

schen Organismus hervorruft, zeigten, dass Pferde, Hunde, Kaninchen Ratten und Hühner dabei nicht erkranken.

Pflanzenphysiologisches Institut der K. Landwirthschaftlichen Hochschule in Berlin.

15. G. Lopriore: Ueber die Regeneration gespaltener Wurzeln.

(Vorläufige Mittheilung).

Eingegangen am 19. Februar 1892.

Das Fortwachsen und die Regeneration gespaltener Wurzeln ist bis jetzt nur von FRANK, SACHS und PRANTL beobachtet worden. Sie widmeten dieser Erscheinung ihr Interesse hauptsächlich von der physiologischen Seite.

FRANK¹⁾ spaltete die Wurzeln von *Pisum sativum*, *Phaseolus multiflorus*, *Linum usitatissimum*, *Tropaeolum majus*, *Zea Mays*, *Phragmites communis*, *Sium latifolium* und *Alisma Plantago* und beobachtete, dass die Wurzelhälften weiter zu wachsen vermögen, was er von vorn herein als wahrscheinlich betrachtete.

SACHS²⁾ wiederholte die Spaltung an Wurzeln von *Vicia Faba* und an sehr rasch wachsenden Wurzeln von Aroideen, zog aber die FRANK'schen Versuchspflanzen zum Vergleich heran, um die Einwärtskrümmungen der Spalthälften als eine allgemein vorkommende Erscheinung zu erweisen. Nach meinen Untersuchungen kann ich dies SACHS'sche Resultat in allen Punkten bestätigen,

SACHS beobachtete auch, dass Wurzelabschnitte, denen bei der Spaltung kein Antheil an dem axilen Strange zufällt, welche lediglich Rindenlappen sind, nicht weiter zu wachsen vermögen. Wird aber solchen Rindenlappen die nothwendige Stoffzufuhr durch einen Bündelabschnitt ermöglicht, so treten die erwähnten Krümmungserscheinungen ein. Dass sich aber in diesen Fällen eine vollständige Regeneration der Wurzelhälften einzustellen vermag, hat SACHS nicht genau ange-

1) FRANK, Beiträge zur Pflanzenphysiologie. Leipzig, 1868.

2) SACHS, Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg. Leipzig, 1874.

geben. Es findet sich nur — l. c., pag. 432 — in einer Anmerkung die Angabe, dass CIESIELSKI¹⁾ an gekappten Wurzeln die Neubildung eines Vegetationspunktes beobachtete, was SACHS bestätigen konnte. Er bemerkt dabei: „Ich fand auch, dass an einer in Wasser kräftig fortwachsenden Längshälfte einer Wurzel der Vegetationspunkt sich ergänzte und nun mit allseitiger Rindenbildung fortwuchs.“

Veranlasst durch die Beobachtungen CIESIELSKI's stellte PRANTL seine Untersuchungen über die Regeneration des Vegetationspunktes an Angiospermenwurzeln¹⁾ an. Er benutzte die Keimpflanzen von *Zea Mays*, *Pisum sativum* und *Vicia Faba*, beschränkte sich aber nicht nur auf das Kappen, sondern verfolgte auch die von SACHS angegebene Regeneration gespaltener Wurzeln. Die dabei auftretenden, anatomischen Veränderungen sind aber in ihren Einzelheiten von PRANTL nicht studirt worden. Er beschränkte sich darauf die auf der Schnittfläche auftretende Callusbildung, die Erzeugung einer neuen Rinde und die Regeneration der Epidermis zu verfolgen; wie sich aber der Centralcylinder bei der Regeneration und die Umlagerung und Neubildung der Gefäße in der Spalthälfte verhält, hat PRANTL nicht weiter untersucht, obwohl er angiebt — l. c., pag. 558 — dass die aus einer Längshälfte sich regenerirende Wurzel nicht in ihrer ganzen Längsausdehnung den normalen Bau besitzt, „da ein Zwischenstück den Charakter der Längshälfte vollständig beibehalten hat.“ Uebrigens gelten diese specielleren Angaben nur für gespaltene Wurzeln von *Zea Mays*.

Durch Herrn Professor KNY veranlasst, stellte ich im Sommer 1891 eine Reihe Untersuchungen an, um genau zu ermitteln, wie die Regeneration gespaltener Wurzeln bei verschiedenen Pflanzen vor sich geht.

Für diese Versuche wurden *Zea Mays*, *Vicia*, *Pisum*, *Phaseolus*, *Ricinus*, *Vitis*, *Quercus*, *Philodendron*, *Pandanus* und *Syngonium* bevorzugt; nur vergleichsweise wurden Wurzeln anderer Pflanzen, wie *Acanthorrhiza* und Orchideen, herangezogen.

Was die Untersuchungsmethode betrifft, so wurden die meisten Arten theils in Wasserculturen, theils in Sägemehl, theils in Vegetationsboden erzogen, die Spitze ihrer Haupt- oder Knotenwurzeln gespalten und die Regeneration derselben in verschiedenen Stadien auf Serienschnitten verfolgt.

Eine vollständige Regeneration, d. h. ein Selbstständigwerden der Wurzelhälften mit eigener Epidermis, Rinde, Endodermis und normaler Orientirung der Gefässgruppen wurde bei den erwähnten Pflanzen immer erreicht. Die gespaltenen Orchideenwurzeln — deren nur wenige

1) Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel in COHN's Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 2. Heft. Breslau, 1872.

2) Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg, I. Bd. Leipzig, 1874.

untersucht werden konnten — gingen meist zu Grunde, und nur bei *Peristeria elata* wurde eine fast vollständige Regeneration derselben beobachtet.

Obwohl die Anzahl der untersuchten Arten nur eine geringe ist, darf man mit Rücksicht darauf, dass die genannten Pflanzen im natürlichen Systeme weit aus einander stehen, den Schluss ziehen, dass eine Regeneration gespaltenen Wurzeln unter günstigen Verhältnissen bei allen Pflanzen möglich ist.

Was nun die allgemeinen Erscheinungen betrifft, welche mit dem Regenerationsprocesse verbunden sind, so fand ich, in Uebereinstimmung mit den PRANTL'schen Resultaten, dass sich an der Regeneration alle Gewebe, Rinde, Epidermis und Fibrovasalkörper, betheiligen.

In der an die Schnittfläche grenzenden Region der halbirten Wurzeln bildete sich zunächst ein Wundgewebe, und bald darauf entstand in diesem ein Meristem, das aus parallel zur Wundfläche geordneten Elementen zusammengesetzt war. Dieses Meristem bildete sich vorwiegend in dem inneren, markartigen Gewebe des Centralcylinders in unmittelbarer Nähe der Wundfläche aus. BERTRAND¹⁾, der ein solches Gewebe als „zone génératrice isolante“ bezeichnet, hat ein Gesetz, das „Gesetz der freien Oberflächen“, aufgestellt, durch welches er zum Ausdruck bringen will, dass eine solche isolirende Schicht in der Nähe jeder freien Oberfläche entsteht, sei letztere eine reelle oder eine virtuelle.

Auffallend ist auch das bisher nicht beobachtete Vorkommen einer Füllsubstanz in den Intercellularräumen der der Wundfläche naheliegenden Schichten des Markes und der Rinde (*Zea*, *Vicia*, *Pisum*, *Phaseolus*). Diese Substanz, welche eine gelbe oder gelbbraune Farbe und ein glasartiges Aussehen hat, zeigt zu gleicher Zeit die Reactionen des Holzes und des Korkes, ohne sich bestimmt mit einem der beiden Stoffe identificiren zu lassen. Sie löst sich weder in Wasser, noch in Alkohol, noch in Aether, mögen dieselben bei gewöhnlicher Temperatur oder Siedehitze einwirken. Concentrirte Schwefelsäure und Kalilauge bewirken eine braune Färbung, ohne indess die Substanz zu lösen.

Die von PRAËL²⁾ empfohlene und von demselben vielfach angewandte TEMME'sche Reaction zur Feststellung der Identität des im Schutz- und Kernholze vorkommenden Gummis giebt keine abweichenden Resultate. Dieser Reaction nach sollte sich der Gummistoff nach einer viertelstündigen Digestion mit Kaliumchlorat und Salzsäure in Alkohol lösen — bei weiterer Einwirkung jener Reagentien auch schon in diesen allein. Dieselben rufen keine wesentliche Veränderung der Füllsubstanz

1) BERTRAND. Loi des surfaces libres. Comptes rendus, Paris, T. XCVIII, 1884, p. 48-51.

2) Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kernholz der Laubbäume. PRINGSHEIM's Jahrbücher, Band XIX, 1888, pag. 14.

hervor, sofern man von einer sehr leichten Entfärbung derselben absieht. Ob die Substanz als Wund- oder Schutzgummi zu betrachten sei, bleibt vorläufig dahingestellt.

Da der Regenerationsprocess bei Monocotylen und Dicotylen sehr verschieden verläuft, so will ich für beide einige typische Beispiele anführen.

Monocotylen.

Unter den Monocotylen boten die Knotenwurzeln von *Zea Mays* ein vorzügliches Untersuchungsobject. Bei diesen fand die Regeneration derart statt, dass entweder die zwei Enden des Leitbündelgewebes des halbirtten Centralcylinders sich allmählich scheitelwärts gegen einander krümmten, bis sich zuletzt der Centralcylinder ringförmig schloss, oder dass neue Initialgefässe an einem oder an beiden Enden des halbirtten Centralcylinders sich anlegten und sich ein oder zwei Stränge bildeten, die den Centralcylinder vervollständigten; oder endlich derart, dass — wie dies gewöhnlich bei Wasserculturen der Fall war — die breiten Gefässe der intacten Seite des Leitbündelgewebes des Centralcylinders mit dem umliegenden Parenchym nach der Wundfläche hin zusammenrückten und sich zwischen die beiden Enden des halbirtten Centralcylinders einschoben. An diese breiten Gefässe legten sich ausserhalb neue Xylemplatten an, und der Centralcylinder wurde so vervollständigt. In den letzten drei Fällen erfolgte die Regeneration der Endodermis zugleich mit der Bildung der neuen Theile des Leitbündelgewebes, während die übrigen Gewebe, Rinde, Exodermis und Epidermis, sich später regenerirten.

Bei *Philodendron*-Wurzeln fand zuerst die Regeneration der Endodermis statt und zwar derart, dass ihre Bildung von den zwei Kanten des halbirtten Centralcylinders nach dem Centrum zu fortschritt. Neue Xylem- und Phloëmbündel entstanden blind unter der neugebildeten Endodermis, und ihre Bildung schritt ebenfalls von den beiden Kanten des halbirtten Centralcylinders nach dem Centrum zu fort. Später regenerirten sich auch die Rinde — in dieser bildeten sich neue Secretbehälter, wie in der normalen Rinde — die äussere Sclerenchymischeide, die Exodermis und die Endodermis.

In ähnlicher Weise ging die Regeneration der *Pandanus*-Wurzeln vor sich. Bei diesen konnte ich einmal — *Pandanus caricosus* — eine partielle Verwachsung der zwei regenerirten Wurzelhälften, ein anderes Mal — *Pandanus furcatus* — eine vollständige Verwachsung der theilweise regenerirten Wurzelhälften beobachten.

Eine vollständige Regeneration wurde auch bei *Acanthorrhiza*- und *Syngonium*-Wurzeln beobachtet. Bei letzteren entstanden sogar neue Xylemgefässe im Wundgewebe selbst, bevor die Bildung einer neuen Endodermis stattgefunden hatte.

Bei *Peristeria elata* trat eine fast vollständige Regeneration ein. Das Velamen blieb aber auf einer sehr weiten Strecke fast völlig unverändert, auch längs der Schnittfläche, während die Zellen des Rindenparenchyms und des markartigen Gewebes des Centralcyinders eine beträchtliche Streckung senkrecht zur Wundfläche erfuhren.

Gegen die Wurzelspitze krümmte sich das Velamen von beiden Seiten her über das Wundgewebe, durch dessen Ausbildung gleichzeitig der normal entwickelte Theil des Centralcyinders und der Rinde mehr und mehr schwand. Nur wenige Millimeter von der Spitze liess sich eine Vervollständigung des Centralcyinders erkennen. Es ist deshalb nicht ausgeschlossen, dass bei weiterer Entwicklung der Wurzel auch die normale Gewebesonderung sich eingestellt hätte.

Dicotylen.

Bei Dicotylenwurzeln verhält sich die Regeneration je nach der Anzahl der Gruppen und der Richtung des Spaltschnittes sehr verschieden. Es sollen hier deshalb nur die Hauptzüge dieses Regenerationsprocesses erwähnt werden.

Die vom Spaltschnitte getroffenen Bündel gehen meist verloren, so dass die Zahl der jeder Spalthälfte zugefallenen Gefässbündel nicht der Hälfte der normalen Zahl entspricht, sondern niedriger als dieselbe ist.

Wie bei Monocotylen, so bildet sich auch bei Dicotylen zuerst die Endodermis. Dieselbe konnte ich zuweilen schon in der zweit-äusseren Zellschicht des Wundgewebes beobachten.

Die Bildung neuer Xylemplatten erfolgt derart, dass entweder neue Initialgefässe an der der Wundfläche zugekehrten Seite den vorhandenen Platten sich anlegen, so dass dieselben bei weiterem Längenwachsthum der Spalthälfte spindelförmig werden, sich nachher in der Mitte theilen und zwei Platten erzeugen, oder derart, dass an der Peripherie des regenerirten Centralcyinders unter der Endodermis neue Initialgefässe entstehen, an welche sich andere anlegen, wodurch die Bildung der neuen Platte centrumwärts fortschreitet. Neues Phloëm bildet sich entweder durch Streckung und Spaltung des schon vorhandenen, oder es entsteht blind.

Die neugebildeten Bündel orientiren sich unter einander und zu den übrigen stets regelmässig.

Die Regeneration der übrigen Gewebe, Rinde und Epidermis, ist so vollständig, dass die regenerirten Wurzelhälften von normalen kaum zu unterscheiden sind. Auch an der regenerirten Seite findet die Bildung von Wurzelhaaren statt.

Eine sehr auffallende Erscheinung bei gespaltenen und auch bei gekappten Wurzeln ist die ausserordentlich häufige Bildung von Nebenzwurzeln, welche über derselben Xylemplatte entstehend entweder zu mehreren in enger Folge der Länge nach (serial) angereiht sind, oder mit

ihren Centralcylindern verschmelzen und sich mit einer gemeinsamen Rinde umhüllen.

Der erste Fall bedarf keiner besonderen Erläuterung. Die über einer einzigen Xylemplatte entstehenden Wurzeln sind meist isolirt. Nur in sehr seltenen Fällen sind sie an ihrer Basis eine kurze Strecke verwachsen.

Interessanter ist der zweite Fall, wo die für die Bildung mehrerer Nebenwurzeln bestimmten Xylem- und Phloëmelemente sich vereinigen und mit einer gemeinsamen Rinde umhüllen. In diesem Falle, wo die Wurzeln bandartig erscheinen, können sich Phloëm und Xylem sehr verschieden verhalten. Oft sind schon an der Basis der Wurzel die einzelnen Gruppen getrennt, normal gestaltet und in einer der normalen mehrfach entsprechenden Anzahl vorhanden, so dass sich unmittelbar die Vermuthung aufdrängt, dass hier die Gruppen mehrerer Wurzeln sich genähert haben. Zwei Beispiele mögen dies erläutern.

Die Wurzeln von *Pisum* sind bekanntlich triarch. Kommen nun die 3 Gruppen zweier Wurzeln so zusammen, dass zwei sich gegenüberstehen, so vereinigen sich oder verschwinden die zwei in gleicher Richtung einander zugekehrten Xylemplatten; das Xylem erscheint im letzteren Falle auf dem Querschnitt wie ein römisches X, im ersteren Falle wie ein X in dessen Mitte sich ein Zwischenstück eingeschaltet hat. (✕) Sind zwei Nebenwurzeln von *Vicia Faba* schon bei ihrer Anlage verwachsen, so erscheinen ihre Xylemplatten auf dem Querschnitte wie auf einen ovalen oder -förmigen Centralcylinder vertheilt, wobei das Phloëm wie in normalen Wurzeln zwischen den einzelnen Xylemplatten eingeschaltet ist.

Oft aber sind die einzelnen Gruppen an der Basis der Wurzeln keineswegs getrennt. Das Xylem kann dann — wie aus den bisher beobachteten Fällen ersichtlich — entweder aus einem einzigen Strange bestehen, der sich nach der Richtung der Längsaxe der Mutterwurzel erstreckt, oder aus zwei Strängen, die parallel zu einander in derselben Längsrichtung verlaufen und an den beiden Polen des Querschnittes durch zwei bogige Querstränge verbunden sind. Das Phloëm zieht sich an der Peripherie des Centralcylinders dem einen oder den beiden Strängen parallel hin.

Im ersteren Fall legen sich scheitelwärts links und rechts an den einzigen Xylemstrang, welcher aus fast gleichweiten Gefässen besteht, neue Xylemplatten an. Zu gleicher Zeit verschwinden die mittleren Gefässe des Stranges, bis schliesslich vom letzteren nur die an den beiden äussersten Enden gelegenen verbleiben. Noch weiter scheitelwärts verschwinden die mittleren Xylemplatten nach und nach, die übrigen ordnen sich zu zwei Gruppen an und werden noch weiter scheitelwärts von der einwärts greifenden Endodermis rings umschlossen. Die zwei getrennten Centralcylinder entfernen sich nach dem Scheitel hin

immer mehr von einander und bleiben entweder bis zu der Wurzelspitze von einer gemeinsamen Rinde umhüllt, oder sie trennen sich ganz und gar, indem die äussere Rinde in der zwischen den beiden Centralcy lindern liegenden Region derart sich von beiden Seiten einbuchtet bis endlich die Theilung vollendet ist. Die Zahl der Bündel kann in den zwei Centralcy lindern eine gleiche oder eine ungleiche sein; es kann scheitelwärts eine stetige Verminderung stattfinden, bis endlich die Normalzahl der Bündel erreicht ist, oder sie kann eine höhere als die normale bleiben.

In dem zweiten Falle, wo also zwei parallele Stränge in der Längsrichtung verlaufen, bleiben die einzelnen Gefässe der zwei Stränge nicht immer parallel zu einander gereiht, sondern werden scheitelwärts zickzackförmig verschoben, bis sie sich endlich zu isolirten, keilförmigen Platten gestalten, die sich ebenfalls in zwei parallele Reihen ordnen. Die Trennung derselben geht wie in dem oben erwähnten Falle vor sich.

Die Trennung congenital verwachsener Nebenwurzeln erfolgt gewöhnlich so, dass die äussere Rinde, wie schon erwähnt, allmählich von aussen her an beiden Seiten eingreift. Bei einer bandartigen Wurzel von *Phaseolus* konnte ich aber auch beobachten, wie die Trennung von innen nach aussen ging. Eine solche Wurzel, die aus der Verwachsung von 4—5 Nebenwurzeln hervorgegangen war — sie enthielt bis 17 in zwei parallele Reihen geordnete Xylemplatten — hatte scheitelwärts eine stetige Verminderung ihrer mittleren Platten erfahren, bis endlich die übrigen sich zu zwei Gruppen gesellten, die von der Endodermis rings umschlossen waren. Zwischen den zwei so getrennten Centralcy lindern machte sich auf den successiven nach dem Scheitel hin geföhrten Querschnitten eine kleine Gruppe englumiger Zellen bemerkbar, welche mit conc. Schwefelsäure behandelt eine auffallende Verkorkung ihrer Wände zeigten. Weiter scheitelwärts entstand im Centrum dieser Gruppe eine kleine Lücke, welche sich mit Papillen erfüllte, zu denen die umliegenden Zellen ausgewachsen waren. Noch weiter scheitelwärts wurde die Lücke immer grösser und die Papillen verlängerten sich zu Haaren. Die Erweiterung dieser Lücke in einer zur Längsaxe des Querschnittes senkrechten Richtung ging so weit, dass die gemeinsame Rinde von einer Seite endlich durchbrochen wurde. Die Wurzel hatte nun auf dem Querschnitte etwa die Form eines Pince-nez. Zwischen den zwei Wurzeln war noch eine Brücke vorhanden. Die vollständige Trennung der beiden Wurzeln erfolgte derart, dass die Verkorkung der Zellwände nur von einer Seite der Zwischenbrücke und in einer zur Oberfläche der einen Wurzel tangentialen Richtung stattfand, so dass die abgetrennte Wurzel auf dem Querschnitte oval erschien, während der anderen die Zwischenbrücke an-

haften blieb. Durch Verkorkung der Zellwände in einer zur zweiten Wurzel tangentialen Richtung trennte sich von letzterer die Brücke ab.

Nicht selten ist die congenitale Verwachsung der Nebenwurzeln nur auf ihre Basis beschränkt, so dass hier dieselben zwei getrennten oder nach Art einer 8 verbundenen Centralcylinder enthalten. Nach dem Scheitel hin verwachsen dieselben aber und vermindern ihre Gruppen stets so, dass endlich die normale Zahl erreicht wird.

Auch die Anordnung der Nebenwurzeln ist oberhalb und unterhalb der Spaltstelle verschieden. Auf der intacten Wurzel sind die verwachsenen Nebenwurzeln meist neben einander stehende (collateral), auf den Spaltwurzeln über einander stehende (serial). Auf den intacten Wurzeln der Monocotylen (Mais) sind sie ausschliesslich collateral, auf den Spaltwurzeln in Wassercultur ausschliesslich serial.

Pflanzenphysiologisches Institut der Universität und Botanisches Institut
der kgl. landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin.

16. H. Rodewald: Ueber die durch osmotische Vorgänge mögliche Arbeitsleistung der Pflanzen.

Eingegangen am 24. Februar 1892.

Zu wiederholten Malen hat PFEFFER¹⁾ darauf aufmerksam gemacht, dass durch osmotische Processe in und von der Pflanze Arbeit geleistet und auch freie Wärme in Arbeit verwandelt werden kann. Es ist der Zweck dieser Arbeit, zu untersuchen, wie gross sich die osmotische Arbeitsleistung unter bestimmten physiologisch wahrscheinlichen Annahmen gestaltet und wann und zu welchem Antheil die äussere freie Wärme dabei in Arbeit übergeht.

Durch die Untersuchungen von VAN T'HOFF²⁾ über „die Rolle

1) PFEFFER, Pflanzenphysiologie, Bd. I. pag. 378; Bd. II. pag. 1; Landw. Jahrbücher, 1878, Bd. 7, pag. 834; Abhandl. der mathemat. physikalischen Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. XV. pag. 484.

2) Zeitschrift für physikalische Chemie, Bd. I, 1887, pag. 481.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Lopriore Giuseppe

Artikel/Article: [Ueber die Regeneration gespaltener Wurzeln. 76-83](#)