

selbst bei diesen ging in einzelnen Fällen die Krümmung so weit, dass die Spitze fast horizontal zu liegen kam. Die Krümmung erfolgte sowohl bei den intacten als decapitirten in den Zonen des stärksten Zuwachses.

Wie es Sachs¹⁾ gelungen ist, den direct kaum nachweislichen Geotropismus von Nebenwurzeln durch den Knight'schen Versuch in zwingendster Weise anschaulich zu machen, so gelang es mir auf demselben Wege den Geotropismus decapitirter Wurzeln unwiderleglich zu beweisen.

Aus den mitgetheilten Thatsachen und Auseinandersetzungen ergibt sich: erstens, dass decapitirte Wurzeln geotropisch sind, mithin die Wurzelspitze zur Hervorbringung des Geotropismus nicht erforderlich ist; zweitens, dass die Decapitation in der Wurzel Zustände hervorruft, welche den Geotropismus beeinträchtigen, mithin eine ihrer Spitze beraubte Wurzel nothwendigerweise geschwächten Geotropismus darbieten müsse.

Damit ist die an sich sehr unbedeutende Erscheinung des häufig bis zur Unkenntlichkeit geschwächten Geotropismus einer durch Decapitation verletzten Wurzel genügend erklärt und der auf dem Verhalten solcher Wurzeln gestützten Reizhypothese der Boden entzogen.

12. J. Brunchorst: Die Function der Spitze bei den Richtungsbewegungen der Wurzeln.

1. Geotropismus.

Eingegangen am 21. Februar 1884.

Die vorliegende Abhandlung ist der erste Theil einer Untersuchung, die ich auf Vorschlag des Herrn Professor Frank in Berlin in seinem Laboratorium vorgenommen habe, um die von Darwin aufgestellte Theorie über die „Gehirnfunktion“ der Wurzelspitze bei den verschiedenen Richtungsbewegungen der Wurzeln zu prüfen. Diese Frage ist, besonders was das Verhalten der Spitze gegenüber der Einwirkung der Schwerkraft betrifft, vielfach behandelt worden, ohne dass sie bisher auch nur was die einfachen Thatsachen betrifft als abgeschlossen

1) Arbeiten des bot. Inst. Bd. I. S. 608.

angesehen werden konnte; dazu waren die Widersprüche zwischen den verschiedenen Beobachtungen zu gross. Um diese Widersprüche ein wenig zu klären habe ich es deshalb auch für nützlich gehalten die Literatur ziemlich eingehend kritisch zu berücksichtigen.

An dieser Stelle erlaube ich mir Herrn Professor Frank für den werthvollen Beistand, den er mir bei den Untersuchungen geleistet hat, meinen besten Dank abzustatten.

Ciesielski ist der erste, der eine besondere Funktion der Spitze bei der Abwärtskrümmung der Wurzeln beobachtet hat¹⁾. Er fand, dass „die Abwärtskrümmung der Wurzel nur stattfindet, so lange die Spitze unversehrt ist, dass sie dagegen unterbleibt, sobald diese beschädigt oder entfernt ist“, und dass die Krümmungsfähigkeit erst dann wieder eintritt, wenn nach einigen Tagen ein neuer Vegetationspunkt gebildet ist. In seiner grundlegenden Arbeit „Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln“²⁾ hat Sachs den Versuch von Ciesielski wiederholt, jedoch mit einem verschiedenen Resultate. Er findet, dass gekappte Wurzeln, wenn sie in feuchter Erde wachsen, „sich häufiger abwärts wie aufwärts krümmen“ und erklärt den Umstand, dass gekappte Wurzeln sich nicht so wie gesunde immer nach unten biegen, dadurch, dass die Köpfung Nutationen hervorrufe, die oft so stark seien, dass dadurch die Abwärtskrümmung aufgehoben werde. Die nächste Arbeit in welcher diese Frage behandelt wird ist Darwins „über das Bewegungsvermögen der Pflanzen“. Hier wird wieder die Ciesielski'sche Beobachtung bestätigt und die Funktion der Spitze auch auf andere Richtungsbewegungen ausgedehnt

Von beinahe 100 Wurzeln der verschiedensten Pflanzen wurden die Spitzen abgeschnitten oder geätzt, und von allen diesen haben nur etwa $\frac{1}{10}$, meist ganz schwache, geotropische Krümmungen gemacht, während die Kontrolwurzeln sich während derselben Zeit als deutlich geotropisch erwiesen, ein Resultat, das die Richtigkeit der Ciesielski'schen Beobachtungen deutlich darzulegen scheint und in scheinbarem Gegensatze zu dem Ergebnisse von Sachs steht. Die Erklärung dieses Widerspruches wird aber schon von Darwin selbst gegeben; derselbe hat nämlich beobachtet, dass die Wurzelspitze, wenn sie schief abgeschnitten oder einseitig verwundet ist, eine Biegung des wachsenden Theiles von der Wundstelle weg hervorruft. Diese sogenannte „Darwin'sche Krümmung“ war zur Zeit wo Sachs seine Versuche anstellte unbekannt, und es konnte ihm deshalb nur wenig daran gelegen sein, die Spitze genau quer zur Längsaxe abzuschneiden, was überhaupt nicht leicht ausführbar ist; und eben durch ein schiefes Abschneiden, nicht aber durch einen genauen Querschnitt werden die scheinbar un-

1) Cohn's Beiträge z. Biologie. Bd. I. p. 21.

2) Arb. d. bot. Inst. Würzb. Bd. I. p. 432.

regelmässigen Krümmungen hervorgerufen. Auch hat Sachs wenig von der Spitze entfernt (0,5—1 mm), wobei es vorkommt, dass nicht die ganze „empfindliche Zone“ entfernt wird und wodurch also die Krümmungsfähigkeit nicht immer zerstört wird¹). Dies erklärt es, dass sich seine Wurzeln öfter nach unten wie nach anderen Richtungen krümmten.

Durch Darwin's Buch bekam die hier behandelte Frage ein sehr erhöhtes Interesse indem er bekanntlich der Spitze eine Art „Gehirnfunktion“ zuschrieb. („Die in dieser Weise ausgerüstete Spitze des Würzelchens wirkt gleich dem Gehirn eines der niederen Thiere“ l. c. p. 492).

Diese in der Physiologie der Pflanzen ganz neue Begriff konnte nicht umhin neue Untersuchungen hervorzurufen die sich zuerst gegen die Ansicht Darwins richteten.

Zunächst war es Detlefsen²), der wesentlich die Frage nach der Empfindlichkeit der Spitze gegen Druck erörterte, aber auch die Richtigkeit der Ciesielski-Darwin'schen Beobachtungen über Geotropismus decapitirter Wurzeln bestritt. Er schliesst: „Da horizontal gelegte, gekappte Wurzeln sich weit öfter nach unten wie nach anderen Richtungen krümmen, ist damit bewiesen, dass sie noch geotropisch sind, dass also die Gravitation nicht bloss auf die Wurzelspitzen, sondern auch auf die ganze sich krümmende Region der Wurzel einwirkt“. Dies hört sich ziemlich entscheidend an; leider sagt aber Detlefsen nicht, durch welche und wie viele Versuche er zu einem solchen, demjenigen Darwin's schroff gegenüberstehenden Resultate gekommen ist, was doch ziemlich wünschenswerth wäre, wenn man die Ergebnisse eines so guten und bewährten Beobachters wie Darwin als vollständig unrichtig erklärt, Ergebnisse die sich ausserdem auf etwa 100 Versuchswurzeln stützen, von denen 90 pCt. (was nicht ganz dasselbe ist wie „die meisten“, wie es Detlefsen citirt) sich nicht geotropisch gekrümmt haben. Einen Versuch führt jedoch Detlefsen als besonders entscheidendes Beispiel an, weil er unter denselben Temperatur-Verhältnissen wie Darwin's Versuche ausgeführt wurde. 12 Eichenkeimwurzeln wurden decapitirt und in feuchte Erde horizontal gelegt. Von diesen hatten sich 1 stark, 5 schwach nach unten, 4 seitwärts und 1 nach oben gekrümmt. Das Resultat dieses Versuches spricht, wie wir sehen, nicht annähernd so stark gegen die Ergebnisse Darwin's wie das obige Citat aus Detlefsen's Abhandlung, und wenn es mir auch unerklärlich ist, wie dieses Resultat zu Stande gekommen ist, was mit den Beobachtungen anderer Forscher so sehr im Widerspruche steht, so ist doch der einzige

1) cfr. Krabbe in Ber. d. d. botan. Ges. 1883, p. 232 und Kirchner's Beobachtungen, die dasselbe zeigen.

2) Ueber die von Ch. Darwin behauptete Gehirnfunktion d. Wurzelspitze. (Arb. d. bot. Institut. Würzburg. II. p. 627).

speciell aufgeführte Versuch so wenig entscheidend, dass man wohl den anderen nur in allgemeinen Ausdrücken („weit öfter nach unten“) besprochenen Experimenten nicht viel Gewicht beilegen darf.

Beinahe gleichzeitig mit Detlefsen's Arbeit wurde auch die kritische Studie von Wiesner¹⁾ über Darwin's Buch veröffentlicht.

Sowohl Kirchner²⁾ wie später auch Krabbe³⁾ haben sich bestimmt gegen die Resultate dieses Forschers ausgesprochen; ich finde es aber doch der Mühe werth, auf die Untersuchungen Wiesner's etwas näher einzugehen, weil ja dieser Forscher doch der Hauptgegner von Darwin's Ansicht über die Gehirnfunktion der Wurzelspitze ist, und der einzige, der eine andere Erklärung der (auch nach Wiesner und Detlefsen) häufig eintretenden Nicht-Krümmung decapitirter Wurzeln versucht hat. Um so mehr ist dies nothwendig, als Kirchner's Versuche für seine Auffassung nicht viel mehr entscheidend sind, wie die von Detlefsen für die entgegengesetzte, und weil das Resultat, zu dem Kirchner gelangt, auch nicht ganz mit den von Ciesielski und Darwin erhaltenen übereinstimmt. Er hat im Ganzen 31 Wurzeln gekappt, von diesen haben sich 13 (also beinahe $\frac{1}{3}$) nach unten gekrümmt, ein Resultat, dass, wenn man die Wurzeln als vollständig decapitirte ansieht, wie es Kirchner thut, mit Wiesner's Ergebnisse beinahe übereinstimmt. Kirchner hat aber bei manchen Versuchen sehr wenig (weniger wie 1 *mm*) abgeschnitten, was seine Ergebnisse vollständig erklärt, indem ja dann immer (wie früher bei Sachs Versuchen erwähnt) die Möglichkeit da ist, dass ein Theil der empfindlichen Region erhalten bleibt und also Krümmung eintreten muss. Der Schluss, den Kirchner aus diesen Versuchen zieht ist also, „dass ihrer Spitze beraubte Wurzeln in ihrer Fähigkeit zu geotropischen Krümmungen bis zu völligem Verlust derselben beeinträchtigt werden“, was doch eine andere Auffassung der Funktion der Wurzelspitze andeutet als die von Darwin vermuthete „Gehirnfunktion“. Wenn nämlich decapitirte Wurzeln in ihrer Krümmungsfähigkeit nur beeinträchtigt werden, so dass einige, trotz vollständiger Decapitirung doch eine, wennschon geschwächte, Krümmungsfähigkeit behalten, dann kann doch von einem „Gehirn“, das allein empfindlich sei, nicht mehr die Rede sein, und die Erklärung liegt wenigstens viel näher, dass durch die Verwundung eine solche Störung des normalen Wachstums stattfindet, dass etwa nur die, der Schwerkraft gegenüber empfindlichsten Wurzeln diese zu überwinden und eine normale Krümmung auszuführen im Stande sind.

1) Ueber das Bewegungsvermögen d. Pflanzen. (Wien 1881.)

2) Empfindlichkeit der Wurzelspitze für die Schwerkraft. (Programm zur 64. Jahresfeier d. landw. Akad. Hohenheim. Stuttg. 1882.)

3) Zur Frage nach der Function d. Wurzelspitze. (Ber. d. d. bot. Ges. 1883. p. 226).

Nach seinen Versuchen scheint es mir, wie auch Krabbe bemerkt, dass sich Kirchner dieser mehr mit Wiesner übereinstimmenden Erklärung anschliessen müsste, als der von Darwin, für die er sich doch bestimmt ausspricht und die Frage ist also nach Kirchner's Arbeit ebenso unentschieden als zuvor.

Nach dieser Digression komme ich auf die Arbeit von Wiesner. Seine Ergebnisse sind, soweit sie sich auf die Frage nach der Krümmungsfähigkeit decapitirter Wurzeln beziehen, folgende:

1. Geköpfte Wurzeln wachsen weniger in die Länge als intact gebliebene unter den gleichen Vegetationsbedingungen.

2. Wenn die Wachstumsfähigkeit geköpfter Wurzeln nur wenig herabgesetzt wird, können auch diese geotropische Krümmungen machen.

Was den Satz 1. betrifft, hat schon Kirchner diesen widerlegt, und ist sogar zu dem entgegengesetzten Resultate gekommen, dass decapitirte Wurzel gewöhnlich stärker wachsen wie intacte; allein seine Versuche haben den Uebelstand, dass er gewöhnlich weniger von der Spitze abgeschnitten hat, wie Wiesner. Dieser giebt nämlich an, er habe überall 1 *mm* entfernt, während bei Kirchner diese Länge in $\frac{2}{3}$ der Fälle nicht erreicht wird; wodurch ja ein verschiedenes Resultat erklärt werden kann.

Durch meine Versuche bin ich nun zu der Ueberzeugung gelangt, dass Kirchner's Ansicht die richtige ist. Ich halte es sogar für nicht unwahrscheinlich, dass die Köpfung in der That als eine Art Reiz wirkt und verstärktes Längenwachsthum in den höherliegenden Zonen veranlasst, nur wird diese Wirkung der Köpfung für gewöhnlich dadurch überdeckt und derselben entgegengewirkt, dass die Decapitirung manchmal etwas von der wachsenden Region entfernt und auch in der der Wundstelle am nächsten liegenden wachsenden Zone (welche in den meisten Fällen nicht die am stärksten wachsende ist), Störungen und Zersetzungen hervorbringt, die das Wachsthum dieser Regionen vermindert.

Andererseits habe ich den ersten Satz Wiesner's für die meisten Fälle, wo 1 *mm* decapitirt wurde, bestätigt gefunden, nur ist die kolossale Beeinträchtigung der Verlängerung, die Wiesner gefunden, von mir ebensowenig wie von Kirchner, Krabbe¹⁾ und von Wiesner's Assistent Molisch²⁾ beobachtet worden. Ich kann das Ergebnis Wiesner's nur dadurch erklären, dass er die Wurzeln unter ungünstigen Verhältnissen cultivirt hat oder, wie Kirchner vermuthet, aus Versehen ziemlich viel mehr wie 1 *mm* abgeschnitten hat. Dass das verschiedene Resultat von Kirchner und Wiesner darauf beruhen sollte, dass der letztere bei höherer Temperatur, also unter

1) l. c. p. 229.

2) Ueber das Längenwachsthum geköpfter und unverletzter Wurzeln. (Ber. der d. bot. Ges. I. Heft 8, p. 362).

günstigeren Verhältnissen gearbeitet habe, wie dies Molisch behauptet, kann ich gar nicht gelten lassen, weil Wiesner's Wurzeln, sowohl die intacten wie die decapitirten, sich gar nicht so ausserordentlich gut verlängert haben, wie dies bei einer höheren Temperatur unter sonst günstigen Verhältnissen nach Molisch's eigenen Versuchen der Fall gewesen wäre. Ich werde zum Beweise der Behauptung, dass Wiesner's geköpfte Wurzeln krank gewesen sind oder zu stark decapitirt wurden, einige Zahlen beibringen, die theils aus Wiesner's Abhandlung stammen, theils aus der oben genannten von Molisch, theils auch aus eigenen Versuchen, bei welchen 1 mm der Spitze und jedenfalls nie weniger abgeschnitten wurde. Die hier aufgeführten Beispiele sind deshalb gewählt worden, weil der Zuwachs der intacten Wurzeln mit dem von Wiesner beobachteten beinahe übereinstimmt. Nur bei *Faba* ist die Durchschnittszahl aus nur 4 Messungen (wie bei Wiesner) gewonnen, in den anderen Fällen habe ich mehr Wurzel benutzt.

1. Maiskeimlinge.

Mittlerer Zuwachs in den ersten 24 Stunden.

Nach:	Wiesner ¹⁾	Molisch	Brunchorst
Temp.	22° C.	15° C.	14—18° C.
Intact	19,6	23,0	19,8 mm
1 mm von der Spitze decap.	9,9	17,0	17,3 mm

2. Erbsenkeimlinge.

Mittlerer Zuwachs in den ersten 24 Stunden.

Nach:	Wiesner ¹⁾	Molisch	Brunchorst
Temp.	22° C.	15° C.	14—19° C.
Intact	11,4	12,9	12,5 mm
1 mm von der Spitze decap.	2,5	9,0 ²⁾	9,6 mm

1) Die hier aufgeführten Zahlen sind durch Umrechnung des von Wiesner angegebenen procentischen Zuwachses der ganzen Wurzel gewonnen, stellen also, ebenso wie die anderen, die absolute durchschnittliche Verlängerung dar, und sind mit den anderen direct vergleichbar.

2) Molisch giebt hier 8,5 an, was auf einen unbedeutenden Rechnungsfehler beruht.

3. Fabakeimlinge.

Zuwachs in den ersten 24 Stunden.

Nach:	Wiesner	Brunchorst
Temp.	22° C.	14—19° C.
Intact	13,4	14,4 mm
Decapitirt 1 mm	5,9	13 mm

Es wird bei Betrachtung dieser Tabellen auffallen, dass, obgleich Wiesner's intacte Wurzeln annähernd ebenso viel gewachsen sind, wie die von Molisch und mir, die decapitirten immer eine ganz ausserordentliche Verlangsamung gegenüber denen der anderen Reihen zeigen¹⁾.

Die Verlangsamung beträgt gegenüber Molisch in den zwei Versuchen beziehungsweise 7,1 und 6,5, in dem dritten Versuche 7,1; und die Verlängerung, die er beobachtet ist also in den zwei Fällen nicht einmal halb so gross wie die von Molisch und mir erhaltene. Ich glaube es wird zugegeben werden müssen, dass Wurzeln, die sich so abnorm wenig verlängert haben, nicht unter ganz normalen Bedingungen cultivirt worden sind, denn nach Molisch²⁾ soll das Resultat nicht von dem Abschneiden eines zu grossen Stückes herrühren. Die Temperatur ist aber den Angaben zufolge eine günstige gewesen (22° C.), und der einzige Erklärungsgrund der noch übrig bleibt ist, dass die Wurzeln zu trocken gehalten wurden; durch diese Annahme wird aber auch erklärt oder jedenfalls verständlich gemacht, warum Wiesner Krümmungen beobachtet hat. Zu trocken gehaltene, geköpfte Wurzeln und überhaupt alle die aus irgend einem Grunde so schlecht wachsen, wie Wiesner's, machen nämlich, wie man leicht erfahren wird, wenn man eine grössere Anzahl dergleichen Versuche ausgeführt hat, die allerwillkürlichsten Biegungen, während die oft in demselben Gefässe wachsenden, sich stark verlängernden Individuen, ohne sichtbare Nutationen in gerader Linie fortwachsen.

Aus dem Verhalten krankhafter Wurzeln, wie Wiesner's es also waren, ist man aber nicht berechtigt, Schlüsse zu ziehen, und die Folgerungen Wiesner's, die eben auf diese Versuche gebaut sind, verlieren deshalb ihre factische Unterlage, und widerlegen Darwin's Versuche und Folgerungen nicht.

1) Wie Molisch auf Grund seiner Versuche sich für die Wiesner'sche Beobachtungen aussprechen kann, ist mir noch mehr unerklärlich, als wie Wiesner seine Ergebnisse erlangt.

2) l. c. 362.

Bei meinen eigenen Versuchen, wo ich also diese verschiedenen Ansichten prüfen wollte, bin ich nun zu einem Resultat gelangt, dass ganz mit dem von Krabbe gewonnenen übereinstimmt. Weil der letztgenannte Beobachter aber keine Resultate angeführt hat, was bei Versuchen, wo die verschiedenen Beobachter so verschiedene Resultate erhalten haben, zum mindesten wünschenswerth erscheint, werde ich hier, wenn auch nur ganz kurz, die Resultate meiner Messungen angeben und zugleich die beobachteten Krümmungen anführen.

Die Temperatur im Versuchszimmer schwankte zwischen den Grenzen 19° C. (Mittags) und 14° (Nachts), Versuchsdauer 24 Stunden; von 10 bis 12 Vormittags bis zu der entsprechenden Stunde des nächsten Tages. Abgeschnitten wurde nie weniger wie 1 mm, meistens 1 mm + der Wurzelhaube ($\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ mm).

So weit wie möglich wurden bei jedem Versuche je zwei Wurzeln von derselben Stärke und Länge ausgesucht, davon die eine decapitirt, die andere intact gelassen, und beide in denselben Präparatencylinder neben einander eingesteckt, oder in Sägespähne neben einander horizontal gelegt.

Der Zuwachs ist der durchschnittliche sämmtlicher Versuchspflanzen in Millimetern.

Vicia faba.

I. 4 dec. 4 int.; Länge 20—30 mm; feuchte Luft.

Nach 24 Std. waren die intacten alle sehr deutlich gekrümmt; von den decapitirten keine.

Zuwachs	{	bei den intacten	14,37 mm
		bei den decapitirten	13,00 „

II. Gr. Var. 6 dec. 6 int.; Länge 30—50 mm; Sägespähne.

Nach 24 Std. die intacten alle deutlich geotropisch. Die decapitirten hatten verschiedene Nutationen gemacht. 3 mehr oder weniger seitwärts gekrümmt, davon die eine auch nach oben, gekrümmt. 1 an der Spitze scharf nach unten, sonst gerade, 2 ganz gerade. Die Biegung nach unten beruht unzweifelhaft auf der Verwundung, da die Krümmung viel schärfer wie eine geotropische ist. Die am stärksten gewachsene seitwärts gebogen.

Die intacten sämmtlich stark geotropisch.

Zuwachs	{	bei den intacten	23,6 mm
		bei den decapitirten	24,6 „

III. Kleine Var. 12 dec. 12 int.; Sägespähne. 1,5—2 mm abgeschnitten.

Nach 24 Std.:

Die intacten: ohne Ausnahme geotropisch, einige rechtwinklig nach unten, die meisten mehr oder weniger schief, alle deutlich.

Die decapitirten: 6 ganz gerade gewachsen.
 2 ganz schwach nach unten.
 1 stark seitlich und zugleich ein wenig nach oben.
 3 seitwärts, rechts und links.

Zuwachs { bei den intacten durchschn. 17,0 mm
 { bei den decapitirten „ 11,8 „

Pisum sativum.

I. 4 dec. 4 int.; Länge 25—30; feuchte Luft.

Nach 24 Std.:

Die intacten alle schön geotropisch.

Von den decap. hat eine eine schwache seitliche Krümmung gemacht, die anderen sind ganz gerade geblieben.

Zuwachs { bei den intacten 16,3 mm
 { bei den decapitirten 15,0 „

II. 8 int. 8 dec.; Länge ungefähr 20; feuchte Luft.

Auf eine Korkplatte nach oben gerichtet eingesteckt (Neigung 45°). Schon nach drei Stunden haben sich die intacten alle deutlich zu krümmen angefangen; die decap. sind alle ganz gerade.

Nach 24 Std. sind die decap. alle noch gerade, die int. sämtlich stark nach unten gekrümmt, das gekrümmte Stück mit dem gerade gebliebenen einen Winkel von ungefähr 90° bildend, bisweilen mehr, meistens weniger.

Zuwachs { bei den intacten 12,5 mm
 { bei den decapitirten 9,6 „

Zea Mays.

I. 5 dec. 5 int.; Länge 7—35 mm; feuchte Luft.

Nach 4 Std.: int. alle schon deutlich gebogen,

dec. alle gerade.

Nach 24 Std.: int. sämtlich stark knieförmig gebogen.

dec. alle grade.

Zuwachs¹⁾ { bei den intacten 19,8 mm
 { bei den decapitirten 17,3 „

1) Die Ursache, warum in diesem Versuche der Zuwachs geringer ist wie im vorigen, ist wahrscheinlich die, dass dort die Wurzeln in einem ganz kleinen Luftraum wuchsen, während sie hier in einer grösseren, innen jedoch mit Fliesspapier überzogenen und durch Wasser abgeschlossenen Glasglocke cultivirt wurden. Diese Verlangsamung des Wachsthumms macht sich, wie man bemerkt, viel stärker bei den geköpften wie bei den ungeköpften Wurzeln bemerkbar, was meine Erklärung der Wiesner'schen Ergebnisse, dass die Resultate derselben auf Austrocknung zurückzuführen seien, unterstützt.

Cucurbita pepo.

I. 6 int. 6 dec.; Länge 8—15; feuchte Luft.

Nach 24 Std.: alle intacte mehr oder weniger stark geotropisch gekrümmt,
alle decapitirten gerade.

Zuwachs	{	bei den intacten	7,8 mm
		bei den decapitirten	8,2 „

II. 8 dec. 8 int; Sägespähne.

Von 8 dec. Wurzeln, wo genau 1 mm abgeschnitten, 2 nach unten fast ebenso stark wie die entsprechenden intacten.

Die intacten sämmtlich nach unten, mehr oder weniger stark.

Zuwachs ¹⁾	{	bei den intacten	11,4 mm
		bei den decapitirten	12,1 „

Ricinus communis.²⁾

I. 3 int. 3 dec.; 25—50 mm; feuchte Luft.

Nach 24 Std.: dec. ganz gerade.
int. stark gekrümmt.

Zuwachs	{	bei den intacten	5,3 mm
		bei den decapitirten	8,3 „

Schon die hier angeführten Versuche, mit denen von Ciesielski, Darwin und Krabbe zusammen genommen (die von Kirchner, als in dieser Richtung wenig entscheidend, nicht mitgerechnet) scheinen doch gegenüber denen von Detlefsen mit 12 Eichenwurzeln (von denen nur 6 geotropisch), und denen von Wiesner mit abnorm gewachsenen, und wahrscheinlich zu trocken gehaltenen Wurzeln (in seinem Buche sind Versuche angeführt mit 12 decapitirten Wurzeln, von denen 3 deutlich merklich geotropisch waren), ein ganz überzeugendes Beweismaterial dafür zu sein, dass die Wurzeln durch Entfernung von 1 oder höchstens 2 mm von der Spitze ihre geotropische Krümmungsfähigkeit vollständig verlieren.

Auch kann man aus meinen Versuchen (wie aus Kirchner's) entnehmen, dass die Unempfindlichkeit der decapitirten Wurzeln gegenüber der Schwerkraft nicht auf vermindertem Wachsthum beruht, wie es Wiesner behauptet; dann auch, wenn wie bei dem Versuche II mit *Faba* und Kürbis und *Ricinus* die decapitirten stärker wuchsen wie die intacten, so sind die ersteren doch gerade geblieben³⁾ während sich die intacten alle krümmten. Dies

1) Mittel aus 6 dec. und 6 corresp. int., weil bei den übrigen 2 Wurzelpaaren entweder die intacte oder die decapitirte krank war und deshalb beide verworfen wurden.

2) Die Pflanzen werden hier am besten an dem Wurzelhals in die Spalte einer dünnen Korkplatte eingeklemmt, damit die Krümmungen des hypocotylen Gliedes sich nicht geltend mache.

3) Dass in dem einen Versuche mit Kürbis 2 Wurzeln sich krümmten, rührt

geht auch aus den Versuchen von Frank, Sachs und Kirchner mit abgeschnittenen Wurzelstücken und denen über das Wachsthum der Wurzeln bei niederer Temperatur hervor. Bei Kirchner's diesbezüglichen Experimenten¹⁾ hat er durch Trennung des wachsthumfähigen 10 mm langen Stückes (bei *Vicia Faba*) von dem übrigen Wurzelkörper die Verlängerung durchschnittlich auf 3,1 mm herunter gebracht und es sind doch deutliche Krümmungen eingetreten, oder er hat (bei ersteren) durch eine Temperatur von 2—3,5° C., den Zuwachs sogar bis auf 1,8 mm beschränkt und doch bei sämtlichen 5 Versuchspflanzen sehr deutliche Krümmungen beobachtet. Versuche, die ich ausgeführt habe, bestätigen vollständig die Resultate Kirchner's. Von 8 cm langen und deshalb ganz dünnen *Phaseolus*-Wurzeln schnitt ich z. B. Stücke von 30 mm Länge von der Spitze ab, und legte die Stücke in sehr feucht gehaltene Sägespähne. Nach 24 Stunden hatten sich alle an der Spitze sehr deutlich geotropisch gekrümmt (Länge der gekrümmten Zone 4—7 mm, Radius 5—10 mm), und doch betrug die Verlängerung im Durchschnitt nur etwa 4 mm. In einem anderen Falle wurden 9 ganz gerade *Phaseolus*-Keimlinge auf Nadeln aufgespiesst unter die Glocke der Luftpumpe gesetzt, durch welche die Athmung und folglich auch die Verlängerung vermindert werden musste. Die Verlängerung betrug 4,6 mm, und mit 2 Ausnahmen waren die Wurzeln schön geotropisch, die meisten sogar schon nach wenigen Stunden etwas.

Dies alles beweist also, wie ich glaube unwiderleglich, dass die Entfernung der Spitze einen sonderbaren Einfluss auf die Empfindlichkeit der Wurzel hat. Man könnte aber wohl einwenden, dass dies nicht darauf beruhen müsse, dass die Spitze allein empfindlich sei, und einen Reiz auf die anderen Regionen übertrage. Die krümmungsfähige Zone könnte doch zugleich die empfindliche sein, nur wird die Empfindlichkeit derselben durch die Wachstumsstörung, die eine Verwundung bewirkt, so weit beeinträchtigt, dass sie zwar wächst, nicht aber mehr krümmungsfähig ist.

Durch Decapitirung wird doch das Meristem der Wurzel, wo allein Zelltheilungen stattfinden, und das deshalb eine ganz besondere und sehr wichtige Stellung im ganzen Haushalte der Wurzel einnimmt entfernt, und man kann die Möglichkeit nicht leugnen, dass dies einen tiefgreifenden, obgleich gänzlich unbekanntem Einfluss auf die übrigen Zonen haben könne, einen Einfluss, der sich ja auch wirklich dadurch geltend macht, dass nach Entfernung der Spitze, sonst nie vorkommende Zelltheilungen in dem Gewebe oberhalb der Schnittwunde stattfinden, wodurch eine Neubildung des Vegetationspunktes geschieht.

Auch scheint es sehr möglich, dass eine solche Störung des nor-

ohne Zweifel daher, dass nur 1 mm abgeschnitten war, was, wenn die Wurzelhaube abgezogen wird, nur ungefähr $\frac{1}{2}$ mm von der Wurzelspitze beträgt.

1) l. c. p. 25.

malen Lebens der Wurzeln sich dadurch bemerkbar machen kann dass die Empfindlichkeit gegenüber äusseren Reizen vermindert werde, während die Wachstumsfähigkeit noch unverändert bleibt oder gar dadurch dass die wachsende Region nach der Köpfung auch über diejenigen Baustoffe verfügen kann, die normalerweise zu den Zelltheilungen im Meristem verwendet werden, sich noch steigert. Die Reizerscheinungen sind ja überall im Pflanzenreiche diejenigen Lebensfunktionen, die am meisten von den günstigen Lebensbedingungen abhängen und am ersten von ungünstigen oder abnormen Einflüssen beeinträchtigt werden.

Nur scheinen zwei Experimente, die ich gemacht habe, dieser Auffassung zu widersprechen, wenschon dieselbe auch nicht ganz bestimmt zu widerlegen.

Einmal habe ich Versuche mit geringelten Wurzeln gemacht. Dieselben wurden 1—2 mm oberhalb der Spitze mittelst eines scharfen Rasirmessers mit einem Ringschnitt versehen, welcher die Rinde durchschnitt während der Pleromstrang soweit wie möglich erhalten wurde. Es wurden in dieser Weise 7 *Faba*- (grosse Var.) und 5 *Phaseolus*-Keimwurzeln behandelt und nachher in feuchter Luft horizontal aufgespiess.

Nach 24 Stunden hatte sich nur eine von den *Faba*-Wurzeln geotropisch gekrümmt, die anderen waren gerade geblieben; es stellte sich aber bei der Untersuchung heraus, dass die gekrümmte nicht ringsum eingeschnitten worden war, sondern nur oben, was die Krümmungsfähigkeit völlig erklärt.

Die geringelten zeigten also keine Krümmungsfähigkeit, obgleich sie sich sehr stark verlängert hatten; im Durchschnitt bei *Phaseolus* um 14,6 mm (4 intacte Controllexemplare um 12,0 mm. 3 gerade gew. dec. 12,3 mm, was doch darauf beruht, dass die besten Wurzeln zur Ringelung gewählt wurden) bei *Faba* um 14 mm, also ein ganz beträchtliches Wachsthum, das schöne Krümmungen bei intacten Wurzeln zulässt.

Bei einer solchen Ringelung ist nun die Wachstumsstörung gewiss geringer, wie bei einer vollständigen Decapitirung, die Spitze bleibt noch am Leben, kann noch Nährstoffe aus den oberen Theilen beziehen und mit Hülfe dieser seine Zelltheilungen fortsetzen. Eine Regeneration der Spitze findet in diesem Falle nicht statt. Der Ringschnitt wird nur durch die Verlängerung der Zellen der Spitze zurückgeschoben, bis er nach und nach in den nicht mehr wachsenden Zustand übertritt. Und doch krümmen sich so behandelte Wurzeln nicht.

Wenn die Empfindlichkeit der wachsenden Zone nach der obigen Betrachtung nun durch die Wachstumsstörung verhindert würde, so könnte man annehmen, dass vielleicht die Einwirkung der Schwerkraft nur nicht stark genug ist, um nach der Köpfung Krümmung hervorzurufen, eine solche würde aber eintreten, wenn die Wurzeln einem

stärkeren Reiz, wie zum Beispiel einer starken Centrifugalkraft ausgesetzt würden. Ich habe auch Versuche in dieser Richtung gemacht, und zwar mit einem Centrifugalapparate, der durch die Liberalität des Hrn. Prof. Kny zu meiner Disposition gestellt wurde, wofür ich hier meinen verbindlichsten Dank abstatte. Der Centrifugalapparat ist im wesentlichen ähnlich wie der von Fr. Schwarz¹⁾ benutzte und von ihm abgebildete eingerichtet, und wird durch einen Gasmotor getrieben.

Einen ersten Versuch machte ich mit einigen zwanzig Wurzeln, die in einem grossen runden Blechkasten, der durch einen Deckel geschlossen und durch feuchte Schwämme feucht gehalten wurde, aufgespiesst waren, wo die Wurzeln also vertical in der Luft wuchsen. Das Resultat was aber ganz unentscheidend, weil die Wurzeln, ebenso wie es z. B. mit einem conischen Wachsstabe gehen würde, durch die Flugkraft allein ohne Mitwirkung ihres Wachstums, nach aussen gebogen wurden und natürlich in dieser Stellung verblieben. Besser ging es als ich die Wurzeln in Holz- oder Zinkblechkästen, die an zwei Holzstangen festgeklemmt wurden, cultivirte. In dem einen der angeführten Versuche drehte sich die Stange mit dem Kasten um eine verticale, im zweiten um eine horizontale Axe. Die Sägespähne in dem Kasten wurden vor dem Versuche ziemlich festgedrückt und die Wurzeln in Löcher, die mit einem dünnen Pinselstiele gebohrt waren, eingesteckt. Der einzige Uebelstand bei dieser Versuchsanstellung ist, dass die Sägespähne natürlicherweise gegen die Aussenwände der Kästen sehr fest angedrückt werden und dass eine Auspressung des Wassers stattfindet, so dass schliesslich nach längerer Zeit eine vollständige Austrocknung erfolgen würde. In 24 Stunden ist diese Austrocknung von keinerlei nachtheiligem Einfluss, wenn nur nicht die Umdrehungsgeschwindigkeit zu gross genommen wird.

Bei dem unten angeführten Versuche betrug die Centrifugalkraft anfangs 25 g, am Schluss des Versuches war sie, weil die Maschine langsamer ging, etwas gesunken.

In einem anderen Experimente, das ganz dasselbe Resultat ergab, war die Entfernung von der Axe grösser, die Centrifugalkraft deshalb sehr gesteigert, hierdurch wurde aber eine zu grosse Trockenheit herbeigeführt, so dass die decapitirten Wurzeln statt sich stark zu verlängern zur Bildung von Nebenwurzeln an der Spitze schritten, was sich durch eine Anschwellung derselben zeigte. Immerhin war auch hier die Verlängerung so gross, dass eine Krümmung hätte stattfinden müssen, wenn die Fähigkeit noch erhalten wäre, das war aber nicht der Fall. In der folgenden Tabelle sind die Resultate zusammengestellt.

1) Der Einfluss d. Schwerkraft auf das Längenwachsthum d. Pflanzen. (Unters. aus dem bot. Inst. Tübingen. I. p. 57).

Phaseolus im Centrifugalapparate.
 (Sägespähne).

Wurzeln	Zu- wachs in 48 Std.	A n m e r k u n g e n
decapitirt	48	} ganz gerade
	34	
	45	
	29	
	20	
	20	schwach nach innen, dann schwach nach aussen
	26	gerade
	33	schwach nach innen
	19	gerade
	19	nach der Seite und aussen
	43	gerade, Spitze angeschwollen
	47	gerade
	30	nach der Seite und innen
	20	gerade
	20	seitwärts
	gerade bis 2 mm von der Spitze dort scharf nach aussen	
	453	
intact	47	Spitze beinahe horizontal nach aussen KR. 40 mm
	54	Spitze beinahe horizontal nach aussen KR. 10 "
	46	Spitze beinahe horizontal nach aussen KR. 20 "
	38	Spitze beinahe horizontal nach aussen KR. 10 "
	45	Spitze beinahe horizontal nach aussen KR. 15 "
	230	

Zuwachs mittel . . { bei den decapitirten . . . 30,2 mm
 . . . bei den intacten 47,5 "

Wie man aus der Tabelle ersehen kann, haben sich einige der decapitirten Wurzeln ebenso stark verlängert wie die meisten intacten, und alle sind sie so stark gewachsen, dass sie eine starke Krümmung hätten machen können; trotz der Einwirkung einer 25fachen Schwerkraft haben sie dies aber nicht gemacht. Die unbedeutenden Krümmungen, die von den vier schlechtest gewachsenen Individuen ausgeführt sind, gehen nämlich gleich oft nach aussen wie nach innen und beruhen überhaupt nur auf Wachstumsstörungen, die ja immer bei einigen Wurzeln eintreten.

Ich habe nur noch einen Versuch zu erwähnen, der zwar nicht wie die beiden letzterwähnten neu ist, aber mir so wichtig scheint, dass eine neue Bestätigung nicht überflüssig scheint. Er betrifft die geotropische Nachwirkung, die zuerst von Ciesielski beobachtet wurde.

Von einer grossen Menge *Faba*-Wurzeln kleiner Varietät wurden je drei ausgesucht, die so gerade und einander an Länge und Stärke so gleich wie möglich waren. In dieser Weise erhielt ich drei Sätze von je zwölf Wurzeln. Der eine Satz wurde gleich decapitirt, der zweite erst auf feuchte Sägespäne mit Fliesspapier bedeckt eine Stunde horizontal liegen gelassen und dann ebenso wie die vorigen um 1 mm + die Wurzelhaube decapitirt, und der dritte Satz endlich blieb intact. Alle wurden sie 24 Stunden in Sägespänen horizontal liegen gelassen.

Nach 24 Stunden waren von den ersten 12 (gleich decapitirt) 6 ganz gerade geblieben, 3 ganz schwach seitlich, 2 sehr schwach nach unten und 1 seitlich und wenig nach oben gebogen.

Eine Wirkung des Geotropiums ist also gar nicht zu ersehen. Die Krümmungen nach unten gleichen sich gegen die in anderen Richtungen vollständig aus. Von dem zweiten Satz, der also auch decapitirt war, aber wo zuerst die Spitze der Wirkung der Schwerkraft ausgesetzt war, erhielt ich folgendes Resultat:

3 gerade geblieben, 5 sehr deutlich (Krümmungsradien 5, 10, 10, 20, 30), 4 schwächer nach unten.

Von den intacten endlich waren alle, mit Ausnahme einer kranken, deren Spitze einseitig braun, mehr oder weniger stark nach unten gekrümmt.

Aus den hier angeführten Versuchen kann nun geschlossen werden:

1. Die Ansicht Ciesielskis und Darwins, dass die ihrer Spitze beraubten Wurzeln nicht mehr durch die Schwerkraft zur Abwärtskrümmung veranlasst werden, ist richtig.

2. Dies beruht nicht, wie Wiesner behauptet hat, auf Wachstumsretardation.

3. Auch eine andere mögliche Erklärung, dass die Wachstumsstörung, die durch Verwundung der Spitze im höherliegenden Theile verursacht wird, eine verringerte Empfindlichkeit dieses Theiles zur Folge habe, ist kaum zulässig, nachdem sich gezeigt hat, dass auch eine sehr starke Centrifugalkraft keine Krümmungen, auch bei sehr stark wachsenden Wurzeln, hervorzurufen vermag.

4. Die genannte Erklärung wird noch unhaltbarer dadurch, dass auch nur geringelte Wurzeln, deren Spitze also nicht einmal regenirt zu werden braucht, wo die Wachstumsstörung also eine verhältnissmässig geringe ist, keine Krümmungen machen. Dieser Versuch spricht entschieden für Darwin's Ansicht und beweist zugleich, dass die Reizfortleitung nur in die Rinde stattfindet.

5. Den Versuchen über geotropische Nachwirkung ist bisher viel zu wenig Gewicht beigelegt worden. Wenn zwei gleiche Wurzeln horizontal nebeneinander gelegt werden, die eine gleich decapitirt, die andere erst nach einer Stunde, dann wird sich nur die letztere, und zwar nach wenigen Stunden, geotropisch krümmen. Der einzige Unter-

schied zwischen den beiden Wurzeln ist aber nur der, dass die Spitze der einen eine Stunde lang der Schwerkraft ausgesetzt war. Ihr verschiedenes Verhalten kann also nur auf der Einwirkung beruhen, welche die Schwerkraft während dieser Stunde auf die Spitze ausgeübt hat, welche Wirkung auf den höherliegenden Theil übertragen worden ist. Auch dieser Versuch spricht also entschieden für die Annahme, dass der, 1—2 mm langen Spitze eine ganz besondere Function zukommt.

Ich glaube nicht, dass man durch geotropische Untersuchungen der Frage nach der viel umstrittenen Gehirnfunktion der Wurzelspitze viel näher kommen wird, besser wird dies vielleicht durch Untersuchungen über andere Richtungsbewegungen, welche ich angefangen habe und während dieses Sommers fortsetzen werde, gelingen.

13. L. Kny: Das Wachstum des Thallus von *Coleochaete scutata* in seinen Beziehungen zur Schwerkraft und zum Lichte.

Eingegangen am 28. Februar 1884.

Der Thallus von *Coleochaete scutata* besitzt, wie bekannt, die Form einer Zellscheibe, die, falls sie sich nach allen Seiten frei entwickeln kann, von nahezu kreisförmigem Umriss ist. Ausser an ihrem organischen Mittelpunkte, wo die keimende Schwärmospore sich in zwei übereinanderliegende Zellen theilte¹⁾, ist diese Zellscheibe durchweg einschichtig. Ihr Wachstum erfolgt ausschliesslich an der Peripherie, indem die hier nebeneinanderliegenden Zellen sich durch Wände vermehren, welche zumeist dem freien Aussenrande parallel, von Zeit zu Zeit ihm aber auch senkrecht aufgesetzt sind. Die Folge hiervon ist eine Anordnung der Zellen in radialen Reihen, welche sich von innen nach aussen spalten, sobald die Breite der Reihe ein gewisses Maass überschritten hat. Bei der nächstverwandten *Coleochaete soluta* sind die Reihen frei, während sie bei *Col. scutata* fest mit einander verwachsen sind; auch bei der letzteren ist aber jede Randzelle der Scheibe in Wirklichkeit die Scheitelzelle einer Reihe letzten Grades, welche sich entweder durch eine Querwand verjüngt oder in der Bildung zweier

1) Vergl. Pringsheim, Beiträge zur Morphologie und Systematik der Algen, III. Die Coleochaeteen. (Jahrb. f. wiss. Bot., II., 1860, p. 2 ff.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Brunchorst J.

Artikel/Article: [Die Function der Spitze bei den Richtungsbewegungen der Wurzeln. 78-93](#)