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

59. L. Kny: Ueber den Einfluss von Zug und Druck auf die Richtung der Scheidewände in sich theilenden Pflanzenzellen.

Mit zwei Holzschnitten.

Eingegangen am 25. November 1896.

1.

Halbirt man eine Kartoffelknolle mit einem scharfen Messer und lässt die beiden Hälften mit nach aufwärts gekehrter Schnittfläche in einem dunstgesättigten Raume liegen, so beginnt, wie bekannt, nach etwa 2 Tagen die Bildung von Wundperiderm. Entweder in der der Wundfläche unmittelbar angrenzenden Schicht unverletzter Parenchymzellen oder eine bis wenige Zellschichten tiefer treten Theilungen ein, welche eine Schutzdecke verkorkender Zellen für die inneren saftreichen Gewebe liefern.

Die Scheidewände, welche die Zellen des Wundperiderms abtrennen, sind zum bei Weitem grösseren Theile der Wundfläche genau oder doch annähernd parallel, mag man den Schnitt in der Richtung der organischen Längsachse der Knolle oder quer oder schief zu derselben geführt haben. Ist die Wundfläche nicht eben, sondern gekrümmt, so richtet sich die Stellung der Theilungswände nach der Form der Krümmung. Verletzt man Knollen durch den Stich einer Nadel, so stehen die Wände annähernd tangential zur Peripherie des Wundkanals.

Da der Versuchsansteller den Theilungswänden jede beliebige Richtung aufzunöthigen vermag, können es nicht innere, durch Erblichkeit fixirte Ursachen sein, welche bestimmend auf dieselbe einwirken.

Dass die Richtung der Scheidewände auch nicht von der Schwerkraft, vom Lichte oder von der strahlenden Wärme beeinflusst wird, lässt sich durch einfache Versuche feststellen. Mag man Knollenhälften im Dunkeln so aufstellen, dass ihre Wundflächen horizontal oder so, dass sie vertical gerichtet sind, mag man die Wundflächen von oben oder von der Seite belichten resp. erwärmen oder sie im Dunkeln und im gleichmässig erwärmten Raume belassen — immer ist die vorherrschende Richtung der Scheidewände durch diejenige der Schnittfläche gegeben.[1])

1) L. Kny, Ueber die Bildung des Wundperiderms an Knollen in ihrer Abhängigkeit von äusseren Einflüssen (Ber. der deutsch. bot. Gesellsch. VII. (1889). p. 154 ff.

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

Es liegt nahe, an zwei andere Ursachen zu denken, welche die Stellung der Theilungswände bestimmen könnten.

Entweder könnte die Richtung, von welcher her der für die Lebensprocesse unentbehrliche Sauerstoff den Zellen zufliesst, für die Orientirung der Kernfigur und damit der Theilungswand ausschlaggebend sein.

Oder es sind mechanische Momente massgebend. Der trotz der zahlreichen, kleinen Intercellularen im Ganzen sehr feste seitliche Zusammenschluss der Gewebezellen bedingt, dass diejenigen unter ihnen, welche sich zur Theilung anschicken, wohl senkrecht zur Wundfläche, nicht aber in einer ihr parallelen Richtung in erheblichem Maasse wachsen können. Es schien mir wahrscheinlich, dass diese dem Auftreten der Theilungswände vorhergehende Wachsthumsrichtung für die Richtung der Theilungswände bestimmend sein werde.

Dass die Richtung, in welcher der Sauerstoff der Wundfläche zufliesst, die Orientirung der Theilungswände beeinflussen sollte, war von vornherein nicht wahrscheinlich; denn die atmosphärische Luft hat von Beginn der Peridermbildung zu den meisten der sich theilenden Zellen nicht unmittelbar, sondern nur durch Vermittelung der nach aussen geöffneten Intercellularen Zutritt, dringt also thatsächlich von der Seite her in sie ein. Bei weiterem Fortgang der Peridermbildung verengen sich zwar die Intercellularräume; doch ist es zweifelhaft, ob ihr Verschluss ein vollständiger wird.

Auch der Versuch zeigt das Unzulässige einer solchen Annahme. Mittels eines scharfen Korkbohrers wurden Cylinder von 9 *mm* Durchmesser aus grossen Knollen vorsichtig herausgeschnitten. Bei einer Anzahl derselben wurden sie in ihrer ganzen Länge wieder an die frühere Stelle eingeschoben; bei anderen wurden nur die Enden eingeschoben, nachdem das mittelste Drittel durch zwei parallele Schnitte entfernt worden war. Die äusseren Ringwunden wurden mit einer dicken Schicht Vaseline bedeckt. Nachdem der im Wundkanal vorhandene Sauerstoff verbraucht war, konnte neuer Sauerstoff dem Wundgewebe in erheblichem Maasse nur durch die Intercellularen zufliessen. Nach 7 Tagen hatten Theilungen stattgefunden, wenn auch in geringerer Zahl als an freien Wundflächen. Die Scheidewände waren in normaler Weise der Oberfläche fast durchweg parallel.

Dem Versuche lässt sich noch eine andere Form geben. Legt man eine aus einer Kartoffel quer herausgeschnittene dicke Scheibe in horizontaler Stellung zwischen eine obere Spiegelglasplatte und eine untere, für Luft durchlässige Platte aus porösem Thon und legt letztere, um den Zutritt der Luft zu ihr zu erleichtern, mit ihren vier Ecken dem Rande einer starkwandigen Krystallisirschale auf, so bildet sich Wundperiderm mit normaler Stellung der Theilungswände nicht nur über der Thonplatte, sondern auch unter der für Sauerstoff undurch-

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

dringlichen Glasplatte. Es geschah dies auch dann, wenn die Glasplatte mit einem Gewicht von 15 *kg* belastet war. Auch hier war der Sauerstoff den sich theilenden Zellen nur von der Seite her zugänglich.

Es war nun zu entscheiden, ob die zweite Annahme zutreffend sei, dass der Druck, welchen die Initialzellen des Periderms bei beginnendem Wachsthum in zur Wundfläche paralleler Richtung auf einander üben und welche eine ausgiebige Vergrösserung derselben nur in zur Wundfläche senkrechter Richtung ermöglicht, die Stellung der Scheidewände hierdurch indirect beeinflusst.

Ist dies richtig, so müsste die Richtung der Theilungswände sich entsprechend ändern, wenn man die Initialzellen einem Zuge parallel zur Wundfläche aussetzt und denselben gegebenenfalls durch einen senkrecht zu ihr wirkenden Druck unterstützt. Die Theilungswände müssten dann vorwiegend senkrecht zur Wundfläche stehen.

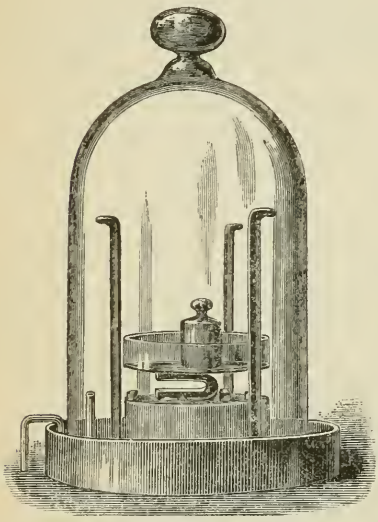

Fig. 1.

Die Anordnung meiner ersten Versuche war eine sehr einfache. Es wurden mittels eines grossen Messers mit scharfer dünner Klinge aus der Mitte gesunder Kartoffelknollen Scheiben von 4 bis 6 *mm* Dicke herausgeschnitten und dieselben an zwei gegenüberliegenden Seiten so gestutzt, dass ein Riemen von 20 bis 30 *mm* Breite übrig blieb. An den beiden Enden desselben blieb das ursprüngliche Periderm unversehrt.

Diese Riemen wurden nun in einer zu den beiden ersten Schnittflächen senkrechten Ebene vorsichtig zusammengebogen, zwischen je zwei horizontale Glasplatten gebracht, und die obere so stark belastet, dass dem Riemen die Krümmung während der nächsten Tage dauernd aufgenöthigt blieb. Um ein seitliches Ausweichen der oberen belasteten Glasplatte zu verhindern, fand ich es am einfachsten, eine starkwandige Krystallisirschale zwischen den drei parallelen Stäben eines umgekehrten Dreifusses, wie solche als Kochgestelle in chemischen Laboratorien Verwendung finden, ziemlich knapp laufen zu lassen. Eine ähnliche, aber umgewendete Schale diente als Unterlage für den Kartoffelriemen. Der ganze Apparat befand sich in einem weiten glasirten Untersatz und war mit einer Glasglocke von ein wenig geringerem Durchmesser, als der Untersatz ihn hatte, bedeckt. Um annähernde Dampfsättigung herbeizuführen, war der Boden des Unter-

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

satzes bis über den Rand der Glocke mit Wasser bedeckt. Behufs ungehinderten Luftzutrittes war ein passend gebogenes Verbindungsrohr zwischen innerer und äusserer Atmosphäre unter dem Glockenrande eingeführt (Fig. 1).

Wie sich bald zeigte, gelangen die Versuche nur dann, wenn die Belastung sich der äussersten zulässigen Grenze näherte. Es geschah deshalb oft, dass der Kartoffelriemen vor Ablauf der 3 Tage, welche jeder Versuch beanspruchte, brach.[1]) Solche Versuche, bei denen das Brechen unmittelbar vor vollendetem dritten Tage erfolgte, waren natürlich von ganz besonderem Werthe, weil hier die Sicherheit gegeben war, dass die Belastung sich dem Grenzwerthe genähert hatte. In anderen Versuchen musste der Grad der Krümmung als Anzeichen dafür gelten, dass die Belastungsgrenze annähernd erreicht war.

Um für die etwaige Wiederholung dieser Versuche durch Andere einen Anhalt zu geben, folgen hier einige genauere, die gelungensten Versuche betreffenden Zahlenangaben.

Nummer	Versuchsdauer	Länge	Breite	Dicke	Belastung (obere Glasschale mit Gewichten)
		des verwendeten Kartoffelriemens in Millimetern			*g*
1	17. bis 20. Februar 1896	66	23	5,5	945
2	21. bis 24. Februar	66	24	6	946
3	25. bis 28. Februar	70,5	25,5	6,5	1029
4	28. Februar bis 2. März	77	27,5	5	872
5	2. bis 5. März	67	28,5	4,5	1026
6	6. bis 9. März	72,5	28	5,5	1424

Nach Abschluss eines jeden Versuches wurde der am stärksten gekrümmte Theil des Riemens der vollen Breite und Dicke nach so herausgeschnitten, dass die convexe Aussenfläche etwa die doppelte Höhe der concaven hatte, und in eine grössere Zahl senkrecht zur Oberfläche und zum Breitendurchmesser geführter Schnitte zerlegt. Die Krümmung hatte sich während dessen zwar vermindert, blieb aber immer noch deutlich erhalten, war also zum Theil durch Wachsthum fixirt. An der Convexseite des Schnittes zeigten sich die Grundgewebszellen durchschnittlich stärker in Richtung der Oberfläche gedehnt, als dies in der normalen Knolle der Fall gewesen war; an der concaven Seite waren sie deutlich von der Seite her zusammengedrückt

1) Ein Zertrümmern der Glasschalen beim Brechen des Kartoffelriemens lässt sich dadurch leicht vermeiden, dass man auf der Peripherie der umgekehrten unteren Glasschale drei niedrige Korkstücke vertheilt (s. Fig. 1).

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

und in der Richtung senkrecht zur Aussenfläche verlängert. Die Zellen der Convexseite waren während der Dauer des Versuches nicht nur im Sinne der Krümmung gedehnt, sondern auch durch die über bezw. unter ihnen befindlichen Zellen zusammengedrückt worden. Zug und Druck hatten für die Formänderung der wachsenden Zellen gleichsinnig zusammengewirkt. An der concaven Seite hatte dem von der Seite her wirkenden Druck ein solcher in senkrechter Richtung entgegengewirkt; doch war der erstere, wie sich aus der Formänderung der Zellen ohne Weiteres ergab, entschieden überwiegend gewesen.

Bei Feststellung des Resultates ist es anfangs nicht immer leicht, volle Sicherheit darüber zu gewinnen, ob eine Theilungswand erst nach Beginn des Versuches entstanden war; doch wird man bei genauer Untersuchung mit starken Vergrösserungen leicht zu einem befriedigenden Ergebniss gelangen. Aeltere, in der unverletzten Knolle gebildete Wände fügen sich, auch wenn sie im Ganzen zart sind, anderen Wänden immer mit deutlich verbreiterter Basis an, und diese benachbarten Wände sind an der Insertionsstelle der fraglichen Wand immer schwach gebrochen, während kürzlich entstandene Wände sich in äusserster Zartheit bis zu ihrer Ansatzstelle erstrecken und den älteren Wänden, welchen sie sich in rechtem oder spitzem Winkel anfügen, noch keine Brechung aufnöthigen. Ausserdem zeigen dieselben beiderseits reichlichen Protoplasmabelag und lassen in diesem nicht selten die Kerne deutlich erkennen. Wo sie in gewaltsam gebogenen Theilen des Riemens entstanden waren, werfen sie meist nach theilweiser Rückgängigmachung der Krümmung deutlich Falten. Ueberall da, wo eine Wand an ihrer Ansatzstelle sich schon gespalten und einen Intercellularraum gebildet hatte, war sie sicher vor Beginn des Versuches entstanden.

Sucht man, unter Annahme unserer Voraussetzung, sich klar darüber zu werden, welchen Einfluss die in unseren Versuchen willkürlich geschaffenen Bedingungen auf die Richtung der neu entstehenden Scheidewände haben müssen, so ist einleuchtend, dass an der concaven Seite des Riemens keine Stellungsänderung im Vergleich mit einer ebenen Wundfläche eintreten wird, da der Seitendruck der Initialzellen ja hier noch eine Steigerung erfährt; an der convexen Seite dagegen werden zahlreiche anticline, d. h. auf der Wundfläche senkrechte Wände auftreten müssen.

Eine ausnahmslose Aenderung in der Richtung der Scheidewände wird man an der convexen Seite nicht erwarten dürfen. Die Verbindung der Grundgewebszellen unter einander ist ja eine so wenig regelmässige, dass schon hierdurch ein in bestimmter Richtung auf den Riemen geübter Zug in den einzelnen Zellen mancherlei Richtungsänderungen wird erfahren müssen. Hierzu kommt, dass das Grundgewebe vom Leitbündelgewebe durchsetzt wird, dessen Verlauf die

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

Richtung des Zuges in verschiedenen Winkeln trifft. Da seine Dehnbarkeit derjenigen des Grundgewebes nicht genau gleichwerthig sein wird, darf man voraussetzen, dass die ursprüngliche Richtung des Zuges sich innerhalb vieler zur Theilung schreitenden Parenchymzellen um einen grösseren oder kleineren Winkel wird ändern müssen.

Der Erfolg der Versuche war der erwartete. An der concaven Seite waren die Theilungswände, welche die Bildung des Wundperiderms einleiteten, ebenso annähernd periclin gerichtet, wie an ebenen Wundflächen. An der convexen Oberfläche sah ich bei den gelungensten der oben beschriebenen Versuche die meisten während des Versuches entstandenen Wände anticlin gerichtet; neben diesen traten aber in grösserer oder geringerer Zahl auch pericline und solche von mittlerer Stellung auf. In allen Versuchen, wofern bei denselben die Belastung der gebogenen Riemen bis zur äussersten zulässigen Grenze getrieben war, sprang der Unterschied in der vorherrschenden Richtung der Theilungswände an der convexen und an der concaven Wandfläche so deutlich in die Augen, dass eine ursächliche Beziehung zu Zug und Druck unverkennbar war.

Den Versuchen, welche den Einfluss künstlich hergestellten Zuges auf die Stellung der Theilungswände bei der Peridermbildung der Kartoffel zur Anschauung bringen sollten, suchte ich eine noch strengere Form zu geben.

Es wurden aus Kartoffelknollen parallel der Längsachse Riemen von etwa 60—100 *mm* Länge, 12—13 *mm* Breite und 2,5—3,5 *mm* Dicke sorgfältig herausgeschnitten und an jedem Ende rasch in eine mit Haken versehene, vernickelte Klammer von 13 *mm* Breite eingeschraubt. Um das Ausgleiten nach Möglichkeit zu verhüten, war den innen gekerbten Backen der Klammern eine ziemliche Länge (18 *mm*) gegeben worden. Zur Erhöhung des Reibungswiderstandes stellte es sich als vortheilhaft heraus, zwischen dem Metall der Klammer und dem Kartoffelriemen Streifen von weichem Leder einzufügen. Das Durchquetschen des Kartoffelgewebes wurde dadurch verhütet, dass die inneren Kanten der Backen ein wenig gerundet waren. Der Haken der einen Klammer wurde an einem passenden Gestell von starkem Draht aufgehängt;

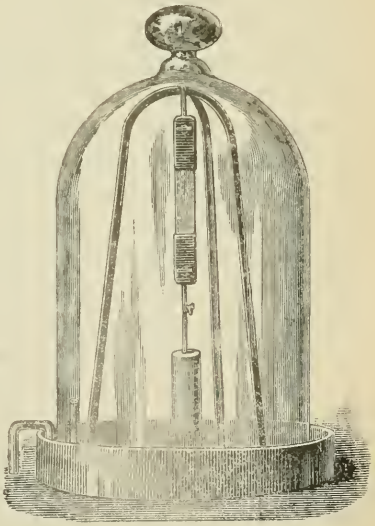

Fig. 2.

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

an demjenigen der nach unten gerichteten Klammer wurden Gewichte angebracht. Die maximale Belastung betrug 1186 *g* (einschliesslich des Gewichtes der unteren Klammer). (Fig. 2.)

Da es auch bei diesen Versuchen nothwendig ist, sich dem Maximum der zulässigen Belastung möglichst zu nähern, trat in der Mehrzahl der Versuche vor Ablauf der erforderlichen 3 Tage Zerreissung ein. Immerhin gelang es, eine Anzahl Versuche zu gutem Abschlusse zu bringen.

Auch hier gilt betreffs der im Innern des Grundgewebes stattfindenden Umsetzungen der Richtung des durch die Belastung hervorgerufenen Zuges das bei Gelegenheit der ersten Versuchsreihe Gesagte. Etwaige geringe Verschiedenheiten in der Elasticität und Ductilität des Grundgewebes und des Leitbündelgewebes und der einzelnen Theile derselben werden auch hier von grossem Einflusse sein. Es wäre sogar denkbar, dass das eine der beiden Gewebesysteme den Zug ganz oder fast ganz aufnähme, und seine Wirkung auf das andere in Folge dessen ganz oder nahezu ausgeschlossen wäre.

Von besonderer Wichtigkeit ist es auch, dass beim Einspannen der Kartoffelriemen in die Klammern darauf geachtet werde, dass die Längsachsen aller Theile genau in derselben Richtung liegen. Bilden die Längsachsen beider Klammerhälften einen noch so stumpfen Winkel, so wird die eine Seite des Riemens natürlich viel stärker als die andere auf Zug in Anspruch genommen.

Unter Berücksichtigung der besprochenen Momente darf man das Resultat der vier gelungenen Versuche als einen Beweis für die Richtigkeit unserer obigen Voraussetzung betrachten. Bei dem am besten gelungenen Versuche, welcher vom 25.—28. März 1896 unter einer Belastung von 1182 *g* ausgeführt war (Länge des Riemens 98 *mm*, Dicke ca. 3 *mm*) zeigte sich bei der mikroskopischen Untersuchung an den 20 senkrecht zur Oberfläche geführten Längsschnitten, dass die Zahl der neu entstandenen anticlinen Wände die der periclinen erheblich überwog. Das Verhältniss beider war etwa wie 3 : 1. Genauer liess sich dasselbe nicht angeben, da nicht selten Stellungen vorkamen, welche zwischen anticliner und pericliner die Mitte hielten. Auch U-förmig gekrümmte Wände wurden zuweilen beobachtet.

II.

Als zweites passendes Object zur Prüfung der Frage, ob den sich zur Theilung anschickenden Zellen gleichzeitig mit der Richtung des intensivsten Wachsthumes auch eine bestimmte Stellung der Scheidewände aufgenöthigt werden könne, bieten sich die Pfahlwurzeln der Keimpflanzen dar. Dieselben sind radiär gebaut, zeigen also nach keiner Richtung eine principielle Bevorzugung in der Zahl der Rinden-

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

schichten und in der Ausbildung des Leitungsgewebes. Lässt man sie, statt frei in Nährlösung, unter Druck zwischen zwei ebenen Glasplatten fortwachsen, so muss sich zeigen, in welchem Maasse die Zahl der Theilungswände parallel der Richtung des Druckes vermehrt, senkrecht dazu vermindert wird.

Die von mir zu den Versuchen verwendeten Wurzeln von *Vicia Faba* — und es wird dies vermuthlich auch von den meisten anderen gelten — hatten die für unseren Zweck nachtheilige Eigenschaft, dass die meisten Zelltheilungen im oberen, kegelförmigen Theile der Wurzelspitze erfolgten, welcher dem Seitendrucke ebener Glasplatten unmittelbar nicht zugänglich ist. Die eintretenden Formänderungen sprechen sich demgemäss mehr in den verschiedenen Dimensionen der ausgewachsenen Elemente, als in ihrer Zahl aus. Immerhin wird aber auch die Stellung der Scheidewände mit beeinflusst werden, da die letzten Theilungen noch unter Seitendruck erfolgen.

Für die ersten Versuche wählte ich dasselbe Verfahren, wie es mir früher zu einem ähnlichen Zwecke gedient hatte.[1]) Die erst wenige Centimeter lange Pfahlwurzel kräftiger, junger Keimpflänzchen wurde auf eine Spiegelglasplatte gelegt, welche sich auf dem Boden einer mit KNOP'scher Normal-Nährlösung gefüllten Krystallisirschale befand, vorsichtig mit einer ähnlichen Spiegelglasplatte bedeckt und die letztere je nach Bedürfniss noch mit anderen Platten belastet. Die von der Samenschale noch umschlossenen Cotyledonen befanden sich ausserhalb der Platten an der oberen Grenze des Wassers, so dass der Laubspross sich nach aufwärts entwickeln konnte.

Es zeigte sich aber sehr bald, dass das Bestreben der Wurzelspitze, sich positiv geotropisch zu krümmen, die Gleichmässigkeit der Druckwirkung auf die beiden gegenüberliegenden Seiten behinderte. Ich zog es deshalb vor, je zwei quadratische, starke Spiegelglasplatten von 12,5 *cm* Seite mit Bindfaden derart an einander zu befestigen, dass sie sich am unteren Ende unmittelbar berührten, am oberen Ende aber durch eingeschaltete Korkstückchen in einem Abstande von ca. 3 *mm* gehalten wurden. Solcher Plattenpaare wurden mehrere in verticaler Stellung in je ein passendes Glasgefäss gesetzt und in letzteres KNOP'sche Normal-Nährlösung bis nahe zum oberen Rande der Plattenpaare eingefüllt. Schob man nun vorsichtig von oben her die Pfahlwurzel eines jungen Keimpflänzchens ein, so konnten sich letztere ungestört entwickeln, und es konnten die Wurzeln in verticaler Richtung abwärts wachsen, bis die Annäherung der Platten der weiteren Verlängerung eine Grenze setzte. Bevor dies geschah, waren die wachsenden Wurzelspitzen einem allmählich steigenden Druck in der Richtung senkrecht zur Fläche der

1) L. KNY, Ueber das Dickenwachsthum des Holzkörpers in seiner Abhängigkeit von äusseren Einflüssen. Berlin, 1881, Taf. I, Fig. 5 nebst Figurenerklärung.

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

Platten ausgesetzt. Dass letztere nach unten zu convergirten, war bei der conischen Form der Wurzelspitzen als günstiger Umstand zu betrachten.

Von den genauen Aufnahmen, welche ich in 3 Fällen gemacht habe, begnüge ich mich, eine hier näher mitzutheilen. Die beiden anderen, ebenfalls zahlenmässig festgelegten und die zahlreichen anderen, mehr cursorisch untersuchten Fälle stimmten mit dem im Folgenden dargestellten principiell überein.

Dauer des Versuches vom 7.—16. Juli 1896.

Die Pfahlwurzel war während dieser Zeit bis nahe zum unteren Ende der Glasplatten gewachsen. Die Grösse des Zuwachses war nicht genauer gemessen worden.

1. Querschnitt, nahe am Scheitel. Centralcylinder und Rinde noch nicht scharf gesondert. Lage der inneren Rinde durch grösseren Durchmesser der Zellen und durch Intercellularen angedeutet.
   Grösster Durchmesser des Querschnittes (parallel den Glasplatten): 52.[1])
   Kleinster Durchmesser des Querschnittes (senkrecht zu den Glasplatten): 36
   Zahl der Zellen des Gesammtquerschnittes
   in Richtung des grössten Durchmessers: 52,
   „ „ „ kleinsten „ 49.
2. Querschnitt, ein wenig weiter vom Scheitel entfernt. Centralcylinder und Rinde noch nicht deutlich gesondert.
   Grösster Durchmesser (parallel den Glasplatten): 57.
   Kleinster Durchmesser (senkrecht zu den Glasplatten): 38.
   Zahl der Zellen des Gesammtquerschnittes
   in Richtung des grössten Durchmessers: 61,
   „ „ „ kleinsten „ 48.
3. Querschnitt, weiter vom Scheitel entfernt. Endodermis deutlich. Die 5 Xylemgruppen zählten je 6—8 Gefässe.
   Grösster Durchmesser (parallel den Glasplatten): 69.
   Kleinster Durchmesser (senkrecht zu den Glasplatten): 36,5.
   Zahl der Rindenzellen (einschliesslich Epidermis und Endodermis)
   in Richtung des grössten Durchmessers: 30.
   „ „ „ kleinsten „ 26.
   Zahl der Zellen des Centralcylinders
   in Richtung des grössten Durchmessers: 29,
   „ „ „ kleinsten „ 21.
4. Querschnitt, weiter vom Scheitel entfernt. Die 5 Xylemgruppen zählten 8 bis 10 Gefässe.
   Grösster Durchmesser (parallel den Glasplatten): 84.
   Kleinster Durchmesser (senkrecht zu den Glasplatten): 40,5.
   Zahl der Rindenzellen (einschliessl. Epidermis und Endodermis)
   in Richtung des grössten Durchmessers: 33,
   „ „ „ kleinsten „ 24.
   Zahl der Zellen des Centralcylinders
   in Richtung des grössten Durchmessers: 27,
   „ „ „ kleinsten „ 23.

1) Die Zahlen in diesem und den folgenden Querschnitten entsprechen den Abständen des benutzten Ocularmikrometers. 1 Abstand = $^1/_{55}$ *mm*.

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

5. Querschnitt, noch weiter vom Scheitel entfernt. Die 5 Xylemplatten waren in der Achse der Wurzel verschmolzen.
Grösster Durchmesser (parallel den Glasplatten): 104,
Kleinster Durchmesser (senkrecht zu den Glasplatten): 56.
Zahl der Rindenzellen (einschliessl. Epidermis nnd Endodermis)
in Richtung des grössten Durchmessers: 34,
„ „ „ kleinsten „ 29.
Zahl der Zellen des Centralcylinders
in Richtung des grössten Durchmessers: 34,
„ „ „ kleinsten „ 16.

Wie man aus dem Vorstehenden ersieht, war die Zahl der Zellen auf allen 5 Querschnitten in der Richtung senkrecht zur Oberfläche der Glasplatten nicht unerheblich geringer als in der Richtung parallel zu denselben, wenn auch das Verhältniss der Zahlen demjenigen des grössten und kleinsten Durchmessers des Wurzelquerschnittes nicht voll entsprach. Es ergiebt sich hieraus, dass an der Abplattung der Wurzel in der Richtung des Druckes nicht nur verminderte Zelltheilungen, sondern auch vermindertes Zellwachsthum in erheblichem Maasse betheiligt ist.

So werthvoll die mit den Wurzeln von *Vicia Faba* angestellten Versuche als Bestätigung der am Periderm der Kartoffel gewonnenen Resultate auch sind, so lässt sich doch nicht verkennen, dass sie allein zur Entscheidung der Frage nicht geeignet sein würden; denn es wäre nicht unmöglich, dass die Verschiedenheit der Zellenzahl in den beiden auf einander senkrechten Richtungen nicht allein durch die ursprüngliche Orientirung der Scheidewände, sondern auch durch eine Verschiebung der Zellen durch „gleitendes Wachsthum“ erreicht sei.

III.

Den Einfluss eines continuirlich wirkenden Druckes auf die Orientirung der Scheidewand in einer sich theilenden Pflanzenzelle prüfte ich auch an keimenden Sporen von *Equisetum*.

Die reifen *Equisetum*-Sporen sind kugelig und enthalten ausser zahlreichen Chlorophyllkörnern einen grossen Zellkern. Werden sie auf Wasser oder ein anderes passendes Substrat ausgesäet, so schicken sie sich schon nach einigen Stunden zur Keimung an. Nach Verlauf von 24 Stunden sind meist zwei deutlich gesonderte Kerne in ihnen zu unterscheiden, und es verläuft zwischen diesen eine gekrümmte Wand, welche eine kleinere Wurzelzelle von der grösseren Mutterzelle des Prothalliums trennt. Erst, nachdem beide Zellen gesondert sind, beginnt am Wurzelende das Rhizoid auszuwachsen.

Von STAHL[1]) ist gezeigt worden, dass in directem Sonnenlichte

1) Einfluss der Beleuchtungsrichtung auf die Theilung der *Equisetum*-Sporen (Ber. der deutsch. botan. Gesellsch. III, 1885, S. 334 ff). Vergl. auch BUCHTIEN, Entwicklungsgeschichte des Prothalliums von *Equisetum* (Bibliotheca botanica VIII, 1887, S. 18).

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

die Lichtstrahlen richtend auf die Kernfigur und hierdurch auf die Theilungswand einwirken. Letztere ist quer zur Richtung der Lichtstrahlen orientirt. Die grössere Prothallium-Zelle ist nach der Lichtquelle, die Rhizoidzelle ist nach der Schattenseite gekehrt.

Leider war es mir wegen Mangels an geeignetem Material bisher nicht möglich, mehr als einen brauchbaren Versuch anzustellen.

Eine Spiegelglasplatte von 98 *mm* Länge und 48 *mm* Breite wurde auf der einen Seite mit wenig Wasser befeuchtet und hier mit einer grösseren Zahl frisch verstäubter Sporen besäet. Nachdem eine gleich grosse, trockene Spiegelglasplatte vorsichtig auf die Sporen gelegt worden war, wurden die beiden Platten durch an vier gleichweit entfernten Stellen des Randes angebrachte Klammern so lange aufeinandergepresst, bis die mikroskopische Prüfung ergab, dass einige der Sporen zerdrückt waren. Es konnte nun mit hohem Grade von Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass die ihnen benachbarten, unverletzten Sporen sich unter beträchtlichem Drucke der Platten befanden.

Das Plattenpaar, zwischen welchem sich die Sporen in einer von zahlreichen Luftblasen durchsetzten Wasserschicht befanden, wurde nun in verticaler Stellung im dunstgesättigten Raume unter einer Glasglocke aufgestellt, und über dieselbe eine innen geschwärzte Blechkappe gestülpt, welche Licht nur durch eine seitliche Oeffnung eintreten liess. Diese seitliche Oeffnung befand sich genau in mittlerer Höhe des Plattenpaares und war so orientirt, dass die Lichtstrahlen die Platten in verticaler Richtung trafen. Das Ganze befand sich bei sonnenklarem Wetter unter freiem Himmel. Durch einen grossen Spiegel, dessen Stellung während des Versuches mehrere Male entsprechend geändert wurde, war für möglichst intensive Beleuchtung gesorgt.

Als das Plattenpaar am nächsten Morgen sammt den Klammern auf den Tisch des Mikroskopes gebracht wurde, zeigten die meisten Sporen, statt des ursprünglichen einen, zwei deutliche Zellkerne.

Hätte dieses erste Stadium der Keimung ohne Mitwirkung des Druckes unter dem Einflusse des directen Sonnenlichtes stattgefunden, so hätten nach den bisherigen Erfahrungen die beiden Kerne in der Richtung senkrecht zu den Glasplatten über einander liegen müssen. Der Augenschein zeigte, dass etwa in der Hälfte der keimenden Sporen sie genau oder annähernd neben einander lagen.

Der Erfolg dieses mit den Sporen von *Equisetum limosum* angestellten einen Versuches, den ich wegen Materialmangels leider nicht wiederholen konnte[1]), entspricht also, wie ersichtlich, unseren sonstigen Resultaten betreffs des Einflusses des Druckes auf die Richtung der Theilungswand.

---

1) Zwei mit Sporen von *E. palustre* ausgeführte Versuche ergaben deshalb kein befriedigendes Resultat, weil die beiden Zellkerne der jungen Keimlinge hier nicht mit derselben Deutlichkeit hervortraten, wie bei *E. limosum*.

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

Es wäre sehr wünschenswerth, ähnliche Versuche an noch günstigeren Objecten auszuführen. Die Sporen von *Equisetum limosum* haben den Nachtheil, dass sie im reifen Zustande nicht sehr umfangreich sind und dass sie sich bis zur ersten Theilung nicht erheblich vergrössern. Den Querdurchmesser reifer, eben ausgestäubter Sporen fand ich im Mittel von 20 Messungen 7,3, denjenigen 2 bis 3zelliger Prothallien 2 Tage nach der Aussaat 10,2 Abstände meines Mikrometers. Es können unter diesen Umständen schon geringe Unebenheiten der Spiegelglasplatten bewirken, dass von neben einander liegenden Sporen die einen einem Drucke unterliegen, die anderen nicht. Es ist mir wahrscheinlich, dass das verschiedene Verhalten der Keimlinge im obigen Versuche hierin seine Erklärung findet.

Ein günstigeres Object für unsere Zwecke werden vermuthlich die befruchteten Eier der Fucaceen[1]) darbieten. Zwar nehmen dieselben bis zum Auftreten der ersten Theilungswand auch nur unbedeutend an Umfang zu[2]); doch sind sie nicht unerheblich grösser als die reifen *Equisetum*-Sporen und besitzen vermuthlich eine geschmeidigere Membran. Betreffs ihrer Reactionsfähigkeit auf äussere Einflüsse verhalten sie sich, wie KOLDERUP ROSENVINGE[3]) angiebt, sehr verschieden. Diese Verhältnisse würden bei Auswahl der Arten und bei der Deutung des Befundes zu berücksichtigen sein.

IV.

Dass eine unmittelbare Beziehung zwischen Längenwachsthum und Stellung der Scheidewand bei der Zweitheilung der Pflanzenzelle besteht, war schon von HOFMEISTER klar erkannt und deutlich ausgesprochen worden. Er sagt[4]): „Die Stellung der neu entstehenden Scheidewand ist durch das vorausgegangene Wachsthum genau bestimmt; die theilende Wand steht ausnahmslos senkrecht zur Richtung des stärksten vorausgegangenen Wachsthums der Zelle. Wohlgemerkt, nicht senkrecht zum grössten Durchmesser der Zelle, der mit der Richtung des stärksten Wachsthums nicht zusammenfallen braucht und in sehr vielen Fällen in der That auch nicht mit ihr zusammenfällt."

Ob freilich der vorstehende Satz einem ausnahmslosen Naturgesetze und nicht etwa nur einer weitverbreiteten Regel Ausdruck giebt, steht dahin. Um nur einen zweifelhaften Fall zu erwähnen, dürfte den Längstheilungen der Zellen in den jungen Procambiumbündeln der

1) Vergl. KOLDERUP ROSENVINGE, Influence des agents extérieurs sur l'orginasation polaire et dorsiventrale des plantes (Revue générale de botanique, I, 1889 S. 53 ff).

2) Vergl. THURET, Recherches sur la fécondation des Fucacées (Ann. sc. nat. 4me série, t. 2), pl. 14, Fig. 17 und 18.

3) l. c., S. 126.

4) Jahrb. f. wissensch. Botanik, III, Heft 2, 1862, S. 272). Vergl. auch HOFMEISTER, die Pflanzenzelle, 1867, S. 127—132, besonders S. 129.

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

Gefässpflanzen in vielen Fällen ein bevorzugtes Wachsthum in gleicher Richtung vorhergehen. Jedenfalls ist aber soviel sicher, dass der vorstehende HOFMEISTER'sche Satz sich mit den Erfahrungen im Grossen und Ganzen deckt. Jeder Pflanzenanatom wird in der Lage sein, den von HOFMEISTER dem Gebiete der embryonalen Gewebe entnommenen Beispielen andere eigener Beobachtung hinzuzufügen. So ist es z. B. augenscheinlich, dass mit der Anlegung und Erweiterung schizogener Intercellularräume das Auftreten von Theilungswänden senkrecht zu deren Oberfläche Hand in Hand geht. Wenn beim Dickenwachsthum der dicotylen Stämme (z. B. *Tilia*, *Liriodendron*) die Phloëmpartien der benachbarten Leitbündel sich an den äusseren Partien mehr und mehr entfernen, schieben in den in tangentialer Richtung sich streckenden Markstrahlzellen sich wiederholt Radialwände ein[1]).

Das Verhältniss von Ursache und Wirkung ist in solchen Fällen aber nicht ohne Weiteres klar. Gegenwärtig, wo man geneigt ist, bei allen wichtigen Processen des Zellenlebens dem Kerne eine regulirende Bedeutung beizumessen[2]), wird es Vielen als das Naturgemässeste erscheinen, im Kern den Anstoss sowohl für die Richtung des Zellwachsthums als der Zelltheilung zu suchen, diese beiden Processe also nur insoweit für aneinandergekettet zu halten, als sie von einer und derselben Ursache abhängig sind.

Meine Versuche zeigen, dass im vorliegenden Falle der Thatbestand dieser Deutung nicht günstig sein würde. Sie geben für das Pflanzenreich den ersten experimentellen Nachweis, dass es möglich ist, die Orientirung der Kernfigur und damit die der Theilungswand dadurch zu bestimmen, dass man durch Zug bezw. Druck dem vorhergehenden intensivsten Wachsthum eine bestimmte Richtung willkürlich aufnöthigt.

Im Thierreiche sind, wie ich nachträglich erfuhr, früher schon Versuche mit derselben Fragestellung ausgeführt worden. Mein verehrter Herr College ZUNTZ, dem ich von meinen Resultaten Mittheilung machte, wies mich auf eine Abhandlung von E. PFLÜGER[3]) hin. Der genannte Forscher versuchte mit Erfolg den Eiern von Batrachiern durch Abplattung zwischen zwei Glasplatten eine Theilung senkrecht zu ihrer Oberfläche vorzuschreiben. Nach ihm „ergiebt sich

1) Vergleiche das Bild eines dreijährigen Zweig-Querschnittes von *Tilia parvifolia* in meinen „Botanischen Wandtafeln" Liefg. II, Taf. 15 und MARTIN KÖPPEN, Ueber das Verhalten der Rinde unserer Laubbäume während der Thätigkeit des Verdickungsringes (Nova Acta Ac. Leop.-Carol. Germ. Nat. Cur. Vol. LIII, Taf. XXI, Fig. 7).

2) G. HABERLANDT, Ueber die Beziehungen zwischen Function und Lage des Zellkernes bei den Pflanzen, Jena 1887, S. 98 ff.

3) Ueber die Einwirkung der Schwerkraft und andere Bedingungen auf die Richtung der Zelltheilung, 3. Abhandlung. (PFLÜGER's Archiv, 34, 1884, S. 607).

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

allgemein, dass die Zelltheilungen senkrecht oder nahezu senkrecht auf die Ebene der Platte, die karyokinetische Streckung ihr also parallel erfolgt. Da dies auch dann noch immer der Fall ist, wenn das normale Furchungsgesetz das Umgekehrte verlangt, so muss die Richtung des kleinsten Widerstandes, welcher sich der karyokinetischen Streckung entgegensetzt, das maassgebende Moment sein. Die Abweichungen vom normalen Furchungsgesetz, welche diese durch parallele Platten zur Scheibe gepressten Eier darbieten, sind entweder nothwendige Consequenzen dieses Princips, oder lassen sich doch, wie ich es versucht habe, durch ungezwungene Deutung der Thatsachen mit ihm in Einklang bringen[1]).“

An die PFLÜGER'schen Versuche knüpfen sich solche anderer Thierphysiologen an, deren Deutung indess nicht immer gleichsinnig erfolgte. Dieselben finden sich kurz besprochen in ROUX, Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen, II, 1895, S. 302—305. Vergl. besonders auch BRAEM, Ueber den Einfluss des Druckes auf die Zelltheilung und über die Bedeutung dieses Einflusses für die normale Eifurchung (Biologisches Centralblatt XIV, 1894, S. 340).

60. P. Magnus: Berichtigung zur Cintractia Seymouriana P. Magnus.

Eingegangen am 12. December 1896.

In diesem Jahrgange dieser Berichte habe ich S. 216—221 ausführlich eine auf *Panicum Crus galli* in Nordamerika aufgetretene Ustilaginee beschrieben, die ich als neue Art ansprechen zu müssen glaubte und *Cintractia Seymouriana* nannte. Ich werde jetzt darauf aufmerksam, dass S. M. TRACY und F. S. EARLE im Bulletin of the Torrey Botanical Club New-York, Vol. XXII, 1895, S. 175 eine *Ustilago Crus galli* n. sp. folgendermassen beschrieben haben: Involving the panicles and upper nodes, making the panicles abortive and forming pustules sometimes 1 *cm* in diameter at the nodes; spore masses powdery, black, at first covered by a gray membrane; spores oval or subglobose, fuscous, echinulate, 9—10 by 11—13 μ. On *Panicum Crus galli*, Salt Lake City,

1) l. c., S. 614.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: 14

Autor(en)/Author(s): Kny Leopold

Artikel/Article: Ueber den Einfluss von Zug und Druck auf die Richtung der Scheidewände in sich theilenden Pflanzenzellen. 378-391