

IX.

Ueber Ausschliessung der geotropischen und heliotropischen Krümmungen während des Wachsens.

Von

Julius Sachs.

Wachsende Pflanzentheile können bekanntlich durch verschiedene, das Wachstum unsymmetrisch störende Ursachen Krümmungen erfahren, unter denen die geotropischen und heliotropischen die wichtigsten und bekanntesten sind; aber auch ungleichmässige Vertheilung der Feuchtigkeit in der umgebenden Luft¹⁾, ebenso dauernde einseitige Berührung können Krümmungen veranlassen und ausserdem können auch rein innere Wachstumsursachen ähnlich wirken.

Da nun ein und derselbe Pflanzentheil gleichzeitig zweien oder mehreren dieser sein Wachstum beeinflussenden Ursachen unterliegen kann, so ist es unumgänglich nöthig, wenn es sich um ein genaueres Studium der einen handelt, alle übrigen auszuschliessen; betreffs der ungleichen Vertheilung der Feuchtigkeit und der einseitigen Berührung lassen sich leicht entsprechende Einrichtungen treffen; schwieriger ist es aber, Pflanzen so wachsen zu lassen, dass sie entweder nur dem Heliotropismus oder nur dem Geotropismus unterliegen; für beides habe ich bereits früher Einrichtungen angegeben; hier aber möchte ich zeigen, dass es möglich ist, Pflanzen so wachsen zu lassen, dass sie, obgleich einseitig beleuchtet, doch gleichzeitig dem Heliotropismus und dem Geotropismus entzogen sind.

Dass wir in derartigen Einrichtungen wichtige Forschungsmittel besitzen, ist längst anerkannt, und ihre Bedeutung wird noch erhöht, wenn man bedenkt, dass das Licht und die Schwere in manchen Fällen nicht nur Krümmungen wachsender Theile bewirken, sondern auch auf die Gestalt der Organe (Frucht von *Buxbaumia aphylla* u. a.) und auf den Ort ihrer Entstehung (Wurzelhaare der Brutknospen von *Marchantia*) bestimmend einwirken können. Bevor ich daher zur Beschreibung einiger von mir im letzten Sommer angestellten Versuche über gleichzeitige Ausschliessung des Heliotropismus und Geotropismus übergehe, möchte ich das, was meine Vorgänger geleistet haben, zur Sprache bringen.

1) Vergleiche diese »Arbeiten« Bd. I. p. 209 ff.

Bei allen hier in Betracht kommenden Einrichtungen handelt es sich darum, die wachsende Pflanze einer langsamen Rotation zu unterwerfen, so dass sie der wirkenden Kraft nach und nach alle ihre Seiten unter gleichem Einfallswinkel darbietet. Da jede das Wachstum beeinflussende Kraft (hier zunächst das Licht und die Schwere) einer gewissen Zeit bedarf, um einen Effect hervorzubringen, so wird bei Anwendung dieses Principes die einseitige Wirkung dadurch ausgeschlossen, dass dem Pflanzentheil nicht die nöthige Zeit gegönnt wird, auf der einen Seite merklich afficirt zu werden, weil er in der dazu nöthigen Zeit bereits die entgegengesetzte Seite der äusseren Kraft darbietet, wodurch der vorher erzeugte Effect aufgehoben wird, oder mit anderen Worten, der langsam rotirende und im Wachstum begriffene Pflanzentheil, welcher einer einseitig wirkenden Kraft ausgesetzt ist, verhält sich so, als ob die Kraft von allen Seiten her gleichmässig einwirkte. Dies wird jedoch, wie ich schon 1872 hervorhob, nur dann zur Vermeidung von Krümmungen führen, wenn nicht etwa innere krümmende Ursachen mitwirken, und allgemeiner gesagt nur dann, wenn der betreffende Pflanzentheil allseitig gleiche Reactionsfähigkeit besitzt. ¹⁾

1. Historisches über Vermeidung geotropischer Krümmungen. In gewissen Sinne entsprechen schon KNIGUR's berühmte Versuche (1806) der oben gestellten Forderung, insofern es sich dabei um Rotation in verticaler Ebene handelte; denn nur in diesem Falle wird die geotropische Krümmung ganz ausgeschlossen, weil die wachsenden Theile in kurzen Zeitintervallen ihre entgegengesetzten Seiten der Erde zukehren, während bei Rotation in horizontaler Ebene ein und dieselbe Seite des Organs der Erde zugekehrt bleibt; so dass die Richtung des Organs eine aus der Schwere und der Centrifugalkraft resultirende ist. KNIGUR selbst und Spätere haben diesen Sachverhalt wohl erkannt, ich finde aber nicht, dass Jemand daraus den Schluss gezogen habe, es müsse bei langsamer Rotation in verticaler Ebene derselbe Effect erzielt werden, wie bei rascher Bewegung; derselbe Effect freilich nur insofern, als in beiden Fällen die geotropische Wirkung ganz aufgehoben wird; bei KNIGUR's rascher Rotation in verticaler Ebene kam eben noch die Centrifugalkraft als richtungsbestimmende Ursache zum Vorschein; dadurch wurde zwar bewiesen, dass diese Kraft ebenso wirkt wie die Schwere; der Beweis dagegen, dass die Schwere es ist, welche den verticalen Wuchs bewirkt, wäre reiner und klarer geführt worden, wenn man die Centrifugalkraft ausgeschlossen und langsame Rotation in verticaler Ebene angewendet hätte.

Der langsamen ²⁾ Rotation um horizontale Axe geschieht in der Literatur zuerst in Verbindung mit dem Namen HUNTER Erwähnung. DUTROENET

¹⁾ Vergl. über diesen Punkt die folgende Abhandlung X.

²⁾ Ich vermute jedoch nur aus den Umständen, die im Text erwähnt werden, dass es sich dabei um langsame Rotation ohne Centrifugalwirkung handelt.

(Mém. II. p. 38) sagt: »HUNTER mit une fève au centre d'un baril plein de terre et qui était animé d'un mouvement continu de rotation sur son axe horizontal: la radicule se dirigea dans le sens de l'axe de rotation du baril.« Da weder DUTROCHET noch HOFMEISTER (1860), der des HUNTER'sehen Versuchs ebenfalls erwähnt, die Quelle angeben und es mir nicht geluugen ist, diese aufzufinden, so weiss ich nicht, ob DUTROCHET den Sinn des Versuches und sein Ergebniss richtig citirt; so viel aber ist gewiss, dass aus DUTROCHET's Citat einfach nichts zu folgern ist, so lange man die von mir 1872 constatirte Thatsache nicht kennt, dass eine Hauptwurzel bei langsamer Rotation um horizontale Axe einfach in der Richtung fortwäehst, die sie zufällig am Anfang des Versuchs hatte. Es war bei dem HUNTER'sehen Versuch ein Zufall, dass die Bohne so lag, dass sich die Wurzel in der Richtung der Axe entwickelte; hätte sie anders gelegen, so wäre sie gerade aus in beliebiger Richtung gewachsen, sofern die Rotation langsam war, und war diese schnell (mit Centrifugalkraft verbunden), so musste die Wurzel von der Axe weg gerichtet werden. DUTROCHET (l. e. p. 43—46) hat es vergeblich versucht, den von ihm eitirten Versuch nachzumachen; das eine Mal war die Rotationsaxe nicht horizontal, das andere Mal, als sie horizontal war, konnte er keine gleichmässige Rotation zu Stande bringen und so ergaben seine betreffenden Versuche nur, dass in beiden Fällen die geotropische Wirkung nicht aufgehoben war.

Dass DUTROCHET übrigens weit davon entfernt war, die wahre Bedeutung der langsamen Rotation um horizontale Axe zu begreifen, was ja auch ohne Versuche theoretisch möglich ist, ist ganz deutlich aus folgender Aeusserung (l. e. p. 48) zu entnehmen: »On voit, par les experiences qui viennent d'être rapportées, que lorsque la rotation est lente, les embryons séminaux qui l'éprouvent, cessent de diriger leur radicule vers la circonferenee et leur plumule vers le centre. (Bis hierher ist die Sache richtig; aber nun kommt die Unklarheit) Il me paraissait important, de trouver quel est le degré de vitesse de rotation où cette direction spéciale cesse d'avoir lieu; die Antwort auf diese Frage wäre einfach die gewesen, dass bei Rotation um ganz horizontale Axe die Schwere keine Wirkung äussern kann, gleichgiltig ob die Rotation rasch oder langsam ist; in ersterem Falle aber wird die Richtung der Keimtheile durch die Centrifugalkraft bestimmt. Zu der theoretischen Unklarheit DUTROCHET's, die sich auch darin ausspricht, dass er die Centrifugalwirkung nach der Länge des in der Zeiteinheit zurückgelegten Weges bemisst, trat nun noch der Uebelstand, dass er mit seinem Uhrwerk nicht zu Stande kam, den allein entscheidenden Versuch mit horizontaler Axe und gleichförmiger Drehung zu machen, der seinem Resumé auf p. 51 (l. e.) sofort eine ganz andere Wendung gegeben hätte.

HOFMEISTER, der diese gänzlich verunglückten Bestrebungen DUTROCHET's als eine Erweiterung und Erklärung des »HUNTER'sehen Versuchs« bezeich-

net,¹⁾ legte bei seinen eignen Versuchen auch nur Werth auf die Thatsache, dass selbst bei sehr schiefer, fast horizontaler Drehungsaxe die Schwere noch geotropisch einwirkt, was ja bei Keimwurzeln selbstverständlich ist. Die geotropische Wirkung auszuschliessen durch langsame Rotation um horizontale Axe, was doch der entschiedenste Beweis für KNIGHT's Theorie gewesen wäre, kam ihm nicht in den Sinn.

Bemerkenswerth ist eine hier zu erwähnende Stelle bei WIGAND (bot. Unters. 1854 p. 447), die ich vollständig hierher setze:

»Bei diesen Versuchen, sagt er mit Bezug auf die rasche Rotation in verticaler Ebene, sind es aber zwei verschiedene Umstände, welche die gewöhnlichen Bedingungen des keimenden Samens abändern, nämlich ausser der Centrifugalkraft auch die stetige Aufhebung der Richtung, wodurch der Wurzel, ganz abgesehen von der Wirkung der Centrifugalkraft, keinen Augenblick Zeit gelassen wird, eine bestimmte Richtung nach unten anzunehmen. Es kam also darauf an, zunächst den Einfluss der Centrifugalkraft durch eine bedeutende Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit möglichst zu schwächen. Dies bewerkstelligte ich an der erwähnten Maschine theils durch Verkleinerung des Rotationsradius, indem ich Samen dicht in der Nähe der Axe keimen liess, theils durch Verminderung der Umläufe bis auf 12, 8, 3 in einer Minute. Um noch weiter zu gehen, befestigte ich den Keimboden senkrecht auf den Zeiger einer Wanduhr und erhielt auf diese Weise an dem $4\frac{1}{2}$ " langen Minutenzeiger eine Bewegung des keimenden Samens von weniger als $\frac{1}{2}$ ", an dem 3" langen Stundenzeiger aber von weniger als $\frac{1}{3}$ " in einer Minute.

Von vorneherein lässt sich denken, dass bei einer verticalen Rotation von so geringer Geschwindigkeit, wo der Einfluss der Centrifugalkraft als verschwindend angenommen werden kann, eine in der Entwicklung begriffene Wurzel, welche in jedem Augenblick einen verticalen Zug nach unten erleidet, in einer der Rotationsrichtung entgegengesetzt gekrümmten Spirale wachsen wird, und dass die Krümmung derselben um so stärker sein wird, je rascher die Umdrehung. In der Wirklichkeit kommen zwar solche Krümmungen hin und wieder vor, indess sind doch in der Regel die Wurzeln mehr gestreckt, und zwar ergibt sich aus den oben erwähnten, mit zahlreichen Samen angestellten und zum Theil oft wiederholten Versuchen, dass die Wurzeln unter diesen Bedingungen sich im Allgemeinen auf sehr ungleiche Art entwickeln; es kommen gleichzeitig auf einem und demselben Keimboden solche vor, welche centrifugal, in radialer Richtung nach aussen, sowie auch solche, welche centripetal, nach innen wachsen; das vorherrschende Verhältniss scheint aber das zu sein, dass die Wurzeln in der Ebene des Keimbodens selbst fortwachsen, und zwar innerhalb dieser Ebene ohne eine bestimmte Richtung in Beziehung auf die Richtung der Rotation und unabhängig von der zufälligen Lage des Wurzelendes der Samen.«

Die erste Hälfte des citirten Textes enthält, wie man sieht, einen richtigen Gedanken, die zweite Hälfte dagegen ist durchaus verfehlt. Die Annahme, dass eine langsam in verticaler Ebene continuirlich rotirende Wurzel eine Spirale bilden müsse, wäre nur dann richtig, wenn die Wirkung der Schwere auf die Wurzel eine momentan eintretende wäre, was sie ja nicht ist. Die von WIGAND »hin und wieder« gesehene Spiralkrüm-

1) Kgl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch. 1860. p. 244 unten.

mung der Wurzel war aber sicherlich eine durch innere Störungen bewirkte Nutation, wie ich sie oft selbst gesehen habe. Dass die gesunde Keimwurzel bei langsamer, aber stetiger Rotation in verticaler Ebene einfach gerade aus wachsen müsse in der zufällig gegebenen Richtung, ist WIGAND entgangen; ich glaube nicht, dass es möglich ist, in der citirten Stelle die wahre Bedeutung der langsamen Rotation für ein geotropisches Organ zu finden.

In meinem Handbuch der Experimentalphysiologie von 1865 (p. 107) unterschied ich theoretisch zwei Fälle langsamer und nicht mit Centrifugalwirkung verbundener Rotation in verticaler Ebene; der erste Fall war der:

»Wo die Langsamkeit dieser Rotation (mit Unterbrechung der Bewegung) so gross ist, dass die krümmenden Kräfte von Wurzel und Stengel an jedem Punkt der Bahn Zeit gewinnen, eine wirkliche Krümmung zu bewirken, und dass, bevor eine merkliche Vorrückung der Lage eintritt, auch die krümmungsfähigen Stellen durch Wachstum fort-rücken.«

Was unter dieser bestimmten Bedingung eintreten müsse, suchte ich an einem Draht-Phantom klar zu machen; es ergab sich, dass Wurzel und Keimstengel spiralförmige Krümmungen machen müssen; jedoch nur unter den angegebenen Rotationsbedingungen, die ja bei WIGAND's Versuchen nicht obwalteten.

»Als zweiten Fall, sagte ich weiter, denken wir uns nun, die senkrecht rotirende Ebene mache ihre Bewegungen wie vorhin stossweise, so dass keine Centrifugalwirkung entsteht, aber so schnell, dass die entgegengesetzten Stellungen, unten, oben, rechts, links, erreicht werden, bevor eine Krümmung und bevor ein merkliches Wachstum eintreten konnte; hier wird gar keine Krümmung eintreten können, da nach Voraussetzung der Draht, der uns die Pflanze vertritt, immer bereits in der entgegengesetzten Lage angekommen ist, bevor die der vorigen entsprechende Krümmung eintreten konnte. Als dritten Fall denken wir die Rotation nicht mehr stossweise, sondern continuirlich fortschreitend und die Geschwindigkeit eines peripherischen Punktes so gross, dass eine merkliche Centrifugalwirkung entsteht, und dass zugleich die krümmungsfähigen Theile die entgegengesetzten Stellungen (oben, unten, rechts, links) so rasch durchlaufen, dass die Schwerkraft keine merkliche Wirkung erzielen kann; der Erfolg wird um der sein, als ob die Schwerkraft gar nicht vorhanden wäre, und die Centrifugalkraft macht sich allein auf die krümmungsfähigen Theile geltend.«

Es war in diesen Sätzen, wie ich glaube, zum ersten Mal der Gedanke, auf den es bei der langsamen Rotation in verticaler Ebene allein ankommt, bestimmt ausgesprochen und es bedurfte jetzt keines weiteren Nachdenkens mehr, das Princip auch auf die Beleuchtung der wachsenden Pflanze anzuwenden. Leider war ich damals nicht in der Lage, einen Apparat für derartige Untersuchungen herstellen zu können. Dazu fand sich erst nach Einrichtung des Würzburger Laboratorium Gelegenheit.

Unterdessen hatte NORMESTER seine Aufmerksamkeit ebenfalls den Einwirkungen der Schwere und des Lichts auf das Wachstum zugewendet und dann seine meist auf unvollständigen Wahrnehmungen beruhenden

Ansichten darüber in der »Allgemeinen Morphologie der Gewächse« (1868. niedergelegt. Auf p. 582 heisst es daselbst:

»Zur genaueren Prüfung mancher der hier einschlagenden Thatsachen bedarf es aber entweder einer Vorrichtung, vermöge deren die Pflanze bei einseitiger Beleuchtung der Einwirkung der Schwerkraft völlig entzogen, oder einer solchen, vermöge deren sie allseitig gleichmässig beleuchtet wird, während die Schwerkraft, etwa zum Theil durch eine andere Kraft ersetzt (?), auf sie fort und fort einwirkt. Ein Apparat, welcher bei horizontaler Stellung der Rotationsachse die, nur in Richtung der Achse, von der Seite her beleuchteten Versuchspflanzen in angemessener Geschwindigkeit im Kreise herum führt, würde der ersten dieser Anforderungen genügen. Die Herstellung einer Maschine, welche eine Last von einigen Pfunden in solcher Weise lange dauernd Tag und Nacht bewegt, hat aber grosse practische Schwierigkeiten. Mit einem durch Gewichte getriebenen Laufwerke kommt man nicht zum Ziel; die Reibung ist zu gross, die Last wird nicht bewältigt. Wo nicht eine Wasserkraft zur Verfügung steht, ist der Versuch sehr schwer ausführbar. Dagegen lässt sich das Experiment leichter so einrichten, dass die Versuchspflanzen, ausschliesslich von der Seite her, in horizontaler Richtung beleuchtet, um eine verticale Rotationsaxe kreisen. Dann erhalten die Versuchspflanzen gleichmässig Licht. Um der Beleuchtung die genügende Intensität zu geben, kann das Himmelslicht durch Spiegel aufgefangen und horizontal auf die Pflanzen geworfen werden. In solcher Weise habe ich eine Reihe von Experimenten ausgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden ihres Orts mitgeteilt werden sollen. Die Zahl der Experimente liess sich bisher nicht weiter steigern, da jedes einzelne längere Zeit, mindestens 3 Wochen erfordert.

Bei dem zuletzt genannten Apparat waren HORMEISTER'S weiterhin von ihm beschriebene Versuchspflanzen zwar der heliotropischen Wirkung entzogen, dafür musste sich bei ihm aber die der Schwere und der Centrifugalkraft¹⁾, jene vertical, diese horizontal wirkend, combinirt geltend machen. Uebrigens hat sich HORMEISTER über das derartigen Versuchen zu Grunde liegende Princip nicht ausgesprochen, speciell die Bedeutung der langsamen Rotation ohne Centrifugalwirkung ganz übersehen, wie aus der Bemerkung hervorgeht, dass der von ihm zuerst genannte Apparat schwierig zu construiren sei, was nur bei rascher Rotation der Fall sein würde.

Dass es dagegen leicht möglich ist, einen Apparat herzustellen, der bei langsamer Rotation um horizontale Axe die geotropische Wirkung gänzlich ausschliesst und, wenn im Finstern aufgestellt, auch die heliotropische beseitigt, davon überzeugte ich mich, als ich im Herbst 1871 in der Lage war, Apparate verschiedener Construction zu diesem Zweck herstellen zu lassen; über die während des Winters 1871—72 damit erzielten Resultate berichtete ich in der physicalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg am 16. März 1872 wie folgt:

»Werden Keimpflanzen in einem mit feuchter Luft gefüllten Rezipienten befestigt, der sich um eine horizontale Axe continuirlich und gleichförmig, aber so langsam dreht, dass keine Centrifugalwirkung zu Stande kommt (eine Umdrehung in 10—20 Minuten), so kann die Gravitation keine Krümmung weder an der

1) Vergl. l. c. p. 590. Erklärung der Figur.

Wurzel noch am Stengel bewirken, weil nach und nach jede Seite des Organs gleiche Zeiten hindurch unten und oben liegt. Ist nun das Organ allseitig gleichwachsend, wie die Hauptwurzel und der Hauptstengel, so muss es in jeder Richtung geradeaus fortwachsen, die es zufällig oder absichtlich bei der Befestigung der Keimpflanze im Recipienten einnahm. Zahlreiche Versuche bestätigen diese Folgerung ausnahmslos. Aber auch bilaterale Organe wie die Nebenwurzeln, Blätter, können bei der langsamen Rotation um horizontale Axe keine von der Schwerkraft (oder dem Licht) bewirkte Krümmung erfahren; zeigen sie dennoch bestimmte Richtungsverhältnisse zu anderen Theilen oder gar Krümmungen, so müssen diese durch innere Ursachen des Wachstums (unabhängig von Schwere und Licht) bewirkt sein. Man hat demnach an der langsamen Rotation ein bequemes Mittel, zu entscheiden, ob gewisse Richtungsverhältnisse und Krümmungen der Organe von äusseren oder von inneren Ursachen des Wachstums bewirkt werden. Beispielsweise sei einstweilen angeführt, dass bei langsam rotirenden Keimpflanzen von *Pisum* der Stengel nicht in einer Flucht mit der Hauptwurzel liegt, sondern mit dieser nach rückwärts einen rechten oder spitzen Winkel bildet, weil das Wachstum an der Vorderseite des Wurzelhalses aus inneren Ursachen stärker ist.«

Ausführlicher und noehmals das Princip betonend, sprach ich mich über derartige Versuche 1874 in der Abhandlung über die Nebenwurzeln aus (*»Arbeiten«* Bd. I p. 597 ff.), wo ich auch eine hinreichende Beschreibung des Apparats gab, mit dessen Hilfe ich den »Eigenwinkel« der Nebenwurzeln (l. c. p. 599 ff.) aufgefunden hatte.

Denselben Apparat des hiesigen Laboratoriums benutzte Dr. HERMANN MÜLLER (Thurgau) zu seinen Untersuchungen über den Heliotropismus (*Flora* 1876 p. 67), um den Einfluss des Geotropismus zu beseitigen. Die horizontale Drehungsaxe war dabei nach der Lichtquelle hingerrichtet, so dass die in verticale Ebene rotirenden Pflanzen dem Licht immer dieselbe Seite zukehrten.

2. Die Beseitigung heliotropischer Krümmungen bei einseitiger Beleuchtung durch langsame Drehung um verticale Axe ist in meinem Laboratorium seit mehreren Jahren in Gebrauch; ich habe bereits 1874 im I. Bd. dieser Arbeiten, p. 597, diese Methode kurz erwähnt, und später ein auf einem tragbaren Gestell stehendes Pendel-Uhrwerk dazu benützt, Pflanzen, deren Wachstumsgeschwindigkeiten gemessen werden sollten, auf einem horizontalen Teller rotiren zu lassen, um die Störungen durch heliotropische Krümmung zu vermeiden. VIXES hat diesen von ihm benutzten Apparat (*»Arbeiten des bot. Inst.«* II. p. 135) abgebildet und beschrieben.

3. Bisher war die langsame Drehung um horizontale Axe zur Ausschliessung der geotropischen, und die um verticale Axe zur Ausschliessung der heliotropischen Krümmung benutzt worden. Es ergab sich nun das Bedürfniss, wachsende Pflanzentheile gleichzeitig beiden Wirkungen zu entziehen, ohne doch sie vom Licht abzuschliessen, da durch den Lichtmangel die Ernährung gestört wird und es ja nur darauf ankommt, die durch das Licht bewirkten Krümmungen zu beseitigen. Es schien Anfangs.

als ob es sich hier um ein schwieriges Problem handle, das nur mit Hilfe kräftiger Maschinen, etwa einer Dampfmaschine zu lösen wäre. Weitere Ueberlegung ergab jedoch einen sehr einfachen Ausweg. Der genannte Zweck liess sich mit meinem alten Drehwerk ohne jede weitere Complication desselben erreichen; es kam nur darauf an, dasselbe am Fenster so zu stellen, dass die horizontale Rotationsaxe parallel mit den Fensterscheiben lag, die verticale Rotationschene also rechtwinkelig zur Fensterfläche war.

Es leuchtet ein, dass in diesem Falle die an der Axe befestigten Pflanzen aus den mehrfach erwähnten Gründen keine geotropische Krümmung erfahren, aber auch, dass sie keine heliotropische machen können (sofern sie allseitig gleich heliotropisch sind), da bei dieser Stellung der Rotationschene jeder wachsende Pflanzentheil im Laufe einiger Minuten nach und nach von dem einfallenden Licht unter gleichen Winkeln von allen Seiten her getroffen wird; die Pflanzen verhalten sich also zum Lichtstrahl gradese wie zur Schwere.

Der Apparat, wie ich ihn zu einer Reihe von Versuchen im Sommer 1878 benutzte, ist in der Hauptsache noch der alte, aber mit einigen Verbesserungen versehen. Ein starkes Uhrwerk mit Gewicht und Pendel ist auf der einen kürzeren Seite eines 4 eckigen Holzrahmens von 95 cm Länge und 71 cm Breite befestigt, der auf vier 120 cm hohen Beinen steht. Etwa 5 cm über dem Rahmen geht die Rotationsaxe vom Uhrwerk über die Oeffnung des Rahmens hinüber zur entgegengesetzten Seite desselben. Die Axe besteht aus einem 20 mm dicken, 83 cm langen leichten Messingrohr; mittels eines vierkantigen Loches lässt sie sich auf eine vierkantige Verlängerung der Axe des grössten Rades des Uhrwerkes aufschieben; ihr anderes Ende hat eine conische Höhlung, in welche das conische Ende einer horizontalen Schraube eingreift, welches als Zapfenlager dient; zieht man die Schraube zurück, so lässt sich die Messingaxe leicht aus dem ganzen Apparat herausnehmen. Um sie mittels einer Wasserwage genau horizontal zu stellen (was auch mit dem Holzgestell geschehen muss), ist das die Schraubenmutter enthaltende Stahlstück selbst an einem auf dem Rahmen befestigten Fuss vertical verschiebbar. In der Mitte hat die Axe eine Anzahl kleiner Löcher, in welche Stifte, an denen die Pflanzen befestigt sind, eingesteckt werden. Ausserdem lässt sich eine Messinghülse bis in die Mitte des (ein wenig conischen) Axenrohrs aufschieben und dort befestigen; diese Hülse hat den Zweck, ähnlich wie ein Korkbohrer durch ein nasses Torfstück geschoben zu werden, in welchem sie fest stecken bleibt, worauf man den ausgebohrten Torfzapfen ausstösst und die Hülse auf die Axe schiebt. Das Torfstück (etwa ein Würfel von 6—7 cm Seite) kann als Keimboden für Samen benutzt werden; zur Cultur von Mucorineen ersetze ich den Torf durch ein Stück Brod. Das Uhrwerk giebt der Axe keine continuirliche, sondern eine in leisen Stössen erfolgende Bewegung, die dem

Eingreifen der Zahnräder entsprechen; eine volle Umdrehung erfordert ca. 20 Minuten und das Gewicht sinkt dabei so langsam, dass das Uhrwerk nur alle 24 Stunden aufgezogen zu werden braucht.

Mitten zwischen den 4 Beinen des Holzrahmens ist ein starker Ständer aufgestellt, auf dessen oberer Platte (vertical verschiebbar) eine viereckige Zinkschale von 50 cm Seite steht; in diese wird 1—2 cm hoch Wasser gegossen und nachdem der ganze Apparat hergerichtet ist, an der Axe die Pflanzen befestigt sind, wird nunmehr eine Art Glashaus oder Käfig so auf die Zinkschale gestellt, dass die Rotationsaxe durch ihn quer hindurchgeht. Dieser Käfig hat den Zweck, den mittleren Theil der Axe, der die Pflanzen trägt, mit feuchter Luft zu umgeben; er besteht aus einem Zinkgestell, welches an den zwei Seiten, wo die Axe durchgeht, hohe Ausschnitte besitzt, die nach dem Ueberstülpen über die Axe genügend verschlossen werden können; die dem Fenster zugekehrte Vorder- sowie die Hinterwand und das Dach sind aus vier beweglichen Glasscheiben gebildet. Der Käfig ist ein Würfel von 45 cm Seite, das Dach aber aus zwei schiefen Glasscheiben gebildet. Da der Apparat in dieser oder in einer anderen Form wohl vielfach Verwendung finden dürfte, ist es erwünscht, ihn kurz bezeichnen zu können; ich schlage den Namen Klinostat dafür vor, ein Wort, welches andeuten soll, dass das Krümmen ($\kappaλίπειν$) der Pflanzen dadurch sistirt wird.

Um den Apparat sofort einer scharfen Probe zu unterwerfen, wurden zwei Brodwürfel auf die Axe aufgeschoben, deren einer sorgfältig auf allen 6 Seiten mit Sporen von *Phycomyces nitens*, der andere mit solchen von *Mucor mucedo* besäet war. Ich wählte diese Pflanzen, weil ihre Fruchträger in hohem Grade heliotropisch und zugleich geotropisch sind; unter den Versuchsbedingungen aber sollten sie weder eine heliotropische noch eine geotropische Krümmung zeigen. Am Nachmittag des 22. Juni begann der Versuch, die Temperatur war hoch (c. 25° C.) und schon am Morgen des 24. zeigten sich die ersten Fruchträger beider Arten; Nachmittags waren sie bereits c. 4 cm hoch, am Abend 3 cm; am 25. waren die Träger Mittags bereits 6—7 cm lang; einem dichten Walde gleich standen sie auf allen 6 Seiten der beiden Brodwürfel senkrecht und waren vollkommen gerade; die auf den Kanten der Würfel stehenden hatten eine solche Lage, dass ihre Richtung den Winkel der Kante halbirt (vgl. Fig. 4 m²). Nur an den Flanken der Brodwürfel, wo die Axe durch diese ging, bemerkte man eine leichte Krümmung der Fruchträger, und zwar so, dass sie, rings um die Axe stehend, dieser ihre Convexität zuekehrten (Fig. 4 m¹, m³); offenbar eine Folge des Umstandes, dass während jeder Umdrehung eine Anzahl von Fruchträgern zeitweilig in den Schatten der Axe kam, daher von der (der Axe zugekehrten) Seite immer weniger beleuchtet wurde; diese weniger beleuchtete Seite wurde ein wenig convex, ein Zeichen, wie stark der Heliotropismus dieser Mucorinen ist, und ein Beweis, dass

der Apparat genau leistete, was er sollte; denn auf den 4 anderen Seiten des Brodwürfels, welche eine Flächenzone um die Axe bildeten, war keine Spur einer heliotropischen oder geotropischen Krümmung zu bemerken.

Um die Probe auf die geotropische Empfindlichkeit zu machen, wurde am 25. Juni um 9 Uhr das Uhrwerk gestellt; die Axe drehte sich nicht mehr; eine grosse Zahl junger Fruchträger kam im Laufe des Tages aus dem Brod hervor; sie wuchsen in 6 Stunden um 2—3 cm in die Länge und krümmten sich dabei sämmtlich vertical aufwärts.

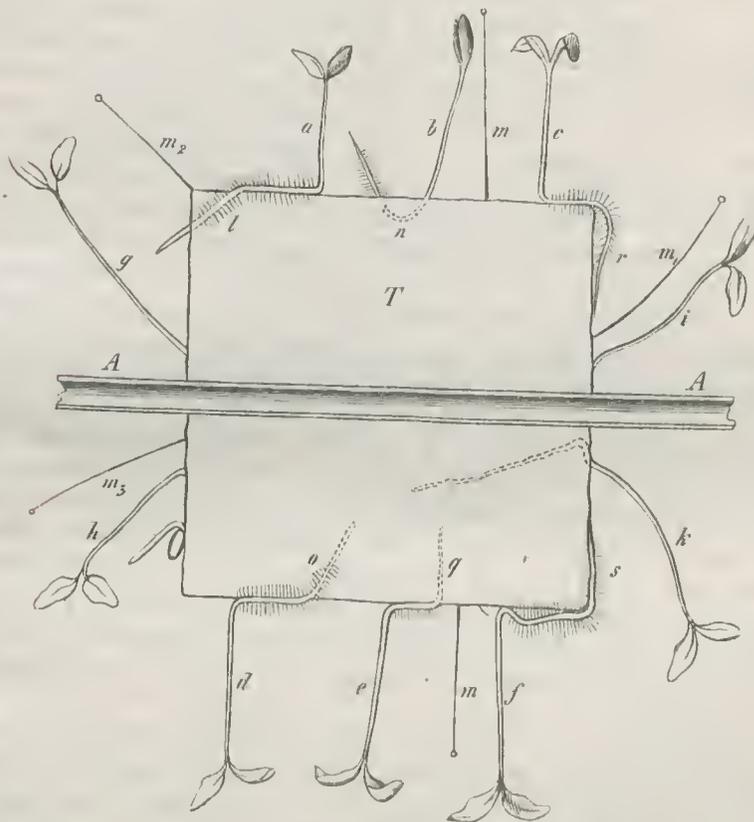
In einer Beziehung entsprechen die Bedingungen dieses Versuchs, sowie auch des folgenden, nicht streng den oben angestellten Anforderungen; insofern nämlich, abgesehen von dem oben über die beiden Flankenflächen Gesagten, die Pflanzen der Zonenfläche immer zeitweilig in den Schatten des ganzen Brodwürfels kamen und aus diesem wieder ins Licht eintraten, anstatt beständig gleich beleuchtet zu werden; allein diese Aenderung war für die betreffenden Seiten der Pflanzen symmetrisch gleich und konnte daher, wie der Versuch selbst zeigt, auch keine heliotropische Krümmung hervorrufen. Das den Pflanzen vom Südfenster her (etwa 0,5 m davon entfernt) zukommende Licht, z. Th. Sonnenlicht, fiel durch zwei Lagen feinen weissen Florpapiers, war also zerstreutes, aber sehr helles Licht.

Das Resultat dieses Versuchs war nun aber nicht nur insofern befriedigend, als Geotropismus und Heliotropismus durch das angewandte Verfahren gänzlich ausgeschlossen waren; es zeigte sich auch noch ein anderes Resultat; alle Fruchträger (abgesehen von den Flanken der Würfel) standen auf dem Substrat senkrecht; dies ist offenbar nur insofern eine Wirkung des Ausschlusses des Heliotropismus und Geotropismus, als dadurch eben entsprechende Krümmungen vermieden wurden; aber warum wuchsen die Träger nicht in allen beliebigen Richtungen, warum gerade senkrecht auf den Flächen des Würfels? Diese Frage lässt sich einstweilen nicht genügend beantworten; ich werde aber weiter unten zeigen, dass auch auf ruhendem, nicht rotirendem Substrat unter Umständen eine ähnliche Erscheinung, wenn auch unvollkommener, auftritt. Möglich dass verschiedene Ursachen dabei zusammenwirken und dass eine derselben in der gleichmässig um die Pflanze vertheilten Luftfeuchtigkeit zu suchen sein dürfte; nach gelegentlichen Wahrnehmungen bei *Mucor*-Culturen scheint es nämlich, als ob ungleichmässige Vertheilung der Luftfeuchtigkeit die Fruchtkörper in ähnlicher Weise afficirte, wie die Wurzeln (Bd. I. p. 209 ff.); doch werden darüber weitere Versuche zu entscheiden haben. An das Ergebniss des beschriebenen Versuchs knüpft sich aber noch eine weitere Frage: das Mycelium beider *Mucor*ineen war nämlich ganz in das rotirende Brodstück hineingekrochen, ohne irgendwo aus demselben herauszuwachsen, was unter anderen, unten zu beschreibenden Umständen regelmässig geschieht. Jedenfalls lässt sich soviel sagen, dass sich das Mycelium in dieser

Beziehung ähnlich verhält, wie echte Keimwurzeln, bei denen die Erscheinung wohl ohne Schwierigkeit auf die von mir früher beschriebene Wirkung feuchter Flächen und die Berührung eines festen Körpers zurückgeführt werden kann. Aber auch die Keimstengel phanerogamer Pflanzen verhalten sich wie die Fruchträger der Mucorineen, insofern sie sich senkrecht auf alle Flächen des rotirenden Substrats zu stellen suchen.

Am 28. Juni wurde ein feuchter Torfwürfel Fig. 1 *T* auf die Axe des Klinostaten geschoben, dessen 6 Flächen mit *Lepidium sativum* und *Linum*

Fig. 1.



Ein Torfwürfel *T* auf der rotirenden Axe *A* des Klinostaten befestigt; *a-k* während der Rotation gewachsene Keimpflanzen von *Lepidium sativum* und *Linum usit.*; *m-m3* Fruchtlräger von *Mucor mucedo*.

usitatissimum besät waren, d. h. die Samen adhärten einfach an den Torfoberflächen. Um den später sich entwickelnden Cotyledonen mehr Licht zuzuführen, wurde diesmal ein grosser Spiegel hinter dem Apparate aufgesetzt, vertical parallel mit dem Fenster. Bei der sehr günstigen Keimungstemperatur von fast constant 25° C. waren schon nach 48 Stunden die

Keimwurzeln 1—3 cm lang, auch das hypocotyle Glied von *Lepidium* 1—2 cm lang und die Cotyledonen fast entfaltet und grün. Die Wurzeln schmiegen sich den Oberflächen des rotirenden Torfwürfels fest an und waren mit Haaren dicht bedeckt; wo eine Wurzelspitze auf der Fläche hinwachsend über die Kante kam, da wuchs sie einige Millimeter frei in die Luft hinaus, bog dann aber nach der benachbarten feuchten Fläche hin, um sich an diese anzuschmiegen (Fig. 1 *r, s*). Manche drangen auch, indem sich ihre Spitze schief in die Torffläche einbohrte, immer tiefer in diese ein (*o, q*) und zuweilen geschah es, dass eine solche im Torf fortgewachsene Wurzel an einer anderen Fläche des Würfels wieder austrat (Fig. 1, *l*), um einige Millimeter in die Luft hinauszuwachsen und dann wieder nach der feuchten Fläche hinzubiegen. Nach 7—8 Tagen waren die Wurzeln 5—8 cm lang; es hatten sich zahlreiche Nebenwurzeln gebildet, welche sich ganz wie die Hauptwurzeln verhielten. Die Wurzeln zeigten also alle die Erscheinungen, wie ich sie früher als Wirkungen feuchter Oberflächen beschrieben habe, die damals festgestellte Bedingung dieses Verhaltens, dass nämlich die umgebende Luft nicht vollkommen mit Wasserdampf gesättigt sein dürfe, war ebenfalls erfüllt, schon deshalb, weil der Käfig des Apparates an den Durchgangsstellen der Axe Oefnungen von mehreren Quadratcentimetern Fläche besass. Die Keimstengel der rotirenden Pflanzen waren anfangs vielfach gekrümmt, sie nutzten sehr stark, offenbar begünstigt durch den Umstand, dass ihr Wachsthum weder durch Schwere noch durch Licht afficirt wurde. Dabei trat aber schon in den ersten 48 Stunden die Thatsache deutlich hervor, dass sich alle Keimstengel von dem Substrat emporhoben und zwar vermöge einer scharfen am Wurzelhals ausgeführten Krümmung. Später wurden die Keimstengel fast ganz gerade und standen dabei zum grössten Theil senkrecht auf den Würfflächen. Doch trat auch hier wieder die oben bei den Mucorineen beschriebene Wirkung der Beschattung durch die Axe an den Flanken des Würfels ein; die Keimstengel krümmten sich alle von dieser weg (Fig. 1, *g, h, i, k*), ganz so wie einige Mucorfäden, die zufällig neben ihnen wuchsen (Fig. 1 *m², m³*).

Das Eindringen der Wurzeln und des Myceliums in das rotirende Substrat ist unzweifelhaft eine Wirkung des feuchten Substrates selbst; wie die Aufrichtung der Fruchtträger und der Keimstengel, ihr verticaler Stand auf den Würfflächen zu erklären sind, lasse ich dahingestellt; jedenfalls ist aber auch sie nur durch das Substrat irgendwie veranlasst oder modificirt. Ganz rein kann die Wirkung des Klinostaten nur dann hervortreten, wenn die Keimpflanzen, wie bei meinen Versuchen von 1872, überhaupt nicht auf einem Substrat sich entwickeln, sondern mit Nadeln an der rotirenden Axe freischwebend befestigt sind. Ein Uebelstand des von mir benutzten Apparates liegt auch, wie gezeigt wurde, in der zu dicken Axe, die durch ihren Schatten das Wachsthum der Pflanzen auf den

beiden Flanken des Substrat-Würfels stört und eine heliotropische Krümmung erzeugt, die auf den vier anderen Flächen nicht vorhanden ist.

Unter Umständen wird es nöthig sein, die rotirende Axe viel dünner zu machen, vielleicht auch durchsichtig, sie etwa durch ein dünnes Glasrohr zu ersetzen, um ihren Schatten zu vermeiden.

Die Neigung, sich senkrecht auf das Substrat zu stellen, habe ich bei den negativ geotropischen Fruchträgern von Pilzen schon früher wahrgenommen und zwar unter Umständen, wo der negative Geotropismus und etwaiger positiver Heliotropismus überwunden werden musste. Des ersten hierher gehörigen Falles erinnere ich mich aus dem Jahre 1859, wo ich in einem Garten auf der Unterseite eines hochhängenden Kastens, in welchem eine tropische Orchidee wuchs, einen grossen weissen *Agaricus* senkrecht abwärts wachsend antraf, den Hut nach unten gerichtet, den Stiel ohne die geringste Krümmung, obgleich die Stiele der *Agarici*, wie ich 1860 zeigte ¹⁾, entschieden negativ geotropisch sind.

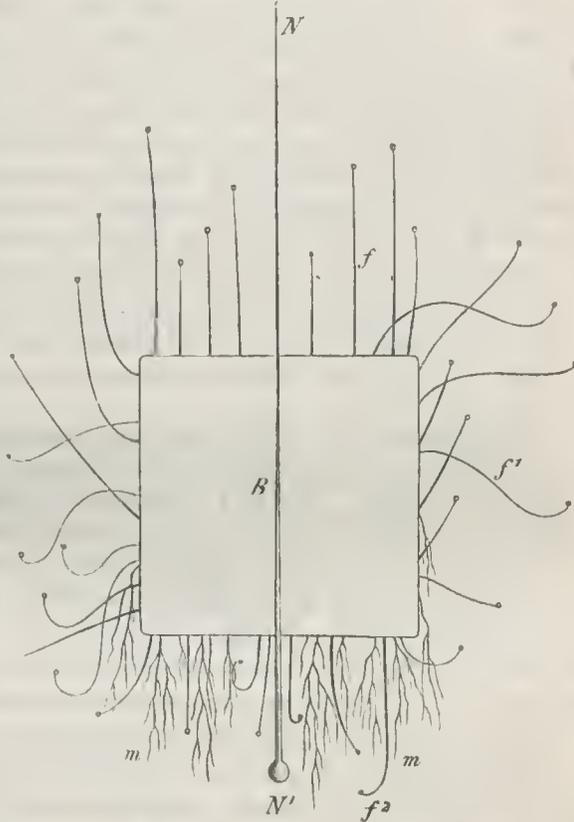
Ein zweiter Fall wurde mir 1870 bekannt. Ich hatte einen Brodwürfel mit *Mucor* besät, ihn an einer langen Nadel aufgespiesst und diese in den Kork des hohlen Glasdeckels eines grossen Glascylinders (Bd. I. p. 387) so gesteckt, dass der Brodwürfel in der Mitte des Raumes schwebte, der durch Wasser am Boden feucht gehalten wurde; der Cylinder stand in einem Schrank, geschützt gegen Licht, wo er ganz ungestört einige Tage stehen blieb. Als ich ihn herausnahm, war ich nicht wenig überrascht, zu finden, dass die Fruchträger des *Mucor* aus den verticalen Würfelflächen horizontal in die Luft hinauswuchsen; um zu sehen, ob sie in der That nicht geotropisch seien, kehrte ich den Cylinder um, und liess ihn so im Finstern stehen und schon nach wenigen Stunden fand ich die jüngeren Träger mit ihren Köpfchen aufgerichtet, und was von jetzt ab nachwuchs, war deutlich geotropisch.

Ich hatte längst gewünscht, diese Beobachtungen zu vervollständigen, und im Frühjahr 1878 unternahm ich im Zusammenhang mit anderen Versuchen über die die Richtung des Wachsthumms bestimmenden Ursachen eine Reihe von Versuchen mit *Mucor mucedo* und *Phycomyces nitens*. Brodwürfel von ca 5 cm Seite (Fig. 2 B) wurden besät und wie Fig. 2 mit langen Nadeln in grossen Präparatencylindern schwebend befestigt und durch eine Wasserschicht am Boden die Luft in dem gut geschlossenen Gefäss feucht erhalten, das Ganze sorgfältig verdunkelt und ohne Berührung oder Erschütterung ruhig stehen gelassen. Nach 2—3 Tagen (bei 16—20° C.) erschienen zuerst auf der oberen Horizontallfläche des Würfels (Fig. 2 B) zahlreiche Fruchträger (*f*), die von vornherein ganz senkrecht wuchsen; etwas später kamen dann andere auch aus den verticalen Seitenflächen des Würfels, die keineswegs sofort bei ihrem Austritt aus dem Substrat

1) Vergl. Berichte der k. sächs. Ges. d. Wiss. 1860. p. 191.

Wende ich mich nun wieder zu den Fruchträgern, so möchte ich so- gleich erwähnen, dass VAN TIEGHEM l. c. an giebt, diese wenden sich, wenn die Sporen in einen hängenden Tropfen gesäet wurden, von letzterem weg, abwärts in die Luft; auch an den Brodwürfeln, in feuchter Luft treten (aber immer erst zuletzt) aus der unteren Horizontalfläche Fruchträger hervor (Fig. 3), die zuweilen völlig vertical abwärts auswachsen, öfter aber bei ihrer Verlängerung einen Bogen aufwärts machen. (*f*²). VAN TIEGHEM be- streitet, dass der auf- rechte Wuchs der Mu- corträger unter norma- len Verhältnissen durch negativen Geotropismus bewirkt sei; aber wie ist dann die oben an- gegebene ältere Beob- achtung von mir, sowie die Aufwärtskrümmung der aus den verticalen Flächen (*f*¹) und der Unterseite des Würfels kommenden Träger zu erklären? Wir werden vielmehr sagen müssen, dass so, wie die Wur- zeln der Samenpflanzen und das Mycelium von Mucor neben ihrem po- sitiven Geotropismus noch von anderen Kräf- ten afficirt werden, die ihre Wachstumsrich- tung bestimmen, so ist es auch bei den Frucht- trägern der Mucorineen; wenn sie unter beson-

Fig. 3.



Wie Fig. 3, aber nm 24 Stunden älter.

deren Umständen ihrem negativen Geotropismus nicht folgen, weil andere Kräfte stärker einwirken, so ist damit ihr Geotropismus ebensowenig wider- legt, wie etwa das Gewicht eines Stückes Eisen gelegnet werden könnte, weil es von einem Magneten schwebend erhalten wird.

VAN TIEGHEM, der den Geotropismus der Mucorineen leugnet, sucht die Ursache ihrer Wachstumsrichtungen in einer Eigenschaft, welche er »So- matotropismus« nennt. Indem er die »Arcaden-Krümmungen der fructifi- cirenden Stolonen von Absidia« zu erklären sucht, kommt er zu dem Schluss:

«Ce n'est donc (l. c. p. 58), on le voit, ni comme milieu nutritif, ni comme source d'humidité, mais simplement comme masse, que le substratum agit sur le tube fructifère des *Absidia*« u. s. w. Ferner: »De même nature, que l'influence de la pesanteur sur une racine principale, cette action de masse en diffère parce qu'elle ne s'exerce qu'à petite distance, qu'elle est limitée par conséquent à la couche superficielle du sol« u. s. w. Dies ist der Somatotropismus. Da die mit dieser Eigenschaft ausgestatteten Pflanzen, wie ausdrücklich hervorgehoben wird, durch die Action der Masse afficirt werden, so wäre der Somatotropismus eine Wirkung der Gravitation und nur eine andere Form des Geotropismus, der ja auch eine Wirkung der Masse des Erdkörpers ist; wir müssten demnach zweierlei Wirkungen der Masse oder der Gravitation unterscheiden; eine solche, welche der ganze Erdkörper ausübt, und eine zweite, die jeder an Masse dagegen verschwindend kleine Körper hervorbringt, wenn er in sehr kleiner, aber doch messbarer Distanz der Pflanze gegenübersteht. Daraus würde nun aber folgen, dass die Massenwirkung der ganzen Erde auf so eine Pflanze geringer wäre als die Massenwirkung eines kleinen Glasstückchens, oder die durch letzteres erzeugte Acceleration müsste viel grösser sein als der Werth g , was wohl Niemand zugeben wird. Wird diese Folgerung aber zurückgewiesen, so kann es sich bei dem »Somatotropismus« auch nicht mehr um eine Massenwirkung handeln.

Jedenfalls beweisen meine oben mitgetheilten Erfahrungen, dass die beiden oben genannten Mucorineen im Wesentlichen ganz dieselben Erscheinungen zeigen, wie die Keimpflanzen der Phanerogamen; das Mycelium verhält sich wie die Wurzeln, es ist positiv geotropisch, für den Einfluss feuchter Flächen (und wohl auch für die Berührung mit festen Körpern) empfindlich und dringt daher in das Substrat ein, auch wenn dieses langsam rotirt; die Fruchtträger der Mucorineen aber verhalten sich wie Keimstengel, sind negativ geotropisch und werden zugleich bei langsamer Rotation in verticaler Ebene durch andere Kräfte so afficirt, dass sie sich auf den Substratflächen senkrecht zu stellen suchen.

Ganz so wie die Mucorineen, deren Geotropismus ich constatire, während VAN TIEGHEM ihn leugnet, verhalten sich aber auch hoch entwickelte Pilze, deren negativer Geotropismus leicht zu constatiren ist, wie folgender Versuch lehrt.

In einen Beutel von grossmaschigem Stramin wurde frischer Pferdedünger so eingefüllt, dass das Ganze eine Kugel bildete, die an dem Deckel eines grossen Präparatencylinders aufgehängt wurde, so dass sie in dem feuchten Raum desselben frei schwebte. Da die Ausbildung der kleinen *Coprinus*, welche sich regelmässig auf dem genannten Substrat entwickeln, durch das Licht bekanntlich begünstigt wird, einseitige Beleuchtung aber heliotropische Krümmungen verursacht haben würde, so stellte ich den Cylinder nicht ins Dunkle, sondern auf den Teller eines Drehwerkes, der

sich in circa 50 Minuten einmal umdrehte, wobei die Keimpflanzen von Phanerogamen sowie auch *Mucor* ganz gerade aufwärts wachsen, obgleich das Licht einseitig von einem Südfenster kommt. Aus dem kugeligen Substrat kamen nun zuerst nach einigen Tagen, durch die Maschen des *Straminis* austretend, sehr zahlreiche *Pilobolus*-Fruchtträger zum Vorschein, die, nur etwa 3—4 mm lang, auf der Kugelläche senkrecht standen, d. h. auf der Unterseite der Kugel abwärts, an den Flanken horizontal u. s. w. waren. Einige Tage später erschienen nun auch sehr zahlreiche *Coprinen*, deren Stiele 6—8 cm lang, deren sich rasch entfaltende Hüte 10—15 mm breit wurden. Sie traten an allen Stellen der Kugel aus den Maschen des *Straminis* hervor; die meisten, zumal an den Flanken der Kugel, krümmten sich sofort nach ihrem Austritt scharf aufwärts; die auf der Unterseite der Kugel entspringenden dagegen wuchsen meist in der Richtung der Kugelradien schief abwärts, dabei eine leichte Krümmung nach oben zeigend, um den Hut mehr oder weniger in seine normale Lage zu bringen, was oft durch eine kräftige Krümmung unmittelbar unter dem Hut gelang. Endlich traten auch einige Exemplare am untersten Theil der Kugel hervor und diese wuchsen ganz gerade abwärts, nicht einmal der Theil des Stiels dicht am Hut machte eine Krümmung, so dass der ganze Stiel und Hut umgekehrt, gewissermassen auf dem Kopfe stand. Es leuchtet aus dem in der folgenden Abhandlung über die geotropisch wirksame Sinuscomponente der Schwere zu Sagenden ein, dass gerade die von vornherein senkrecht abwärts wachsenden Exemplare am leichtesten ohne geotropische Krümmung bleiben müssen, weil bei ihnen die geotropisch wirksame Componente der Schwere gleich Null oder doch sehr klein ist, während die jungen Pilze, welche ihrer ersten Anlage nach horizontal aus der Kugel hervorzuschliessen, der Schwere den allergünstigsten Wirkungswinkel darbieten und demgemäss auch sehr energische Aufwärtskrümmungen erfahren.

Die *Coprini* auf dem Pferdederung verhalten sich also gerade so wie die *Mucor* und *Phycomyces* auf den Brodwürfeln; sie unterlagen zwei scheidenden Einwirkungen, von denen die eine unzweifelhafter Geotropismus ist, die andere aber, die von unbekanntem Ursachen abhängt, die Verticalstellung auf dem Substrat hervorzubringen sucht.

Wenn irgend eine Frage an *Klinostaten* ihre Lösung zu finden bestimmt ist, so wird es, wie ich glaube, die sein, durch welche Ursachen die Verticalstellung auf dem Substrat hervorgerufen wird, weil durch diesen Apparat die Mitwirkung des Geotropismus wie des Heliotropismus ausgeschlossen werden kann. Einige von mir bereits in dieser Richtung unternommene Versuche mussten aus äusseren Gründen unbeeidigt bleiben.

Würzburg, im December 1878.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: [Ueber Ausschliessung der geotropischen und heliotropischen Krümmungen während des Wachsens 209-225](#)