

Sachverhalt entgangen ist.“ Dass mir die trichterartige Configuration des Antipoden-Postamentes bei *Aconitum Lycoctonum* nicht entgangen ist, geht aus meiner Skizze (Taf. I, Fig. 11, 1890) hervor. *Aconitum Napellus* habe ich aus irgend einem Grunde, den ich nicht mehr weiss, in dieser Hinsicht weniger genau behandelt. Hätte ich wesentlich abweichende Verhältnisse bei *Aconitum Napellus* gegenüber *Aconitum Lycoctonum* wahrgenommen, so wäre Veranlassung gewesen, davon genauer zu sprechen.“

Unter Wahrung des streng historischen Standpunkts darf ich also schliesslich eine mir erfreuliche Uebereinstimmung von OSTERWALDER's Kapitel V, „Die Antipoden“, und meinen Ausführungen von 1890 und 1896 im Hauptpunkt constataren. Aber nicht bloss eine Bestätigung meiner Ansichten in der Hauptsache erblicke ich in OSTERWALDER's Arbeit, sondern auch ein Fortschreiten in meinem Ideen-gang, eine weitere Vertiefung und Klärung unserer Kenntnisse bezüglich des Details jener ernährungsphysiologischen Function, die wir den Antipodenzellen zuschreiben wollen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch erwähnen, dass Herr Professor Dr. CHODAT aus Genf mir schon vor ungefähr Jahresfrist freundlichst mündliche Mittheilung machte von einer unter seiner Leitung ausgeführten Arbeit, deren Ergebniss nach derselben Richtung hinzielte wie meine Resultate.

33. L. Kny: Ueber den Ort der Nährstoff-Aufnahme durch die Wurzel.

Eingegangen am 12. October 1898.

Die Ansichten der Pflanzenphysiologen betreffs der Wurzelregion, in welcher die Aufnahme der Nährstofflösungen erfolgt, entbehren der wünschenswerthen Uebereinstimmung und zum Theile der sicheren Begründung. Die zuerst von GREW¹⁾ geäusserte Meinung, dass die Wurzelhaube, damals meist „Wurzelschwämmchen“ genannt, die Eintrittsstelle sei, hatte sich, besonders auf die Autorität von A. P. DE CANDOLLE²⁾ hin, fast allgemein Eingang verschafft, bis

1) Anatomy of plants (1682), p. 82.

2) Physiologie végétale, I. (1832), p. 63.

OHLERT¹⁾ durch eine Reihe einfacher Versuche ihre Unrichtigkeit nachwies. Er brachte²⁾ junge Pflänzchen von *Pisum sativum*, *Lupinus luteus*, *Calendula officinalis*, *Linum usitatissimum*, *Raphanus Raphanistrum* u. s. w. derart in ein Glas mit Wasser, dass die Wurzelspitzen etwa 3 Linien in das Wasser eintauchten. Schon nach wenigen Stunden waren die Pflänzchen welk und nach einigen Tagen ganz trocken. Dasselbe Resultat erhielt er auch dann, wenn in Folge von Ueberbinden der Oeffnung des schmalen Glases mit Blase, welche um das Stengelchen der Keimpflanze befestigt war, der ausserhalb des Wassers befindliche Theil der Wurzel von dunstgesättigter Luft umgeben war, oder wenn durch eine genügend hohe Schicht auf das Wasser gegossenen Leinöls die Verdunstung der älteren Wurzeltheile total behindert war. Dagegen blieben andere Keimpflänzchen derselben Arten frisch und entwickelten sich im Wasser ungehindert weiter, wenn ihre Wurzelspitze vorher entfernt und die Wunde mit Firniss verschlossen war, oder wenn die umgebogenen Wurzelspitzen über den Wasserspiegel hervorragten. OHLERT³⁾ kommt auf Grund seiner Versuche zu dem Ergebnisse, „dass die Wurzelasern die Feuchtigkeit nicht durch die Spitzen, sondern an den Seiten oder durch die ganze Oberfläche einziehen.“

Ein Jahr nach dem Erscheinen der OHLERT'schen Arbeit, welche seiner Zeit wenig Beachtung gefunden zu haben scheint, lenkte MEYEN⁴⁾ die Aufmerksamkeit auf die schon seit MALPIGHI bekannten, besonders bei Landpflanzen weit verbreiteten Wurzelhaare, welche mit den haarförmigen Aufnahmsorganen der niederen Pflanzen, der Thallophyten und der Archegoniaten, in der Hauptsache übereinstimmen. In ihrem Auftreten erkennt er „die Absicht der Natur, die Oberfläche der Wurzel zu vergrössern, um dadurch dennoch die nöthige Feuchtigkeit aufzunehmen.“⁵⁾

Wenn nun auch, wie bereits MEYEN hervorhebt und wie spätere Untersuchungen genauer ermittelten, die Bildung der Wurzelhaare durch äussere Verhältnisse vielfach beeinflusst und innerhalb gewisser Verwandtschaftskreise (z. B. Palmen, Coniferen) sehr beschränkt ist oder ganz unterbleibt, so gilt jetzt allgemein als unzweifelhaft, dass die Wurzelhaare, wo sie bei Landpflanzen normal auftreten, diejenige Wurzelregion einnehmen, welcher vorzugsweise die Function der Nährstoffaufnahme zufällt. Ob dies ausschliesslich der Fall ist und ob nicht auch die jüngere Wurzelregion, welche zwischen den

1) Einige Bemerkungen über die Wurzelasern der höheren Pflanzen (Linnaea, II. (1827), S. 609).

2) l. c., S. 624 und 625.

3) l. c., S. 626.

4) Neues System der Pflanzenphysiologie, II. (1838), S. 9 ff.

5) l. c., S. 11.

jüngsten Wurzelhaaren und zwischen dem Vegetationspunkte eingeschaltet ist, Nährstofflösungen aufzusaugen vermag, ist meines Wissens bisher noch nicht genauer untersucht worden. Die neueren Lehrbücher lassen diesen Punkt meist unberührt. Am klarsten sprechen sich, soweit mir bekannt geworden ist, folgende Autoren aus.

FRANK¹⁾ fand bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze, dass „bei der grossen Mehrzahl der krautartigen Pflanzen, die wir als typische Salpeterpflanzen bezeichnen können,“ (*Helianthus annuus*, *Phaseolus multiflorus*, *Pisum sativum*, *Zea Mays* u. s. w.) „die in nitrathaltigen Wasserculturen erwachsenen feineren Wurzeln nach sorgfältigem Abspülen in reinem Wasser mit Diphenylamin-Schwefelsäure in ihrer ganzen Ausdehnung eine gleichmässig tief schwarzblaue Färbung zeigen mit alleiniger stetiger Ausnahme der Wurzelspitze, entsprechend der eigentlich wachsenden Region der Wurzel, wo sie aus in Theilung und Streckung begriffenen protoplasmareichen Zellen besteht und noch keine Wurzelhaare entwickelt hat.“ „Die Wurzel ist also an ihrer Spitze der Aufnahme von Nitraten unfähig, was mit der gewöhnlichen Annahme in Einklang steht, wonach der Wurzelspitze nur die Aufgabe der Wachstumsfähigkeit, aber nicht die der Nährstoffaufnahme zufällt.“

In seinem Lehrbuch der Botanik²⁾ sagt FRANK betreffs der Wasseraufnahme durch die Wurzel: „Bei den meisten Pflanzen wird die Wurzelepidermis in ihrer wasseraufsaugenden Thätigkeit noch durch besondere Organe verstärkt, welche in der Regel einen solchen Grad der Entwicklung erreichen, dass sie als die hauptsächlichsten nahrungsaufnehmenden Apparate zu gelten haben.“

G. HABERLANDT³⁾ beschränkt das Absorptionsgewebe der Wurzeln auf die Region der Wurzelhaare, wo solche bei den betreffenden Pflanzen vorkommen.

Am schärfsten äussert sich in diesem Sinne VAN TIEGHEM.⁴⁾ Aus einer Anzahl von Versuchen, welche in der von OHLERT angegebenen Art ausgeführt wurden, zieht er den Schluss: „que l'absorption n'a lieu ni par la région de croissance, ni par la région âgée où les poils sont tombés, qu'elle est tout entière localisée sur la région des poils.“

Will man genauer, als dies bisher geschehen ist, durch den Versuch bestimmen, wie weit die aufnehmende Region der Wurzelhaare gegen den Scheitel hinreicht, so darf man sich auf den Nachweis des Ein-

1) Ber. der Deutsch. Bot.-Ges., V. (1887), S. 477.

2) I. (1892), S. 153.

3) Physiologische Pflanzenanatomie, II. Aufl. (1896), S. 187.

4) Traité de botanique, I. 1^{re} éd. (1884), p. 250 und 2^{me} éd. (1891), p. 220; *Eléments de botanique*, 3^{me} éd. (1898), p. 122.

trittes der Nährstoffe beschränken und das Wasser, in welchem dieselben gelöst sind, unberücksichtigt lassen. Wo ein wasserlöslicher Körper seinen Weg in die Pflanze findet, geschieht dies unter Vermittelung von Wasser. Lässt sich also der Nachweis führen, dass Nitrate, Kalksalze u. s. w. nicht allein durch die Wurzelhaare, sondern auch durch jüngere Partien der Epidermis in die Wurzelrinde eintreten, so ist für diese Region auch eine Aufnahmefähigkeit für Wasser erwiesen. Ueber die Ausgiebigkeit, mit welcher das Wasser eintritt, ist damit freilich Nichts ausgesagt.

In erster Linie empfehlen sich für die Versuche die Nitrate, weil dieselben durch Diphenylamin-Schwefelsäure, mit welcher sie eine intensive Blaufärbung geben, leicht nachweisbar sind. Zwar ist von verschiedenen Seiten in eindringlicher Weise auf die Fehlerquellen hingewiesen worden, mit welchen jene Reaction behaftet ist;¹⁾ doch erweist sie sich für den hier vorliegenden Zweck vollkommen brauchbar, weil, wie FRANK²⁾ und SCHIMPER³⁾ übereinstimmend fanden und wie ich auf Grund eigener Erfahrungen bestätigen kann, nitratfrei erzogene Keimpflanzen keine Spur dieser Reaction erkennen lassen.

Spült man Keimpflanzen von *Zea Mays*, *Pisum sativum* und *Vicia Faba*, welche in nährstoffreicher Gartenerde erwachsen sind, mit destillirtem Wasser sorgfältig ab, so findet man bei Untersuchung der Wurzelspitze zwischen dem hinteren Ende der Wurzelhaube und der Region, in welcher die ersten Andeutungen der Wurzelhaare sichtbar werden, meist ein Stück von mehreren Millimetern eingeschaltet. Mit voller Schärfe lässt sich die hintere Grenze der Wurzelhaube nicht angeben, da ihre älteren Zellen sich ganz allmählich ablösen. Bei den genannten Leguminosen reicht sie weiter rückwärts, als beim Mais.

Ich gebe zunächst einige Beispiele, welche zeigen, wie weit die Nitrat-Reaction in den Wurzeln solcher in Gartenerde erzogenen Keimpflanzen sich gegen den Scheitel hin erstreckt.

Zea Mays.

1. Keimpflanze. (Laubspross 72 mm, einzige kräftige Wurzel 116 mm lang).

Die Wurzelspitze wurde in einer Länge von 8,5 mm abgetrennt und halbiert. Die jüngsten Wurzelhaare wölben sich in einer Entfernung von 4 mm vom Scheitel hervor. Nitrat-Reaction schon etwa 2 mm vom Scheitel deutlich.

2. Keimpflanze. (Laubspross 76 mm, einzige kräftige Wurzel 216 mm lang).

Die abgetrennte Wurzelspitze (6,5 mm) war noch in allen Theilen von Wurzelhaaren entblösst. Nach Halbierung wurde die eine Längshälfte in 3 Stücke von 2,5 mm, 2 mm und 2 mm der Quere nach zerlegt, und alle Stücke gut in destillirtem

1) Siehe besonders A. F. W. SCHIMPER, Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze (Flora, 1890, S. 217—219).

2) Ber. der Deutsch. Bot. Ges. V. (1887), S. 475.

3) l. c., S. 219.

Wasser abgewaschen.¹⁾ Schon das Endstück von 2,5 mm Länge zeigte von unterem (älterem) Ende deutliche Nitrat-Reaction. An den anderen Stücken trat sie noch deutlicher hervor. — Die andere Hälfte wurde der Quere nach in 5 etwa gleichlange Stücke zerlegt. Nur das Endstück zeigte keine Nitrat-Reaction, während sie in den 4 anderen Stücken deutlich war. — Das Endstück war etwa bis zu $\frac{1}{3}$ seiner Länge von der Wurzelhaube bedeckt.

Vicia Faba.

1. Keimpflanze. (Laubspross 50 mm, Pfahlwurzel 139 mm lang, mit vielen Seitenwurzeln).

Das in Länge von 10 mm abgetrennte Endstück der Pfahlwurzel war frei von Wurzelhaaren. Die eine Längshälfte wurde in 5 Stücke quergetheilt, von denen das jüngste etwas länger als die vier anderen ausfiel. Dieses Endstück befand sich noch ganz innerhalb der Haube. — Alle Stücke mit Ausnahme des Endstückes zeigten deutliche Nitrat-Reaction, das dem Endstücke angrenzende allerdings nur schwach. — Die andere Längshälfte ergab ein gleichsinniges Resultat.

2. Keimpflanze. (Laubspross 64 mm lang, Pfahlwurzel 248 mm lang, mit vielen Seitenwurzeln).

Das in Länge von 10,5 mm abgetrennte Endstück der Pfahlwurzel war gänzlich frei von Wurzelhaaren. Jede Längshälfte wurde in 5 annähernd gleichlange Stücke zerlegt. Das jüngste Stück jeder Hälfte zeigte keine Nitrat-Reaction, die beiden mittleren Stücke zeigten schwache, aber deutliche, die beiden ältesten Stücke sehr starke Nitrat-Reaction.

Im Anschlusse an die genannten beiden Pflanzen wurden in ähnlicher Weise sowohl junge, als halb entwickelte Wurzeln von *Hydrocharis morsus ranae* untersucht, welche soeben ihrem natürlichen Standorte entnommen und in ein Gefäß mit Leitungswasser gesetzt waren. In keiner dieser Wurzeln liess sich mit Diphenylamin-Schwefelsäure Nitrat nachweisen.

Die Befunde, wie wir sie soeben bei *Zea Mays* und *Vicia Faba* kennen lernten, sind für sich allein nicht ausreichend, die in der Litteratur vorliegenden Angaben, wonach die Aufnahme der Nährstoffe ausschliesslich in der Region der Wurzelhaare erfolgen soll, als irrtümlich zu erweisen; denn das in dem haarfreien Wurzeltheile vorhandene Nitrat könnte ja von den Wurzelhaaren aufgenommen und von da aus scheitelwärts in der Rinde weiterbefördert worden sein. Es war nothwendig, Keimpflanzen vollkommen nitratfrei zu erziehen, ihnen, nachdem an Controll-Exemplaren das Ausbleiben der Diphenylamin-Reaction festgestellt war, Nitrate in geeigneter Form darzubieten und dann zu prüfen, in welchem Theile der Wurzel die Reaction zuerst eintrat.

Solche Culturen führte ich mit *Zea Mays* und *Pisum sativum* sowohl in destillirtem Wasser als in gereinigtem Quarzsande aus. Beide

1) Es geschah dies natürlich stets auch bei den folgenden Versuchen.

Verfahren haben ihren Vorthail und ihren Nachtheil. Der Vorthail der Wasserculturen besteht darin, dass man die Keimpflanzen aus dem destillirten Wasser sofort ohne Verletzung der Wurzelhaare in die nitrathaltige Nährstofflösung überführen kann; dies wird aber mehr als aufgewogen durch den Nachtheil, dass in wässerigen Lösungen die Production der Wurzelhaare sehr stark abgeschwächt wird, stellenweise sogar ganz unterbleibt.¹⁾ Die Aufnahme von Nährstoffen durch haarfreie Stellen von Wurzeln, welche im Wasser erwachsen sind, gestattet also keinen Rückschluss auf die entsprechenden Verhältnisse der Bodenzurzel. Andererseits setzt aber feinkörniger, weisser Quarzsand, auch bei mässiger Befeuchtung, dem Vordringen der Wurzeln einen grösseren Widerstand entgegen als Gartenerde. Das Wachsthum der Wurzelspitze kann deshalb nur langsam erfolgen, und die haarfreie Region hinter der Wurzelhaube ist meist so kurz, dass es erst bei einer grösseren Zahl von Versuchen gelingt, das beginnende Eindringen des Nitrates an einer noch haarfreien Stelle ausser Zweifel zu stellen.

Im Folgenden gebe ich zunächst einige an *Zea Mays* und *Pisum sativum* gewonnene Ergebnisse, denen ich die bei *Hydrocharis Morsus ranae* ermittelten Thatsachen folgen lasse. Bei der letztgenannten Pflanze kommen, ihrer Lebensweise entsprechend, natürlich nur Wasserculturen in Betracht. Sie besitzt den grossen Vorthail, im Wasser ihre zahlreichen, langen Wurzelhaare erst in grösserer Entfernung vom Scheitel zu entwickeln, so dass ein ziemlich langer Theil des Wurzelendes stets haarfrei ist.

I. Versuche über die Aufnahme von Nitraten.

1. *Zea Mays*.

Für die Wasserculturen von Keimpflanzen wurden Samen einer gelbfrüchtigen und einer weissfrüchtigen Sorte in Sägespähnen angekeimt und, nachdem die Wurzeln etwa 3—4 cm lang geworden waren, und ich mich überzeugt hatte, dass sie nitratfrei waren, auf in destillirtem Wasser ausgekochten Fadennetzen über ein mit destillirtem Wasser gefülltes Gefäss gebracht. Mit Rücksicht auf frühere ungünstige Erfahrungen mit dem käuflichen destillirten Wasser wurde alles zu den Wasserculturen und auch zu den Sandculturen verwendete Wasser in meinem

1) Die Angabe von FR. SCHWARZ (Unters. aus dem botan. Institute zu Tübingen, I. (1880), S. 151), dass bei *Pisum sativum* und *Zea Mays* die Haarbildung im Wasser ganz unterbleibt, kann ich nicht bestätigen. Ich fand bei meinen Wasserculturen die Wurzelhaare sehr unbeständig in ihrem Vorkommen und da, wo sie sich finden, durchschnittlich erheblich kürzer als im Boden. Noch in jüngster Zeit hat auch DASSONVILLE (Influence des sels minéraux sur la forme et la structure des végétaux (Revue générale de botanique 1898, S. 102) angegeben, dass bei *Zea Mays* in destillirtem Wasser die Bildung von Wurzelhaaren vollständig unterbleibe.

Institute unter Ausschluss von Kautschukverbindungen aus Glas direct in Glas destillirt. Die cylindrischen Culturgefässe (ca. 118 *mm* hoch und ca. 84 *mm* im lichten Durchmesser) waren mit einer Hülle von schwarzem Papier umgeben und befanden sich, um jede Verunreinigung durch Staub oder durch Besprengen abzuhalten, im Gewächshause unter sehr grossen, nicht tubulirten Glasglocken. Behufs Ermöglichung einer ausgiebigen Luftcirculation waren dieselben auf drei niedrige Glasfüsse gestellt.

Nachdem die Keimpflanzen im destillirten Wasser die gewünschte Entwicklungsstufe erreicht hatten, wurden sie sammt dem Fadennetze über gleichgrosse mit KNOP'scher¹⁾ Nährlösung gefüllte Gefässe derart gebracht, dass die Wurzeln vollständig in dieselbe eintauchten. Als Concentration der Nährlösung wählte ich nicht, wie meist gebräuchlich, 2 pro mille, sondern 4 pro mille, um den Eintritt nachweisbarer Quantitäten von Nitrat zu beschleunigen.

Nach Abschluss des Versuches wurde die jeweils zur Untersuchung bestimmte Wurzel, nachdem sie am Grunde abgetrennt und gemessen war, vom Scheitel bis 50 *cm* Entfernung über dem Maassstabe mittels einer scharfen Scheere in Stücke von genau 5 *mm* Länge zerlegt und dieselben einzeln in nummerirte, mit destillirtem Wasser gefüllte Glas-schälchen gebracht. Von dem Endstücke wurden dicke Querschnitte in 3 verschiedenen Höhen entnommen, nämlich am Scheitel, in der Mitte und im unteren Theile; bei den übrigen Stücken begnügte ich mich mit einigen dicken Schnitten aus der Mitte. Im älteren, mehr als 50 *mm* vom Scheitel entfernten Theile der Wurzel wurden die zu untersuchenden Stücke 10 *mm* lang zugeschnitten.

Ausser diesen auf dicken Querschnitten untersuchten Wurzeln wurden andere längs gespalten und, wie bei den oben beschriebenen orientirenden Versuchen, nach Abspülen mit destillirtem Wasser auf Nitrat geprüft.

Für die Sandculturen wurde weisser Quarzsand, wie solcher aus der Baruther Glashütte zu beziehen ist, mit destillirtem Wasser gewaschen und in Porcellanschalen stark erhitzt. Nachdem Culturgefässe derselben Grösse, wie die vorher beschriebenen, mit Sand gefüllt waren und derselbe mit destillirtem Wasser angefeuchtet war, wurden in jedes Gefäss

1) Bei einer Concentration von 2 pro mille enthielt die Lösung auf 1 Liter Wasser

1 *gr* Ca N₂O₆
 $\frac{1}{4}$ *gr* KH₂PO₄
 $\frac{1}{4}$ *gr* KNO₃
 $\frac{1}{4}$ *gr* KCl
 $\frac{1}{4}$ *gr* MgSO₄

nebst wenigen Tropfen verdünnter Lösung von FeCl₆.

cf. KNOP, Der Kreislauf des Stoffes, Lehrb. der Agriculturchemie, 1868, S. 836.

5 kräftige Früchte ausgelegt. Nachträgliches Begiessen der Culturen stellte sich als unnöthig heraus.

Ein Theil der Sandculturen wurde so behandelt, dass, sobald die Keimpflanzen den gewünschten Entwicklungsgrad erreicht hatten, sie mit KNOP'scher Nährlösung begossen und nach bestimmter, im Einzelfalle verschiedener Zeitdauer in der oben beschriebenen Weise untersucht wurden. Um ein nicht zu langsames Vordringen der Nährlösung im Sande zu ermöglichen, durfte derselbe nicht mit Wasser gesättigt sein. Es wurden bei Culturen, welche in dieser Weise behandelt werden sollten, deshalb behufs Förderung der Verdunstung gleichzeitig mit den Culturgefässen eine Schale mit Chlorcalcium unter jede der übergestülpten grossen Glasglocken gebracht. Bei einer Anzahl anderer Culturen wurde nicht das Culturgefäss mit KNOP'scher Nährlösung begossen, sondern sein ganzer Inhalt in eine grosse mit destillirtem Wasser gefüllte Schale vorsichtig entleert, und die einzelnen Keimpflänzchen, welche sich für den Versuch geeignet zeigten, eine genau bestimmte Zeit mit der Wurzel in 4 pro mille KNOP'sche Nährlösung gebracht. Das erste Verfahren hat den Vortheil, dass bis zur Untersuchung alle Wurzeltheile unberührt blieben; dagegen konnte die Nährlösung nur langsam zu den aufnehmenden Wurzeltheilen vordringen und erfuhr in dem befeuchteten Sande eine beträchtliche, nicht genau zu bemessende Verdünnung. Deshalb benützte ich zu diesen Versuchen die KNOP'sche Nährlösung in 16 pro mille Concentration. Bei dem zweiten Verfahren steht die Nährlösung den aufnehmenden Theilen der Wurzel zu sofortiger Verfügung; es genügt deshalb eine 4 pro mille Concentration. Andererseits ist aber selbst bei vorsichtigstem Entleeren des Sandes eine Verletzung einzelner Wurzelhaare nicht zu vermeiden. Diejenige Region, welche bei unseren Versuchen besonders in Frage kommt, wo Wurzelhaare noch nicht hervorgetreten sind, wird aber von den Verletzungen nicht betroffen.

Betreffs der Diphenylamin-Reaction möchte ich noch auf eine Gefahr der Täuschung hinweisen, welcher, wo es sich um den Nachweis sehr geringer Mengen von Nitrat handelt, wohl jeder Beobachter Anfangs erliegen wird. Da die Gewebe des Centralcyinders unter dem Einfluss des Reagens einen deutlich gelblichen Farbenton annehmen, so erscheint die Rinde in Folge der Contrastwirkung dem Beobachter auch da in einem schwach bläulichen Schimmer, wo Blaufärbung thatsächlich nicht vorhanden ist. Hierzu kommt, dass die Gasbläschen, welche sich unter dem Einfluss der Schwefelsäure unter den Augen des Beobachters in den Schnitten abrunden, zur Entstehung bläulicher Farben Veranlassung geben, welche da, wo die Gasbläschen in grösserer Zahl über und neben einander liegen, recht störend werden und Irrthümer hervorrufen können. Dazu kommen dann noch die durch den Spiegel des Microscopes vom Himmel zurückgeworfenen

blauen Lichtstrahlen, deren Farbe nur die Rinde, nicht aber der gelbliche Centralcylinder annimmt. Ueber diese letzte Schwierigkeit hilft die Anwesenheit weisser Wolken hinweg.

Besonders deutlich trat die Reaction stets in der Umgebung von Luftblasen hervor, wo solche schon vorher im Präparate vorhanden waren.

A. Wasser-Culturen.

Versuch 1. Pferdezahl-Mais (Spross 27,5 mm, längste Wurzel 132 mm lang).

Nach 15 Minuten langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung in keinem Theile deutliche Nitrat-Reaction.

Versuch 2. Pferdezahl-Mais (Spross 13 mm, längste Wurzel 101 mm lang).

Nach 15 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war Nitrat vielleicht in sehr geringer Menge zwischen 5 und 10 mm vom Scheitel vorhanden. Es begannen sich hier eben einige Wurzelhaare hervorzuvölben.

Versuch 3. Pferdezahl-Mais (Spross 23 mm, längste Wurzel 127 mm lang).

Nach 20 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war zwischen 25 und 45 mm vom Scheitel deutliche Nitrat-Reaction zu erkennen. Kurze Wurzelhaare von ca. 15 mm vom Scheitel rückwärts.

Versuch 4. Pferdezahl-Mais (Spross 46 mm, längste Wurzel 149 mm lang).

Nach 20 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war Nitrat nirgendwo mit Sicherheit nachweisbar.

Versuch 5. Pferdezahl-Mais (Spross 36 mm, längste Wurzel 81 mm lang).

Nach 30 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war nur zwischen 20 und 25 mm vom Scheitel deutliche Nitrat-Reaction vorhanden. Kurze Wurzelhaare von ca. 10 mm vom Scheitel rückwärts.

Versuch 6. Pferdezahl-Mais (Spross 33 mm, längste Wurzel 128 mm lang).

Nach 30 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war Nitrat-Reaction zwischen 30 und 60 mm nachweisbar. Kurze Wurzelhaare von ca. 10 mm vom Scheitel rückwärts.

Versuch 7. Pferdezahl-Mais (Spross 31 mm, längste Wurzel 106 mm lang).

Nach 30 Min. langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war Nitrat zwischen ca. 3 und 20 mm Entfernung vom Scheitel in minimaler Menge nachweisbar. Wurzelhaare traten erst zwischen 5 und 10 mm vom Scheitel auf.

Versuch 8. Pferdezahl-Mais (Spross 34 mm, längste Wurzel 171 mm lang).

Nach 1 Stunde langem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war in allen Theilen der Wurzel von etwa 2,5 mm vom Scheitel an Nitrat nachweisbar. Die Wurzelhaare begannen erst zwischen 5 und 10 mm vom Scheitel eben hervorzutreten.

B. Sand-Culturen.

a. mit 16 pro mille Nährlösung begossen.

Versuch 9. Pferdezahl-Mais (Spross 93 mm, längste Wurzel 117 mm lang).

Nach 1 Stunde seit dem Begiessen mit Nährlösung war die Aufnahme von Nitrat nirgendwo mit Sicherheit nachweisbar. Vielleicht war sie zwischen 5 und 15 mm vom Scheitel schon ein wenig eingetreten.

Versuch 10. Pferdezahl-Mais (Spross 61 mm, längste Wurzel 46 mm lang).

Nach 1 Stunde und 5 Min. nach dem Begiessen war vielleicht zwischen 15 und 20 mm vom Scheitel schon eine minimale Nitrat-Reaction vorhanden.

Versuch 11. Pferdezahl-Mais (Spross 28 mm, längste Wurzel 50 mm lang).

Nach $1\frac{1}{4}$ Stunden seit dem Begiessen war Aufnahme von Nitrat noch nicht mit voller Sicherheit nachweisbar.

Versuch 12. Pferdezahl-Mais (Spross 54 mm, längste Wurzel 63 mm lang).

Nach $1\frac{1}{4}$ Stunden seit dem Begiessen trat von ca. 2,5 mm vom Scheitel, wo schon Wurzelhaare vorhanden waren, schwache, von ca 15 mm ab stärkere Nitrat-Reaction ein. An der Basis der Wurzel war sie nur schwach.

Versuch 13. Pferdezahl-Mais (Spross 50,5 mm, längste Wurzel 56 mm lang).

Nach $1\frac{1}{2}$ Stunden seit dem Begiessen war Nitrat in Entfernung von etwa 2,5 mm, wo noch keine Wurzelhaare vorhanden waren, deutlich nachweisbar. Bis 25 mm vom Scheitel rückwärts wurde die Blaufärbung mit Diphenylamin-Schwefelsäure schwächer. Bei 50 mm war sie kaum noch bemerkbar.

b. Nach Entleeren der Versuchsgefässe in destillirtes Wasser wurden die Versuchspflanzen mit den Wurzeln in 4 pro mille Knop'sche Nährlösung gestellt.

Versuch 14. Gelbfrüchtiger Mais (Spross 72 mm, einzige Wurzel 99 mm).

Nach Verweilen von $1\frac{1}{2}$ Stunden in der Nährlösung war in keinem Theile der Wurzel mit Sicherheit Nitrat nachweisbar.

Versuch 15. Gelbfrüchtiger Mais (Spross 91 mm, einzige Wurzel 93 mm).

Nach Verweilen von 3 Stunden in der Nährlösung war die Nitrat-Reaction von ca. 2,5 mm vom Scheitel, wo schon Wurzelhaare vorhanden waren, bis zu 50 mm Entfernung deutlich. Weiter basalwärts wurde die Wurzel nicht untersucht.

Versuch 16. Gelbfrüchtiger Mais (Spross 95 mm, einzige Wurzel 126 mm lang).

Nach Verweilen von 19 Stunden in der Nährlösung war die Nitrat-Reaction von etwa 4 mm vom Scheitel, wo Wurzelhaare noch nicht vorhanden waren, bis 50 mm Entfernung deutlich. Weiter basalwärts wurde die Wurzel nicht untersucht.

Versuch 17. Gelbfrüchtiger Mais (Spross 96 mm, einzige Wurzel 121 mm lang).

Nach Verweilen von 26 Stunden in der Nährlösung wurde die 6 mm lange Spitze abgetrennt und halbirt. Obschon dieselbe keine Wurzelhaare erkennen liess, zeigte sie in ihrem grösseren, älteren Theile deutliche Nitrat-Reaction.

Versuch 18. Gelbfrüchtiger Mais (Spross 81 mm, einzige Wurzel 115 mm lang).

Nach Verweilen von 44 Stunden in Nährlösung wurde die 4,5 mm lange, haarfreie Wurzelspitze abgetrennt. Auf etwa $\frac{2}{5}$ seiner Länge zeigte dieses Endstück in seinem älteren Theile deutliche Nitrat-Reaction.

(Den drei letzten Versuchen ist desshalb keine erhebliche Bedeutung beizumessen, weil die Wurzeln während ihres Verweilens in der Nährlösung offenbar in die Länge gewachsen waren, und, wie oben gesagt wurde, in wässerigen Lösungen gar keine oder kürzere Wurzelhaare erzeugt werden).

2. Pisum sativum.

Die Culturen wurden genau in der für *Zea Mays* beschriebenen Art ausgeführt.

A. Wasser-Culturen.

Versuch 19. Gelbe Erbse (Spross 159 mm, Pfahlwurzel 144 mm lang).

Nach Verweilen von $\frac{1}{2}$ Stunde in 4 pro mille Nährlösung war in keinem Theile Nitrat nachweisbar.

Versuch 20. Gelbe Erbse (Spross 168 mm, Pfahlwurzel 151 mm lang).

Nach Verweilen von $2\frac{1}{4}$ Stunden in 4 pro mille Nährlösung war in allen Theilen der Wurzel von der Spitze bis zu 50 mm rückwärts deutliche Nitrat-Reaction vorhanden. Wurzelhaare fehlten. Weiter basalwärts wurde nicht untersucht.

Versuch 21. Gelbe Erbse (Spross 209 mm, Pfahlwurzel 142 mm lang).

Nach dreitägigem Verweilen in 4 pro mille Nährlösung war in allen Theilen der Wurzel bis zum Scheitel Nitrat nachweisbar. Wurzelhaare waren erst in etwa 80 mm Entfernung vom Scheitel basalwärts vorhanden.

B. Sand-Culturen.

Nach Entleeren des Versuchs-Gefässes in destillirtes Wasser wurden die Keimpflanzen mit der Wurzel in 4 pro mille KNOP'sche Nährlösung gestellt.

Versuch 22. Gelbe Erbse (Spross 152 mm, Pfahlwurzel 123 mm lang).

Nach Verweilen von $\frac{1}{2}$ Stunde in 4 pro mille Nährlösung war in keinem Theile Nitrat nachweisbar.

Versuch 23. Grosse, graue Königsberger Erbse (Spross 49 mm, Pfahlwurzel 70 mm).

Nach Verweilen von 1 Stunde in 4 pro mille Nährlösung war in keinem Theile Nitrat nachweisbar.

Versuch 24. Grosse, graue Königsberger Erbse (Spross 275 mm, Pfahlwurzel 123 mm lang).

Nach Verweilen von $1\frac{1}{4}$ Stunden in 4 pro mille Nährlösung war in keinem Theile Nitrat nachweisbar.

Versuch 25. Grosse, graue Königsberger Erbse (Spross 44 mm, Pfahlwurzel 69 mm lang).

Nach Verweilen von 2 Stunden in 4 pro mille Nährlösung war nur in etwa 4 mm vom Scheitel, wo noch keine Wurzelhaare vorhanden waren, Nitrat deutlich nachweisbar. Alle übrigen Theile der Wurzel waren nitratfrei.

3. *Hydrocharis Morsus ranae*.

Zu der Untersuchung wurden fast ausschliesslich Wurzeln verwendet, welche höchstens halberwachsen waren und deren deutlich nitirende Spitze von einer langen Haube¹⁾ bedeckt war. Nur die letzte Wurzel (Versuch 37) war ganz oder nahezu ganz ausgewachsen.

Nachdem ich mich überzeugt hatte, dass Wurzeln verschiedenen Entwicklungszustandes unmittelbar, nachdem die Pflanzen ibrem natürlichen Standorte entnommen waren, in keinem ihrer Theile Nitrat-Reaction zeigten, wurden die Pflanzen für eine bestimmte Zeit in KNOP'sche Nährlösung von 1 oder 2 pro mille Gehalt gebracht. Vor

1) Näheres über den Bau und die Entwicklung dieser sehr eigenartigen Haube siehe bei JANCZEWSKI, Recherches sur l'accroissement terminal des racines (Ann. sc. nat. (Bot.), 5^{me} série, t. 20 (1874), p. 167 und VAN TIEGHEM et DOULIOT, Recherches comparatives sur l'origine des membres endogènes dans les plantes vasculaires (Ann. sc. nat. (Bot.), 7^{me} série, t. 8. p., 522).

der Untersuchung blieb die abgetrennte Wurzel einige Minuten in destillirtem Wasser liegen. Auch die einzelnen Stücke, in welche sie zerlegt wurde, verweilten einige Minuten in kleinen, mit destillirtem Wasser gefüllten Schälchen. Vor der Untersuchung wurde jedes Stück mit einem sauberen Pinsel auf dem Objectträger in destillirtem Wasser abgespült und nach erfolgtem Abtrocknen mit reinem Fliesspapier als Ganzes unter einem Deckglase der Einwirkung des Reagens überlassen.

Auffällig war es, dass bei den von mir untersuchten Wurzeln von *Hydrocharis Morsus ranae* die Nitrat-Reaction mit Diphenylamin-Schwefelsäure nicht, wie bei *Zeu Mays*, im Innern der Rindenzellen zuerst deutlich wurde, sondern vorwiegend oder ausschliesslich ausserhalb des Wurzelgewebes zu Stande kam, wenn dessen Zerstörung durch die Schwefelsäure schon ziemlich weit fortgeschritten war. Hiernach scheint es, dass die Reaction innerhalb der Rindenzellen durch einen (vielleicht in die Membran eingelagerten) Stoff verhindert wird und erst eintritt, wenn der Zellsaft aus dem zusammensinkenden Gewebe ausfliesst. Dass z. B. die Verholzung der Membranen die Reaction behindert, ist ja bekannt.

Versuch 26. (Wurzel 138,5 mm lang).

Nach Verweilen von 1 Stunde in 1 pro mille Nährlösung zeigten weder das von der Haube bedeckte Endstück (28 mm), noch das benachbarte haarfreie Stück (9 mm), noch die älteren Theile Nitrat-Reaction.

Versuch 27. (Wurzel 175 mm lang).

Nach Verweilen von 1½ Stunden in 2 pro mille Nährlösung zeigte weder das von der Haube bedeckte Endstück (26 mm), noch das angrenzende haarfreie Stück (13 mm) Nitrat-Reaction. Erst in der Region der jüngsten Wurzelhaare trat dieselbe auf, um gegen den mittleren Theil stärker zu werden und an der Basis wieder zu verschwinden.

Versuch 28. (Wurzel 82,5 mm lang).

Nach Verweilen von 2¼ Stunden in 2 pro mille Nährlösung zeigte das von der Haube umschlossene Endstück (23 mm) keine Nitrat-Reaction; dagegen war dieselbe in dem angrenzenden haarfreien Stück (10,5 mm), wenn auch schwach, so doch deutlich vorhanden. Von da ab bis zur Wurzelbasis trat sie etwas stärker hervor.

Versuch 29. (Wurzel 129 mm lang).

Nach Verweilen von 2½ Stunden in 1 pro mille Nährlösung war die Nitrat-Reaction erst in der Region der jungen Wurzelhaare, in mehr als 48,5 mm Entfernung vom Scheitel, nachweisbar. Gegen die Basis der Wurzel verschwand sie wieder.

Versuch 30. (Wurzel 128,5 mm lang).

Nach Verweilen von 24 Stunden in 2 pro mille Nährlösung war keine Nitrat-Reaction in dem von der Haube bedeckten Endstück (20,5 mm), dagegen schwache, aber deutliche Reaction in dem benachbarten haarfreien Theile (9,5 mm) bemerkbar. Nach der Basis hin wurde sie stärker.

Versuch 31. (Wurzel 162 mm lang).

Nach Verweilen von 2 Tagen in 2 pro mille Nährlösung konnte nur in der Region der Wurzelhaare in mehr als 32 mm vom Scheitel schwache Nitrat-Reaction festgestellt werden.

Versuch 32. (Wurzel 95 mm lang).

Nach Verweilen von 2 Tagen in 2 pro mille Nährlösung zeigte der von der Haube bedeckte Theil (14 mm) keine Nitrat-Reaction; dagegen trat dieselbe schon in der jüngsten Hälfte des angrenzenden haarfreien Stückes (7,5 mm) unzweideutig, wenn auch nur in geringerem Maasse, hervor. Das darauffolgende haarfreie Stück (9 mm) zeigte sie deutlicher. Von da ab bis zur Basis war sie überall sehr deutlich.

Versuch 33. (Wurzel 62 mm lang).

Nach Verweilen von 2 Tagen in 1 pro mille Nährlösung erwiesen sich das von der Haube bedeckte Endstück (21 mm) und das angrenzende haarfreie Stück (7 mm) als nitratfrei. Von der Stelle des ersten Hervortretens der Wurzelhaare bis zur Basis war die Nitrat-Reaction überall deutlich.

Versuch 34. (Wurzel 207 mm lang).

Nach Verweilen von 2 Tagen in 1 pro mille Nährlösung erwiesen sich das von der Haube bedeckte Endstück (7,5 mm) und das angrenzende haarfreie Stück (25 mm) nitratfrei. In der Region des ersten Hervortretens der Wurzelhaare begann die Nitrat-Reaction in schwachem Maasse und steigerte sich gegen den mittleren Theil der Wurzel. Der basale Theil wurde nicht untersucht.

Versuch 35. (Wurzel 153 mm lang).

Nach Verweilen von 4 Tagen in 2 pro mille Nährlösung erwiesen sich das von der Haube bedeckte Endstück (12 mm) und der erste Theil des angrenzenden haarfreien Stückes (6,5 mm) als nitratfrei. In dem darauffolgenden älteren Theile des haarfreien Stückes (9,5 mm) zeigte sich schwache, aber deutliche Nitrat-Reaction. Im älteren Theile der Wurzel war die Nitrat-Reaction streckenweise vorhanden, streckenweise wurde sie vermisst.

Versuch 36. (Wurzel 57,5 mm lang).

Nach Verweilen von 4 Tagen in 1 pro mille Nährlösung war weder in dem von der Wurzelhaube bedeckten Endstücke (13 mm), noch in dem angrenzenden haarfreien Stücke (8 mm), noch in dem weiterhin angrenzenden Theile, wo junge Wurzelhaare sich hervorwölben (8 mm), Nitrat-Reaction kenntlich. In den älteren Theilen der Wurzel war sie überall deutlich.

Versuch 37. (Wurzel 464 mm lang).

Nach Verweilen von 4 Tagen in 1 pro mille Nährlösung konnte erst in mehr als 38 mm Entfernung vom Scheitel, wo die Wurzelhaare schon erhebliche Länge hatten, Nitrat-Reaction festgestellt werden.

II. Versuche über die Aufnahme von Methylviolett.

Obschon Anilinfarbstoffe, soweit bekannt, für die Ernährung der Pflanzen unbrauchbar und in stärkerer Concentration der wässerigen Lösung sogar schädlich sind, erschien es, behufs Ergänzung für die mit Nitraten gewonnenen Resultate, von Interesse, den Ort ihres Eintretens in die Wurzeln näher zu bestimmen. Die bisher hierauf untersuchten Anilin-Farbstoffe bieten den Vortheil, sehr rasch durch die Aussenmembran der Wurzeln zu diffundiren und ihre Anwesenheit durch Färbung des Plasmas, des Zellsaftes oder der Membranen zu verathen, ohne dass es weiterer Reactionen bedürfte. Von dem von

PFEFFER¹⁾ geprüften Farbstoffen verwendete ich zu den meisten Versuchen das in Wasser leicht lösliche Methylviolett.²⁾ Dasselbe färbt nicht nur das Plasma, sondern auch die Membran. PFEFFER wandte das Methylviolett seiner giftigen Eigenschaften wegen nur in Lösungen von 0,0001 bis 0,0003 proc. an;³⁾ Nach den von mir angestellten Vorversuchen hielt ich es für zulässig, für meine zu anderen Zwecken angestellten Versuche, welche ja nur kurze Zeit in Anspruch nahmen, eine zehnfach stärkere Concentration anzuwenden; denn mehrere in Leitungswasser erzogene Keimpflanzen von *Pisum sativum*, deren Wurzellänge gegen 50 mm betrug, zeigten, nachdem die Wurzeln $\frac{3}{4}$ Stunden in 0,0003 proc. Lösung von Methylviolett gestanden hatten, keine andere Schädigung, als dass ihre weitere Entwicklung verlangsamt wurde. Die Pfahlwurzel setzte ihre Zelltheilungen am Scheitel fort und liess zahlreiche Seitenwurzeln hervortreten. Ein zweitägiger Aufenthalt in einer Lösung von gleicher Concentration erwies sich freilich als sehr viel nachtheiliger. Auch wenn nachher das Leitungswasser, in welches die Versuchspflanzen zurückversetzt wurden, mehrere Male in mehrstündigen Abständen gewechselt wurde, war die Wurzelspitze nicht mehr zu weiterem Wachsthum zu bewegen, und der obere Theil des Laubsprosses ging zu Grunde. Doch brachen aus den älteren Theilen der Pfahlwurzeln Seitenwurzeln hervor, und die beiden untersten Achselknospen wuchsen zu kräftigen Sprossen aus. Diese Versuchspflänzchen bewahrte ich noch 6 Wochen in lebendem Zustande auf. Andere Versuche, welche mit *Zea Mays* ausgeführt wurden, führten zu ähnlichen Resultaten.

Die zu den nachstehend beschriebenen Versuchen verwendeten Keimpflanzen von *Zea Mays* und *Pisum sativum* wurden in feuchtem Sägemehl bis zur gewünschten Wurzellänge erzogen und dann auf mit weitmaschigem Gewebe versehenen Rahmen zunächst einen oder mehrere Tage in destillirtes Wasser gebracht. Aus diesem wurden sie auf denselben Rahmen in frisch bereitete 0,001 oder 0,003 proc. Lösungen übergeführt.

Einige andere Versuche wurden mit Sandculturen in der bei den Nitrat-Versuchen angegebenen Weise ausgeführt.

Alle Wurzeln und Wurzeltheile wurden vor der Untersuchung mit einem weichen Pinsel in destillirtem Wasser abgewaschen, um den Farbstoff, welcher sich auf der Aussenseite der Wurzel niedergeschlagen hatte, nach Möglichkeit zu entfernen.

1) Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen (Untersuchungen aus dem botanischen Institute in Tübingen, II. (1886), S. 179).

2) Dasselbe wurde unter der Bezeichnung: Methylviolett, B. extra extra von der Actien-Gesellschaft für Anilin-Fabrication in Berlin bezogen.

3) l. c., S. 248.

1. Zea Mays.

A. Wasser-Culturen.

Versuch 38. Gelbfrüchtiger Mais. Die Keimpflanze hatte 5 Tage in destilliertem Wasser gestanden, und die Wurzel war während dieser Zeit bis zu mehr als der doppelten Länge herangewachsen. Länge der Wurzel vor dem Eintauchen in die Farbstofflösung 108 mm.

Ein eine halbe Minute langes Eintauchen in 0,003 proc. Lösung genügte, die Epidermis, soweit sie nicht von der Haube bedeckt war, auf ihrer gesammten Länge deutlich zu färben. In der Region der Haube hatten deren Zellen den Farbstoff aufgenommen. Dicht hinter derselben, in dem noch haarlosen Theile, war in den 2 bis 3 äussersten Zellschichten das Plasma deutlich gefärbt; in den älteren Theilen beschränkte sich die Färbung auf die Epidermis. Sie war hier nicht nur an der Aussenmembran, wo der Farbstoff z. Th. nur an der Oberfläche niedergeschlagen war, sondern auch an den Radialwänden deutlich. Wurzelhaare traten erst in mehr als 15 mm Entfernung vom Scheitel auf.

Versuch 39. Gelbfrüchtiger Mais. Die Keimpflanze hatte 4 Tage in destilliertem Wasser gestanden, und die einzige Wurzel war während dieser Zeit etwa bis zur doppelten Länge herangewachsen. Länge der Wurzel vor Eintauchen in die Farbstofflösung 129 mm.

Ein 1 Minute dauerndes Eintauchen in 0,003 proc. Lösung hatte die Zellen der Haube schwach gefärbt. In dem unmittelbar angrenzenden haarlosen Theile zeigte die Epidermis deutliche, die nächst innere Zellschicht schwächere Färbung. Wurzelhaare treten erst in mehr als 15 mm Entfernung hinter dem Scheitel auf. In den älteren Theilen der Wurzeln waren besonders die Membranen der Epidermiszellen von der Färbung betroffen. Es waren hier nicht nur die Aussen- und Radialwände, sondern auch die Innenwände gefärbt.

Versuch 40. Pferdezahl-Mais. Die Keimpflanze hatte 10 Tage in destilliertem Wasser gestanden, und die zu untersuchende, längste Wurzel war während dieser Zeit etwa bis zur doppelten Länge herangewachsen. Länge dieser Wurzel vor Eintauchen in die Farbstofflösung 82 mm.

Nach 3 Minuten langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung war die Wurzelhaube gefärbt. Unmittelbar hinter derselben zeigte sich Färbung in der Epidermis und der ihr nächstbenachbarten Schicht. Wurzelhaare traten zuerst in etwa 10 mm hinter dem Scheitel hervor und fehlten z. Th. weiter rückwärts. Von 10 mm Entfernung ab war nur die Epidermis und zwar vorwiegend deren Membranen, gefärbt.

Versuch 41. Pferdezahl-Mais. Die Keimpflanze hatte 8 Tage in destilliertem Wasser gestanden, und die zu untersuchende längste Wurzel war während dieser Zeit bis auf 145 mm herangewachsen.

Nach 5 Minuten langem Eintauchen in die Farbstofflösung war die Haube deutlich gefärbt. Weiter rückwärts bis zu 10–15 mm vom Scheitel war die Epidermis sammt den nächsten 1–2 Zellschichten, noch weiter rückwärts war nur die Epidermis deutlich gefärbt. Wurzelhaare traten erst in 40–45 mm Entfernung vom Scheitel auf.

Versuch 42. Pferdezahl-Mais. Die Keimpflanze hatte 8 Tage in destilliertem Wasser gestanden, und die zu untersuchende Wurzel war dabei auf etwa die doppelte Länge (142 mm) herangewachsen.

Ein 10 Minuten langes Eintauchen hatte kein von dem vorigen erheblich verschiedenes Resultat ergeben. Die Wurzelhaare traten schon bei 5–10 mm vom Scheitel auf, fehlten aber weiter rückwärts streckenweise wieder.

Versuch 43. Gelbfrüchtiger Mais. Die Keimpflanze hatte 1 Tag in destillirtem Wasser gestanden, und die zu untersuchende Wurzel hatte sich während dieser Zeit nur wenig verlängert. Ihre Länge betrug zur Zeit der Untersuchung 41 mm.

Ein 22 Stunden langes Eintauchen in 0,003 proc. Farbstofflösung hatte im jüngsten Theile bis zu etwa 15 mm Entfernung vom Scheitel, wo noch keine Haare vorhanden waren, alle Gewebezellen gefärbt. Von da ab, in der Region der Wurzelhaare, beschränkte sich die Färbung mehr und mehr auf die äusseren Partien des Wurzelquerschnittes. Von etwa 80 mm vom Scheitel ab war nur noch die Epidermis mit den Wurzelhaaren gefärbt.

Versuch 44. Gelbfrüchtiger Mais. Die Keimpflanze hatte 1 Tag in destillirtem Wasser gestanden. Die Wurzel hatte sich während dieser Zeit nur wenig verlängert. Zur Zeit der Untersuchung betrug ihre Länge 43 mm.

Ein 23 Stunden langes Eintauchen in 0,003 proc. Farbstofflösung ergab ein dem vorigen ähnliches Resultat. Wurzelhaare traten schon von ca. 10 mm vom Scheitel ab auf.

In den beiden letztbeschriebenen Versuchen zeigte sich an allen stark gefärbten Stellen der Plasmaschlauch stark contrahirt. Es ist deshalb kein Schluss auf die Farbstoffaufnahme in die lebenden Theile der Wurzel gestattet.

B. Sand-Culturen.

Nach Entleerung des Versuchsgefässes in destillirtes Wasser wurden die Keimpflanzen mit der Wurzel in die Farbstofflösung gestellt.

Versuch 45. Pferdezahl-Mais. Sandcultur 19 Tage alt. Untersuchte Wurzel 129 mm lang. Dieselbe hatte eine halbe Minute in 0,003 proc. Farbstofflösung verweilt. Die Wurzelhaube war schwach gefärbt. In dem von der Haube nicht bedeckten Theile war auch da, wo noch keine Wurzelhaare vorhanden waren (— dieselben begannen in ca. 5 mm Entfernung vom Scheitel hervorzutreten —), die Färbung in der Epidermis deutlich, doch war sie nicht weiter nach innen vorgedrungen. Ueber 20 mm vom Scheitel nach rückwärts wurde die Wurzel nicht untersucht.

Versuch 46. Pferdezahl-Mais. Sandcultur 19 Tage alt. Untersuchte Wurzel 107 mm lang

Nach 1 Minute langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung war noch keine Färbung in den allein untersuchten jüngeren Theilen der Wurzel eingetreten.

Versuch 47. Pferdezahl-Mais. Sandcultur 19 Tage alt. Untersuchte Wurzel 151 mm lang.

Nach 1 Minute langem Verweilen in 0,001 proc. Farbstofflösung zeigten sich die Zellen der Haube deutlich gefärbt. Wo die Haube aufhörte, drang die Färbung durch die Epidermis bis zur dritten Schicht vor, auch in dem jüngsten Theile, wo noch keine Wurzelhaare vorhanden waren. Letztere begannen bei etwa 4 mm Entfernung vom Scheitel hervorzutreten. Bis zu 20 mm Entfernung vom Scheitel (— weiter rückwärts wurde die Wurzel nicht untersucht —) beschränkte sich die Färbung mehr und mehr auf die Epidermis.

2. *Pisum sativum*.

A. Wasser-Culturen.

Versuch 48. Ostpreussische Kapuziner-Erbse (Spross 149 mm, Wurzel 101 mm lang).

Nach 5 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigte sich in etwas mehr als 10 mm Entfernung vom Scheitel eine beginnende Färbung der

Epidermiszellen, welche bis zu 40 mm Entfernung deutlicher wurde. Wurzelhaare begannen erst zwischen 25 und 30 mm hervorzutreten. Weiter rückwärts wurde diese Wurzel nicht untersucht.

Versuch 49. Ostpreussische Kapuziner-Erbse (Spross 124 mm, Wurzel 135 mm lang).

Nach 10 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigte sich in 10–15 mm Entfernung vom Scheitel die erste schwache Färbung der Epidermis, welche weiter rückwärts zunahm und bis 50 mm Entfernung recht deutlich wurde. Noch weiter rückwärts wurde die Wurzel nicht untersucht. Die ersten Wurzelhaare begannen zwischen 20 und 25 mm Entfernung vom Scheitel hervorzutreten.

Versuch 50. Gelbe Erbse (Spross 56 mm, Wurzel 86 mm lang).

Nach 10 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung waren die Epidermiszellen schon bei etwa 2,5 mm Entfernung vom Scheitel schwach gefärbt. Bis gegen 15 mm nahm die Färbung zu; von da bis 45 mm nahm sie ab. Weiter rückwärts wurde die Wurzel nicht untersucht. Wurzelhaare traten erst zwischen 15 und 20 mm Entfernung vom Scheitel auf.

Versuch 51. Gelbe Erbse (Spross 59 mm, Wurzel 86 mm lang).

Nach 20 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigte sich schon zwischen 5 und 10 mm Entfernung vom Scheitel schwache Färbung der Epidermis, welche sich bis 35 mm erhielt. Weiter rückwärts wurde nicht untersucht. Wurzelhaare traten erst zwischen 10 und 15 mm hervor.

Versuch 52. Gelbe Erbse (Spross 101 mm, Wurzel 93 mm lang).

Nach 30 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigten sich die Zellen der Wurzelhaube z. Th. deutlich gefärbt. Die Färbung der Epidermis begann bei 5–10 mm Entfernung und war bis zu 45 mm deutlich. Weiter rückwärts wurde nicht untersucht. Die äusserste Rindenschicht war nicht deutlich gefärbt. Wurzelhaare begannen erst bei 15 mm Entfernung sparsam zu erscheinen.

Versuch 53. Gelbe Erbse (Spross 101 mm, Wurzel 92 mm).

Nach 1 Minute langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigten sich die Zellen der Haube kaum merklich gefärbt. Wo letztere aufhörte, begann die Färbung der Epidermiszellen. Sie wurde nur bis 40 mm rückwärts verfolgt. Färbung der äussersten Rindenschicht zweifelhaft. Beginn der Wurzelhaarbildung zwischen 15 und 20 mm vom Scheitel.

Versuch 54. Ostpreussische Kapuziner-Erbse (Spross 127 mm, Wurzel 98 mm lang).

Nach 1½ Stunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung war bei ca. 4 mm Entfernung vom Scheitel die Epidermis sammt den beiden nächsten Zellschichten, bei 5–20 mm und weiter rückwärts die Epidermis sammt der nächsten Schicht gefärbt. Wurzelhaare traten erst bei 15–20 mm vom Scheitel auf.

B. Sand-Culturen.

Versuch 55. Gelbe Erbse (Spross 124 mm, Wurzel 118 mm lang). Sandcultuur 12 Tage alt.

Nach 10 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung zeigten sich in den jüngsten Theilen hinter der Haube die 2 bis 3 äussersten Zellschichten schwach gefärbt. Wurzelhaare waren noch nicht vorhanden. Da, wo dieselben aufzutreten begannen (5–10 mm vom Scheitel), beschränkte sich die Färbung nur auf die Epidermis. Von etwa 40 mm rückwärts war der untere Theil der Wurzelhaare sammt den ihnen benachbarten Epidermiszellen noch nicht gefärbt. Gegen die Basis der Wurzel wurde ihr farbloser Theil immer ausgedehnter.

Versuch 56. Gelbe Erbse (Spross 48 mm, Wurzel 64 mm lang). Sandcultur 10 Tage alt.

Nach 10 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung waren die Zellen der Wurzelhaube gefärbt. Die hinter ihr liegenden 2 bis 3 äussersten Schichten der Wurzelspitze zeigten schwache Färbung. Ein wenig weiter grundwärts (5 bis 10 mm vom Scheitel) traten die ersten Wurzelhaare hervor, welche nur im oberen Theile gefärbt waren. Die zwischen ihnen befindlichen Epidermiszellen zeigten keine Färbung. Bis 40 mm rückwärts, wo die Wurzelhaare länger waren, trat hierin keine Aenderung ein. Der ältere Theil der Wurzel wurde nicht untersucht.

Versuch 57. Gelbe Erbse (Spross 73 mm, Wurzel 61 mm lang). Sandcultur 10 Tage alt.

Nach 15 Secunden langem Verweilen in 0,003 proc. Farbstofflösung waren die Zellen der Haube nur z. Th. gefärbt. Dicht hinter der Haube waren die 2 bis 3 äussersten Zellschichten, von etwa 2,5 mm Entfernung vom Scheitel ab war aber nur die Epidermis gefärbt. Wurzelhaare traten erst zwischen 5 und 10 mm Entfernung vom Scheitel hervor. Hier waren sie ziemlich stark, die zwischen ihnen liegenden Epidermiszellen nur zum Theil gefärbt. Von 10–30 mm rückwärts waren die sehr zahlreichen Wurzelhaare nur im oberen Theile, die zwischen ihnen liegenden Epidermiszellen gar nicht gefärbt. Zwischen 30 und 50 mm waren die Haare ihrer ganzen Länge nach, ebenso auch die zwischen ihnen befindlichen Epidermiszellen gefärbt. Weiter rückwärts wurde nicht untersucht.

3. *Hydrocharis morsus ranae*.

Zu den Versuchen mit Methylviolett wurden ebenso wie zu denen mit Nitraten nur solche Pflanzen verwendet, welche mindestens eine noch in lebhaftem Wachsthum begriffene Wurzel von nicht zu geringer Länge besaßen. Aeusserlich ist die Fortentwicklungsfähigkeit daran kenntlich, dass die von der Haube bedeckte Wurzelspitze einseitig nutirt. Die ganze Pflanze wurde, nachdem sie kurz vorher ihrem natürlichen Standorte entnommen war, eine bestimmte Zeit in 0,003 proc. Methylviolett-Lösung und darauf in destillirtes Wasser gebracht. Die abgetrennte Wurzel wurde unter dem Microscop bei schwacher Vergrößerung in einzelne Stücke zerlegt, und diese, nachdem sie kurze Zeit in Schälchen mit destillirtem Wasser verweilt hatten, untersucht.

Versuch 58. Wurzel 132 mm lang.

Nach 10 Secunden langem Verweilen in der Farbstofflösung waren die Aussenmembranen der Haube sehr schwach gefärbt, während der von ihr umschlossene Theil des Wurzelkörpers (22 mm) ungefärbt war. In den von der Haube entblösten Theilen der Pflanze waren auf der kürzeren, noch haarfreien Strecke (26 mm), als auch weiter basalwärts alle Epidermiszellen schwach gefärbt. In den Epidermiszellen, welche zu Wurzelhaaren auszuwachsen bestimmt waren, und in den auswachsenden Wurzelhaaren war, dem grösseren Plasma-Gehalt entsprechend, die Färbung stärker.

Versuch 59. Wurzel 161 mm lang.

Nach 15 Secunden langem Verweilen in der Farbstofflösung zeigte sich an den Zellen der Haube schwache Färbung der Aussenmembranen. Auch hier [waren die von der Haube bedeckten Theile des Wurzelkörpers (27 mm)] farblos. Im Uebrigen war der Befund dem im vorigen Versuche ähnlich. Haarloser, von der Haube nicht bedeckter Theil der Wurzel 12 mm lang.

Versuch 60. Wurzel 62 mm lang. Der von der Haube bedeckte Theil 17,5 mm lang, der sich anschliessende, haarfreie Theil 4 mm lang.

Nach 20 Secunden langem Verweilen in der Farbstofflösung war die Epidermis des Wurzelkörpers, soweit er nicht von der Haube bedeckt war, durchweg schwach aber deutlich gefärbt. In Entfernung von etwas mehr als 21,5 mm vom Wurzelscheitel war die Färbung stellenweise schwach bis in die äusserste Rindenschicht vorgedrungen.

Versuch 61. Wurzel 72,5 mm lang. Der von der Haube bedeckte Theil 19,5 mm, der angrenzende, haarfreie Theil 6,5 mm lang.

Nach 30 Secunden langem Verweilen in der Farbstofflösung war in dem von der Haube nicht bedeckten Theile des Wurzelkörpers nur in der Epidermis schwache Färbung bemerkbar. Die haarerzeugenden Zellen der Wurzelhaut waren auch in diesem Versuche bevorzugt.

Versuch 62. Wurzel 83,5 mm lang. Der von der Haube bedeckte Theil 21 mm, der angrenzende, haarfreie Theil 4 mm lang.

Nach 1 Minute langem Verweilen in der Farbstofflösung war der Befund dem des vorigen Versuches sehr ähnlich. Die Färbung beschränkte sich in dem von der Haube nicht bedeckten Theile auf die Epidermis und war in den jungen Wurzelhaaren am stärksten. Gegen den basalen Theil der Wurzel beschränkte sich die Färbung mehr und mehr auf die Aussenwand.

Versuch 63. Wurzel 155 mm lang. Der von der Haube bedeckte Theil 24 mm, der angrenzende, haarfreie Theil 6,5 mm lang.

Nach 1 Stunde langem Verweilen in der Farbstofflösung waren alle Schichten der Haube tief gefärbt. In dem von der Haube bedeckten Theile des Wurzelkörpers war die Epidermis im jüngsten Theile nur schwach, im mittleren und älteren Theile stark gefärbt. In dem an die Haube angrenzenden, haarfreien Theile des Wurzelkörpers drang die Färbung bis zum Centralcylinder vor, der selbst aber noch kaum gefärbt war. Von da ab gegen die Wurzelbasis hin beschränkte sich die Färbung mehr und mehr auf den äusseren Theil der Rinde. In 20–30 mm Entfernung vom basalen Ende war nur noch die Epidermis gefärbt.

Versuch 64. Wurzel 152,5 mm lang. Der von der Haube bedeckte Theil 24 mm, der angrenzende, haarfeine Theil 5 mm lang.

Nach 2 Stunden langem Verweilen in der Farbstofflösung war die Färbung am Wurzelscheitel durch die Haube bis in die Epidermis, am unteren von der Haube bedeckten Theile auch bis in die äusserste Rinde vorgedrungen. In etwa 50 mm Entfernung vom Wurzelscheitel war auch der äussere Theil des Centralcylinders gefärbt; weiter basalwärts (etwa 100 mm vom Scheitel rückwärts) nur noch die äussere Rinde.

Die Ergebnisse der vorstehend im Einzelnen besprochenen Untersuchung lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Bei den Wurzeln der Keimpflanzen von *Zea Mays* und *Vicia Faba*, welche in guter Gartenerde erwachsen sind, greift, entgegen der bisherigen Annahme, die Nitrat-Reaction einige Millimeter scheitelwärts über die Region der jüngsten Wurzelhaare hinaus. Bei *Hydrocharis morsus ranae* liess sich in keiner der von mir untersuchten, noch in Längenwachsthum begriffenen Wurzeln, welche dem natürlichen Standorte der Pflanze entnommen waren, Nitrat nachweisen.

2. Keimpflanzen von *Zea Mays* und *Pisum sativum*, welche in gereinigtem Quarzsande erwachsen waren und deren Wurzeln später Nitrate in der KNOP'schen Nährlösung zur Verfügung standen, liessen in einigen Fällen (Versuch 13 und 25) Nitrat-Reaction nicht nur in der Region der Wurzelhaare, sondern auch in der scheitelwärts angrenzenden haarlosen Region erkennen. Bei *Pisum sativum* wurde sogar ein Fall beobachtet (Versuch 25), wo in etwa 4 mm Entfernung vom Scheitel, obschon hier noch keine Wurzelhaare vorhanden waren, deutliche Nitrat-Reaction auftrat, während solche in keinem anderen Theile der Wurzel festgestellt werden konnte.

3. Bei Keimpflanzen von *Zea Mays* und *Pisum sativum*, welche in destillirtem Wasser erzogen waren, traten die ersten Wurzelhaare in grösserer Entfernung hinter der fortwachsenden Wurzelspitze auf. Ihr Vorkommen war sehr unbeständig und ihre Länge meist eine sehr geringe. Von 8 Keimpflanzen, welche in KNOP'sche Lösung gesetzt worden waren, liessen 5 erst in der Region der jungen Wurzelhaare, 3 auch scheitelwärts von derselben, Nitrat-Reaction erkennen (Versuche 2—3, 5—8, 20—21).

4. Bei *Hydrocharis Morsus ranae*, wo die Länge des haarfreien Theiles, welcher einerseits von dem basalen Ende der Haube, andererseits von der Region der jüngsten Wurzelhaare begrenzt wird, erheblich länger ist als bei den vorstehend genannten Pflanzen, wurde an 4 Wurzeln in diesem Theile mit Sicherheit die Anwesenheit von Nitrat erkannt, nachdem die Pflanzen $2\frac{1}{4}$ Stunden bis 4 Tage in 2 pro mille KNOP'scher Nährlösung verweilt hatten (Versuche 28, 30, 32 u. 35).

5. Wässrige Lösung von Methylviolett (meist in einer Concentration von 3 : 100 000 angewendet), färbte die jungen Theile der Wurzeln im Allgemeinen um so rascher, je näher sie der Grenze der Wurzelhaube lagen. Bei allen 3 untersuchten Arten wurde mehrfach festgestellt, dass zu derselben Zeit, wo in dem mit Wurzelhaaren besetzten Theile erst die Epidermis sich gefärbt hatte, in den jüngeren Theilen ausserhalb der Haube die Farbe mehr oder weniger tief bis in die Rinde eingedrungen war (Versuche 38—42, 47, 54—57).

6. Betreffs der Geschwindigkeit des Eindringens zeigte sich Methylviolett den Nitraten bei Weitem überlegen. Wurzeln von *Zea Mays* liessen in Wasser-Culturen erst nach 20 Minuten und auch dann nicht immer (vergl. Versuche 3 und 4) Nitrat mit Sicherheit nachweisen. Bei Sand-Culturen zeigte sich ein Aufenthalt von $1\frac{1}{2}$ Stunden noch nicht hinreichend, um das Eindringen von Nitrat nachweisen zu lassen (Versuch 14). Bei *Pisum sativum* war sowohl bei Wasser-, als bei Sand-Culturen (Versuche 19 und 22) ein halbstündiger, bei *Hydrocharis Morsus ranae* (Versuch 26) ein einstündiger Aufenthalt in der KNOP'schen Nährlösung ungenügend, den Nachweis von Nitrat zu er-

möglichen. Die Färbung der jungen Epidermiszellen durch Methylviolett trat dagegen bei den hierauf untersuchten Arten (*Pisum sativum* und *Hydrocharis Morsus ranae*) schon nach 5—10 Secunden deutlich hervor (Versuche 48—50, 58).

7. Bemerkenswerth sind die grossen individuellen Schwankungen, welche die Wurzeln derselben Art zeigten, sowohl in der Zeit, welche das Eindringen der dargebotenen Lösungen erforderte, als in der Region, in welcher der erste Nachweis gelang. Bei den Nitraten waren in den von mir untersuchten Wurzeln die Verschiedenheiten in dieser Beziehung grösser als bei dem Methylviolett.

34. E. Ule: Beitrag zu den Blütheneinrichtungen von *Aristolochia Clematitis* L.

Eingegangen am 15. October 1898.

Nach meiner Ankunft in Deutschland besuchte ich Ende Juli den botanischen Garten zu Halle, woselbst ich *Aristolochia Clematitis* L. besonders üppig entwickelt antraf; und zwar waren theils reichlich Früchte vorhanden, theils stand sie noch in Blüthe. Da ich kürzlich einige brasilianische Aristolochien eingehend untersucht hatte, war es für mich von besonderem Interesse die Blütheneinrichtungen der europäischen Art zu vergleichen. Hier mussten unbedingt bei der reichlichen Fruchtentwicklung die Vorgänge, welche auch immer zur Befruchtung nothwendig sind, wirksam gewesen sein, und waren von diesem Gesichtspunkte aus die Bedingungen für genaue Beobachtungen günstig. Dagegen gehörten freilich die vorhandenen Blüthen schon einer späteren Periode an, die Pflanze blüht eigentlich nach GARCKE's Flora im Mai und Juni, und zeigten nur in den ersten Tagen, das war Ende Juli, noch Fliegen. Später, also Anfang August und namentlich in einer noch späteren Periode, anfangs September, waren fast keine Fliegen mehr anzutreffen. Immerhin bin ich in meinen Untersuchungen einen Schritt weiter als HILDEBRAND gekommen und habe einige interessante Analogien mit *Aristolochia*-Arten von Brasilien aufgefunden.

Weit über hundert Blüthen sind von mir nun zu verschiedenen Tageszeiten untersucht worden, dabei wurde bei mehreren, die mit einem Zweige in ein Glas mit Wasser gestellt waren, Zeichen gemacht,

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: [16](#)

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

Artikel/Article: [Ueber den Ort der Nährstoff-Aufnahme durch die Wurzel.
216-236](#)