

V.

Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch feuchte Körper.

Von

Dr. Julius Sachs.

Die bekannten Versuche KNIGHT's und JOHNSON's, welche den Einfluss der Schwerkraft auf die Wachstumsrichtung der Wurzeln betreffen, sind in den letzten Jahren vielfach citirt, wiederholt und besprochen worden; dagegen scheinen diejenigen Untersuchungen derselben Forscher, welche die Wirkung feuchter Körper auf die Wurzelrichtung darthun, wieder ganz in Vergessenheit gerathen zu sein, obgleich DUCHARTRE 1856 die Aufmerksamkeit auf dieselben zu lenken suchte. In seiner Abhandlung: *Influence de l'humidité sur la direction des racines*¹⁾ citirt er, und wie es scheint wörtlich übersetzt, folgende Mittheilung KNIGHT's:²⁾ „Einige Bohnensamen (*Fève commune*) wurden auf der Oberfläche der Erde in Blumentöpfen befestigt, in vier Zoll entfernten Reihen. Ein aus Holzstäbchen gemachtes Gitter wurde dann auf jeden Topf so befestigt, dass man diesem jede beliebige Stellung geben konnte, ohne dass Erde und Samen herabfielen. Die Stäbchen des Gitters waren so angebracht, dass sie die austretenden Keimwurzeln nicht hinderten. Die Töpfe wurden nun völlig umgekehrt, die Samen befanden sich somit auf der Unterseite der Erde, in welche sie nur halb eingesenkt waren. So befand sich jede austretende Keimwurzel oberwärts in Berührung mit der Erde, unterwärts mit der Luft. Durch das Bodenloch des umgekehrten Topfes wurde dann hinreichend Wasser eingeführt, um die Erde mässig feucht zu halten; nachdem die Töpfe in einem Warmhause aufgehängt waren, begannen die Samen bald zu keimen

1) DUCHARTRE im bulletin de la société Botanique de France, 28 Novbr. 1856.

2) Dieselbe wurde der Königl. Gesellschaft in London 1844 am 7. März vorgelesen und dann in: a selection from the physiological and horticultural papers London 1844 pp. 157—164 veröffentlicht. — Diese so wichtige Sammlung von KNIGHT's Schriften habe ich bisher vergeblich in Bibliotheken und antiquarischen Catalogen gesucht, ein Wiederabdruck derselben wäre sehr erwünscht.

... Unter diesen Verhältnissen verlängerten sich die Wurzeln horizontal längs der Unterfläche der Erde und im Contact mit dieser und nach einigen Tagen producirten sie auf ihrer Oberseite viele Seitenwurzeln, welche in die Erde eindrangten, völlig so, als ob sie durch thierischen Instinct dorthin geleitet worden wären ... Diese Wurzeln erhoben sich bis über die Mündung der Erde in den Töpfen ... Der Versuch wurde wiederholt, indem man so oft und so reichlich Wasser gab, dass alle Theile der Wurzeln gleichmäßig feucht erhalten werden; in diesem Falle gehorchten sie vollständig dem Gesetz der Gravitation, ohne irgend wie von der über ihnen befindlichen Erde beeinflusst zu werden.“

Aus JOHNSON'S mir leider ebenfalls unzugänglicher Arbeit: The unsatisfactory nature of the theories proposed to account for the descent of the radicles etc.¹⁾ (1829) citirt DUCHARTRE Folgendes: „JOHNSON überspannte einen breiten und kurzen Cylinder mit einem engmaschigen Netz, bildete so ein Gefäß, welches auf drei Füßen ruhte und mit Erde gefüllt wurde. In diese wurde Senf gesät, und täglich begossen; mehrfach wiederholte Versuche ergaben folgendes sehr merkwürdige Resultat. Sobald die Keimung begonnen hatte, wuchsen die Wurzeln abwärts und zeigten sich auf der Unterseite des Netzes; aber kaum hatten sie dieses durchsetzt, als sie auch statt ihre gewohnte Richtung zu verfolgen, bei einer Länge von circa 1/2 Zoll jedesmal (invariablement) anfangen, sich aufwärts zu wenden, um die Erde wieder zu erreichen; oft krochen sie längs der Unterfläche derselben hin oder sie durchbohrten das Netz zwei- oder dreimal“ ... Ferner: „Ein Schwamm wurde in der Mündung eines Bierglases befestigt und seine Oberfläche mit dem Rande desselben gleich abgeschnitten. Einige vorher wohl eingeweichte Senfsamen wurden ein wenig unter die Oberfläche des Schwammes eingesenkt, um ihre ganze Oberfläche feucht zu erhalten. Diese Vorrichtung wurde nun im Garten aufgehängt, die Oeffnung des Glases nach unten gekehrt und täglich befeuchtet. In vier Tagen hatten 12 Samen gekeimt und drei derselben waren mit ihrer Wurzel von unten nach oben in den Schwamm gewachsen. Die Wurzeln der anderen neun verlängerten sich anfangs abwärts, dann aber suchten alle mehr oder weniger von der Feuchtigkeit des Schwammes zu profitieren, in dem sie längs seiner Unterfläche hinliefen.“ Endlich brachte JOHNSON 3 Centimeter unter den Rand eines grossen Bierglases, mittels eines Eisendrahringes ein Netz an, über welchem der Raum mit Erde gefüllt wurde; in diese säete

1) H. JOHNSON in Edinburgh new philosophical Journal Octbr. 1828 — März 1829 pp. 312—317. — Ein Referat dieser Arbeit findet sich auch in Linnæa V. 1830 pp. 445—448, aber wie es scheint, ungeschickt übersetzt, eine wichtige Stelle p. 446 ist gradezu unverständlich.

2) Letzteres nach der Linnæa l. c. DUCHARTRE sagt: dans deux ou trois cas. Obiges passt besser zu meinen eigenen Versuchen.

er Senf; bei dieser Einrichtung, fährt DUCHARTRE in dem Citat fort, wurde die im unteren Theil des Glases eingeschlossene Luft bald mit Wasserdampf gesättigt, da sie sich beständig in Berührung mit der feuchten Erde oder selbst mit dem durchgetropften Wasser befand. Als nun die Wurzeln aus der Erde in diese Luft eintraten, erfuhren sie keine Einwirkung, welche ihre natürliche Tendenz nach unten verändern konnte; so verlängerten sie sich denn auch vertical abwärts, ohne irgend wie von ihrer normalen Richtung abzuweichen.

Mit Recht weist DUCHARTRE die Einwendungen, welche man gegen diese Resultate aus DUHAMEL's und DUTROCHET's Versuchen entnehmen könnte, zurück; diejenigen DUHAMEL's können schon ihrer Methode nach hier kaum in Betracht kommen¹⁾ und von den beiden Versuchen DUTROCHET's berechtigt keiner zu der von ihm gezogenen Folgerung: *que les racines n'ont aucune tendance vers les corps humides.*²⁾ Er liess nämlich einmal Bohnen in einer mit Erde gefüllten Schachtel, deren Boden durchlöchert war, und welche er hoch in freier Luft aufgehängt hatte, keimen; die durch die Löcher ausgetretenen Keimwurzeln verlängerten sich nur wenig und vertrockneten bald, offenbar in Folge zu starker Verdunstung in der zu trockenen Luft. Bei dem anderen Versuch wuchs die Wurzel einer Bohne zwar weiter aber senkrecht abwärts, weil die Luft in dem Recipienten offenbar mit Dampf gesättigt war, und so der daneben befindliche feuchte Schwamm eben keine Wirkung äussern konnte; denn es geht schon aus den Ursachen KNIGHT's und JOHNSON's, noch mehr aber aus meinen eigenen Untersuchungen hervor, dass, wie im Voraus zu erwarten ist, eine Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Richtung nur dann eintritt, wenn sie auf der einen Seite einer grösseren Feuchtigkeit ausgesetzt sind als auf der anderen.

DUCHARTRE hat die grosse Bedeutung der von ihm wieder an das Licht gezogenen Versuche KNIGHT's und JOHNSON's richtig erkannt, dieselben jedoch nicht wiederholt und übersehen, dass sie, den Anforderungen der neueren Pflanzenphysiologie gegenüber, an mehr als einem Mangel leiden.³⁾ Vor Allem sind diese Versuche sämtlich so eingerichtet, dass das Licht die aus der Erde ausgetretenen Wurzeln treffen, und zwar auf der einen Seite mit grösserer Intensität als auf der anderen treffen musste, der Verdacht der Mitwirkung des Heliotropismus ist daher nicht ausgeschlossen; ferner ist die Stelle der Wurzel, an welcher die Krümmung zum feuchten Körper hin eintritt, nicht näher bezeichnet; es könnte ja eine andere, als die von der Schwere und der Centrifugalkraft afficirte Stelle sein; endlich ist die

1) DUHAMEL, *Phys. des arbres* II. liv. IV. 6 p. 437—445.

2) DUTROCHET, *Mémoires pour servir etc.* II. p. 3—5.

3) Auf DUCHARTRE's eigene Beobachtungen, die, was er ebenfalls übersieht, mit den bereits genannten durchaus nicht in eine Reihe zu stellen sind, komme ich am Schluss dieses Artikels zurück.

nächst eine Schicht feuchter Sägespäne¹⁾, etwa 2 Ctm. dick aus, legt darauf die Samen *g, g, g* und bedeckt diese mit einer 2—3 Ctm. dicken Schicht feuchter Sägespäne Fig. 3 ff. In dieser Form ist der Apparat besonders für grössere Samen (*Pisum*, *Phaseolus*, *Faba*, *Zea*, *Helianthus*, *Tropaeolum*, *Ipomaea*) sehr geeignet. Einige solche hängende Keimböden, gleichartig hergerichtet, werden nun in einem finstern Zimmer aufgehängt; bei dieser Gelegenheit sei ein für allemal hervorgehoben, dass alle meine Versuche unter Abschluss des Lichts, in einem finstern Zimmer oder in einem hölzernen Schrank gemacht wurden, um die Mitwirkung des Heliotropismus zu vermeiden. Obgleich die Luft in der Umgebung des Apparats nicht mit Wasserdampf gesättigt sein darf, wenn der feuchte, schwebende Keimboden auf die Wurzeln ablenkend einwirken soll, muss man doch allzu grosse Trockenheit vermeiden, da sonst die unten hervortretenden Wurzeln leicht vertrocknen. Es genügt, den Boden des finstern Zimmers mit Wasser täglich einmal oder öfter zu besprengen, so dass die psychrometrische Differenz der Luft etwa 1,5—2,0° R. beträgt.

Hängt nun das Tüllsieb horizontal, so treten die Hauptwurzeln der Keimpflanzen senkrecht durch die Maschen hervor, um in dieser Richtung 10—30 Millim. abwärts zu wachsen; da der feuchte Körper, von allen Seiten her gleich weit von einem gegebenen Punkte der Wurzelspitze entfernt ist, diese also allseitig gleiche Umgebung vorfindet, so kann eine Krümmung nicht eintreten, die Wurzelspitze folgt dem Zug der Schwere allein; entfernt sie sich dabei zu weit von dem Herde der Dampfbildung, kommt sie zu tief in die trockenere Luft abwärts, so vertrocknet sie und stirbt ab. Nicht selten kommt es jedoch vor, dass einzelne Wurzelspitzen, nachdem sie sich bereits 5—10 Mill. weit von der feuchten Fläche entfernt haben, plötzlich umbiegen, einen Bogen von 2—3 Mill. Radius beschreibend zum Keimboden zurückwachsen, in diesen von unten her eindringen oder ihm angeschmiegt an seiner Unterseite hinwachsen. Ich erkläre mir diese Erscheinung durch die Annahme, dass solche Wurzeln, wie es auch sonst häufig vorkommt, aus inneren Wachstumsursachen Nutationskrümmungen machen, auf diese Weise mit einer Seite der feuchten Fläche näher kommen und nun von dieser zur weiteren Krümmung veranlasst werden. Die oberhalb und unterhalb des Tülls entspringenden Nebenwurzeln würden, wenn der feuchte Keimboden nicht da wäre, oder wenn er sich in dampfgesättigter Luft befände, schief, beinahe horizontal in einem sanften Bogen abwärts wachsen; unter den gegebenen Verhältnissen geschieht diess jedoch nicht; vermöge ihrer natürlichen Richtung ist ihre Oberseite der feuchten Unter-

¹⁾ Man kann den Apparat auch in der Weise herstellen, dass man eine ihres Bodens beraubte Holzschachtel mit einem Netz aus Bindfaden überspannt, auf dieses feuchtes Filtrirpapier legt, auf dem man dann die Sägespäne oder Erde ausbreitet. Die Wurzelspitzen durchbohren das Fliesspapier, auch wenn es in mehrfacher Lage vorhanden ist.

seite des Keimbettes zu, ihre Unterseite dieser abgekehrt: es bedarf gewöhnlich nur einer unbedeutenden Krümmung, um die fortwachsenden Spitzen mit dem Tüll in Berührung zu bringen, an welchem sie nun dicht angeschmiegt 5—10 und mehr Ctm. weit hinwachsen; nicht selten geschieht es, dass die Spitze durch eine Tüllmasche aufwärts in die feuchte Masse eindringt, um alsbald wieder durch eine andere Masche abwärts auszutreten und dasselbe Spiel öfter zu wiederholen, so dass die Wurzel wie der Faden in einer Naht verläuft.

Hängt das Sieb schief, etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt (Fig. 3), so können auch hier die unten senkrecht hervortretenden Wurzeln einige Millimeter weit grade abwärts fortwachsen, (Fig. 3 *h*) bevor sie durch eine kräftige Krümmung über der Spitze der Unterfläche des Keimbodens sich anschmiegen; gewöhnlich ist es jedoch, dass die Krümmung erfolgt, sobald die krümmungsfähige Stelle in die Tüllmasche eintritt; die Spitze legt sich sofort schief an die Unterfläche an und wächst nun an dieser dicht angeschmiegt abwärts fort; ebenso verhalten sich die Nebenwurzeln. Auch hier kommt das eben erwähnte wellenförmige Auf- und Abwachsen, wodurch die Wurzel in die Tüllmaschen gewissermassen eingenäht wird, nicht selten vor (Fig. 3 *m m*). Die Erscheinung ist leicht erklärlich: die durch die feuchte Fläche afficirte Wurzelspitze wächst durch eine Tüllmasche aufwärts und kommt durch die Streckung hinter ihr in die Sägespäne (oder das Fliesspapier); hier ist sie allseitig gleichmässig von Feuchtigkeit umgeben und gehorcht nur der Einwirkung der Schwere allein indem sie wieder abwärts wächst, dabei kommt sie aber schief unter die Tüllfläche, was sie abermals zur Aufwärtskrümmung veranlasst u. s. f.

Die Richtung der Hauptwurzeln an der Unterfläche des Siebbodens ist ziemlich streng bei allen dieselbe; denkt man sich durch die Austrittsstelle der Wurzel eine Linie an der Siebfläche so gelegt, dass diese den Neigungswinkel der Letzteren zum Horizont angiebt, so folgt die Wurzel der abwärts gehenden Richtung dieser Linie, niemals der aufwärts gehenden; mit anderen Worten die Wurzel wendet sich bei ihrem Austritt nach der Seite hin, wo das Keimbett mit der Verticale den kleinsten spitzen Winkel bildet, also nach der Seite, wo sie der feuchten Fläche am nächsten und von der Richtung der Schwere am wenigsten abgelenkt ist. — Bei den Nebenwurzeln kann diess nicht so deutlich hervortreten, da sie nach allen Richtungen hin aus der Hauptwurzel entspringen, doch lässt sich die Tendenz in diesem Sinne nicht verkennen.

Zuweilen, doch selten geschieht es, dass die der Unterfläche des Keimbodens bisher angeschmiegte Wurzelspitze sich von ihr abwärts entfernt, dem überwiegenden Zug der Schwere folgend, (Fig. 3 *i k*) gewöhnlich biegt sie dann wieder aufwärts, um angeschmiegt fortzuwachsen. Ich habe versäumt, nachzusehen, ob diess nur dann geschieht, wenn etwa der Winkel,

den di
bestim
D
man c
Wasser
hohe C
Wasser
die Oe
Falle v
recht
die Te
komme
mässig
Schwe
2
durch
Samen
Haupt
so an
wenig
pidium
sie au
weit k
dringe
V
tragen
Raum
Ersche
S
dünne
eines
Boden
gebild
Platte
vorhe
langer
niolw
aus d
Unter
zuwei
ist de
selbst
und

den die angeschmiegte Wurzel mit der Richtung der Schwere macht, eine bestimmte Grösse überschreitet, was ich für wahrscheinlich halte.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen unterbleiben vollständig, wenn man den schwebenden Keimboden schief oder horizontal in einem mit Wasserdampf nahezu gesättigten Raume aufhängt, wozu ich eine grosse hohe Glasglocke in umgekehrter Stellung benutze; es genügt, ein wenig Wasser in die Wölbung derselben zu giessen und den Apparat an einen die Oeffnung der Glocke verschliessenden Deckel zu hängen. In diesem Falle wachsen die aus den Tüllmaschen hervortretenden Hauptwurzeln senkrecht abwärts, die Nebenwurzeln in weitgeöffnetem Bogen schief abwärts; die Tendenz zur Anschmiegun an die Unterfläche des Keimbettes ist vollkommen verschwunden, offenbar weil die Wurzeln jetzt allseitig gleichmässig von Feuchtigkeit umgeben sind; sie folgen nun dem Zug der Schwere allein.

2) Torfziegeln, Stücke von gepresstem Torf, vollständig mit Wasser durchtränkt, sind für unsere Versuche ebenfalls sehr geeignet. Grössere Samen lasse ich vorher solange in feuchten Sägespänen liegen, bis die Hauptwurzel 10—12 Mill. lang ist; dann werden sie mittels dünner Nadeln so an den Torf gespiesst, dass die Wurzel diesem anliegt oder doch nur wenig von ihm entfernt ist. Kleine Samen, wie die von Brassica und Lepidium sativum braucht man gar nicht besonders zu befestigen; ich streue sie auf die horizontale Fläche des feuchten Torfziegels und lasse sie so weit keimen, dass die Hauptwurzel eben anfängt in die Torfmasse einzudringen.

Werden nun die Torfziegeln im finstern Raum mit der die Samen tragenden Fläche abwärts 1) horizontal, 2) schief, 3) im dampfgesättigten Raum horizontal oder schief aufgehängt oder aufgestellt, so treten dieselben Erscheinungen wie bei dem Tüllsieb mit Sägespänen ein.

Schneidet man von einem Torfziegel (in trockenem Zustand) eine dünnere Platte, von etwa 2 Ctm. Dicke ab, durchlöchert man diese mittels eines Korkbohrers von ungefähr 4—5 Mill. Weite, so kann man sie als Boden eines Kastens benutzen, dessen Seitenwände von dickem Stanniol gebildet werden, den man mit zahlreichen Stecknadeln an den Seiten der Platte befestigt. Nachdem diese mit Wasser durchzogen ist, steckt man vorher gekeimte Samen (Erbsen, Bohnen u. dgl.) mit den etwa 4 Ctm. langen Wurzeln in die Löcher, füllt das Gefäss bis zum Rande der Stanniolwände mit feuchten Sägespänen und hängt es nun schief auf. Die bald aus den Löchern hervortretenden Wurzeln krümmen sich abwärts nach der Unterfläche des feuchten Torfes hin und wachsen ihm dicht angeschmiegt, zuweilen in ihn eindringend und wieder heraustretend, fort. Ganz anders ist der Effect, wenn man bei Aufertigung dieses Gefässes den Torfboden selbst mit einer Stanniolplatte auf seiner Aussen-, d. h. Unterseite bedeckt und diese gleichzeitig mit der Torfplatte durchbohrt. Bei übrigens gleicher

Einrichtung des Versuchs wachsen nun die Wurzeln in den Löchern bis zu deren unterem Rande; kommen sie aus diesen wirklich hervor, so vertrocknen die Spitzen bald, da die Stannioldecke die Dampfbildung hindert; sehr häufig aber krümmen sich die Wurzelspitzen an der unteren Oeffnung der Löcher angelangt, scharf rückwärts, um sogleich wieder in entgegengesetzter Richtung in den feuchten Raum der Löcher einzudringen.

Ist also die Unterfläche des Keimbodens trocken, so schmiegen sich die hervortretenden Wurzeln ihm nicht an und man begreift, dass DUTROCHET'S erster Versuch (l. c. p. 3) zu keinem günstigen Resultat führen konnte.

3) Ich habe die Versuche ausserdem an einer Gypsplatte, an mit Erde oder feuchten Sägespänen gefüllten Säcken, und mit Badeschwämmen angestellt. — Es wurde eine grosse Gypsplatte frisch gegossen, so lange sie noch weich war Korke darin befestigt und an diese, nach der Erhärtung der Masse gekeimte Erbsen mit Stecknadeln befestigt, so dass die 1—2 Cm. langen Hauptwurzeln der feuchten Gypsplatte anlagen oder doch nur 1 Mill. entfernt waren; um den Cotyledonen genügende Feuchtigkeit zuzuführen, wurden diese mit durchtränkten Leinwandstreifen noch besonders bedeckt und täglich von Neuem befeuchtet; die Platte wurde, die mit Samen besetzte Seite abwärts, schief mit einer Neigung von c. 45° zum Horizont aufgestellt; die Wurzeln verlängerten sich beträchtlich und die Mehrzahl schmiegte sich dabei der Gypsplatte dicht an. — Bequemer ist es, den Versuch an mit Erde oder Sägespänen gefüllten Säcken zu machen; diese werden nach der Füllung flach und breit gedrückt, auf einem Brettchen festgenagelt. Keimende Samen von Phaseolus, Faba, Pisum u. dgl. werden mit Stecknadeln so befestigt, dass die bereits ausgetretenen Wurzeln dem feuchten Sacke anliegen und die Brettchen schief aufgestellt, die samen-tragende Seite nach unten gekehrt; die Wurzelspitzen schmiegen sich dem Sack so fest an, dass sie ihn eindringen, ja mehrfach kommt es vor, dass sie die dichte (alte) Leinwand durchbohren, in die feuchte Füllmasse eindringen, wieder austreten und sich so gewissermaassen in die Leinwand einnähen. Die Nebenwurzeln, welche durch den Ort ihrer Entstehung der feuchten Fläche von vornherein benachbart sind, schmiegen sich ihr an und man bekommt ganze Wurzelsysteme auf diese Weise flächenförmig ausgebreitet, angeschmiegt und „eingenäht“; nur die auf der Aussenseite, d. h. auf der dem feuchten Körper abgekehrten Seite der Hauptwurzel entspringenden Nebenwurzeln vertrocknen meist frühzeitig, nur einzelne krümmen sich seitwärts und gelangen bis an die feuchte Fläche, wo sie ebenfalls angeschmiegt fortwachsen. — Am wenigsten bequem sind Badeschwämme; ihre Oberfläche ist meist zu uneben und sie trocknen zu leicht aus; trotzdem habe ich auch mit ihnen ganz überzeugende Präparate gewonnen. Keimende Erbsen wurden einfach in die natürlichen Löcher des Schwammes eingeklemmt oder auch mit Nadeln befestigt, so dass die bereits ausgetretenen Wurzeln dem Schwamme anlagen; dieser selbst wurde

frei aufgehängt. Ich habe so reichverzweigte Wurzelsysteme sich entwickeln sehen, die dem Schwamm auf seiner Unterseite angeschmiegt waren; die Wurzeln folgten den grossen Unebenheiten der Unterfläche und drangen nicht selten in die Löcher aufwärts ein. Bei Versuchen an Schwämmen ist besonders deutlich zu sehen, wie Wurzelspitzen, die bereits einige Millimeter, oft selbst 5 Mill. weit von der nächsten Stelle der feuchten Fläche sich entfernt haben, von dieser afficirt werden, sich aufwärts krümmen und wieder in Berührung mit ihr kommen. Hängt man den Schwamm in einem geschlossenen Glascylinder auf, so folgen die Wurzeln ihrer gewöhnlichen Wachstumsrichtung. Durocher's zweiter Versuch (l. c. p. 4), wo innerhalb eines mit Dampf gesättigten Becherglases eine Bohne neben der senkrechten Fläche eines feuchten Schwammes befestigt war, konnte also kein anderes Resultat ergeben, als dass die Wurzeln sich so verhielten, wie wenn der Schwamm gar nicht da gewesen wäre.

Ich habe nachträglich noch zu bemerken, dass es in allen Fällen nöthig ist, die feuchten Keimböden wiederholt, am besten täglich einmal neu zu befeuchten, indem man sie sammt den Keimpflanzen ganz untertaucht oder mit einer Spritzflasche begiesst. Wo die Samen mit Nadeln am Keimboden aussen befestigt sind, ist es gut die Cotyledonen noch mit einem feuchten Körper besonders zu umgeben.

Während die Wurzeln an den feuchten Unterflächen angeschmiegt fortwachsen, entwickeln sich auch die Keimstengel; an ihnen ist irgend ein Einfluss des feuchten Körpers auf die Wachstumsrichtung nicht wahrzunehmen; soweit es die Umgebung erlaubt, wachsen sie senkrecht aufwärts, was besonders bei dem Tüllsieb klar hervortritt.

Diese Versuche, zumal mit Torfziegeln und dem Tüllsieb sind so leicht anzustellen, und ihr Erfolg ist so sicher, dass sie sich zu Demonstrationen in Collegien besonders eignen.

Weitere Untersuchungen werden vermuthlich zeigen, dass die Fähigkeit der Luftwurzeln epidendrischer Orchideen und Aroideen, sich an feuchten rauhen Flächen dicht anzuschmiegen, wenigstens zum Theil auf denselben Ursachen beruht, wie die Anschmiegun gewöhnlicher Wurzeln an feuchte Oberflächen.

Die Thatsache, dass sich die Wurzeln an ihrem wachsenden Endstück da, wo dasselbe noch für die Wirkung der Schwere und der Centrifugalkraft empfindlich ist, nach einer feuchten Oberfläche hinkrümmen, wenn die Atmosphäre nicht mit Wasserdampf gesättigt ist, könnte nun zunächst in folgender Weise gedeutet werden; die dem feuchten Körper zugekehrte Seite wird concav weil sie langsamer, die der trockneren Luft zugekehrte Seite der Wurzel wird convex, weil sie schneller wächst. Die Oberfläche des feuchten Körpers aber ist, da sie sich in einer nicht gesättigten Atmosphäre befindet, durch ihre Dampfbildung kälter als diese letztere, und man könnte die Wurzelkrümmung somit als eine Wärmewirkung auffassen wollen,

indem man annähme, dass die der trockeneren Luft zugekehrte Wurzelseite auch die wärmere also schneller wachsende sei und dass sie daher convex werden müsse. Allein die der trockeneren Luft zugekehrte Wurzelseite verdunstet selbst, ist selbst ein feuchter Körper, der sich durch Transpiration abkühlt, so gut wie die Oberfläche des feuchten Keimbodens; die etwaige Temperaturdifferenz muss also auf der dem Keimboden zu- und abgekehrten Wurzelseite entweder Null oder ausserordentlich gering sein, auch in dem Falle, dass die Wurzel von der feuchten Oberfläche um einige Millimeter entfernt ist. Sobald aber die Wurzel der Letzteren dicht angeschmiegt ist, bildet ihre freie Oberfläche selbst einen Theil der durch Verdunstung sich abkühlenden Oberfläche des Keimbodens und auch in diesem Falle wird eine irgend erhebliche Temperaturdifferenz der angeschmiegtten und freien Wurzelseite nicht zu Stande kommen. Etwaige Zweifel in dieser Richtung würden sich vielleicht mit Hilfe eines thermoelectrischen Apparates beseitigen lassen, der mir in geeigneter Form gegenwärtig nicht zu Gebote steht. Ich versuchte jedoch auf andere Weise die Frage, ob Temperaturdifferenzen beider Wurzelseiten die Krümmung bewirken, zu lösen. Es wurde ein parallelepipedischer Blechkasten von 25 Ctm. Länge (liegend) und etwa 14 Ctm. Höhe und Tiefe, oben mit breitem Deckel, rechts und links offen hergestellt; die beiden Oeffnungen des Kastens lassen sich auf zwei beinahe würfelförmige Blechgefässe so aufschieben, dass diese gewissermaassen die rechte und linke Wand bilden. Diese Blechwürfel stehen auf Dreifüssen; der eine wird mit Wasser gefüllt und durch eine Lampe geheizt, der andere mit Eisstücken gefüllt. In den Kasten zwischen den Würfeln werden an durchtränkten Torfstücken mittels langer Nadeln keimende Samen (Erbsen, Faba) in verschiedener Lage befestigt; der Deckel zugemacht; durch zwei Löcher in demselben berusste Thermometer eingeführt. Die Luft in der Umgebung der Samen ist nun mit Wasserdampf beinahe ganz gesättigt, die Wärmestrahlung der beiden Blechwürfel aber bewirkt an den Keimwurzeln rechts und links eine Temperaturverschiedenheit; die beiden neben den Samen befindlichen, von der kalten und warmen Würfelfläche um 3 Ctm. entfernten Thermometer differirten in meinen Versuchen gewöhnlich um 3° C.; da jedoch (der Feuergefahr wegen) über Nacht nicht geheizt wurde, glich sich diese Differenz bis Morgens um 7 Uhr meist bis auf einige Zehntelgrade aus. Nach mehrtägiger Fortsetzung der Versuche waren die Wurzeln beträchtlich gewachsen, aber abwärts; einige zeigten leichte Krümmungen, aber ohne bestimmte Beziehung zur Vertheilung der Wärme im Kasten.

Wenn ich nun auch nach diesen und einigen anderen nicht ganz conclusiven Versuchen die Frage, ob die verschiedene Temperatur der beiden fraglichen Wurzelseiten die Ursache der Krümmung ist, noch nicht für erledigt halte, so ist sie doch sehr wahrscheinlicherweise zu verneinen, besonders auch deshalb, weil bei einer der feuchten Fläche angeschmiegtten

Wurzel
als die
die bere
fläche v
Wurzel
timeter
spitze g
andere
Es
der zu-
Krümm
dass die
gesetzt
Seite al
zur feu
ausse
zugekeh
Da
Fragen
Oberfläc
weilen
Ers
dichen
,,Unters
Caesius
trefflich
obachtu
p. 33 h
von Zea
Wasser
abwärts
wärts,
von 3-
Wasser
mung a
dieses
der Wu
Spitze
Steht s
gen, so
,,Diesel
horizon
bei and

Wurzel die freie Seite durch die Verdunstung ein wenig kälter sein müsste, als die andere, was nach der fraglichen Annahme bewirken müsste, dass die bereits angeschmiegte Wurzelspitze sich wieder von der feuchten Oberfläche wegwendete; das geschieht jedoch nicht, die einmal angeschmiegt Wurzeln wachsen vielmehr an der feuchten Fläche 8—10 und mehr Centimeter weit hin, und wenn es, wie erwähnt, vorkommt, dass die Wurzelspitze gelegentlich sich von der feuchten Fläche wegneigt, so muss diess andere Ursachen haben.

Es bleibt demnach der Einfluss der verschiedenen Feuchtigkeit auf der zu- und abgekehrten Seite der Wurzelspitze als nächste Ursache der Krümmung übrig. Dabei tritt aber das ganz unerwartete Resultat hervor, dass diejenige Seite stärker wächst, welche der stärkeren Verdunstung ausgesetzt ist; bei einer bereits dicht angeschmiegt Wurzelspitze kann die freie Seite allein verdunsten, bei einer noch nicht angeschmiegt, die sich aber zur feuchten Fläche hinkrümmt, muss die stärker wachsende convexe, nach aussen gekehrte Seite etwas stärker transpiriren als die der feuchten Fläche zugekehrte, die langsamer wächst und concav wird.

Da man ohne weitere experimentale Prüfung aller hier einschlägigen Fragen wohl kaum im Stande sein wird, die Einwirkung einer feuchten Oberfläche auf die Wurzelrichtung zu erklären, so enthalte ich mich einstweilen eines abschliessenden Urtheils.

Erst nachdem meine Untersuchung soweit, wie hier mitgetheilt, gediehen war, erhielt ich durch freundliche Vermittelung F. CONN'S, die „Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel“ von THEOPHIL CIESIELSKI (Dissertation, Breslau 1874), eine durch neue Beobachtungen und treffliche Darstellung ausgezeichnete Arbeit. Eine daselbst mitgetheilte Beobachtung steht in unmittelbarem Bezug zu dem hier behandelten Thema; p. 33 heisst es: „Wird eine gerade, senkrecht abwärts gewachsene Wurzel von *Zea Mais* auf eine Wasseroberfläche horizontal so aufgelegt, dass das Wasser nur die untere Kante der Wurzel benetzt, so krümmt sie sich nicht abwärts, wie man es voraussetzen müsste, sondern sie krümmt sich aufwärts, in der gewöhnlichen Krümmungszone und hebt dadurch die Spitze von 3—4 Millimeter über die Wasseroberfläche; das hierauf über dem Wasser befindliche Stück beschreibt bei fernem Wachstum eine Krümmung abwärts, wodurch die Spitze wieder in Wasser eingetaucht wird; dieses Abwärtswachstum hielt so lange an bis die krümmungsfähige Zone der Wurzel wieder in Wasser anlangt, worauf dann eine neue Hebung der Spitze aus dem Wasser erfolgt, darauf wieder eine Senkung u. s. w.“ Steht schon diese Angabe in auffallendem Contrast zu meinen Beobachtungen, so ist diess noch in höherem Grade der Fall, wenn es weiter heisst: „Dieselbe Erscheinung findet auch statt, wenn die Wurzel auf einer nassen, horizontalen Oberfläche eines festen Körpers sich entwickelt, und ist auch bei anderen Pflanzen wie Weizen, Hafer u. dgl. zu beobachten; bei den

Wurzeln von Leguminosen tritt sie sehr selten in diesem Grade ein, wohl aber sieht man, dass bei einer solchen auf Wasser gelegten Wurzel die Krümmung abwärts in einem sehr weiten Bogen allmähig erfolgt und in weitaus selteneren Fällen aufwärts sich krümmt, wie diess auch HOFMEISTER beobachtet hat.⁴ Nach CIESIELSKI liegt die diese Aufwärtskrümmung vermittelnde Stelle nur wenig hinter der Stelle, wo sonst die Abwärtskrümmung erfolgt, doch immer noch da, wo die Zellen der Wurzel in Streckung begriffen sind, nicht selten, wie bei dem Mais fallen beide Stellen sogar zusammen.

Auch diese Beobachtungen werden noch eines eingehenderen Studiums bedürfen, um so mehr, da sie mit meinen Beobachtungen über die Wirkung eines feuchten Körpers, auf dessen Unterseite sich die Wurzel befindet, wenigstens scheinbar im Widerspruch stehen.

Soviel aber scheint gewiss, dass CIESIELSKI'S Erklärung so wohl der beschriebenen Aufwärts- wie der gewöhnlichen Abwärtskrümmung der Wurzelspitze ungenügend oder unrichtig ist; er nimmt nämlich an, dass bei Wurzeln, welche sich nicht in der Richtung der Normale befinden, der Inhalt der Zellen der unteren Hälfte concentrirter und demnach (?) weniger zur Ausscheidung der Zellmembran befähigt, dass derjenige der oberen Hälfte hingegen mehr verdünnt und zur Bildung von Membrankrümmungen geeigneter ist. Er glaubt nun, dass die Aufwärtskrümmung der horizontal auf Wasser gelegten Wurzel durch grössere Verdünnung der Säfte auf der Unterseite bewirkt werde. Wie diese Theorie dazu dienen könnte, die von mir beobachteten Aufwärtskrümmungen in Fällen, wo die feuchte Oberfläche die Wurzeln von oben her afficirt, zu erklären, will mir nicht einleuchten, vielmehr scheint sie mir in direktem Widerspruch damit zu stehen. Wenn übrigens CIESIELSKI Werth darauf legt, dass bei abwärts gekrümmten Wurzeln die Zellen der convexen Oberseite wasserreicher, die der Unterseite protoplasmareicher sind, und darin eine Bestätigung obiger Annahme findet, so ist dagegen zu erwähnen, dass bei den aufwärts gekrümmten Grasknoten gerade das Entgegengesetzte stattfindet, insofern bei diesem die Zellen der convexen Unterseite sehr wasserreich, die der concaven Oberseite sehr protoplasmareich sind. Beides aber ist einfach Folge des starken Wachsthums der Zellen der convexen Seite, ob diese nun oben liegt, wie bei den Wurzeln, oder unten, wie bei den Grasknoten, ist dabei gleichgiltig; die kleinen protoplasmareichen Zellen der concaven Seite verhalten sich eben zu den grossen wasserreichen der convexen Seite in beiden Fällen so, wie junge Zellen zu alten, wie nicht ausgewachsene zu ausgewachsenen;

⁴) Diese Annahme stützt sich auf das Wachsthum der künstlichen TRAUBE'Schen Zellen an der Stelle, wo die Concentration ihres Inhalts die geringste ist; die Mechanik des Aufwärtswachens dieser Zellen lässt sich aber nach meinen Beobachtungen kaum in dieser Weise auf Pflanzenzellen übertragen.

die relative Verminderung des Protoplasmas in den Zellen der convexen Seite ist nicht die Ursache, sondern die Folge ihres stärkeren Wachstums, welches überall mit entsprechender Vermehrung des Zellsaftwassers verbunden ist.

Demnach wäre also weder die gewöhnliche, durch Schwerkraft vermittelte, Abwärtskrümmung, noch die einseitige Einwirkung feuchter Körper auf die Wurzelrichtung bis jetzt erklärt; zu dem alten Räthsel ist ein neues hinzugekommen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich noch einer anderen, von mir oft beobachteten, aber noch nicht genauer untersuchten Erscheinung gedenken, die mit dem hier besprochenen Thema offenbar zusammenhängt; lässt man nämlich Blumentöpfe, in denen Dahlienknollen, Kartoffelknollen u. dgl. eingepflanzt sind und ihre Knospen austreiben, längere Zeit im Finstern stehen, und hält man die Erde gleichmässig feucht, so kommen Tausende kleiner, dünner Nebenwurzeln aus dem Boden an die Oberfläche hervor, wachsen 1—3 Mill. schief in die Luft hinauf, biegen dann abwärts, berühren die feuchte Erde, schmiegen sich dieser an, dringen selbst nicht selten ein wenig ein, um sich wieder zu erheben und dasselbe Spiel von Neuem zu beginnen, so dass derartige Wurzeln auf dem Boden eine horizontale Wellenlinie in vertikaler Ebene beschreiben; oft indessen laufen sie auch ziemlich gerade hin. An den Rand des Topfes gelangt, steigen sie an diesem hinauf und ihm fest angeschmiegt an der Aussenseite zuweilen herunter. — Dieselbe Erscheinung beobachtet man auch an Blumentöpfen mit Dahlien und Kartoffeln im diffusen Licht eines Zimmers (entfernt vom Fenster), wenn die Erde oft begossen wird, in geringerem Grade unter einer Glasglocke auch am Fenster; ebenso kommen bei Aroideen, z. B. *Richardia*, wenn der Topf ganz unter Wasser gesetzt wird, Wurzeln über die Erde hervor. Offenbar hängt die Erscheinung zunächst davon ab, dass die Erde im Topf gleichmässig feucht ist, dass die Oberfläche derselben nicht stärker austrocknet, als die inneren Theile, was besonders durch die Erwärmung der Oberfläche bei starker Beleuchtung an einem in der Luft stehenden Topf begünstigt wird, weshalb die Erscheinung in diesem, (gewöhnlichen Falle) nicht eintritt.

Ähnliche Erscheinungen beschreibt *Duchartre* in seiner genannten Abhandlung (1856); er hatte die Töpfe, in denen verschiedene Pflanzen eingewurzelt waren mit Glasgefässen umgeben, welche eine feuchte Atmosphäre umschlossen und an deren Innenseite das aus der Erde verdunstende Wasser sich condensirte und herabrieselte. Wurzeln traten aus der Erde hervor und wuchsen aufwärts in den dampfgesättigten Raum oder krochen auf der Erdoberfläche hin; aus dem unteren, mit eingeschlossenen Stammstück von 1—2 Ctm. Höhe bildeten sich Wurzeln, welche horizontal schwebend oder schief aufwärts wuchsen (*Hortensia*, *Veronica Lindleyana*).

Ich möchte *Duchartre* nicht beistimmen, wenn er diese Erscheinungen ohne Weiteres mit den von *Knight* und *Johnson* beobachteten in eine Reihe

stellt, sie gewissermaassen als Bestätigungen derselben betrachtet. Gewiss ist es ja, dass in beiden Fällen die Vertheilung der Feuchtigkeit auf die Wachstumsrichtung einwirkt, die Thatsache aber, dass Wurzeln aus einem in sich gleichmässig feuchten Boden aufwärts wachsend an die Luft hervortreten, dass sie ferner in einer dampfgesättigten Atmosphäre horizontal wachsen, muss offenbar auf anderen Ursachen beruhen, als die von KNIGG, JOHNSON und mir beobachtete Ablenkung der Wurzeln von der normalen Richtung, die nur bei ungleicher Vertheilung der Feuchtigkeit um die Wurzeln eintritt. Dass ferner Wurzeln, welche aus dem feuchten Boden heraufgekommen sind und in eine nicht gesättigte Luft eintreten, nun wellenförmig auf- und abbiegend horizontal am Boden hinlaufen, gehört offenbar in dieselbe Kategorie von Thatsachen, wie die von CIESIELSKI beschriebenen.

Bevor sich über die Wirkung der Feuchtigkeit auf die Wurzelrichtung irgend etwas Abschliessendes sagen lässt, ist es nöthig alle diese Erscheinungen im Einzelnen sorgfältig zu studiren; hierzu auch Andere anzuregen, ist der Zweck dieser Mittheilungen.

Würzburg, 8. Septbr. 1874.

Ueb
Im
die Frag
teralsym
Bewegur
Stengel.
im botan
suchung
keit über
Arbeit f
lebhaftes
Mein
vertikale
tungen,
klärung
gegebene
Arbeit;
scheinun
Gegensta
wird, w
nüge ze
Sch
der Pfla
als eine
ergehen
vertikale

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1874

Band/Volume: [1](#)

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

Artikel/Article: [Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch feuchte Körper 209-222](#)