© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

57. Alexander Klatt: Über die Entstehung von Seitenwurzeln an gekrümmten Wurzeln.

(Eingegangen am 20. Oktober 1909.)

Wie NOLL[1]) im Jahre 1900 gezeigt hat, treten an einer gekrümmten Wurzel Seitenwurzeln ausschließlich an der Konvexseite auf, einerlei ob die Krümmung durch tropistische Wachstumserscheinungen oder rein mechanisch zustande gekommen ist. Man konnte erwarten, daß die Konvexseite gegenüber der geraden Wurzel gedehnt, die Konkavseite komprimiert ist, und daß in solchen Spannungsdifferenzen die Ursache für die einseitige Entstehung der Nebenwurzeln liege. NOLL versuchte deshalb an geraden Wurzeln Spannungsdifferenzen herzustellen. Zu dem Zwecke ließ er entweder Wurzeln einseitig anwelken oder brachte ihnen einseitig zahlreiche Rindeneinschnitte bei; er nahm an, daß in der angewelkten und der mit Einschnitten versehenen Seite solcher Wurzeln eine Abnahme der Spannung eintreten würde und daß die künstlich erzeugte Spannungsdifferenz zu einer ungleichen Verteilung der Seitenwurzeln führen werde. Das erwartete Resultat trat indes nicht ein. Da auch keine anatomisch-histologischen Differenzen zwischen beiden Seiten einer gekrümmten Wurzel gefunden wurden, die Anhaltspunkte für die Bevorzugung der Konvexseite in der Wurzelbildung geben konnten, und da ferner auch bei nicht gewebebildenden und einzelligen Organismen (Pilzmycelien, Moosrhizoiden) die sonst gleichseitige Verzweigung nach der Krümmung auf die Konvexseite beschränkt ist, so kam NOLL zu der Vorstellung, daß dem Organismus eine Empfindung für seine eigene Körperform zukomme. Er sprach von „Morphästhesie" und verstand darunter „eine Reizbarkeit auf Grund der Wahrnehmung von Reizen, die von der Form und Haltung des eigenen Körpers ausgehen". Später (1902) hat NOLL[2]) diesen mystischen Begriff der Morphästhesie auf realere Basis zu stellen versucht, wobei er dann doch wieder auf die Annahme von Spannungsdifferenzen kam. Freilich sollten jetzt diese nicht mehr zwischen einzelnen Zellen und Geweben bestehen, sondern die Spannung

1) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1900.

2) Biologisches Zentralblatt Bd. 23, S. 281, 1903.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Hautschicht des Protoplasmas sollte maßgebend sein. Auf jede Änderung dieser sollte die Pflanze reagieren.

Die tatsächlichen Beobachtungen NOLLs sind später von NORDHAUSEN[1]) bestätigt worden, und über ihre Richtigkeit kann überhaupt kein Zweifel bestehen. Die NOLLsche Erklärung dieser Tatsachen aber, insbesondere die Annahme einer Morphästhesie, unterzieht NORDHAUSEN einer scharfen Kritik. Auf Grund zahlreicher Versuche kommt er zu der Überzeugung, daß eben doch Spannungsdifferenzen zwischen Konkav- und Konvexseite an der gekrümmten Wurzel bestehen, und daß diese die Ursache der einseitigen Nebenwurzelbildung seien. Seine wichtigsten Versuche waren die folgenden: Wenn man an einer Wurzel innerhalb der Wachstumszone einen Quereinschnitt macht, so krümmt sie sich infolge der einseitigen Aufhebung der Spannung so, daß dabei die Schnittwunde auf die Konkavseite zu liegen kommt. Werden nun diese Krümmungen in geeigneter Weise verhindert, so entstehen nur der Wunde gegenüber Seitenwurzeln, auf der verwundeten Seite selbst dagegen keine; die Wurzelbildung ist also nur auf der Seite eingetreten, die sich ohne weiteren Eingriff konvex gestaltet hätte und die die größere Spannung hat. — Eine einseitige Wurzelausbildung an einer ungekrümmten Hauptwurzel kann man nach NORDHAUSEN auch in der Weise erzielen, daß man eine in Luft befindliche Wurzel einseitig an feuchtem Gips vertikal hinab wachsen läßt. Durch Transpiration der vom Gips abgewandten Seite wird dort die Spannung herabgesetzt und die Wurzelbildung bleibt aus. Dieses Resultat steht in direktem Widerspruche mit den Ergebnissen ähnlicher Versuche NOLLs. Das rührt nach NORDHAUSEN daher, daß bei den NOLLschen Experimenten nicht für genügende Feuchtigkeitsdifferenzen auf den beiden Seiten der Wurzel gesorgt war. Ferner hat NORDHAUSEN Keimwurzeln abwechselnd streckenweise in feuchte Erde und nicht ganz dampfgesättigte Luft gebracht und hat dann an den trockener gehaltenen, also wohl weniger gespannten Strecken eine Verminderung oder Aufhebung der Nebenwurzelbildung konstatiert. Eine ähnliche Wirkung wie durch Luft konnte auch durch eine Rohrzuckerlösung von 10 bis 15 pCt. erzielt werden.

Sehen wir von einigen anderen, weniger wichtigen Versuchen NORDHAUSENs ab und fragen wir nun, ob die angeführten wirklich das beweisen, was sie beweisen sollen, nämlich, daß die stärkere oder schwächere Spannung der rhizogenen Schicht über das Auf-

1) Jahrbücher f. wiss. Botan. Bd. 44, S. 557, 1907.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

treten oder Fehlen der Seitenwurzeln entscheidet! Von großer Wichtigkeit wäre es, wenn es zu zeigen gelänge, daß in der Tat an jeder beliebigen Krümmung einer Wurzel die rhizogene Schicht der Konkavseite nach Isolierung sich verlängerte, während die isolierte konvexe rhizogene Schicht sich verkürzte. Aus der Arbeit von POLLOCK[1]), auf die sich NORDHAUSEN stützt, kann man ein solches Verhalten keineswegs entnehmen. In den Versuchen POLLOCKs, die an traumatropisch gekrümmten Wurzeln ausgeführt wurden, zeigte immer nur ein Bruchteil aller Exemplare derartige Spannungsverhältnisse; andere verhielten sich nicht selten entgegengesetzt.

Dies veranlaßte mich, eigene Versuche auf diesem Gebiete anzustellen, wobei ich mich vornämlich an *Vicia Faba*-Wurzeln hielt. Sowohl in der Wachstumszone wie auch außerhalb wurde die Längenänderung von Rinde und Zentralzylinder nach der Isolierung gemessen; die isolierten Streifen wurden dann plasmolysiert und wieder gemessen. Alle Versuche wurden an geraden wie auch an mechanisch oder tropistisch gekrümmten Wurzeln ausgeführt. Die Resultate der Messungen fielen derartig ungleichmäßig aus, daß man zurzeit jedenfalls nichts Sicheres und Allgemeingültiges über die Spannungsverhältnisse in der gekrümmten Wurzel sagen kann. Wenn man bedenkt, daß die von NORDHAUSEN supponierten Spannungsverhältnisse in der Wurzel tatsächlich nicht nachgewiesen sind, so wird man zugeben müssen, daß die NORDHAUSENsche Erklärung für die einseitige Anordnung von Nebenwurzeln am gekrümmten Mutterorgane nicht als definitiv begründet gelten kann.

GOEBEL[2]) hat neuerdings darauf hingewiesen, daß vielleicht „durch die Biegung nicht nur die Form der Hauptwurzel, sondern auch ihre innere Beschaffenheit verändert wird und zwar in der Weise, daß auf der Konvexen die Bedingungen für die Nebenwurzelbildung gefördert, auf der Konkaven gehemmt werden.“ Auch hält er es für möglich, daß, ähnlich wie er es bei der Entstehung der Seitenorgane an gekrümmten Sprossen annimmt, beim Biegen die Ernährungsverhältnisse geändert werden. Auf der Konvexseite soll nämlich die Zufuhr bestimmter Nahrungsstoffe reichlicher sein als auf der Konkaven. Die Biegung soll dann also wie eine Ringelung wirken, nur unvollständiger. Diese Auffassung GOEBELs bedarf noch der experimentellen Begründung.

---

1) Botanical Gazette Bd. 29, 1900.

2) Einleitung in die experimentelle Morphologie, Leipzig 1908.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

In meinen eigenen Studien suchte ich einmal festzustellen, was für eine Bedeutung eine zweifellose Kompression und Expansion an der geraden Wurzel für die Nebenwurzelbildung hat, und wiederholte andererseits einen von JOST[1]) andeutungsweise beschriebenen Versuch.

Wird das ganze wachsende Ende einer *Faba*wurzel und ebenso der obere Teil derselben in Gips eingebettet, während ein etwa 1,5 cm langer Teil der Wurzel freibleibt, so kann man diesen freien Teil durch Anhängen eines größeren Gewichtes (200 g) an die untere Gipsmasse nicht unbeträchtlich dehnen. Dabei ist dieser gedehnte Teil gerade der Ort, an dem die Neubildung von Seitenwurzeln erfolgen muß (NORDHAUSEN S. 615). Die Nebenwurzeln traten genau wie an einer ungedehnten Wurzel auf. Andererseits wurden Wurzeln an gleicher Stelle, d. h. also unmittelbar oberhalb der Wachstumszone, in folgender Weise komprimiert. Die bezeichnete Zone wurde in einen Kautschukzylinder eingebettet, der 24 mm hoch und 25 mm dick war (ein zweiter Zylinder war 15 mm hoch und 30 mm dick) und eine Bohrung in der Mitte führte, die gerade die Aufnahme der Wurzel gestattete, so daß sich der Kautschuk fest an sie anlegte. Um den Kautschukzylinder am Schlusse der zwei Tage währenden Kompression bequem abnehmen zu können, war er der Länge nach in zwei Hälften zerschnitten, welche durch Umwickeln mit Bindfaden fest aneinander gepreßt wurden. Es wurde nun Gips um die älteren und die jüngeren Wurzelteile gegossen und dann die basale Gipsmasse als Auflage benutzt, während auf die apikale das Gewicht einwirkte. Für das Weiterwachsen der Wurzelspitze war durch Anbringen eines Kanals Sorge getragen. Bei Anwendung eines Gewichtes von 1 kg bei dem dünneren, von 2 kg bei dem dickeren und weniger elastischen Kautschukzylinder betrug die Kompression des Kautschuks etwa 2 pCt., wenn die Wurzel eingeschlossen war.

Eine derartige Kompression müßte genügen, um die Seitenwurzelbildung zu unterdrücken — wenn die Unterdrückung durch Kompression bedingt wäre —, denn in Versuchen NOLLs[2]) war der Längenunterschied der beiden Seiten einer mit dem Radius 10 cm gekrümmten Lupinenwurzel von 1,5 mm Dicke nur 1,5 pCt.; die beiden rhizogenen Zellreihen zeigten sogar nur 0,5 pCt. Längendifferenz. Tatsächlich ergaben aber meine Versuche, daß die komprimierten Stücke nach Befreiung aus dem Kautschuk und

1) JOST, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. Aufl., S. 379, Jena 1908.
2) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1900.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kultur in Erde sich ganz ebenso verhielten wie normale oder gedehnte.

Wenn demnach Kompression für sich allein keinen Einfluß auf die Seitenwurzelbildung auszuüben vermag, so ist damit doch nicht gesagt, daß sie bei einseitiger Wirkung ebenfalls ohne Bedeutung ist, denn in den Versuchen BÜCHERs [1]) zeigten sich in gewaltsam gebeugten Zweigen gewisse anatomische Differenzen, die nur durch ungleiche Verteilung von Zug und Druck bedingt sein konnten; ein einfacher allseitig wirkender Zug blieb dagegen ohne Erfolg. Entsprechend wäre nun denkbar, daß es bei der Wurzel nicht darauf ankommt, daß überhaupt eine Kompression oder Expansion besteht, sondern daß eine Spannungsdifferenz die Ursache einseitiger Nebenwurzelbildung ist. Zur Prüfung dieser Frage dienten Versuche an längsgespaltenen Wurzeln. Diese Versuche wurden auf folgende Weise ausgeführt. Als Material dienten vornämlich Lupinenwurzeln. Sie eignen sich besonders gut zu den Spaltungsversuchen, weil sie diarch sind und sich leicht in zwei Längshälften mit je einem Xylemstrang spalten lassen. Denn da die Seitenwurzeln immer nur vor einem Gefäßteile entstehen, so ist es natürlich von Wichtigkeit, daß die Spaltungshälften einen solchen in sich einschließen. Um nun bei einer eventuellen Entstehung der Seitenwurzeln an der Konkavseite jedem Einwande zu entgehen, mußte bei der Ausführung der Versuche folgendes berücksichtigt werden. Erstens mußten die Wurzeln von Anfang an ganz gerade gewachsen sein, denn sonst könnten ja die auf der Konkaven entstehenden Nebenwurzeln in einer Region angelegt sein, die früher konvex war. Zweitens mußte vor allen Dingen darauf geachtet werden, daß die Krümmung der Wurzelhälften in einer Zone ausgeführt wurde, die noch frei von der ersten Anlage von Wurzeln war. Das trifft nach NOLL bei *Lupinus* für eine Zone zu, die 3 bis 4 cm von der Spitze entfernt ist. Drittens mußte für einwandsfreie Krümmungen der Wurzelhälften gesorgt werden. Da nun, wie NORDHAUSEN ausgeführt hat, die Wurzeln nach Entfernung ihrer Spitze die Seitenwurzeln in größerer Zahl und kürzerer Zeit ausbilden, so wurde fast stets mit Wurzeln gearbeitet, die dekapitiert waren. Es wurde entweder die ganze Wachstumszone, die für *Lupinus* etwa 6 mm beträgt, entfernt, oder eine kürzere Strecke von 2 bis 5 mm abgeschnitten. Doch zeigte es sich, daß die Größe der dekapitierten Spitze für den Erfolg keine Bedeutung hat. Die Wurzeln wurden in feuchten Sägespänen ge-

1) Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 1906, Bd. 43.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zogen. Sie waren 3 bis 5 Tage alt und 4 bis 10 cm lang. Nach dem Dekapitieren wurden die unteren 2 bis 3 cm mit einem Rasiermesser median längs gespalten. Eine größere Strecke, etwa die ganze Wurzel, zu spalten, hätte keinen Zweck, denn 3 cm oberhalb der Wurzelspitze sind ja, wie schon erwähnt, die Anlagen der Nebenwurzeln vorhanden. Die so präparierten Wurzeln wurden nun auf Korkplatten gebracht und ihre Spaltungshälften in der gewünschten Weise gekrümmt. Es waren zu dem Zwecke in die Korkplatte mit einem Korkbohrer von 14 mm Durchmesser Einschnitte gemacht und in diese Glimmerplättchen eingefügt worden, die etwa den halben Umfang des vorgeschnittenen Kreises einnahmen. Die Spalthälften der Wurzel wurden nun der Konkav- oder Konvexseite eines Glimmerplättchens angepreßt und mit Holzpflöckchen in dieser Lage festgehalten, oder sie blieben ungebogen. Es konnten nun folgende Versuche angestellt werden:

a) beide Spalthälften waren konkav gebogen,
b) beide „ „ konvex „
c) eine Spalthälfte war konvex, die andere konkav,
d) eine „ „ konvex oder konkav, die andere gerade.

Alle diese verschiedenen Versuchsvariationen führten in den meisten Fällen zu ein und demselben Resultate. Es entstanden die Nebenwurzeln an ihrem gespaltenen Mutterorgane ganz unabhängig davon, ob die Seite, an welcher sie angelegt wurden, konkav, konvex oder gerade war. Eine Bevorzugung der einen oder der anderen Seite war nicht zu beobachten. Nicht selten waren die Nebenwurzeln über die ganze gekrümmte Strecke der Wurzelhälfte verbreitet. Besonders zahlreich waren die Nebenwurzeln an der Spitze, wo die Ersatzreaktion am stärksten zutage tritt. Wenn nun auch in einigen Fällen auf der stark konkav gekrümmten Strecke keine Nebenwurzeln hervorgetreten waren, so beweist dies noch nicht, daß dafür die Form der Wurzelhälfte verantwortlich zu machen wäre; denn auch an ganz gerade gewachsenen Wurzeln wechseln mitunter längere, ganz von Nebenwurzeln freie Partien mit solchen, die Nebenwurzeln tragen, ab.

Die beschriebenen Versuche wurden auch mit den vier- bis sechsstrahligen Wurzeln von *Vicia Faba* ausgeführt. Sie hatten dasselbe Ergebnis. Sie wurden ferner mit Wurzeln der Lupinen wiederholt, die auf einer Länge von 2 cm hinter der Wachstumszone gespalten waren, während die Wachstumszone selbst weder entfernt noch gespalten wurde. Da auch hier das gleiche Resultat

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sich einstellte, so zeigt dies, daß unsere Ergebnisse nicht durch die Dekapitation bedingt sind.

Aus den mitgeteilten Versuchen ergibt sich also, daß unter Umständen die Wurzel ohne jede Rücksicht auf die Form ihre Seitenwurzeln ausbildet. Nun kann man sich schwer vorstellen, daß durch einen Einschnitt, der an sich keinen Einfluß auf die Wurzelbildung ausübt, die „Morphästhesie" der Pflanze vernichtet worden sei. Man wird also auch an der intakten gekrümmten Wurzel gerne auf die Annahme einer Morphästhesie verzichten. Man wird vielmehr den Schluß ziehen müssen, daß an der intakten Wurzel eine Korrelation zwischen den beiden Seiten besteht, die es bewirkt, daß diese sich an der gekrümmten Wurzel verschieden verhalten. Diese Korrelation wird durch den Spaltschnitt aufgehoben. Eine Entscheidung darüber, ob die Differenzen zwischen der Konkav- oder Konvexseite an der intakten Wurzel in Spannungsdifferenzen besteht, wie NORDHAUSEN will, oder in Ernährungsdifferenzen, geben unsere Versuche nicht.

Straßburg i. Els., Botan. Institut.

---

58. Ernst Lehmann: Zur Keimungsphysiologie und -biologie von Ranunculus sceleratus L. und einigen anderen Samen.

(Eingegangen am 22. Oktober 1909.)

Seit Winter 1907/08 bin ich mit Versuchen beschäftigt, die die Einwirkung des Lichtes auf die Samenkeimung zum Gegenstande haben. In einem Sammelreferat (Zeitschrift für Botanik, 1909, 1, S. 122—125) habe ich die bisher über diese Materie vorliegende neuere Literatur besprochen. Seither ist meines Wissens nur eine einschlägige Arbeit erschienen, d. i. die von HEINRICHER (1909), welche den Einfluß des Lichtes auf die Keimung von *Phacelia tanacetifolia* detaillierter untersucht, als es bisher durch REMER (1904) geschah.

Mein Hauptbestreben ging nun von Anfang an dahin, Samen, welche für gewöhnlich im Dunkeln nicht oder schlecht keimen, durch geeignete Behandlung daselbst zur normalen Keimung zu veranlassen, um so zu ähnlichen Resultaten zu gelangen, wie sie GOEBEL (1896), HEALD (1898), TREBOUX (1903) und LAAGE (1907)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 27

Autor(en)/Author(s): Klatt Alexander

Artikel/Article: Über die Entstehung von Seitenwurzeln an gekrümmten Wurzeln. 470-476