Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachsthumsrichtung durch Gase (Aërotropismus).

Von Dr. **Hans Molisch**,
Assistenten am pflanzenphysiologischen Institut.

(Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität. XXIX.)

(Mit 1 Tafel.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juli 1884.)

In der vorliegenden Abhandlung soll gezeigt werden, dass wachsende Wurzeln, falls sie an zwei entgegengesetzten Seiten von gewissen Gasen in ungleichen Mengen umspült werden, zu ganz bestimmten Richtungsbewegungen veranlasst werden.[1] Die Eigenthümlichkeit der Wurzel, in der angegebenen Weise auf Gase zu reagiren, ist, obwohl man seit Langem den Wachsthumsbewegungen der Wurzel grosse Aufmerksamkeit schenkte, gänzlich unbekannt geblieben. Ich selbst kam indirect darauf. Als ich nämlich gelegentlich junge Maiskeimlinge mit ihren Wurzeln im Wasser cultivirte, bemerkte ich zu meiner Überraschung, dass viele derselben, anstatt geotropisch ins Wasser zu dringen, ganz unregelmässige Krümmungen vollführten, manche sogar dem Wasserspiegel zueilten und hier an der Grenze zwischen Wasser und Luft oft Tage lang weiter wuchsen. Ganz besonders der letztere Umstand weckte in mir den Gedanken, es könnte die Wurzel das Vermögen besitzen, sauerstoffarme Orte zu fliehen, beziehungsweise sauerstoffreichere aufzusuchen und dieser Gedanke gab die Anregung zu folgenden Untersuchungen.

---

[1] Eine kurze vorläufige Mittheilung darüber gelangte in den Berichten der deutschen botanischen Gesellschaft Bd. II, Hft. 4, pag. 160 zur Veröffentlichung.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I.

Über eigenthümliche Wachsthumsbewegungen von Mais- und Erbsenwurzeln im Wasser.

Befestigt man junge, etwa 3—5 Tage alte *Zea*-Keimlinge derart oberhalb eines Wasserspiegels, dass die Wurzeln derselben unter verschiedenen Winkeln (z. B. 30—45°) mit ihrer äussersten Spitze das Wasser berühren, so lässt sich in der Regel folgendes beobachten. Die Wurzeln dringen geotropisch ins Wasser ein und vollführen dann, die geotropische Krümmung oft ganz ausgleichend und von der Schwerkraft augenscheinlich gar nicht beeinflusst, unter Wasser entweder ganz unregelmässige, nach den verschiedensten Richtungen orientirte Krümmungen (Vgl. Fig. 2 und 3), oder sie wenden sich wieder aufwärts, erreichen den Wasserspiegel und wachsen nunmehr viele Centimeter entweder gerade oder in einer undeutlich ausgesprochenen, sehr flachen Wellenlinie an der Grenze zwischen Luft und Wasser weiter. (Vgl. Fig. 1.)

Auch der Fall kommt gar nicht selten vor, dass eine und dieselbe Wurzel zuerst unter Wasser unregelmässige Krümmungen ausführt und dann erst dem Wasserspiegel zueilt, um an demselben horizontal weiterzuwachsen. (Vgl. Fig. 2.) Mitunter erhebt sich die Wurzel sogar über die Wasseroberfläche, dringt mehrere Centimeter schief in die feuchte Luft und wächst dann im flachen Bogen wieder dem Wasser zu.

Die im Wasser auftretenden Krümmungen der Maiswurzeln sind von sehr auffallender Art; halbkreis-, schleifen-, schrauben- und knieförmig gewachsene Wurzeln sind ungemein häufig. Diese unregelmässigen Bewegungen unterbleiben jedoch gewöhnlich, falls die Wurzeln ziemlich tief ins Wasser getaucht werden.

Verwendet man beispielsweise ältere, etwa 10 cm. lange Wurzeln zum Versuche und taucht man sie schief und möglichst tief ein, so wachsen sie weiter, ohne jedoch die vorher erwähnten Krümmungen zu zeigen.

Im Folgenden soll nun ein Theil derjenigen Versuche, auf Grund welcher die mitgetheilten Beobachtungen gewonnen wurden, genauer beschrieben werden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

1. Versuch.

Eine Krystallisirschale, in deren Mitte ein ziemlich starker Korkpfropf angesiegelt ist, wurde 4 cm. hoch mit Wasser (der Hochquellenleitung) gefüllt; hierauf wurden junge, in feuchtem Sägemehl vertical erzogene *Zea*-Keimlinge mittelst Stecknadeln derart auf dem Korke fixirt, dass ihre etwa 2—4 cm. langen Wurzeln nur mit ihrem äussersten Ende den Wasserspiegel trafen und mit dem letzteren einen spitzen Winkel von etwa 30—45° bildeten.[1] Damit die über dem Wasser befindlichen Keimlingstheile sich im dunstgesättigten Raume befinden, wurde über das auf einer glasirten Thonschale stehende Versuchsgefäss eine innen mit nassem Filterpapier ausgelegte Glasglocke gestürzt, diese mit einer dünnen Wasserschichte abgesperrt und das Ganze schliesslich des Lichtabschlusses wegen mit einem undurchsichtigen Pappsturze bedeckt. Temperatur 20—21° C.

Wurzel Nr. 1 drang 1 cm. schief ins Wasser ein, wuchs dann im scharfen Bogen dem Wasserspiegel zu und hierauf knapp unter demselben eine bedeutende Strecke weiter.

„ „ 2 verhielt sich so wie Wurzel 1, doch wuchs sie nicht unterhalb des Niveaus, sondern auf demselben. Fig. 1.

„ „ 3 vollführte im Wasser eine scharfe, fast kreisförmige Krümmung.

„ „ 4 bildete eine ähnliche Krümmung wie Wurzel 3, erreichte jedoch hiebei das Niveau und wuchs daselbst weiter. Fig. 2.

„ „ 5 drang überhaupt nicht ins Wasser, sondern wuchs 3 cm. schief in die feuchte Luft und dann im sanften Bogen wieder zum Wasser.

„ „ 6 drang in der ursprünglichen Richtung ungefähr 1·5 cm. tief ins Wasser ein, um dann in einer undeutlichen Wellenlinie horizontal weiter zu wachsen

[1] Die Grösse des Winkels ist für das Gelingen des Versuches nicht gerade von wesentlicher Bedeutung, man kann die Wurzel auch horizontal aufs Wasser legen oder senkrecht aufs Niveau stellen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Temperatur 18—19° C. Versuchsdauer acht Tage. Sonst alles wie vorher.

Wurzel Nr. 1 wuchs zuerst $^1/_2$ cm. schief ins Wasser hinein, dann wieder zum Niveau und hier horizontal weiter.

„ „ 2 bildete etwa 1 cm. unterm Wasserspiegel korkzieherartige Krümmungen. Fig. 3.

„ „ 3 erreichte in der ursprünglichen Richtung weiter wachsend den Boden des Gefässes.

„ „ 4 verhielt sich so wie Wurzel 3.

„ „ 5 erhob sich, nachdem sie etwa $^1/_2$ cm. schief ins Wasser vorgedrungen war, bis zum Niveau und wuchs endlich über demselben schief, ohne Spur von Geotropismus 4 cm. weit in die feuchte Luft.

3. Versuch.

Bei den beiden früheren Versuchen berührten die Wurzeln ursprünglich den Wasserspiegel nur mit ihren äussersten Spitzen. Tauchten jedoch Spitze und wachsende Region ein, wie es bei diesem und den beiden folgenden Versuchen der Fall war, dann liessen sich die im Wasser eintretenden unregelmässigen Krümmungen gleichfalls beobachten, ein Emporwachsen zum Wasserniveau und ein Weitergleiten an demselben liess sich jedoch weit seltener bemerken. Temperatur 20—21° C. Sonst alles wie vorher.

Von sechs Maiswurzeln nutirten drei schleifen- oder schraubenartig, eine davon erreichte das Niveau und wuchs hier lange Zeit weiter, die drei anderen drangen in der ihnen gegebenen Richtung weiter vor.

4. Versuch.

Sechs Wurzeln wurden 3 cm. tief und zwar schief eingesenkt.

Davon wuchsen vier gerade weiter, zwei nutirten unregelmässig.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

5. Versuch.

Sieben *Zea*-Keimlinge, mit 10—11 cm. langen und ziemlich geraden Wurzeln wurden in einem mit Wasser gefüllten Glasgefässe so befestigt, dass die letzteren fast bis zum Wurzelhalse ins Wasser eintauchten. Temperatur 21—22° C. Im Übrigen wie vorher. Obwohl die Wurzeln sich innerhalb dreier Tage bedeutend verlängert hatten, zeigten sie doch keine Krümmungen sehr auffallender Art.

In derselben Weise wie bei den Versuchen 1—4 wurde auch mit Erbsenkeimlingen experimentirt, zwar mit minder deutlichem, aber doch im Wesentlichen gleichem Erfolge.

Desgleichen wurden auch Keimlingswurzeln von Sonnenblumen, Kürbis, Kresse, *Phaseolus multiflor.* und Gerste näher geprüft, jedoch nur bei der letzten Pflanze insoferne ein analoges Verhalten gefunden, als deren Wurzeln an der Oberfläche des Wassers ebenfalls häufig horizontal wachsen. Dasselbe gilt auch für die Nebenwurzeln von Mais.[1]

So leicht es gelingt, diese Nutationen an Mais- und Erbsenwurzeln hervorzurufen, so schwierig ist es, die Ursachen derselben aufzudecken. Bei Behandlung dieser Frage scheint es mir passend, zu unterscheiden zwischen den im Wasser sich vollziehenden unregelmässen Nutationen und dem mehr minder horizontalen Verlauf der Wurzel an der Oberfläche des Wassers.

Unregelmässige Nutationen. Es liegt zwar die Vermuthung nahe, dass Bakterien, die sich nach und nach in der Umgebung der abgestossenen und durch Schleimmasse zusammengehaltenen Wurzelhaubenzellen anhäufen, die Wurzel in irgend einer Weise beeinflussen und hiedurch Krümmungen veranlassen, allein diese Vermuthung fällt von selbst, sobald man erwägt, dass diese eigenthümlichen Wurzelbewegungen sich oft bereits nach einem halben Tage einzustellen beginnen, also zu einer Zeit, wo

[1] Bei dieser Gelegenheit möchte ich darauf aufmerksam machen, dass Nebenwurzeln, falls sie an einer gekrümmten Hauptwurzel entstehen, stets an der convexen Seite hervorkommen, an der concaven jedoch nicht oder nur höchst spärlich. Analoges lässt sich bekanntlich auch bezüglich der Entstehung der Nebenaxen an gekrümmten Langzweigen feststellen. Vergl. darüber Vöchting: Organbildung im Pflanzenreich. II. Th. p. 46, Bonn 1848.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

eine erhebliche Ansammlung von Bakterien gewiss noch nicht stattgefunden hat.

In die Kategorie der jüngst von B. Jönson[1] entdeckten rheotropischen Bewegungen sind sie begreiflicherweise auch nicht zu stellen, da ja bei meinen an einem möglichst zitterfreien Tisch und bei möglichst constanter Temperatur ausgeführten Versuchen von wirksamen Wasserströmungen nicht die Rede sein kann.

Ich habe mir vielmehr auf Grund mehrerer Erfahrungen die Ansicht gebildet, dass die einem festen Medium angepassten Mais- und Erbsenwurzeln bei Cultur im Wasser abnormen Einflüssen unterliegen und dass unter den letzteren dem im Wasser gehemmten Gasaustausch, namentlich ungenügendem Sauerstoffzutritt hiebei eine bedeutende Rolle zufallen dürfte. Diese Behauptung stützt sich hauptsächlich auf die von mir in letzterer Zeit gemachte Beobachtung, dass *Mais-* und andere Wurzeln in sauerstoffarmer[2] feuchter Luft oder im Leuchtgas[3] ganz dieselben unregelmässigen Krümmungen vollführen wie im Wasser. Zweifelsohne werden neben Sauerstoffarmuth noch andere Ursachen im Wasser sich geltend machen, welche zusammenwirkend die Nutation herbeiführen, ich vermuthe dies desshalb, weil sonst nicht begreiflich wäre, warum gerade tief eintauchende Wurzeln (vgl. Versuch 5), die ja gewiss einem grösseren Sauerstoffmangel ausgesetzt sind als wenig eintauchende, die Nutationen in viel schwächerem Grade aufweisen.

Hervorheben möchte ich noch, dass Wurzeln, deren Spitze in einer Ausdehnung von 1 Mm. abgeschnitten wird, die eigenthümlichen Krümmungen nicht zeigen, sondern verhältnissmässig gerade weiterwachsen; hiebei überzeugte ich mich von der Richtigkeit der in jüngster Zeit von Wiesner[4] gemachten Auf-

---

[1] Der richtende Einfluss strömenden Wassers auf wachsende Pflanzen und Pflanzentheile (Rheotropismus). Ber. d. deutch. bot. Gesellschaft. I. Bd. p. 512.

[2] Ich stellte diese Versuche mit Erfolg in einem wohl verschliessbaren Pulverglas (800 cm³) an, das ich mit 10 cm³ der auf p. 17 genauer angegebenen Pyrogallussäurelösung versah.

[3] Sehr schön gelingen die Versuche in feuchter Luft, welche 2—6% Leuchtgas enthält.

[4] Untersuchungen über die Wachsthumsbewegungen der Wurzeln. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 89. Bd. März-Heft. 1884, p. 22.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

findung, dass decapitirte Wurzeln im Wasser viel stärker wachsen als unverletzte. Auch in diesem letzteren Punkte verhalten sich, wie weiter unten noch genauer erörtert werden wird, die im Leuchtgas gezogenen geköpften Wurzeln ebenso wie geköpfte im Wasser und dies scheint mir eine Stütze mehr für die oben ausgesprochene Ansicht zu sein, dass die unregelmässigen Nutationen von im Wasser wachsenden Wurzeln auf abnorme Einflüsse zurückzuführen sind. Soviel über die unregelmässigen Nutationen.

Was den horizontalen Verlauf der *Zea*-Wurzel an der Grenze zwischen Luft und Wasser anlangt, so halte ich dafür, dass der hohe Sauerstoffgehalt der obersten Wasserschichten und der der angrenzenden Atmosphäre die Wurzel bestimmt, am Wasserspiegel weiterzuwachsen. Die obersten Schichten einer mit Luft in Berührung stehenden Wassersäule werden zuerst mit Sauerstoff gesättigt sein. Hier wird auch der von der Wurzel verathmete Sauerstoff aus der Luft rasch und leicht ersetzt werden können, ganz im Gegensatze zu den tieferen Schichten, da dieselben von der Sauerstoffquelle verhältnissmässig weit entfernt sind und die Diffusion der Gase durch Flüssigkeiten eine äusserst langsame ist.

Da die Wurzel, sobald sie von unten emporwachsend in den Bereich des Wasserniveaus gelangt, ihre Richtung aufgibt und nun horizontal weiter wächst, so kam ich auf die Vermuthung, dass sie des grösseren Sauerstoffgehaltes wegen weder ihrer früheren Richtung, noch der Richtung der Schwere folgt, sondern am Wasserspiegel weiter wächst. Wäre diese Vermuthung richtig, dann müsste die Wurzel für Sauerstoffdifferenzen empfindlich sein. Dieser Gedanke ist der Ausgangspunkt der folgenden Untersuchungen gewesen, denn er hat mich bestimmt, die Frage zu prüfen, ob die Wurzel durch räumlich ungleichmässige Vertheilung des Sauerstoffes und anderer Gase zu Krümmungsbewegungen veranlasst werden kann oder nicht.

Bevor ich jedoch an die Schilderung der diesbezüglichen Versuche gehe, muss ich noch kurz den Cisielski'schen Versuch[1] besprechen, wonach eine nur mit einer Kante horizontal aufs

---

[1] Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel, in Cohn's Beiträgen zur Biologie d. Pflanzen. I. Bd., 2. Hft., p. 25.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wasser gelegte *Zea*-Wurzel in einer sehr deutlichen Wellenlinie weiter wachsen soll. Ich habe zu wiederholten Malen diesen Versuch, und zwar ganz so, wie ihn Cisielski angibt, eingeleitet, habe aber niemals die Wurzel eine prägnante Wellenlinie bilden gesehen. Es ist zwar richtig, dass eine in der angegebenen Weise aufs Wasser gebrachte Wurzel, besonders wenn sie etwas welk ist, sich aufwärts erhebt[1] und dann geotropisch und hydrotropisch abwärts wachsend das Niveau wieder erreicht. Damit ist zwar schon der erste Wellenberg geschaffen, aber von nun an wiederholt sich dieses Spiel gewöhnlich nicht mehr, da die Wurzel, wofern sie nicht ins Wasser eindringt, an der Grenze zwischen Luft und Wasser oft so lange gerade weiter wächst, bis sie meist in Folge der allzugrossen Eigengewichtes tiefer hinabsinkt. Meiner Meinung nach ist es der grosse Sauerstoffreichthum der obersten Wasserschichten und der der atmosphärischen Luft, welcher den horizontalen Verlauf der Wurzel am Wasserspiegel bedingt.

II.

Versuche mit Sauerstoff.

Es sollte zunächst die Frage entschieden werden, ob eine Wurzel, welcher an zwei entgegengesetzten Seiten verschiedene Mengen von Sauerstoff geboten werden, von ihrer normalen Wachsthumsrichtung abgelenkt wird oder nicht. Für meine Zwecke kamen hiebei zwei Fälle in Betracht: in dem einen sollte die eine Wurzelhälfte von Sauerstoff höherer Spannung umspült werden als der atmosphärischen Luft entspricht (*A*), in dem zweiten soll das Umgekehrte der Fall sein (*B*).

A. Versuche mit reinem Sauerstoff.

Ein cylindrisches, ziemlich weithalsiges Glasgefäss (700 cm³ Inhalt, 6 cm. Öffnungsweite) wurde in der pneumatischen Wanne

---

[1] Dass diese Aufwärtskrümmung eine einfache Turgorkrümmung ist, zeigte zuerst Sachs (Arb. d. Würzburger bot. Inst. Bd. I, 3. Hft., p. 397). Einen schlagenden Beweis dafür, dass diese Krümmung auf einer einseitigen Erhöhung des Turgors beruht, brachte auch Wiesner. Vgl. Bewegungsvermögen der Pflanzen. Wien, 1881, p. 32.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mit reinem Sauerstoff[1] gefüllt und sodann möglichst rasch mit einer Platte aus Hartkautschuk verschlossen. Die Platte besass 1—2 Öffnungen in Form von (2 cm. hohen, 1·5—2 Mm. breiten und eben so tiefen) Spalten, welche die Aufgabe hatten, die Verbindung zwischen dem Innern des Glasgefässes (Sauerstoff) und der atmosphärischen Luft zu vermitteln.

Bevor die Füllung und der Verschluss des Gefässes hergestellt wurden, suchte ich aus einer grossen Zahl von im Sägemehl (vertical) gezogenen *Zea*- und *Pisum*-Keimlingen solche heraus, deren Wurzeln etwa 1·5—3 cm. lang und möglichst gerade waren. Die Maiskörner und die Cotylen der Erbsen wurden in nasse Baumwolle eingehüllt und mit Stecknadeln auf einem am Glashalse angesiegelten Kork derart befestigt, dass die Wurzeln in einer Ausdehnung von 6—10 Mm. ganz knapp vor den Spalten hingen.[2] Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, dass besonders die letzte Operation sehr rasch ausgeführt werden muss, da sonst zu viel Sauerstoff durch die Spalten hinausdiffundiren und die Sauerstoffdifferenzen in der Umgebung der Wurzel demgemäss zu gering ausfallen würden.

Sobald die Keimlinge in der angegebenen Weise befestigt waren, legte ich das Glasgefäss auf einer glasirten Thonschale so horizontal nieder, dass die Spalten der Hartkautschukplatte vertical standen. Unmittelbar vor denselben befanden sich, die Spitzen nach abwärts gerichtet, die Wurzeln. Über das Glasgefäss stürzte ich eine an ihrer Innenseite mit nassem Filterpapier ausgeklebte grosse Glasglocke (Inhalt $6^1/_2$ Lit.) und sperrte das Ganze durch eine dünne Wasserschichte ab. Die Versuche verliefen bei Auschluss von Licht und in der Mehrzahl der Fälle bei einer Temperatur von 19—20° C.

---

[1] Der Sauerstoff wurde durch Erhitzen von chlorsaurem Kali gewonnen, langsam durch zwei Kali- und zwei Wassergefässe geleitet und hierauf im Gasometer aufgefangen. Das zum Versuche benützte Gas muss vollkommen chlorfrei sein, weil, wie später noch auseinander gesetzt werden wird, geringe Mengen von Chlor gleichfalls die Wachsthumsrichtung der Wurzel beeinflussen.

[2] Bei Verwendung von Erbsen wurde der Keimling in diesen, sowie in allen anderen Versuchen stets so fixirt, dass die Ebene der Sachs'schen Krümmung parallel war der Platte.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei dieser Versuchsanstellung musste sich offenbar die dem Spalte zugewandte Wurzelhälfte in einer sauerstoffreicheren Atmosphäre befinden, als die entgegengesetzte. Die Sauerstoffdifferenz zwischen der einen und der anderen Seite musste im Laufe der Zeit eine immer geringere werden, und endlich, sobald auf dem Wege der Diffusion ein vollständiger Ausgleich stattgefunden, auf Null herabsinken. In Übereinstimmung mit dieser Erwägung steht auch das Verhalten der Wurzeln. Diese krümmen sich entweder gleich vom Spalte weg oder sie wenden sich meist schon innerhalb der ersten zwei Stunden etwas in dieselbe hinein, werden aber alsbald gerade und wachsen sodann von der sauerstoffreicheren Atmosphäre weg. Nach 5—6 Stunden, mitunter noch früher, gewinnt der Geotropismus, offenbar weil die Sauerstoffdifferenz schon zu gering geworden ist, die Oberhand und bringt das Wurzelende wieder in die Verticale zurück. Hiebei wird die durch den Sauerstoff hervorgerufene Krümmung gewöhnlich weniger deutlich, manchmal sogar ganz ausgeglichen, so dass die Wurzel nach 24 Stunden wieder gerade ist. Die Wurzeln krümmen sich also zuerst etwas in den Spalt hinein, werden gerade und wachsen endlich vom Spalt, beziehungsweise vom Sauerstoff weg. Dies ist der häufigere Fall. Es kann jedoch die anfängliche Zukrümmung zum Sauerstoff mitunter eine so bedeutende sein, dass die Wurzel durch die Öffnung in das Gefäss hineingelangt und bei ihrem ferneren Streben, die sauerstoffreiche Luft zu fliehen, die Spalte nicht mehr findet und im Gefässe gewissermassen gefangen bleibt.

Die anfängliche, oft eintretende Zukrümmung hat offenbar ihren Grund in dem retardirenden Einfluss der an Sauerstoff überreichen Atmosphäre auf das Längenwachsthum der concaven Seite. [1]

[1] Die Annahme, diese Krümmung beruhe vielleicht auf Hydrotropismus, ist vollkommen unbegründet, da die psychrometrischen Differenzen, die sich in der Umgebung der Wurzel, solange der Raum unter der Glasglocke mit Wasserdampf noch nicht gesättigt ist, für hydrotropische Bewegungen nicht ausreichend sind. Ferner tritt der Hydrotropismus nie so frühzeitig ein wie die beobachtete Zukrümmung und endlich kann man sich durch directe Versuche überzeugen, dass diese Bewegung unterbleibt, falls das Versuchsgefäss nicht mit Sauerstoff, sondern mit feuchter atmosphärischer Luft gefüllt wird.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Erst wenn der Sauerstoffgehalt an der dem Spalte zugewandten Seite auf eine gewisse Grenze herabsinkt, stellt sich auffallenderweise an der anfänglich concaven Seite ein beschleunigtes Wachsthum ein, wodurch sie nunmehr convex wird.

Die durch hohe und, wie ich vorgreifend hinzufügen will, auch durch niedere Sauerstoffspannung hervorgerufenen Wurzelbewegungen sind, im Gegensatze zu den durch andere Gase eingeleiteten, gewöhnlich nicht sehr prägnant; sie lassen sich jedoch bei aufmerksamer Beobachtung unschwer constatiren, zumal die verticale, spaltenführende Platte einem Senkel gleich jede Abweichung der Wurzel von der Lothrechten mit grosser Schärfe erkennen lässt. Dass die Ablenkung der Wurzel keine sehr auffallende und häufig nur eine vorübergehende ist, darf nicht Wunder nehmen, weil, abgesehen von dem entgegenwirkenden Geotropismus die wirksame Sauerstoffspannung der fortschreitenden Diffusion wegen nur verhältnissmässig kurze Zeit andauert, eine Zeit, innerhalb welcher die Wurzel nur wenig wächst. Trotz der unüberwindlichen Schwierigkeit, eine günstige Gasdifferenz in der Umgebung der Wurzel längere Zeit unverändert zu erhalten, waren die Bewegungen der Wurzeln dennoch zu constatiren, wesshalb man der Wurzel eine grössere Empfindlichkeit für Sauerstoff zuschreiben muss, als auf den ersten Blick erscheinen mag.

In der folgenden Tabelle sind die mit Sauerstoff ausgeführten Versuche übersichtlich zusammengestellt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle
Pisum

Bezeichnung d. Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der				
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $1^3/_4$ Stunden	Nach $2^3/_4$ Stunden
I	Nr. 1	gerade	etwas hineingekrümmt[1]	gerade	deutlich weggekrümmt.	gerade
	Nr. 2	„	gerade	deutlich weggewendet	unverändert	sehr deutlich weggewendet
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $2^1/_4$ Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden
II	Nr. 3	gerade	etwas weggekrümmt	unverändert	Etwas seitlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt
	Nr. 4	gerade	gerade	unverändert	etwas weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^1/_4$ Stunde	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $2^1/_4$ Stunden
III	Nr. 5	gerade	etwas weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekr.	unverändert
		Anfangs	Nach $1^3/_4$ Stunden	Nach 3 Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach $7^1/_2$ Stunden
IV	Nr. 6	gerade	etwas weggekrümmt	unverändert	deutlich weggekrümmt	unverändert
	Nr. 7	gerade	etwas hineingekrümmt	gerade	etwas weggekrümmt	deutlich weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach $2^3/_4$ Stunden
V	Nr. 8	gerade	gerade	gerade	schwach weggekrümmt	deutlich weggekrümmt
	Nr. 9	gerade	schwach hineingekrümmt	unverändert	unverändert	gerade

[1] D. h. in den Spalt hineingekrümmt. [2] D. h. vom Spalt weggekrümmt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I.

sativum.

Wurzeln					Anmerkung
Nach $5\frac{1}{2}$ Stunden sehr deutlich weg-gewendet	Nach 22 Stunden deutlich weg-gewendet				
Nach 21 Stunden weg-gekrümmt					
deutlich weg-gekrümmt					
Nach $3\frac{1}{2}$ Stunden unverändert	Nach $6\frac{1}{2}$ Stunden unverändert				
Nach 22 Stunden deutlich seitlich weg-gekrümmt					
wenig weg-gekrümmt					
Nach $3\frac{1}{4}$ Stunden sehr deutlich weggekr.	Nach $4\frac{1}{2}$ Stunden unverändert	Nach $7\frac{1}{4}$ St. fast gerade	Nach $8\frac{1}{2}$ St. unver-ändert	Nach 9 Stunden deutlich wegge-krümmt	Nach $7\frac{1}{2}$ Sunden wurde das Gefäss wieder mit O gefüllt und die Wurzeln möglichst gerade vor den Spalten aufgehängt.
etwas weg-gekrümmt	gerade	gerade	gerade	gerade	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der		
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach $2^1/_2$ Stunden
VI	Nr. 10	gerade	deutlich hineingekrümmt	gerade
	Nr. 11	gerade	deutlich hineingekrümmt	fast gerade
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 3 Stunden
VII	Nr. 12	gerade	etwas hineingekrümmt	deutlich hineingekrümmt
	Nr. 13	gerade	wenig weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^1/_2$ Stunden
VIII	Nr. 14	gerade	deutlich hineingekrümmt	sehr deutlich hineingekrümmt
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden
IX	Nr. 15	gerade	etwas weggekrümmt	gerade
	Nr. 16	gerade	etwas hineingekrümmt	etwas weggekrümmt
X	Nr. 17	gerade	deutlich hineingekrümmt	unverändert
XI	Nr. 18	gerade	etwas hineingekrümmt	wenig weggekrümmt

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wurzeln				Anmerkung
Nach $4\frac{1}{2}$ Stunden	Nach $6\frac{1}{2}$ Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 22 St.	
seitlich weggekrümmt	—	deutlich weggekrümmt	gerade	
gerade	gerade	gerade		
Nach 5 Stunden gerade	Nach 6 Stunden wenig weggekrümmt	Nach 22 Stunden gerade		
deutlich weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	gerade		
Nach 2 Stunden unverändert	Nach 17 Stunden unverändert			
Nach 4 Stunden etwas weggekrümmt	Nach 6 Stunden unverändert			
„ seitlich	unverändert			
etwas weggekrümmt	unverändert			
unverändert	unverändert			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zea

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der				
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach $2^1/_2$ Stunden
I	Nr 1	gerade	wenig weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	wenig weggekrümmt	unverändert
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $1^3/_4$ Stunden	Nach $2^1/_2$ Stunden
II	Nr. 2	gerade	etwas hineingekrümmt	unverändert	unverändert	unverändert
	Nr. 3	gerade	deutlich weggekrümmt	unverändert	unverändert	gerade
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
III	Nr. 4	gerade	etwas hineingekrümmt	unverändert	gerade	etwas weggekrümmt
	Nr. 5	gerade	etwas hineingekrümmt	gerade	gerade	gerade

Es krümmten sich somit von den 23 geprüften Wurzeln 20 mehr minder deutlich von der sauerstoffreichen Atmosphäre weg.

B. Versuche mit Pyrogallussäure.

Bei den vorhergehenden Versuchen war stets eine Wurzelhälfte von einer Luftschichte umgeben, die Sauerstoff höherer Spannung enthielt als die atmosphärische Luft. Es entsteht nun weiter die Frage, wie sich eine Wurzel verhalten würde, wenn sie mit einer Seite an die atmosphärische Luft, mit der entgegengesetzten dagegen an eine sauerstoffärmere, beziehungsweise stickstoffreichere Atmosphäre grenzen würde? Offenbar ist dieser Fall wichtiger als der frühere,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Mais.

Wurzeln					Anmerkung
Nach $3^1/_2$ Stunden gerade	Nach $4^1/_2$ Stunden gerade	Nach $6^1/_2$ St. etwas weggekrümmt			
Nach $4^1/_2$ Stunden gerade	Nach 5 Stunden etwas hineingekrümmt	Nach 6 Stund. gerade	Nach 7 Stunden sehr deutl. weggekrümmt	Nach 16 Stund. seitlich weggekrümmt	Nach $6^1/_2$ Stunden wurde das Gefäss neuerdings mit O gefüllt.
gerade	etwas hineingekrümmt	gerade	sehr deutl. weggekrümmt	seitlich weggekrümmt	
Nach 4 Stunden deutlich weggekrümmt	Nach $5^1/_2$ Stunden unverändert				
gerade	gerade				

da er in der Natur vorkommenden Verhältnissen entspricht. Wenn die Ansicht, die oben über den horizontalen Verlauf der *Zea*-Wurzeln an einem Wasserspiegel geäussert wurde, richtig ist, dann müsste die Wurzel auf Sauerstoffnoth reagiren und die sauerstoffarme Luft fliehen. Dies geschieht auch in der That. Als ich die unter *A* geschilderten Versuche dahin abänderte, dass ich das Gefäss nicht mit Sauerstoff füllte sondern einfach mit einer alkalischen Lösung von Pyrogallussäure[1] versah, um der in dem

[1] Nach Untersuchungen von Th. Weyl und X. Zeitler (Liebig's Annalen der Chemie Bd. 205, Jahrg. 1880, 2. Heft. p. 255) erreicht die Absorptionsgrösse der Pyrogallussäure für Sauerstoff ein Optimum, wenn 0·25 Grm. Pyrogallussäure in 10 cm³ Kalilauge von 1·050 specifischem

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Die Versuche I—VIII wurden mit *Zea Mais*, die Versuche

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der			
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $2^1/_4$ Stunden
I	Nr. 1	gerade	deutlich hineingekrümmt	fast gerade	weggekrümmt
	Nr. 2	gerade	deutlich hineingekrümmt	gerade	deutlich weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden
II	Nr. 3	gerade	etwas hineingekrümmt	unverändert	gerade
	Nr. 4	gerade	gerade	gerade	etwas weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^1/_4$ Stunde	Nach 2 Stunden
III	Nr. 5	gerade	deutlich hineingekrümmt	unverändert	unverändert
	Nr. 6	gerade	deutlich hineingekrümmt	unverändert	unverändert
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
IV	Nr. 7	gerade	etwas hineingekrümmt	fast gerade	wenig weggekrümmt
	Nr. 8	gerade	etwas hineingekrümmt	deutlich hineingekrümmt	deutlich hineingekrümmt

Gewichte aufgelöst werden. Bei meinen ersten Versuchen verwendete ich für je einen Versuch 80 cm³. dieser (frischbereiteten) Lösung, bei der Mehrzahl der folgenden jedoch nur die Hälfte.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

II.

IX—XI mit *Pisum sativum* ausgeführt. Sonst alles wie vorher.

Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach $4^1/_4$ Stunden	Nach $6^1/_4$ Stunden	Nach $8^1/_4$ Stunden	Nach 22 Stunden	
deutlich weggekrümmt	unverändert	sehr deutlich weggekrümmt	unverändert	20
unverändert	unverändert	sehr deutlich weggekrümmt	unverändert	25
Nach $2^1/_2$ Stunden	Nach $3^1/_2$ Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach 16 Stunden	
etwas weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	unverändert	sehr deutlich weggekrümmt	15
unverändert	deutlich weggekrümmt	unverändert	sehr deutlich weggekrümmt	35
Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach $7^1/_4$ Stunden	Nach $8^1/_4$ Stunden	Nach 22 Stunden	
gerade	etwas weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt	15
gerade	gerade	gerade	wenig weggekrümmt	45
Nach 15 Stunden				
sehr deutlich weggekrümmt				25
deutlich hineingekrümmt				50

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der			
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^3/_4$ Stunden	Nach 3 Stunden
V	Nr. 9	gerade	etwas hineingekrümmt	deutlich hineingekrümmt	gerade
	Nr. 10	gerade	gerade	sehr deutlich hineingekrümmt	sehr deutlich hineingekrümmt
	Nr. 11	gerade	etwas hineingekrümmt	gerade	gerade
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach $3^1/_2$ Stunden
VI	Nr. 12	gerade	unverändert	wenig hineingekrümmt	unverändert
	Nr. 13	gerade	unverändert	wenig hineingekrümmt	gerade
VII	Nr. 14	gerade	wenig hineingekrümmt	unverändert	unverändert
	Nr. 15	gerade	wenig hineingekrümmt	unverändert	gerade
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach 3 Stunden
VIII	Nr. 16	gerade	gerade	gerade	gerade
	Nr. 17	gerade	wenig hineingekrümmt	gerade	wenig weggekrümmt
IX	Nr. 18	gerade	gerade	wenig hineingekrümmt	wenig weggekrümmt
	Nr. 19	gerade			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wurzeln			Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 15 Stunden		
wenig weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt		30
sehr deutlich hineingekrümmt	Zwar im Gefäss, doch nach aussen strebend		?
gerade	gerade		∞
Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach $6^1/_2$ Stunden	Nach 20 Stunden	
unverändert	gerade	wenig weggekrümmt	35
gerade	wenig weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt	20
unverändert	unverändert	Zwar im Gefäss, aber hinausstrebend	?
wenig weggekrümmt	unverändert	deutl. seitlich gekrümmt	25
Nach 5 Stunden	Nach $5^3/_4$ Stunden	Nach 16 Stunden	
gerade	gerade	gerade	∞
wenig weggekrümmt	wenig weggekrümmt	wenig weggekrümmt	60
wenig weggekrümmt	wenig weggekrümmt	"	40
			45

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der			
		Anfangs	Nach ½ Stunde	Nach 1¼ Stunden	Nach 3 Stunden
X	Nr. 20	gerade	gerade	gerade	deutlich weggekrümmt
	„ 21	„			gerade
XI.	„ 22	„	wenig hineingekrümmt	deutl. hineingekrümmt	deutl. hineingekrümmt

Von 22 Wurzeln flohen also 16 die sauerstoffarme Luft.

Glasgefäss befindlichen atmosphärischen Luft den Sauerstoff möglichst zu entziehen, krümmten sich die Wurzeln anfänglich gleichfalls etwas hinein, wurden jedoch nach zwei und mehr Stunden gerade und wuchsen sodann von der sauerstoffarmen Seite weg.

Auch bei diesen Versuchen ist die Sauerstoffdifferenz an den beiden opponirten Wurzelhälften am Beginne eine sehr grosse. Der Sauerstoffmangel an der dem Spalt nähern Seite ist so gross, dass diese im Längenwachsthum gegenüber der andern Seite zurückbleibt und daher concav wird. Erst später, wenn der Sauerstoffgehalt auf der nunmehr concaven Seite eine gewisse Höhe erreicht, wächst diese Seite, trotzdem sie noch immer weniger Sauerstoff zur Verfügung hat als die entgegengesetzte, auffallend stärker, wodurch die Wurzel in sauerstoffreichere Luftschichten gelangt.

C. Versuche mit Stickstoff.

Die Versuchsanstellung war wieder ganz dieselbe wie vorhin, nur wurde das Gefäss nicht mit Pyrogallussäure versehen,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wurzeln			Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach $5^3/_4$ Stunden	Nach 16 Stunden	
deutlich weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	20
gerade	gerade	gerade	∞
deutl. hineingekrümmt	deutl. hineingekrümmt	im Gefäss und gerade	—

sondern mit reinem Stickstoff[1] gefüllt. Es sei nun gleich bemerkt, dass bei diesen Versuchen zwar in den meisten Fällen die anfängliche Zukrümmung der Wurzel eintritt, die Wegkrümmung vom Stickstoff oder genauer gesagt, von der sauerstoffarmen Luft entweder unterbleibt oder aber nur in sehr schwachem Grade und nur sehr kurze Zeit bemerkbar ist. Dies wird auch nicht viel besser, wenn nach einiger Zeit das mit den Wurzeln beschickte Gefäss nochmals mit Stickstoff gefüllt wird; offenbar dauert die für die Wegkrümmung günstige Sauerstoffdifferenz in der Umgebung der Wurzel in Folge der Diffusion viel zu kurze Zeit an, als dass eine energische Wachsthumskrümmung zu Stande kommen könnte. Nicht so bei den eben geschilderten Pyrogallussäure-Versuchen, da das ausgezeichnete Absorptionsvermögen dieser Säure für Sauerstoff einer allzuraschen Gasvermischung doch längere Zeit hindurch entgegen arbeitet.

In der folgenden Tabelle sind die Stickstoffversuche übersichtlich zusammengestellt.

[1] Will man nicht groben Täuschungen ausgesetzt sein, so ist auf möglichste Reinheit des Gases zu achten. Solches verschaffte ich mir durch Leitung von Luft über glühendes Kupfer, und zwar leitete ich dieselbe Luftquantität mehrere Male über Kupfer, um schliesslich ganz reinen Stickstoff zu erhalten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Versuche I—II wurden mit Erbsen,

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der			
		Anfangs	Nach 1/2 Stunde	Nach 1 Stunde	Nach 1 1/2 Stunden
I	Nr. 1	gerade	deutlich hinein-gekrümmt	unverändert	unverändert
	Nr. 2	gerade	deutlich hinein-gekrümmt	unverändert	fast gerade
II	Nr. 3	gerade	wenig hinein-gekrümmt	wenig hinein-gekrümmt	deutlich hinein-gekrümmt
	Nr. 4	gerade	wenig weg-gekrümmt	wenig weg-gekrümmt	deutlich seitlich weg-gekrümmt
		Anfangs	Nach 1/2 Stunde	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
III	Nr. 5	gerade	unverändert	deutl. hinein-gekrümmt	wenig weg-gekrümmt
	Nr. 6	gerade	unverändert	deutl. hinein-gekrümmt	gerade
		Anfangs	Nach 1 1/2 Stunden	Nach 2 1/4 Stunden	Nach 4 Stunden
IV	Nr. 7	gerade	etwas hinein-gekrümmt	unverändert	gerade
	Nr. 8	gerade	etwas hinein-gekrümmt	unverändert	gerade
		Anfangs	Nach 1/2 Stunde	Nach 1 Stunde	Nach 1 1/2 Stunden
V	Nr. 9	gerade	gerade	gerade	gerade
	Nr. 10	gerade	deutl. hinein-gekrümmt	deutl. hinein-gekrümmt	gerade

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

III.

Versuche III—X mit Mais angestellt.

Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches	Anmerkung
Nach 3 Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach $6^1/_2$ Stunden	Nach 20 Stunden		
gerade	wenig weggekrümmt	unverändert	deutlich weggekrümmt	50	
wenig weggekrümmt	gerade	gerade	sehr wenig weggekrümmt	55	
deutl. hineingekrümmt	deutl. hineingekrümmt	deutl. hineingekrümmt	im Gefäss, aber unten gerade	70	
deutlich seitlich weggekrümmt	sehr deutlich seitlich weggekrümmt	sehr deutlich seitlich weggekrümmt	sehr deutlich seitlich weggekrümmt	75	
Nach 6 Stunden	Nach $6^1/_2$ Stunden	Nach $7^1/_2$ Stunden	Nach 19 Stunden		
deutlich weggekrümmt	unverändert	unverändert	unverändert	30	Nach 6 Stunden wurde das Gefäss wieder mit N gefüllt
gerade	wenig hineingekrümmt	gerade	deutlich weggekrümmt	25	
Nach 8 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 10 Stunden	Nach 19 Stunden		
unverändert	wenig weggekrümmt	wenig seitlich weggekrümmt	deutlich seitlich weggekrümmt	5	Nach 8 Stunden wurde das Gefäss neuerdings mit N gefüllt
unverändert	sehr wenig weggekrümmt	gerade	gerade	∞	
Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden	Nach 5 Stunden	Nach 6 Stunden		
gerade	sehr wenig weggekrümmt	gerade	unverändert	∞	
deutlich weggekrümmt	deutlich weggekrümmt	gerade	unverändert	∞	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Richtung der			
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach $2^1/_2$ Stunden
VI	Nr. 11	gerade	unverändert	unverändert	unverändert
	Nr. 12	gerade	wenig hineingekrümmt	wenig hineingekrümmt	wenig hineingekrümmt
VII	Nr. 13	gerade	wenig weggekrümmt	wenig weggekrümmt	deutlich weggekrümmt
		Anfangs	Nach $^3/_4$ Stunden	Nach $1^1/_4$ Stunden	Nach $2^1/_2$ Stunden
VIII	Nr. 14	gerade	wenig hineingekrümmt	gerade	unverändert
	Nr. 15	gerade	gerade	gerade	unverändert
		Anfangs	Nach $^1/_2$ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach $1^3/_4$ Stunden
IX	Nr. 16	gerade	unverändert	unverändert	wenig hineingekrümmt
X	Nr. 17	gerade	wenig hineingekrümmt	wenig hineingekrümmt	unverändert

Von 17 Wurzeln krümmten sich 11, und zwar viele davon nur sehr wenig von der stickstoffreichen Luft weg.

Da sich die oben ausgesprochene Vermuthung, dass Wurzeln gegen Sauerstoffdifferenzen empfindlich seien, und zwar auch in dem Sinne, dass sie sich von einer sauerstoffarmen Luft wegkrümmen, als richtig herausgestellt hat, so erscheint es auch ganz begreiflich, warum *Zea*- und andere Wurzeln unter Umständen Tage lang an der Grenze zwischen Luft und Wasser horizontal weiter wachsen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches	Anmerkung
Nach 5 Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 22 Stunden		
sehr wenig weggekrümmt	unverändert	unverändert		∞	Nach 5 Stunden wurde zum zweiten Male mit N gefüllt
gerade	gerade	gerade		∞	
sehr deutlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt	sehr deutlich weggekrümmt	10	
Nach 5 Stunden	Nach $5^1/_2$ Stunden	Nach $6^1/_4$ Stunden	Nach 22 Stunden		
unverändert	wenig hineingekrümmt	unverändert	im Gefäss, aber nach aussen strebend		"
wenig seitlich weggekrümmt	wenig hineingekrümmt	unverändert	im Gefäss, aber nach aussen strebend		
Nach $2^1/_2$ Stunden	Nach 4 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 20 Stunden		
unverändert	unverändert	unverändert	im Gefäss		
unverändert	unverändert	unverändert	im Gefäss		

Der bequemeren Ausdrucksweise wegen dürfte es sich empfehlen, die interessante und bisher unbekannte Eigenthümlichkeit der Wurzel, bei einseitiger Einwirkung gewisser Gase ganz bestimmte Richtungsbewegungen zu vollführen, mit einem passenden Worte zu bezeichnen.

Ich schlage hiefür den Ausdruck Aërotropismus vor und werde von positivem oder negativem Aërotropismus sprechen, je nachdem sich die Wurzel dem wirksamen Gase zuwendet oder von demselben abwendet.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

III.

Versuche mit Kohlensäure.

Nach den im vorhergehenden Abschnitte erwähnten Thatsachen war es nicht unwahrscheinlich, dass auch andere Gase, besonders solche, welche in grösserer Menge geboten auf die Pflanze schädlich einwirken, die Wurzel gleichfalls zu bestimmten Richtungsbewegungen veranlassen.

Um diesen Gedanken zu prüfen, führte ich zuvörderst eine grosse Anzahl von Experimenten mit CO_2 aus. CO_2 ist zwar ein wesentliches und unersetzliches Nahrungsmittel der grünen (chlorophyllhältigen) Pflanze, allein es finden sich in der Literatur einige deutliche Beweise dafür vor, dass es in grösserer Menge für die Pflanze ein Gift ist. So werden nach Strasburger[1] die Schwärmer von *Haematococcus* durch Einleiten von CO_2 ins Wasser getödtet, reine CO_2 hebt, wie Kabsch[2] fand, die Reizbarkeit von Mahonia- und Berberisstaubgefässen auf.

Ferner geht aus den Versuchen von Böhm[3] hervor, dass bereits 2 Pct. CO_2 in Luft retardirend auf das Längenwachsthum von Phaseoluswurzeln wirken und 33 Pct. vollständig hemmend.

Schliesslich habe ich selbst — wie später noch genauer hervorgehoben werden wird — vergleichende Versuche über den Einfluss der CO_2 auf das Längenwachsthum von Keimlingswurzeln angestellt und habe mich gleichfalls von der Schädlichkeit dieses Gases (bei Anwendung von grösseren Mengen) überzeugt.

---

[1] Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. pag. 9 und pag. 65.

[2] Über die Einwirkung verschiedener Gase und des luftverdünnten Raumes auf die Bewegungserscheinungen im Pflanzenreiche. Botanische Zeitung, 1862. p. 346.

[3] Über den Einfluss der CO_2 auf das Ergrünen und Wachsthum der Pflanzen. Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wissenschaften zu Wien. 68. Bd. I. Abth. 1873.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei den mit CO_2 ausgeführten aërotropischen Versuchen ging ich entweder genau so vor, wie bei den Sauerstoffversuchen[1] oder aber mit der Modification, dass ich das mit CO_2[2] gefüllte Gefäss überdies mit einem Gasometer verband, der reine (feuchte) CO_2 enthielt. Zu diesem Zwecke war in die Platte luftdicht eine bis in die Mitte des Versuchsgsfässes vordringende Glasröhre eingepasst, die durch einen Kautschukschlauch mit dem Gasometer in Verbindung stand. Jede Minute gingen aus dem letzteren etwa zwölf kleine CO_2 Blasen in das Gefäss. Natürlich musste dafür gesorgt werden, dass die bei den Spalten heraustretende CO_2 sich möglichst rasch auf einem grossen Raume ausbreiten konnte, da sich sonst die CO_2 in der Umgebung ansammeln würde, wodurch selbstverständich keine günstigen CO_2-Differenzen zu Stande gekommen wären. Um also eine zu grosse Anhäufung des Gases zu vermeiden, stellte ich das mit den Wurzeln beschickte Gefäss in einen $^1/_2$ Meter hohen würfelförmigen Blechkasten, der innen ganz mit nassem Filterpapier ausgekleidet war. Die Wurzeln wuchsen in diesem Raume sehr gut und bildeten reichlich Wurzelhaare. Hydrotropische Krümmungen konnten hier, wie überdies directe Versuche lehrten, nicht störend wirken, da der Raum nahezu dunstgesättigt war. Temperatur bei den meisten Versuchen 19—20° C.

Wie aus den in den folgenden Tabellen mitgetheilten Versuchen hervorgeht, wuchsen die meisten Wurzeln innerhalb der ersten 2—3 Stunden in den Spalt (Fig. 5*a*), nach 5—7 Stunden wurden sie wieder gerade, und krümmten sich sodann sehr deutlich von den Spalten, denen die Kohlensäure entströmte, weg. (Fig. 5*b*.) Die Krümmungsebene stand gewöhnlich senkrecht, seltener schief zur Hartkautschukplatte. Es veranlasst demnach, wenn man von der anfänglichen schwachen

---

[1] Bei diesen CO_2-Versuchen wurde stets eine zweimalige Füllung des Gefässes vorgenommen, die eine am Beginn des Versuches, die andere nach 6 Stunden. Ferner wurde, um eine Anhäufung von CO_2 zu verhindern, unter die Glasglocke ein Gefäss mit KOH gestellt.

[2] Bei der Bereitung dieses Gases aus Marmor und Salzsäure ist mit grösster Sorgfalt darauf zu achten, dass dasselbe durch mitgerissene HCl-Dämpfe nicht verunreinigt wird, da dieselben die Wachsthumsrichtung der Wurzel ebenfalls beeinflussen. Vgl. Versuche p. 141.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zukrümmung absieht, eine in der unmittelbaren Umgebung der Wurzel an zwei opponirten Seiten statthabende CO_2-Differenz eine Wegkrümmung von der CO_2reicheren Luftschichte.

Dass die Wurzeln, *(Zea, Pisum)* sich am Beginne des Versuches gerade entgegengesetzt verhalten und sich schwach in den Spalt hineinkrümmen, hat offenbar seinen Grund in dem zu dieser Zeit noch viel zu hohen CO_2-Gehalt jener Luftschicht, welche die dem Spalte zugewandte Wurzelhälfte umgibt. Diese zu grosse CO_2-Menge retardirt das Längenwachsthum der einen Wurzelseite gegenüber der anderen; indem die der CO_2-Quelle nähere Seite schwächer wächst im Vergleiche zur entgegengesetzten, kommt die Krümmung zu Stande. Für die Richtigkeit dieser Erklärung spricht aufs deutlichste der Umstand, dass eine Wurzel, welche die Zukrümmung schon vollführt hat und dann gerade geworden ist, diese Krümmung häufig neuerdings ausführt, wofern man dieselbe wieder vor das frisch gefüllte Versuchsgefäss bringt. Erst wenn die CO_2-Menge auf eine (leider nicht bestimmbare) Grenze gesunken ist, wächst die der Spalte zugewandte Seite stärker als die entgegengesetzte, die erstere wird convex, die letztere concav. Sobald die Wurzel durch diese Wegkrümmung in eine Region gelangt, wo ungünstige oder gar keine CO_2-Differenzen herrschen, tritt der Geotropismus wieder in seine Rechte und bringt die Wurzel neuerdings nach und nach in die lothrechte Richtung zurück.

Auch die anderen Versuche (Tab. V, VI), bei denen das Gefäss einfach mit CO_2 gefüllt wurde, ohne mit dem Gasometer in weiterer Verbindung zu bleiben, gaben ganz befriedigende Resultate, nur war es bei dieser Art der Versuchsanstellung zumeist nöthig, nach etwa 6 Stunden das Gefäss nochmals mit CO_2 zu füllen, worauf die Wurzeln wieder möglichst rasch vor die Spalten gebracht wurden. Nach 20 Stunden (vom Beginne des Versuchs an gerechnet) war in der Regel eine prägnante Ablenkung zu constatiren, zumal wenn, wie dies bei der Mehrzahl der diesbezüglichen Versuche der Fall war, die Platte nur einen einzigen Spalt besass, die Diffusion der CO_2 also ziemlich langsam von statten ging.

Wie aus den folgenden Versuchsreihen zu ersehen ist, zeigten von 56 geprüften Mais- und Erbsenwurzeln 52 eine mehr

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

oder minder deutliche Ablenkung von der CO_2-Quelle weg, wobei zu bemerken ist, dass auch die meisten davon (40) am Beginne des Versuches, solange das Gas den Spalten in allzu reichlicher Menge entströmte, eine schwache Krümmung in entgegengesetzter Richtung ausführten. (Siehe pag. 142.)

IV.

Versuche mit Chlor und Chlorwasserstoffsäure.

Ist bereits die durch CO_2 hervorgerufene Ablenkung der Wurzel eine prägnante, so ist dies noch weit mehr bei Chlor der Fall, da schon sehr geringe Mengen die Wurzel in hohem Grade beeinflussen. Ja, wenn ich sämmtliche aërotropischen Versuche, die ich angestellt, überschaue, so muss ich sagen, dass die Wurzeln kein Gas so energisch flohen wie gerade das Chlor. Fig. 6.

Soll der Chlor-Aërotropismus deutlich hervortreten, dann ist ebenso, wie das bei den früheren Versuchen mit Kohlensäure der Fall war, darauf zu achten, dass das Gas der Wurzel nur in verhältnissmässig geringen Mengen einseitig dargeboten wird, weil Chlor das Längenwachsthum sonst sehr verlangsamt.

Bei Anwendung von zu viel Chlor wird die dem Spalt zugewendete Wurzelhälfte derart geschädigt, dass diese gegenüber der anderen Hälfte im Wachsthum merklich zurückbleibt und die Wurzel, unfähig der Gefahr zu entrinnen, in Folge dessen gerade in den Spalt, mithin in die giftige Atmosphäre vordringt.

Nach vielfachen Vorversuchen erwies sich die Anwendung von sehr verdünntem Chlorwasser am zweckmässigsten. Das Versuchsgefäss wurde mit einer Mischung von 40 cm^3 destillirtem Wasser und 1 Tropfen gesättigtem Chlorwasser versehen, in der früher angegebenen Weise mit den zu prüfenden Wurzeln auf die Thonschale gebracht, mit einer grossen Glocke (12 l.) bedeckt und finster gehalten. Die Benützung von verdünntem Chlorwasser hat den grossen Vortheil, dass das Gas aus demselben langsam entweicht und daher in geringer Menge durch lange Zeit auf die Wurzel einwirkt; dies ist aber von hoher Bedeutung, weil die Wurzel ebenso wie beim Kohlensäure-Aërotropismus einige Stunden hindurch vom Gase getroffen werden muss, wenn eine Krümmung vom Spalte weg eintreten soll. —

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Die Versuche I—IV wurden mit *Zea Mais*, die Versuche sich in einem $^1/_2$ Meter hohen würfelförmigen Kasten und war meter. Anfängliche Wurzellänge

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
I	Nr. 1	gerade	unverändert	schwach +aërotrop.
	Nr. 2		schwach + aërotrop	unverändert
	Nr. 3		gerade	schwach +aërotrop.
II	Nr. 4	gerade	unverändert	schwach +aërotrop.
	Nr. 5		unverändert	schwach +-aërotrop.
	Nr. 6		unverändert	gerade
		Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
III	Nr. 7	gerade	gerade	sehr schwach +aërotrop.
	Nr. 8		schwach +aërotrop.	
	Nr. 9		gerade	
IV	Nr. 10	gerade	gerade	gerade
	Nr. 11			
	Nr. 12			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

IV.

V—VI mit *Pisum sativum* ausgeführt. Das Versuchsgefäss befand innerhalb 24 Stunden in beständiger Verbindung mit dem Gaso-1·5=3 cm. Temp. 21—22° C.

Nach 3 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	sehr deutl. —aërotrop.	15
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	30
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	25
unverändert	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutl. —aërotrop.	15
unverändert		deutlich —aërotrop.		20
unverändert		deutlich —aërotrop.		25
Nach 4 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden		
sehr schwach +aërotrop.	gerade	deutlich —aërotrop.	sehr deutl. —aërotrop.	30
				20
gerade				25
gerade	deutlich aërotrop.	gerade	sehr deutl. —aërotrop.	25
	gerade	gerade		25
deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.		10

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Die Versuche 1—16 wurden mit *Zea Mais*, die Versuche besass nur einen Spalt, wesshalb nur je eine Wurzel zur

Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 4 Stunden
1	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
2	„	gerade	gerade	unverändert
3	„	schwach +aërotrop-	schwach +aërotrop.	gerade
4	„	schwach +aërotrop.		gerade
5	„	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
6	„			
7	„		gerade	
8	„	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
9	„	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
10	„	„	gerade	gerade
11	„	„	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
12	„	schwach +aërotrop.	„	
13	„	gerade	schwach +aërotrop.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

V.

17—26 mit *Pisum sativum* angestellt. Die Hartkautschukplatte Verwendung kam. Sonst alles wie unmittelbar vorher.

Nach 6 Stunden	Nach 19 Stunden	Nach 22 Stunden	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
gerade			5
unverändert	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10
unverändert			10
schwach —aërotrop.		schwach —aërotrop.	15
			25
gerade	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	20
			20
			10
gerade	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	30
gerade	gerade	deutlich —aërotrop.	25
			10
gerade	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	5
			15

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 4 Stunden
14	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	unverändert
15	„		gerade	gerade
16	„	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
17	„	gerade		
18	„	schwach +aërotrop.	gerade	
19	„		schwach +aërotrop.	gerade
	Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 4 Stunden
20	gerade		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
21	„	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade
22	„			
23	„	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
24	„	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
25	„		deutlich +aërotrop.	
26	„		gerade	schwach −aërotrop.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach 6 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 24 Stunden		Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.			25
	gerade	sehr deutlich —aërotrop.		10
				5
gerade	schwach —aërotrop			25
		deutlich —aërotrop.		35
	gerade	gerade		
Nach 6 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 24 Stunden	
			sehr deutlich —aërotrop.	20
	deutlich +aërotrop.			
gerade		schwach —aërotrop.		25
			deutlich —aërotrop.	
	gerade			30
deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop. im Gefäss drinnen	40
				30
gerade	schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop	deutlich —aërotrop.	25
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	15

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Zea Mais. Das Versuchsgefäss wurde zweimal mit CO_2 ge-
Stunden. Sonst alles wie

Bezeichnung des Versuchs	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
I	Nr. 1	gerade	schwach +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
	„ 2		gerade	gerade
	„ 3		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
II	„ 4	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	„ 5			
	„ 6			
		Anfangs	Nach 2 Stunden.	Nach 3 Stunden
III	„ 7	gerade	gerade	unverändert
	„ 8		deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
	„ 9			
IV	„ 10	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	„ 11		gerade	
	„ 12			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VI.

füllt, und zwar am Beginne des Versuches und dann nach sechs bei den Sauerstoffversuchen.

Nach 3 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
unverändert		deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	20
gerade	gerade		schwach —aërotrop.	50
schwach +aërotrop.		gerade	deutlich —aërotrop.	40
schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	15
			deutlich —aërotrop.	30
	gerade	unverändert	schwach —aërotrop.	60
Nach 6 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 24 Stunden		
deutlich +aërotrop.	unverändert	deutlich —aërotrop.		40
gerade	deutlich —aërotrop.			40
	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop. im Gefäss		10
gerade	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		40
				20
				30

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Nach 1. Stunde	Nach 2 Stunden
V	Nr. 13	gerade	gerade	gerade
	Nr. 14			
	Nr. 15			
VI	Nr. 16	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
	Nr. 17			
	Nr. 18			gerade

Gegen Chlorwasserstoffsäure verhielten sich die Wurzeln im Wesentlichen so wie gegen Chlor. (Vgl. Tab. VII und VIII.)

V.

Versuche mit Leuchtgas, Ammoniak, Lustgas, Aether, Chloroform, Campher und Terpentinöl.

Das Verhalten der Wurzeln der Kohlensäure, dem Chlor und der Chlorwasserstoffsäure gegenüber machte es im hohen Grade wahrscheinlich, dass auch andere, vielleicht alle Gase, die der atmosphärischen Luft in etwas grösserer Menge beigemengt auf die Pflanze schädigend einwirken, von der Wurzel geflohen werden. Mit Bezug auf die von mir geprüften Gase kann dies auch wirklich festgestellt werden. Vgl. Tab. VII u. VIII.

Die einzelnen Gase wirken zwar auf die Wurzel in verschieden intensiver Weise ein — einmal wegen ihrer Natur und zweitens offenbar auch desshalb, weil sie verschieden rasch und in ungleichen Mengen in den Wurzelkörper hineindiffundiren — aber im Grossen und Ganzen ist der Effekt derselbe wie bei CO_2 oder Chlor: Die Wurzeln wachsen, so lange das Gas noch zu intensiv

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach 3 Stunden	Nach $4^1/_2$ Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	40
gerade	schwach —aërotrop.			40
schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.			50
schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	45
				40
gerade		gerade	gerade	∞

eingreift, demselben etwas zu,[1] werden, sobald auf dem Wege der Diffusion das Gas mehr verdünnt wurde, wieder gerade oder fast gerade und fliehen dasselbe dann in mehr minder energischer Weise. Die Wurzel ist dann, falls die + Krümmung nicht ganz ausgeglichen wurde, S-förmig gekrümmt.

Bemerkenswerth erscheint hiebei die ausserordentliche Empfindlichkeit der Wurzeln gegen selbst minimale Quantitäten gewisser Gase oder Dämpfe. Hiefür ein Beispiel. Von Campher löst sich in 1000 Theilen Wasser ein Theil auf. Gibt man von einer solchen Lösung etwa 3—10 Tropfen, mithin eine minimale und, wie eine einfache Überlegung lehrt, unwägbare Menge von Campher in das Versuchsgefäss, so tritt dennoch eine deutliche Wegkrümmung der Wurzel ein.

Versuche mit Leuchtgas.

Die Luft des Versuchsgefässes enthielt in der Regel 10—30% Leuchtgas. Diese Gemenge gaben sehr gute Resultate, es ist jedoch durchaus nicht nöthig, sich an diese Mischung zu halten, da die Versuche auch ganz gut gelingen, wenn man das Gefäss

[1] Diese + Krümmung beruht offenbar auch hier auf einer durch den zu intensiven Eingriff des Gases hervorgerufenen Schädigung der concav werdenden Seite. Vgl. pag. 120, 132 u. 140.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle VII.

Es wurden untersucht die Wurzeln von *Zea Mais*, (Vers. (Vers. X—XI) und *Cucurbita Pepo* (Vers XII—XIII). Anfängliche

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Richtung der		
			Nach 1 Stunde	Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach $2^1/_2$ Stunden
I	1	gerade	schwach +aërotrop.	fast gerade	unverändert
	2	„	gerade	schwach —aërotrop.	fast gerade
II	3	„	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
	4	„			gerade
	5	„			gerade
III	6	„	gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.
	7	„	schwach —aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich —aërotrop.
IV	8	„	gerade	gerade	gerade
	9	„			
V	10	„	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	11	„			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Chlor.)

I—VI) *Pisum sativum* (Vers. VII—IX), *Phaseolus multiflorus* Wurzellänge schwankte zwischen 2—4 cm. Temp. 21—23° C.

Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 21 Stunden	
gerade	gerade deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop	10 15
gerade schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	25 20 20
"	"	"	deutlich —aërotrop.	25
sehr deutlich +aërotrop.	sehr deutlich +aërotrop.	sehr deutlich +aërotrop.	Wurzel zeigt im Gefäss eine entschieden — aërotropische Krümmung. Sie fand jedoch den Ausweg nicht mehr.	
gerade	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	5 10
gerade	deutlich —aërotrop.	"	sehr deutlich —aërotrop.	10 15

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung	
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
VI	12	gerade	gerade	gerade
	13	gerade	schwach +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
	14			
VII	15		schwach +aërotrop.	wie vorher
	16	„		
	17		gerade	
VIII	18			schwach +aërotrop.
	19	„	„	gerade
	20			schwach +aërotrop.
IX	21			schwach +aërotrop.
	22	„	„	
	23			schwach —aërotrop.
X	24			gerade
	25	„	„	
	26			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 3 Stunden	Nach 5 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 18 Stunden	
gerade	schwach —aërotrop.		schwach —aërotrop.	60
schwach +aërotrop.	fast gerade	schwach —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	15 20
deutlich —aërotrop.	deutlich +aërotrop. deutlich —aërotrop. schwach +aërotrop.	deutlich +aërotrop. deutlich —aërotrop. gerade	ins Gefäss hineingewachsen sehr deutlich —aërotrop.	— 20 25
wie vorher	gerade schwach —aërotrop.	wie vorher	"	20
wie vorher	gerade schwach —aërotrop	schwach —aërotrop.	deutl. —aër. Krümmungsebene schief zur Platte sehr deutlich —aërotrop.	30 20 15
wie vorher	gerade	" gerade	" gerade	5 10 ∞

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung der		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
XI.	27	gerade	deutlich +aërotrop.		schwach —aërotrop.
	28	„	„	deutlich +aërotrop.	gerade
	29	„	gerade		
XII	30	„	schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.
	31			gerade	gerade
	32				
XIII	34	„	schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.
	35			schwach +aërotrop.	gerade
	36		gerade		

Es erfolgte demnach bei 32 unter 36 Wurzeln

vollends mit Leuchtgas füllt, oder wenn man weniger als 10 % Leuchtgas nimmt. Immerhin erscheint es jedoch empfehlenswerth, über eine gewisse Menge des Gases nicht hinauszugehen, weil dasselbe, wie ich unten noch genauer zeigen werde, schon in geringen Mengen das Längenwachsthum beträchtlich verlangsamt. Dagegen erscheint das Dickenwachsthum oft gefördert, und zwar ist die Wurzel dort am stärksten verdickt, wo die Krümmung derselben am schärfsten ausgeprägt ist. (Fig. 7.)

Untersucht wurden die Wurzeln von *Zea Mais* (Vers. I—IV), *Pisum sativum* (Vers. V—VII) und *Lepidium sativum* Vers. VIII). Sonst alles wie bei den Chlorversuchen.

Versuch VIII. Im Anschlusse daran soll noch ein Versuch mitgetheilt werden, der mit 20 jungen, 1—1·5 cm. langen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches	Anmerkung
Nach 5 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 22 Stunden		
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10	dies waren Nebenwurzeln 1. Ordnung
	schwach —aërotrop.		deutlich —aërotrop.	25	
				20	
sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	5	
deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.			15	
gerade	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		10	
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10	
gerade				10	
		schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	30	

schliesslich energische Wegkrümmung vom Chlor.

Kressekeimlingen ausgeführt wurde. Wegen der Kleinheit der Pflänzchen wurde die bisher angewandte Versuchsweise modifizirt. Das Gefäss wurde mit Leuchtgas gefüllt und mit nassem Filterpapier, welches an dem Halsrande leicht und fest adhärirte, verschlossen. Nun wurden die Keimlinge derart auf das Papier gelegt, dass ihre Würzelchen bei horizontaler Lage des Gefässes vertical nach abwärts hingen. Ein Herabgleiten der Sämlinge fand nicht statt, weil die den Samen einhüllende Schleimmasse ein natürliches Klebemittel abgab. Ich fürchtete anfänglich, dass die Gasdiffusion durch das nasse Filterpapier eine viel zu langsame sein werde, um eine deutliche Krümmung hervorzurufen, allein, wie der Erfolg lehrte,[1] mussten doch genügende Mengen

[1] Für andere Wurzeln fand ich diese Versuchsweise nicht geeignet.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Eine Mischung von 10 cm³ Wasser und 20 Tropfen concen-
Zea (I—II) und *Pisum* (III—IV.) ausgeführt.

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung	
			Nach 1 Stunde	Mach 2 Stunden
I	1	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	2		gerade	
	3		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
II	4	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
	5			
	6		schwach +aërotrop.	
III	7	gerade	schwach +aërotrop.	deutlich —aërotrop.
	8		gerade	gerade
	9		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
IV	10	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	11			

Von 11 untersuchten Wurzeln krümmten sich

davon austreten, da sich von den 20 Wurzeln innerhalb 24 Stunden 15 sehr auffallend vom Papier, beziehungsweise vom Leuchtgas wegkrümmten. Manche waren auch gleichzeitig schraubig gekrümmt. Dass die Ablenkung der Wurzeln in diesem Falle nicht etwa auf einer einseitigen rasehen Wasserzufuhr (vom Pa-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VIII.

trirter Salzsäure lieferte gute Resultate. Die Versuche wurden mit Sonst alles wie früher.

der Wurzeln			Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 23 Stunden	
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10
		schwach —aërotrop.	35
gerade	gerade	sehr deutlich —aërotrop.	10
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	20
gerade			25
			20
sehr deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	Wurzel befand sich im Gefäss	—
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	25
			25
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	30
			30

mithin schliesslich 10 von der Chlorwasserstoffsäure weg.

piere aus) also auf einer einseitigen Turgorerhöhung beruhte, lehrte aufs Deutlichste ein Parallelversuch, der in derselben Weise jedoch ohne Leuchtgas angestellt wurde. Bei dem letzteren wuchsen die Wurzeln dem Papiere anliegend in der ihnen ursprünglich gegebenen Richtung, also vertical weiter.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle IX.

Bezeichnung des Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Richtung der		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	2		schwach +aërotrop.		schwach —aërotrop.
	3				gerade
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop.
	5				
	6				
III	7	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	8				
	9		gerade	gerade	
IV	10	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade
	11				
		Anfangs	Nach ½ Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
V	12	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade
	13				deutlich +aërotrop.
	14		gerade	gerade	gerade

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Leuchtgasversuche.)

Wurzeln				Anmerkung	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach $7\frac{1}{2}$ Stunden	Nach 24 Stunden		
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		5
					20
gerade				Krümmungsebene ist schief zur Kautschukplatte	25
deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich +aërotrop.		5
schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		5
					5
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	„	10
					25
					5
gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	„	5
					3
Nach 5 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden		
gerade	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		10
deutlich —aërotrop,	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	Krümmungsebene schief zur Platte	30
deutlich +aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		15

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach ½ Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 2 Stunden
VI	15	gerade	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
	16				schwach —aërotrop.
	17				
VII	18	gerade	gerade	gerade	gerade
	19				
	20		schwach +aërotrop.		

Unter 20 Wurzeln flohen mithin

Ammoniak. Bei diesen Versuchen ist mit grösster Sorgfalt darauf zu achten, dass ja nicht zu viel von dem Gas verwendet wird,[1] da dasselbe schon in verhältnissmässig geringen Mengen auf die Wurzel höchst giftig einwirkt. Gibt man beispielsweise nur einen Tropfen concentrirtes Ammoniak in das Versuchsgefäss, so sterben die davor hängenden Wurzeln alsbald ab. Selbst wenn man einen Tropfen Ammoniak mit ziemlich viel Wasser (25 cm³) vermengt, so nützt dies auch nicht viel, da die Wurzeln unter diesen Verhältnissen nur sehr wenig wachsen und dann auch nur die anfängliche Zukrümmung ausführen, wobei sie mit dem Gase erst recht in Contact kommen und in Folge dessen so geschädigt werden, dass sie unfähig werden, das Gefäss wieder zu verlassen. Temperatur 22—23° C. Sonst alles wie bei den Chlorversuchen.[2] Versuche I—II mit *Zea*, Versuch III mit *Pisum*. Tab. X.

[1] Erfolgreich erwies sich eine Mischung von ¼ Tropfen NH_3 und 25 cm³ Wasser.

[2] Dies gilt auch für die folgenden mit Äther, Chloroform, Lustgas und Terpentinöl angestellten Versuche.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der Wurzeln				Anmerkung	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden		
				Krümmungsebene schief zur Platte	15
deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		30
					5
					5
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		20
gerade	schwach —aërotrop.			„	15

18 das Leuchtgas.

Versuche mit Lustgas.

In das anfangs mit reinem Lustgas vollständig erfüllte Versuchsgefäss wurden während der ganzen Dauer des Versuches immer neue Mengen dieses Gases aus einem Gasometer in ganz derselben Weise hineingeleitet, wie dies bei den entsprechenden CO_2-Versuchen der Fall war (vgl. p. 139 u. 143). Innerhalb 24 Stunden erfolgte unter diesen Bedingungen eine deutliche Wegkrümmung. *Zea Mays* (Vers. I—III), *Pisum sativum* (Vers. IV—V). Tab. XI.

Versuche mit Aether.

Eine Mischung von 10 Tropfen Äther und 25 cm³ Wasser bewirkte eine merkbare Ablenkung. Es sei jedoch bemerkt, dass die hervorgerufene Wurzelbewegung — dasselbe gilt auch bezüglich des Chloroforms — nicht sehr auffallend ist, wahrscheinlich desshalb, weil die Diffusion dieser Dämpfe so rasch erfolgt, dass an den beiden opponirten Wurzelhälften alsbald eine ziemlich gleichmässige Vertheilung derselben erfolgt. Tab. XII.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle

Bezeichnung d. Versuches	Bezeichnung der Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	2				
	3		schwach +aërotrop.		schwach —aërotrop.
II	4	„	gerade	schwach —aërotrop.	„
	5		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	6		schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.
III	7	„	schwach +aërotrop.	schwach. +aërotrop	gerade
	8		gerade		
	9				schwach —aërotrop.

Unter neun Wurzeln krümmten sich acht

Versuche mit Chloroform.

Eine Mischung von 20 Tropfen Chloroform und 50 cm³ Wasser beeinflusste deutlich die Wachsthumsrichtung der Wurzeln, besonders dann, wenn das mit den Keimlingen beschickte Versuchsgefäss in den grossen würfelförmigen Kasten (vgl. p. 139) gestellt wurde; zweifelsohne waren hier die Chancen für günstige Chloroformdifferenzen an den zwei entgegengesetzten Wurzelseiten sehr gute, da das den Spalten entströmende Chloroform sich genügend ausbreiten konnte. Vgl. Tab. XIII.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

X.

der Wurzeln			Anmerkung	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 21 Stunden		
				5
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		15
			Krümmungsebene schief zur Platte	15
"	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		10
deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotr. Wurzel im Gefäss		30
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		10
				20
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		25
				25

von der Ammoniakquelle weg.

Versuche mit Terpentinöl.

Ich verwendete eine Emulsion von Terpentinöl ($^1/_4$—$^1/_2$ Tropfen) und Wasser (40 cm³). — Bemerkenswerth ist, dass besonders bei Anwendung von etwas grösseren Mengen Terpentinöls die Wurzelhaarbildung an der dem Spalte zugewandten Seite im Gegensatze zu der opponirten entweder bedeutend gehemmt war oder ganz unterblieb. [1] Obwohl also die convexe Seite stärker in

[1] Ganz dieselbe Erscheinung habe ich oft an hydrotropisch gekrümmten Wurzeln beobachtet. Auch hier ist, falls der Versuch noch nicht länger als einen Tag im Gange war, die concave Seite behaart, die convexe Seite dagegen kahl oder fast kahl.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle XI.

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung	
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden
I	1	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	2			
II	3	gerade	gerade	gerade
	4		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
III	5	gerade	gerade	gerade
	6			
VI	7	gerade	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
	8		schwach +aërotrop.	gerade
V	9	gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.

Unter neun Wurzeln flohen die Länge wächst als die concave und obwohl Nutationen die Wurzelhaarbildung im Allgemeinen allseitig begünstigen,[1] erlitt dieselbe dennoch in Folge der Einwirkung des Terpentindampfes eine auffallende Hemmung. Vgl. Tab. XIV.

VI.

Versuch, den Aërotropismus zu erklären.

Auf Grund der vorhergehenden zahlreichen Experimente sind wir zu dem neuen und interessanten Resultate gelangt, dass die Wachsthumsrichtung der Wurzeln durch einseitige Ein-

[1] Vgl. Fr. Schwarz. Die Wurzelhaare des Pflanzen, p. 183, 185 in den Unt. a. d. bot. Institut z. Tübingen, herausgegeben von W. Pfeffer.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Lustgas.)

der Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden	
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	25 30
gerade	schwach —aërotrop. gerade	gerade	gerade deutlich —aërotrop.	∞ 25
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	20 10
deutlich —aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	Wurzel im Gefäss	—
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	35
deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10

also sieben das Lustgas.

wirkung verschiedener Gase in ganz bestimmter Weise beeinflusst wird.

Nach Feststellung dieser Thatsache erscheint es verlockend, zu prüfen, ob eine Erklärung des Aërotropismus mit Hilfe unserer dermaligen Kenntnisse über Wachsthumsbewegungen der Wurzeln und unter Heranziehung anderweitiger physiologischer Thatsachen möglich sei — eine Erklärung, die in die Mechanik dieser Wurzelbewegung einen klaren Einblick gestatten würde.

Einer der naheliegendsten Gedanken, der einer Prüfung werth und einigermassen Erfolg versprechend erscheint, ist wohl der, ob das Fliehen der Wurzeln vor einem schädlichen Gas und

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle XII.

Zum Versuche dienten wieder *Zea-* (Vers. I—II)

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	2				
	3			gerade	
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade
	5				
	6		gerade	gerade	gerade
III	7	gerade	gerade	gerade	schwach —aërotrop.
	8				gerade
	9				
IV	10	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	gerade
	11				
	12		deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.

Mit Ausnahme einer einzigen waren alle

das Aufsuchen des atm. Sauerstoffes nicht etwa als ein besonderer Fall der sogenannten Darwin'schen Krümmung aufgefasst werden könnte. Bekanntlich wird diese von Darwin [1] entdeckte und von Wiesner [2] eingehend studirte Wurzelkrümmung

[1] Vgl. das Bewegungsvermögen der Pflanzen, Stuttgart 1881. p. 109 etc., deutsche Übersetzung.

[2] Bewegungsvermögen. pag. 139. Eine, ich möchte sagen, monographische Bearbeitung der Darwin'schen Krümmung findet sich in der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Aether).

und *Pisum*-Wurzeln (Vers. III—IV).

der Wurzeln			Anmerkung	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 24 Stunden		
gerade	gerade	deutlich —aërotrop.		35
				25
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.			25
gerade	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.		15
				20
schwach —aërotrop.	gerade	gerade		∞
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	Krümmungsebene schief zur Platte	25
				25
gerade				30
schwach —aërotrop	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		20
				25
deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	Wurzel im Gefäss		—

schliesslich negativ aërotropisch gekrümmt.

durch einseitige Verletzung der Wurzelspitze, beispielsweise durch Anschneiden, durch Ätzen, durch Bedeckung derselben mit einer

jüngst erschienenen Schrift Wiesner's vor: Untersuchungen über die Wachsthumsbewegungen der Wurzeln. L. c. p. 1—53.

Auf Grund zahlreicher Versuche gibt der genannte Autor auch eine höchst einfache Erklärung für das Zustandekommen dieser merkwürdigen Wurzelkrümmung.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle XIII.

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	gerade	schwach —aërotrop.
	2				
	3			schwach +aërotrop.	gerade
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.
	5		gerade		
	6				gerade
III	7	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop.
	8				
	9			gerade	gerade
VI	10	gerade	schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.
	11		gerade		
	12				

Resultat: Fast alle schliesslich

alkoholischen Schellacklösung oder einem Gummitröpfchen etc. eingeleitet.

Da man mithin die genannte Krümmung durch ganz verschiedene Mittel hervorrufen kann, so war es von vornherein nicht so unwahrscheinlich, dass auch Gase, indem sie zwei Gegenseiten der Wurzelspitze mit verschiedener Intensität beein-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Chloroform.)

der Wurzeln				Anmerkung	Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 20 Stunden		
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	Krümmungsebene schief zur Platte	40
					45
	schwach —aërotrop.				45
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		30
					25
	gerade		schwach —aërotrop.		45
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		35
					30
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	gerade		∞
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.		20
					25
	gerade		schwach —aërotrop.		50

negativ aërotropisch.

flussen, gleichfalls Darwin'sche Krümmung herbeiführen; der Gedanke war schon desshalb zu prüfen, weil es mir seinerzeit auch gelang, den Hydrotropismus auf die Darwin'sche Krümmung zurückzuführen. [1]

[1] Untersuchungen über den Hydrotropismus, Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. 89, I. Abth. p. 31—34.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle XIV.

Temperatur 24—26° C.

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung	
			Nach $1^1/_2$ Stunden	Nach 2 Stunden
I	1	gerade	schwach —aërotrop.	wie vorher
	2			
	3		gerade	gerade
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	wie vorher
	5			
	6			
III	7	gerade	gerade	gerade
	8			
	3		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
IV	10	gerade	gerade	schwach +aërotrop.
	11			
	12			gerade

Resultat: Alle zwölf waren schliesslich

Es lässt sich nun in einfacher Weise zeigen, dass der Aërotropismus nicht als ein Specialfall der Darwin'schen Krümmung, sondern als eine besondere Wurzelbewegung aufgefasst werden muss. Trägt man nämlich 1 Mm. von der Wurzelspitze durch einen möglichst queren Schnitt ab und hängt man derartig

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(Terpentinöl.)

Zea (Versuche I—III), *Pisum* (Versuch IV).

der Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 8 Stunden	Nach 24 Stunden	
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	30
				30
	schwach —aërotrop.			25
wie vorher	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	15
				20
	gerade		gerade	∞
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	20
				23
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	35
schwach + aërotrop.	schwach + aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	35
				25
gerade	deutlich —aërotrop.		sehr deutlich —aërotrop.	10

negativ aërotropisch.

decapitirte Wurzeln vor die Spalten unseres mit Chlor, Leuchtgas oder Kohlensäure verschenen Versuchsgefässes, so findet zumeist eine zwar schwächere Ablenkung statt als bei intakten Wurzeln, allein die aërotropische Bewegung ist trotz der fehlenden Spitze und trotz der mächtigen Schnittwunde gewöhnlich deutlich

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bemerkbar, ja bei den Versuchen mit Chlor oft gerade so prägnant wie bei unverletzten Wurzeln. Wenn die Wirkung der Kohlensäure und des Leuchtgases auf decapitirte Wurzeln geringer erscheint als auf intakte, so darf dies wohl nicht Wunder nehmen, wenn man erwägt, dass durch die Amputation der Wurzelspitze keine dem Zustandekommen des Aërotropismus günstigen Verhältnisse geschaffen werden. Man bedenke nur, dass decapitirte Wurzeln in feuchter Luft, wie von Wiesner[1] zuerst constatirt und von mir[2] später bestätigt wurde, weniger in die Länge wachsen als intakte und ferner dass geköpfte Wurzeln ganz unregelmässige nach den verschiedensten Richtungen orientirte Krümmungen ausführen — anderer durch die Decapitation der Wurzelspitze inducirter Folgeerscheinungen gar nicht zu gedenken.[3] Die unregelmässigen Nutationen decapitirter Wurzeln werden zweifelsohne dem Aërotropismus in den meisten Fällen entgegenwirken, somit darf es auch gar nicht auffallen, wenn, wie dies bei Anwendung von Kohlensäure und Leuchtgas der Fall ist, der aërotropische Effect geschwächt erscheint. Von diesem Gesichtspunkte aus ist es begreiflich, warum geköpfte Wurzeln auf Sauerstoffreichthum oder Sauerstoffarmuth gar nicht mehr reagiren; es ist schon bei unverletzten Wurzeln die Reaction auf Sauerstoff eine verhältnissmässig geringe, (vgl. das auf pag. 121 Gesagte) gesellen sich zu der geringen Empfindlichkeit noch die dem Aërotropismus hemmend entgegenwirkenden Folgeerscheinungen der Decapitation, dann unterbleibt eben die Ablenkung ganz.

In den folgenden Tabellen theile ich einige meiner Experimente mit decapitirten (1 Mm.) Wurzeln[4] mit.

---

[1] Bewegungsvermögen etc. p. 105. Vgl. ferner Untersuchungen über Wachsthumsbewegungen der Wurzeln. l. c. pag. 15 ffd.

[2] Berichte der deutschen bot. Gesellschaft. I. Bd. Heft 8, p. 362 bis 366.

[3] Diese geben sich nach umfassenden Versuchen Wiesner's (Wachsthumsbewegungen etc. l. c. pag. 30 und pag. 65) vorzüglich in einer Verminderung des Turgors und einer gesteigerten Ductilität der an die Wurzelspitze angrenzenden Wurzelzone kund.

[4] Überschreitet die decapitirte Strecke die Länge von 1·5 Mm., so lässt sich der Aërotropismus nicht mehr mit Sicherheit constatiren.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Gegen die Versuche mit decapitirten Wurzeln könnte der berechtigte Einwand erhoben werden, dass die Bewegungen, welche geköpfte Wurzeln unter den obigen Versuchsbedingungen aufweisen, nur scheinbar aërotropische seien, in der That aber auf die bei decapitirten Wurzeln so häufig auftretenden ganz unregelmässigen Nutationen zurückzuführen wären. Dieser Einwand wäre jedoch nur dann stichhältig, wenn das Resultat ein zweifelhaftes wäre, wenn etwa nur die Hälfte der untersuchten Wurzeln die Gase geflohen hätte. Ein Blick auf die mitgetheilten Tabellen zeigt, dass dem jedoch nicht so ist, dass vielmehr die überwiegende Mehrzahl nämlich unter 33 untersuchten Wurzeln 28 mehr minder deutlichen negativen Aërotropismus gezeigt haben.

Es kann mithin als feststehend betrachtet werden, dass Kohlensäure, Chlor und Leuchtgas — wahrscheinlich gilt dies auch für die anderen in dieser Arbeit zur Sprache gekommenen Gase — indem sie Aërotropismus einleiten, nicht zuerst die Wurzelspitze und durch diese die darüberliegende wachsende Region beeinflussen, sondern direct auf die letztere wirken, also unmittelbar in jener Zone Aërotropismus induciren, wo wir die Krümmung sich vollziehen sehen. [1]

Eine der merkwürdigsten Erscheinungen beim negativen Aërotropismus ist wohl die, dass ganz gegen alle Erwartung gerade die einem schädlichen Gase am meisten exponirte Wurzelseite stärker wächst als die Gegenseite. Da das wirksame Gas an der convex werdenden Seite offenbar eine höhere Spannung

---

[1] Hiermit soll jedoch keineswegs die Möglichkeit geleugnet werden, dass beim Vorhandensein der Wurzelspitze das Gas auch auf diese wirkt, und zwar im Sinne einer einseitigen Verletzung; die der Gasquelle nähere Hälfte der Spitze würde beispielsweise vom Chlor, Leuchtgas etc. stärker, geschädigt werden, als die opponirte, wodurch Darwin'sche Krümmung und somit ein Wenden des Würzelchens vom Gase weg eintreten würde. Bei der ausserordentlichen Reactionsfähigkeit der Wurzelspitze mechanischen und chemischen Insulten gegenüber ist ein derartiger Einfluss der Gase nicht unwahrscheinlich und würde hiefür ein zwingender Beweis erbracht werden, dann müsste man auch der Wurzelspitze beim Zustandekommen des Aërotropismus einige Bedeutung einräumen, wenn auch nur eine secundäre.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

A. Versuche

Die Versuchsbedingungen waren genau so wie bei den auf *Zea Mais* (Versuche I—III) und *Pisum sativum* (Versuch IV). Tem-

Tabelle

Bezeichnung des Versuches	Nr. d. Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	wie vorher
	2				
	3				
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.
	5			schwach +aërotrop.	gerade
	6		gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.
III	7	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	8				
	9			gerade	gerade
IV	10	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	11				
	12		gerade	gerade	schwach —aërotrop.

Von 12 Wurzeln schliesslich 11

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mit CO_2.

pag. 32 und 33 mitgetheilten CO_2-Versuchen. — Geprüft wurden
peratur 20—21° C.

XV.

der Wurzeln				Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 4 Stunden	Nach 7 Stunden	Nach 9 Stunden	Nach 24 Stunden	
wie vorher	deutlich +aërotrop.	schwach +aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10
				20
	gerade	gerade		10
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	25
gerade		deutlich —aërotrop.		20
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	schwach —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	15
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	45
			deutlich —aërotrop.	35
		gerade	gerade	∞
schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	30
schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade	schwach —aërotrop.	35
schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	20

negativ aërotropisch.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

B. **Versuche**

Die Versuchsanstellung war genau so wie bei den Versuchen und *Pisum sativum* (Versuch III).

Tabelle

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung		
			Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3 Stunden
I	1	gerade	gerade	sehr schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.
	2				
	3			gerade	schwach —aërotrop.
II	4	gerade	schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	gerade
	5				
	6		gerade		
III	7	gerade	gerade	gerade	schwach —aërotrop.
	8			schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.
	9				

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mit Chlor.

auf pag. 141 Zur Untersuchung diente *Zea Mais*(Versuch I—II) Temperatur 22—24° C.

XVI.

der Wurzeln				Krümmungs-radius in Mm. am Ende des Versuches
Nach 5 Stunden	Nach 6 Stunden	Nach 8½ Stunden	Nach 24 Stunden	
gerade	gerade	schwach —aërotrop.	schwach —aërotrop.	35
				25
deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	30
gerade		schwach —aërotrop.		5
schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop.		sehr deutlich —aërotrop.	10
schwach —aërotrop.		deutlich —aërotrop.		3
deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	sehr deutlich —aërotrop.	10
gerade	gerade	gerade	gerade	∞
	schwach —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	deutlich —aërotrop.	25

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

C. **Versuche**

Abgesehen von der Decapitation waren die Versuchsbedin-
und II wurden mit *Pisum sativum*, die Versuche III und IV mit *Zea*

Tabelle

Bezeichnung des Versuches	Nr. der Wurzel	Anfangs	Richtung			
			Nach ½ Stunde	Nach 1 Stunde	Nach 2 Stunden	Nach 3½ Stunden
I	1	gerade	gerade		schwach +aërotrop.	gerade
	2		schwach +aërotrop.	schwach +aërotrop.	deutlich +aërotrop.	deutlich +aërotrop.
	3					
II	4	gerade	gerade	schwach +aërotrop.	schwach —aërotrop.	wie vorher
	5			gerade	schwach +aërotrop.	
	6				schwach —aërotrop.	
			Nach 1 Stunde	Nach 2½ Stunden	Nach 4 Stunden	Nach 5 Stunden.
III	7	gerade	schwach +aërotrop.	wie vorher	gerade	schwach +aërotrop.
	8		gerade		schwach +aërotrop.	wie vorher
	9		schwach +aërotrop.		schwach —aërotrop.	
IV	10	gerade	gerade	schwach —aërotrop.	wie vorher	wie vorher
	11					
	12			gerade		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mit Leuchtgas.

gungen wie bei den früheren Versuchen pag. 151. Die Versuche I *Mais* ausgeführt. Temperatur 19—20° C.

XVII.

der Wurzeln			Krümmungsradius in Mm. am Ende des Versuches	Anmerkung
nach 6 Stunden	nach 8 Stunden	nach 24 Stunden		
gerade	wie vorher	deutlich —aërotrop.	40	
schwach +aërotrop.		Wurzel im Gefäss	—	Krümmungsebene schief zur Hartkautschukplatte.
		sehr deutlich —aërotrop.	3	
schwach —aërotrop.	wie vorher	deutlich —aërotrop.	15	
schwach +aërotrop.		schwach —aërotrop.	40	
gerade		Wurzel im Gefäss	20	
Nach 8¼ Stunden	Nach 24 Stunden			
schwach +aërotrop.	schwach +aër. Wurzel im Gefäss		40	
schwach +aërotrop.	deutlich —aërotrop.		20	
gerade			15	
wie vorher	deutlich —aërotrop.		35	
			35	
			20	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

besitzt als auf der entgegengesetzten, so liegt die Vermuthung nahe, dass eine gewisse in der atmosphärischen Luft enthaltene Menge dieses Gases das Längenwachsthum der Wurzel fördert. Es würde demnach, die Richtigkeit dieser Vermuthung vorausgesetzt, eine gewisse O-spannung, welche beispielsweise grösser ist als dem Partialdruck des Sauerstoffes der Luft entspricht, oder eine gewisse partiäre Pressung der Kohlensäure, des Chlors etc. das Längenwachsthum begünstigen. Die Feststellung einer solchen Thatsache wäre schon an und für sich sehr interessant, und da sie überdies zur Erklärung des Aërotropismus herangezogen werden könnte, so wollen wir dabei ein wenig verweilen.

Bezüglich des Einflusses verschiedener Sauerstoffspannung auf das Wachsthum kann ich mich auf eine im vorigen Jahre erschienene Arbeit von A. Wieler [1] berufen. Der genannte Autor fand thatsächlich, dass Keimlinge von *Vicia Faba* und *Helianthus annuus* in verdünnter und comprimirter Luft [2] (innerhalb gewisser Grenzen) beschleunigt wachsen.

Ich selbst habe ähnliche Versuche mit Leuchtgas, Kohlensäure und Chlor, und zwar mit Rücksicht auf das Längenwachsthum der Wurzeln angestellt, habe jedoch bei keinem dieser Gase eine Begünstigung des Wachsthums constatiren können. Mochte die mit atmosphärischer Luft vermengte Gasmenge eine noch so verschiedene sein und zwischen noch so weiten Grenzen schwanken, nie war eine Beschleunigung des Wurzelwachsthums zu bemerken, sondern je nach den angewandten geringeren oder grösseren Gasmengen entweder gar keine Einwirkung oder stets eine Retardation des Wachsthums zu beobachten.

In Anbetracht dieses Resultates verliert die oben ausgesprochene Vermuthung, dass eine sich negativ aërotropisch krümmende Wurzel an der convex werdenden Seite desshalb stärker wächst als an der Gegenseite, weil hier gewissermassen ein Optimum der Gasspannung (für das Längenwachsthum der Wurzel)

---

[1] Die Beeinflussung des Wachsens durch verminderte Partiärpressung des Sauerstoffes; in den Untersuch. a. d. bot. Inst. zu Tübingen, herausgegeben von Dr. W. Pfeffer, I. Bd. 2. Heft. pag. 224. ff.

[2] Hiebei kommt es jedoch nach den Untersuchungen von P. Bert nicht auf den Luftdruck an, sondern nur auf die vorhandene O-Menge.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

vorhanden sei, trotz Wieler's interessanter Entdeckung alle Wahrscheinlichkeit.

Obwohl die unternommenen Versuche, den negativen Aërotropismus zu erklären, nach dem Gesagten zu keiner befriedigenden Lösung geführt haben, dieselben vielmehr als gescheitert zu betrachten sind, so sind wir hiebei doch zu einigen neuen Resultaten gelangt; besonders die vorhin berührten Leuchtgasversuche waren in mehrfacher, unter anderen auch in praktischer Beziehung so lehrreich, dass ich es mir nicht versagen will, wenigstens diese etwas eingehender zu schildern.

Einfluss des Leuchtgases auf das Wachsthum der Wurzeln.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. — Aus einer grossen Zahl von im Sägemehl vertical erwachsenen ganz jungen *Zea*-Keimlingen wurden mehrere Paare mit möglichst gleichen 2—4 cm. langen Wurzeln ausgewählt und an jeder Wurzel, 1 cm. von der Spitze entfernt, mit Tusche eine zarte Marke gemacht. Die eine wie die andere Hälfte der zu untersuchenden Wurzeln kam, nachdem die Maiskörner in nasse Baumwolle eingehüllt worden waren, in je ein grosses (Inhalt 800 cm^3) mit eingeschliffenem und eingefettetem Glasstöpsel verschliessbares Glasgefäss, und zwar wurden sie mittels Stecknadeln an einem an der Innenseite des Glasstöpsels angesiegelten langen Korkpfropf derart aufgehängt, dass sich die Wurzeln bei umgekehrter Aufstellung des Gefässes in normaler Stellung befanden, also mit der Spitze nach abwärts sahen. Das eine Gefäss enthielt nur atmosphärische Luft, das andere Luft und eine bestimmte Menge von Leuchtgas. Damit von dem letzteren nichts entweiche, wurde das verschlossene Gefäss umgekehrt auf einer glasirten Thonschale aufgestellt und überdies mit Wasser abgesperrt. Die Versuche verliefen bei Lichtabschluss und einer Temperatur von 19—21° C oder 23—24° C.

I.

Nr. der Wurzel	Atmosphärische Luft	Atmosphärische Luft[1] mit 0·005% Leuchtgas[2]
	Länge der markirten Zone[1] nach 21 Stunden	Länge der markirten Zone nach 21 Stunden
1	30·5 Mm.	30·5 Mm.
2	36·5	32
3	37·5	25
4	34·5	24
5	30	37
6	33·5	36
7	31·5	29
8	38·5	21
9	26·5	25
10	23	29
11	35	31·5
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 224·5%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 190·9%

II.

Nr. der Wurzel	Atmosphärische Luft	Atmosphärische Luft mit 0·012 % Leuchtgas
	Länge der markirten Zone nach 20 Stunden	Länge der markirten Zone nach 20 Stunden
1	27 Mm.	22·5 Mm.
2	32	25·5
3	35	22·5
4	32	25
5	31	23
6	30	22·5
7	30	29·5
8	25	21·5
9	27·5	18·5
10	33·5	30·5
11	25·5	24
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 198·6%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 140·9%

[1] Als Ausgangspunkt der procentischen Berechnung ist die am Wurzelende liegende Strecke in einer Ausdehnung von 1 cm. genommen. Innerhalb dieser Zone liegt bei *Zea* und *Pisum* stets die wachsende Region.

[2] Volumpercente.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

III.

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 0·1% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone n. 24 Stunden	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden
1	34	27
2	39	27·5
3	39·5	21·5
4	37·5	32
5	36·5	28
6	34·5	33
7	35	24
8	38	35
9	42	27
10	39	31
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 275%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 186%

IV.[1]

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 1% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone n. 21 Stunden	Länge der mark. Zone nach 21 Stunden
1	42	33
2	36	32
3	35·5	29
4	35	27
5	41	25
6	33	24·5
7	39·5	21·5
8	41	24
9	41	35
10	46	30
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 290%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 181%

V.

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 2% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden
1	40	25
2	36·5	30
3	37	26
4	42	28
5	31·5	27
6	36	39
7	39	30
8	39	24
9	35·5	29
10	39	25
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 275·5%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 183%

VI.[1]

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 3% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden
1	47·5	32
2	42	31
3	38	34
4	44	32
5	54·5	27
6	51	33
7	53	22
8	46	26
9	47·5	30
10	45	30·5
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 368·5%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 197·5%

[1] Temperatur 23—24° C.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VII.

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 4% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden
1	37	31
2	38·5	34·5
3	45	29
4	47	34
5	37	30
6	32	29
7	39	30·5
8	37	30
9	34	30
10	39·5	32·5
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 286%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 215%

VIII.

Nr. der Wurzel	Atm. Luft	Atm. Luft mit 5% Leuchtgas
	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden	Länge der mark. Zone nach 24 Stunden
1	32	27
2	38·5	31·5
3	31	26
4	33	20
5	39·5	24
6	39·5	33
7	39	31·5
8	45·5	30
9	37	28
10	29	27·5
11	36	24
	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 263·6%	Zuwachs jeder einzelnen Wurzel im Mittel 175%

Der Kürze wegen will ich von den weiteren Versuchen, die übrigens ganz in derselben Weise angestellt wurden wie die eben geschilderten, nur die Resultate angeben.

Ich erhielt bei

6%	Leuchtg.	einen	Zuwachs	von	194 %	in	Luft	325 %	22—24°C.	Temperatur.
8 „	„	„	„	„	185	„	„	346 „		
10 „	„	„	„	„	178·8	„	„	207 „	20°C.	
20 „	„	„	„	„	176·1	„	„	232 „		
30 „	„	„	„	„	165	„	„	273·5 „		

Aus diesen Versuchsreihen geht auf das deutlichste hervor, dass Leuchtgas selbst schon in minimalen Mengen das Längenwachsthum der Wurzel in auffallender Weise verlangsamt und dass bei gehöriger Steigerung der Leuchtgasmenge das Wurzelwachsthum sehr gehemmt wird, ohne dass sich jedoch eine strenge

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Proportionalität zwischen der angewandten Leuchtgasmenge und dem Längenwachsthume einstellt. Da bereits sehr kleine Quantitäten dieses Gases, nämlich 0·005% in merkbarer Weise schädlich sind, so können wir überdies mit Sicherheit schliessen, dass das Leuchtgas nicht so sehr desshalb auf die Pflanze schädlich wirkt, weil es Sauerstoff verdrängt, sondern als directes Gift wirkt — ein Resultat, zu welchem auch Böhm[1] bei seinen Untersuchungen über den Einfluss des Leuchtgases auf die Vegetation gelangte.

Eine sehr oft aufgeworfene und auch vielfach in ganz entgegengesetztem Sinne beantwortete Frage ist die, ob das aus verletzten oder nicht gut schliessenden Röhren ausströmende und in den Boden eindringende Leuchtgas den Alleebäumen schadet oder nicht. Meines Wissens liegen über diesen Gegenstand Versuche vor von Kny[2] und Böhm.[3]

Kny leitete durch Röhren zu den Wurzeln im Freien stehender Bäume grössere Mengen von Leuchtgas, Böhm führte dasselbe unter Anderm in die Erde von in Töpfen cultivirten Pflanzen ein (*Fuchsia fulgens* und *Salvia splendens*); das Resultat war in beiden Fällen übereinstimmend: die Pflanzen kränkelten oder starben nach längerer oder kürzerer Zeit ab. Beweisen daher schon die Versuche der beiden genannten Forscher die Schädlichkeit des Leuchtgases auf das eklatanteste, so wird die Giftigkeit desselben noch in viel feinerer Weise durch die oben erwähnte Thatsache deutlich gemacht, wonach schon ausserordentlich kleine Mengen (0·005%) dieses Gases das Längenwachsthum von Mais- und Erbsenwurzeln beträchtlich retardiren. Auf Grund dieser Thatsachen möchte ich mich, obwohl meine Versuche sich nur auf Keimlinge und nicht auf ältere Pflanzen beziehen, gleichfalls der Ansicht anschliessen, dass das Ausströmen des Leuchtgases aus den Leitungsröhren, selbst wenn dasselbe nur in geringem Masse stattfindet, jedoch nur längere Zeit hindurch andauert, auf das Gedeihen der Alleebäume schädlich wirkt und dass das in der

---

[1] Sitzungsberichte der k. Akad. d. Wissenschaften. I. Abth. 1873. p. 4.

[2] Vergl. das Referat i. d. bot. Zeitg. 1871 p. 852.

[3] L. c. p. 5.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bodenluft auftretende Leuchtgas zu einer der Hauptursachen des Absterbens unserer Stadtalleebäume zu zählen ist.

Bei meinen Wurzelculturen im Leuchtgas machte ich zu wiederholten Malen die Beobachtung, dass viele Wurzeln nicht gerade wuchsen, sondern ganz unregelmässige, ganz verschieden orientirte Krümmungen ausführten, ähnlich so, wie ich dies bei im Wasser (pag. 112) oder im sauerstoffarmen Raume (pag. 116) gezogenen Wurzeln wahrgenommen habe. Bei genügend langer Versuchsdauer (2—3 Tage) krümmten sich sogar viele Wurzeln schrauben- oder schleifenförmig — wieder ein neuer und deutlicher Beweis für die intensive Einwirkung des Leuchtgases auf die Pflanze.

Cultivirt man unverletzte und in einer Ausdehnung von 1 Mm. decapitirte Wurzeln in feuchter, 2—4% Leuchtgas enthaltender Luft, so kann man die überraschende Wahrnehmung machen, dass die geköpften in Vergleich zu den intacten verhältnissmässig gerade wachsen, und ferner dass die decapitirten Wurzeln den unversehrten im Längenwachsthum voraneilen.

Es wurde schon auf pag. 174 darauf hingewiesen, dass geköpfte Wurzeln bei Cultur in feuchter Luft oder feuchten Medien, wie von Wiesner[1] zuerst gezeigt wurde, weniger wachsen als unverletzte. Neueren, sehr wichtigen Untersuchungen desselben Forschers zufolge findet jedoch bei Cultur der Wurzeln im Wasser gerade das Umgekehrte statt. Da dieses Verhalten, wie oben hervorgehoben wurde, auch bei im Leuchtgas wachsenden Wurzeln eintritt, und da man es in diesem Gas zweifellos mit einem auf die Pflanze energisch wirkenden Gifte zu thun hat, so ist hiemit eine neue Stütze für die von Wiesner vertretene Ansicht gegeben, wonach das raschere Wachsthum geköpfter Wurzeln gegenüber intacten im Wasser als eine pathologische Erscheinung aufzufassen ist.[2]

In dieser Arbeit wurde auf dreierlei Bedingungen hingewiesen, unter denen unverletzte Wurzeln ganz unregelmässige

---

[1] Bewegungsvermögen, p. 105.

[2] Wachsthumsbewegungen der Wurzeln, l. c. p. 22.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Krümmungen ausführen. Diese Bedingungen sind: 1. Cultur im Wasser, 2. Cultur im Leuchtgas und 3. Cultur im sauerstoffarmen Raume. Zieht man unter denselben Verhältnissen decapitirte (1 Mm.) Wurzeln, so wachsen sie verhältnissmässig gerade.

Ich hebe absichtlich diese Thatsache nochmals hervor, weil sie aufs deutlichste lehrt, dass eine Wurzel, falls sie von einem wirksamen Agens, etwa von Leuchtgas, allseitig in gleich intensiver Weise beeinflusst wird, beliebig orientirte Wachsthumskrümmungen ausführt. Dagegen ist die Wurzelbewegung stets eine bestimmt orientirte und im Voraus bestimmbare, wenn das Gas einseitig angreift, also auf einer Seite heftiger einwirkt als auf der andern. — Diese Erscheinung ist analog derjenigen, wie sie bei ein- und allseitiger Schädigung des Wurzelendes eintritt: wird von der äussersten Spitze irgend einer Wurzel an einer Seite ein Stückchen abgeschnitten, so stellt sich Darwin'sche Krümmung ein, wobei die Wurzel schliesslich von der verletzten Seite wegwächst, trägt man jedoch die Spitze durch einen möglichst queren Schnitt allseitig ab, dann vollführt die Wurzel sehr häufig ganz unregelmässige Nutationen, deren Richtungen keinerlei Gesetzmässigkeit erkennen lassen.

Schliesslich seien noch zum Beweise dafür, dass decapitirte und intacte Wurzeln, falls sie in mit Leuchtgas vermengter feuchter Luft gezogen werden, sich bezüglich ihrer Zuwächse auffallend verschieden verhalten, folgende Zahlen mitgetheilt.

Zea Mais.

Leuchtgasmenge	Zuwachs der intacten Wurzeln	Zuwachs der geköpften Wurzeln	Versuchsdauer 24 Stunden	Temperatur 21—22° C.
2%	154 %	246%	„	„
5 „	170·7 „	295 „	„	„
5 „	175 „	263 „	„	„

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VII.

Die biologische Bedeutung des Aërotropismus für die Pflanze.

Der Hauptzweck der vorliegenden Arbeit, den richtenden Einfluss der Gase auf wachsende Wurzeln experimentell nachzuweisen, ist nunmehr erreicht und ich will am Schlusse nur noch die Frage erörtern, ob der Aërotropismus für das Leben der Pflanze von irgend welcher Bedeutung ist und ferner, ob nicht gewisse bisher unerklärte Erscheinungen mit demselben in Zusammenhang gebracht oder gar durch denselben erklärt werden können.

Wie oben gezeigt wurde, besitzt die Wurzel das höchst auffallende Vermögen, schädlich wirkende Gase, falls dieselben in genügender Verdünnung geboten werden, zu fliehen. Würde die Wurzel unter natürlichen Verhältnissen ähnliche Bedingungen vorfinden, wie dieselben im Experimente künstlich geschaffen wurden, dann käme der Wurzel dieses Vermögen zweifelsohne sehr zu statten, da sie hiedurch mannigfachen Gefahren entrinnen könnte. Die Wurzel wird nun zwar in der Natur keine Gelegenheit finden, auf Leuchtgas, Chlor, Äther, Chloroform und manche andere der oben erwähnten Gase reagiren zu können, da sie dieselben einfach nicht antrifft — anders steht jedoch die Sache bezüglich des Sauerstoffmangels und der Kohlensäure. Beim Eindringen in tiefere Bodenschichten wird die Wurzel nur zu oft in luft- und beziehungsweise sauerstoffarme oder bei Anwesenheit von verwesenden organischen Stoffen in kohlensäurereiche Regionen gelangen, und es ist im hohen Grade wahrscheinlich, dass unter diesen Verhältnissen der Aërotropismus zur Geltung kommen wird.

Dass die Sauerstoffmenge von den obersten Bodenschichten zu den tiefer liegenden — man könnte beinahe sagen rapid — abnimmt, geht mit voller Sicherheit aus dem in der Praxis allgemein angewandten Tiefsaatverfahren hervor. Nach den Erfahrungen der Landwirthe sowie nach genauen in dieser Richtung angestellten Untersuchungen (Stöckhardt, Bauer, Burghardt)[1] darf beim Säen unserer meisten Nutzpflanzen eine gewisse Saattiefe nicht überschritten werden, weil sonst wegen

[1] Citirt in Nobbe's Handbuch der Samenkunde. Berlin 1876, p. 176 und 177.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Mangel an Sauerstoff die Keimung unterbleibt. So wird nach Stöckhardt's Angaben als beste Saattiefe angegeben

bei Weizen und Wicke	2·5—4	cm.
„ Roggen	1·3—2·5	„
„ Hafer	2 —4	„
„ Erbse, Bohne, Mais	4 —5	„
„ Kleearten, Ölsamen	0·6—1·3	„

Kiefernsaat keimt nach Bauer bei 2 Mm. Erdbedeckung vortrefflich, während bei einer 17 Mm. dicken Bodendecke die Keimung vollständig unterbleibt. Am empfindlichsten, weil offenbar am sauerstoffbedürftigsten, sind Esche, Ulme, Hainbuche, Birke, Erle und Lärche, da diese entweder gar keine oder nur eine ganz schwache Bedeckung mit Erde vertragen,

Da das Mass der Saattiefe in erster Linie von der bei der Keimung nöthigen Sauerstoffmenge abhängt und da die Keimung vieler Samen schon wenige Centimeter unter der Bodenoberfläche unterbleibt, so können wir schliessen, dass die in den oberen Schichten der Pflanze zur Verfügung stehenden Sauerstoffquantitäten bedeutend grösser sind als in den tieferen; dies wird besonders in sehr bündigen Thonböden der Fall sein, weil diese, vornehmlich bei genügender Durchnässung, die Gasdiffusion im hohen Grade hemmen.

Wenn die Samen vieler Pflanzen schon in verhältnissmässig sehr geringen Bodentiefen derart mit Sauerstoffnoth zu kämpfen haben, dass sie einfach gar nicht keimen, dann wird sich eine solche gewiss auch bei vielen in bedeutendere Tiefe eindringenden Wurzeln einstellen, da diese ja fortwährend Sauerstoff verathmen, diesen aber hier nur in ungenügender Menge beschaffen können. Derartige, in wenig durchlüftetem Boden stehende Pflanzen bleiben auch sichtlich im Wachsthum zurück, wesshalb Landwirthe und Gärtner durch besondere Bearbeitung des Bodens, durch Auflockerung desselben, durch Drainage seit langer Zeit die Luftcirculation im Boden möglichst zu fördern suchen. [1]

---

[1] Dies ist auch der Grund, warum bei Gärtnern die Benützung von glasirten Blumentöpfen so verpönt ist und warum man in neuerer Zeit auch Töpfe mit mehreren unten und seitlich angebrachten Öffnungen erfolgreich anzuwenden beginnt. Es wäre nicht schwer, noch eine Reihe von sehr nützlichen, in der Praxis üblichen Gebräuchen anzuführen, welche alle auf eine genügende Durchlüftung des Bodens abzielen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Wurzel bei ihrem Vordringen in die Tiefe bezüglich des Auskommens der nöthigen Sauerstoffmenge auf immer grössere Schwierigkeiten stossen und dass sie endlich in solche Regionen kommen wird, wo die Bedingungen für den Aërotropismus realisirt sind, vielleicht in viel besserer Weise als dies bei unseren Experimenten der Fall war. Gelangt eine Wurzel in eine solche für den Aërotropismus günstige Region und weicht dieselbe aus irgend einer Ursache, z. B. in Folge von spontaner Nutation oder in Folge von Widerständen von der verticalen Richtung ab, dann wird ihr von oben her der Sauerstoff reichlicher zufliessen als von unten, wesshalb sie sich von der sauerstoffärmeren unteren Seite zur sauerstoffreicheren oberen wenden wird. Auf diese Weise wird der Aërotropismus dem allzutiefen Vordringen der Wurzel in den Boden Einhalt gebieten und die Wurzel vor allzugrosser Sauerstoffnoth bewahren.

Da die Kohlensäuremenge in der Bodenluft oft sehr bedeutend ist, nach Boussingault[1] in frisch gedüngtem nassem Sandboden gegen 10 Volumpercente beträgt und da die einzelnen Bodenschichten gewiss Kohlensäure verschiedener Spannung enthalten, so gelten die bezüglich des Sauerstoffes entwickelten Erwägungen mutatis mutandis auch bezüglich der Kohlensäure: Sauerstoffarmuth und Kohlensäurereichthum werden gleichsinnig auf die Wurzel einwirken und Aërotropismus einleiten.

In Hinblick auf die gegebenen Ausführungen wird die bislang vollkommen unerklärte Thatsache, dass unterirdische Organe bis zu einer gewissen Normaltiefe in den Boden eindringen und über dieselbe nicht hinausgehen, einigermassen verständlich. Diese Erscheinung ist schon manchem Forscher aufgefallen, und ich will es mir nicht versagen, eine in dieser Beziehung höchst interessante Stelle aus einem Referate E. Warming's[2] mitzutheilen, welches derselbe über seine inhaltsreiche Arbeit „Sprossbau, Überwinterung und Verjüngung" jüngst publicirte. Der genannte Forscher sagt: „Es dürfte aus Alex. Braun's alter Abbildung

[1] Jahresbericht für Chemie, 1852, p. 783.

[2] Engler's bot. Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte etc. V. Bd., 3. Heft, 1884, p. 1856.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

von *Adoxa Moschatellina* bekannt sein, dass die successiven Sprosse bei dieser Art sich immer tiefer in den Boden senken, bis eine gewisse Tiefe erreicht worden ist, welche man als Normaltiefe bezeichnen könnte. Schon vor mehreren Jahren habe ich dasselbe von *Dentaria bulbifera* umständlich in der „Botanik Tidsskrift" besprochen; die aus den Bulbillen oder aus Samen hervorgegangenen Pflanzen dringen mit ihren Rhizomen tiefer und tiefer in den Boden hinein, bis etwa in eine Tiefe von 6—8 cm.

Noch schöner zeigten die Keimpflanzen von *Phragmites* dasselbe Phänomen, was ich in der hier referirten Abhandlung abgebildet habe. In der Literatur findet man Beobachtungen, welche zeigen, dass dies auch bei anderen Pflanzen vorkommt, z. B. bei *Tulipa* nach Braun, überhaupt dürfte es eine allen unterirdischen Pflanzentheilen, wenigstens allen Stengeln zukommende Eigenthümlichkeit sein. Physiologisch ist sie noch nicht studirt, doch hängt sie wenigstens bei *Phragmites*, *Adoxa* und *Dentaria* nicht von der Zusammenziehung und abziehenden Kraft der Wurzeln ab. Wahrscheinlich spielen die Beleuchtungsverhältnisse die grösste Rolle. Royer hat dieses Phänomen unter dem Namen „la loi de niveau" besprochen."

Die Normaltiefe unterirdischer Organe durch die Contraction der Wurzeln oder gar durch Beleuchtungsverhältnisse erklären zu wollen, klingt aus naheliegenden Gründen nicht sehr plausibel; durch die Verkürzung der Wurzeln könnte zwar gezeigt werden, dass gewisse Organe in den Boden dringen, aber nicht, warum sie gerade bis zu einer bestimmten Tiefe vorschreiten. Was die Beleuchtungsverhältnisse anbelangt, so dürften wohl schon wenige Centimeter unter der Bodenoberfläche überhaupt keine obwalten. Dagegen erscheint es mir im hohen Grade wahrscheinlich, dass bei der Normaltiefe unterirdischer Organe, abgesehen von inneren Ursachen, dem Aërotropismus eine wesentliche Rolle zufällt, bezüglich der Wurzeln wenigstens möchte ich dies bestimmt behaupten, bezüglich der Rhizome jedoch nur unter der Voraussetzung, dass es in Zukunft gelingen wird, aërotropische Bewegungen für dieselben nachzuweisen.

Mein hochverehrter Lehrer, Herr Prof. Wiesner, hat mich bei meinen Untersuchungen so vielfach angeregt und so sehr

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

durch treffliche Rathschläge unterstützt, dass ich die vorliegende Arbeit nicht beschliessen kann, ohne ihm hiefür verbindlichst zu danken.

VIII.

Zusammenfassung der wichtigeren Resultate.

1. Werden einer wachsenden Wurzel gewisse Gase einseitig dargeboten, so dass an zwei entgegengesetzten Seiten derselben das wirksame Gas längere Zeit hindurch in ungleichen Mengen vorhanden ist, so wird die Wurzel von ihrer normalen Wachsthumsrichtung in bestimmter Weise abgelenkt. Diese Erscheinung nenne ich Aërotropismus.

2. Ein derartiger richtender Einfluss von Gasen auf wachsende Wurzeln wurde nachgewiesen für Sauerstoff, Kohlensäure, Chlor, Chlorwasserstoffsäure, Leuchtgas, Ammoniak, Chloroform, Äther etc.

3. Die Wurzeln sind gegen verschiedene Gase in verschiedenem Grade empfindlich: Sauerstoff z. B. bewirkt schwache, Kohlensäure stärkere, Chlor sehr energische Wirkung.

4. Wirkt ein Gas in zu grossen Mengen, also zu intensiv auf die Wurzel ein, so krümmt sich dieselbe der Gasquelle zu (positiver Aërotropismus), bei mässiger Einwirkung des Gases jedoch von demselben weg (negativer Aërotropismus). Bezüglich des Sauerstoffes verhält sich die Sache etwas complicirter.

5. Die positive Krümmung kommt dadurch zu Stande, dass die concave Seite geschädigt wird und in Folge dessen weniger in die Länge wächst als die Gegenseite. Warum beim negativen Aërotropismus ganz gegen alle Erwartung gerade diejenige Seite, welche dem schädlichen Gase am meisten exponirt ist, stärker wächst als die Gegenseite, bleibt vorläufig unerklärt. Die naheliegende Vermuthung, es könnte dies darin seinen Grund haben, weil an der convex werdenden Seite möglicherweise ein Optimum der Gasspannung für das Längenwachsthum der Wurzel sei, ist auf Grund von Versuchen zurückzuweisen.

6. Geköpfte Wurzeln reagiren auf Kohlensäure, Chlor und Leuchtgas ebenso wie unverletzte, doch in schwächerem Grade. Der Aërotropismus ist somit als eine paratonische Nutation anzusehen, bei welcher die äussere Ursache die wachsende Region

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

direct beeinflusst und nicht etwa wie beim Hydrotropismus erst unter Intervention der Wurzelspitze. Hierin nähert sich die aërotropische Wurzelkrümmung der geotropischen, denn auch bei dieser greift die Schwerkraft, wie von Wiesner gezeigt wurde, direct in der wachsenden Zone an, also dort, wo die Krümmung sich vollzieht.

7. Leuchtgas wirkt sehr schädlich auf die Pflanze, selbst geringe Mengen (0·005 %) hemmen das Längenwachsthum der Wurzel schon in beträchtlichem Grade. Ähnliches gilt für Kohlensäure und Chlor, nur tritt der schädliche Einfluss erst bei Anwendung etwas grösserer Mengen deutlich hervor.

8. Werden junge *Zea*-Keimlinge so oberhalb eines Wasserspiegels befestigt, dass sie nur mit ihren Wurzelspitzen eintauchen, so vollführen sie weiterwachsend entweder im Wasser ganz unregelmässige Krümmungen oder sie wenden sich dem Wasserspiegel zu und wachsen an der Grenze zwischen Wasser und Luft oft Tage lang weiter. Die unregelmässigen Nutationen dürften abnormen Einflüssen unter anderen mangelhaftem Sauerstoffzutritt ihre Entstehung verdanken; dafür spricht in hohem Grade die Thatsache, dass *Zea*-Wurzeln in sauerstoffarmer oder in mit Leuchtgas vermengter Luft ganz dieselben Krümmungen aufweisen.

Der horizontale Verlauf der *Zea*-Wurzel auf dem Wasser lässt sich naturgemäss als eine durch den hohen Sauerstoffgehalt der obersten Wasserschichten bedingte aërotrope Bewegung deuten.

9. Wird eine decapitirte und intacte Wurzel in Leuchtgas enthaltender feuchter Luft cultivirt, so zeigt sich zwischen beiden ein auffallender Unterschied: die geköpften wachsen ziemlich gerade und verhältnissmässig stark, während die unverletzten sich auffallend krümmen und im Längenwachsthum sichtlich zurückbleiben. Hiedurch erhält die Ansicht Wiesner's, dass das auffallend rasche Wachsthum decapitirter Wurzeln gegenüber den intacten bei Cultur im Wasser eine pathologische Erscheinung sei, eine neue Stütze.

10. Die Wurzel wird, da sie das Vermögen besitzt, sauerstoffarme Orte zu fliehen, vor allzutiefem Eindringen in den Boden bewahrt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Erklärung der Tafel.

Fig. 1, 2, 3. *Zea*-Keimlinge, deren Wurzeln ursprünglich nur mit ihrer äussersten Spitze schief ins Wasser tauchten und hierauf in auffallender Weise nutirten. Wurden 72 Stunden nach Beginn des Versuches gezeichnet. Vgl. p. 113 und 114.

„ 4. Auffallend schraubenförmige Nutation einer *Zea*-Wurzel, welche 48 Stunden in feuchter, mit 3% Leuchtgas vermengter Luft cultivirt wurde.

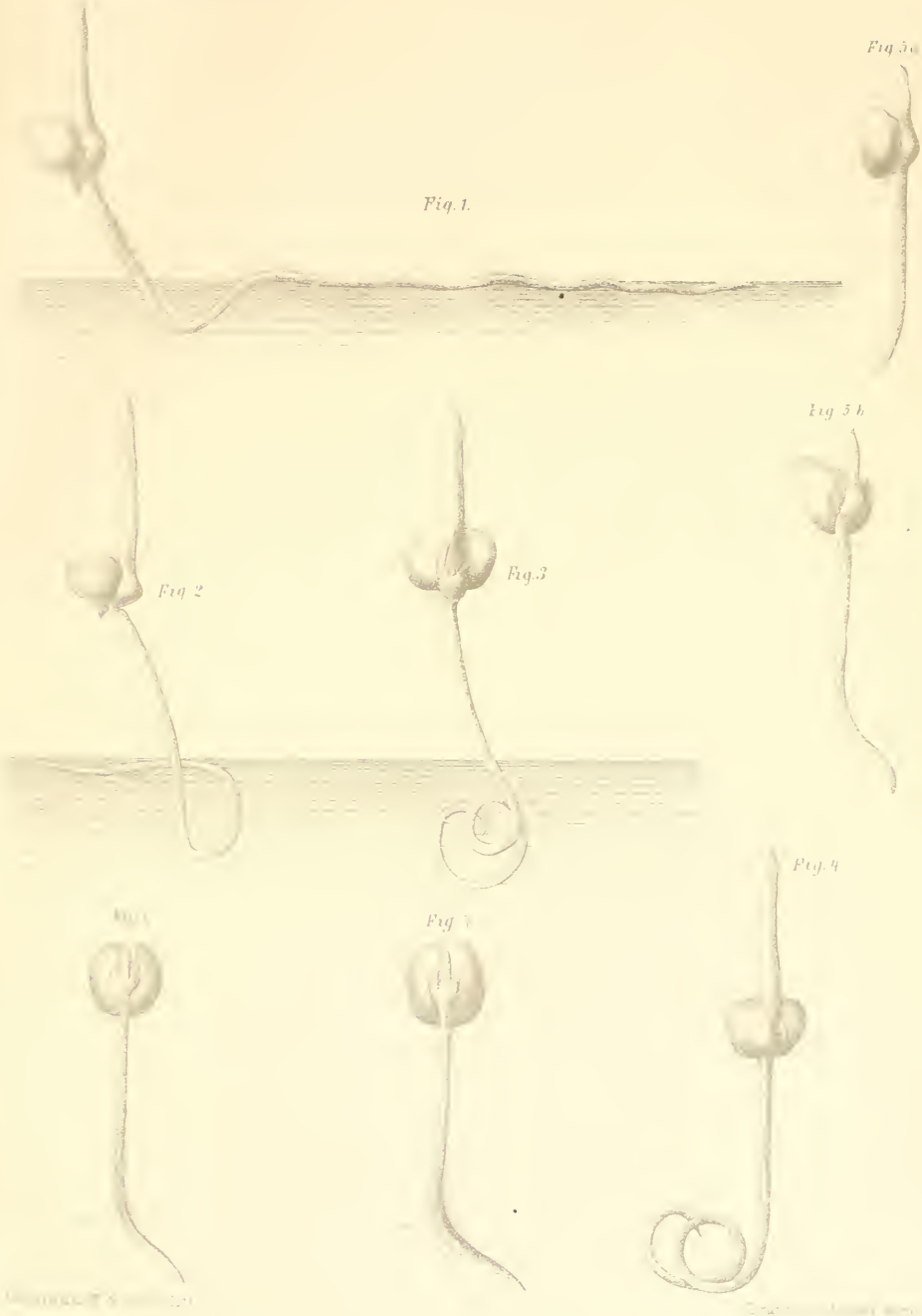
„ 5 *a*. Positiv aërotrope Krümmung einer *Zea*-Wurzel, hervorgerufen durch CO_2. 3 Stunden nach Beginn des Versuches.

„ 5 *b*. Dieselbe Wurzel nach 24 Stunden, negativ aërotropisch gekrümmt.

„ 6. Erbsenkeimlinge. Wurzel in Folge der Einwirkung von Chlor negativ aërotropisch gekrümmt. Versuchsdauer 24 Stunden.

„ 7. Erbsenkeimling. Wurzel durch Leuchtgas negativ aërotropisch gekrümmt, in der gekrümmten Zone auffallend verdickt. Versuchsdauer 48 Stunden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: 90

Autor(en)/Author(s): Molisch Hans

Artikel/Article: Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachsthumsrichtung durch Gase (Aerotropismus). 111-196