Ueber das Wachsthum der Zellhaut bei Wurzelhaaren.

Von

E. Zacharias.

(Hierzu Tafel XVI und XVII).

In meiner Arbeit über Wachsthum und Bildung der Zellhaut [1]) habe ich für ein zur Untersuchung der betreffenden Vorgänge in der lebenden Zelle günstiges Object (Wurzelhaare von Chara) Anlage und Wachsthum von Verdickungsschichten der Zellwand geschildert.

Die Frage nach den Ursachen, welche die Entstehung der Verdickungsschichten bedingen, ist in der erwähnten Arbeit nicht berührt worden. In den Sommermonaten der beiden letzten Jahre angestellte Untersuchungen [2]) haben nunmehr gezeigt, dass die Uebertragung der mit Wurzelhaaren besetzten, aus den Charenpflanzen herausgeschnittenen Knoten aus den Culturgefässen in reines Leitungswasser die Veranlassung zur Entstehung der Verdickungsschichten bildete. Letztere entstanden auch dann, wenn vor der Uebertragung das Leitungswasser genau auf die Temperatur des Wassers der Culturgefässe gebracht worden war. Das Herausschneiden der mit Wurzelhaaren besetzten Knoten kann die Entstehung der Verdickungen nicht bedingen. Sie bleiben aus, wenn man herausgeschnittene Knoten im Culturgefäss belässt, und bilden sich andererseits auch dann, wenn man völlig unverletzte Charensprosse aus dem Culturgefäss in Leitungswasser übertragen hat. Einflüsse irgendwelcher Art, welche durch den Vorgang des Uebertragens selbst auf die Wurzelhaare ausgeübt werden, sind es auch nicht, welche die Entstehung der Verdickungen bewirken. Eine Uebertragung aus einem Culturgefäss in ein anderes gleichartiges, in welchem ebenso lange wie in ersterem unter denselben Bedingungen Charen cultivirt worden sind, ruft keine Verdickungen hervor. Ebensowenig sind mechanische Reizungen, Veränderungen der Lage der Wurzelhaare zur Richtung der Schwerkraft von Einfluss.

Die Culturgefässe erhielten ursprünglich reines Leitungswasser. Dieses muss, während die Charen in demselben verweilten, in irgend einer Weise verändert worden sein, und dann bewirkte die Uebertragung der Wurzelhaare aus diesem veränderten Leitungswasser, in welchem sie bisher

1) Pringsheim's Jahrbücher für wissensch. Bot. Band XX. Heft 2. 1889.

2) Vergl. E Zacharias, Ueber Bildung und Wachsthum der Zellhaut bei Chara foetida. Berichte der deutschen botan. Gesellsch. Bd. VIII. 1890.

Universitätsbibliothek Regensburg

urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0468-4

vegetirt hatten, in das reine, unveränderte die Entstehung der Verdickungsschichten.

Die genauere Schilderung einiger Versuche mag hier folgen. Dabei ist zu betonen, dass dieselben mit durchaus gesundem, in kräftigem Wachsthum begriffenen Materiale ausgeführt wurden. Ferner ist zu erwähnen, dass in denjenigen Fällen, für welche das Vorhandensein von Verdickungen angegeben wird, letztere sich häufig nur in einem Theile der Wurzelhaare des in Rede stehenden Knotens vorfinden.

1) Abends wurde ein mit Wurzelhaaren besetzter Charenspross aus einem Culturgefäss in ein anderes gleichartiges, eine Charencultur enthaltendes Gefäss übertragen. Am nächsten Morgen waren keine Verdickungen entstanden, bildeten sich aber sofort, als ein mit Wurzelhaaren besetzter Knoten aus dem Spross herausgeschnitten und auf einen mit reinem Leitungswasser bedeckten Objectträger gebracht worden war.

2) Knoten, welche aus Pflanzen derselben Cultur herausgeschnitten waren, wurden z. Th. in dieser belassen, z. Th. in Leitungswasser gebracht, dessen Temperatur derjenigen des Culturwassers gleich kam. Nach $^3/_4$ Stunden waren die Wurzelhaare an den im Culturwasser verbliebenen Knoten ohne eine Spur von Verdickungen, an den in Leitungswasser übertragenen hatten hingegen die Wurzelhaare Verdickungen erhalten.

3) Um zu prüfen, ob mechanische Reize etwa auf die Bildung der Verdickungen hinwirken könnten, wurden in den Culturgefässen belassene Haare einerseits mit einer glatten Nadel, andererseits mittelst der rauhen Internodien eines Charensprosses mehr oder minder lebhaft hin und her bewegt. Es entstanden keine Verdickungen.

4) Ein mit Wurzelhaaren besetzter Knoten wurde aus einem Spross herausgeschnitten und nun im Culturgefäss so gelagert, dass die Wurzelhaare in horizontale Lage kamen. Nach 4 Stunden hatten sich ihre Spitzen abwärts gekrümmt. Der Knoten gelangte nun in Leitungswasser auf einen Objecttrager. Verdickungen waren nicht zu erkennen, wurden aber schon nach einigen Minuten in Gestalt der früher von mir beschriebenen Stäbchenschichten [1]) in fast sämmtlichen Wurzelhaaren angelegt.

Wandverdickungen, welche den soeben behandelten an die Seite zu stellen sind, entstehen an den Spitzen der Wurzelhaare von Lepidium sativum, wenn in feuchter Luft erzogene Keimlinge in Leitungswasser gebracht werden [2]). Samen von Lepidium wurden angeklebt an die mit feuchtem Fliesspapier bekleideten Seitenwände einer sodann oben mit

---

1) Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. Pringsh. Jahrb. Bd. XX. Heft 2.

2) Das Auftreten von Wandverdickungen an Wurzelhaaren, nach dem Uebertragen von Keimlingen aus feuchter Luft in Wasser, ist schon von F. Schwarz erwähnt worden. (Die Wurzelhaare der Pflanzen. Tübinger Unters. Bd. I).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0469-3

einer Glasplatte verschlossenen Krystallisirschale, deren Boden mit Wasser bedeckt war. Es wurden dann die Keimlinge zu den im folgenden mitzutheilenden Untersuchungen meist in sehr jugendlichem Zustande verwendet[1]). An derartigen Keimlingen pflegen sämmtliche vorhandene Wurzelhaare ein vollkommen gesundes, kräftiges Aussehen zu zeigen.

Gelangen Keimlinge, welche sich in der Nähe des oberen Randes der Krystallisirschale entwickelt haben, in Leitungswasser, so platzen alsbald alle Wurzelhaare, oder doch die meisten, während nur wenige oder gar keine Haare zu platzen pflegen, wenn solche Keimlinge in Wasser eingelegt werden, die sich im unteren Theil der Schale dicht über der den Boden bedeckenden Wasserschicht entwickelt haben, ohne jedoch in diese einzutauchen. Auf Keimlinge der letzteren Art beziehen sich die folgenden Mittheilungen.

Einige Zeit nach dem Einbringen der Keimlinge in Leitungswasser bemerkt man an den Spitzen sämmtlicher oder doch einer grossen Zahl der Wurzelhaare Wandverdickungen, wie sie in Fig. 1, 2, 3 abgebildet sind. Dabei erfahren vielfach sämmtliche Haare eines Keimlings keine Gestaltsveränderung, während in anderen Fällen eine grössere oder geringere Zahl von Haaren an der Spitze Auftreibungen erhält (Fig. 4), welche weiter unten noch in Betracht gezogen werden sollen.

Diejenigen Wurzelhaare, welche ihre Membran am Scheitel nach dem Einbringen in Wasser verdicken, zeigen in den näher untersuchten Fällen schon unmittelbar nach dem Eintauchen in Wasser und vor dem Sichtbarwerden der Verdickung keine Verlängerung mehr. Beispielsweise mag das Verhalten eines solchen Haares hier näher geschildert werden: Ein junger Keimling gelangte auf den Objectträger in Wasser, welches, um die auftretende Verdickungsschicht besser kenntlich zu machen, mit etwas Congoroth gefärbt war. Ein bestimmtes Wurzelhaar wurde sodann mittelst Ocularmikrometer gemessen. Das Haar zeigte 10 Minuten nach der Messung noch keine Verdickung. Nach weiteren 20 Minuten liess sich eine Verdickung deutlich erkennen, während schon früher undeutliche Spuren wahrgenommen wurden. Nach weiteren 10 Minuten war die Verdickung merklich gewachsen. Während der 40 Minuten seit der ersten Messung fand weder eine Verlängerung noch eine Gestaltsveränderung sonstiger Art des Haares statt. Dass derartige Haare ihr Wachsthum dauernd einstellen können, zeigt das im Folgenden zu beschreibende Verhalten von Keimlingen, welche aus feuchter Luft auf ½ Stunde in mit Congoroth gefärbtes Wasser und darauf in reines Leitungswasser gebracht worden waren. Fig. 5 stellt die Wurzel eines solchen Keimlings nach mehrtägigem Verweilen im reinen Wasser dar. Die anfänglich aufwärts gerichtete

1) Ihre Länge vom Ansatz der Cotyledonen bis zur Wurzelspitze betrug etwa 1 cm.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0470-4

Spitze hat sich abwärts gekrümmt. Die Haare bei *a* besitzen schön roth gefärbte Membranen, einige sind mit Auftreibungen, alle mit Membranverdickungen am Scheitel versehen. Diese Haare müssen schon vorhanden gewesen sein, bevor die Keimlinge in das reine Leitungswasser gelangten[1]). Die am weitesten spitzenwärts gelegenen Haare der Gruppe bei *a* überragen kaum die Wurzeloberfläche, auf dieselben folgen nach rückwärts successive längere. Dieser Befund, zusammengehalten mit den Messungen, welche das Verhalten der Haare in der ersten Zeit nach dem Einbringen in Wasser feststellten, lässt schliessen, dass die Wurzelhaare, welche Membranverdickungen am Scheitel erhalten, ihr Längenwachsthum im Wasser dauernd einstellen können. (Plasmaströmung kann an derartigen Haaren oft noch mehrere Tage nach dem Einbringen in Wasser beobachtet werden).

Der Fig. 5 entsprechenden Zustände kann man auch dann erhalten, wenn man die Keimlinge direct in reines Leitungswasser einträgt.

Auch bei Chara wurde das Aufhören des Längenwachsthums an Wurzelhaaren beobachtet, deren Membran am Scheitel eine Verdickungsschicht erhält. Die Messung ganzer, mit dem Knoten in Verbindung stehender, lebender Wurzelhaare begegnet hier technischen Schwierigkeiten. Es wurden daher mit Wurzelhaaren besetzte Knoten aus der Cultur auf 20 Minuten in reines Leitungswasser eingelegt und darauf in das Culturgefäss zurückgebracht. Im Leitungswasser erhalten die Wurzelhaare Membranverdickungen am Scheitel und können dann, nach dem Zurückbringen in das Culturgefäss, eine Verlängerung unter gleichzeitiger Sprengung äusserer Membranschichten am Scheitel erfahren. Es kann auch anstatt einer derartigen Verlängerung des Haares am Scheitel, etwas rückwärts von diesem, ein Seitenast gebildet werden, welcher aus einer Sprengstelle in den äusseren Membranschichten hervorwächst. Die Länge solcher Seitenäste lässt sich nun, da die Sprengstellen an der Basis der Aeste gute Marken darstellen, mittelst des Ocularmikrometers bequem messen. Ein derartiger Seitenast besass z. B., als ein mit Wurzelhaaren besetzter Knoten 14½ Stunden nach der Rückübertragung in das Culturgefäss in Leitungswasser abgespült und sodann auf einen mit Leitungswasser bedeckten Objectträger gebracht worden war, eine Länge von 32 Scalentheilen. (Die Zeit, welche zwischen dem Herausheben aus der Cultur und der Vollendung der Messung verstrich, betrug 4 Minuten). 11 Minuten nach dem Einbringen in Leitungswasser konnte die Anlage einer Verdickungsschicht noch nicht erkannt werden. Als nach 7 Stunden der Ast wieder gemessen wurde, hatte sich seine Länge nicht verändert,

1) In der Nähe der weiterwachsenden, sich abwärts krümmenden Wurzelspitze haben sich, während der Keimling im reinen Wasser lag, weitere Haare entwickelt. Auf diese werde ich am Schluss der Arbeit zurückkommen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0471-0

ebensowenig war eine Auftreibung oder irgendwelche sonstige Gestaltsveränderung erfolgt. Hingegen war eine scharf gegen die Primärmembran abgegrenzte Verdickungsschicht entstanden, welche sich vom Scheitel nach rückwärts über 2,5 Scalentheile erstreckte.

Der Ast besass ein gesundes Aussehen und zeigte lebhafte Protoplasmaströmung.

Nach Zusatz von Chlorzinkjod färbte sich die Primärmembran braun, während sich von ihr die blau gefärbte Verdickungsschicht streckenweis lostrennte. Zwischen dieser und der Primärmembran befand sich etwas rückwärts vom Scheitel des Haares eine braune, körnige Schicht, welche sich unmittelbar am Scheitel nicht erkennen liess.

Das Vorhandensein von Membranverdickungen an der Spitze lebender Wurzelhaare von Lepidium kann schon kurze Zeit nach dem Einbringen der Keimlinge in Wasser erkannt werden. In einem Falle wurde an einem lebend constant beobachteten Haare nach Verlauf von 20 Minuten das Vorhandensein einer Verdickung wahrgenommen.

In welcher Art und Weise die Verdickungsschicht angelegt wird, lässt sich an Keimlingen, welche in reinem Leitungswasser liegen, nicht erkennen. Etwas besser gelingt das, wenn dem Wasser Congoroth beigemischt worden ist. Die Membran der Wurzelhaare nimmt dann sehr rasch eine deutliche Färbung an, während das lebende Protoplasma ungefärbt bleibt. Namentlich färbt sich etwa 10 Minuten nach dem Einbringen der Keimlinge in das gefärbte Wasser, oder schon früher, die Membran an der Spitze des Haares intensiver als weiter gegen die Basis hin. Bringt man nunmehr durch Zusatz von Zuckerlösung das Plasma zur Contraction, so lässt sich das Vorhandensein einer tief roth gefärbten Verdickungsschicht am Scheitel des Haares erkennen, welche sich scharf gegen die Primärmembran abgrenzt. Letztere erscheint im optischen Durchschnitt farblos. Die Verdickungsschicht ist von nicht homogenem Aussehen, innen nicht glatt contourirt, sie erinnert sehr an das Aussehen junger Verdickungsschichten von Chara[1]), doch ist ein deutlicher Stäbchenbau, wie dort, nicht wahrzunehmen, ein Umstand, der mit der geringeren Grösse der Wurzelhaare von Lepidium zusammenhängen kann (vergl. Fig. 6, welche ein Wurzelhaar von Lepidium darstellt, dessen Plasma durch Zuckerlösung zur Contraction gebracht worden war, nachdem das Haar ¼ Stunde in Congoroth-Wasser gelegen hatte). Bei andauernder Beobachtung von Keimlingen, welche in Congoroth-Wasser liegen, zeigt sich die Verdickungsschicht, sobald man sie zu erkennen vermag, als scharf gegen die Primärmembran abgegrenzte, rothe, körnige, innen zackige

1) Verdickungsschichten ähnlicher Art sind von Kohl für Haare von Lagenaria vulgaris und Cajophora lateritia beschrieben worden. (Wachsthum und Eiweissgehalt vegetabilischer Zellhäute. Botan. Centralblatt 1889. No. 1).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0472-5

Schicht. Fig. 7 zeigt eine ältere mit Congoroth gefärbte Verdickung. Wurzelhaare mit starken Verdickungsschichten, welche kurze Zeit mit Congoroth-Wasser behandelt worden waren und nach dem Auswaschen desselben in reinem Wasser untersucht wurden, zeigten die Primärmembran gefärbt, die Verdickungsschicht hingegen farblos. An der Innengrenze der Primärmembran war eine sehr schmale, feinkörnige Schicht wahrzunehmen. Besonders scharf tritt die Abgrenzung der Primärmembran gegen die Verdickungsschicht hervor, wenn man mit Congoroth behandelte Wurzelhaare in ein Gemisch von Pikrinsäure und Nigrosin [1]) bringt, desgleichen nach der Behandlungen von Verdickungen, welche sich in reinem Leitungswasser gebildet haben, mit stark verdünnter Schwefelsäure (1 volumen reine concentr. Schwefelsäure des Handels auf 100 volumina Wasser). Die Wurzelhaare wurden in der Säure unter Deckglas kurze Zeit gelinde erwärmt und dann nach 24stündigem Verweilen in der Säure darin untersucht. Die Verdickungsschichten waren nun sehr blass geworden und hatten ein stark gequollenes Aussehen angenommen (Fig. 8), während sich im übrigen an den Membranen keine Anzeichen von Quellung bemerkbar machten. Die Primärmembran verlief continuirlich, scharf doppelt conturirt über den Scheitel des Haares. Auf Zusatz von Chlorzinkjod färbten sich die Wandungen blau, die Primärmembran anscheinend heller als die Verdickungsschicht. Wirkt Chlorzinkjod auf lebende Haare ein, so wird ebenfalls die Abgrenzung der Verdickungsschicht gegen die Primärmembran deutlich. Es erfolgt eine Quellung der Verdickungsschicht wie in den Wurzelhaaren von Chara, ohne dass jedoch wie dort bei jungen in der Bildung begriffenen Verdickungsschichten eine Ablösung der letzteren von der Primärmembran festgestellt werden kann. Plasmaeinschlüsse zwischen der Primärmembran und der Verdickungsschicht, wie sie bei Chara sehr häufig vorkommen, habe ich bei Lepidium nur in einzelnen Fällen beobachtet. In Fig. 9 ist ein Wurzelhaar mit stärkerer Verdickung nach Behandlung mit Chlorzinkjod abgebildet worden. Die Verdickungsmasse war innen von tief blauer Farbe, welche nach aussen hin in hellere Töne überging. Auch nach der Behandlung lebender Wurzelhaare mit Congoroth konnte mehrfach beobachtet werden, dass der an das Zelllumen angrenzende Theil der Verdickung sich anders verhielt als die äusseren Theile derselben. Ersterer erschien farblos, mehr oder weniger deutlich doppelt conturirt, letztere hingegen zeigten sich gefärbt.

Aus obigem ergiebt sich, dass die Verdickungsschichten von Lepidium wie diejenigen von Chara [2]) als Neubildungen aufzufassen sind, welche

---

1) Vergl. E. Pfitzer: Ueber ein Härtung und Färbung vereinigendes Verfahren für die Untersuchung des plasmatischen Zellleibs. (Berichte der Deutschen Botan. Gesellsch. Bd. I, p. 44, 1883).

2) Vergl. E. Zacharias, Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. l. c.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0473-1

sich der vorhandenen Membran innen anlagern. Haberlandt[1]) hat für verschiedene Angiospermen nachgewiesen, dass die Wurzelhaare sich lediglich durch Spitzenwachsthum verlängern. Es ist anzunehmen, dass unter normalen Verhältnissen bei Lepidium Flächenwachsthum der Membran nur am Scheitel des Wurzelhaares stattfindet. Die weiter rückwärts gelegenen Theile der Membran des Haares erfahren anscheinend auch kein Dickenwachsthum, so dass die Ablagerung von Cellulose sich wahrscheinlich auf die Spitze des Haares beschränkt. Nach dem Uebertragen des Haares aus Luft in Leitungswasser hört in vielen Fällen das Flächenwachsthum der vorhandenen Membran auf, das Haar verlängert sich weder, noch verändert es im übrigen seine Gestalt. Die Bildung von Cellulose wird aber fortgesetzt und es entsteht die Verdickungsschicht, welche meist nur am Scheitel des Haares auftritt. Diejenigen Stoffe, welche unter normalen Verhältnissen für das mit Flächenvergrösserung verbundene Wachsthum der Membran am Scheitel des Wurzelhaares verwendet werden, werden auch jetzt am Scheitel des Haares, jedoch für den Aufbau einer in die Dicke wachsenden Neubildung verwendet. Der Umstand, dass sich auch bei Chara die Verdickungsschicht meist auf den Scheitel des Haares beschränkt, spricht dafür, dass auch hier unter normalen Verhältnissen streng localisirtes Spitzenwachsthum der Wurzelhaare besteht.

Versuchen wir es nun, den Verhältnissen näher zu treten, welche das Aufhören des Flächenwachsthums der Membran und die Bildung der Verdickungsschichten bedingen. Bei Chara wird beides zunächst veranlasst durch die Uebertragung aus dem Culturwasser in reines Leitungswasser, bei Lepidium durch die Uebertragung aus feuchter Luft in Wasser. Ebenso wenig wie bei Chara kommen hier etwaige Temperaturdifferenzen der verschiedenen Medien in Betracht. Die Verdickungen blieben nicht aus als Lepidium-Keimlinge aus feuchter Luft in Wasser gebracht wurden, welches dieselbe Temperatur hatte wie die Luft, in welcher die Keimlinge sich entwickelt hatten[2]).

Das Auftreten von Membranverdickungen am Scheitel der Wurzelhaare von Lepidium sativum hat nach Cultur in Zuckerlösungen schon Wortmann[3]) beschrieben. Die Verdickung kommt bei der Cultur in Zuckerlösungen nach Wortmann (S.-A. p. 18) dadurch zu Stande, »dass ein grosser Theil der in der Zelle vorhandenen Turgorkraft inactiv bleibt, während nur ein verhältnissmässig geringer Theil zur Geltung kommen

1) Ueber die Beziehungen zwischen Function und Lage des Zellkerns bei den Pflanzen. Jena 1887. p. 54.

2) Beiläufig mag hier erwähnt werden, dass auch in Wasser von höherer Temperatur (28—30° C.) die Wurzelhaare von Lepidium starke Membranverdickungen am Scheitel erhalten können.

3) Beiträge zur Physiologie des Wachsthums. Botan. Ztg. 1889.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0474-7

kann. Die Folge davon ist dann eine nur geringe Dehnung der Membran, und da die Ergiebigkeit der Membranbildung in der Zuckerlösung zum mindesten nicht geschwächt wurde, so kommt es mit Nothwändigkeit zu Verdickungen am Scheitel der Zelle«. Wortmann (S.-A. p. 25) ist der Meinung, »dass durch continuirliche Membranbildung von seiten des Protoplasmas die vorhandene Zellwand fortdauernd an Dicke zunimmt, und dass es ganz von der Grösse der wirkenden Turgorkraft abhängt, ob und in welchem Maasse eine Dehnung und damit ein Flächenwachsthum der Membran stattfindet. Das Flächenwachsthum stellt demnach nichts anderes vor als ein einfaches plastisches Ausdehnen der sich immer stärker ausbildenden Membran unter dem Einflusse des Turgordruckes. Ist dieser gross genug, um eine Dehnung der Membran zu bewirken, so erfolgt Flächenwachsthum, ist er zu gering oder wird durch stärkere Membranbildung die Dehnbarkeit bei gleichbleibendem Turgordruck genügend herabgesetzt, so wird das Flächenwachsthum sistirt, in demselben Maasse aber tritt nun die Verdickung der Membran in die Erscheinung«.

Wortmann geht bei seiner Erklärung der Entstehung der Verdickungen bei Lepidium von einer Auffassung des Membranwachsthums aus, welche im Wesentlichen mit der von Strasburger[1]), Noll[2]) und anderen vertretenen übereinstimmt; einer Auffassung, der man übrigens auch schon bei Schacht[3]) begegnet. Nach Schacht entsteht »vermittelst Zellstoffabscheidung die primäre Zellwand, und durch eine Wiederholung desselben Vorganges bilden sich auch die Verdickungsschichten«. Wenn sich der ganze Zellinhalt vergrössert, muss ihm die Membran, wenn sie hierzu überhaupt im Stande ist, folgen. Dabei muss sie dünner werden, wenn sie nicht gleichzeitig entsprechend verdickt wird. Die Annahme eines Zellenwachsthums durch Intussusception wird von Schacht als durch nichts begründet abgewiesen. Schacht beschränkt sich also keineswegs, wie Noll (l. c. p. 103) angiebt, auf den kurzen Hinweis »Mit dem Grösserwerden der Zelle selbst ist natürlich auch ein Wachsthum ihrer Membran verbunden, dieselbe wächst mit der Zelle wahrscheinlich durch Ausdehnung«. Dippel[4]) schliesst sich den Anschauungen Schachts an.

Dass so einfache Beziehungen zwischen Turgor- und Membranwachsthum, wie sie namentlich von Wortmann angenommen werden, nicht bestehen, dass wir überhaupt »von einer Erkenntniss der Wachsthums-

1) Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882. Später hat Strasburger allerdings eine Modificirung seiner Ansichten eintreten lassen. (Ueber das Wachsthum vegetabilischer Zellhäute. Histologische Beiträge. Heft I. 1889. Vergl. mein Referat Botan. Ztg. 1889, Sp. 379.

2) Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembran. Würzburg 1887.

3) Lehrbuch der Anat. u. Physiol. d. Gewächse. I. p. 92, 93. 1856.

4) Beiträge zur vegetabilischen Zellenbildung. Leipzig 1858. p. 20, 21.

Universitätsbibliothek Regensburg urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0475-3

ursachen noch sehr weit entfernt sind«, wird von Klebs[1]) hervorgehoben. Klebs betrachtet den Turgor unter normalen Verhältnissen als nothwendig für das Zustandekommen des Wachsthums, aber »der Turgor ist keine Ursache des Wachsthums, sie liegt vorzugsweise in dem Protoplasma. Er ist nur eine Bedingung zum Zustandekommen desselben, ebenso wie Nahrungszufuhr, Sauerstoff, Temperatur«.

Neuerdings hat Askenasy[2]) ausgeführt, dass die Lehre, welche das Flächenwachsthum der Zellmembran als eine Wirkung des Turgors hinstellt, ihre allgemeine Verbreitung hauptsächlich dem Umstande zu verdanken hat, dass sie anscheinend sehr einfach ist. Ihre Einfachheit spricht jedoch nach Askenasy eher gegen ihre Richtigkeit als für dieselbe, da die ihrer inneren Natur nach so verwickelten Lebensvorgänge sich gewöhnlich nicht auf so einfache Weise erklären lassen. In klarer, übersichtlicher Weise stellt sodann Askenasy die Einwände zusammen, welche sich auf Grund seiner eigenen und fremder Beobachtungen gegen die Turgortheorie erheben lassen. Namentlich sind es Beobachtungen und Erwägungen von Nägeli, Pfeffer, Krabbe, Zimmermann[3]), Klebs, welche Askenasy berücksichtigt. Er selbst konnte feststellen, »dass die Verkürzung von Maiswurzeln, welche bei Aufhebung des Turgors stattfindet, den gleichen Werth hat, mag sie nun bei Temperaturen erfolgen, die ein lebhaftes Wachsthum der Wurzeln veranlassen, oder bei solchen, wo die Wurzeln nicht oder nur unbedeutend in die Länge wachsen«. Entsprechende Resultate erhielt Godlewski[4]). Er fand, dass die Turgorausdehnung und die Dehnbarkeit der Zellhäute bei den Pflanzen, welche bei einer sehr niedrigen Temperatur ausserordentlich langsam wachsen, keine wesentlich anderen sind als bei denjenigen, welche bei einer viel höheren Temperatur sich in energischem Wachsthum befinden. Ferner fand Godlewski bei einer vergleichenden Untersuchung etiolirter und nicht etiolirter Pflanzen, dass in derjenigen Strecke des Epicotyls, in welcher der Unterschied in der Wachsthumsgeschwindigkeit zwischen etiolirten und nicht etiolirten Pflanzen am grössten ist, Unterschiede hinsichtlich der Turgorausdehnung, sowie der Dehnbarkeit, sich

---

1) Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle. Tübinger Untersuchungen p. 529.

2) Ueber einige Beziehungen zwischen Wachsthum und Temperatur. Berichte der Deutschen Botan. Gesellsch. VIII. Jahrg. Heft 3. 1890.

3) Vergl. auch die treffenden kritischen Erörterungen dieses Autors in seinem jüngst publicirten Aufsatz über die mechanischen Erklärungsversuche der Gestalt und Anordnung der Zellmembranen. (Beitr. z. Morphol. u. Physiol. d. Pflanzenzelle. Heft II. Tübingen 1891).

4) Ueber die Beeinflussung des Wachsthums der Pflanzen durch äussere Factoren. (Anzeiger der Academie der Wissenschaften in Krakau. 1890. p. 166.

Die Art und Weise der Wachsthum retardirenden Lichtwirkung und die Wachsthumstheorien. (Ebenda p. 286).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0476-9

nicht nachweisen lassen. Mit diesen Thatsachen ist nach G. die namentlich von Wortmann entwickelte »Dehnungstheorie« unvereinbar.

Nach Wortmann sollen die an Wurzelhaaren von Lepidium sativum von ihm beobachteten Erscheinungen einen klaren Einblick in die Vorgänge des Membranwachsthums gewähren, sie sollen sich auf Grundlage seiner theoretischen Anschauungen in durchaus befriedigender Weise erklären lassen. Bei eingehenderer Untersuchung und Erwägung der Sachlage zeigt es sich jedoch, dass es sich hier um Vorgänge handelt, welche sich einer befriedigenden Erklärung auf Grundlage unserer gegenwärtigen Kenntnisse entziehen.

Berücksichtigen wir zunächst die Membranverdickungen, welche an den Wurzelhaaren von Chara nach der Uebertragung aus den Culturgefässen in reines Leitungswasser auftreten. Wollte man annehmen, dass hier eine Herabsetzung des Turgors [1]) oder der Dehnbarkeit der vorhandenen Membran erfolgt, so würde sich dadurch wohl das Aufhören des Flächenwachsthums der Wurzelhaare an und für sich vom Wortmann'schen Standpunkt aus erklären lassen, nicht aber das Auftreten der Membranverdickung unter den hier beobachteten Erscheinungen. Diese Erscheinungen, welche schon früher von mir [2]) beschrieben worden sind, sollen insoweit das für die hier behandelten Fragen von Interesse ist auf Grundlage weiterer Untersuchungen im Folgenden ausführlicher behandelt werden, als das in meiner früheren Arbeit geschehen ist.

Betrachtet man die Spitzen der Wurzelhaare unmittelbar nach ihrer Uebertragung aus dem Culturwasser in Leitungswasser auf einen Objectträger, so beobachtet man in den äussersten Spitzen relativ homogenes Plasma ohne gröbere Einlagerungen. Dort, wo dieses dem an gröberen Einlagerungen reicheren Plasma der von der Spitze weiter entfernten Theile des Wurzelhaares angrenzt, bilden die glänzenden Körper [3]) eine compacte Ansammlung. Fig. 10 zeigt diesen Zustand der Wurzelhaar-Spitze nach der Fixirung durch Osmiumsäure. Das homogenere Plasma erscheint heller als das an gröberen Einlagerungen reichere.

---

1) Vgl. die Bemerkungen von Klebs über die Beeinflussung des Turgors durch »alle möglichen äusseren Einflüsse«. (Ueber die Vermehrung von Hydrodictyon utriculatum. Flora 1890. Heft 5. p. 364.)

2) Ueber Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. l. c.

3) Vgl. l. c. p. 108. Weitere Angaben über die Beschaffenheit des Plasma der Wurzelhaare finden sich in meiner Arbeit über Kern- und Zelltheilung (Bot. Ztg. 1888). Diesen Angaben mögen hier noch die folgenden hinzugefügt werden: Nach Einwirkung von Chlorzinkjod auf lebende Wurzelhaare wurde mehrfach im Wandbeleg des Zellsaftraumes die Trennung eines äusseren fein granulirten Theiles des Protoplasma von einem inneren grobkörnigen beobachtet. Der äussere Theil des Wandbeleges hatte sich weniger von der Zellwand zurückgezogen als der innere und hatte sich von letzterem streckenweise vollständig getrennt. Bei dem Eintragen lebender Wurzelhaare in Pikrinsäure kommt es vor, dass sie an der Spitze platzen

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0477-4

Für zahlreiche zur Beobachtung gelangte Fälle konnte festgestellt werden, dass in denjenigen Wurzelhaaren, in deren Spitze nach dem Uebertragen in Leitungswasser eine Stäbchenverdickung [1]) angelegt wird, die Glanzkörper, welche unmittelbar nach dem Eintragen der Haare in Leitungswasser nur geringfügige Hin- und Herbewegungen zeigen, letztere alsbald erheblich beschleunigen. Die Glanzkörper rücken sodann, indem sie sich lebhaft hin und her schieben und dabei ihre bisherige Anordnung zu einem compacten Haufen aufgeben, zum Theil bis in die äusserste Spitze des Wurzelhaares vor. Später, nachdem die Verdickung sichtbar geworden ist, ziehen sie sich wieder mehr aus der Spitze des Haares zurück, ohne sich jedoch wieder zu einer dichten Ansammlung zu vereinigen. Fig. 15 giebt diesen Zustand nach der Fixirung durch Pikrinsäure wieder. Die Spitze des Wurzelhaares ist hier von ganz fein gerüstartig erscheinendem Plasma erfüllt, welches sich weiter rückwärts auf einen schmalen, das grobkörnige Plasma umgebenden Saum beschränkt. Gleichzeitig mit dem Einrücken der Glanzkörper in die äusserste Spitze der Wurzelhaare nimmt hier, wie in einigen Fällen durch directe Beobachtung festgestellt werden konnte, der Gehalt des Plasma an wimmelnden Körnchen in unmittelbarer Nähe der Membran erheblich zu.

Mehrfach zeigte es sich, dass in einzelnen Wurzelhaaren eines Knotens die Anordnung der Glanzkörper sich nach der Uebertragung in Leitungswasser nicht veränderte. In diesen Wurzelhaaren bildete sich dann keine Stäbchenverdickung, während in den übrigen Haaren des Knotens Umlagerung der Glanzkörper und Bildung der Stäbchenverdickung erfolgte.

---

und das centrale, grobkörnige Plasma der in der Spitze des Wurzelhaares befindlichen Ansammlung ganz oder theilweise ausgestossen wird, während das periphere Plasma an Ort und Stelle verbleibt (Fig. 14). Fig. 12 zeigt den Inhalt einer beim Eintragen in Pikrinsäure geplatzten Schlauchspitze. Das grobkörnige centrale Plasma war von dem umgebenden homogeneren abgetrennt worden und stand im Begriff durch einen Riss in letzterem auszutreten, als die Fixirung erfolgte. Auch Fig. 13 stellt den Inhalt einer in Pikrinsäure geplatzten Haarspitze dar. Es lässt sich hier eine äussere Plasmaschicht unterscheiden, welche nach aussen ganz glatt contourirt und auch nach innen deutlich begrenzt ist. Dieser membranartigen Schicht liegt innen homogeneres Plasma an, auf welches dann grobkörnigeres folgt. Die Hauptmasse des letzteren ist beim Platzen des Haares ausgestossen worden. Ein Theil des Wandbelegs von demselben Wurzelhaar, und zwar aus der rückwärts von der plasmaerfüllten Spitze befindlichen Region, ist in Fig. 14 abgebildet worden. Hier ist die äusserste, membranartige Plasmaschicht ungemein dünn und nach innen minder scharf abgesetzt als in Fig. 13. Nach innen folgt auf die membranartige Schicht eine breitere homogenen, darauf eine solche grobkörnigen Plasmas. (Vgl. zu dem Vorstehenden: Pfeffer, Zur Kenntniss der Plasmahaut und der Vacuolen etc. XVI. Band der Abhandl. d. mathem.-physischen Classe d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. No. II. Leipzig 1890. p. 246 u. a. a. O.)

1) Vgl. Zacharias, Entstehung u. Wachsthum d. Zellh. p. 110.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0478-0

In dem Verhalten des Plasma der Wurzelhaarspitze gegen Chlorzinkjodlösung besteht eine Verschiedenheit zwischen solchen Wurzelhaaren, welche unmittelbar aus der Cultur in Chlorzinkjod gelangen, und solchen, welche mit dem Reagens behandelt werden, nachdem sie in Leitungswasser übertragen worden und die Glanzkörper in die äusserste Spitze eingerückt sind. Die genauere Beschreibung zweier mit derselben Chlorzinkjodlösung angestellter Versuche mag hier beispielsweise folgen:

1) Zwei mit Wurzelhaaren besetzte Knoten gelangten direct aus der Cultur in die Chlorzinkjodlösung. Das Plasma der Haarspitze zog sich überall vollständig von der Membran zurück. (Bei früheren Versuchen [l. c. p. 117] blieb zuweilen etwas braune, körnige Substanz in dünner Schicht an der Membran haften.)

2) Ein mit Wurzelhaaren besetzter Knoten wurde in Leitungswasser abgespült und dann auf den Objectträger in Leitungswasser übertragen. In dem einen von zwei nebeneinander liegenden Wurzelhaaren rückten nun die Glanzkörper in die äusserste Spitze ein und wimmelten dort lebhaft umher, während gleichzeitig in dem andern die Glanzkörper in einiger Entfernung von der Spitze einen dichten Haufen bildeten, in welchem nur geringfügige Bewegung herrschte. Als nun Chlorzinkjod zugesetzt wurde, zog sich in der Spitze des letzteren Wurzelhaars das Plasma vollständig von der Membran zurück, während bei ersterem der sich contrahirende Plasmakörper der Membran in der Spitze des Haares dicht angeschmiegt verblieb und sich nur weiter rückwärts vom Haarscheitel von der Membran ablöste (Fig. 16).

Entsprechende Versuche wurden mit dem gleichen Ergebniss wiederholt angestellt. Die als Stäbchenschicht angelegte Verdickung erscheint von ihrem Sichtbarwerden an stets scharf gegen die Primärmembran abgegrenzt, und lässt sich in jugendlichem Zustande von letzterer durch Mittel, welche eine Contraction des Plasmakörpers bewirken, vollständig abtrennen [1]). Die Verdickungsschicht ist quellbarer als die Primärmembran. Häufig liegt die Verdickung der Primärmembran nicht überall unmittelbar an, sondern wird von ihr streckenweise durch Plasmaeinschlüsse getrennt.

In meiner Arbeit über Entstehung und Wachsthum der Zellhaut habe ich das Vorhandensein solcher Plasmaeinschlüsse als nicht wahrscheinlich bezeichnet. Ich glaubte die ganzen mit Chlorzinkjod sich bräunenden Schichten, welche in Wurzelhaaren mit verdickten Membranen häufig der Primärmembran innen unmittelbar anliegen und ihrerseits wieder von Schichten überlagert werden, welche Cellulosereactionen zeigen, für nachträglich veränderte Cellulose halten zu sollen. Gegen die Auffassung der braun werdenden Schichten als Plasmaeinschlüsse schien mir namentlich

1) Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. Taf. VIII Fig. 14, 15.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0479-8

der Umstand zu sprechen, dass die schon von Cellulose überlagerten derartigen Schichten in jugendlichen Verdickungen nicht so mächtig sind wie in älteren. Da ich nun nach abermaliger Untersuchung zahlreicher Anfangsstadien die Ueberzeugung gewonnen habe, dass hier zunächst Plasmaeinschlüsse vorliegen, so bin ich geneigt die grössere Mächtigkeit der braun werdenden Schichten älterer Verdickungen durch eine nachträgliche Umwandlung äusserer, an den Plasmaeinschluss angrenzender Theile der Verdickung zu erklären, welche ursprünglich aus reiner Cellulose bestanden. Nachweislich erleidet vielfach die Primärmembran eine derartige Umwandlung. Während sie sich vor dem Auftreten der Verdickung mit Chlorzinkjod blau färbt, nimmt sie nachher mit diesem Reagens meist eine braune Färbung an [1]).

Für das Vorhandensein von Plasmaeinschlüssen sprechen folgende Beobachtungen: Als wenige Minuten nach dem Einbringen von Wurzelhaaren in Leitungswasser Chlorzinkjod zugesetzt wurde, konnte an solchen Wurzelhaaren, deren Glanzkörper in die äusserste Spitze eingerückt waren, beobachtet werden, wie in der Scheitelkuppe des Haares eine Schicht relativ fein granulirten Plasmas an die Membran dicht angeschmiegt haften blieb, welche Schicht nach rückwärts continuirlich in das periphere, hier von den Seiten des Wurzelhaares zurückgezogene Plasma überging. Von der in der Scheitelkuppe des Haares an der Membran haftenden Schicht zog sich das an gröberen Einlagerungen reichere Plasma zurück und es entstand hier im Innern des Plasmakörpers ein im optischen Durchschnitt sichelförmiger Raum, welcher, abgesehen von einigen ihn durchsetzenden Strängen plasmafrei wurde. (Vgl. Entstehung und Wachsder Zellhaut Fig. 17. Hier fehlen jedoch die den sichelförmigen Raum durchsetzenden Plasmastränge. Die Plasmaschicht, welche sich der Membran in der Scheitelkuppe des Haares anschmiegt, ist in der Lithographie nicht mit genügender Deutlichkeit wiedergegeben worden. Namentlich lässt die Figur nicht deutlich genug erkennen, dass diese Plasmaschicht mit dem rückwärts befindlichen Plasma in Verbindung steht.) Ist die Verdickungsschicht soeben angelegt, so kommen nach Zusatz von Chlorzinkjod nicht selten Bilder wie in Fig. 17 zur Beobachtung. Die Figur stellt einen Theil der Scheitelkuppe eines Wurzelhaares dar. Der Primärmembran liegt bei *p* eine braune körnige Schicht an, von welcher sich

---

1) Vergl. Krabbe, Ein Beitrag zur Kenntniss der Structur und des Wachsthums vegetabilischer Zellhäute. Pringsh. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. XVIII. Heft 3. p. 418–420. Das Vorhandensein von Plasmaeinschlüssen zwischen auf einander folgenden Membranschichten wird auch von Kohl (Wachsthum und Eiweissgehalt vegetabilischer Zellhäute. Bot. Centralblatt 1889 No. 1), Haberlandt (Ueber Einkapselung des Protoplasmas mit Rücksicht auf die Function des Zellkerns. Sitzgsber. d. K. Akad. d. Wiss. Wien. Mathem.-Naturw. Cl. Bd. XCVIII. Abth. I. März 1889) und Anderen beschrieben.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0480-0

die hellblau gefärbte Verdickungsschicht *v* abgehoben hat. Von dieser hat sich das Plasma *pl* zurückgezogen. Bei *p'* scheint letzteres mit der braunen Schicht *p* in ununterbrochener Verbindung zu stehen. Die braune Schicht *p* unterscheidet sich in ihrem Aussehen in keiner Weise von dem Plasma *pl* und andererseits von den peripheren Plasmaschichten, welche auf Zusatz von Chlorzinkjod an der Membran in Wurzelhaarspitzen haften bleiben, die noch keine auf Cellulose reagirende Verdickungsschicht erhalten haben.

Die Gesammtheit der hier und a. a. O. hinsichtlich der Entstehung und Beschaffenheit der Verdickungsschichten in den Wurzelhaaren von Chara mitgetheilten Thatsachen lassen dieselben als Neubildungen im Sinne Krabbe's erscheinen [1]).

Ob der Turgor der Wurzelhaare nach der Uebertragung derselben in Leitungswasser abnimmt oder nicht, hat nicht festgestellt werden können wegen der erheblichen Turgordifferenzen, welche verschiedene Wurzelhaare schon unmittelbar nach ihrer Entnahme aus den Culturgefässen zeigen. Dafür, dass eine etwaige Herabsetzung des Turgors der Wurzelhaare die Entstehung der Verdickungen nicht veranlasst, spricht der Umstand, dass die Verdickungen auch dann sofort entstehen, wenn mit Wurzelhaaren besetzte Knoten in stark verdünnte Pikrinsäurelösung gebracht werden. Ein Theil der Wurzelhaare platzt sofort, während andere Verdickungen erhalten. Derartige Wurzelhaare waren noch nach 48stündigem Verweilen in der Pikrinsäurelösung am Leben und hatten dann sehr mächtige Verdickungsschichten gebildet. Auch nach dem Uebertragen von Wurzelhaaren in destillirtes Wasser entstehen Verdickungen [2]). Als beweisend können diese letzteren Thatsachen selbstverständlich nicht betrachtet werden, da sie auf verschiedene Weise erklärt werden können. Jedenfalls ist aber nicht einzusehen, wie lediglich durch eine Herabsetzung des vom Zellinhalt gegen die Zellwand ausgeübten Druckes die Entstehung einer Neubildung unter den geschilderten Erscheinungen bewirkt werden könnte. Entsprechende Erwägungen gelten hinsichtlich des Einflusses einer etwaigen Herabsetzung der Dehnbarkeit

1) Hinsichtlich des Unterschiedes zwischen einer Verdickung durch Neubildung und durch Apposition im engeren Sinne des Wortes vergl. Krabbe l. c. sowie mein Referat (Bot. Ztg. 1889 p. 379) über Strasburger's Schrift »Ueber das Wachsthum vegetabilischer Zellhäute«. Wenn Behrens neuerdings in seiner Arbeit »Zur Kenntniss einiger Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge in der vegetabilischen Zelle« (Bot. Ztg. 1890 p. 115) Krabbe gegenüber bemerkt, ein Grund für die Unterscheidung von Anlagerung ausgedehnter Lamellen und Apposition als Anlagerung kleinster Theilchen scheine ihm nicht vorhanden zu sein, beide unterschieden sich ja nur durch die Ausdehnung des Ablagerungsortes, so beweist er damit, dass er die Meinung Krabbe's nicht richtig aufgefasst hat.

2) Desgleichen nach dem Einbringen in Zuckerlösungen verschiedener Concentration.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0481-5

der im Moment der Uebertragung von Wurzelhaaren aus den Culturgefässen in Leitungswasser vorhandenen Membran auf die Entstehung der Verdickungen. Vom Standpunkte Wortmann's aus könnte man endlich noch für möglich halten, dass nach der Uebertragung der Wurzelhaare in Leitungswasser in Folge einer Einwirkung unbekannter Art auf den Zellinhalt die Cellulosebildung vermehrt, dadurch die Dehnbarkeit der Membran vermindert und auch bei gleichbleibendem Turgordruck das Flächenwachsthum der Membran sistirt wird. Dass thatsächlich die Cellulosebildung vermehrt wird, ist jedoch nicht nachgewiesen. Festgestellt ist lediglich, dass in Folge der Uebertragung der Wurzelhaare in Leitungswasser das Flächenwachsthum der Membran aufhört und dass diese Uebertragung in bestimmter Weise verändernd auf denjenigen Theil des Protoplasmas einwirkt, in welchem nach dem Eintreten der betreffenden Veränderungen die Anlage der Verdickungsschicht sichtbar wird. Auf Vermuthungen, welche man an diesen Thatbestand etwa anknüpfen könnte, soll hier nicht näher eingegangen werden.

Ob bei Lepidium in den weiter oben von mir geschilderten Fällen von Membranverdickung eine Herabsetzung des Turgors innerhalb der Zeit, in welcher die Verdickungen entstehen, eintritt oder nicht, das lässt sich auf Grund der angestellten plasmolytischen Untersuchungen nicht entscheiden. Bei den aus den Feuchtluft-Culturen entnommenen Keimlingen und ebenso bei solchen Keimlingen, deren Wurzelhaare nach der Uebertragung in Leitungswasser im Begriff sind Verdickungen zu bilden[1]), wird durch Rohrzuckerlösungen von 9 bis 10 % binnen 5 Minuten nach dem Einbringen in diese Lösungen meist Plasmolyse in den Wurzelhaaren bewirkt[2]). Da demnach die Keimlinge (und ebenso die Wurzelhaare des-

1) Es wurden Keimlinge unmittelbar nach dem Einbringen in Leitungswasser untersucht, und ferner, nachdem sie 10 Minuten, 1/4 Stunde, 20 Minuten und bis zu 5 Stunden im Wasser gelegen hatten. Die ersten Spuren der Plasmolyse sind meist an den Spitzen der Wurzelhaare zu erkennen.

2) Sowohl unter den untersuchten Feuchtluft-Keimlingen, als auch unter den in Leitungswasser übertragenen befanden sich je 2, bei welchen 10procentige Zuckerlösung überhaupt keine Plasmolyse bewirkte, oder dieselbe doch nur in wenigen Wurzelhaaren hervorbrachte. — Bei einem Keimling, welcher in feuchter Luft erzogen war und sodann 24 Stunden in horizontaler Lage in Leitungswasser verweilt hatte, war eine scharfe Abwärtskrümmung der Wurzelspitze eingetreten und an der Krümmungsstelle hatten sich junge Wurzelhaare von sehr kräftigem Aussehen gebildet. In diesen trat nach dem Einbringen in 10 % Zuckerlösung keine Plasmolyse ein, es entstanden vielmehr Auftreibungen an den Spitzen der Haare. In einigen Fällen platzte die Membran dieser Auftreibungen, worauf aus dem Riss kleine Plasmamengen hervortraten. Der Riss schloss sich dann aber sofort wieder und die Haare wuchsen weiter. Die Beschaffenheit des Verschlusses wurde nicht untersucht. Aehnliches ist jüngst von Palla (Beobachtungen über Zellhautbildung an des Zellkerns beraubten Protoplasten. Flora 1890 Heft 4 p. 319) an Pollenschläuchen von Hyacinthus orientalis beobachtet worden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0482-1

selben Keimlings) sich nicht gleichartig verhalten, die für das Eintreten der Plasmolyse nothwendige Concentration der Zuckerlösung vielmehr wie angegeben schwankt, so lassen diese Resultate der plasmolytischen Untersuchung immerhin die Annahme einer Herabsetzung des Turgors der Wurzelhaare nach dem Einbringen in Leitungswasser zu. Für wahrscheinlich kann jedoch eine solche Herabsetzung des Turgors vor der alsbald nach dem Einbringen des Keimlings in Leitungswasser beginnenden Bildung der Membranverdickung nicht gelten, wenn man bedenkt, dass eine Anzahl von Haaren nach dem Einbringen in Wasser platzt. Uebrigens kommen hier hinsichtlich der Entstehung der als Neubildung erkannten Verdickungsschicht und des Aufhörens des Flächenwachsthums dieselben Erwägungen in Betracht wie bei Chara.

Zur Stütze seiner Anschauungen über das Membranwachsthum hat Wortmann Gestaltsveränderungen[1]) (Anschwellungen etc.) herbeigezogen, welche an den Wurzelhaaren auftreten können. Die betreffenden Erscheinungen fordern jedoch die Erklärung keineswegs, welche sie durch Wortmann erfahren haben. Wortmann beobachtete zunächst, als er Wurzelhaare von Lepidium, welche in feuchter Luft entstanden waren, in Rohrzuckerlösung cultivirte, das rasche Entstehen kolbiger Anschwellungen und führt dasselbe auf eine erhebliche Drucksteigerung zurück, welche »offenbar« durch Aufnahme von Zucker zu Stande kommen soll. In vielen Fällen sah W. die Haare am aufgetriebenen Scheitel platzen. In den Haaren, welche nicht platzten, war nach W. die Membranproduction ergiebig genug, um das Platzen zu verhindern. Diese Erklärungen müssen als willkürliche bezeichnet werden. Namentlich ist gar nichts darüber bekannt, ob das Platzen oder Nichtplatzen der Haare hier von einer geringeren oder grösseren Membranproduction abhängt. Es können sowohl die Membranen als auch die Zellinhalte der betreffenden Haare verschieden sein. Uebrigens können die von Wortmann geschilderten Erscheinungen auch nach dem Uebertragen von Keimlingen aus feuchter Luft in Wasser beobachtet werden. Dann erhalten viele Keimlinge an allen Wurzelhaaren die oben geschilderten Membranverdickungen, ohne dass die Gestalt der Wurzelhaare sich verändert, während an anderen Keimlingen nur ein Theil der Haare dieses Verhalten zeigt, ein anderer Theil aber Auftreibungen erhält.

Wortmann beobachtete sodann in einem bestimmten Falle die Entstehung einer Verdickung der Membran am Scheitel der Auftreibung. Die Bildung dieser Verdickung »wird möglich gemacht dadurch, dass nach dem plötzlichen Entstehen der Auftreibung der Turgordruck, wie leicht einzusehen ist, hier einige Zeit geringer wird, demzufolge während dieser

1) Dieselben sind auch schon von F. Schwarz l. c. beschrieben worden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0483-7

Zeit in der Zelle nur geringe oder gar keine Dehnung herrscht«. Die Berechtigung dieser Erklärung ist anzuzweifeln. Ich erwähne nur, dass die Bildung von Verdickungen auch in solchen aus feuchter Luft in Wasser übertragenen Haaren von mir beobachtet wurde, an welchen vor der Entstehung der Verdickung durch Messung keine Verlängerung erkannt werden konnte, auch wurde keine Gestaltsveränderung (Auftreibung) wahrgenommen. Es wäre hier allerdings denkbar, dass in der kurzen Zeit, welche zwischen der Uebertragung des Keimlings in Leitungswasser auf den Objectträger und der Ausführung der Messung verstrich, eine rasche Verlängerung der gemessenen Haare erfolgt wäre. Uebrigens liessen sich noch sonstige Bedenken gegen Wortmann's Erklärung anführen.

An den mit Membranverdickungen am Scheitel versehenen, aufgetriebenen Wurzelhaaren beobachtete Wortmann ferner die Bildung von Ausstülpungen und Seitenästen unterhalb der Verdickung. Es soll hier eine Steigerung des Druckes und in Folge dessen die Dehnung der nicht verdickten Membranpartieen stattgefunden haben. Die von Wortmann beschriebene Art der Verzweigung konnte auch ich nicht selten an Haaren beobachten, welche aus feuchter Luft in Leitungswasser übertragen worden waren. Vielfach fand die Astbildung jedoch nicht an den dünneren Membranstellen statt, sondern sie erfolgte unter Sprengung der Primärmembran dort, wo sich die Verdickung befand, allerdings dort, wo letztere die geringste Mächtigkeit besass. Die Entstehung von Ausstülpungen an den mit Verdickungen versehenen Haaren kann man dadurch sehr befördern, dass man die Keimlinge, nachdem die Haare im Leitungswasser Verdickungen erhalten haben, wieder in feuchter Luft weitercultivirt. Hatte man dem Leitungswasser Congoroth zugesetzt, so sind die in feuchter Luft entstandenen Seitenäste farblos und die Stellen, an welchen Sprengungen der Primärmembran stattgefunden haben, markiren sich sehr scharf (vgl. Fig. 18, 19, 20, 21 und die Erklärung). Die Erklärungen, welche Wortmann für das weitere Verhalten der Seitenäste mittheilt, müssen wiederum als willkürliche bezeichnet werden.

Durch Einbringen von Wurzelhaaren, welche sich in feuchter Luft gebildet haben, in Wasser oder in mässig verdünnte Zucker- oder Salpeter-Lösungen (es handelte sich um Haare, in denen erst durch 12procentige Rohrzuckerlösungen Plasmolyse bewirkt wurde) wurde nach Wortmann die Turgordehnung stark erhöht. Diejenigen Haare, welche nicht platzten, erhielten durch geförderte Dehnung Auftreibungen am Scheitel. Nach der Entstehung dieser Auftreibungen konnte sich dann der Scheitel des Haares wieder zuspitzen. In Folge der Entstehung der blasigen Auftreibung musste nach W. der Turgordruck abnehmen und bei der dadurch hervorgerufenen geringeren Dehnung wurde die weitere Auftreibung verhindert. Wahrscheinlich sank die Turgorkraft allmählich und die Haare wuchsen nach einmaliger heftiger Auftreibung unter Bildung nor-

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0484-3

maler Gestalten weiter. Abgesehen davon, dass keinerlei Beobachtungen vorliegen, welche die vorstehende Erklärung Wortmann's unterstützen, ist nicht einzusehen, weshalb bei starkem Druck die Gestalt der Haarscheitel sich der Kugel mehr nähern soll als bei schwächerem. In bestimmten Fällen konnte ich bei continuirlicher Beobachtung unter Verwendung eines Ocularmikrometers feststellen, dass Wurzelhaare, welche aus feuchter Luft in Wasser übertragen worden waren, sich zunächst ohne irgendwelche Auftreibungen zu zeigen rasch nicht unbeträchtlich verlängerten, um dann zu platzen. Unmittelbar darauf trat eine Verkürzung um die während der Beobachtung erfolgte Verlängerung ein. Hier war bei einem Druck, welcher das Platzen des Haares herbeigeführt hatte, keine Spur einer Auftreibung entstanden. Ein Haar besass z. B. nach dem Einbringen in Wasser eine Länge von 15 Scalentheilen des Mikrometers. Nach 7 Minuten war eine Länge von 17 Scalentheilen erreicht, dann erfolgte Platzen und Verkürzung auf 15 Scalentheile. Der Scheitel wurde vor dem Platzen nicht aufgetrieben, sondern erfuhr im Gegentheil eine geringe Zuspitzung. Entsprechendes wurde auch in anderen Fällen beobachtet. Zwischen dem Einbringen in Wasser und dem Platzen verstrichen bis zu 14 Minuten.

Eschenhagen[1]) hat bei der Cultur von Pilzen in Lösungen verschiedener Concentration Formveränderungen der Zellen beobachtet, welche in der äusseren Erscheinung mit den soeben besprochenen Formveränderungen der Wurzelhaare von Lepidium im Wesentlichen übereinstimmen. Eschenhagen »geht jedoch über die Discussion der vorliegenden Phänomene hinweg, ohne zu berühren, ob und welche anderen Factoren als die von Wortmann angeführten in unserem speciellen Falle in Action treten«.

Ich konnte Endanschwellungen an den Wurzelhaaren von Chara verschiedentlich beobachten. Sie traten einerseits auf unter Verhältnissen, unter welchen sich an einem Theil der Wurzelhaare eines Knotens ohne gleichzeitige Gestaltsveränderung Stäbchenverdickungen (Verdickungen, welche in Form von Stäbchenschichten angelegt wurden) bildeten, andererseits an Haaren von Knoten, welche an keinem ihrer Wurzelhaare Membranverdickungen erhielten. Beispiele für das Auftreten der Anschwellungen unter verschiedenen Bedingungen mögen hier folgen:

1) An einem Knoten, der in Leitungswasser auf den Objectträger gelangte, wurde in verschiedenen Wurzelhaaren die Bildung von Stäbchenverdickungen unter den üblichen Erscheinungen beobachtet. In einem

1) Ueber den Einfluss von Lösungen verschiedener Concentration auf das Wachsthum von Schimmelpilzen. Stolp 1889. — Vergl. auch Oltmanns »Ueber die Bedeutung der Concentrationsänderungen des Meerwassers für das Leben der Algen. Sitzber. der K. preuss. Akad. d. Wiss. 19. Febr. 1891. S.-A. p. 4.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0485-8

Haare bildeten jedoch die Glanzkörper andauernd eine compacte Ansammlung in einiger Entfernung von der Spitze, im Plasma liessen sich hier keine Veränderungen erkennen. Eine halbe Stunde nach dem Einbringen in Leitungswasser war noch keine Spur einer Verdickung zu erkennen, hingegen hatte sich eine Anschwellung am Scheitel des Wurzelhaares gebildet.

2) Ein mit Wurzelhaaren besetzter Knoten gelangte aus dem Culturgefäss auf 1 bis 2 Minuten in Leitungswasser und darauf in das Culturgefäss zurück. Als derselbe nach 3½ Stunden untersucht wurde, waren an einigen Wurzelhaaren Endanschwellungen, Verdickungen aber nirgends zu erkennen.

3) Nach der Uebertragung von Knoten aus einem Culturgefäss in ein anderes, gleichzeitig mit Charen besetztes wurden Endanschwellungen an einem Theil der Wurzelhaare beobachtet. Verdickungen fehlten.

Weitere Untersuchungen werden eine befriedigende Erklärung dieser Erscheinungen anzubahnen haben.

Die in den Culturgefässen sich entwickelnden Wurzelhaare von Chara wachsen senkrecht abwärts. Bringt man dieselben innerhalb der Culturgefässe in eine zur Richtung der Schwerkraft geneigte Lage, so krümmt sich die Spitze der weiterwachsenden Wurzelhaare alsbald wieder nach abwärts, ohne dass dabei Aenderungen im Durchmesser der Haare oder in der Beschaffenheit der Membranen wahr zu nehmen sind. Anders verhalten sich solche Wurzelhaare, welche nach dem Uebertragen in Leitungswasser Membranverdickungen am Scheitel erhalten haben. Werden diese in horizontale Lage gebracht, so krümmen sie sich nicht in normaler Weise abwärts.

Die von der als Stäbchenschicht angelegten Verdickung überlagerte Primärmembran[1]) wächst überhaupt nicht weiter, kann jedoch an verschiedenen Stellen gesprengt werden, worauf sich die Verdickungsschicht aus der Sprengstelle hervorwölbt. Erfolgt die Sprengung der Primärmembran rückwärts vom Scheitel, so bildet sich ein Seitenast (Fig. 22, 23, 24, 25). Ein solcher kann übrigens auch rückwärts von der dickwandigen Membranstrecke auftreten[2]).

Die Sprengung der Primärmembran und die Hervorwölbung der Verdickungsschicht können schon nach längerem Verweilen der Wurzelhaare im Leitungswasser eintreten, werden jedoch wesentlich gefördert, wenn man die mit Wurzelhaaren besetzten Knoten, nachdem die Ver-

1) Vergl. p. 478 hinsichtlich der Veränderungen, welche die Primärmembran nach Bildung der Verdickungsschichten erfahren kann.

2) Vergl. Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. l. c. p. 112.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0486-4

dickungen angelegt sind, in die Culturgefässe zurückbringt, welchen sie entnommen worden sind.

Eine Reihe von Versuchen wurde in der Weise angestellt, dass die Wurzelhaare im Leitungswasser und (nach der Rückübertragung) im Culturgefäss genau dieselbe (horizontale) Lage erhielten, so dass stets dieselbe Seite der Wurzelhaare die Unterseite darstellte. Dann erfolgte in einer Reihe von Fällen die Bildung des Seitenastes ausschliesslich auf der Unterseite der Wurzelhaare des Knotens, während in anderen Fällen nur ein Theil der Wurzelhaare des Knotens den Seitenast auf der Unterseite, ein anderer Theil derselben hingegen auf der Oberseite erhielt. Dabei besass entweder die grössere Zahl der Wurzelhaare Auszweigungen auf der Unterseite (ein Knoten zeigte z. B. 10 Wurzelhaare mit Seitenästen auf der Unterseite und 2 mit solchen auf der Oberseite), oder aber die Auszweigungen auf der Oberseite bildeten die Mehrzahl. Das letztgeschilderte Verhalten wurde von mir an Knoten, welche im letzten Sommer untersucht wurden, wahrgenommen, während bei früheren Untersuchungen die ausschliessliche Bildung der Seitenäste auf der Unterseite der Wurzelhaare zu Tage trat[1]). Durch welche Verhältnisse die in Rede stehenden Verschiedenheiten bedingt wurden, hat nicht ermittelt werden können.

Dort, wo sich ein Seitenast bildet, entsteht häufig eine Anschwellung, welche jedoch auch fehlen kann (Fig. 26. 25).

Nicht immer kommt es an den mit Verdickungsschichten der Membran versehenenen Wurzelhaaren bei weiterer Cultur zur Bildung von Seitenästen. Es kann die Sprengung äusserer Membranschichten vielfach genau am Scheitel der Wurzelhaare erfolgen. Bevor die Sprengung eintritt, erhält dann das Wurzelhaar eine Endanschwellung, um nach der Sprengung unter Einhaltung des früheren Durchmessers weiterzuwachsen. Liegt das Wurzelhaar horizontal oder gegen die Richtung der Schwere unter verschiedenen Winkeln geneigt, so krümmt sich der aus der Sprengstelle hervorwachsende Theil desselben abwärts (Fig. 30). Zwischen diesem Verhalten und demjenigen der Bildung eines Seitenastes finden sich alle Uebergänge. Auch kommt es vor, dass Wurzelhaare mit Seitenästen und solche mit Sprengstellen unmittelbar am Scheitel am selben Knoten anzutreffen sind. Uebergangszustände sind in den Figuren 27, 28, 29 abgebildet worden. Fig. 29 stellt ein Wurzelhaar eines Knotens dar, welcher 3½ Minuten in Leitungswasser, darauf 2 Stunden in dem Culturgefäss gelegen hatte und sodann in gesättigte Pikrinsäurelösung gebracht worden war. Die Wurzelhaare hatten im Culturgefäss eine gegen die Richtung der Schwerkraft geneigte Lage erhalten, worauf an sämmtlichen Wurzelhaaren, der Figur

1) E. Zacharias, Ueber Bildung und Wachsthum der Zellhaut bei Chara foetida. Berichte der deutsch. Botan. Gesellsch. 1890. Bd. VIII. Generalversammlungsheft.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0487-0

entsprechend, die Sprengung der äusseren Membranschicht auf der Unterseite in der Nähe des Scheitels erfolgte.

Beschaffenheit und Entstehungsweise der Membranverdickungen bei den mit Anschwellungen am Scheitel versehenen Wurzelhaaren sind nicht näher untersucht worden [1]). Wie schon auf Seite 484 erwähnt wurde, kommen Endanschwellungen der Wurzelhaare auch ohne Membranverdickungen vor. Es kann sodann ein Weiterwachsen der betreffenden Wurzelhaare unter Einhaltung des rückwärts von der Anschwellung vorhandenen Durchmessers und ohne Sprengung äusserer Membranschichten stattfinden. Haben solche Wurzelhaare die Anschwellung erhalten, nachdem sie in horizontale Lage gebracht worden sind, so zeigt sich der Beginn der Abwärtskrümmung spitzenwärts von der Anschwellung, an dem mit normalem Durchmesser weiterwachsenden Theile. In einem Falle wurden Anschwellungen hinter der gekrümmten Strecke an einigen Wurzelhaaren eines Knotens beobachtet, welcher nach dem Herausschneiden aus dem Sprosse in dem Culturgefäss (ohne vorheriges Uebertragen in Leitungswasser) so angebracht worden war, dass die Wurzelhaare horizontal lagen. Wandverdickungen oder Sprengstellen liessen sich nicht erkennen.

Eine horizontale, oder unter verschiedenen Winkeln gegen die Richtung der Schwerkraft geneigte Lagerung der Wurzelhaare kann verändernd auf die Lage der Glanzkörper einwirken. Während diese in normal abwärts wachsenden Wurzelhaaren in einiger Entfernung vom Scheitel eine Ansammlung bilden, deren Abstand von den Seitenwandungen des Haares ringsum annähernd gleich ist, liegt in mehr oder weniger genau horizontal gelagerten Wurzelhaaren, welche im Begriff sind, sich abwärts zu krümmen, die Ansammlung der Glanzkörper in geringer Entfernung vom Scheitel des Haares, der Unterseite desselben derartig genähert, dass nur eine äusserst dünne Plasmaschicht sie von der Membran trennt (Fig. 31, 32). Bildet sich jedoch nach der Entstehung einer Verdickungsschicht ein Seitenast, so befindet sich die Ansammlung der Glanzkörper vom Beginn der Entstehung des Seitenastes an in der Spitze desselben, sowohl wenn er auf der Unterseite, als auch dann, wenn er auf der Oberseite des Wurzelhaares auftritt (Fig. 24, 29, 33, 34, 35). Die beschriebene Lagerung der Glanzkörper in Wurzelhaaren, welche in normaler Abwärtskrümmung begriffen sind, wird sofort gestört, wenn diese Wurzelhaare auf einen Objectträger in Leitungswasser gebracht werden. So konnte z. B. an zahlreichen Wurzelhaaren eines Knotens, welche in der Abwärtskrümmung begriffen waren, wenige Minuten nach dem Einbringen in Leitungswasser beobachtet werden, wie die zu einer compacten Ansammlung an der bisherigen Unterseite der Wurzelhaare vereinigten Glanzkörper sich gleichmässig im Plasma und zwar bis

1) Vergl. Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. l. c. p. 114.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0488-6

in die äusserste Spitze der Wurzelhaare vertheilten, worauf hier wenige Minuten später Anlagen von Verdickungsschichten der Membran sichtbar wurden. Da eine active Ortsveränderung der Glanzkörper nicht wahrscheinlich ist, so muss man auf Grund der vorstehenden (vgl. auch p. 476) Schilderungen annehmen, dass die beschriebenen Aenderungen in der Lagerung der Glanzkörper durch Veränderungen im Plasma der Wurzelhaare bedingt werden. Den Eindruck, dass die Lagenveränderungen durch Plasmabewegungen veranlasst werden, erhält man, namentlich wenn man die unregelmässigen Hin- und Herbewegungen beobachtet, unter welchen die Glanzkörper in den Scheitel der Wurzelhaare einrücken, bevor hier die Anlage einer Verdickungsschicht sichtbar wird. Die Annahme einer directen Einwirkung der Schwerkraft auf die fraglichen Ortsveränderungen der Glanzkörper wäre nur hinsichtlich der Annäherung derselben an die Unterseite des in normaler Abwärtskrümmung begriffenen Wurzelhaares möglich, indessen wird man bei gleichzeitiger Berücksichtigung der gesammten über die Ortsveränderungen der Glanzkörper mitgetheilten Beobachtungen wohl auch hier eine directe Einwirkung der Schwere nicht für wahrscheinlich halten können. —

Die Gesammtheit der bei der Entstehung der Seitenäste an den Wurzelhaaren von Chara zu Tage tretenden Erscheinungen ist nicht vereinbar mit den von Wortmann hinsichtlich des Membranwachsthums entwickelten Anschauungen.

Die Auszweigungen treten meist nicht dort auf, wo die Membran am dünnsten ist, sondern dort wo sich erhebliche Verdickungen gebildet haben. Und zwar können die Seitenäste an der abwärts gekehrten Seite horizontal gelagerter Wurzelhaare auch dann auftreten, wenn die betreffende Seite auch während der Bildung der Verdickung abwärts gekehrt war. An dieser Seite müsste sich dann aber, falls Wortmanns Ansichten über die Reizkrümmungen[1]) richtig sind, die Verdickung sogar am stärksten entwickelt haben.

Nach Wortmann sollen Auszweigungen an den dünnsten Stellen der Membran, durch Turgordehnung gebildet werden, das Plasma soll auf die Dehnbarkeit der Membran nur in so weit einwirken, als »die die

1) Zur Kenntniss der Reizbewegungen. Bot. Ztg. 1887. Werden an feuchter Luft erzogene Keimlinge von Lepidium in Leitungswasser gebracht, und erhalten dieselben hier eine derartige Lage, dass die Wurzelspitze aufwärts gerichtet ist, so treten in der Folge neue Wurzelhaare an der sich abwärts krümmenden Wurzel innerhalb der gekrümmten Strecke zunächst namentlich an der concaven, abwärts gekehrten Seite derselben auf. An der convexen Seite wurden an den untersuchten Keimlingen entweder garkeine oder sehr viel weniger und kürzere Haare gefunden als auf der concaven (Fig. 5, 40, 41). Hier zeigen also bestimmte Zellwände an der concaven Seite des gekrümmten Organes ein stark bevorzugtes Flächenwachsthum (vergl. hingegen Wortmann l. c.).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0489-4

Grösse der Dehnbarkeit bestimmende Membranproduction eine Thätigkeit des lebenden Plasma's ist«[1]). Mit Recht haben dem gegenüber Noll[2]), Askenasy (l. c.) und Godlewski (l. c.) betont, dass noch ein anderweitiger Einfluss des Protoplasma auf die wachsende Membran angenommen werden müsse. Dafür sprechen auch die von mir mitgetheilten Beobachtungen an Wurzelhaaren von Chara. Neuerdings hat Zimmermann (l. c. p. 177) die Intussusceptionstheorie in der von Sachs vertretenen Form nach eingehender Berücksichtigung des durch die neueren Untersuchungen beigebrachten Materiales (es wird auf die Arbeiten von Krabbe, Correns u. a. hingewiesen) für diejenige Anschauung über das Flächenwachsthum der Zellmembran erklärt, welche am besten allen beobachteten Erscheinungen gerecht wird. Einige Beobachtungen, welche ich an den Wurzelhaaren von Lepidium anstellen konnte, würden sich als weitere Stütze der Intussusceptionstheorie verwerthen lassen.

Belässt man in feuchter Luft erzogene Keimlinge 15 bis 30 Minuten in einer Lösung von Congoroth in Leitungswasser und cultivirt die Keimlinge darauf in feuchter Luft weiter, so erfolgt bei manchen Keimlingen ein Weiterwachsen der Wurzelhaare ohne dass es dabei zu Sprengungen äusserer Membranschichten kommt. Die neu hinzuwachsenden Theile der Membran erscheinen dann farblos. Nirgends lässt sich aber eine scharfe Abgrenzung des farblosen Theiles der Membran gegen den gefärbten erkennen, es zeigt sich vielmehr ein ganz allmählicher Uebergang (Fig. 36, 37, 38, 39. Vergl. die Figurenerklärung), durchaus entsprechend dem Verhalten, welches Noll[3]) von einer gefärbten, und darauf durch Intussusception wachsenden Membran verlangt. »Findet nämlich (sagt Noll) das Wachsthum einer gefärbten Membran durch Intussusception statt, so muss dieselbe in ihrem ganzen Umfange gefärbt bleiben; der Farbenton wird mit der Verdickung oder der Verlängerung nur blasser werden müssen, und zwar um so mehr an den Stellen, wo das stärkste Wachsthum sich einstellt. Ein Wachsthum durch Apposition muss sich ebenso unverkennbar durch Auflagerung völlig ungefärbter Schichten auf die gefärbten zu erkennen geben.«

Congoroth wurde schon von Noll versuchsweise bei seinen Untersuchungen über das Membranwachsthum von Caulerpa verwendet, jedoch als nicht brauchbar befunden, da sich die Pflanzen rasch wieder entfärbten. Diesem Uebelstand konnte ich an meinen Objecten dadurch begegnen, dass ich sie der Einwirkung des Lichtes entzog.

---

1) Ueber die Beziehungen der Reizbewegungen wachsender Organe zu deu normalen Wachsthumserscheinungen. Bot. Ztg. 1889.

2) Beitrag zur Kenntniss der physikalischen Vorgänge, welche den Reizkrümmungen zu Grunde liegen. (Arbeiten des Botan. Inst. in Würzburg. III.)

3) Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembran. p. 109.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0490-8

Es mag hier übrigens hervorgehoben werden, dass nach Noll's eigenem Ausspruch seine an Algen erhaltenen Resultate bezüglich des Membranwachsthums durch Apposition »nicht im geringsten zu einer Verallgemeinerung berechtigen«.

Ich halte es für wahrscheinlich, dass unter normalen Verhältnissen den Wurzelhaaren ein durch Intussusception vermitteltes Spitzenwachszukommt. In Folge einer Aenderung der Lebensbedingungen kann das Wachsthum der vorhandenen Membran aufhören, die Bildung vom Cellulose von Seiten des Protoplasma aber andauern. Es entsteht dann innerhalb der nicht mehr wachsenden Membran eine neue Membranschicht. Schon Klebs[1]) hat darauf hingewiesen, dass kleine Abweichungen und Veränderungen der äusseren Bedingungen den Stillstand des Wachsthums herbeiführen können. In welcher Weise aber diese Veränderungen die bei Wurzelhaaren beobachteten Erscheinungen herbeiführen, lässt sich auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht entscheiden. — In Betreff der normalen geotropischen Krümmungen hat Haberlandt[2]) nachgewiesen, dass die Wurzelhaare von Lunularia, bei welchen nur der calottenförmige Scheitel Längenwachsthum zeigt, ihre Abwärtskrümmungen in der Weise ausführen, »dass die fortwachsende Spitze unter dem Einfluss der Schwerkraft ihre Wachsthumsrichtung ändert«. »Die sich abwärts krümmende Partie des Rhizoids gehört stets dem durch sein Spitzenwachsthum neu hinzukommenden Theile desselben an«. Ich möchte auf Grund der Erfahrungen an Wurzelhaaren von Chara, wie schon erwähnt, vermuthen, dass auch diesen streng localisirtes Spitzenwachsthum zukommt, und halte es für möglich, dass die normalen Abwärtskrümmungen durch eine Förderung des Flächenwachsthums der abwärts gekehrten Seite des Wurzelhaar-Scheitels bewirkt werden. Hört das Wachsthum der am Scheitel vorhandenen Membran überhaupt auf, wie solches geschieht, wenn die Verdickungen nach der Uebertragung der Wurzelhaare in Leitungswasser angelegt werden, so bleibt auch die Krümmung aus. Diese wird erst ausgeführt von den Ausstülpungen, welche die Verdickungsschicht nach Sprengung der Primärmembran bildet. Die Entstehung dieser Ausstülpungen wird eingeleitet durch intensives Flächenwachsthum bestimmter Stellen der Verdickungsschicht. Möglicher Weise könnte das beobachtete Hinwandern der Glanzkörper an diese Stellen in irgendwelcher Beziehung stehen zu Veränderungen im Plasma, welche für das Flächenwachsthum der betreffenden Membranstellen von Bedeutung sind. Auch bei der Lagenänderung, welche die Glanzkörper zu Beginn der normalen Abwärtskrümmung erfahren, könnten möglicherweise derartige Beziehungen obwalten.

1) Ueber die Vermehrung von Hydrodictyon utriculatum Flora 1890. Hft. 5. p. 400.

2) Ueber das Längenwachsthum und den Geotropismus der Rhizoiden von Marchantia und Lunularia. Oesterreichische botan. Zeitschr. Jahrg. 1889. Nr. 3.

Universitätsbibliothek Regensburg urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0491-4

Figuren-Erklärung.

Die Figuren 5, 16, 24, 40, 41 sind Skizzen aus freier Hand. Die übrigen wurden unter Benutzung des Zeichenapparates nach Abbé entworfen, Fig. 30 mit Objectiv I; Fig. 11, 12, 26—29, 32—35 mit Objectiv III; Fig. 1, 3, 4, 10, 15, 22, 23, 25, 31, 39 mit Objectiv V; Fig. 2, 6—9, 13, 14, 17—21, 36—38 mit Objectiv $^1/_{12}$ (homogene Immersion); sämmtliche Figuren mit Ocular I von Seibert.

Fig. 1—4. Wurzelhaare von Lepidium sativum. Lebend. Siehe den Text.

Fig. 5. Wurzel eines Keimlings von Lepidium sativum. Lebend.

Fig. 6. Wurzelhaar von Lepidium. Membran durch Congoroth gefärbt, Plasma durch Zuckerlösung stark contrahirt.

Fig. 7. Wurzelhaar von Lepidium mit Congoroth gefärbt. Lebend.

Fig. 8. Wurzelhaare von Lepidium nach der Behandlung mit stark verdünnter Schwefelsaure.

Fig. 9. Wurzelhaar von Lepidium mit Chlorzinkjod behandelt.

Fig. 10. Wurzelhaar von Chara foetida nach der Fixirung durch Osmiumsäure.

Fig. 11. Wurzelhaar von Chara. Am Scheitel nach dem Eintragen in Pikrinsäure geplatzt.

Fig. 12, 13. Protoplasmatischer Inhalt der Spitzen nach dem Eintragen in Pikrinsäure geplatzter Wurzelhaare von Chara.

Fig. 14. Theil des protoplasmatischen Wandbelegs eines nach dem Eintragen in Pikrinsäure geplatzten Wurzelhaares von Chara.

Fig. 15. Wurzelhaar von Chara nach der Fixirung durch Pikrinsäure.

Fig. 16, 17. Wurzelhaare von Chara. Mit Chlorzinkjod behandelt.

Fig. 18—21. Wurzelhaare von Lepidium sativ.

Fig. 18. Wurzelhaar eines in feuchter Luft erzogenen Keimlings, welcher auf 25 Min. in Congoroth-Wasser gebracht, und darauf 10½ Stunden in feuchter Luft weiter cultivirt worden war. Lebend. Membran von der Spitze bis *rr* farblos, übrigens roth gefärbt mit Ausnahme des inneren Theiles der Verdickung bei *f*, der im optischen Durchschnitt farblos erscheint.

Fig. 19. Wurzelhaar eines in feuchter Luft erzogenen Keimlings, der nach der Uebertragung in Congoroth-Wasser in feuchter Luft weiter cultivirt worden war. Lebend. Membran von der Spitze bis *rr* farblos, übrigens roth. Der rothe ist gegen den farblosen Theil der Membran nicht scharf abgegrenzt. Die Schicht bei *b* erscheint heller als die äusseren Schichten der Membran. Möglicherweise sind nur die letzteren gefärbt.

Fig. 20. Wurzelhaar eines in feuchter Luft erzogenen Keimlings, der 5 Stunden in Leitungswasser und darauf 20 Stunden in feuchter Luft zugebracht hatte, nach der Behandlung mit Chlorzinkjod Membranen blau, mit Ausnahme der Verdickungen, welche nach Aussen hin einen allmählichen Uebergang des Farbentones von blau in braun zeigen.

Fig. 21. Wurzelhaar eines in feuchter Luft erzogenen Keimlings, der nach kurzem Eintauchen in Wasser 2 Stunden in feuchter Luft verweilt hatte, nach Behandlung mit Chlorzinkjod.

Die Fig. 18—20 lassen Sprengungen äusserer Membranschichten erkennen, Fig. 12 jedoch nicht. Vergl. den Text.

Fig. 22—35. Wurzelhaare von Chara.

Fig. 22. Wurzelhaar eines Knotens, welcher auf eine halbe Stunde in Leitungswasser, darauf für die Dauer von 20 Stunden in die Cultur zurück gelangte. Im

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0492-0

Leitungswasser lagen die Wurzelhaare schräg aufwärts, in der Cultur horizontal. Chlorzinkjod. Die Primärmembran ist heller, die Verdickung dunkler blau gefärbt. Am Scheitel und bei *b* finden sich braune, granulirte Massen, welche in ihrem Aussehen durchaus mit dem Protoplasma des Wurzelhaares übereinstimmen.

Fig. 23. Wurzelhaar eines Knotens, welcher etwa 40 Minuten in Congoroth-Wasser und darauf mehrere Tage unter Ausschluss des Lichtes in reinem Leitungswasser auf einem Objectträger verweilt hat. Die Ursache des Fehlens der rothen Färbung am Scheitel ist nicht ermittelt worden.

Fig. 24. Wurzelhaar eines Knotens, welcher 20 Minuten in Leitungswasser und darauf 16 Stunden im Culturgefäss gelegen hat, nach Fixirung in gesättigter Pikrinsäurelösung. *p* Umriss des contrahirten protoplasmatischen Inhaltes. Die Wurzelhaare lagen im Leitungswasser und im Culturgefäss horizontal, stets mit derselben Seite nach abwärts. Seitenäste bildeten sich nur auf der Unterseite.

Fig. 25. Wurzelhaar eines Knotens, welcher 10 Tage lang auf einem Objectträger in Leitungswasser cultivirt worden ist. Chlorzinkjod. Primärmembran vom Scheitel des Haares bis *br br* braun, im übrigen blau gefärbt. Bei *k* braune körnige Massen. Verdickungsschicht am Scheitel von der Primärmembran abgehoben, blau gefärbt, von gequollenem Aussehen.

Fig. 26, 27. Wurzelhaare eines Knotens, welcher nach einem Aufenthalt in Leitungswasser von 20 Minuten in das Culturgefäss zurückgebracht wurde. Lebend.

Fig. 28. Wurzelhaare eines Knotens, welcher nach kurzem Verweilen in Leitungswasser in das Culturgefäss zurückgebracht wurde. Lebend.

Fig. 29. Siehe den Text.

Fig. 30. Wurzelhaar eines Knotens, welcher 20 Minuten in Leitungswasser, darauf 20 Stunden im Culturgefäss gelegen hat. Lebend.

Fig. 31. Wurzelhaar $^3/_4$ Stunden nachdem dasselbe innerhalb des Culturgefässes in eine schräg aufrechte Lage gebracht worden war, im Beginn der Abwärtskrümmung, in Pikrinsäure fixirt.

Fig. 32. Wurzelhaare 4 Stunden nachdem sie innerhalb des Culturgefässes in eine schräg aufrechte Lage gebracht worden waren. In Pikrinsäure fixirt. Bei *g* die Ansammlung der Glanzkörper. Plasma nur stellenweise von der Wand zurückgezogen.

Fig. 33. Dasselbe Wurzelhaar wie das in Fig. 25 dargestellte. Lebend.

Fig. 34, 35. Wurzelhaare, welche demselben Knoten, wie das in Fig. 24 dargestellte, angehören.

Fig. 36—39. Wurzelhaare von Lepidium. Lebend. In feuchter Luft erzogene Keimlinge wurden in Congoroth-Wasser übertragen und darauf in feuchter Luft weiter cultivirt.

Fig. 36. 30 Minuten Congoroth-Wasser, 6 Stunden feuchte Luft. Der innerste Theil der Verdickung zeigt eine hellere Färbung als die äusseren Theile derselben, ist aber nicht farblos.

Fig. 37. Etwa 15 Minuten Congoroth, 5 Stunden feuchte Luft. Ansicht von der Fläche. Bei *a* erscheint die Membran durchaus nicht dünner als bei *b*.

Fig. 38. 15 Minuten Congoroth-Wasser, 3 Stunden feuchte Luft.

Fig. 39. $^1/_2$ Stunde Congoroth, 24 Stunden feuchte Luft. Ansicht von der Fläche. Bei *f, f* Färbung am intensivsten, bei *h* heller, bei *w* farblos.

Fig. 40, 41. Wurzeln von Lepidium-Keimlingen. Siehe den Text.

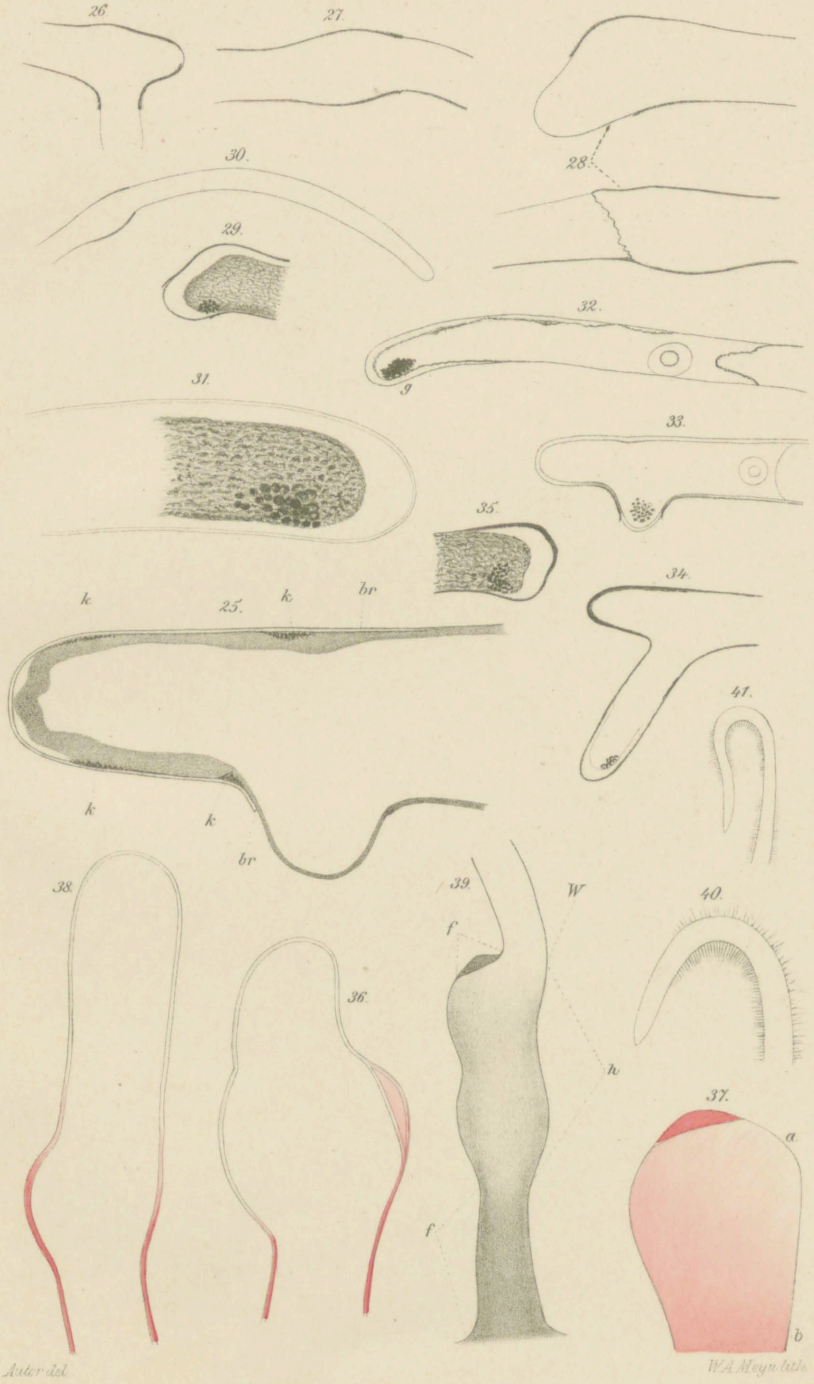
Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0493-6



Autor del.

W.A. Mayr lith.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05166-0552-0


26.
27.
28.
30.
29.
32.
g
31.
33.
35.
34.
k
25.
k
br
41.
k
k
br
38.
39.
W
40.
f
36.
h
37.
a
f
b
Autor del.
W.A. Mayn. lith.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: 74

Autor(en)/Author(s): Zacharias E.

Artikel/Article: Ueber das Wachsthum der Zellhaut bei Wurzelhaaren. 466-491