- Beispielhafter Auszug aus der digitalisierten Fassung im Format PDF -

Die Wurzelhaare der Pflanzen

Frank Schwarz

Die Digitalisierung dieses Werkes erfolgte im Rahmen des Projektes BioLib (www.BioLib.de).

Die Bilddateien wurden im Rahmen des Projektes Virtuelle Fachbibliothek Biologie (ViFaBio) durch die Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg (Frankfurt am Main) in das Format PDF überführt, archiviert und zugänglich gemacht.

F. Morhart
Ed.-Pfeiffer-Str. 77
Stuttgart

UNTERSUCHUNGEN

AUS DEM

BOTANISCHEN INSTITUT ZU TÜBINGEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. W. PFEFFER

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT IN TÜBINGEN.

Bibliothek des Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung (Max Planck Institute for Plant Breeding Research)

2. Morph. 15/57

ERSTER BAND.

2. Heft.

Seite

VI. *Fr. Schwarz*, Die Wurzelhaare der Pflanzen. (Mit Tafel I und 3 Holzschnitten) 135

VII. *A. Wieler*, Die Beeinflussung des Wachsens durch verminderte Partiärpressung des Sauerstoffs. (Mit 1 Holzschnitt) 189

VIII. *Georg Klebs*, Über die Organisation einiger Flagellaten-Gruppen und ihre Beziehungen zu Algen und Infusorien. (Mit Tafel II und III) 233

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1883.

VI.

Die Wurzelhaare der Pflanzen.

Ein Beitrag zur Biologie und Physiologie dieser Organe.

Von

Dr. Frank Schwarz,

Assistent am botanischen Institute zu Tübingen.

Mit Tafel I und 3 Holzschnitten.

Historische Übersicht.

Bei der Zusammenstellung der älteren Litteratur über das vorliegende Thema war ich häufig gezwungen, auf die Frage nach der Funktion des Wurzelkörpers einzugehen, da ältere Autoren auf die Wurzelhaare nur erst in zweiter Linie Rücksicht nahmen. —

Die erste Erwähnung der Wurzelhaare finden wir bei M. Malpighi.[1] Er hat sie bei der Ulme, der Schwarzpappel, der Weide beobachtet und glaubt in ihnen kleine Röhren vor sich zu haben, in welchen der Nahrungssaft aufsteige und zu den Gefäßen weiter geleitet werde. Er findet sie besonders an jenen Stellen, wo die Erde nicht in unmittelbarem Contact mit der Wurzel steht. Stoßen die Wurzelhaare sodann auf das umgebende Erdreich, so umwachsen sie die einzelnen Bodenpartikelchen und legen sich an dieselben an, so dass sie zwischen letzteren und der Wurzel ausgespannt bleiben. Ein ähnliches Haften der Haare beschreibt Malpighi an den Wurzeln des Epheus.[2]

Fast gleichzeitig (1682) stellte N. Grew in seiner »Anatomy of plants« die Behauptung auf, dass vorzüglich die schwammigen Enden der Wurzeln dazu bestimmt seien, das Einsaugen von Nahrung und Wasser zu besorgen.

Hierzu gesellte sich im Jahre 1768 die Theorie von S. Simon[3], dass die Wurzeln — der Knollengewächse wenigstens — nur Ausscheidungsorgane

1) M. Malpighii opera omnia. Tom. I, altera pars. 1687. p. 156.

2) l. c. p. 140.

3) Zuerst ausgesprochen in seinem Buche: Des Jacintes. 1768. p. 16 ff.

seien, um den überflüssigen Bildungssaft aus der Pflanze zu entfernen. Diese drei Ansichten bildeten die Grundlagen der späteren Forschungen. HALES (1727) und DE LA BAISSE (1733) suchten durch ihre Versuche zu beweisen, dass die größte Menge von Wasser durch die Wurzelspitze aufgesogen werde, während den Wurzelhaaren nur eine untergeordnete Bedeutung zukomme. SENEBIER [1]) ging noch weiter und bezeichnete als aufsaugendes Organ nur das mit unserer Wurzelhaube identische Wurzelschwämmchen. Eine Ansicht, welcher sich auch TREVIRANUS [2]) anschloss.

Von S. J. BRUGMANS [3]) und A. P. DE CANDOLLE [4]) wurden nun aber gerade diese aufgequollenen Membrantheile der Wurzelhaube für das schleimige, von der Wurzel ausgeschiedene Sekret gehalten, wodurch naturgemäß wieder die wasseraufsaugende Funktion der Wurzelhaare zu Ehren kam.

Unter den ziemlich zahlreichen, nichts Neues producirenden Autoren aus den ersten zwanzig Jahren unseres Jahrhunderts seien nur noch CARRADORI († 1818) [5]) und MOLDENHAWER hervorgehoben. Ersterer machte die Beobachtung, dass die Wurzelhaare im Wasser fehlen, woraus er die unmotivirte Schlussfolgerung zog, dass sie überhaupt nicht im Stande wären flüssiges Wasser aufzunehmen, sondern dass sie nur zum Aufsaugen der Luftfeuchtigkeit dienten. Das flüssige Wasser dagegen soll vom Schwämmchen aufgenommen werden. [6]) Nach MOLDENHAWER [7]) sind die Wurzelhaare den Drüsenhaaren der Blätter zu vergleichen. Sie sollen eine Flüssigkeit absondern, die als Auflösungsmittel der Nährstoffe diene und gewissermaßen dem Speichel der Thiere zu vergleichen sei.

Die erste im wesentlichen richtige Beschreibung der Wurzelhaare gab F. MEYEN. [8]) Er ging aus von den aufsaugenden Haaren der Moose und Characeen, darauf hinweisend, dass in diesen Fällen die Wurzelhaare vollständig die Stelle der Wurzeln vertreten. Er hob ferner die allgemeine Verbreitung der Wurzelhaare bei den höheren Pflanzen hervor, untersuchte ihre Entwicklung und, was das Wichtigste ist, er ließ direct gewisse Flüssigkeiten von den Haaren aufsaugen. Er kam auf diese Art zu der Ansicht, dass die Wurzelhaare nur dazu bestimmt seien, die Oberfläche der Wurzel zu ver-

---

1) In seiner Physiologie végétale. 1800.

2) Physiologie der Gewächse. 1835. Bd. I, p. 391.

3) De mutata humorum in regno organico indole a vi vitali vasorum derivanda. 1789.

4) Organographie der Gewächse. 1828. p. 98 (p. 117 des franz. Originals).

5) Degli organi assorbenti delle radice osserv. present. alla Soc. dei Georgofili di Firenze. Citirt nach DE CANDOLLE, Organographie végétale p. 117. (p. 98 der deutschen Übersetzung.)

6) Diese Ansicht wurde erst im Jahre 1837 von OHLERT beseitigt (Linnaea, 11. Bd. p. 627).

7) J. P. MOLDENHAWER, Beiträge zur Anatomie der Pflanzen. 1812. p. 319.

8) Neues System der Pflanzenphysiologie. 1838. Bd. II, p. 6 ff.

größern. Ohne weiter darauf einzugehen, erwähnt er, dass die Zahl der gebildeten Haare wahrscheinlich von äußeren Verhältnissen bedingt sei.

Die jetzt zu nennende Arbeit von G. Gasparrini »Richerche sulla natura dei succiatori e la escrezione delle radici« 1856 ist zwar die umfassendste Bearbeitung der Wurzelhaare, bietet jedoch im Einzelnen wenig Neues. Gasparrini hat eine ziemlich große Anzahl von Pflanzen untersucht und mit wenig Ausnahmen überall Wurzelhaare gefunden. Auf die Bedingungen der Wurzelhaarbildung geht er nicht weiter ein, sondern begnügt sich damit, ihre Form, ihren Inhalt u. s. w. zu beschreiben. Die feinsten, in eine gummiartige Masse eingebetteten Erdtheilchen, welche an den Wurzelhaaren haften, hielt er für Ausscheidungsprodukte aus den Haaren. Er ließ sich durch diese vorgefasste Meinung sogar dazu verleiten, Wurzelhaare zu zeichnen (l. c. Taf. VIII), die mit einem abspringenden Deckel versehen sind.

Schacht hat die wesentlicheren Angaben Gasparrini's über die Wurzelhaare in seinem Lehrbuche der Anatomie und Physiologie 1859 II. Theil p. 151 ff. mitgetheilt.

Weit präciser als seine Vorgänger hat Sachs[1]) die Bedeutung und die Funktion der Wurzelhaare klargelegt. Er zeigte, wie die Wurzelhaare mit den Bodentheilchen verwachsen, wodurch die Aufnahme von Nährstoffen naturgemäß sehr erleichtert wird. Durch die nahe Berührung mit den die Bodenpartikelchen umgebenden Wasserschichten wird die Aufsaugung von Flüssigkeiten bewerkstelligt. Ferner hat Sachs das Verdienst, die Auflösung von Gesteinen durch die Wurzeln und ihre Haare unter Vermittlung einer Säurewirkung bewiesen zu haben.[2])

Von den in neuester Zeit erschienenen Arbeiten über Wurzelhaare sind die Abhandlungen von Persecke und Mer zu berücksichtigen, welche die Bildungsbedingungen der Wurzelhaare betreffen. Da ich weiter unten auf diese Arbeiten zurückkommen muss, seien dieselben an dieser Stelle nur kurz erwähnt.

Ich habe in der vorliegenden Untersuchung hauptsächlich auf das Vorkommen und die Bildungsbedingungen der Wurzelhaare Rücksicht genommen, womit nothwendiger Weise eine anatomische Untersuchung dieser Organe verbunden sein musste. Durch Hereinziehung biologischer und physiologischer Momente habe ich es zugleich versucht, eine Erklärung der gefundenen Thatsachen zu geben.

Zur besseren Übersicht gliederte ich meine Arbeit in folgende Abschnitte:

1. Bestimmung und Zweck der Wurzelhaare.

---

1) Handbuch der Experimentalphysiologie. 1865. p. 170. 182.

2) Bot. Zeitung. 1860. p. 118—119. Experimentalphysiologie p. 188.

2. Abhängigkeit der Wurzelhaarbildung von äußeren Faktoren.

3. Das Vorkommen der Wurzelhaare.

4. Anatomie der Wurzelhaare.

Bestimmung und Zweck der Wurzelhaare.

Habitus der Wurzel mit und ohne Haare. — Aufnahme von Nahrung und Wasser. — Vergrößerung der Wurzeloberfläche. — Wurzelhaarbildung als Selbstregulation. — Eindringen der Haare zwischen die Bodentheilchen und die dabei in Betracht kommenden Faktoren. — Verwachsung und Beklebung der Haare mit Erdtheilchen. — Nachweis der dabei wirksamen Schleimschicht und ihre Eigenschaften. — Permeabilität der Wurzelhaarmembran. — Absterben der Haare bei einem bestimmten Alter der Wurzel. — Tod der Haare durch äußere Einwirkungen. — Befestigung der Wurzel im Boden. — Bedeutung der Haare für das Eindringen der Keimlingswurzel. — Vorwärtsdringen der Wurzel im Boden. — Erklärung, warum die Wurzelspitze meist frei von Haaren ist.

Nehmen wir eine im Freien gewachsene Pflanze mit ihren Wurzeln aus der Erde und machen den Versuch, die daran haftenden Bodenpartikelchen abzuschütteln oder abzuwaschen, so werden wir bald sehen, dass uns dies nicht an allen Stellen der Wurzel gelingt. Jene Theile der Wurzel, welche mit jungen lebenskräftigen Haaren versehen sind, bleiben umgeben von einer aus einzelnen Bodentheilchen gebildeten Hülle, vergleichbar einem Höschen, welches die Wurzel bedeckt. Fast ausnahmslos ist die Spitze der Wurzel frei von Haaren, in Folge dessen sie meist rein weiß erscheint, während die älteren Theile der Wurzel ein mehr der Erdfarbe entsprechendes Aussehen haben, was eben davon herrührt, dass die äußerste die Haare tragende Rindenschicht der Wurzel abgestorben und braun gefärbt ist. Das eben Gesagte gilt jedoch nicht für alle Pflanzen, sondern bloß für diejenigen, welche in einem verhältnissmäßig trockenen Boden gewachsen sind. Bei größerer Feuchtigkeit des Bodens sehen wir die Wurzel auch innerhalb der sonst mit lebenden Haaren versehenen Region nur stellenweise von einer Erdhülle umgeben, die sich durch Wasser leicht abspülen lässt. Andere Theile der Wurzeln sind gänzlich frei von Haaren, die Epidermis der Wurzel vollständig glatt. Ähnlich ist es bei Zwiebelgewächsen, Sumpfpflanzen und einigen anderen, erst später zu nennenden Pflanzengruppen.

Ohne vorläufig auf die Ursachen dieser Erscheinungen einzugehen, ersehen wir daraus, dass die Wurzelhaarbildung unter verschiedenen äuße-

ren Bedingungen nicht gleichmäßig vor sich geht, und dass die Wurzel im Stande ist, zu funktioniren, auch ohne Haare.

Die beiden hier in Betracht kommenden Funktionen der Wurzel sind erstens die Aufnahme von Nahrung, Wasser etc., zweitens die Befestigung der Pflanze am Substrat.

Fassen wir nun zunächst die Aufnahme von anorganischer Nahrung und Wasser ins Auge, so müssen wir uns vergegenwärtigen, dass das Wurzelsystem ein in der Erde mehr weniger verbreitetes, weitmaschiges Netz darstellt, dem die Aufgabe zufällt, die einzelnen Schichten und Lagen des Bodens auch auf einige Entfernung hin für die Pflanze nutzbar zu machen. Fehlen nun die Wurzelhaare, so bleibt der zwischen den einzelnen Auszweigungen der Wurzel liegende Theil des Bodens unausgenützt. Dieser Mangel wird sich nicht bemerkbar machen, sobald Wasser und anorganische Nährstoffe für die Pflanze leicht zugänglich sind. Dies findet jedoch constant nur seltener statt, womit denn auch meist ein Fehlen der Haare verbunden ist. Die Regel ist, dass den einzelnen Bodenpartikelchen das Wasser sowohl als die Nährsalze förmlich entrissen werden müssen, da dieselben ja mit einer gewissen Kraft festgehalten werden. Je größer nun die Oberfläche der Wurzel ist, und je inniger der Contact mit den Bodentheilchen, desto besser wird der Zweck der Wurzel erfüllt werden. Beides wird erreicht durch die Ausbildung der Wurzelhaare.

Um mir eine Vorstellung von der Vergrößerung der Oberfläche durch die Wurzelhaare zu verschaffen, ließ ich Wurzeln von Mais und Erbsen in feuchter Luft wachsen, wo die Menge der gebildeten Haare am größten ist. Zur Bestimmung der Oberfläche war es natürlich vor Allem nothwendig, die Zahl der Haare zu ermitteln, was am leichtesten an dünnen Querschnitten geschah. Sodann wurde die Dicke eines solchen Querschnittes gemessen, und die Zahl der Haare für die Wurzellänge eines Millimeters berechnet. Es stellte sich heraus, dass die größte Differenz zwischen den einzelnen Zählungen, z. B. bei Maispflanzen (an scheinbar gleichmäßig behaarten Wurzeln) 150 nicht überschritt, was bei einer Zahl von ungefähr 2000 Haaren wenig in Betracht kommt. Als Länge und Durchmesser der Wurzelhaare wurden Mittelwerthe aus mindestens 12 Messungen genommen.

Zea mais.

(Im feuchten Raume gewachsene Wurzel.)

Mittlere Anzahl der Wurzelhaare auf 1 mm Wurzellänge 1925 (Mittel aus 3 Zählungen).
Länge der Wurzelhaare 0·31 mm.
Durchmesser der Wurzelhaare 0·011 mm.
Durchmesser der Wurzel 1·44 mm.

Zahlder Haare auf 1 qmm Wurzelfläche 425.
Oberfläche der Wurzel für 1 mm Länge
ohne Haare 4·52 qmm,
mit Haaren 25·13 qmm.
Die Oberfläche der behaarten Wurzel ist $5^1/_2$ mal größer.

Pisum sativum.

(Im feuchten Raume gewachsene Wurzel.)

Zahl der Wurzelhaare auf 1 mm Wurzellänge 1094 (Mittel aus 4 Zählungen).
Länge der Wurzelhaare 1·2 mm.
Durchmesser der Wurzelhaare 0·013 mm.
Durchmesser der Wurzel 1·5 mm.
Zahl der Haare auf 1 qmm Wurzelfläche 232.
Oberfläche der Wurzel für 1 mm Länge
ohne Haare 4·71 qmm,
mit Haaren 58·33 qmm.
Die Oberfläche der behaarten Wurzel ist 12·4mal größer.

Scindapsus pinnatus.

(Luftwurzel.)

Zahl der Wurzelhaare auf 1 mm Wurzellänge 4386 (Mittel aus 3 Zählungen).
Länge der Wurzelhaare 1·2 mm.
Durchmesser der Wurzelhaare 0·015 mm.
Durchmesser der Wurzel 2·2 mm.
Zahl der Haare auf 1 qmm Wurzelfläche 313.
Oberfläche der Wurzel für 1 mm Länge
ohne Haare 14·02 qmm,
mit Haaren 261·9 qmm.
Die Oberfläche der behaarten Wurzel ist 18·7 mal größer.

Trianea bogotensis.

(Im Wasser gewachsene Nebenwurzel.)

Bei der geringen Anzahl und der Größe der Wurzelhaare kann ihre Zahl an der Wurzel ziemlich genau bestimmt werden, ohne dass man Schnitte machte.

Länge der Wurzel 7·6 mm.
Durchmesser der Wurzel 0·36 mm.
Zahl der Wurzelhaare darauf 94.

Länge der Wurzelhaare 3·25 mm.
Durchmesser der Wurzelhaare 0·05 mm.
Zahl der Haare auf 1 qmm Wurzelfläche 10·9.
Oberfläche der Wurzel für die Länge von 7·6 mm
ohne Haare 8·58 qmm.
mit Haaren 56·9 qmm.
Die Oberfläche der behaarten Wurzel ist 6·63 mal größer.

Wie stark die Oberfläche der Wurzel vergrößert wird, hängt sowohl von der Zahl als der Länge und Breite der Wurzelhaare ab. Eine Wurzel, die sehr zahlreiche, aber kleine Haare bildet, erreicht dasselbe als eine Wurzel mit weniger, aber größeren Haaren. Es zeigen uns dies die angeführten Bestimmungen an den Wurzeln von Zea mais und Trianea bogotensis. Im ersteren Falle kommen 425 kurze Haare auf 1 qmm, im letzteren Falle nur 11, aber sehr lange und umfangreiche Haare auf dieselbe Fläche. Die Vergrößerung der Oberfläche variirt um Weniges.

Bei Pisum ist die Oberfläche der Wurzel, trotzdem die Anzahl der Haare eine geringere ist, doch bedeutend stärker vergrößert, als beim Mais, weil die Wurzelhaare hier eine größere Länge erreichen.

Den Hauptvortheil gewährt diese Flächenvergrößerung durch Haare, indem die Menge der producirten Haare je nach dem Bedarf der Pflanze variirt. Insofern besteht eine Art Selbstregulation, dass die Haare bei großer Feuchtigkeit des Bodens, also bei erleichterter Zufuhr von Wasser u. s. w., nur in geringer Menge gebildet werden, während die Zahl derselben mit verminderter Feuchtigkeit zunimmt. Die Wurzelhaare sind daher im feuchten Raume nicht nur am zahlreichsten, sondern erreichen hier auch die größte Länge. Mit zunehmender Feuchtigkeit, d. h. mit Erleichterung der Wasserzufuhr, nimmt die Menge der gebildeten Haare ab. Tritt ein Mangel an organischen Nährstoffen ein, kann die Pflanze auch schon bei geringeren Feuchtigkeitsgraden die Wurzelhaarbildung einstellen und auf diese Art Baumaterial sparen.

Ebenso wichtig wie die Vergrößerung der Wurzelfläche ist die Vervollständigung des Contactes mit den Bodenpartikelchen, welche durch die Wurzelhaare erreicht wird. Die Wurzelhaare sind schon vermöge ihrer geringen Größe im Stande, zwischen die kleinsten Erdpartikelchen einzudringen. Wie wir im letzten Abschnitte meiner Arbeit sehen werden, wird dieses Eindringen noch durch verschiedene specifische Eigenschaften des Wurzelhaares unterstützt. Das Wurzelhaar hat das Bestreben, sich in der Richtung senkrecht zur Oberfläche der Wurzel zu verlängern. Stößt es auf einen festen unverrückbaren Körper, so wächst es längs desselben weiter. Hört nun der Widerstand auf, sucht es parallel seiner ursprünglichen Richtung weiter zu wachsen. Auf diese Art ist es im Stande, die einzelnen Lücken des Bodens zu benutzen und in ihnen vorzudringen.

Ferner macht das Haar leicht nutationsähnliche Krümmungen, welche ihm ebenfalls ein Eindringen in den Boden erleichtern.

Durch Feuchtigkeitsdifferenzen werden die Wurzelhaare zu keinen hydrotropischen Krümmungen veranlasst. Man kann dies an Luftwurzeln beobachten, die an feuchten Wänden hinabwachsen. Die Haare stehen alle senkrecht auf der Wurzelfläche und wachsen so lange geradlinig weiter, bis sie mit der Wand in Berührung kommen.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man Wurzeln von Pisum oder von Mais an feuchten Torfplatten wachsen lässt. Ebenso verändern die Haare von Wurzeln, die zwischen zwei Torfplatten wachsen, nur dann ihre Wachsthumsrichtung, wenn sie direkt auf den festen Körper stoßen. Die über Wasser in feuchter Luft befindlichen Haare (wo ein Theil der Wurzel in's Wasser ragt) wachsen, ohne eine Ablenkung zu zeigen, parallel der Wasserfläche weiter.

Ist das Haar zwischen die Bodentheilchen eingedrungen, so wird durch die Beklebung desselben mit den Erdkörnchen ein noch innigerer Contact erzielt. Ein Theil dieser Erdpartikelchen, und zwar meistens die gröberen Körnchen, wird dadurch festgehalten, dass das Wurzelhaar sie umschlingt und mit ihnen förmlich verwächst, wie wir dies an den Fig. 3 und 7 sehen. Der bei weitem größere Theil der Erdhülle haftet jedoch nur an der Oberfläche des Wurzelhaares.

Dieses Haften der Erdtheilchen wird durch die Verschleimung der äußersten Schicht der Membran erreicht.

Die Membran des Wurzelhaares besteht aus zwei Theilen: einer inneren scharf abgegrenzten, bestimmt contourirten Schicht, die sich mit Chlorzinkjod meist blau färbt, und einer äußeren, im ungefärbten Zustande schwer zu unterscheidenden, veränderlichen Schleimlage. Dieselbe färbt sich mit Chlorzinkjod gelblich braun. Sie entspricht der Cuticula oberirdischer Pflanzentheile und in der That sehen wir z. B. an den Außenwänden von Maiswurzeln, die aus Stengelknoten entspringen, eine deutliche Cuticula ausgebildet, so lange die Wurzel in Berührung mit Luft steht, während sich an den in der Erde befindlichen Außenzellen der Rinde nur die erwähnte Schleimschicht befindet.

Besonders schön sieht man die Zweischichtigkeit der Wurzelhaarmembran an den Haaren von Taxus baccata. Dieselben verhalten sich unter dem Mikroskop optisch verschieden. Die innere Lage erscheint auf dem optischen Querschnitt roth, die äußere blau.

Will man bei anderen Pflanzen diese Schleimschicht nachweisen, ist es nothwendig, nur in sehr trockener Erde gewachsene Haare zu untersuchen, da bei etwas größerer Feuchtigkeit ein zu starkes Aufquellen, eventuell eine Lösung resp. Vertheilung des Schleimes eintritt.[1]

1) Mit Jod, mit Jodschwefelsäure, verdünnten Anilinlösungen tritt keine Färbung ein. Dagegen fand ich, dass diese gummöse Schicht sich durch eine wässerige oder

Es mag dies der Grund sein, weshalb wir weder bei Sumpf- und Wassergewächsen, noch bei in sehr feuchter Erde erzogenen Landpflanzen eine Beklebung der Wurzelhaare finden. Es gibt jedoch auch Pflanzen, an deren Wurzelhaaren überhaupt niemals Erdtheilchen haften. Zu diesen gehören Tradescantia erecta, Thesium pratense, Allium fistulosum, Lilium candidum, Ranunculus ficaria.

Diese Eigenschaft der leichten Quellbarkeit setzt die Wurzelhaarmembran in den Stand, selbst die kleinsten Körnchen und Bodentheilchen zu umgeben und einzuschließen. Verweilt die Wurzel längere Zeit in trockenem Boden, so zieht sich die Gallerthülle zusammen und wird nach längerer Zeit starr. An jenen Stellen (vgl. Fig. 5), wo nur wenig oder kleine Körnchen haften, finden wir daher dieselben entweder an der Außenseite der Gallertschicht kleben oder etwas in diese Schicht eingedrückt, so dass sie fast auf der inneren Membranschicht liegen. Andere Stellen, die mehr beklebt sind, zeigen hier größere und kleinere Körnchen resp. Erdpartikelchen in einer hyalinen Schicht liegen, welche wir als identisch mit der eben besprochenen Gallertschicht erkennen. Dass die Körnchen wirklich festgehalten werden, wird uns auch noch dadurch bewiesen, dass wir selbst an den kleinsten Körnchen niemals die Brown'sche Bewegung wahrnehmen. Nach der Erstarrung der Gallertschicht bringt selbst die Behandlung mit Kali nur ein schwaches Aufquellen zu Stande. Nur zwischen der inneren Membran und der Schicht anhaftender Körnchen nimmt man einen schmalen Saum wahr.

Die Gallerthülle hat keine eigentlich klebenden Eigenschaften, sondern befestigt die einzelnen Theilchen nur durch das Umfließen. Wir ersehen dies daraus, dass kleine Körnchen, auf Wurzelhaare gestreut, an denselben nicht kleben blieben, sondern selbst nach längerer Berührung leicht abgespült werden konnten. Lässt man dagegen eine mit Wurzelhaaren versehene Wurzel auf einem festen Gegenstande langsam eintrocknen, so haften die Haare außerordentlich fest an demselben und können nur mit einiger Gewalt abgerissen werden.

---

besser noch alkoholische Lösung von Carminsäure schön roth färbt. Dieses aus der Cochenille dargestellte Präparat eignet sich vorzüglich zur Färbung von derartigen gummösen Substanzen. Etwas weniger gut färbt Carthamin, der Farbstoff des Safflor. Man löst etwas von diesem Farbstoff in wenig kohlensaurem Natron und neutralisirt sodann mittelst Citronensäure. Besonders wird Cellulose schön tingirt. Sehr vortheilhaft ist auch die Färbung mit Anilinschwarz, wodurch die Gallerthülle violett erscheint. Will man andere Anilinfarben anwenden, ist es nothwendig, die Wurzeln 12—18 Stunden in einer Gerbstofflösung liegen zu lassen. Wendet man nach diesem Einlegen z. B. Methylgrün an, so erscheint die innere Membran zufolge ihres stärkeren Lichtbrechungsvermögens mehr gelblich, während die äußere gummöse Schicht blassgrün erscheint. Nach längerem Liegen (14 Stunden) in dem Farbstoff nahm die äußere Membran eine mehr blaue Farbe an, wodurch sie sich noch besser abhob. Hämatoxylinlösung (zu gleichen Theilen Wasser und Alkohol) färbte die innere Membran röthlich, die äußere Schicht violett.

... und die nächsten 10 Seiten ...
... and the next 10 pages ...

ten im Mittel 22.1 mm, während sich die anderen Wurzeln im Durchschnitt auf 12.6 mm verlängert hatten. Bei der niedrigeren Temperatur und dem langsameren Wachsen waren hier noch nicht so viele Nährstoffe verbraucht und das Wachsthum konnte länger andauern. Doch hörten schließlich auch diese Wurzeln auf Haare zu bilden.

Ein Versuch mit Panicum miliaceum, unter den gleichen Bedingungen angestellt, bestätigte das zuerst gewonnene Resultat.

Ich habe absichtlich hervorgehoben, dass ohne Nährstoffmangel der schädliche Einfluss der Wasserwirkung aufgehoben wird, denn jene Wurzeln, die wegen Nährstoffmangel aufgehört hatten Haare zu bilden, können sich in feuchter Luft an ihren jüngeren Theilen noch mit Haaren bedecken, wenn dieselben auch nicht in sehr großer Anzahl erscheinen. Die Berührung mit Luft bietet eben dem Auswachsen der Oberhautzellen der Wurzeln kein Hinderniss, wie dies durch die Berührung mit Wasser geschieht.

Befindet sich also die Wurzel unter den für die Haarbildung günstigen Bedingungen, so erlischt bei Mangel an Nährstoffen das Längenwachsthum der Wurzel zu gleicher Zeit mit der Produktion von Haaren. Im anderen Falle hört die Bildung von Haaren früher auf als das Längenwachsthum.

Von äußeren Einflüssen ließ ich bisher unberücksichtigt die Einwirkung von Licht und Schwerkraft. Hiebei kann ich mich kurz fassen. Sie sind beide wirkungslos auf die Behaarung der Wurzeln von Landpflanzen.

Beim Licht konnte man eher noch einen Einfluss erwarten, nach der Analogie mit den Farnprothallien, wo nach Leitgeb die Anlage der Rhizoiden immer auf der Schattenseite erfolgt.

Ich stellte Versuche an mit Wurzeln, die in Wasser Haare bilden, und mit Wurzeln, die keine bilden. In beiden Fällen erlitten die Behaarungsverhältnisse keine merkliche Änderung.

Persecke behauptet, dass die Oberhautzellen einer normal nach abwärts gerichteten Wurzel immer an der Seite zu Haaren auswachsen, welche der Wurzelspitze zugekehrt ist. Ich konnte dies nicht bestätigen. Das Auswachsen zu Haaren kann an allen Stellen erfolgen. Eine Schwerkraftswirkung liegt daher nicht vor. Ebensowenig zeigt weder die Oberseite noch die Unterseite einer horizontal gelegten Wurzel eine Vermehrung oder Verminderung der Wurzelhaarbildung, die durch die Schwerkraft hervorgerufen sein könnte.

Da die im Freien gewachsenen Pflanzen selten gleichmäßig mit Wurzelhaaren bedeckt sind, sondern für gewöhnlich dichter behaarte Strecken mit haarlosen oder doch weniger behaarten Stellen abwechseln, konnte man an eine periodische Bildung der Wurzelhaare denken, die als eine ererbte Eigenschaft der Wurzel inhärent sei. Eine solche Periodi-

cität ist nicht vorhanden, denn eine Pflanze, die in gleichmäßig feucht gehaltener, nicht zu stark begossener Erde wächst, zeigt eine vollständig gleichmäßige Vertheilung der Haare über die ganze Länge der Wurzel, sobald man nur durch günstige Kulturbedingungen für eine reichliche Nahrungszufuhr sorgt. Eine Ausnahme machen die nur bei der Keimungsperiode auftretenden Haarbüschel.

Noch besser überzeugt man sich von der Continuität der Wurzelhaarbildung an jenen Pflanzen, welche im Wasser noch Haare bilden. Kulturen von Avena sativa und Bromus secalinus sind zu jenen Versuchen sehr geeignet.

Da also die Möglichkeit einer Periodicität ausgeschlossen ist, bleibt nur noch die Annahme übrig, dass die Oberhautzellen der Wurzel nach verhältnissmäßig kurzer Zeit die Fähigkeit verlieren, überhaupt zu Haaren auszuwachsen. Diese Annahme wurde durch meine Versuche bestätigt.

Junge Keimpflanzen von Zea mais, deren Wurzeln in Wasser keine Haare gebildet hatten, wurden in der Länge von 1 cm mittelst Tuschmarken in Zonen von je 1 mm Länge getheilt. Bevor sie nun in den feuchten Raum kamen, legte ich sie ungefähr 10—15 Minuten lang in Wasser, damit ein während des Markirens etwa eingetretener Wasserverlust ersetzt würde. Nach 24 Stunden wurden die Wurzeln wieder beobachtet, wobei sich herausstellte, dass die basalen Theile der Wurzel haarlos geblieben waren, und die Haare in den einzelnen Pflanzen nur bis zur 8. oder 9. Millimeterzone hinaufreichten. Oft ging die Behaarung nicht einmal so weit.

Dasselbe Resultat erhielt ich an Wurzeln von Pisum sativum. Ich modificirte den Versuch, indem ich die Spitzen der Wurzeln auf eine Länge von 3 mm in Wasser tauchen ließ, um einem etwaigen Mangel an Feuchtigkeit vorzubeugen. Trotzdem ging die Wurzelhaarbildung nur bis zur 10. oder 11. Millimeterzone.

Taucht man die Wurzelspitze weiter ein, etwa 13—15 mm, während sich der übrige Theil der Wurzel im feuchten Raume befindet, bilden sich über der Wasserfläche keine Haare mehr. Zu derartigen Versuchen dienten mir ebenfalls die Wurzeln von Erbsen- und Maiskeimlingen. Die Entfernung, bis zu welcher die Oberflächenzellen der Wurzeln noch zum Auswachsen fähig bleiben, ist nicht konstant, indem bei sehr schnell wachsenden Wurzeln, z. B. in feuchten Sägespänen, die ersten Haare erst weiter hinter der Wurzelspitze anfangen, somit die Wurzelhaarbildung länger andauert. Dabei ist natürlich die Constanz der günstigen Wachsthumsbedingungen vorausgesetzt.

Ist die Wurzelhaarbildung bis zu einer gewissen Zone vorgeschritten, und sind unter den herrschenden Bedingungen vielleicht nur wenig Haare gebildet, so sind die andern Oberflächenzellen jener Zone nicht mehr fähig auszuwachsen, selbst wenn die Wurzel unter günstigeren Bedingungen

weiter wachsen würde. Mit anderen Worten, die Anlegung der Wurzelhaare erfolgt in akropetaler Reihenfolge, und zwischen schon gebildeten Haaren werden niemals neue Haare interkalar eingeschoben.

Ich entschied dies durch einen Versuch mit Tradescantia erecta. Diese Pflanze bildet in Wasser Wurzelhaare, umsomehr also auch in feuchter Luft. Verwendet man nun statt Wasser eine $^1/_2$procentige Nährstofflösung, nehmen, wie wir später sehen werden, die Wurzelhaare ganz eigenthümliche kurze dicke Formen an. Nach dem Übertragen derartiger Wurzeln in einen möglichst dampfgesättigten Raum, erkennt man die neu gebildeten Haare sogleich an der schlanken, schmalen Form, während die älteren Haare unverändert geblieben sind. Zwischen den früher angelegten Haaren oder unterhalb derselben befinden sich keine Haare, welche jenen im feuchten Raume gewachsenen ähnlich wären.

Durch die in diesem Abschnitt gegebenen Thatsachen glaube ich hinlänglich gezeigt zu haben, welche Faktoren bei der Unterdrückung und Bildung der Wurzelhaare maßgebend sind, und auf welche Weise die unbehaarten Wurzeltheile zu Stande kommen.

Das Vorkommen der Wurzelhaare.

Allgemeines. — Bedingungen, unter denen einer Pflanze die Fähigkeit, Haare zu bilden, verloren gegangen sein kann. — Sumpf- und Wasserpflanzen. — Theilweise und gänzliche Reduktion der Haare. — Unterdrückung der Haarbildung bei Verminderung des Bedarfs an Wasser etc. — Coniferen und Cupressineen. — Crassulaceen etc., Knollengewächse. — Schmarotzerpflanzen. — Häufung von Wurzelhaaren zu bestimmten Zwecken. — Bildung von Wurzelhaaren an Stengel- und Blattorganen. — Tabelle der untersuchten Familien.

Nach meinen Untersuchungen, welche eine ziemlich bedeutende Anzahl der verschiedensten Pflanzen umfassen, sind die Wurzelhaare bei den allermeisten Gewächsen vorhanden. Wenn daher einer Pflanze die Fähigkeit fehlt, Wurzelhaare zu produciren, ist dies eine Ausnahme von der Regel. Wir treffen diese Ausnahme nicht etwa nur bei gewissen Familien, sondern vielmehr bei Gruppen von Pflanzen, die weniger durch Verwandtschaft, als durch gemeinsame Lebensweise und Bedürfnisse mit einander verbunden sind.

Fassen wir zunächst diese Ausnahmen ins Auge. Schon im vorigen Abschnitt haben wir gesehen, wie die einzelne, Wurzelhaare producirende Pflanze sich verschiedenen äußeren Bedingungen anpassen kann, indem

sie bei Erleichterung von Wasserzufuhr sowohl die Ausdehnung ihres Wurzelsystems vermindert, als eine Reduktion der Haare eintreten lässt. Nehmen wir nun solche Pflanzen, welche sich konstant unter den eben besprochenen Bedingungen befinden, so ist es denkbar, dass nach und nach die betreffende Pflanzenspecies immer weniger Haare producirt, bis sie schließlich sogar die Fähigkeit, Wurzelhaare hervorzubringen, ganz verlieren kann, da dies für sie überflüssige Organe sind.

Zwei verschiedene Bedingungen sind denkbar, unter denen die Wurzelhaarbildung überflüssig wird:

Erstens: Die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen wird sehr erleichtert bei mehr weniger großem Verbrauch. Dies findet statt bei Wasser- und Sumpfpflanzen.

Zweitens: Der Verbrauch und Bedarf an Wasser und Nährstoffen ist ein geringerer, ohne dass eine besondere Erschwerung der Aufnahme damit in Zusammenhang steht. Dies trifft zu bei Nadelhölzern, Knollengewächsen und zum Theil auch bei Schmarotzern.

Um die erste der eben gegebenen Möglichkeiten richtig zu beurtheilen, müssen wir uns vergegenwärtigen, dass der Hauptzweck der Wurzelhaare in einer Vergrößerung der aufsaugenden Fläche besteht. Unter sonst gleichen Bedingungen wird im Allgemeinen die Menge der aufgenommenen flüssigen Nahrung proportional mit der Oberfläche steigen. Hiezu kommt nun als zweiter Faktor: die Menge des aufgenommenen Wassers wird bei gleicher Oberfläche um so größer sein, je leichter die Aufnahme geschehen kann, d. h. je mehr Wasser u. s. w. der Pflanze dargeboten wird.

Letzteres trifft nun bei Sumpf- und Wasserpflanzen zu, weshalb wir es begreiflich finden, dass dieselben ihre Wurzelfläche verringern können, ohne dadurch Schaden zu leiden. Die Zahl solcher Pflanzen, welche nur wenig oder gar keine Wurzelhaare produciren, ist verhältnissmäßig groß. Dazu kommt noch, dass bei den unter Wasser befindlichen Pflanzentheilen die Aufnahme von Stoffen auch noch durch Blatt- oder Stengelorgane vermittelt werden kann, während zugleich der Transpirationsverlust hinwegfällt.

Die Reduktion der Wurzelhaare findet nicht bei allen Wasserpflanzen in demselben Maße statt.

Eigentliche Sumpfpflanzen, die eventuell auch auf einem zeitweise weniger nassen Boden zu leben gezwungen sind, zeigen uns stellenweise noch ziemlich zahlreiche Wurzelhaare; so z. B. Scirpus silvaticus, Carex paludosa.

Bei anderen Sumpfpflanzen trifft die Reduktion der Wurzelhaare besonders die Hauptwurzel, während die Nebenwurzeln noch ziemlich stark behaart sind. Als Beispiel führe ich Heleocharis palustris und Trianea bogotensis an. Der Hauptwurzel kommt hier eigentlich mehr die Funktion

zu, der Pflanze den ersten Halt im Boden oder Schlamme zu gewähren, als die Pflanze hervorragend mit Nährstoffen zu versorgen. Etwas Analoges fand ich bei Sagittaria sagittaefolia, wo die stärkeren Wurzeln unbehaart blieben, während die gleichzeitig erscheinenden dünneren Wurzeln Haare besaßen. Bei den bisher genannten Pflanzen waren an vereinzelten Stellen der Wurzel noch zahlreiche Haare vorhanden.

Bei weitergehender Reduktion finden wir an dem ganzen Wurzelsystem der Pflanze nur noch sehr vereinzelte Haare. Bei Nuphar luteum, Vallisneria spiralis, Eriophorum angustifolium u. a. kann man häufig 4—5 Wurzeln untersuchen, bevor man nur überhaupt Haare findet.

Hier anzuschließen ist jene schon im vorigen Abschnitt erwähnte Gruppe von Pflanzen, denen die Wurzelhaare im Wasser vollständig fehlen, während sie zahlreich erscheinen, sobald die Wurzel in Erde dringt. Ein eklatantes Beispiel bietet Elodea canadensis, der sich nach der Angabe Persecke's [1]) Acorus Calamus und Cicuta virosa anreiht. Eine analoge Thatsache gibt Leitgeb [2]) für Riccia natans (Ricciocarpus natans Leitg.) an, wo Rhizoiden sich nur bei der Kultur auf Erde vorfinden, während sie in Wasser vollständig fehlen.

Zum Schluss sind noch jene Pflanzen aufzuzählen, bei denen die Wurzelhaare überhaupt fehlen, und die weder in Wasser noch in Erde oder im feuchten Raume Haare bilden, wovon ich mich durch verschiedene Versuche überzeugt habe.

Hieher gehören:

Butomus umbellatus.
Caltha palustris.
Euryale ferox.
Hippuris vulgaris.
Lemna minor.
— trisulca.
Limnanthemum nymphaeoides.
Menianthes trifoliata.
Myriophyllum spicatum.
Nymphaea alba.
Pistia stratiotes.
Udora occidentalis. [3])
Victoria regia. [3])

Wir kommen nun zu der zweiten Kategorie von Pflanzen, bei denen die Wurzelhaarbildung verringert ist, weil der Verbrauch hauptsächlich an Wasser durch die Beschaffenheit der Pflanze vermindert wird. Wir finden besonders bei Coniferen und Cupressineen die Blätter mit einer Epidermis versehen, deren Außenwände sehr stark verdickt sind. Die Folge davon ist, dass die Blätter dieser Pflanzen weniger leicht welken, die Pflanze also bei ihrer Transpiration geringere Quantitäten von Wasser verbraucht als andere Pflanzen mit leicht welkenden Blättern. Da diese Pflanzen zumeist ein gut ausgebildetes Wurzelsystem besitzen, genügt die Oberfläche der Wurzeln, sowohl um den Transpirationsverlust zu decken,

1) Über die Formveränderung der Wurzel in Erde und Wasser. 1877. p. 38.
2) Untersuchungen über die Lebermoose. Bd. IV.
3) Nach R. Caspari, in: Jahrb. f. wiss. Bot. 1858. Bd. I. p. 395.

als die nöthigen Nährstoffe aus dem Boden aufzunehmen. Der hieraus resultirende Mangel an Haaren trifft nicht allein Coniferen und Cupressineen, sondern findet sich auch bei Agaven und Palmen wieder.

Unter allen den von mir untersuchten Abies- und Pinusarten besaß nur Abies abovata manchmal ganz kurze Haare (bis zu 0.15 mm lang), die schon vermöge ihrer Kleinheit und ihrer geringen Anzahl für die Wasseraufnahme von keiner hohen Bedeutung sein konnten.

Die Wurzelhaare fehlten dagegen bei:

Abies excelsa.	Biota orientalis.
— canadensis.	Thuya occidentalis.
— Douglasii.	Cryptomeria japonica.
— nigra.	Cupressus Lindleyi.
Pinus Sabiniana.	———
— Jeffreyi.	Agave americana.
— silvestris.	Phoenix dactylifera.
— Pinaster.	

Nicht allen Pflanzen mit solch lederartigen Blättern mangeln die Haare, so hat z. B. Taxus baccata ziemlich zahlreiche Wurzelhaare, ebenso Buxus sempervirens, wenn dieselben hier auch seltener sind. Die Wurzeln von Salisburia adiantifolia sind ähnlich gebaut wie die Coniferenwurzeln, doch entspricht der größeren Blattfläche auch eine dichte Behaarung der Wurzel. Wir sehen schon hieraus, dass nicht allgemein dem geringeren Verbrauch auch eine vollständige Reduktion der Haare entspricht. Es beweisen uns dies insbesondere die Crassulaceen und Cactusgewächse. Ich untersuchte Sedum- und Sempervivumarten, Opuntia und Cereus, aber überall fand ich eine dichte Behaarung. Der Grund davon liegt jedenfalls darin, dass die Aufnahme des Wassers aus dem sehr trockenen Substrat dieser Pflanzen eine stärkere Behaarung der Wurzel verlangt, wenn auch die Pflanze durch Verdunstung weniger verliert.

Eine weitere Gruppe von Pflanzen, die hier zu nennen sind, bilden die zu den Liliaceen gehörenden Knollen- resp. Zwiebelgewächse. Denselben wurden von verschiedenen Autoren Wurzelhaare überhaupt abgesprochen. Sie sind jedoch fast alle befähigt, Haare zu produciren, wenn die Haarbildung zeitweise auch gänzlich unterbleiben kann. Es werden nämlich zumeist erst an den später entstehenden Wurzeln Haare producirt, was mit der Wachsthumsweise dieser Pflanzen zusammenhängt. Dieselben legen gemäß den Untersuchungen RESA's[1]) die Wurzeln für das nächste Jahr schon im Sommer des vorhergehenden Jahres an und bilden dieselben im Herbst weiter aus. Nachdem für den Winter eine Ruheperiode eingetreten ist, verfügen sie doch im Frühjahre, wenn die oberirdischen Theile zu wachsen beginnen, schon über ein ganz ansehnliches Wurzelsystem, das die Aufnahme der flüssigen Nahrung wesentlich erleichtert.

1) FR. RESA, Über die Periode der Wurzelbildung. Diss. Bonn 1877.

Die Wurzeln wachsen also anfangs zu einer Zeit, wo der Verbrauch der oberirdischen Theile an flüssiger Nahrung fast Null ist, und hiemit in Correlation steht das Fehlen der Behaarung. Ist nun im Frühjahre für die Entfaltung und Entwickelung der oberirdischen Theile eine größere Aufnahmsoberfläche nothwendig, treten die Wurzelhaare hinzu.

Sehr leicht sind diese Thatsachen z. B. bei Allium fistulosum zu beobachten, deren dicke Primärwurzeln nur wenig behaart sind, während die später und erst in einiger Tiefe auftretenden Nebenwurzeln zahlreiche Haare tragen. Daher erklären sich auch die widersprechenden Angaben einiger Autoren über das Vorhandensein von Wurzelhaaren an Hyacinthen.

Fehlen die Wurzelhaare auch nicht gänzlich, so bleiben sie doch häufig sehr kurz und in geringer Zahl; so bei verschiedenen Alliumarten, bei Convallaria latifolia und polygonatum, Muscari monstrosum, Ranunculus repens und Anderen.

Ist der oberirdische Theil der Pflanze im Verhältnisse zu dem ausgebildeten Wurzelsysteme gering, kann die Wurzelhaarbildung auch ganz unterbleiben. Auf diese Art hat Crocus sativus vollständig die Fähigkeit, Wurzelhaare zu bilden, verloren. Ebenso genügt bei Tulipa Gesneriana das vorhandene Wurzelsystem zur Entwickelung der Pflanze, ohne dass Wurzelhaare nothwendig wären.

Im Anschluss an diese Pflanzen sind noch einige Schmarotzergewächse zu nennen, denen Wurzelhaare ebenfalls fehlen. Vergleichen wir die auf Humusboden oder fremde Wurzeln angewiesenen Pflanzen, finden wir, dass, so lange die Pflanze noch fähig ist, theilweise selbständig zu assimiliren, und mit ausgebildeten Blättern versehen ist, sie auch noch Wurzelhaare producirt. Wir finden daher die Wurzeln von Euphrasia, Melampyrum, Goodyera, Thesium noch mit Haaren besetzt.

Eine Ausnahme macht der auf Graswurzeln schmarotzende Rhinanthus minor. Das vorhandene Wurzelsystem ist hier im Stande, auch ohne Haare die für die Pflanze nothwendige Nahrung aus dem Boden zu beschaffen, wobei allerdings die den fremden Wurzeln vermittelst der Haustorien entzogenen Stoffe mit in Betracht kommen mögen.

Die Haare fehlen, sobald die Pflanze fast ausschließlich nur von den aus dem Humusboden aufgenommenen Substanzen lebt.

Hieher gehören:

Monotropa hypopitys.
Neottia nidus avis.[1])
Orobanche ramosa.

Ich vermuthe, dass dieses Fehlen der Haare durch das Zusammenwirken verschiedener Faktoren hervorgerufen wird. Die genannten Pflanzen haben keine besonders großen Blattflächen, wachsen sehr langsam, leben

1) Vgl. Drude, Die Biologie von Monotropa hypopitys und Neottia nidus avis. Göttingen 1873. p. 11.

häufig in feuchtem Boden, und schließlich ist vielleicht auch die Art der Nährstoffaufnahme maßgebend. Bei der wenig sicheren Kenntniss der letzteren will ich mich weiterer Hypothesen enthalten, und nur die Thatsachen konstatiren.

Wie in den früheren Fällen, muss man sich auch hier vor Verallgemeinerung hüten, indem z. B. die Rhizome von Corallorhiza innata und Epipogon Gmelini mit Haaren besetzt sind.

Eine besondere Einrichtung finden wir noch bei Lathraea squamaria. Die eigentliche Wurzel ist unbehaart und nur jene Stellen machen hievon eine Ausnahme, welche mit einer fremden Wurzel in Berührung kommen. [1]) Bevor nämlich Lathraea ihre Haustorien treibt, wird sie vermittelst eines Haarbüschels an der Wurzel ihres Wirthes befestigt. Diese lokalisirte Bildung von Wurzelhaaren ist hier mehr dazu bestimmt, den Haustorien der Pflanze das Eindringen in eine fremde Wurzel zu erleichtern, als zur selbständigen Stoffaufnahme.

Eine ähnliche Behaarung der Haustorien fand ich bei Thesium pratense, wenn auch nicht so schön ausgebildet. Die genannte Erscheinung ist ein Analogon zu der Bildung jener Haarbüschel an Keimpflanzen, welche das Eindringen der Wurzel in den Boden zu unterstützen haben.

Aus den hier angeführten Thatsachen ersehen wir, dass bei verschiedenen Pflanzen unter Anpassung an die gegebenen Bedingungen eine Reduktion der Behaarung stattfindet. Dieselbe kann ihren Ausdruck finden in der Verringerung der Zahl der Haare, einem nur zeitweisen Auftreten derselben oder schließlich in dem gänzlichen Mangel dieser Organe.

Umgekehrt kann nun auch eine Anhäufung von Wurzelhaaren zu bestimmten Zwecken stattfinden, oder morphologisch verschiedene Organe können vermöge ihrer Anpassung an physiologische Zwecke mit Wurzelhaaren versehen werden.

Vor Allem gilt dies für die jungen Keimlinge mancher Pflanzen. Die hier in größerer Anzahl producirten Haare haben die Bestimmung, den Samen am Substrate zu befestigen und so das Eindringen der ersten Wurzel zu erleichtern. Eine schöne Ausbildung eines solchen besonderen Haarkranzes an der Grenze vom Hypocotyl findet sich nach den Angaben von BRIOSI[2]) bei Eucalyptus und mehreren anderen Myrthaceen. Es ist hier die äußerste Rindenschicht des Hypocotyls, welche sich in zahlreiche Haare auflöst; dieser Kranz von Haaren, die am Boden haften, wird von der Wurzel durchwachsen, welche durch diese Haare einen Widerhalt ge-

1) Vergl. H. KRAUSE, Beiträge zur Anatomie der Vegetationsorgane von Lathraea squamaria. Diss. 1879. p. 14.

2) Sopra un organo di alcuni embryoni vegetali. 1882.

gen die Festigkeit der Erde erreicht. Einen ähnlichen Haarapparat fand ich bei den Keimlingen von Scabiosa atropurpurea.

Es war mir nun interessant zu wissen, ob bei Wurzeln, die sonst nur spärlich Haare trugen, vielleicht gerade anfangs die Haarproduktion begünstigt war. Thatsächlich fand ich etwas derartiges bei verschiedenen Alliumspecies. Samen, welche in mäßig feuchte Erde ausgesät wurden, hatten (bei Allium porrum) binnen 8 Tagen bis zu 3 cm lange Wurzeln getrieben, an denen durchgehends die Wurzelhaare fehlten, mit Ausnahme der Uebergangsstelle vom Wurzel- zum Stengeltheil. Es fanden sich hier entweder nur kurze Papillen oder auch wohl ausgebildete Haare, die unter Umständen eine Länge von 0.4 mm erreichten.

Eine besondere Einrichtung zur Anheftung der Samen fand ich ferner bei Panicum miliaceum und Setaria italica. Hier übernimmt die zuerst die Samenschale durchbrechende Coleorhiza die Produktion von Wurzelhaaren, und erst nachdem sich dieselben an Bodentheilchen festgeklebt haben, wird die Coleorhiza von der Wurzel durchbrochen. Am besten kann man diese lokale Produktion von Haaren an Samen beobachten, welche man auf Wasser schwimmend keimen lässt.

Wollte man noch weiter darnach suchen, würde man gewiss noch zahlreiche derartige Anpassungserscheinungen finden. Für gewöhnlich jedoch fehlt ein derartiger Apparat, und eine gewisse Anpassung äußert sich nur darin, dass die Basis der Primärwurzel in Bezug auf die Haarbildung den andern Theilen der Wurzel gegenüber etwas begünstigt ist. Die Wurzelhaare erreichen hier häufig eine größere Länge und bilden sich auch noch zahlreich in sehr feuchter Erde aus, während unter gleichen Umständen die Haare an dem späteren Zuwachs fehlen. Die Ursache davon mag in einem anfänglich zu Gebote stehenden Nahrungsüberschuss liegen. Ich konstatirte diese Erscheinung an Brassica napus, Biscutella auriculata, Vesicaria sinuata, Beta orientalis, Aster chinensis und Anderen.

Wir sahen an dem Beispiele von Panicum und Setaria, dass morphologisch anderswerthige Pflanzentheile die Produktion von Wurzelhaaren übernehmen können. In größerem Umfange geschieht dies dort, wo der Pflanze eine eigentliche Wurzel fehlt und die Nährstoffaufnahme durch eigens dazu angepasste Stengelorgane vermittelt wird.

Nach der Angabe von Nägeli und Leitgeb[1]) fehlen die eigentlichen Wurzeln bei Psilotum triquetrum (einer Lycopodiacee) vollständig, und eigens dazu metamorphosirte Stengelorgane haben die Funktion derselben übernommen. Unter Anpassung an diese Funktion sind diese Stengel befähigt, Wurzelhaare zu produciren.

Etwas ganz Analoges haben wir bei den Rhizomen von Corallo-

---

1) Entstehung und Wachsthum der Wurzeln in Nägeli's Beiträgen zur wissenschaftlichen Botanik. Heft IV. 1868. p. 147.

rhiza innata und Epipogon Gmelini, deren Stengelnatur von HOFMEISTER [1]) und REINKE [2]) bewiesen wurde.

Bei den Hymenophyllaceen wird das Aufsaugen der flüssigen Nahrung entweder durch Wurzeln oder durch metamorphosirte Stengel ausgeführt, und beide tragen Wurzelhaare. [3]) Die Wurzelhaare der Stengel unterscheiden sich von den echten Wurzelhaaren nur dadurch, dass sie nicht bloß Äste einer Epidermiszelle, sondern durch eine Querwand von dieser getrennt sind. METTENIUS gab den Stengelhaaren den Namen Haarwurzeln im Gegensatz zu den Wurzelhaaren. Da wir mit dem Ausdruck Wurzel einen bestimmten Begriff verbinden, ist wohl die Bezeichnung von METTENIUS fallen zu lassen, wie dies auch schon von PRANTL [4]) geschehen ist.

Die hier angeführten Fälle der Wurzelhaarbildung an Stengeln sind nur Ausnahmen von der Regel, dass Wurzelhaare bei den höheren Pflanzen nur an Wurzeln vorkommen. [5]) Es trifft dies auch dann noch zu, wenn die betreffenden Organe anderweitige Metamorphosen zu Knollen oder Rhizomen erlitten haben. Die Knollen von Dahlia scapigera, von Ranunculus ficaria sind Gebilde der Wurzeln und tragen als solche Wurzelhaare. Die Rhizome und Knollen von Convallaria latifolia, Adoxa moschatellina, Cyclamen neapolitanum, Solanum tuberosum entbehren als Stengelgebilde der Wurzelhaare, obgleich die Wurzeln dieser Pflanzen behaart sind. Ebenso wenig tragen die Ausläufer von Aster leucanthemus und Polygonum bistorta Wurzelhaare.

Die Entstehung von Wurzelhaaren an Blättern finden wir — abgesehen von den Moosen — bei Salvinia natans. [6]) Dies sogenannte Wasserblatt weicht von der Form der übrigen Blätter vollständig ab und ähnelt dem Aussehen nach einer Wurzel. Es trägt wohl ausgebildete Wurzelhaare.

Zum Schluss bleibt uns noch übrig, jene Pflanzen aufzuzählen, bei welchen ich Wurzelhaare konstatirt habe. Wie wir aus dieser Tabelle ersehen, sind in derselben sowohl die verschiedensten Familien vertreten, als auch Gewächse von vollständig ungleichartiger Lebensweise. Es ist hierbei keine Rücksicht genommen, ob die Wurzel viel oder wenig Haare producirt, sondern es kommt nur die Fähigkeit der Wurzelhaarbildung in Betracht. [7])

---

1) HOFMEISTER, Allgemeine Morphologie d. Gewächse. 1868. p. 427.

2) REINKE, Zur Kenntniss des Rhizoms von Corallorhiza und Epipogon. Flora, 1873. p. 164.

3) Citirt nach G. METTENIUS, Über die Hymenophyllaceae. Abhandl. d. sächsischen Gesellschaft d. Wissenschaften. Bd. VII. 1864. p. 408.

4) K. PRANTL, Untersuchungen z. Morphologie d. Gefäßkryptogamen. Heft I. 1875. p. 34.

5) Nachträglich fand ich noch eine weitere Ausnahme, indem aus dem Samen hervorsprossende Stengeltheile von Pisum sativum ebenfalls Wurzelhaare producirten, wenn man sie 3—4 Wochen lang mit feuchten Sägespänen bedeckt hielt.

6) Citirt nach LUERSSEN, Medicinisch-pharmaceutische Botanik 1879. Bd. I. p. 591.

7) Die Anordnung der Familien ist nach dem EICHLER'schen Syllabus geschehen.