

Untersuchungen über Doppelbildung und Regeneration bei Wurzeln.

Von Georg Stingl. (Biologische Versuchsanstalt Wien.)

Cisielski¹⁾ hatte bei seinen Untersuchungen über den Geotropismus der Wurzeln beobachtet, daß an dekapitierten Wurzeln nach einigen Tagen eine neue Wurzelspitze auftrat.

Diese Erscheinung veranlaßte Prantl²⁾, die anatomischen Verhältnisse des Regenerationsprozesses bei geköpften und auch bei gespaltenen Wurzeln näher zu untersuchen. Eine „vollkommene“ Regeneration mit Beteiligung aller Gewebesysteme beobachtete Prantl bei ersteren dann, wenn der Schnitt etwa da geführt wurde, wo die bogige Anordnung der Zellreihen in die gerade übergeht. Dekapitierte er die Wurzel etwas weiter hinter dem Scheitel, so fand nur ein unvollkommener Ersatz der Wurzelspitze statt, die „prokambiale“ Regeneration, entstammend den Fibrovasalkörper. Bei noch weiterer Entfernung des Schnittes erfolgte überhaupt keine Regeneration mehr.

Lopriore³⁾ ergänzte die Untersuchungen Prantls an gespaltenen⁴⁾ Wurzeln, indem er der durch Verwundung hervorgerufenen Gewebearordnung sein Hauptaugenmerk zuwandte. Hiemit waren allerdings mehr die Endresultate des Regenerationsprozesses klargestellt; die Anfangsstadien bedurften noch weiterer Aufklärung und Ergänzung, welche die kürzlich publizierten Untersuchungen Simons⁵⁾ an *Zea mays*, *Vicia faba*, *Allium cepa*, einigen Araceen und einem *Pandanus* erzielten.

Dieser beobachtete je nach der Größe der Dekapitation in Übereinstimmung mit Prantl ebenfalls zwei Arten der Regeneration: eine „direkte“, an welcher sämtliche Gewebe des Zentralzylinders nicht — wie Prantl annahm — mit, sondern ohne Vermittlung einer Kallusbildung teilnehmen; eine „partielle“, die nur einem Teil der Wundfläche entstammt, nämlich einen Ringwall, welcher durch das Auswachsen des Perikambiums⁶⁾, sowie der äußeren

¹⁾ Cisielski T. Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzeln. Cohns Beiträge zur Biologie, 1872. Bd. I, 2, p. 21.

²⁾ Prantl K. Unters. üb. d. Regeneration des Vegetationspunktes an Angiospermenwurzeln. Arbeiten d. bot. Instit. in Würzburg, 1874, Bd. I, p. 546.

³⁾ Lopriore G. Über die Regeneration gespaltenen Wurzeln. Nova Acta d. Leopold. Akademie. 1896, Bd. 66, p. 211 ff. — Berichte d. deutschen bot. Ges. 1892, Bd. 10, p. 76 ff.

⁴⁾ Die Spaltlänge betrug bei Prantl, Lopriore und Simon mindestens 5—15 mm.

⁵⁾ Simon S. Unters. üb. die Regeneration der Wurzelspitze. Jahrbücher f. wissensch. Bot. 1904, Bd. 40, Hft. 1, p. 108 ff.

⁶⁾ Simon (l. c. p. 121) machte auch die Wahrnehmung, daß das Plerom seine Regenerationsfähigkeit nur mit Hilfe des Perikambiums verwerten kann. — Lopriore sagt — (l. c. p. 216) — in seiner Beschreibung der Knotenwurzeln bei *Zea mays*, daß das Perikambium über den primären Xylem-elementen fast stets einschichtig, über den Phloemgruppen zuweilen mehrschichtig sei. Seine Zeichnungen widersprechen jedoch dieser Behauptung insofern, als das Perikambium auf derselben — an einigen vereinzelt Stellen ausgenommen — immer mehrschichtig dargestellt erscheint.

Schichten des Zentralzylinders mit gelegentlicher Teilnahme der Endodermis gebildet wird*. Die erstere ist identisch der „vollkommenen“, die zweite der „prokambialen“ Regeneration Prantls.

Die physiologischen Bedingungen des Regenerationsprozesses (Temperatur, Kulturmedium usw.) fand Simon im allgemeinen in Übereinstimmung mit denen des Wachstums. Die Regenerationsfähigkeit wurde durch vollkommene mechanische Hemmung nicht aufgehoben und weder Inversstellung, noch künstlich hervorgerufene Nebenwurzelbildung verhinderten den normalen Verlauf der Regeneration.

Als der interessanteste Vorgang während der partiellen Regeneration erschien ihm jedoch das Auftreten zweier oder mehrerer Vegetationspunkte¹⁾, welche entweder zur Ausbildung getrennter Wurzelspitzen führten oder verschmolzen, so daß nur eine einheitliche Wurzelspitze entstand.

Derartige Beobachtungen machte Simon dann, wenn er an dekapitierten Wurzeln mit einer feinen Nadel oder einem feinen Skalpell Gewebepartien der Schnittfläche verletzte, resp. entfernte oder eine wenige Millimeter lange, scharf abgebrochene, sehr dünnwandige Glaskapillare derart in das freiliegende Plerom stieß, daß sie noch 1 mm weit hervorragte; hiebei verletzte er häufig auch Teile der Perikambialzone. Eine hiedurch etwa herbeigeführte Doppelbildung führt Simon²⁾ darauf zurück, daß sich „durch die verschieden starke Aktivität der am Ringwall beteiligten Zellstränge einige Zentren stärksten Wachstums auf demselben bilden“, resp. auf „Störung der Kontinuität der Perikambialzone entweder infolge des Erlöschens der Teilungsfähigkeit einzelner Partien derselben oder durch Absterben einzelner Zellkomplexe infolge mechanischer Eingriffe“. Er teilt jedoch weiters mit, daß, trotzdem er die Wiederherstellung der Kontinuität der Wundfläche künstlich verhinderte, „in fast allen Fällen“ die getrennt regenerierenden Gewebepartien sich vereinigten; es kam zur Ausbildung einer einheitlichen Wurzelspitze. Demnach dürfte Simon nur bei einer sehr geringen Zahl die Ausbildung zweier selbständiger Wurzeln beobachtet haben.

¹⁾ Auch Prantl hat diese Erscheinung an einem Regenerate beobachtet (l. c. p. 553): „ . . . Ein einzelner abnormaler Fall bietet besonderes Interesse. Es waren nämlich an Stelle eines 2 neue Wurzelscheitel aufgetreten, u. zw. erst während des allerletzten Stadiums der Regeneration.“ — Bei *Zea mays* und einer großsamigen *Vicia faba* beobachtete ich in je einem Falle auch an normalen Wurzeln eine aus freien Stücken eingetretene Doppelbildung. Zunächst zeigte die Wurzelspitze eine Abstumpfung, dann in der Mitte eine geringe Einbuchtung, die nach und nach in eine Teilung der Wurzelhaube überging. In vier bis fünf Tagen waren zwei kleine Gabeläste zur Entwicklung gekommen, welche bei *Vicia faba* innerhalb 11 Tagen 80 mm, bei *Zea mays* in 28 Tagen 150 mm Länge erreichten und nicht die später erwähnte ovale Querschnittsform, sondern rein röhrenartigen Bau aufwiesen.

²⁾ l. c. p. 115.

Es erscheint mir daher nicht überflüssig, über Versuche¹⁾ zu berichten, deren Zweck war, eine Doppelbildung bei Hauptwurzeln an Keimpflanzen von *Zea mays* L. und einer grofsamigen *Vicia faba* L. künstlich herbeizuführen. Außerdem zog ich die Regeneration der Wurzelspitze bei verschiedenen Gymnospermen (*Abies pectinatu* DC., *Picea excelsa* Link., *Larix europaea* DC., *Pinus silvestris* L. und *Thuja orientalis* L.) in den Kreis meiner Beobachtungen, da hierüber, soweit ich die einschlägige Literatur überblicke, mit Ausnahme der Untersuchungen Simons¹⁾ über *Pinus pinea* keine Angaben vorlagen²⁾.

I. Herbeiführung von Doppelbildung bei Angiospermenwurzeln.

Die Samen genannter Pflanzen brachte ich nach 24 stündigem Anquellen in Wasser in lockere, feuchte Sägespäne zum Ankeimen, bis $1\frac{1}{2}$ —3 cm lange Würzelchen entwickelt waren. Hierauf wurden dieselben mittelst eines Rasiermessers oder Skalpell durch einen zu ihrer Längsachse normalen Schnitt ein wenig dekapitiert, so daß nur die Wurzelhaube teilweise entfernt wurde, das Plerom jedoch unverletzt blieb. Nach zahlreichen Messungen betrug die Länge der entfernten Spitzen 384 μ bis 510 μ . Die erhaltene Wundfläche oder — bei nicht dekapitierten Objekten — die Spitze der Wurzel wurde sodann median geritzt. Hiedurch waren entweder nur die stehen gebliebenen Reste der Wurzelhaube, die ihr anliegenden Schichten des Periblems und Pleroms oder auch die über diesen befindlichen rein meristematischen Teile des Vegetationspunktes verletzt. Der Ritz deckte bei dekapitierten Wurzeln 336 μ bis 480 μ , bei nicht dekapitierten 512 μ bis 992 μ . Nach den ausgeführten Operationen wurden die Objekte in mit Hochquellenwasser gefüllten Glaszylindern nach Art der Wasserkulturen oder auch allein im dunstgesättigten Raume bei 22° bis 25° C. teils im Dunkeln, teils bei normaler Beleuchtung kultiviert. Im ganzen gelangten über 600 Keimlinge zur Untersuchung, von *Zea mays* 460, *Vicia faba* 160. Hievon wurden 80% dekapitiert und geritzt, 20% nur geritzt.

Nach Verlauf der ersten 24 Stunden konnte fast ausnahmslos mit freiem Auge keine, mit der Lupe nur eine schwache Dichotomie konstatiert werden; nur in sehr wenig Fäden habe ich eine Verwachsung wahrgenommen.

Nach 48 Stunden war bei sehr vielen (etwa $\frac{2}{3}$) ein Auseinanderspreizen der jungen Wurzelanlagen etwas deutlicher bemerkbar, bei anderen erst nach Verlauf von 72 Stunden.

¹⁾ Die Anregung zu denselben gab Herr Privatdozent Dr. Wilhelm Figdor, wofür ich gleich an dieser Stelle meinen wärmsten Dank ausspreche.

²⁾ l. c. p. 112.

Die beiden Gabelteile zeigten in den Anfangsstadien schwache Divergenz, die sich bei einigen Regeneraten auch während der weiteren Entwicklung behauptete. In wenigen Fällen wieder folgte auf die Divergenz sehr bald eine Konvergenz der beiden Teile. Bei der weitaus größeren Zahl dagegen traten auffallende Torsionen¹⁾ auf; die beiden Gabelteile waren entweder korkzieherartig verschlungen oder es erschien, besonders wenn ungleichstarke Äste sich entwickelten, der stärkere Ast vom schwächeren gleichsam umspinnen; manchmal wieder hatte nur der eine Ast tordiert, während der andere die normale Wachstumsrichtung beibehielt.²⁾

Um den etwaigen Einfluß der Schwerkraft auf das Entstehen einer Doppelbildung festzustellen, wurden *Zea mays*-Keimlinge mittelst des Klinostaten, um eine horizontale Achse rotierend, in einem dunkeln, dunstgesättigten Raume beobachtet. Auch in diesem Falle trat eine Doppelbildung ein, jedoch verzögerte sich das Auseinanderspreizen der Gabelteile und Torsionen waren geringfügig; es sei jedoch bemerkt, daß eine relativ kleine Zahl Versuchsobjekte (40) und außerdem nur jüngere Wachstumsstadien zur Beobachtung gelangten.

Eine, wenn auch nicht beträchtliche, Retardation des Längenwachstums konnte ich, solange die Regeneration nicht beendet war, im allgemeinen feststellen; diese war jedoch keineswegs eine gleichmäßige. Sie war größer bei den dekapitierten und geritzten, sehr gering oder gar nicht bemerkbar bei bloß geritzten; in vereinzelten Fällen (8) war das Längenwachstum sogar ein — freilich ganz unbedeutend — beschleunigtes. Diese letztere Erscheinung nahm Kirchner³⁾ bei dekapitierten Wurzeln wahr; seiner Behauptung jedoch, daß die Beschleunigung „der häufigere Fall“ sei, kann ich nicht zustimmen. Vielmehr pflichte ich Wiesner⁴⁾ und Molisch⁵⁾ bei, daß „Wurzeln, welche ihres Vegetationspunktes beraubt wurden, weniger in die Länge wachsen als intakt gebliebene unter den gleichen Vegetationsbedingungen“.

Die Ausgestaltung der beiden Gabeläste erfolgte in ungleichem Maße. Dies hing davon ab, ob der Ritz median oder etwas seitlich geraten war; diejenigen Würzelchen, die ich vorsätzlich mehr oder weniger seitlich verwundete, brachten ungleiche Gabeläste zur Ausbildung; verletzte ich die Spitze der Radikula seit-

¹⁾ Bei *Vicia faba* habe ich weder so zahlreiche noch so ansehnliche Torsionen wie bei *Zea mays* wahrgenommen.

²⁾ Ähnliche Erscheinungen hat Sachs auch bei gespaltenen Wurzeln beobachtet (Sachs J. Das Wachstum der Haupt- und Nebenwurzeln. — Arbeiten d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. I. p. 432.)

³⁾ Kirchner O. Über die Empfindlichkeit der Wurzelspitze für die Einwirkung der Schwerkraft. Stuttgart 1882, p. 16—23.

⁴⁾ Wiesner J. Das Bewegungsvermögen der Pflanzen, p. 101—105.

⁵⁾ Molisch H. Über das Längenwachstum geköpfter und unverletzter Wurzeln. Ber. d. d. bot. Ges. 1883, Bd. I. Hft. 8.

lich derart, daß nur die Wurzelhaube, das Epiblem und die Rinde geritzt waren, wurde überhaupt nur ein Ast produziert, der andere Lappen war nach einer geringen Längsstreckung zugrunde gegangen.

Von den dekapitierten und geritzten Wurzeln trat bei 78%, von den nur geritzten bei 45% teils gleichmäßige, teils ungleichmäßige Doppelbildung auf, deren Verteilung auf die Versuchspflanzen aus nachstehender Tabelle¹⁾ ersichtlich ist.

		Gabeläste	
		gleichmäßig	ungleichmäßig
<i>Zea mays</i>	dekap. und geritzt .	25%	75%
	geritzt	16%	84%
<i>Vicia faba</i>	dekap. und geritzt .	40%	60%
	geritzt	37%	63%

Daß die gleichmäßige Dichotomie bei *Vicia faba* in größerer Zahl zur Entwicklung gelangte, ist wohl hauptsächlich auf den Umstand zurückzuführen, daß das viel stärkere Würzelchen bei dieser mit größerer Sicherheit median geritzt werden kann als bei *Zea mays*; aus ähnlichen Ursachen erklärt sich auch der kleinere Prozentsatz bei nicht dekapitierten.

Die Gabeläste einzelner Versuchsobjekte erreichten in 26 Tagen eine Länge bis zu 160 mm.

Die innere Ausgestaltung der Gabeläste selbst hing von der Tiefe des Ritzes ab. Die hierbei stattfindenden regenerativen Vorgänge sind ganz ähnlich denen, wie sie Prantl²⁾, Lopriore³⁾ und insbesondere Simon⁴⁾ an in gleicher Entfernung vom Wurzelscheitel gelegenen Teilen gespaltener Wurzeln dargelegt haben.

Waren durch die genannte Operation nur die rein meristematischen Teile der Wurzelspitze verletzt, so fand längstens innerhalb 4 Tagen ein vollkommener Ersatz der entfernten Gewebepartien statt. Die Gabeläste solcher Regenerate wiesen in ihrer ganzen Länge normalen Bau auf, hatten jedoch im Querschnitte annähernd ovale Form, die um so ausgeprägter war, je weiter die Partien basalwärts lagen.

Wenn jedoch die Verwundung auch in höher gelegene, etwa 1 mm vom Wurzelscheitel entfernte Teile reichte, so erstreckte sich die Regenerationstätigkeit, je nachdem die Gewebepartien mehr scheitel- oder basalwärts lagen, auf die innere Rinde, das Perikambium und die benachbarten Schichten des Zentralzylinders

¹⁾ Die Prozente sind jedesmal von der Gesamtsumme der durch die jeweilige Operation hervorgerufenen Doppelbildungen berechnet.

²⁾ l. c. p. 556.

³⁾ l. c. p. 216, 241.

⁴⁾ l. c. p. 121, ff.

oder auch nur auf beide letzteren Gewebesysteme. Während die beiden scheidelwärts gelegenen Teile in der Folge normalen Bau zeigten, kam es weiter basalwärts nur zur Anlage eines neuen Rindengewebes mit Epiblem; Endodermis und Perikambium wurden nicht ausgebildet.

Waren endlich durch die Operation Zellpartien in mehr als 1 mm Entfernung vom Scheitel verletzt, so war die Reihenfolge der regenerativen Vorgänge und die Ausgestaltung der Gabeläste dieselbe wie bei tiefer gespaltenen Wurzeln; die Wurzelspitze war vollkommen regeneriert, während bei den etwas höher gelegenen Partien ein unvollkommener Ersatz der entfernten Gewebepartien und an der Gabelungsstelle und den ihr benachbarten Teilen bloß eine Verkorkung stattgefunden hatte.

Auffallend war an den Regeneraten das Auftreten zahlreicher Nebenwurzeln¹⁾ und deren Exotropismus, welchen Noll²⁾ an unverletzten oder einseitig verwundeten Wurzeln nachwies. Diese Außenwendigkeit, das Auftreten der Seitenwurzeln an der Konvexflanke war um so deutlicher wahrnehmbar, je auffallender die früher erwähnten Torsionen waren.

In einer Reihe weiterer Experimente sollten Keimwurzeln von *Zea mays* veranlaßt werden, selbsttätig eine — wie oben beschriebene — Doppelbildung herbeizuführen.

Zu diesem Behufe wurde Alabastergips³⁾ mit Wasser allmählich zu einem zähflüssigen Brei verrührt. Diesen goß ich dann in 2 cm hohe Pappröhmchen, die, um ein leichteres Abnehmen der Gipsblöcke zu ermöglichen, auf eine mit etwas Öl oder Fett bestrichene Schieferplatte (Glas etc.) gelegt waren. Noch vor dem Festwerden bohrte ich mit einem spitz zulaufenden Eisenstift konisch zulaufende Kanäle in die Gipsmasse. Die unteren Öffnungen mußten natürlich klein sein, um ein Ausweichen der Wurzelspitze tunlichst zu verhindern. Nachdem unter jede untere Öffnung ein Kokonfaden oder ein Haar⁴⁾ sorgfältig angegipst war, konnten die kleinen Kanäle mit den Keimpflänzchen besetzt werden. Hierzu wurden Keimlinge von solcher Länge gewählt, daß das dekapitierte Würzelchen dem Haar, resp. Kokonfaden möglichst nahe war, damit nicht schon vor der Erreichung des Wachstumshindernisses eine Regeneration der Wurzelspitze eingetreten war; dadurch ist eine Dichotomie mit größerer Sicherheit zu erreichen. Die Keimlinge lagen mit ihren Kotylen oben

¹⁾ Lopriore — l. c. p. 276 — erwähnt ebenfalls die häufige Nebenwurzelsbildung bei gespaltenen Wurzeln.

²⁾ Noll F. Über den bestimmten Einfluß von Wurzelkrümmungen auf Entstehung und Anordnung der Seitenwurzeln. Landwirtsch. Jahrbücher, Bd. 29, p. 361.

³⁾ Pfeffer W. Druck- u. Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Leipzig 1893, p. 351.

⁴⁾ Manchmal wurden diese durch die vordringende Wurzel losgerissen oder auch zerrissen.

auf; um das Emporheben der Versuchsobjekte hintanzuhalten, wurden die Kotylen angegipst, jedoch so, daß die hervorbrechende Plumula am Wachstum nicht gehindert war. Vorteilhafter, wenn auch etwas umständlicher, ist es, die Keimpflänzchen durch angegipste Bändchen oder Watte festzuhalten. Nach dem Auflegen feuchter Watte wurden die Gipsblöcke in mit Hochquellwasser gefüllte Gläser derart eingehängt, daß das Wasser etwa bis zur oberen Kante der Gipsblöcke reichte. Die weitere Behandlung entsprach der früher besprochenen Versuchsmethode.

Einfacher gestalteten sich die zu demselben Zwecke ausgeführten Versuche mit Benützung von Federkielen, die ich möglicher Reinheit wegen auskochte. Die geschlossenen Enden durchstach ich mit einer stärkeren Nadel oder ich schnitt mit einer feinen Schere sehr wenig ab, um kleine Öffnungen zu erzielen. Möglichst nahe am Rande derselben zog ich nun mit einer sehr feinen Nadel einen Kokonfaden derart durch, daß dieser der vordringenden Wurzel den Weg verlegen mußte. Diese Kiele wurden dann in entsprechend durchlochte kleine Brettchen gesteckt, mit den Keimlingen auf gleiche Weise wie die Gipsblöcke beschickt und auch der gleichen Behandlung unterzogen.

Diese Versuchsart hat einesteils den Vorteil, daß man die Kiele der Wurzellänge anpassen und demnach verschieden lange Versuchspflänzchen benützen kann; andernteils kann man den Wurzeln, nachdem die angestrebte Verwundung stattgefunden hat, durch vorsichtiges seitliches Aufschlitzen des Kieles günstigere Wachstumsverhältnisse bieten.

Die in Gips und Federkielen kultivierten Keimlinge zeigten infolge der weiter reichenden Verwundung in der Ausbildung der Gabeläste das gleiche Verhalten wie gespaltene oder tiefer geritzte Wurzeln, weshalb darauf verwiesen sei.

(Schluß folgt.)

Ist die Änderung der von den Autoren für die Namen angewandten Schreibweise zulässig?

Ein Beitrag zur Nomenklaturfrage von P. Magnus (Berlin).

Viele Botaniker halten sich berechtigt, aus grammatikalischen und philologischen Gründen die von den Autoren bei den von ihnen gegebenen Pflanzennamen angewandte Schreibweise oder gar die Wortbildung zu korrigieren, d. h. zu ändern.

Aber wir sind wohl alle einig, daß wir die einmal angewandte Schreibweise und Bildung von Eigennamen nicht ändern dürfen. Wir dürfen nicht den Namen Haussknecht etwa in Hausknecht umwandeln, trotzdem ohne Zweifel der Name sich von diesem Worte ableitet, und wir jetzt allgemein Haus und Hausknecht mit nur einem s schreiben. Wir müssen den Namen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Botanische Zeitschrift = Plant Systematics and Evolution](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [055](#)

Autor(en)/Author(s): Stingl Georg

Artikel/Article: [Untersuchungen über Doppelbildung und Regeneration bei Wurzeln. 219-225](#)