufigen Bemerkungen gemacht haben, wollen wir in unserer Vorstellung einmal einen keimenden Samen nehmen und den Antheil betrachten, welchen die verschiedenen Bewegungen in der Lebensgeschichte der Pflanze nehmen. Die erste Veränderung ist das Vortreiben des Würzelchens, welches sofort beginnt zu circumnutiren. Diese Bewegung wird unmittelbar durch die Anziehung der Schwerkraft modificirt und wird geotropisch gemacht. Das Würzelchen biegt sich daher, angenommen der Same liege auf der Oberfläche, schnell abwärts, dabei einen mehr oder weniger spiralen Weg beschreibend, wie an den beruszten Glasplatten zu sehen ist. Die Empfindlichkeit für die Schwerkraft hat in der Spitze ihren Sitz, und es ist die Spitze, welche irgend einen Einfluss auf die benachbarten Theile hinleitet und sie dadurch veranlaszt, sich zu biegen. Sobald die Spitze, die von der Wurzelkappe geschützt ist, den Boden erreicht, durchdringt sie die Oberfläche, wenn dieselbe weich oder zerreiblich ist, und der Act des Eindringens wird allem Anscheine nach durch die stozweise oder circumnutirende Bewegung des ganzen Endes des Würzelchens unterstützt. Wenn die Oberfläche dicht ist und nicht leicht durchbohrt werden kann, dann wird der Same, selbst wenn er nicht schwer ist, durch das fortdauernde Wachsthum und die Verlängerung des Würzelchens aus der Lage gebracht oder in die Höhe gehoben. Im Naturzustande aber werden Samen häufig mit Erde oder anderer Substanz bedeckt oder fallen in Spalten u. s. w., und hierdurch wird ein Widerstandspunkt geboten, und die Spitze kann leichter den Boden durchbohren. Aber selbst bei Samen, welche locker auf der Oberfläche liegen, findet sich noch eine andere Hilfe: von dem oberen Theile des Würzelchens wird eine Menge äusserst feiner Haare ausgesandt, und diese heften sich fest an Steine und andere Gegenstände an, welche auf der Oberfläche liegen, und können dies sogar bei Glas

thun; hierdurch wird der obere Theil niedergehalten, während die Spitze gegen den Boden drückt und sich in ihn einbohrt. Die Anheftung der Wurzelhaare wird durch die Verflüssigung der äusseren Oberfläche der Cellulosen-Wände und durch das darauffolgende Hartwerden der verflüssigten Substanz bewirkt. Dieser merkwürdige Process findet wahrscheinlich nicht sowohl zu dem Zwecke der Anheftung der Würzelchen an oberflächlich gelegene Gegenstände statt, sondern damit die Haare in die dichteste Berührung mit den Theilchen im Boden gebracht werden, durch welche Mittel sie die Schicht des sie umgebenden Wassers, zusammen mit irgend welcher darin aufgelösten Substanz absorbiren können.

Nachdem die Spitze den Boden bis zu einer geringen Tiefe durchbohrt hat, hält die zunehmende Dicke des Würzelchens in Verbindung mit den Wurzelhaaren dasselbe fest an seiner Stelle, und nun treibt die durch das Längenwachsthum des Würzelchens ausgeübte Kraft die Spitze tiefer in den Grund. Diese Kraft, verbunden mit der dem queren Wachsthum folgenden gibt dem Würzelchen die Kraft eines Keils: selbst eine wachsende Wurzel von mäsiger Grösze, wie die eines Bohnensämlings, kann ein Gewicht von einigen Pfund aus der Lage bringen. Es ist nicht wahrscheinlich, dasz die Spitze, wenn sie in compacter Erde eingegraben ist, factisch circumnutiren und hierdurch ihre Abwärtsbewegung unterstützen kann, aber die circumnutirende Bewegung wird die Spitze darin erleichtern, in irgend eine seitliche oder schräge Spalte in der Erde oder in eine von einem Regenwurme oder einer Larve gemachten Höhle einzudringen, und sicher ist, dasz Wurzeln häufig in den alten Höhlen von Würmern laufen. Bei dem Versuche zum Circumnutiren wird indessen die Spitze beständig auf allen Seiten gegen die Erde drücken, und dies kann kaum anders als von der höchsten Bedeutung für die Pflanze sein; denn wir haben gesehen, dasz, wenn kleine Stückchen cartonartigen Papiers und sehr dünnen Papiers auf entgegengesetzten Seiten der Spitze angekittet wurden, der ganze wachsende Theil des Würzelchens gereizt wurde, sich von der Seite, welche den Carton oder die widerstehendere Substanz trug, weg und nach der das dünne Papier tragenden Seite hinzubiegen. Wir können daher beinahe sicher sein, dasz, wenn die Spitze einem Stein oder irgend einem andern Hindernis im Boden begegnet oder selbst nur Erde, welche auf einer Seite compacter ist als auf der andern, die Wurzel sich, soweit sie kann, von dem

Hindernis oder der widerstehenderen Erde wegbiegen und damit mit nie irrender Geschicklichkeit eine Richtung des mindesten Widerstandes einschlagen wird.

Die Spitze ist gegen länger anhaltende Berührung mit einem Gegenstande empfindlicher als gegen Gravitation, wenn dieselbe schräg auf das Würzelchen wirkt und zuweilen sogar, wenn sie in der günstigsten Richtung unter rechtem Winkel auf das Würzelchen einwirkt. Die Spitze wurde durch ein angeheftetes Tröpfchen von Schellack gereizt, welches weniger als $\frac{1}{200}$ Gran (0.33 mg) wog; es ist daher empfindlicher als die zarteste Ranke, nämlich als die von *Passiflora gracilis*, auf welche ein Stückchen Draht, welches $\frac{1}{30}$ Gran wog, kaum einwirkte. Aber dieser Grad von Empfindlichkeit ist nichts im Vergleiche mit derjenigen der Drüsen von *Drosera*. Denn diese werden durch Stückchen gereizt, die nur $\frac{1}{78740}$ Gran wogen. Die Empfindlichkeit der Spitze kann nicht dadurch erklärt werden, dass sie von einer dünneren Schicht von Geweben bedeckt wird, als die anderen Theile; denn sie wird durch die verhältnismässig dicke Wurzelkappe geschützt. Es ist merkwürdig, dass, obgleich das Würzelchen sich wegbiegt, wenn eine Seite der Spitze unbedeutend mit einem Ätzmittel berührt wird, doch, wenn die Seite stärker cauterisirt wird, die Verletzung zu grosz ist und das Vermögen, irgend einen Einflusz auf die benachbarten Theile überzuleiten, welcher diese zu biegen veranlaszt, verloren geht. Es ist bekannt, dass andere analoge Fälle vorkommen.

Nachdem ein Würzelchen durch irgend ein Hindernis abgelenkt worden ist, gibt der Geotropismus der Spitze wiederum die Richtung, senkrecht abwärts zu wachsen; Geotropismus ist aber eine schwache Kraft, und hier kommt, wie SACHS gezeigt hat, eine andere interessante adaptive Bewegung ins Spiel; denn Würzelchen sind in einer Entfernung von einigen wenigen Millimetern von der Spitze gegen länger anhaltende Berührung in einer solchen Weise empfindlich, dass sie sich nach dem berührenden Gegenstande hin, anstatt von ihm weg bewegen, wie es eintritt, wenn ein Gegenstand eine Seite der Spitze berührt. Überdies ist die hierdurch veranlaszte Bewegung abrupt, und nur der gedrückte Theil allein biegt sich. Selbst geringer Druck reicht hin, wie ein Stückchen auf eine Seite gekitteten Cartons. Es wird daher ein Würzelchen, welches über den Rand irgend eines Hindernisses im Boden hinübertritt, durch die Wirkung des Geotropismus gegen denselben drücken, und dieser Druck wird die Ursache,

dasz das Würzelchen sucht, sich plötzlich über den Rand zu biegen. Es wird hierdurch so schnell wie nur möglich seinen normalen Weg abwärts wieder erlangen.

Würzelchen sind auch gegen Luft, welche auf einer Seite mehr Feuchtigkeit, als auf der andern enthält, empfindlich und biegen sich nach der Feuchtigkeitsquelle hin. Es ist daher wahrscheinlich, dasz sie in gleicher Weise auch für die Feuchtigkeit im Boden empfindlich sind. In mehreren Fällen wurde es ermittelt, dasz diese Empfindlichkeit in der Spitze ihren Sitz hat, welche einen Einflusz auf den benachbarten oberen Theil überleitet und diesen dadurch veranlaszt, sich im Gegensatz zum Geotropismus nach dem feuchten Gegenstande hin zu bewegen. Wir können daher schlieszen, dasz Wurzeln von ihrem Wege abwärts nach irgend welcher Feuchtigkeitsquelle im Boden hin abgelenkt werden.

Ferner sind die meisten oder alle Würzelchen unbedeutend für Licht empfindlich und biegen sich daher nach der Angabe von WIESNER meist ein wenig von ihm weg. Ob dies für sie von irgend welchem Nutzen sein dürfte ist sehr zweifelhaft, aber bei Samen, welche auf der Oberfläche keimen, wird es den Geotropismus unbedeutend darin unterstützen, dasz er die Würzelchen nach dem Boden hin richtet¹. Wir ermittelten in einem Falle, dasz eine derartige Empfindlichkeit in der Spitze ihren Sitz hat und die benachbarten Theile sich vom Lichte wegzubiegen verursacht. Die von WIESNER beobachteten, in der Luft wachsenden Wurzeln waren sämtlich apheliotropisch, und dies ist ohne Zweifel darin von Nutzen, dasz sie dieselben mit Baumstämmen oder Oberflächen von Steinen in Berührung bringt, wie es ihre Gewohnheit ist.

Wir sehen hieraus, dasz bei Sämlingspflanzen die Spitze des Würzelchens mit verschiedenen Arten von Empfindlichkeit ausgerüstet ist, und dasz die Spitze den benachbarten wachsenden Theilen die Richtung gibt, sich nach der erregenden Ursache hin oder von ihr weg zu biegen, je nach den Bedürfnissen der Pflanze. Die Seiten des Würzelchens sind auch gegen Berührung empfindlich, aber in einer sehr verschiedenen Art und Weise. Gravitation ist, obschon sie eine

¹ Dr. Karl Richter, welcher diesem Gegenstande specielle Aufmerksamkeit gewidmet hat (Sitzungsber. d. kais. Acad. d. Wiss., Wien, 1879, 80. Bd., 1. Abth., p. 24), gibt an, dasz Apheliotropismus die Würzelchen beim Eindringen in den Boden nicht unterstützt.

weniger wirksame Ursache der Bewegung ist als die anderen oben speciell angeführten Reize, immer vorhanden, so dasz sie schliesslich vorherrscht und das Abwärtswachsen der Wurzel bestimmt.

Das primäre Würzelchen sendet secundäre aus, welche subhorizontal vorspringen, und es wurde in einem Falle beobachtet, dasz diese circumnutiren. Auch ihre Spitzen sind gegen Berührung empfindlich, und sie werden hierdurch angeregt, sich von irgend einem berührenden Gegenstande wegzubiegen, so dasz sie in diesen Beziehungen, so weit sie beobachtet wurden, den primären Würzelchen ähnlich sind. Werden sie aus der Lage gebracht, so nehmen sie, wie SACHS gezeigt hat, ihre ursprünglich subhorizontale Stellung wieder ein, und dies ist allem Anschein nach Folge von Diageotropismus. Die secundären Würzelchen senden tertiäre aus, aber diese werden bei der Bohne nicht von der Gravitation beeinflusst, und in Folge dessen springen sie in allen Richtungen vor. Hiernach ist die allgemeine Anordnung der drei Ordnungen von Wurzeln ausgezeichnet dazu angepasst, den ganzen Boden nach Nahrung zu durchsuchen.

SACHS hat gezeigt, dasz, wenn die Spitze des primären Würzelchens abgeschnitten wird (und die Spitze wird gelegentlich im Naturzustande bei Sämlingen abgenagt werden), eines der secundären Würzelchen senkrecht abwärts wächst in einer Weise, welches dem Aufwärtswachsen eines Seitensprossen nach der Amputation des leitenden Sprossen analog ist. Wir haben bei den Würzelchen der Bohne gesehen, dasz, wenn die primären Würzelchen einfach zusammengedrückt werden, anstatt abgeschnitten zu werden, so dasz ein Überschuss von Saft in die secundären Würzelchen geleitet wird, ihr natürlicher Zustand gestört wird und sie abwärts wachsen. Andere, analoge Thatsachen sind mitgetheilt worden. Da alles, was die Constitution stört, geneigt ist zum Rückschlag zu führen, d. h. zur Wiedernahme eines früheren Characters, so erscheint es wahrscheinlich, dasz, wenn secundäre Würzelchen abwärts oder Seitensprossen aufwärts wachsen, sie zu der ursprünglichen Weise des Wachsthums zurückschlagen, welche den Würzelchen und Sprossen eigenthümlich ist.

Nach dem Vortreiben des Würzelchens durchbricht bei dicotyledonen Samen der Hypocotyl die Samenhüllen; wenn aber die Cotyledonen unterirdisch sind, so ist es der Epicotyl, welcher zuerst vorbricht. Diese Organe sind zuerst ausnahmslos bogenförmig gekrümmt, so dasz der obere Theil zurück und parallel mit dem unteren gebogen ist; sie

behalten diese Form, bis sie über den Boden sich erhoben haben. Indessen sind es in einigen Fällen die Stiele der Cotyledonen oder der ersten echten Blätter, welche eben so wohl die Samenhüllen als den Boden durchbohren, noch ehe irgend ein Theil des Stammes vortreibt, und dann sind beinahe ausnahmslos die Blattstiele bogenförmig gekrümmt. Wir haben nur eine einzige Ausnahme gefunden, und das auch nur eine theilweise, nämlich bei den Blattstielen der zwei ersten Blätter von *Acanthus candelabrum*. Bei *Delphinium nudicaule* sind die Stiele der zwei Cotyledonen vollständig zusammengeflossen und durchbrechen den Boden als ein Bogen; später sind die Stiele der nach einander sich entwickelnden ersten Blätter bogenförmig gekrümmt und sie werden hierdurch befähigt durch die Basis der zusammenfließenden Stiele der Cotyledonen durchzubrechen. Bei *Megarrhiza* ist es die Plumula, welche bogenförmig durch die aus dem Zusammenfließen der Cotyledonenstiele gebildete Röhre durchbricht. Bei reifen Pflanzen sind die Blütenstengel und die Blätter einiger weniger Species und die Rachis mehrerer Farne, wie sie einzeln aus dem Boden hervortreten, gleichfalls bogenförmig gekrümmt.

Die Thatsache, dasz so viele verschiedene Organe bei Pflanzen vieler Arten durch den Boden unter der Form eines Bogens durchbrechen, zeigt, dasz dies in irgend welcher Weise für sie von hoher Bedeutung sein musz. Nach der Angabe von HABERLANDT wird die zarte wachsende Spitze hierdurch vor Abreiben geschützt, und dies ist wahrscheinlich die richtige Erklärung. Da aber beide Schenkel des Bogens wachsen, so wird ihr Vermögen, durch den Boden zu brechen, so lange bedeutend vergrößert werden, als die Spitze innerhalb der Samenhüllen bleibt und einen Unterstützungspunkt hat. Bei monocotyledonen Pflanzen ist die Plumula oder der Cotyledon selten bogenförmig gekrümmt, wie wir gesehen haben; dies ist aber bei dem blattähnlichen Cotyledon der Zwiebel der Fall, und hier wird der Scheitel des Bogens durch eine specielle Protuberanz noch verstärkt. Bei den Gramineen wird der Scheitel des geraden, scheidenartigen Cotyledons zu einer harten, scharfen Leiste entwickelt, welche offenbar dazu dient, durch die Erde durchzubrechen. Bei Dicotyledonen scheint es häufig, als wenn die bogenförmige Krümmung des Epicotyls oder Hypocotyls einfach das Resultat der Art und Weise wäre, in welcher die Theile innerhalb des Samens zusammengepackt sind; es ist aber zweifelhaft, ob dies in allen Fällen die ganze Wahrheit

ist, und sicherlich war es in manchen Fällen nicht so, in welchen wir sahen, dasz die bogenförmige Krümmung begann, nachdem die Theile gänzlich aus den Samenhüllen hervorgetreten waren. Da die Krümmung eintritt, in welcher Stellung auch nur immer die Samen gelegt wurden, so ist es ohne Zweifel Folge eines zeitweilig vermehrten Wachstums von der Beschaffenheit der Epinastie oder Hyponastie der einen Seite des betreffenden Theils entlang.

Da diese Gewohnheit des Hypocotyls sich bogenförmig zu krümmen ganz universell zu sein scheint, so ist sie wahrscheinlich sehr alten Ursprungs. Es ist daher nicht überraschend, dasz sie vererbt wird, wenigstens in einer gewissen Ausdehnung, und zwar von Pflanzen, welche unterirdische Cotyledonen haben, bei denen der Hypocotyl nur unbedeutend entwickelt wird und niemals über den Boden vortritt, und bei denen die Krümmung natürlich gegenwärtig völlig nutzlos ist. Diese Neigung erklärt, wie wir gesehen haben, die Krümmung des Hypocotyls (und die darauffolgende Bewegung des Würzelchens), welche zuerst von SACHS beobachtet wurde, und auf welche wir uns unter dem Namen von Sachs' Krümmung häufig bezogen haben.

Die verschiedenen, vorstehend erwähnten, bogenförmig gekrümmten Organe circumnutiren beständig oder bemühen sich zu circumnutiren, selbst ehe sie durch den Boden durchbrechen. Sobald irgend ein Theil des Bogens aus den Samenhüllen vortritt, wird er von Apogeotropismus beeinflusst, und beide Schenkel biegen sich so schnell, als die umgebende Erde es gestattet, aufwärts, bis der Bogen senkrecht steht. Durch fortdauerndes Wachsthum bricht er dann gewaltsam durch den Boden; da er aber beständig dahinstrebt, zu circumnutiren, so wird dies sein Hervorbrechen in irgend einem unbedeutenden Grade unterstützen, denn wir wissen, dasz ein circumnutirender Hypocotyl feuchten Sand auf allen Seiten fortdrücken kann. Sobald der schwächste Lichtstrahl einen Sämling erreicht, wird Heliotropismus ihn durch einen jeden Spalt im Boden oder durch eine verwickelte Masse darüberliegender Vegetation hindurchführen, denn Apogeotropismus an sich führt den Sämling nur blind nach oben. Es ist daher wahrscheinlich, dasz die Empfindlichkeit für Licht in der Spitze der Cotyledonen der Gramineen und in dem oberen Theile der Hypocotyle mindestens einiger Pflanzen ihren Sitz hat.

In dem Masse, als der Bogen aufwärts wächst, werden die Cotyledonen aus dem Boden gezogen. Die Samenhüllen werden entweder eingegraben zurückgelassen oder noch eine Zeit lang, immer die Coty-

ledonen einschliessend, erhalten. Dieselben werden später einfach durch das Anschwellen der Cotyledonen abgeworfen. Bei den meisten Cucurbitaceen ist aber eine merkwürdige, specielle Einrichtung zum Bersten der Samenhüllen vorhanden, so lange sie noch unter der Erde sich befinden, nämlich ein Zapfen an der Basis des Hypocotyls, welcher rechtwinklig vorspringt und die untere Hälfte der Samenhüllen niederhält, während das Wachsthum des gekrümmten Theils des Hypocotyls die obere Hälfte emporhebt und sie hierdurch in zwei Theile spaltet. Eine etwas analoge Bildung kommt bei *Mimosa pudica* und einigen anderen Pflanzen vor. Ehe die Cotyledonen vollständig ausgebreitet sind und divergirt haben, streckt sich meist der Hypocotyl durch vermehrtes Wachsthum der concaven Seite entlang, hierbei den Process umkehrend, welcher die bogenförmige Krümmung verursacht. Schliesslich bleibt nicht eine Spur der früheren Krümmung übrig, ausgenommen bei den blattartigen Cotyledonen der Zwiebel.

Die Cotyledonen können nun die Function von Blättern annehmen und Kohlensäure zersetzen; sie geben nun auch anderen Theilen der Pflanze die Nahrungsstoffe ab, welche sie häufig enthalten. Wenn sie einen groszen Vorrath von Nahrung enthalten, bleiben sie meist unter der Erde begraben in Folge der geringen Entwicklung des Hypocotyls, und hierdurch haben sie eine gröszere Wahrscheinlichkeit, der Zerstörung durch Thiere zu entgehen. Aus unbekanntem Ursachen wird Nahrungsstoff zuweilen im Hypocotyl oder im Würzelchen aufgespeichert, und dann wird einer der Cotyledonen oder beide rudimentär, wofür mehrere Beispiele angeführt worden sind. Es ist wahrscheinlich, dass die ausserordentliche Art und Weise zu keimen bei *Megarrhiza californica*, *Ipomoea leptophylla* und *pandurata* und von *Quercus virens* mit dem Vergrabensein der knollenartigen Wurzel im Zusammenhange steht, welche in einem frühen Alter mit Nahrungsstoff gefüllt ist; denn bei diesen Pflanzen sind es die Stiele der Cotyledonen, welche zuerst aus dem Samen vortreten, und sie sind dann nur mit einem minutiösen Würzelchen und einem solchen Hypocotyl wie mit Spitzen besetzt. Diese Blattstiele biegen sich geotropisch wie eine Wurzel abwärts und durchbohren den Boden, so dass die echte Wurzel, welche später bedeutend vergröszert wird, in einer geringen Tiefe unter der Oberfläche eingegraben wird. Abstufungen in den Bildungen sind immer interessant, und ASA GRAY theilt uns mit, dass bei *Ipomoea Jalappa*, welche häufig grosze Knollen bildet, der Hypocotyl doch noch von

beträchtlicher Länge ist, und die Stiele der Cotyledonen nur mäßig verlängert sind. Aber ausser dem durch das Verbergen des Nährstoffes, welcher in den Knollen angehäuft wird, erlangten Vortheile wird mindestens bei *Megarrhiza* die Plumula auch gegen die Fröste des Winters dadurch beschützt, dass sie eingegraben ist.

Wie vor kurzem DE VRIES beschrieben hat, zieht bei vielen dicotyledonen Sämlingen die Zusammenziehung des Parenchyms des oberen Theils des Würzelchens den Hypocotyl abwärts in die Erde, zuweilen (wie angegeben wird) selbst bis die Cotyledonen eingegraben sind. Bei einigen Species zieht sich der Hypocotyl selbst in einer ähnlichen Weise zusammen. Es wird angenommen, dass dieser Process des Eingrabens dazu dient, die Sämlinge gegen die Winterfröste zu schützen.

Unser Sämling, dessen Entwicklung wir im Geiste verfolgen, ist nun als Sämling reif, denn sein Hypocotyl ist gerade und seine Cotyledonen sind vollständig ausgebreitet. In diesem Zustande fahren der obere Theil des Hypocotyls und die Cotyledonen noch einige Zeit lang fort zu circumnutiren, meistens im Verhältnis zu der Grösze der Theile in weiter Ausdehnung und in rapider Geschwindigkeit. Sämlinge erlangen aber durch dieses Bewegungsvermögen nur dann einen Vortheil, wenn es modificirt wird, und zwar besonders durch die Einwirkung des Lichtes und der Gravitation; denn sie werden hierdurch befähigt rapider und in einer grösseren Ausdehnung sich zu bewegen, als es die meisten reifen Pflanzen thun können. Sämlinge sind einem schweren Kampfe ums Leben ausgesetzt, und es erscheint für sie von hoher Bedeutung, dass sie sich so schnell und so vollständig wie möglich an ihre Bedingungen anpassen können. Daher kommt es auch, dass sie so äusert empfindlich gegen Licht und Gravitation sind. Die Cotyledonen einiger wenigen Species sind für eine Berührung empfindlich. Es ist wahrscheinlich, dass dies nur ein indirectes Resultat der vorstehend erwähnten Arten von Empfindlichkeit ist; denn wir haben keinen Grund zu der Annahme, dass sie daraus, dass sie sich bei Berührung bewegen, einen Vortheil erhalten.

Unser Sämling treibt nur einen Stamm, welcher Blätter und häufig Zweige trägt, welche sämmtlich, so lange sie jung sind, beständig circumnutiren. Wenn wir z. B. einen groszen Baum einer Acazie betrachten, so können wir sicher sein, dass jeder einzelne der zahllosen wachsenden Sprossen beständig kleine Ellipsen beschreibt, wie es auch jeder Blattstiel, Nebenstiel und jedes Blättchen thut.

Die letzteren bewegen sich eben so wie gewöhnliche Blätter meistens in nahezu derselben senkrechten Ebene auf und nieder, so dasz sie sehr schmale Ellipsen beschreiben. Die Blattstengel circumnutiren gleichfalls beständig. Wenn wir unter den Boden sehen könnten, und wenn unsere Augen die Kraft eines Microscopes hätten, so würden wir sehen, dasz die Spitze eines jeden Würzelchens versucht kleine Ellipsen oder Kreise schwingend zu beschreiben, soweit es der Druck der umgebenden Erde gestattet. Dieser erstaunliche Betrag an Bewegung ist in Thätigkeit gewesen Jahr für Jahr seit der Zeit, als der Baum in der Form eines Sämlings zuerst aus dem Boden hervorbrach.

Stämme werden zuweilen in lange Ausläufer oder Stolonen entwickelt. Diese circumnutiren in einer augenfälligen Weise und werden dadurch darin unterstützt, zwischen umgebenden Hindernissen oder über solche hinwegzutreten. Ob aber die circumnutirende Bewegung für diesen speziellen Zweck vergrößert worden ist, ist zweifelhaft.

Wir haben nun die Circumnutation in einer modificirten Form als die Quelle mehrerer groszer Classen von Bewegung zu betrachten. Die Modification kann durch eingeborene Ursachen oder durch äusere Einwirkungen bestimmt werden. Unter die erste Categorie fallen Fälle, wo wir Blätter sehen, welche, wenn sie zuerst entfaltet werden, in einer senkrechten Stellung stehen und sich allmählich abwärts biegen, wenn sie älter werden. Wir sehen Blüthenstengel sich niederbiegen, nachdem die Blüthe verwelkt ist, und andere sich erheben; oder ferner Stämme, welche sich mit ihren Spitzen zuerst so niederbiegen, dasz sie hakenförmig sind, sich später gerade strecken und viele andere derartige Fälle. Diese Veränderungen der Stellung, welche Folgen von Epinastie oder Hyponastie sind, treten zu bestimmten Perioden des Lebens der Pflanze ein und sind von irgend einer äusseren Einwirkung unabhängig. Sie werden nicht durch eine beständige Aufwärts- oder Abwärtsbewegung bewirkt, sondern durch eine Reihe kleiner Ellipsen oder durch Zickzacklinien, d. h. durch eine circumnutirende Bewegung, welche in irgend einer Richtung vorherrschend ist.

Ferner circumnutiren Kletterpflanzen, so lange sie jung sind, in der gewöhnlichen Art und Weise; sobald aber der Stamm bis zu einer gewissen Höhe herangewachsen ist, welche Höhe für verschiedene Species verschieden ist, verlängert er sich rapid, und nun wird die Amplitude der circumnutirenden Bewegung ungeheuer vergrößert,

offenbar um den Stamm darin zu begünstigen eine Unterstützung zu ergreifen. Der Stamm circumnutirt auch etwas gleichmässiger nach allen Seiten hin, als bei den nicht kletternden Pflanzen. Dies ist augenfällig bei denjenigen Ranken der Fall, welche aus modificirten Blättern bestehen, da diese weite Kreise beschreiben, während nicht veränderte Blätter gewöhnlich nahezu in derselben senkrechten Ebene circumnutiren. Wenn Blütenstengel in Ranken umgewandelt werden, ist ihre circumnutirende Bewegung in gleicher Weise bedeutend vergrößert.

Wir kommen nun zu unserer zweiten Gruppe von circumnutirenden Bewegungen, nämlich den durch äussere Einwirkungen modificirten. Der sogenannte Schlaf oder die nyctitropischen Bewegungen von Blättern werden durch den täglichen Wechsel von Licht und Dunkelheit bestimmt. Es ist nicht die Dunkelheit, welche sie anregt sich zu bewegen, sondern die Verschiedenheit in der Menge von Licht, welche sie während des Tages und der Nacht erhalten; denn bei mehreren Species schlafen die Blätter, wenn sie während des Tages nicht hell beleuchtet worden sind, während der Nacht nicht. Indessen erben sie eine Neigung sich zu den gehörigen Zeiten zu bewegen unabhängig von irgend welchem Wechsel in der Lichtmenge. Die Bewegungen sind in einigen Fällen ausserordentlich complicirt, aber in dem diesem Gegenstande gewidmeten Capitel ist eine ausführliche Zusammenfassung gegeben worden, so dass wir hier nur wenig über diesen Gegenstand sagen wollen. Blätter und Cotyledonen nehmen ihre nächtliche Stellung auf zweierlei Weise an, durch Vermittlung von Polstern und ohne eine solche Hilfe. In dem ersteren Falle dauert die Bewegung so lange fort, als das Blatt oder der Cotyledon in voller Gesundheit bleibt, während sie im letzteren Falle nur so lange fortdauert, als der Theil im Wachsen begriffen ist. Cotyledonen scheinen in einer verhältnismässig grösseren Anzahl von Species zu schlafen als Blätter. Bei manchen Species schlafen die Blätter und nicht die Cotyledonen, bei anderen die Cotyledonen und nicht die Blätter, oder es können auch beide schlafen und doch während der Nacht sehr verschiedene Stellungen annehmen.

Ogleich die nyctitropischen Bewegungen von Blättern und Cotyledonen wunderbar verschiedenartig sind und zuweilen in den Species einer und derselben Gattung bedeutend von einander abweichen, so wird doch die Blattscheibe immer in eine solche Lage des Nachts

gebracht, dasz ihre Oberfläche so wenig wie möglich der vollen Strahlung ausgesetzt ist. Wir können nicht daran zweifeln, dasz dies der durch diese Bewegungen erreichte Zweck ist; und es ist nachgewiesen worden, dasz Blätter, welche einem klaren Himmel ausgesetzt wurden, während ihre Scheiben horizontal zu bleiben gezwungen wurden, viel mehr von der Kälte litten als andere, denen gestattet wurde ihre gehörige senkrechte Stellung anzunehmen. Über diesen Gegenstand sind einige merkwürdige Fälle mitgetheilt worden, welche zeigten, dasz horizontal ausgestreckte Blätter des Nachts mehr litten, wenn die Luft, welche durch Strahlung nicht abgekühlt wird, verhindert wurde frei unter ihren unteren Flächen zu circuliren; und dies war auch der Fall, wenn den Blättern gestattet wurde an Zweigen zu schlafen, welche bewegungslos gemacht worden waren. In einigen Species erheben sich die Blattstiele bedeutend des Nachts, und die Fiedern schlieszen sich zusammen. Hierdurch wird die ganze Pflanze compacter gemacht, und eine viel kleinere Oberfläche wird der Strahlung ausgesetzt.

Dasz die verschiedenen nyctitropischen Bewegungen der Blätter ein Resultat modificirter Circumnutation sind, ist, wie wir meinen, deutlich nachgewiesen worden. In den einfachsten Fällen beschreibt ein Blatt während der 24 Stunden eine einzige grosze Ellipse; und die Bewegung ist so angeordnet, dasz die Blattscheibe während der Nacht senkrecht steht und am folgenden Morgen ihre frühere Stellung wieder annimmt. Der dabei eingeschlagene Weg weicht von gewöhnlicher Circumnutation nur in seiner grösseren Amplitude und darin ab, dasz er spät am Abend und zeitig am folgenden Morgen eine grössere Schnelligkeit hat. Wenn nicht angenommen wird, dasz diese Bewegung eine Circumnutationsbewegung ist, so circumnutiren solche Blätter gar nicht, und dies würde eine monströse Anomalie sein. In anderen Fällen beschreiben Blätter und Cotyledonen mehrere senkrechte Ellipsen während der 24 Stunden, und am Abend wird eine von diesen in ihrer Amplitude bedeutend vergrössert, bis die Blattscheibe entweder aufwärts oder abwärts senkrecht steht. In dieser Stellung fährt sie bis zum folgenden Morgen zu circumnutiren fort, wo sie ihre frühere Stellung wieder annimmt. Diese Bewegungen werden, wenn ein Polster vorhanden ist, häufig durch die Rotation des Blattes oder Blättchens complicirt, und eine derartige Rotation kommt in einem geringen Maszstabe auch während der gewöhnlichen Circumnutation vor. Man sollte hier die vielen, die Bewegungen schlafender und nicht schlafen-

der Blätter und Cotyledonen darstellenden Zeichnungen vergleichen, und man wird sehen, dass sie wesentlich gleich sind. Gewöhnliche Circumnutation wird in eine nyctitropische Bewegung umgewandelt, erstens durch eine Vermehrung in ihrer Amplitude, aber nicht in einem so bedeutenden Grade, wie bei kletternden Pflanzen, und zweitens dadurch, dass sie in Beziehung zu dem Wechsel von Tag und Nacht periodisch gemacht wird. Es findet sich aber auch häufig eine deutliche Spur von Periodicität in den circumnutirenden Bewegungen nicht schlafender Blätter und Cotyledonen. Die Thatsache, dass nyctitropische Bewegungen bei Species vorkommen, welche in vielen Familien durch die ganze Reihe der Gefäßpflanzen vertheilt sind, ist verständlich, wenn sie das Resultat einer Modification der universell vorhandenen Bewegung der Circumnutation sind, im andern Falle ist die Thatsache unerklärbar.

Im siebenten Capitel haben wir den Fall einer *Porlieria* mitgetheilt, deren Blättchen den ganzen Tag wie im Schlafe geschlossen blieben, wenn die Pflanzen trocken gehalten wurden, augenscheinlich zu dem Zwecke, die Verdunstung zu verhindern. Etwas von derselben Art kommt auch bei gewissen Gramineen vor. Am Schlusse dieses nämlichen Capitels wurden einige wenige Beobachtungen über das hinzugefügt, was man die Embryologie der Blätter nennen könnte. Die an jungen Sprossen an eingeschnittenen Pflanzen von *Melilotus taurica* entwickelten Blätter schliefen gleich denen von *Trifolium*, während die Blätter an den älteren Zweigen an den nämlichen Pflanzen in einer sehr verschiedenen, der Gattung eigenthümlichen Art und Weise schliefen; und nach den angeführten Gründen werden wir versucht, diesen Fall als einen Rückschlag auf eine frühere nyctitropische Gewohnheit zu betrachten. So ferner lässt uns bei *Desmodium gyrans* die Abwesenheit kleiner seitlicher Blättchen an sehr jungen Pflanzen vermuthen, dass der unmittelbare Uerzeuger dieser Art keine seitlichen Blättchen besaß, und dass ihr Auftreten in einem beinahe rudimentären Zustande in einem etwas vorgeschritteneren Alter das Resultat eines Rückschlags auf einen dreiblättrigen Vorfahren ist. Wie sich dies auch verhalten mag, die rapiden circumnutirenden oder kreisenden Bewegungen der kleinen seitlichen Blättchen scheinen eine nächste Folge davon zu sein, dass das Polster oder das Bewegungsorgan nicht annähernd so bedeutend reducirt ist, wie die Blattscheibe, während der darauffolgenden Modificationen, welche die Species durchlaufen hat.

Wir kommen nun zu der in hohem Grade wichtigen Classe von Bewegungen, welche eine Folge der Wirkung eines seitlichen Lichtes sind. Wenn Stämme, Blätter oder andere Organe so gestellt werden, dasz eine Seite heller beleuchtet wird, als die andere, so biegen sie sich nach dem Lichte hin. Diese heliotropische Bewegung ist offenbar das Resultat einer Modification der gewöhnlichen Circumnutation, und es konnte jede Abstufung zwischen diesen beiden Bewegungen verfolgt werden. Wenn das Licht schwach war, und nur sehr wenig auf einer Seite heller als auf der andern, so bestand die Bewegung aus einer Reihenfolge von Ellipsen, welche nach dem Lichte hin gerichtet waren, und von denen eine jede der Lichtquelle sich mehr näherte als die vorausgehende. Wenn der Unterschied im Lichte auf den zwei Seiten etwas grösser war, so wurden die Ellipsen in eine stark ausgesprochene Zickzacklinie ausgezogen, und wenn er viel grösser war, so wurde die Bewegung geradlinig. Wir haben zu der Annahme Grund, dasz Veränderungen in der Turgescenz der Zellen die nächste Ursache der Bewegung der Circumnutation sind, und es scheint, als wenn bei einer Pflanze, welche auf den beiden Seiten ungleich beleuchtet wird, die sich fortwährend verändernde Turgescenz der einen Seite entlang vermehrt und den anderen Seiten entlang geschwächt oder vollständig aufgehoben wurde. Vermehrter Turgescenz folgt gewöhnlich ein vermehrtes Wachsthum, so dasz eine Pflanze, welche sich während des Tages nach dem Lichte hin bewegt hat, in dieser Stellung fixirt würde, wenn nicht während der Nacht Apogeotropismus auf sie einwirkte. Aber mit Polstern versehene Theile biegen sich, wie PFEFFER gezeigt hat, nach dem Lichte hin, und hier kommt Wachsthum in keiner Weise mehr ins Spiel als bei den gewöhnlichen circumnutirenden Bewegungen der Polster.

Heliotropismus findet sich weit verbreitet durch das Pflanzenreich; sobald aber nur immer in Folge veränderter Lebensgewohnheiten irgend einer Pflanze derartige Bewegungen schädlich oder nutzlos werden, wird die Neigung dazu leicht beseitigt, wie wir bei kletternden und Insectenfressenden Pflanzen sehen.

Apheliotropische Bewegungen sind in einem gut ausgesprochenen Grade vergleichsweise selten, ausgenommen bei Luftwurzeln. In den beiden von uns untersuchten Fällen bestand die Bewegung sicher in modificirter Circumnutation.

Die Stellung, welche Blätter und Cotyledonen während des Tags einnehmen, nämlich mehr oder weniger quer zu der Richtung des

Lichtes, ist nach der Angabe von FRANK Folge von dem, was wir Diaheliotropismus nennen. Da alle Blätter und Cotyledonen beständig circumnutiren, so lässt sich kaum daran zweifeln, dass Diaheliotropismus ein Resultat modificirter Circumnutation ist. Nach der Thatsache, dass Blätter und Cotyledonen sich häufig am Abend ein wenig erheben, scheint es, als wenn Diaheliotropismus während der Mitte des Tages eine weit verbreitete Neigung zum Apogeotropismus zu überwinden hätte.

Endlich ist bekannt, dass die Blättchen und Cotyledonen einiger Pflanzen durch zu viel Licht beschädigt werden; und wenn die Sonne hell auf sie scheint, bewegen sie sich aufwärts oder abwärts oder drehen sich seitlich, dass sie ihre Ränder nach dem Lichte hinkehren und hierdurch der Schädigung entgehen. Diese paraheliotropischen Bewegungen bestehen sicher in einem Falle in modificirter Circumnutation, und dasselbe ist wahrscheinlich in allen Fällen der Fall, denn die Blätter aller der beschriebenen Species circumnutiren in einer augenfälligen Weise. Diese Bewegung ist bis jetzt nur bei mit Polstern versehenen Blättchen beobachtet worden, bei welchen der vermehrten Turgescenz auf den gegenüberliegenden Seiten kein Wachsthum folgt, und wir können einsehen, warum das der Fall sein muss, da die Bewegung nur für einen zeitweiligen Zweck erforderlich ist. Es würde offenbar für die Pflanze unvortheilhaft sein, durch Wachsthum in ihrer geneigten Stellung fixirt zu werden; denn sie haben, so bald wie möglich, nachdem die Sonne aufgehört hat zu hell auf sie zu scheinen, ihre frühere horizontale Stellung einzunehmen.

Die äusserste Empfindlichkeit gewisser Sämlinge für das Licht, wie es in unserem neunten Capitel nachgewiesen wurde, ist in hohem Grade merkwürdig. Die Cotyledonen von *Phalaris* wurden nach einer entfernten Lampe hin gekrümmt, welche so wenig Licht ausgab, dass ein senkrecht dicht beiden Pflanzen gehaltener Bleistift keinen Schatten warf, welchen das Auge auf einem weissen Cartonstück hätte bemerken können. Diese Cotyledonen wurden daher durch eine Verschiedenheit in der Lichtmenge auf den beiden Seiten afficirt, welche das Auge nicht unterscheiden konnte. Der Grad ihrer Krümmung innerhalb einer gegebenen Zeit nach einem seitlichen Lichte hin entspricht durchaus nicht streng der Lichtmenge, welche sie erhielten. Dabei war das Licht zu keiner Zeit im Excess vorhanden. Sie fuhrten beinahe eine halbe Stunde lang fort, sich nach einem seitlichen Lichte hin

zu biegen, nachdem dasselbe ausgelöscht war. Sie biegen sich mit wunderbarer Genauigkeit nach ihm hin, und dies hängt von der Beleuchtung einer ganzen Seite oder von der Verdunkelung der ganzen entgegengesetzten Seite ab. Die Verschiedenheit in der Lichtmenge, welche Pflanzen zu irgend einer Zeit im Vergleich zu dem erhalten, was sie kurz vorher erhalten haben, scheint in allen Fällen die hauptsächlichste erregende Ursache dieser Bewegungen zu sein, welche durch das Licht beeinflusst werden. So biegen sich Sämlinge, die aus dem Dunkeln nach einem schwachen, seitlichen Lichte gebracht werden, zeitiger als andere, welche vorher dem Tageslicht ausgesetzt gewesen waren. Wir haben mehrere analoge Fälle bei den nyctitropischen Bewegungen der Blätter gesehen. Ein auffallendes Beispiel wurde an den periodischen Bewegungen der Cotyledonen einer *Cassia* beobachtet; am Morgen wurde ein Topf in einen dunklen Theil eines Zimmers gebracht, und sämtliche Cotyledonen erhoben sich geschlossen; ein anderer Topf stand im Sonnenlichte, und die Cotyledonen blieben natürlich ausgebreitet; beide Töpfe wurden nun dicht zusammen in die Mitte des Zimmers gestellt, und die Cotyledonen, welche der Sonne ausgesetzt gewesen waren, fiengen sofort an, sich zu schlieszen, während die anderen sich öffneten, so dasz die Cotyledonen in den beiden Töpfen sich, während sie demselben Grade von Licht ausgesetzt gewesen waren, in genau entgegengesetzten Richtungen bewegten.

Wir haben gefunden, dasz, wenn Sämlinge, die an einem dunklen Orte gehalten waren, seitlich durch einen kleinen Wachszündler nur während zweier oder dreier Minuten in Zwischenräumen von ungefähr drei Viertelstunden beleuchtet wurden, sie sämtlich nach dem Punkte hingebeugt wurden, wo der Wachszündler gehalten worden war. Wir waren über diese Thatsache sehr überrascht, und bis wir WIESNER'S Beobachtungen gelesen hatten, schrieben wir sie den Nachwirkungen des Lichts zu; er hat aber gezeigt, dasz derselbe Grad von Krümmung bei einer Pflanze im Verlaufe einer Stunde durch mehrere unterbrochene Beleuchtungen, welche zusammen 20 Minuten dauern können, veranlaszt werden kann, wie durch eine fortdauernde Beleuchtung von 60 Minuten. Wir glauben, dasz dieser Fall, ebenso wie unsere eigenen, dadurch erklärt werden kann, dasz die Reizung durch das Licht nicht sowohl eine Folge seiner factischen Menge als der Verschiedenheit in der Menge von der früher empfangenen ist; und in unserem Falle traten mehrere wiederholte Änderungen von vollständiger Dunkelheit

zum Lichte ein. In diesen und in mehreren von den oben speciell angeführten Beziehungen scheint das Licht auf die Gewebe der Pflanze beinahe in derselben Weise zu wirken, wie auf das Nervensystem der Thiere.

Es findet sich noch eine viel auffallendere Analogie derselben Art darin, dass die Empfindlichkeit für Licht in den Spitzen der Cotyledonen von *Phalaris* und *Avena* und in dem oberen Theile der Hypocotyle von *Brassica* und *Beta* localisirt ist, und darin, dass die Fortleitung eines Einflusses von diesen oberen zu den unteren Theilen die letzteren veranlaszt sich nach dem Lichte hinzubiegen. Dieser Einfluss wird auch unter der Erde bis zu einer Tiefe hin fortgeleitet, wo kein Licht hindringen kann. Es folgt aus dieser Localisation, dass die unteren Theile der Cotyledonen von *Phalaris* etc., welche normal stärker nach einem seitlichen Lichte hingebogen werden, als die oberen Theile, während vieler Stunden hell beleuchtet sein können und doch nicht im mindesten sich biegen werden, wenn alles Licht von der Spitze ausgeschlossen ist. Es ist ein interessanter Versuch, Kappen über die Spitzen der Cotyledonen von *Phalaris* zu stecken und sehr wenig Licht durch minutiöse Öffnungen auf einer Seite der Kappen eintreten zu lassen; denn der untere Theil der Cotyledonen wird sich dann nach dieser Seite und nicht nach der Seite hin biegen, welche während der ganzen Zeit hell beleuchtet worden ist. Was die Würzelchen von *Sinapis alba* betrifft, so hat auch hier die Empfindlichkeit für Licht in der Spitze ihren Sitz, welche, wenn sie seitlich beleuchtet wird, den benachbarten Theil der Wurzel veranlaszt, sich apheliotropisch zu biegen.

Die Gravitation regt Pflanzen an sich von der Mitte der Erde weg oder nach ihr hin zu biegen oder sich in eine quere Stellung in Bezug auf dieselbe zu stellen. Obgleich es unmöglich ist, in irgend welcher directen Weise die Anziehung der Schwerkraft zu modificiren, so konnte doch ihr Einfluss indirect auf verschiedene Arten und Weisen, die im zehnten Capitel beschrieben wurden, modificirt werden; und unter solchen Umständen ergab die nämliche Art von Beweisen, wie die im Capitel über Heliotropismus mitgetheilte, in der deutlichsten Weise, dass die apogeotropischen und geotropischen und wahrscheinlich auch diageotropischen Bewegungen sämmtlich modificirte Formen von Circumnutation sind.

Verschiedene Theile einer und derselben Pflanze und verschiedene Species werden durch die Gravitation in sehr verschiedenen Graden und Weisen beeinflusst. Einige Pflanzen und Organe bieten kaum eine

Spur ihrer Einwirkung dar. Junge Sämlinge, welche, wie wir wissen, rapid circumnutiren, sind auszerordentlich empfindlich, und wir haben den Hypocotyl von *Beta* sich in 3 Stunden 8 Minuten durch einen Winkel von 190° aufwärts biegen sehen. Die Nachwirkungen des Apogeotropismus dauern über eine halbe Stunde lang, und horizontal gelegte Hypocotyle werden zuweilen zeitweise bis über eine senkrecht aufrechte Stellung hinausgeführt. Die aus Geotropismus, Apogeotropismus und Diageotropismus hergeleiteten Vortheile sind meist so offenbar, dasz sie nicht speciell aufgeführt zu werden brauchen. Bei den Blütenstengeln von *Oxalis* ist Epinastie die Ursache, dasz sie sich abwärtsbiegen, so dasz die reifenden Samenkapseln von dem Kelche gegen den Regen geschützt werden. Später werden sie durch Apogeotropismus in Verbindung mit Hyponastie aufwärts bewegt und dadurch in den Stand gesetzt ihre Samenkörner über einen weiteren Raum zu verstreuen. Die Kapseln und Blütenköpfe einiger Pflanzen werden durch Geotropismus niederwärts gebogen, und sie graben sich dann in die Erde ein zum Schutze und zur langsamen Reifung der Samen. Dieser Process des Eingrabens wird durch die stoszweise, in Folge der Circumnutation eintretende Bewegung bedeutend erleichtert.

Bei den Würzelchen mehrerer und wahrscheinlich aller Pflanzensämlinge ist die Empfindlichkeit für Gravitation auf die Spitze beschränkt, welche einen Einfluss auf den benachbarten oberen Theil überleitet und diesen veranlaszt, sich nach dem Mittelpunkte der Erde zu biegen. Dasz eine Fortleitung dieser Art vorhanden ist, wurde in einer interessanten Weise bewiesen, als horizontal ausgestreckte Würzelchen der Bohne der Einwirkung der Schwerkraft eine oder anderthalb Stunden ausgesetzt und ihre Spitzen dann amputirt wurden. Innerhalb dieser Zeit wurde keine Spur von Krümmung dargeboten, und die Würzelchen wurden nun senkrecht abwärts weisend gestellt; es war aber bereits ein Einfluss von der Spitze auf den benachbarten Theil fortgeleitet worden, denn bald darauf bog sich derselbe nach einer Seite und zwar in derselben Weise wie es eingetreten sein würde, wenn das Würzelchen horizontal geblieben wäre und noch immer vom Geotropismus beeinflusst würde. In dieser Weise behandelte Würzelchen fuhren zwei oder drei Tage lang horizontal auszuwachsen fort, bis eine neue Spitze wiedergebildet worden war, und auf diese wirkte dann der Geotropismus wieder ein, und das Würzelchen wurde nun senkrecht abwärts gekrümmt.

Es ist nun nachgewiesen worden, dass die folgenden bedeutungsvollen Classen von Bewegung sämmtlich aus modificirter Circumnutation hervorgehen, welche allgegenwärtig ist, so lange das Wachsthum dauert, und nachdem das Wachsthum aufgehört hat, sobald nur Polster vorhanden sind. Diese Classen von Bewegung bestehen in denjenigen, welche Folge von Epinastie und Hyponastie sind, — den den Kletterpflanzen eigenen, welche gewöhnlich revolute Nutation genannt werden, — den nyctitropischen oder Schlafbewegungen der Blätter und Cotyledonen, — und den zwei ungeheuer grossen Classen von Bewegung die durch Licht und Gravitation angeregt werden. Wenn wir von modificirter Circumnutation sprechen, so meinen wir, dass Licht, oder der Wechsel von Licht und Dunkelheit, Gravitation, geringer Druck oder andere Reizmittel und gewisse eingeborene oder constitutionelle Zustände der Pflanzen nicht direct die Bewegung verursachen; sie führen bloß zu einer zeitweiligen Vergrößerung oder Verminderung derjenigen spontanen Veränderung in der Turgescenz der Zellen, welche beständig vorkommt. In welcher Weise Licht, Gravitation u. s. w. auf die Zellen wirkt, ist nicht bekannt, und wir wollen hier nur bemerken, dass, wenn irgend ein Reiz die Zellen in einer derartigen Weise afficirt, dass irgend eine unbedeutende Neigung in dem afficirten Theile hervorgerufen wird, sich in einer wohlthätigen Weise zu biegen, diese Neigung leicht durch die Erhaltung der empfindlicheren Individuen vergrößert werden kann. Wäre aber eine derartige Biegung schädlich, so würde die Neigung beseitigt werden, wenn sie nicht überwältigend stark wäre. Denn wir wissen, wie gewöhnlich alle Charactere in allen Organismen variiren. Wir können auch keinen Grund sehen, daran zu zweifeln, dass nach der vollständigen Beseitigung einer Neigung, sich in irgend einer Richtung unter einem gewissen Reize zu biegen, das Vermögen sich in einer direct entgegengesetzten Richtung zu biegen allmählich durch natürliche Auswahl erlangt werden kann².

Ogleich so viele Bewegungen durch modificirte Circumnutation entstanden sind, so gibt es doch noch andere, welche einen völlig unabhängigen Ursprung gehabt zu haben scheinen; sie bilden aber keine so grossen und bedeutungsvollen Classen. Wenn ein Blatt einer

² s. Frank's Bemerkungen in dessen: „Die Wagerechte Richtung von Pflanzentheilen“ (1870, p. 90, 91 etc.) über natürliche Zuchtwahl in Verbindung mit Geotropismus, Heliotropismus u. s. w.

Mimosa berührt wird, so nimmt es plötzlich dieselbe Stellung an, als wenn es schlief; BRÜCKE hat aber gezeigt, dass diese Bewegung das Resultat eines verschiedenen Turgescenzzustandes in den Zellen ist, verschieden von dem, welcher während des Schlafes vorkommt; und da Schlafbewegungen sicherlich Folge einer modificirten Circumnutation sind, so können die in Folge einer Berührung eintretenden dies kaum sein. Der Rücken eines Blattes von *Drosera rotundifolia* wurde an die Spitze eines in den Boden getriebenen Stabes so angekittet, dass es sich nicht im mindesten bewegen konnte und ein Tentakel wurde während vieler Stunden unter dem Microscop beobachtet. Er zeigte aber keine circumnutirenden Bewegungen. Nachdem er aber momentan mit einem Stückchen rohen Fleisches berührt worden war, fieng sein basaler Theil sich in 23 Secunden zu krümmen an. Diese Krümmungsbewegung konnte daher nicht ein Resultat einer modificirten Circumnutation sein. Wenn aber ein kleiner Gegenstand, wie ein Stückchen Borste auf eine Seite der Spitze eines Würzelchens gelegt wurde, von der wir wissen, dass sie beständig circumnutirt, war die hierdurch veranlaszte Krümmung der durch Geotropismus verursachten so ähnlich, dass wir kaum daran zweifeln können, dass sie Folge einer modificirten Circumnutation ist. Eine Blüthe einer *Mahonia* wurde an einen Stab gekittet und die Staubfäden boten kein Zeichen von Circumnutation unter dem Microscop dar; wenn sie aber leicht berührt wurden, so bewegten sie sich doch plötzlich nach dem Pistille hin. Endlich scheint das Aufrollen des Endes einer Ranke, wenn sie berührt wird, unabhängig von ihrer revolutiven oder circumnutirenden Bewegung zu sein. Dies zeigt sich am besten dadurch, dass der Theil, welcher für Berührung der empfindlichste ist, viel weniger circumnutirt, als die unteren Theile, oder allem Anscheine nach gar nicht³.

Ogleich wir in diesen Fällen keinen Grund zu der Annahme haben, dass die Bewegung von modificirter Circumnutation abhängt, wie bei den verschiedenen in diesem Bande beschriebenen Classen von Bewegungen, so dürfte doch der Unterschied zwischen den beiden Sätzen von Fällen nicht so grosz sein, wie er auf den ersten Blick scheint. In der einen Gruppe verursacht ein Reizmittel eine Vermehrung oder Verminderung in dem Turgescenzzustande der Zellen,

³ Wegen der Belege hierfür s. die „Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen“, Übersetzung, 1876, p. 133, 134.

welche bereits in einem Zustande der Veränderung sind, während in der anderen Gruppe das Reizmittel erst eine ähnliche Veränderung in ihrem Turgescenzzustande anregt. Warum eine Berührung, leichter Druck oder irgend ein anderes Reizmittel, wie Electricität, Wärme oder die Absorption thierischer Substanz die Turgescenz der Zellen in einer solchen Weise modificiren sollte, dasz eine Bewegung verursacht wird, wissen wir nicht. Aber eine Berührung wirkt so häufig und auf so sehr verschiedene Pflanzen in dieser Weise, dasz die Neigung hierzu eine sehr allgemeine zu sein scheint; und wenn sie wohlthätig ist, kann sie auch bis zu jeder Ausdehnung vergrößert werden. In anderen Fällen ruft eine Berührung eine sehr verschiedene Wirkung hervor, so bei *Nitella*, bei welcher man sehen kann, dasz das Protoplasma von den Zellwandungen zurücktritt; bei *Lactuca*, bei welcher eine milchige Flüssigkeit ausschwitzt, und bei Ranken gewisser Vitaceen, Cucurbitaceen und Bignoniaceen, bei denen geringer Druck einen zelligen Auswuchs verursacht.

Endlich ist es unmöglich von der Ähnlichkeit zwischen den vorstehend erwähnten Bewegungen von Pflanzen und vielen unbewusst von den niederen Thieren ausgeführten Handlungen nicht überrascht zu sein⁴. Bei Pflanzen genügt ein erstaunlich geringer Reiz, und selbst bei verwandten Pflanzen kann die eine in hohem Grade für den leichtesten anhaltenden Druck empfindlich sein und eine andere in hohem Grade empfindlich für eine leichte, augenblickliche Berührung. Die Gewohnheit sich zu gewissen Perioden zu bewegen wird sowohl von Pflanzen als von Thieren vererbt, und mehrere andere Ähnlichkeitspunkte sind speciell angeführt worden. Die auffallendste Ähnlichkeit aber ist die Localisation ihrer Empfindlichkeit und die Fortleitung eines Einflusses von dem gereizten Theile auf einen anderen, welcher sich in Folge hiervon bewegt. Doch besitzen natürlich Pflanzen weder Nerven noch ein centrales Nervensystem, und wir können hieraus schlieszen, dasz bei Thieren derartige Bildungen nur zur vollkommeneren Fortleitung der Eindrücke und zur vollständigeren Mittheilung zwischen den verschiedenen Theilen dienen.

Wir glauben, dasz es bei Pflanzen keine wunderbarere Bildung

⁴ Sachs bemerkt beinahe in demselben Sinne: „dasz sich die lebende Pflanzensubstanz derart innerlich differenzirt, dasz einzelne Theile mit specifischer Energie ausgerüstet sind, ähnlich wie die verschiedenen Sinnesorgane der Thiere“ (Arbeit. Botan. Institut Würzburg, 2. Bd. 1879, p. 282).

gibt, soweit die Functionen derselben in Betracht kommen, als die Spitze des Würzelchens. Wenn die Spitze unbedeutend gedrückt, gebogen oder geschnitten wird, so leitet sie einen Einflusz auf den oberen, benachbarten Theil über und verursacht, dasz sich derselbe von der afficirten Seite wegbiegt; und was noch überraschender ist, die Spitze kann zwischen einem unbedeutend härteren und weicheren Gegenstande unterscheiden, von denen sie gleichzeitig auf entgegengesetzten Seiten gedrückt wird. Wenn indessen das Würzelchen von einem ähnlichen Gegenstande ein wenig oberhalb der Spitze gedrückt wird, leitet der gedrückte Theil keinen Einflusz auf entfernt liegendere Theile, sondern biegt sich abrupt nach dem Gegenstande hin. Wenn die Spitze wahrnimmt, dasz die Luft auf der einen Seite feuchter ist als auf der anderen, so leitet sie gleichfalls einen Einflusz auf den oberen benachbarten Theil, welcher sich nun nach der Quelle der Feuchtigkeit hinbiegt. Wenn die Spitze durch Licht gereizt wird (obschon dies in Bezug auf Würzelchen nur in einem einzigen Falle ermittelt wurde), so biegt sich der benachbarte Theil von dem Lichte ab; wird sie aber durch Gravitation gereizt, so biegt sich derselbe Theil nach dem Mittelpunkt der Schwerkraft hin. In beinahe jedem Falle können wir deutlich den Endzweck oder den Vortheil der verschiedenen Bewegungen wahrnehmen. Zwei oder vielleicht mehrere der erregenden Ursachen wirken häufig gleichzeitig auf die Spitze, und eine überwältigt die andere, ohne Zweifel in Übereinstimmung mit ihrer Bedeutung für das Leben der Pflanze. Der von dem Würzelchen beim Durchdringen des Bodens eingeschlagene Weg musz von der Spitze bestimmt werden; sie hat daher derartige verschiedene Arten von Empfindlichkeit erlangt. Es ist kaum eine Übertreibung, wenn man sagt, dasz die in dieser Weise ausgerüstete Spitze des Würzelchens, welche das Vermögen die Bewegungen der benachbarten Theile zu leiten hat, gleich dem Gehirn eines der niederen Thiere wirkt; das Gehirn sitzt innerhalb des vorderen Endes des Kopfes, erhält Eindrücke von den Sinnesorganen und leitet die verschiedenen Bewegungen.

R e g i s t e r.

A.

Abies communis, Wirkung des Tödtens oder Verletzens des leitenden Sprossen, 160.

— *pectinata*, Wirkung des Tödtens oder Verletzens des leitenden Sprossen, 160; von *Aecidium elatinum* afficirt, 161.

Abronia umbellata, ihr einziger entwickelter Cotyledon, 64; rudimentärer Cotyledon, 79; Berstung der Samenhüllen, 88.

Abutilon Darwinii, Schlaf der Blätter und nicht der Cotyledonen, 268; nächtliche Bewegungen der Blätter, 276.

Acacia Farnesiana, Zustand der Pflanze im Wachen und im Schlafen, 325; Aussehen bei Nacht, 336; nyctitropische Bewegungen der Fiedern, 342; die Achsen der Ellipsen, 344.

— *lophantha*, Character des ersten Blattes, 353.

— *retinoides*, Circumnutation des jungen Phylloodium, 199.

Acanthosicyos horrida, nächtliche Bewegung des Cotyledon, 259.

Acanthus candelabrum, Ungleichheit der ersten beiden Blätter, 65; Blattstiele nicht gebogen, 476.

— *latifolius*, Variabilität der ersten Blätter, 65.

— *mollis*, Sämling, Art und Weise die Erde zu durchbrechen, 65, 66; Circumnutation eines jungen Blattes, 211, 227.

— *spinousus*, 65; Bewegung der Blätter, 211.

Adenanthera pavonia, nyctitropische Bewegungen der Blättchen, 318.

Aecidium elatinum, Wirkung auf die Seitenzweige der Silbertanne, 161.

Aesculus hippocastanum, Bewegungen des Würzelchens, 23; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 147—149.

Aetzmittel, s. Cauterisation.

Albizzia lophantha, nyctitropische Bewegungen der Blättchen, 326, der Fiedern, 342.

Allamanda Schottii, Circumnutation der jungen Blätter, 209—210.

Allium cepa, conischer Vorsprung am gebogenen Cotyledon, 48; Circumnutation der basalen Hälfte des gebogenen Cotyledon, 49; Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 72; Geradestreckung, 84.

— *porrum*, Bewegungen der Blütenstengel, 191.

Alopecurus pratensis, Gelenke vom Apogeotropismus afficirt, 431.

Aloysia citriodora, Circumnutation des Stammes, 179.

Amaranthus, Schlaf der Blätter, 330.

— *caudatus*, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 261.

Amorpha fruticosa, Schlaf der Blättchen, 301.

Ampelopsis tricuspidata, hyponastische Bewegung der hakenförmigen Spitzen, 230.

Amphicarpaea monoica, Circumnutation und nyctitropische Bewegungen der Blätter, 311; Wirkung des Sonnenscheins auf die Blätter, 380; geotropische Bewegungen, 445.

Anoda Wrightii, Schlaf der Cotyledonen, 257, 266; der Blätter, 276; Abwärtsbewegung der Cotyledonen, 379.

Apheliotropismus oder negativer Heliotropismus, 4, 357, 368.

Apios tuberosa, senkrecht Sinken der Blättchen bei Nacht, 313.

Apium graveolens, Schlaf der Cotyledonen, 259; heliotropische Bewegungen des Hypocotyls, 360—362.

— *petroselinum*, Schlaf der Cotyledonen, 259.

Apogeotropische Bewegungen durch Gelenke oder Polster bewirkt, 430.
 Apogeotropismus, 4, 423; durch Heliotropismus verlangsamt, 429; Schlussbemerkungen über —, 434.
Arachis hypogaea, Circumnutation des Gynophors, 191; Wirkung der Strahlung auf die Blätter, 245, 252; Schlafbewegung der Blätter, 303; Schnelligkeit der Bewegung, 344; Circumnutation senkrecht herabhängender junger Gynophoren, 444; Abwärtsbewegung derselben, 444.
Asparagus officinalis, Circumnutation der Plumula, 49, 50; Wirkung seitlichen Lichts, 414.
Asplenium trichomanes, Bewegung der fructificirenden Wedel, 217.
Astragalus uliginosus, Bewegung der Blättchen, 302.
Avena sativa, Bewegung der Cotyledonen, 53, 54; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens für feuchte Luft, 157; heliotropische Bewegung und Circumnutation des Cotyledon, 359, 360; Empfindlichkeit des Cotyledon für seitliches Licht, 408; die jungen scheidenartigen Cotyledonen stark apogeotropisch, 428; Bewegung älterer Cotyledonen, 428, 429.
Averrhoa bilimbi, schlafendes Blatt, 281; Winkelbewegung beim Einschlafen der Blätter, 281—284; Blättchen hellerem Sonnenschein ausgesetzt, 381.
Azalea indica, Circumnutation des Stammes, 178.

B.

De Bary, über die Wirkung des Aecidium auf die Silbertanne, 161.
 Batalin, Prof., Circumnutation beim Kohl, 195; Bewegungen der Blätter, 240; Schlaf der Blätter bei *Sida napaea*, 272; über *Polygonum aviculare*, 330; über die Wirkung des Sonnenscheins auf die Blättchen von *Oxalis acetosella*, 381.
Bauhinia, Schlaf der Cotyledonen, 262; nyctitropische Bewegungen, 341; Aussehen junger Blätter des Nachts, 342.
 Begieszen, Wirkung desselben auf *Porlieria hygrometrica*, 286, 287.
 Beleuchtung, Wirkung der, auf Blätter, 339.
 Beobachtungsmethoden, 5.
Beta vulgaris, Circumnutation des Hypocotyls von Sämlingen, 42; Bewegungen der Cotyledonen, 42, 43; Wirkung des Lichts, 104; nächtliche Bewegung der

Cotyledonen, 261; heliotropische Bewegungen derselben, 358; fortgeleitete Wirkung des Lichts auf den Hypocotyl, 412; apogeotropische Bewegung des Hypocotyls, 424.

Bewegungen, periodische, der Cotyledonen, durch das Licht gestört, 103; durch das Licht angeregte —, 356.
 Beziehungen zwischen Circumnutation und Heliotropismus, 371.
Bignonia capreolata, apheliotropische Bewegung der Ranken, 368, 384.
 Blätter, Circumnutation, 192—221; bei Dicotyledonen, 192—213; bei Monocotyledonen, 213—217; Nyctitropismus, 237; ihre Temperatur durch ihre Stellung des Nachts afficirt, 250; nyctitropische oder Schlafbewegungen, 270, 334; Periodicität ihrer Bewegungen vererbt, 346; Embryologie, 354; sogenannter Tagesschlaf, 379.
 Blattstiele, ihre Erhebung des Nachts für die Pflanzen wohlthätig, 342.
 Blüten, ihr Schlieszen durch Temperatur bestimmt, 237.
 Blütenstengel, Circumnutation, 189—192.
 Bogenförmige Krümmung verschiedener Organe, ihre Bedeutung für Pflanzensämlinge, 72; Hervorbrechen der Hypocotyle und Epicotyle in einer —, 74, 475.
 Bouché, über *Melaleuca ericaefolia*, 326.
Brassica napus, Circumnutation der Blütenstengel, 191.
 — *oleracea*, Circumnutation des Sämlings, 8; des Würzelchens, 8; geotropische Bewegung des Würzelchens, 9; Bewegung des vergrabenen und gekrümmten Hypocotyls, 10, 11, 12; vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen, 13, 14, 15; des Hypocotyls im Dunkeln, 14; eines Cotyledonen bei fest gemachtem Hypocotyl, 15; Schnelligkeit der Bewegung, 15; von den Hypocotylen, wenn sie aufrecht stehen, beschriebene Ellipsen, 89; Bewegungen der Cotyledonen, 96, des Stammes, 173, der Blätter des Nachts, 195, 196; Schlaf der Cotyledonen, 256; Circumnutation des Hypocotyls eines Sämlings, 362; heliotropische Bewegung und Circumnutation der Hypocotyle, 363; Wirkung eines seitlichen Lichts auf die Hypocotyle, 409—412; apogeotropische Bewegung der Hypocotyle, 429.
 — *oleracea-rapa* (schwedische Rübe), Bewegungen der Blätter, 195.

- Brongniart, A., über den Schlaf von *Strephium floribundum*, 333.
- Bruce, Dr., über den Schlaf der Blätter bei *Averrhoa*, 280.
- Bryophyllum* (vel *Calanchoe*) *calycinum*, Bewegung der Blätter, 201.
- C.
- Caesalpinia*, Schlafbewegung der Blätter, 314.
- Camellia japonica*, Circumnutation eines Blattes, 196, 197.
- Candolle, A. de, über *Trapa natans*, 79, Anm.; über die Empfindlichkeit der Cotyledonen, 107.
- Canna Warscewiczii*, Circumnutation der Plumula, 47, 48; eines Blattes, 213, 214.
- Cannabis sativa*, Bewegungen der Blätter, 211; nächtliche Bewegungen der Cotyledonen, 261; Herabsinken der jungen Blätter des Nachts, 379.
- Cassia*, nyctitropische Bewegung der Blätter, 314.
- *Barclayana*, nächtliche Bewegung der Blätter, 317; unbedeutende Bewegung der Blättchen, 342.
- *calliantha*, nicht beschädigt durch Exponirtsein des Nachts, 245, Anm.; nyctitropische Bewegung der Blätter, 316; Circumnutation der Blätter, 317.
- *corymbosa*, Cotyledonen für Berührung empfindlich, 106; nyctitropische Bewegung der Blätter, 315.
- *floribunda*, Nutzen der Schlafbewegungen, 245; Wirkung der Strahlung auf die Blätter des Nachts, 250; Circumnutation und nyctitropische Bewegung eines terminalen Blättchens, 317; Bewegungen junger und älterer Blätter, 341.
- *florida*, Cotyledonen für Berührung empfindlich, 106; Schlaf der Cotyledonen, 262.
- *glauca*, Cotyledonen für Berührung empfindlich, 106; Schlaf der Cotyledonen, 262.
- *laevigata*, Wirkung der Strahlung auf Blätter, 245, Anm.
- *mimosoides*, Bewegung der Cotyledonen, 97; Empfindlichkeit derselben, 106; ihr Schlaf, 262; nyctitropische Bewegung der Blätter, 316; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die Cotyledonen, 380.
- *neglecta*, Bewegungen, 98; Wirkung des Lichts, 104; Empfindlichkeit der Cotyledonen, 106.
- Cassia nodosa*, Nichtempfindlichkeit der Cotyledonen, 106; sie erheben sich des Nachts nicht, 262.
- *pubescens*, Cotyledonen nicht empfindlich, 106; nicht beschädigt durch Exponirtsein des Nachts, 249; Schlaf der Cotyledonen, 262; nyctitropische Bewegung der Blätter, 316; circumnutrende Bewegung der Blätter, 317; nyctitropische Bewegung der Blattstiele, 341; Durchmesser der Pflanze des Nachts, 342.
- sp. (?), Bewegung der Cotyledonen, 97.
- *tora*, Circumnutation der Cotyledonen und Hypocotyle, 27, 28, 91, 262; Wirkung des Lichts, 104, 105; Empfindlichkeit gegen Berührung, 105; heliotropische Bewegung und Circumnutation des Hypocotyls, 367; Hypocotyl des Sämlings unbedeutend heliotropisch, 388; apogeotropische Bewegung eines alten Hypocotyls, 425; Bewegung des Hypocotyls eines jungen Sämlings, 437.
- Cauterisation (mit Höllenstein), Wirkung der — auf das Würzelchen der Bohne, 128, 133, 454, auf das der gemeinen Erbse, 139, 459.
- Centrosema*, 311.
- Ceratophyllum demersum*, Bewegungen des Stammes, 180.
- Cercus Landbeckii*, seine rudimentären Cotyledonen, 80.
- *speciosissimus*, Circumnutation des Stammes, 176, 177.
- Cerinthe major*, Circumnutation des Hypocotyls, 39, der Cotyledonen, 40; von den Hypocotylen, wenn sie aufrecht stehen, beschriebene Ellipsen, 89; Wirkung der Dunkelheit, 104.
- Chatin, Mr., über *Pinus Nordmanni*, 331.
- Chenopodium album*, Blätter schlafen, nicht die Cotyledonen, 268, 272.
- Chlorophyll durch helles Licht verletzt, 381.
- Ciesielski, über die Empfindlichkeit der Spitze der Würzelchen, 4, 128, 448.
- Circumnutation, Bedeutung erklärt, 1; modificirte —, 222—236; Beziehung zwischen — und Heliotropismus, 371; von höchster Bedeutung für alle Pflanzen, 470.
- Cissus discolor*, Circumnutation eines Blattes, 198.
- Citrus aurantium*, Circumnutation des Epicotyls, 22; ungleiche Cotyledonen, 78.

Clianthus Dampieri, nächtliche Bewegung der Blätter, 253.

Clivia, 215.

Cobaea scandens, Circumnutation, 228.

Cohn, über das von *Lathraea squamaria* abgesonderte Wasser, 71, Anm.; über die Bewegung der Blättchen von *Oxalis*, 381.

Colocasia antiquorum, Schlaf der Blätter, 332.

Colutea arborea, nächtliche Bewegung der Blättchen, 302.

Coniferae, Circumnutation, 181.

Coronilla rosea, schlafende Blättchen, 302.

Corylus avellana, Circumnutation eines jungen, vom Epicotyl aufsteigenden Sprossen, 45, 46; bogenförmiger Epicotyl, 64.

Cotyledon umbilicus, Circumnutation der Stolonen, 187, 188.

Cotyledonen, rudimentär, 78—81; Circumnutation, 91—94; nächtliche Bewegungen, 92—94; Polster oder Gelenke, 94—103; durch das Licht gestörte periodische Bewegungen, 103; Empfindlichkeit gegen Berührung, 105; nyctitropische Bewegungen, 239, 253; Liste der Cotyledonen, welche sich des Nachts erheben oder senken, 255; Schlussbemerkungen über ihre Schlafbewegungen, 265.

Crambe maritima, Circumnutation der Blätter, 193, 194.

Crinum capense, Gestalt der Blätter, 214; Circumnutation, 214, 215.

Crotolaria (sp. ?), Schlaf der Blätter, 289.

Cryptogamen, Circumnutation bei, 217—219.

Cucumis dudaim, Bewegung der Cotyledonen, 35; Schlaf derselben, 258.

Cucurbita aurantia, Bewegung des Hypocotyls, 33; Cotyledonen des Nachts senkrecht, 258.

— *ovifera*, geotropische Bewegung des Würzelchens, 30, 31; Circumnutation des bogenförmigen Hypocotyls, 32, des geraden und senkrechten Hypocotyls, 32; Bewegungen der Cotyledonen, 33, 96, 104; Stellung des Würzelchens, 74; Durchbrechen der Samenhüllen, 85; Circumnutation des Hypocotyls, wenn er aufrecht steht, 89, 90; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 145, 146; Cotyledonen des Nachts senkrecht, 258; von Apogeotropismus nicht afficirt, 436; Spitzen der Würzelchen quer cauterisirt, 461.

Cycas pectinata, Circumnutation eines jungen Blattes, während es aus dem

Boden hervortritt, 47; erstes Blatt bogig gekrümmt, 64, 65; Circumnutation der terminalen Blättchen, 213.

Cyclamen persicum, Bewegung der Cotyledonen, 37; unentwickelte Cotyledonen, 64, 79; Circumnutation des Blütenstiels, 191, der Blätter, 208, 209; apheliotropische Abwärtsbewegung eines Blütenstiels, 369—371; Eingraben der Samenkapseln, 369.

Cyperus alternifolius, Circumnutation des Stammes, 187; Bewegung des Stammes, 436.

Cytisus fragrans, Circumnutation des Hypocotyls, 30; Schlaf der Blätter, 293, 338; apogeotropische Bewegung des Stammes, 423—424.

D.

Dahlia, Circumnutation junger Blätter, 207—208.

Dalea alopecuroides, Blättchen des Nachts niedergedrückt, 302.

Darlingtonia californica, ihre Blätter oder Eimer apheliotropisch, 384, Anm.

Darwin, Charles, über *Maurandia semperflorens*, 191, über die schwedische Rübe, 195, Anm.; Bewegungen der Kletterpflanzen, 225, 229; die heliotropische Bewegung der Ranken von *Bignonia capreolata*, 368; revolutionäre Bewegung der Kletterpflanzen, 385; über das Aufrollen einer Ranke, 490.

—, Erasmus, über die Blütenstiele der Cyclamens, 369.

—, Francis, über das Würzelchen von *Sinapis alba*, 416; über hygroscopische Samen, 419, Anm.

Datura stramonium, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 254.

Delphinium nudicaule, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 66; zusammenfließende Stiele der beiden Cotyledonen, 476.

Delpino, über die Cotyledonen von *Chaerophyllum* und *Corydalis*, 80, Anm.

Desmodium gyrans, Bewegung der Blättchen, 217, Anm.; Stellung der Blätter des Nachts, 241; Blätter schlafen, nicht die Cotyledonen, 268; Circumnutation und nyctitropische Bewegung der Blätter, 304—307; Bewegung der seitlichen Blättchen, 307; Schnellen der Blättchen, 308; nyctitropische Bewegung der Blattstiele, 341; Durchmesser einer Pflanze des Nachts, 342; seitliche Bewegung der Blätter, 344; Zickzackbewegung der Spitze eines

- Blattes, 345; Gestalt der seitlichen Blättchen, 359.
- Desmodium vespertilionis*, 310, Anm.
- Deutzia gracilis*, Circumnutation des Stammes, 175.
- Diageotropismus, 4, oder Transversal-Geotropismus, 446.
- Diaheliotropismus, 4, oder Transversalheliotropismus, von Frank, 357, 374; von Epinastie beeinflusst, 374, von Gewicht und Apogeotropismus, 375.
- Dianthus caryophyllus*, 196; Circumnutation eines jungen Blattes, 196, 227.
- Dicotyledonen, Circumnutation weit verbreitet bei, 56.
- Dionaea*, oscillirende Bewegungen der Blätter, 220, 229.
- *muscipula*, Circumnutation eines jungen sich ausbreitenden Blattes, 203, 204; Schlieszen der Lappen und Circumnutation eines völlig erwachsenen Blattes, 204; Oscillationen, 205—207.
- Drosera capensis*, Gestalt der erst gebildeten Blätter, 353.
- *rotundifolia*, Bewegung eines jungen Blattes, 201, 202, der Tentakeln, 202; Empfindlichkeit der Tentakeln, 220; Gestalt der Blätter, 353; Blätter nicht heliotropisch, 384; Blätter circumnutiren bedeutend, 387; Empfindlichkeit der Tentakeln, 490.
- Duchartre, über *Tephrosia caribaea*, 302; über die nyctitropische Bewegung von *Cassia*, 314.
- Dunkelheit, Wirkung auf die Bewegung der Blätter, 346.
- Duval-Jouve, über die Bewegung von *Bryophyllum calycinum*, 201, der schmalen Blätter der Gramineen, 352.
- Dyer, Mr. Thiselton, über die Blätter von *Crotolaria*, 289; über *Cassia floribunda*, 314, Anm.; über die absorbirenden Haare an den vergrabenen Blütenköpfen von *Trifolium subterraneum*, 443.

E.

- Echeveria stolomifera*, Circumnutation eines Blattes, 200.
- Echinocactus viridescens*, seine rudimentären Cotyledonen, 80.
- Echinocystis lobata*, Bewegungen der Ranken, 225; Apogeotropismus derselben, 437.
- Eiche, americanische, Circumnutation des jungen Stammes, 43, 44, s. auch *Quercus*.
- Elfvig, F., über die Rhizome von *Sparganium ramosum*, 162; über die

- diageotropische Bewegung der Rhizome mancher Pflanzen, 446.
- Elymus arenarius*, Blätter während des Tages geschlossen, 352.
- Embryologie der Blätter, 352.
- Engelmann, Dr., über *Quercus virens*, 70.
- Epheu, seine Stämme apheliotropisch, 384, s. auch *Hedera*.
- Epicotyl oder Plumula, 4; Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 63; Circumnutation im gekrümmten Zustand, 81; tritt in der Form eines Bogens aus der Erde, 475.
- Epinastie, 5, 226.
- Erdbeere, s. *Fragaria*.
- Erythrina caffra*, Schlaf der Blätter, 312.
- *coraliodendron*, Bewegung des terminalen Blättchens, 313.
- *crista-galli*, Wirkung der Temperatur auf den Schlaf der Blätter, 271; Circumnutation und nyctitropische Bewegung der terminalen Blättchen, 312.
- Eucalyptus resinifera*, Circumnutation der Blätter, 207.
- Euphorbia jacquineaeflora*, nyctitropische Bewegung der Blätter, 330.

F.

- Fettüberzug, Wirkung auf Würzelchen und ihre Spitzen, 155, 158, 458.
- Flahault, W., über das Bersten der Samenhüllen, 85—87, 88.
- Fragaria vesca*, Circumnutation der Stolonen, 182—186, durch mäßiges Licht nicht afficirt, 387—388.
- Frank, D. A. B., die Ausdrücke Heliotropismus und Geotropismus, 4, Anm.; Würzelchen von Geotropismus beeinflusst, 57, Anm.; über die Stolonen von *Fragaria*, 183; periodische und nyctitropische Bewegungen der Blätter, 240; über die Wurzelblätter im Dunkeln gehaltener Pflanzen, 377; über Polster, 415; über natürliche Auswahl in Zusammenhang mit Geotropismus, Heliotropismus etc., 489; über Transversalheliotropismus, 374.
- Fuchsia*, Circumnutation des Stammes, 175.

G.

- Gattungen, welche schlafende Pflanzen enthalten, 273.
- Gazania ringens*, Circumnutation des Stammes, 177.
- Geotropismus, 4; Wirkung auf das primäre Würzelchen, 168; das Um-

- gekehrte von Apogeotropismus, 438; Wirkung auf die Spitze der Würzelchen, 464, 466.
- Geranium cinereum*, 259.
- *Endressii*, 259.
- *ibericum*, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 254.
- *Richardsonii*, 259.
- *rotundifolium*, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 259, 265, 266.
- *subcaulescens*, 259.
- Geschichte eines keimenden Samens, 471.
- Githago segetum*, Circumnutation des Hypocotyls, 16, 90; Eingraben des Hypocotyls, 91; Sämlinge schwach beleuchtet, 104, 108; Schlaf der Cotyledonen, 257, der Blätter, 274.
- Glaucium luteum*, Circumnutation junger Blätter, 193.
- Gleditschia*, Schlaf der Blätter, 314.
- Glycine hispida*, senkrecht Sinken der Blättchen, 312.
- Glycyrrhiza*, Blättchen des Nachts niedergedrückt, 302.
- Godlewski, Emil, über die Turgescenz der Zellen, 415.
- Gossypium* (var. Nanking-Baumwolle), Circumnutation des Hypocotyls, 17; Bewegung der Cotyledonen, 18; Schlaf der Blätter, 276.
- *arborescens* (?), Schlaf der Cotyledonen, 258.
- *brasiliense*, nächtliche Bewegung der Blätter, 276; Schlaf der Cotyledonen, 258.
- *herbaceum*, Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 143; Schlaf der Cotyledonen, 258; Würzelchen quer cauterisirt, 461.
- *maritimum*, nächtliche Bewegung der Blätter, 276.
- Gravitation, durch — erregte Bewegungen, 487.
- Gray, Asa, über *Delphinium nudicaule*, 66; über *Megarrhiza californica*, 67; über die Bewegungen an fructificirenden Wedeln von *Asplenium trichomanes*, 217; über die *Amphicarpaea monoica*, 446; über *Ipomoea jalappa*, 478.
- Gressner, Dr. H., über die Cotyledonen von *Cyclamen persicum*, 37, 64; über den Hypocotyl desselben, 79.
- Gymnospermen, Schlaf, 331.
- H.
- Haberlandt, Dr., über die Protuberanz am Hypocotyl von *Allium*, 48; die Bedeutung des Bogens für keimende Pflanzen, 72; in der Luft und unter der Erde wachsende Cotyledonen, 92, Anm.; der bogenförmige Hypocotyl, 476.
- Haematoxylon campechianum*, nächtliche Bewegung der Blätter, 314.
- Hedera helix*, Circumnutation des Stammes, 177, s. auch Epheu.
- Hedysarum coronarium*, nächtliche Bewegung der Blätter, 303.
- Helianthemum prostratum*, geotropische Bewegung der Blütenköpfe, 443.
- Helianthus annuus*, Circumnutation des Hypocotyls, 36; Bogenkrümmung desselben, 75; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 259.
- Heliotropismus, 4, 358; Nutzen, 383; eine modificirte Form der Circumnutation, 420; Beziehungen zwischen ihm und Circumnutation, 371.
- Helleborus niger*, Art und Weise durch den Boden zu brechen, 71.
- Hensen, Prof., über Wurzeln in Wurmböhlen, 64.
- Henslow, G., über die Cotyledonen von *Phalaris canariensis*, 51.
- Hofmeister, W., über die merkwürdigen Bewegungen der *Spirogyra*, 2, 219; Circumnutation beim Kohl, 216; Bewegungen der Blätter von *Pistia stratiotes*, 216, der Cotyledonen des Nachts, 253, der Blumenkronenblätter, 352.
- Hooker, Sir J., über die Wirkung des Lichts auf die Eimer von *Sarracenia*, 384.
- Hypocotyl, 4; Art und Weise, den Boden zu durchbrechen, 63; tritt in der Form eines Bogens vor, 475.
- Hypocotyle und Epicotyle, Circumnutation und andere Bewegungen, wenn sie bogenförmig gekrümmt sind, 81; Kraft sich gerade zu strecken, 84; Bersten der Samenhüllen, 85—88; Illustration, 88; Circumnutation, wenn sie aufrecht sind, 89, im Dunkeln, 90.
- Hyponastie, 5, 226.
- I.
- Iberis umbellata*, Bewegung des Stammes, 173.
- Imatophyllum*, vel *Clivia* (sp.?), Bewegung der Blätter, 215.
- Indigoferatinctoria*, Blättchen des Nachts niedergedrückt, 302.
- Insectenfressende und Kletterpflanzen nicht heliotropisch, 384; Einfluss des Lichts auf sie, 418.

Ipomoea bona nox, Bogenkrümmung des Hypocotyls, 75; Nachtstellung der Cotyledonen, 260, 266.

— *coccinea*, Stellung der Cotyledonen des Nachts, 261, 266.

— *coerulea* vel *Pharbitis nil*, Circumnutation der Sämlinge, 38; Bewegung der Cotyledonen, 38—39, 91; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 260; Schlaf der Blätter, 328; Empfindlichkeit für Licht, 385; die hypocotyledonen Stämme heliotropisch, 387.

— *leptophylla*, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 69, 70; bogenförmige Krümmung der Stiele der Cotyledonen, 75; Verschiedenheit der Empfindlichkeit für Gravitation in verschiedenen Theilen, 436; ausserordentliche Keimungsweise, 478.

— *pandurata*, Art und Weise zu keimen, 70, 478.

— *purpurea* (vel *Pharbitis hispida*), nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 260, 266; Schlaf der Blätter, 328; Empfindlichkeit für Licht, 385; die hypocotyledonen Stämme heliotropisch, 387.

Iris pseudo-acorus, Circumnutation der Blätter, 214.

Irmisch, über die Cotyledonen von *Ranunculus ficaria*, 80.

K.

Keimender Samen, Geschichte eines solchen, 471.

Kerner, über das Niederbiegen der Blütenstiele, 352.

Kissen, s. Polster.

Klammern, hölzerne, durch welche das Würzelchen einer Bohne wachsen gelassen wurde, 62.

Kletterpflanzen, Circumnutation, 223; Bewegungen, 480, nicht heliotropisch, 384; Einfluss des Lichts auf, 418.

Klinostat, ein von Sachs erfundenes Instrument, um Geotropismus zu eliminieren, 76.

Kraus, Carl, über die unterirdischen Sprossen von *Triticum repens*, 162; über *Cannabis sativa*, 211, 261, 265; über die Bewegungen der Blätter, 271.

Krümmung des Würzelchens, 165; bogenförmige — s. Bogenförmig.

L.

Lactuca scariola, Schlaf der Cotyledonen, 259.

Lagenaria vulgaris, Circumnutation der Sämlinge, 34; der Cotyledonen, 34; Cotyledonen des Nachts senkrecht, 258.

Lathraea squamaria, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 71; Menge des abgesonderten Wassers, 71, Anm.; Ellipsen beschrieben, 90.

Leguminosae, Schlaf der Cotyledonen, 262; Species, welche schlafen, 289.

Le Maout und Decaisne, 55.

Lepidium sativum, Schlaf der Cotyledonen, 257.

Licht, durch dasselbe angeregte Bewegungen, 356, 484; Einfluss auf die meisten Pflanzengewebe, 416; wirkt auf Pflanzen wie auf das Nervensystem von Thieren, 416.

Lilium auratum, Circumnutation des Stammes, 181; apogeotropische Bewegung des Stammes, 427.

Liné, „Somnus Plantarum“, 237; über schlafende Pflanzen, 273; über die Blätter von *Sida abutilon*, 276; über *Oenothera mollissima*, 326.

Linum Berendieri, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 254.

— *usitatissimum*, Circumnutation des Stammes, 173.

Lolium perenne, Gelenke von Apogeotropismus afficirt, 430.

Lonicera brachypoda, Hakenbildung der Spitze, 229, 230; Empfindlichkeit für das Licht, 386.

Loomis, Mr., über die Bewegungen an den fructificirenden Wedeln von *Asplenium trichomanes*, 217.

Lotus aristata, Wirkung der Strahlung auf die Blätter, 248.

— *creticus*, Blätter im wachen und schlafenden Zustande, 301; Blättchen mit Polstern versehen, 301.

— *Gebelii*, nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 263.

— *jacobaeus*, Bewegungen der Cotyledonen, 28, 91; Polster, 96; Bewegungen des Nachts, 97, 102, 104; Entwicklung der Polster, 103; Schlaf der Cotyledonen, 262, 266; nyctitropische Bewegung der Blätter, 300.

— *major*, Schlaf der Blätter, 300.

— *peregrinus*, Bewegung der Blättchen, 301.

Lunularia vulgaris, Circumnutation der Laubtheile, 218.

Lupinus, Schlaf, 289; Stellung der Blätter beim Schlaf, 289, 290, 291; verschiedenartige Bewegung der Blätter und Blättchen, 336.

— *albifrons*, Schlaf der Blätter, 290, 292; Circumnutation der Blätter, 293.

- Lupinus Hartwegii*, Schlaf der Blätter, 290.
- *luteus*, Circumnutation der Cotyledonen, 30, 92, 104; Wirkung der Dunkelheit, 104; Schlaf der Blätter, 290.
 - *Menziesii*, Schlaf der Blätter, 292.
 - *mutabilis*, Schlaf der Blätter, 292.
 - *nanus*, Schlaf der Blätter, 292.
 - *pilosus*, Schlaf der Blätter, 290.
 - *polyphyllus*, Schlaf der Blätter, 292.
 - *pubescens*, Schlaf der Blätter am Tage und in der Nacht, 291; Stellung der Blattstiele des Nachts, 291, ihre Bewegungen, 342.
 - *speciosus*, Circumnutation der Blätter, 200, Schlaf derselben, 292.
- Lynch, Mr. R., über *Pachira aquatica*, 79, Anm.; Schlafbewegungen von *Averrhoa*, 280.
- M.
- Mahonia*, Empfindlichkeit der Staubfäden, 490.
- Maranta arundinacea*, nyctitropische Bewegung der Blätter, 331, 332; schlafen nach starker Erschütterung nicht, 272.
- Marsilea quadrifoliata*, Wirkung der Strahlung des Nachts, 248; Circumnutation und nyctitropische Bewegung der Blättchen, 334, 335; Schnelligkeit der Bewegung, 344.
- Martins, über Strahlung des Nachts, 241, Anm.
- Masters, Dr. Maxwell, über die leitenden Sprossen der Coniferen, 181.
- Maurandia semperflorens*, Circumnutation des Blütenstiels, 191.
- Medicago maculata*, nächtliche Stellung der Blätter, 293.
- *marina*, Blätter im wachen und schlafenden Zustande, 293, 294.
- Meehan, Mr., über die Wirkung eines *Aecidium* auf *Portulaca oleracea*, 162.
- Megarrhiza californica*, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 67; Keimung von Asa Gray beschrieben, 68; eigenthümliche Art der Keimung, 68, 476, 478.
- Melaleuca ericaefolia*, Schlaf der Blätter, 326.
- Melilotus*, Schlaf der Blätter, 294.
- *alba*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *coerulea*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *dentata*, Wirkung der Strahlung des Nachts, 251.
 - *elegans*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *gracilis*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *infesta*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *italica*, Blätter des Nachts exponirt, 247; Schlaf der Blätter, 295.
- Melilotus macrorrhiza*, Blätter des Nachts exponirt, 248; Schlaf der Blätter, 295.
- *messianensis*, Schlaf der Blätter an jungen und erwachsenen Pflanzen, 296, 354.
 - *officinalis*, Wirkung des Exponirtseins des Nachts auf die Blätter, 246, 251; nächtliche Bewegung der Blätter, 294, 295; Circumnutation der Blätter, 296; Bewegung der Blattstiele, 341.
 - *parviflora*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *petitpierreana*, Blätter des Nachts exponirt, 247, 252; Schlaf der Blätter, 295.
 - *secundiflora*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *suaveolens*, Blätter des Nachts exponirt, 247; Schlaf der Blätter, 295.
 - *sulcata*, Schlaf der Blätter, 295.
 - *taurica*, Blätter des Nachts exponirt, 247; Schlaf der Blätter, 295, 353.
- Methoden der Beobachtung, 5.
- Mimosa albidia*, Cotyledonen des Nachts senkrecht, 97; gegen Berührung nicht empfindlich, 107; Schlaf der Cotyledonen, 262; rudimentäre Blättchen, 310; nyctitropische Bewegungen der Blätter, 323; Circumnutation des Hauptstiels eines jungen Blattes, 324; Torsion oder Rotation der Blätter und Blättchen, 340; erstes echtes Blatt, 354; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die basalen Blättchen, 380.
- *marginata*, nyctitropische Bewegungen der Blättchen, 324.
 - *pubica*, Bewegung der Cotyledonen, 29; Bersten der Samenhüllen, 87, 88; Circumnutation der Cotyledonen, 91; Polster derselben, 94, 96; Cotyledonen des Nachts senkrecht, 97, kaum gegen Berührung empfindlich, 107; Wirkung des Exponirtseins des Nachts, 249; nächtliche Bewegung der Blätter, 253; Schlaf der Cotyledonen, 262; Circumnutation und nyctitropische Bewegung des Hauptblattstiels, 318 - 323, — der Blättchen, 321; Circumnutation und nyctitropische Bewegung der Fiedern, 342; Zahl der in einer gegebenen Zeit beschriebenen Ellipsen, 345; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die Blättchen, 380.
 - „*sensitiva*“, 323, Anm.
- Mirabilis jalappa* und *longiflora*, nächtliche Bewegungen der Cotyledonen, 261; nyctitropische Bewegung der Blätter, 384.
- Mohl, H. von, Heliotropismus bei Ranken, Stämmen und windenden Pflanzen, 384.
- Monocotyledonen, Circumnutation der Blätter, 213; Schlaf der Blätter, 331.

- Monotropa hypopitys*, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 71.
 Morren, über die Bewegungen der Staubfäden von *Sparmannia* und *Cereus*, 192.
 Müller, Fritz, über *Cassia tora*, 27; über die Circumnutation von *Linum usitatissimum*, 173; Bewegungen der Blütenstengel von *Alisma*, 191.
Mutisia clematis, Bewegung der Blätter, 208; Blätter nicht heliotropisch, 385.

N.

- Natürliche Zuchtwahl im Zusammenhang mit Geotropismus, Heliotropismus u. s. w. 489.
Nephrodium molle, Circumnutation eines sehr jungen Wedels, 54; eines älteren Wedels, 217; unbedeutende Bewegung der Wedel, 436.
Neptunia oleracea, Empfindlichkeit für Berührung, 108; nyctitropische Bewegung der Blättchen, 318, der Fiedern, 343.
Nicotiana glauca und *tabacum*, Schlaf der Blätter, 328; Circumnutation der Blätter, 328.
 Nobbe, über das Bersten der Samenhüllen bei einem Sämling von *Martynia*, 87.
Nolana prostrata, Bewegung der Sämlinge im Dunkeln, 40; Circumnutation des Sämlings, 90.
 Nyctitropische Bewegung der Blätter, 481.
 Nyctitropismus oder Schlaf der Blätter, 237, 238; im Zusammenhang mit der Strahlung, 240, 242; durch ihn erreichter Zweck, 351, 482.

O.

- Oenothera mollissima*, Schlaf der Blätter, 326.
Opuntia basilaris, vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen, 35; Verdickung des Hypocotyls, 80; Circumnutation des Hypocotyls, wenn er aufrecht ist, 90; Eingraben desselben, 91.
 Orange, Sämlings-, Circumnutation, 437.
Orchis pyramidalis, complicirte Bewegung der Pollinien, 418.
Oxalis acetosella, Circumnutation des Blütenstengels, 190; Wirkung des der Strahlung Ausgesetztseins des Nachts, 243, 244, 251; Circumnutation und nyctitropische Bewegung in erwachsenen Blättern, 277; Blättchen

beim Schlaf gefaltet, 276; Circumnutation eines schlafenden Blättchens, 277; Schnelligkeit der Circumnutation der Blättchen, 344; Wirkung des Sonnenscheins auf die Blättchen, 381; Circumnutation des Blütenstengels, 433; Samenkapseln nur gelegentlich eingegraben, 444.

Oxalis articulata, nächtliche Bewegungen der Cotyledonen, 99, 262.

— *bupleurifolia*, Circumnutation des blattartigen Blattstiels, 279; nyctitropische Bewegung des terminalen Blättchens, 280.

— *carnosa*, Circumnutation des Blütenstengels, 189; Wirkung des Exponirtseins des Nachts, 244, 252; epinastische Bewegungen des Blütenstengels, 431; Bewegungen des Blütenstengels Folge von Apogeotropismus und anderen Kräften, 431—433.

— *corniculata* (var. *cuprea*), Bewegungen der Cotyledonen, 21; Erheben der Cotyledonen, 97; rudimentäre Polster der Cotyledonen, 99, Zellen dieser Polster, 100; Entwicklung des Polsters, 103; Wirkung schwachen Lichts, 104; Versuche an Blättern des Nachts, 245; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 266.

— *floribunda*, Polster der Cotyledonen, 95; nächtliche Bewegung, 99, 262.

— *fragrans*, Schlaf der Blätter, 277.

— *Ortegesi*, Circumnutation der Blütenstengel, 190; Schlaf der groszen Blätter, 278; Durchmesser der Pflanze des Nachts, 342; grosze Blättchen von hellem Sonnenschein afficirt, 381.

— *Plumierii*, Schlaf der Blätter, 279.

— *purpurea*, nächtliches Exponirtsein der Blättchen, 249.

— *rosea*, Circumnutation der Cotyledonen, 18—20, 91; Polster, 95; Bewegung der Cotyledonen des Nachts, 98, 99, 262; Wirkung schwachen Lichts, 104; nicht empfindliche Cotyledonen, 107.

— *sensitiva* (*Biophytum*), Schnelligkeit der Bewegung der Cotyledonen während des Tages, 21; Polster, 94; Bewegung der Cotyledonen, 91, 107, 108; Cotyledonen des Nachts senkrecht, 97, 99; Circumnutation des Blütenstengels, 190; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 262, 265; Schlaf der Blätter, 279.

— *tropaeoloides*, Bewegung der Cotyledonen des Nachts, 99, 100.

— *Valdiviana*, vereinigte Circumnutation der Cotyledonen und des Hypocotyls, 20; Cotyledonen erheben sich des

Nachts senkrecht, 95, 96, 98, 99; nicht empfindliche Cotyledonen, 107; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 262, 265, 268; Schlaf der Blätter und Cotyledonen verschieden, 268; Bewegungen der Blätter, 278.

P.

Pachira aquatica, ungleiche Cotyledonen, 79, Anm.

Pancratium littorale, Bewegung der Blätter, 215.

Paraheliotropismus oder Tages-schlaf der Blätter, 357.

Passiflora gracilis, Circumnutation und nyctitropische Bewegung der Blätter, 326, 327; apogeotropische Bewegung der Ranken, 437; Empfindlichkeit der Ranken, 473.

Pelargonium zonale, Circumnutation des Stammes, 173; — und Abwärtsbewegung eines jungen Blattes, 197, 227.

Petunia violacea, Abwärtsbewegung und Circumnutation sehr junger Blätter, 110, 111, 227.

Pfeffer, Prof., über die Turgescenz der Zellen, 2; über Polster an Blättern, 94, 98; Schlafbewegungen der Blätter, 237, 239, 240; nächtliche Hebungsbewegung der Blätter von *Malva*, 276; Bewegungen der Blättchen von *Desmodium gyrans*, 307; über *Phyllanthus Niruri*, 331; Einfluss eines Polsters auf Blätter, 338; periodische Bewegungen schlafender Blätter, 346, 347; Bewegungen der Kronenblätter, 352; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die Blättchen von *Robinia*, 380; Wirkung des Lichts auf mit Polstern versehene Theile, 415.

Pflanzen, Circumnutation erwachsener —, 172—184; Empfindlichkeit gegen Licht, 383; hygroskopische Bewegungen, 418.

Phalaris canariensis, Bewegungen alter Sämlinge, 51; Circumnutation der Cotyledonen, 51, 52, 90; heliotropische Bewegung und Circumnutation des Cotyledon nach einem schwachen seitlichen Lichte, 365; Empfindlichkeit des Cotyledon für Licht, 388; Wirkung des Abschlusses des Lichts von den Spitzen der Cotyledonen, 389; Art und Weise, sich nach dem Lichte zu biegen, 390; Wirkungen des Bemalens mit Tusche, 398; fortgeleitete Wirkungen des Lichts, 400; seitliche Beleuchtung der Spitze, 401; apogeotropische Bewegung der scheidenartigen Cotyledonen, 425; Aenderung der Bewegung

aus einer gerade aufwärts gerichteten apogeotropischen Bewegung in Circumnutation, 427; apogeotropische Bewegung der Cotyledonen, 428, Fig.

Pharbitis hispida, s. *Ipomoea purpurea*. — *nil*, s. *Ipomoea coerulea*.

Phaseolus Hernandezii, 77; nächtliche Bewegung der Blätter und Blättchen, 313.

— *caracalla*, 77; nächtliche Bewegung der Blätter, 313; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die Blättchen, 380.

— *multiflorus*, Bewegung der Würzelchen, 23, eines jungen Würzelchens, 59, des Hypocotyls, 76, 77; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens 139—142; gegen feuchte Luft, 155; Cauterisation und Einfettung der Spitzen, 460; nächtliche Bewegung der Blätter, 313.

— *Roxburghii*, nyctitropische Bewegung des ersten einblättrigen Blattes, 338; Wirkung hellen Sonnenscheins auf die ersten Blätter, 380.

— *vulgaris*, 77; Schlaf der Blätter, 271; senkrecht Sinken der Blätter des Nachts, 313.

Phyllanthus Niruri, Schlaf der Blättchen, 331.

Pilocereus Houletii, rudimentäre Cotyledonen, 80.

Pimelia linoides, Schlaf der Blätter, 330.

— *spectabilis*, Schlaf der Blätter, 330.

Pinus austriaca, Circumnutation der Blätter, 213.

— *Nordmanniana*, nyctitropische Bewegung der Blätter, 331.

— *pinaster*, Circumnutation des Hypocotyls, 46, — der Cotyledonen, 92; Bewegung zweier gegenüberstehender Cotyledonen, 46; Circumnutation eines jungen Blattes, 212, 213; epinastische Abwärtsbewegung eines jungen Blattes, 228.

Pistia stratiotes, Bewegung der Blätter, 216.

Pisum sativum, Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 132, 135; Spitze der Würzelchen quer cauterisirt, 459.

Plinius, über die Schlafbewegungen der Pflanzen, 237.

Plumbago capensis, Circumnutation des Stammes, 178.

Poinciana Gilliesii, Schlaf der Blätter, 314. Polster oder Gelenke: von Cotyledonen, 94—103; Einfluss der — auf die Bewegungen der Cotyledonen, 267; Wirkung auf nyctitropische Bewegungen, 337.

Polygonum aviculare, Blätter des Nachts senkrecht, 330.

— *convolvulus*, Sinken der Blätter des Nachts, 271.

Pontederia (sp.?), Circumnutation der Blätter, 216.

Portieria hygrometrica, Circumnutation und nyctitropische Bewegungen des Blattstiels, 285—287; Wirkung des Bewässerns, 286, 287; Blättchen am Tage geschlossen, 352.

Portulaca oleracea, Wirkung des Aecidium auf, 162.

Primula sinensis, vereinigte Circumnutation des Hypocotyls und der Cotyledonen, 36, 37.

Pringsheim, über die Schädigung des Chlorophylls, 381 Anm.

Prosopis, nyctitropische Bewegung der Blättchen, 318.

Psoralea acaulis, nächtliche Bewegung der Blättchen, 301.

Pteris aquilina, Rachis von, 72.

Q.

Quercus (amerikanische sp.), Circumnutation des jungen Stammes, 43—44.

— *robur*, Bewegung der Würzelchen, 44, 45; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 149—151.

— *virens*, Art der Keimung, 70, 478.

R.

Ramey, über die Bewegungen der Cotyledonen von *Mimosa pudica* und *Olianthus Dampieri* des Nachts, 253.

Ranunculus ficaria, Art und Weise den Boden zu durchbrechen, 71, 74; einziger Cotyledon, 80; Wirkung seitlichen Lichts, 414.

Raphanus sativus, Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 146; Schlaf der Cotyledonen, 256.

Rattan, Mr., über die Keimung der Samen von *Megarrhiza californica*, 68.

Reseda odorata, Hypocotyl des Sämlings unbedeutend heliotropisch, 388.

Rhipsalis cassytha, rudimentäre Cotyledonen, 80.

Richter, Würzelchen nicht apheliotropisch, 474.

Ricinus borboniensis, Circumnutation des bogenförmigen Hypocotyls, 43.

Robinia, Wirkung hellen Sonnenscheins auf ihre Blätter, 380.

— *pseudo-acacia*, Blättchen des Nachts senkrecht, 302.

Rodier, Mr., über die Bewegungen von *Ceratophyllum demersum*, 180.

Royer, Ch., über die Schlafbewegungen der Pflanzen, 238, Anm.; über den

Schlaf der Pflanzen, 271; Blätter von *Medicago maculata*, 293; über *Wistaria sinensis*, 302.

Rubus idaeus (Bastard), Circumnutation des Stammes, 175; apogeotropische Bewegung des Stammes, 426.

Rückschlag, Folge von Verstümmelung, 162, von andern Störungen, 475.

Ruiz und Pavon, über *Portieria hygrometrica*, 286.

S.

Sachs, über revolute Nutation, 1; innige Beziehung zwischen Turgescenz und Wachstum, 2, Anm.; Cotyledonen der Zwiebel, 48; Anpassung der Wurzelhaare, 57; Bewegung des Würzelchens, 57, 60; Bewegung an den Hypocotylen der Bohne etc., 75; Empfindlichkeit der Würzelchen, 110, 123, 169; Empfindlichkeit des primären Würzelchens der Bohne, 131, 132, der gemeinen Erbse, 133; Wirkung feuchter Luft, 154; Wirkung des Tödtens oder Verletzens des primären Würzelchens, 159, 160; Circumnutation der Blütenstengel, 191; Epinastie, 227; orthotrope und plagiotope Pflanzentheile, 232; Bewegungen der Blättchen von *Trifolium incarnatum*, 298; Wirkung des Lichts auf die Modification der periodischen Bewegungen der Blätter, 356; über Geotropismus und Heliotropismus, 372, Anm.; über *Tropaeolum majus*, 387; die Hypocotyle des Epheus unbedeutend heliotropisch, seine Stämme stark apheliotropisch, 387; Heliotropismus der Würzelchen, 413; Versuche an Spitzen der Würzelchen der Bohne, 448, 449; Krümmung des Hypocotyls, 477; Aehnlichkeit zwischen Pflanzen und Thieren, 491.

„Sachs' Krümmung“, 76.

Samenhüllen, Bersten der, 84—87. Samenkapseln, Eingraben, 439.

Sämlinge, Circumnutirende Bewegungen der, 8.

Sarracenia purpurea, Circumnutation der jungen Eimer, 193.

Saxifraga sarmentosa, Circumnutation eines geneigten Stolon, 186, 187.

Schlaf der Pflanzen, 237.

Schrankia aculeata, nyctitropische Bewegung der Fiedern, 325, 343.

— *uncinata*, nyctitropische Bewegung der Blättchen, 324.

Securigera coronilla, nächtliche Bewegungen der Blättchen, 300.

Selaginella Krausii (?), Circumnutation einer jungen Pflanze, 54, 218.

- Sida napaea*, Blätter des Nachts niedergedrückt, 272; kein Polster, 272.
- *retusa*, senkrecht Erheben der Blätter, 272.
- *rhombifolia*, Cotyledonen schlafen nicht, 268; Schlaf der Blätter, 268; senkrecht Erheben der Blätter, 272; kein Polster, 272; Circumnutation und nyctitropische Bewegungen des Blatts einer jungen Pflanze, 272; nyctitropische Bewegungen der Blätter, 338.
- Siegesbeckia orientalis*, Schlaf der Blätter, 272, 327.
- Sinapis alba*, Hypocotyl biegt sich nach dem Lichte, 394; fortgeleitete Wirkung des Lichts auf Würzelchen, 412—414, 487; Wachstum der Würzelchen im Dunkeln, 416.
- *nigra*, Schlaf der Cotyledonen, 256.
- Smilax aspera*, Ranken apheliotropisch, 384.
- Smithia Pfundii*, Cotyledonen nicht empfindlich, 107; hyponastische Bewegung der gekrümmten Spitze des Stammes, 232, 233; Cotyledonen schlafen des Nachts nicht, 262; senkrechte Bewegung der Blätter, 303.
- *sensitiva*, Empfindlichkeit der Cotyledonen gegen Berührung, 106; Schlaf der Cotyledonen, 262.
- Solanum dulcamara*, circumnutrende Stämme, 224.
- *lycopersicum*, Bewegung des Hypocotyls, 40, der Cotyledonen, 40, 92; Wirkung der Dunkelheit, 104; Erheben der Cotyledonen des Nachts, 261; heliotropische Bewegungen des Hypocotyls, 359; Wirkung intermittierenden Lichts, 390; rapider Heliotropismus, 394.
- *palinacanthum*, Circumnutation des bogenförmigen Hypocotyls, 41, 83, der Cotyledonen, 41; vom Hypocotyl, wenn er aufrecht ist, beschriebene Ellipsen, 90; nächtliche Bewegungen der Cotyledonen, 261.
- Sophora chrysophylla*, Blättchen erheben sich des Nachts, 314.
- Sparganium ramosum*, Rhizome von, 162.
- Sphaerophysa salsola*, Erheben der Blättchen, 302.
- Spirogyra princeps*, Bewegungen, 219, Anm.
- Stachelbeere, Wirkung der Strahlung, 241.
- Stämme, Circumnutation, 172—182.
- Stahl, D., über die Wirkung von Aecidium auf Sprossen, 162; über den Einfluss des Lichts auf Schwärmsporen, 418, Anm.
- Stapelia sarpedon*, Circumnutation des Hypocotyls, 37, 38; minutiöse Cotyledonen, 80.
- Stellaria media*, nächtliche Bewegung der Blätter, 253.
- Stolonen oder Ausläufer, Circumnutation, 182—189, 480.
- Strahlung des Nachts, Wirkung auf Blätter, 240—243.
- Strasburger, über die Wirkung des Lichts auf Sporen von *Haematococcus*, 389, Anm.; Einfluss des Lichts auf Schwärmsporen, 417, Anm.
- Strephium floribundum*, Circumnutation und nyctitropische Bewegung der Blätter, 332—333.
- Stylidium*, Circumnutation des Gynostemiums, 192.

T.

- Tagesschlaf der Blätter, 357.
- Tamarindus indica*, nyctitropische Bewegung der Blättchen, 318.
- Tecoma radicans*, Stämme apheliotropisch, 384.
- Tephrosia caribaea*, 302.
- Terminologie, 4.
- Thalia dealbata*, Schlaf der Blätter, 331; seitliche Bewegung der Blätter, 344.
- Trägheitsmoment, gehäufte Wirkung des Apogeotropismus ihm ähnlich, 435.
- Transversal-Heliotropismus (von Frank) oder Diabeliotropismus, 374.
- Trapa natans*, ungleiche Cotyledonen, 79, Anm.
- Trichosanthes anguina*, Wirkung des Zapfens auf das Würzelchen, 87; nächtliche Bewegung der Cotyledonen, 259.
- Trifolium*, Stellung der terminalen Blättchen des Nachts, 239; Form des ersten Blattes, 353.
- *globosum*, Haare die Samen tragenden Blüten schützend, 443.
- *glomeratum*, Bewegung der Cotyledonen, 263.
- *incarnatum*, Bewegung der Cotyledonen, 263.
- *pannonicum*, Gestalt des ersten echten Blattes, 353.
- *pratense*, Blätter des Nachts exponirt, 249.
- *repens*, Circumnutation des Blütenstengels, 190; Circumnutation und epinastische Bewegungen des Blütenstengels, 233—236; nyctitropische Bewegung der Blätter, 297; Circumnutation und nyctitropische Bewegungen

- des terminalen Blättchens, 300; Schlafbewegungen, 297; beschreibt in 24 Stunden eine Ellipse, 344.
- Trifolium resupinatum*, keine Polster an den Cotyledonen, 98; Circumnutation des Stammes, 174; Wirkung des Exponirtseins des Nachts, 250; Cotyledonen erheben sich nicht des Nachts, 98, 263; Circumnutation und nyctitropische Bewegungen der terminalen Blättchen, 299, 300; Zahl der in 24 Stunden beschriebenen Ellipsen, 344.
- *strictum*, Bewegungen der Cotyledonen des Nachts, 97, 98; nächtliche und Tagesbewegungen der Cotyledonen, 263—265, 266; Bewegung des linksseitigen Cotyledon, 269.
- *subterraneum*, Bewegung der Blüthenköpfe, 59, der Cotyledonen des Nachts, 97, 98, 263; Circumnutation des Blütenstengels, 190, 191; Circumnutation und nyctitropische Bewegungen der Blätter, 298, 299; Zahl der Ellipsen in 24 Stunden, 344; Eingraben seiner Blüthenköpfe, 439; Abwärtsbewegung des Blütenstengels, 440; circumnutrende Bewegung desselben, 441.
- Trigonella cretica*, Schlaf der Blätter, 293.
- Triticum repens*, unterirdische Sprossen werden apogeotropisch, 162.
- *vulgare*, Empfindlichkeit der Spitze der Würzelchen für feuchte Luft, 157.
- Tropaeolum majus* (?), Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens gegen Berührung, 142; Circumnutation des Stammes, 174; Einfluss der Beleuchtung auf nyctitropische Bewegungen, 287—289; heliotropische Bewegung und Circumnutation des Epicotyls eines jungen Sämlings, 365, 366, — eines alten Internodiums nach einem seitlichen Lichte, 367; Stämme sehr junger Pflanzen bedeutend, alter Pflanzen unbedeutend apheliotropisch, 387; Wirkung seitlichen Lichts, 414.
- *minus* (?), Circumnutation des vergrabenen und bogenförmigen Epicotyls, 21, 22.
- U.
- Ulex*, oder Ginster, erst gebildetes Blatt, 353.
- Urvaria lagopus*, senkrecht Sinken der Blättchen bei Nacht, 311.
- V.
- Vaucher, über das Eingraben der Blüthenköpfe von *Trifolium subterraneum*, 440; über den Schutz der Samen, 443.
- Verbena melindres* (?), Circumnutation des Stammes, 179; apogeotropische Bewegung des Stammes, 424.
- Vererbung bei Pflanzen, 347, 477, 481, 491.
- Vicia faba*, Circumnutation des Würzelchens, 24, 25, des Epicotyls, 25, 26; Krümmung des Hypocotyls, 77; Empfindlichkeit der Spitze des Würzelchens, 112—129, für feuchte Luft, 156; Empfindlichkeit der Spitze der secundären Würzelchen, 131—132, des primären Würzelchens oberhalb der Spitze, 132—135; verschiedene Versuche, 114—119; Zusammenfassung der Resultate, 122—129; Einfluss eines Reizmittels auf die Spitze des Würzelchens verglichen mit dem des Geotropismus, 129—131; Circumnutation der Blätter, 198, 199; Circumnutation des terminalen Blättchens, 199; Wirkung des Apogeotropismus, 378; Wirkung der Amputation der Spitze der Würzelchen, 448; Regeneration der Spitzen, 451; kurzes Aussetzen dem Einfluss des Geotropismus, 451; Wirkungen der schrägen Amputation der Spitze, 453, des Cauterisirens der Spitze, 454, des Fettüberzugs der Spitzen, 458.
- Vines, Mr., über Wachstum der Zellen, 2.
- Vries, De, über Turgescenz, 2; über Epinastie und Hyponastie, 5, 226, 227; Stolonen apheliotropisch, 90; nyctitropische Bewegung der Blätter, 240; die Stellung der Blätter von Epinastie, ihrem eigenen Gewicht und Apogeotropismus beeinflusst, 375; Apogeotropismus an Blattstielen und Mittelrippen, 377; die Stolonen der Erdbeere, 388; die Gelenke u. Polster der Gramineen, 430; der Schutz der Hypocotyle im Winter, 479.
- W.
- Wells, Abhandlung über den Thau, 241, Anm.
- Wiesner, Prof., über die Circumnutation des Hypocotyls, 82; über die hakenförmige Spitze kletternder Stämme, 230; Beobachtungen über die Wirkung hellen Sonnenscheins auf das Chlorophyll in den Blättern, 381; Wirkungen eines intermittirenden Lichts, 390; über Luftwurzeln, 416; über specielle Anpassungen, 419.
- Wigandia*, Bewegung der Blätter, 210.
- Williamson, Prof., über die Blätter von *Drosera capensis*, 353.

Wilson, Mr. A. S., über die Bewegungen der Blätter der schwedischen Rübe, 195, 254.

Winkler, über den Schutz der Sämlinge, 91.

Wistaria sinensis, Blättchen bei Nacht niedergedrückt, 302; Circumnutation bei seitlichem Lichte, 386.

Wurzelchen, Art und Weise, in welcher sie den Boden durchbohren, 56—63; Circumnutation, 56; Versuche mit gespaltenen Holzstückchen, 61, mit hölzernen Klammern, 62; Empfindlichkeit der Spitze gegen Berührung und andere Reizmittel, 109; — von *Vicia faba*, 112—129; verschiedene Versuche, 114—119; Zusammenfassung der Resultate, 122—129; Einfluss eines Reizmittels verglichen mit Geotropismus, 129—131; Empfindlichkeit der Spitze gegen feuchte Luft, 156; mit eingefetteten Spitzen, 158; Wirkung des Tödtens oder Verletzens des primären Wurzelchens, 159—163; Krümmung, 165; von

Feuchtigkeit afficirt, 170; Spitze allein für Geotropismus empfindlich, 464; Vortreiben und Circumnutation im keimenden Samen, 471; Spitze sehr empfindlich, 473; Spitze wirkt wie das Gehirn eines der niederen Thiere, 492. Wurzelchen, secundäre, Empfindlichkeit der Spitze bei der Bohne, 131; werden senkrecht geotropisch, 159—163.

Z.

Zea mays, Circumnutation der Cotyledonen, 52; geotropische Bewegung der Wurzelchen, 58; Empfindlichkeit der Spitze des Wurzelchens gegen Berührung, 151—153; secundäre Wurzelchen, 153; heliotropische Bewegungen des Sämlings, 52, 359; Spitze der Wurzelchen cauterisirt, 463.

Zellen, Messungstabelle der — im Polster von *Oxalis corniculata*, 101; Veränderungen in den, 470.

Zukal, über die Bewegungen von *Spirulina*, 219, Anm.

Druckfehler.

Seite 259, 313, 360—362 soll es statt *Apios Apium* heissen.