

Über die Veränderungen im anatomischen Bau der Wurzel während des Winters.

Aus der Abteilung für Pflanzenkrankheiten des Kaiser-Wilhelms-Instituts
für Landwirtschaft in Bromberg.

Von

Menko Plaut.

Mit Tafel IV u. V.

Paul Siedler¹⁾ gibt an, daß zwar die subepidermalen Schichten einiger Wurzeln der Koniferen oft eine erhebliche Resistenz gegen konzentrierte Schwefelsäure zeigen, „doch komme den Zellen des Rindengewebes eine bestimmte Differenzierung hinsichtlich der Anordnung und des Inhaltes nicht zu“. Ich habe vor kurzem gezeigt²⁾, daß jene äußeren Partien der Wurzelrinde eine wichtige histologische Eigenschaft besitzen, die dadurch besonders interessant erscheint, daß sie einige Familien stets aufweisen, während sie bei anderen fehlt. Legen wir die mit Eau de Javelle vorbehandelten Querschnitte verschiedener Gymnospermenwurzeln in Sudanglyzerin, so finden wir, daß die Wurzeln der Cycadeen, der meisten Taxaceen, der Cupressineen und Taxodien in der äußeren Rinde ein oder mehrere Schichten besitzen, deren Zellmembranen sich mit dem Reagens rot färbende Suberinlamellen erkennen lassen. Wir nennen diese Schichten Intercutis (s. Krömer S. 32³⁾). Im Gegensatz zu den oben erwähnten Familien fehlt sie in der Regel den Abietineen und Gnetaceen. Während echte Intercutisbildung den Pteridophyten vollkommen abgeht — sie kommt nur Selaginellaceen zu, die auch eine besondere Stellung durch die zuweilen vorkommende Tertiär-endodermis einnehmen (vergl. Mager, S. 26ff.) — findet sie sich

1) Paul Siedler, Über den radialen Saftstrom in den Wurzeln. Cohns Beitr. zur Biologie der Pflanzen, V. Bd., 1892, S. 421.

2) M. Plaut, Untersuchungen über die physiologischen Scheiden der Gymnospermen, Equisetaceen und Bryophyten. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLVII, Heft 2.

3) K. Krömer, Wurzelhaut, Hypodermis und Endodermis der Angiospermenwurzel, Stuttgart 1903, Bibl. bot. Bd. 59.

also recht verbreitet unter den höher als diese entwickelten Gymnospermen. Die Art ihres Vorkommens spricht dafür, daß nicht sowohl die Lebensweise der Gewächse, als wie die Phylogenie ihr Auftreten beeinflußt, ebenso wie das Vorkommen von Primär-, Sekundär- und Tertiäreendodermis phylogenetisch bedingt zu sein scheint. Die Eusporangiaten, die Marattiaceen und Ophioglossaceen weisen nach den Untersuchungen von Rumpf und Baesecke ebenso wie die ältesten Leptosporangiaten, z. B. *Osmunda*, *Todea* und *Trichomanes* Primäreendodermis auf. Die Auflagerung der Suberinlamelle auf die Primärmembran der Endodermis ist für sämtliche Gymnospermen charakteristisch, sie gleichen in dieser Beziehung den jüngeren Farnen der leptosporangiaten Reihe. Die von Rumpf (S. 29) z. B. bei *Struthiopteris germanica*, *Alsophila australis* und *Onoclea sensibilis* beobachtete halbseitige Auflagerung der Suberinlamellen kommt ihnen nicht mehr zu. Wie sich weiter herausgestellt hat, kann die Abnahme der Breite des Casparyschen Streifens nicht als phylogenetisches Merkmal angesehen werden, wie das Rumpf noch annahm.

Es hat sich nun gezeigt, daß Zellen mit Korklamellen auch bei einer großen Reihe von Formen im Winter in der Wurzelhaube angetroffen werden. Nachdem H. Müller¹⁾ im Marburger Institut die Erscheinungen der Metacutisierung der Wurzelspitze bei einer Anzahl ausdauernder Monokotyledonen gefunden hatte, sie aber bei einjährigen Pflanzen nicht nachweisen konnte, fand ich²⁾ diese Verhältnisse, viel schöner und mannigfaltiger in den Typen, bei den Gymnospermen ausgeprägt. Ich muß bezüglich der Einzelheiten auf die Arbeit selbst verweisen. Die Entwicklungsgeschichte und Einzelheiten für eine bestimmte Pflanze habe ich in derselben kaum erörtert. Deshalb habe ich in diesem Winter meine Untersuchungen an *Taxus baccata* fortgesetzt. Bei der Wurzelspitze der Eibe habe ich den Typus III festgestellt: Eine Intercutis ist vorhanden, es wird eine Verbindung durch metacutisierte Zellen mit der Sekundäreendodermis hergestellt, außerdem setzen sich die metacutisierten

1) Hch. Müller, Über die Metacutisierung der Wurzelspitze und über die verkorkten Scheiden in den Achsen der Monokotyledonen. Bot. Zeit. 1906.

2) Leider sind in meiner erwähnten Arbeit einige sinnstörende Druckfehler. Ich bitte zur Besprechung der Gymnospermen die Figuren-Erklärung auf S. 184, nicht die Texthinweise heranzuziehen. S. 156 muß es statt *Pinus Pinsapo Abies Pinsapo* heißen, auf S. 184 ist zu berichtigen, daß die Suberinlamelle bei Fig. 12, nicht bei Fig. 13 zu sehen ist. Auf S. 149 muß bei II. *Podocarpus* gestrichen werden. S. 185 Z. 3 lies mehrschichtiges.

Wurzelhaubenzellen an die Intercutis an. Dieser Fall ist der komplizierteste.

Zunächst noch einige Bemerkungen über den Bau einer älteren *Taxus*-Wurzel. Wir haben hier ein einschichtiges, distinktes Primitiv-epiblem (s. Plaut S. 132, 146) mit verholzten äußeren Tangential- und Radialwänden; dasselbe wird oft abgestoßen; darunter befindet sich eine ein- bis zweischichtige Intercutis, deren Zellen eine verholzte Primärmembran und eine aufgelagerte Suberinlamelle zeigen. Läßt man Wurzelquerschnitte von *Taxus* 12 Stunden in Eau de Javelle, so heben sich die Suberinlamellen faltig von der Primärmembran ab. Dann folgt meist eine Reihe von Zellschichten mit endotropher *Mycorrhiza* (s. von Tubeuf¹⁾, p. 43). Die Intercutiszellen sind stets frei vom Pilz. Leider konnte ich bei Burgeff²⁾ keine genauen Angaben finden, wie sich die von ihm untersuchte *Mycorrhiza* der Orchideen zur Intercutis verhält. K. Shibata³⁾ schreibt: „Einige der äußersten Zellschichten der Knöllchen von *Podocarpus chinensis* und *P. Nageia* beherbergen meist keine oder nur spärliche, derbe Pilzfäden, die eine ungemein dicke Wand besitzen.“ *Podocarpus chinensis* besitzt keine Intercutis, wir können also anscheinend nicht ohne weiteres schließen, daß es die Intercutis ist, welche die Pilzbildung in den äußeren Schichten verhindert. H. v. Alten⁴⁾ bemerkt, daß verkorkte Lamellen den Pilzhypen unüberwindbare Schranken zu sein scheinen, während verholzte Membranen von ihnen durchbohrt werden.

Mit welchem Stoff die Verdickungen der Φ -Zellen, die außerhalb der Endodermis liegen, imprägniert sind, ist zweifelhaft, da zwar die von Reinke beschriebene Veränderung mit Äther eintritt, dagegen die Harzreaktionen fehlschlagen. Mit Phloroglucinsalzsäure werden dieselben intensiv rot, mit Anilinsulfat gelb, mit salzsaurem Dimethylamidoazobenzol (s. p. 150) rot, mit Sudanglyzerin, Indophenol und Gelbglyzerin tritt keine Färbung ein. Mit den erwähnten Holzreagentien, insbesondere mit dem ersten und dritten, habe ich beobachtet, daß die Verdickungen sich nach voraus-

1) von Tubeuf, Die Haarbildungen der Coniferen. Forstl. naturwissenschaftl. Zeitschrift, 1896.

2) Burgeff, Die Wurzelpilze der Orchideen. Jena 1909.

3) K. Shibata, Cytologische Studien über die endotrophen Mycorrhizen. Pr. 1902, Bd. 37, S. 645.

4) H. v. Alten, Beiträge zur vergleichenden Anatomie der Wurzeln nebst Bemerkungen über Wurzelthyllen, Heterorhizie und Lentizellen, 1908, S. 97.

gegangener kurzer Eau de Javelle-Behandlung nicht gleichmäßig tingieren. Man sieht die Mittellamelle intensiv kirschrot gefärbt, dann eine Partie, die sich etwas schwächer färbt, und schließlich ganz außen zwei Schalen, die farblos bleiben (s. Tafel IV, Fig. 4). Die Primärmembran ist $0,3 \mu$ dick, der sich färbende Teil $4,7 \mu$, der farblose (eine Schalenhälfte) $3,9 \mu$. Manchmal kann in die unverholzte Partie eine oder mehrere verholzte Lamellen eingelagert sein.

Es fiel mir bei Sudanpräparaten auf, daß ab und zu eine Metacutisierung auch in den Φ -Zellen eintreten kann (übrigens können auch einzelne metacutisierte Zellen in der übrigen Rinde sich finden. Auf einem Querschnitt einer *Taxus*-Wurzel fand ich 56 metacutisierte Rindenzellen, abgesehen von der Intercutis). Dann sieht man eine feine Suberinlamelle über die Verdickungen hinweglaufen. Die eben erwähnte Tatsache ist keineswegs leicht zur Beobachtung zu bringen, aber bei Anwendung von Immersion kann man sich schon davon überzeugen. Auf einem Querschnitt durch einen etwas älteren Teil der Wurzel habe ich höchstens 1—2 solcher metacutisierter Φ -Zellen gesehen; sie sind aber keine Regel und liegen, soviel ich beobachten konnte, nicht an bestimmten Stellen. Unter der Φ -Zellenschicht liegt die Sekundärendodermis. Die Suberinlamelle ist mit alkoholischer Kalilauge verseifbar; färbt man mit Scharlachglyzerin und setzt dann konz. Schwefelsäure zu, wobei die Flüssigkeit sich intensiv blau färbt, so werden die Suberinlamellen eine Zeitlang blau, während die Kohlenhydratlamellen in Lösung gehen. Mit konz. Glyzerin lassen sich Korkstoffe nicht ausschmelzen.

I. Über die Metacutisierung der *Taxus*-Wurzelspitze.

A. Biologisches.

Am 4. Dezember 1909 besorgte ich mir von einem Freilandexemplar von *Taxus baccata* Wurzeln. Strasburger ¹⁾ schreibt schon 1872, S. 343: „Bei *Taxus* ist die Grenze zwischen den aufgelockerten Periblemmänteln, d. h. der eigentlichen Wurzelhaube und den sich noch forteilenden lebenskräftigen Teilen des Periblems schärfer als in den anderen Fällen und wird an dieser Stelle roter Farbstoff ausgeschieden; er erscheint schon dem unbewaffneten Auge als rotumschriebener Fleck an der Wurzelspitze.“ Dieser intensiv braune Fleck zeigt uns schon makro-

1) E. Strasburger, Coniferen und Gnetaceen, Jena 1872.

skopisch die Metacutisierung an, allerdings meist schon im entwickelten Stadium. Stärkere Braunfärbung ist oft an den Wurzelkappen zu erkennen. Ich fand zu der oben angegebenen Zeit nicht so viel metacutisierte Spitzen als ich gedacht hatte. Es war vom 1. bis 4. Dezember durchschnittlich $3,4^{\circ}$ warm. Im vorigen Jahre hatte ich im Dezember in Marburg die Metacutisierung reichlich beobachtet. Daß in diesem Jahr ein zeitliches späteres Eintreten der Metacutisierung als im vergangenen wahrscheinlich ist, kann aus der Verschiedenheit der beiden Winter¹⁾ schon geschlossen werden.

Vergleichstabelle der Winter 1908/09 und 1909/10 für Bromberg²⁾.

Monat	Temperaturmittel		Normal	Abweichung vom normalen Temperaturmittel	
	Winter 1908/09	Winter 1909/10		Winter 1908/09	Winter 1909/10
Oktober	7,2	10,1	7,9	- 0,7	+ 2,3
November	- 0,2	+ 1,5	2,3	- 2,6	- 0,8
Dezember	- 3,3	+ 0,8	- 1,1	- 2,2	+ 1,9
Januar	- 3	+ 0,6	- 2,8	- 0,2	+ 0,8
Februar	- 4,5	+ 2,3	- 1,7	- 2,8	+ 4,0
März	- 0,2	+ 2,7	+ 1,2	- 1,4	+ 1,5
Temperaturmittel des Winters 1908/09			- 0,65	Abweichung	- 1,633 ^o
" " " 1909/10			+ 3.	"	+ 1,12 ^o
" normal			+ 0,983		
" von Oktober—Dezemb. 1908/09			+ 1,56	"	- 1,47 ^o
" " " " 1909/10			+ 4,13	"	+ 1,1 ^o
" normal			+ 3,03		

In der ersten Woche des Februars nahm ich wieder Wurzeln und fand jetzt zahlreiche mit den braunen Käppchen versehen. Einige entstammten einem vereisten Erdklumpen.

B. Untersuchungsmethode.

Während ich bei meiner ersten Arbeit größtenteils nur Rasiermesserschnitte von mit Alkohol konserviertem Material anfertigte, dieselben mit Eau de Javelle behandelte und mit Sudanglyzerin färbte, konservierte ich die *Taxus*-Wurzelspitzen in Chromessigsäure, brachte dieselben nach Passage der Alkoholreihe (25, 35, 45

1) Ich verdanke die folgenden Daten Herrn Dr. Treibig, dem Leiter der Wetterdienststelle zu Bromberg.

2) Für Marburg liegen die Verhältnisse in dieser Hinsicht ähnlich wie für Bromberg.

bis 100 %) in Paraffin und schnitt sie mit dem Mikrotom (6 μ). Wenn wir es auch bei allen Suberinlamellen wahrscheinlich mit einer Einlagerung von fettartigen Stoffen verschiedener Zusammensetzung zu tun haben (s. Kügler¹⁾), da sie verseift werden können und sich mit sämtlichen Fett färbenden Stoffen ebenfalls deutlich machen lassen, so ist doch bekannt, daß diese Korkstoffe oft in Alkohol, Xylol und Chloroform unlöslich sind. Ebenso werden die Suberinlamellen der Eibenwurzel durch Fettlösungsmittel nicht verändert.

Alle Schnitte von einer Serie wurden aufgeklebt mit Ausnahme von 3—4, die ungefähr Medianschnitte waren. Die letzteren wurden im Uhrschälchen mit Xylol aufgefangen, in Wasser überführt, mit Eau de Javelle und Sudan behandelt. Alle übrigen kamen aus Wasser oder besser aus 50 % Alkohol ohne Eau de Javelle-Behandlung in Sudanglyzerin, und zwar wurde das Reagens auf den Objektträger gegeben und das Deckglas aufgesetzt. Einstellen der Schnitte in eine Sudanlösung bewährte sich aus mir unerfindlichen Gründen schlecht, auch als die Lösung auf 40° gehalten wurde. Die metacutisierten Zellen färben sich ebenso wie die Intercutis und die Sekundärendermis nach wenigen Minuten in der Kälte. Dann wurden die Schnitte, nachdem sie am besten bis zum nächsten Tag mit Sudanglyzerin bedeckt waren, in das neue Mayersche Hämalan³⁾ gebracht. Neuerdings verwende ich auch Eisenhämatoxylin-Eosin (sehr verdünnt) mit folgender Glycerinbehandlung; die Präparate werden in Glycerin aufbewahrt und abgeschlossen mit dem sehr praktischen venetianischen Terpentin (vergl. Lee und Mayer, 1907, S. 246). An Stelle von Sudan kann man mit gutem Erfolge auch Gelbglycerin verwenden.

C. Entwicklungsgeschichte der Metacutisierung.

Das erste Stadium der Metacutisierung, das ich fand, ist Taf. IV Fig. 1 dargestellt; es ist erst eine Schicht an den Flanken, zwei Schichten an der Spitze umgewandelt; ein Anschluß an die Inter-

1) R. Kügler, Über das Suberin. Inaug.-Diss. Straßburg 1884, S. 43, dazu Kroemer, l. c. p. 2 ff.

2) Ich stelle jetzt Sudanglyzerin auf folgende Weise her. Sudan wird auf dem Wasserbad in heißem Alkohol gelöst, die konzentrierte Lösung wird filtriert und ihr daselbe Volumen konz. reines Glycerin zugesetzt, event. dann nochmals filtriert. Diese Flüssigkeit färbt schon in der Kälte innerhalb weniger Minuten Suberinlamellen. Auf dieselbe Weise habe ich mir hergestellt Gelbglycerin, Indophenol, Scharlach, Orlean, Fettblau.

3) Vgl. Behrens, Tabellen, 1908, S. 113.

cutis ist zu beobachten, wenn auch noch Embryonalintercutiszellen vorhanden sind. Die Sekundärendodermis reicht noch nicht bis zu dem Spitzenabstand, den sie später erreicht. Ich fand auch die Sekundärendodermiszellen nicht auf dem ganzen Umfang bis zu diesem Abstand gleichmäßig entwickelt; wie man aus der Fig. 1 ersieht, reichten sie auf der linken Seite weiter nach der Spitze hin, als auf der rechten. In einem weiteren Stadium findet man mehr Reihen von metacutisierten Zellen, immer wieder an der Spitze mehr als an den Flanken, darüber gelagert meist eine Schicht von Zellen ohne Suberinlamellen. Vielfach sind die metacutisierten Zellen auf den beiden Flanken kleiner als an der Spitze. Plasma und Zellkerne sah ich in ihnen an den nach obiger Methode angefertigten Präparaten nur in seltenen Fällen. Versuche, durch Plasmolyse den Plasmaschlauch nachzuweisen, habe ich noch nicht angestellt. Die innerste metacutisierte Schicht ist auch durch braune Inhaltsstoffe meist intensiver gefärbt, als die anderen umgewandelten Zellen. Die Endodermis reicht in diesem Stadium bis zu einem Spitzenabstand von 664μ .

An den beiden Enden der metacutisierten Wurzelhaube, in der Richtung *AB*, sieht man einen Pfropfen von metacutisierten Zellen sich bilden, der nach dem Ende der Endodermis hin gerichtet ist. Ein ähnlicher Pfropf bildet sich später auch in der Nähe des Endstückes der Endodermis. Diese beiden Pfropfen vergrößern sich, indem immer mehr Rindenzellen eine Suberinlamelle erhalten. In diesem Stadium sieht man einzelne Rindenzellen, welche weder mit dem Außen- noch mit dem Innenpfropf in Verbindung stehen, metacutisieren. Bald darauf bildet sich das Zwischenstück vollständig aus, indem es erst einreihig in der Mitte wird und schließlich aus zwei, drei, ja vier metacutisierten Zellagen besteht (siehe Fig. 7, 8). Der Unterschied in der Menge des Plasmahaltes zwischen nicht metacutisierten Zellen und denen, die es sind, ist sofort in die Augen springend.

Wir haben es hier sicherlich mit einer Regulierung der physiologischen Ernährungsverhältnisse zu tun. Die Verbindung des Zentralzylinders und der reichlich Plasma und große Zellkerne enthaltenden Initialzone ist offensichtlich leichter als die Verbindung mit der Rindenpartie, die nach allen Seiten hin abgeschlossen wird. Warum gerade *Taxus* eine solch eigentümliche Einrichtung aufweist, während andere Koniferen viel einfachere Abschlußtypen besitzen, ist vorläufig noch vollkommen unklar. Jetzt schon biologische Deutungsversuche zu unternehmen, ist zwecklos, so lange wir diese

ganzen Verhältnisse so wenig kennen, und wir ständig auf ganz neue Typen stoßen können. Die Funktion des Zwischenstückes ist vorläufig genau so rätselhaft, wie die jenes metacutisierten Zellstranges, den ich in so großer Verbreitung im Zentralzylinder der Koniferennadel nachgewiesen habe¹⁾. Jedenfalls müssen wir versuchen, ob wir die Faktoren, die zu beiden Bildungen führen, ermitteln können.

Noch einige Bemerkungen über die einzelnen bei *Taxus* vorkommenden metacutisierten Zellen. Die Primärmembran ist verholzt (Anilinhydrochlorat, Phloroglucinsalzsäure). Dann folgt die Suberinlamelle, die sich aber hier nur selten faltig abhebt; nach 13stündiger Eau de Javelle-Behandlung sieht man auch hier die Wellung.

Ein instruktives Präparat erhält man, wenn die mit Sudan-glyzerin gefärbten Schnitte in Anilinsulfat untersucht werden. Verholzung und Verkorkung ist dann deutlich zu erkennen. Ich habe eine Reihe von Fettreagentien auf ihre Brauchbarkeit zur Suberinfärbung geprüft, weil ich glaube, daß es mit ihnen möglich sein wird, die verschiedene Zusammensetzung der Suberinlamellen in den Geweben derselben Pflanze sinnfällig zu machen³⁾. Bekanntlich verhalten sich die Korksubstanzen recht verschieden in bezug auf ihre Schmelzbarkeit in Glycerin und sind mit alkoholischer Kalilauge verschieden rasch verseifbar, indem sie bald nichtlösliche, bald schnelllösliche Produkte geben. Auch gegen Eau de Javelle sind sie sehr verschieden resistent (vgl. z. B. die Zusammenstellung für die Suberinlamellen verschiedener Farne bei Baesecke, S. 65 und van Wisselingh²⁾, 1892).

Als ein sehr schönes Reagens kann ich Dimethylamidoazobenzol empfehlen; dasselbe wurde zuerst von A. Meyer⁴⁾ zur Fettfärbung bei Bakterien benutzt. Lagersheim⁵⁾ verwendete es zur Färbung von Cuticula und cutisierten Lamellen (über die Her-

1) Plaut, a. a. O., S. 127.

2) C. van Wisselingh, Sur la lamelle subéreuse et la cutine. Extrait des Archives Néerlandaises, Tome XXVI, 1892, p. 305—353.

3) Während Sudan und Scharlach die Cuticula und die radiale Primärmembran der Epidermis von der Nadel von *Pinus silvestris* etwa gleich gut färben, ist die Affinität des erstgenannten Reagens zur metacutisierten Platte und zu den metacutisierten Steinzellen größer.

4) A. Meyer, Über Geißeln, Reservestoffe, Kerne und Sporenbildung der Bakterien. Flora, Bd. 86, 1899, S. 433.

5) G. Lagersheim, Nagla nya kork reagens. Svensk Farmaceutisk Tidskrift 1902.

stellung desselben siehe S. 148). Das Reagens gibt eine schöne Gelbfärbung der Suberinlamellen der Intercutiszellen, der metacutisierten Wurzelhaubenzellen und der Endodermzellen. Später (verschieden nach der Konzentration der Lösung) färben sich auch die verholzten Zellwände mehr oder weniger gelb. Doch kann man verholzte und verkorkte Lamellen unterscheiden, wenn man den Tropfen Gelblösung mit einem Tropfen verdünnter Salzsäure mischt; es entsteht augenblicklich das prachtvoll fuchsinrot aussehende Salz, dessen Lösung die Eigenschaft besitzt, nur die verholzten Membranen intensiv rot zu färben. Ich habe tadellose Resultate bei der Prüfung der Gefäße und anderer verholzter Teile von *Taxus*, der Zuckerrübe, der Nadel von *Pinus silvestris*, der Maiswurzel und der Kartoffelknolle erhalten. Auch für den Nachweis des Casparyschen Streifens ist dasselbe ebenso brauchbar, wie Methylenblaulösung und Phloroglucin. Der Streifen in den Endodermzellen der oberirdischen Achse von *Equisetum silvaticum* war damit gut sichtbar. Selbst im Sekundärzustand der Endodermis von *Taxus baccata* war derselbe leicht zu erkennen. Einige Wochen hält sich die Färbung mindestens. Die Präparate wurden jedesmal mit einem mit Anilinsulfat und einem mit Phloroglucin gefärbten Schnitt verglichen. Setzt man Ammoniak hinzu, so verschwindet die Rotfärbung und die gelbe Farbe tritt hervor. Diese ist dann geeignet, wieder die Suberinlamelle zu färben; doch färben sich auch die verholzten Teile gelblich.

Weiter wurde das von Sonntag¹⁾ empfohlene Orlean ausprobiert. Die Sudanpräparate geben bessere Präparate, wenigstens bei den von mir untersuchten Objekten. Daß der Zusatz von Alkali zur Scharlachlösung die Rotfärbung der Suberinlamelle intensiver macht, konnte ich nicht beobachten. Herxheimer²⁾ hat denselben für die Fettfärbung empfohlen. Indophenol färbt auch Holz (mit Sudan-Indophenol kann man brauchbare Doppelfärbungen erzielen); etwas weniger hält Lignin das von Lagersheim angewandte Fettblau (Merk) zurück.

1) Sonntag, Über Orlean, einen neuen Korkfarbstoff. Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie, 1907.

2) G. Herxheimer, Über Fettfarbstoffe. Deutsche medizin. Wochenschrift, Bd. 27, 1901, Nr. 36, S. 607—609.

II. Über die Metacutisierung der Dicotylen-Wurzelspitze.

Nachdem schon früher die Vermutung nahe lag, daß die Metacutisierung der Wurzelspitze auch bei Dicotylen vorkommen könne (denn Kroemer konnte die Erscheinung entgangen sein, da er nicht speziell auf diesen Punkt sein Augenmerk richtete), so wurde ich durch eine Bemerkung Wolperts¹⁾ veranlaßt, der Frage näher zu treten. „Die Wurzelanschwellungen der Erlen bilden korallenförmige, kurze vielverzweigte Ästchen, die an ihrer Spitze durch einen Vegetationspunkt wachsen und sich gabelartig verzweigen und oft zu faustgroßen, knollenartigen Komplexen vereinigt sind. Sie sind oft von einer Korkhaut bedeckt, welche auch den Vegetationspunkt umzieht.“

Ich untersuchte daraufhin Wurzelspitzen der Keimlinge von Erlen, Buchen, Birken und Eichen, die im Februar konserviert wurden. Herr Professor Büsgen von der Forstakademie in Münden hatte die Liebenswürdigkeit, mich mit verschiedenem Material zu versehen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank ausspreche. Ich fand bei *Alnus glutinosa* an nach obiger Methode angefertigten Präparaten im Bereich der Wurzelhaube ohne jeden Zweifel eine ein- bis zweischichtige Zone von metacutisierten Zellen; die Metacutisierung hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem *Cycas*-Typus, den ich in Pringsheims Jahrbüchern, T. VI, Fig. 28 gezeichnet habe. Ich gebe hier die Abbildung eines Längsschnittes durch eine Erlenwurzel; leider ist hier der mediane Schnitt der Serie, der in Sudanglyzerin beobachtet wurde, bei der Färbung mit Hämatoxylin verloren gegangen. Ebenso konnte ich die Erscheinung an einer Reihe von mit dem Rasiermesser geschnittenen Wurzeln, die übrigens mit dem Binokular ausgesucht wurden, von *Fagus silvatica*, *Quercus sessiliflora* und *Betula alba* sicher feststellen. Man kann sich leicht ein Habitusbild verschaffen, wenn man ein kleines, möglichst dünnes Wurzelästchen mit einer Reihe von Seitenwurzeln in einem Uhrschälchen mit Eau de Javelle kocht, dann in salzsäurehaltigem Wasser wäscht und schließlich auf eine Stunde oder länger in Sudanglyzerin legt.

Über die Metacutisierung der dicotyledonen Wurzelspitze, die hiermit für einige Fälle sicher festgelegt ist, werde ich später, wenn ich mehr Fälle untersucht habe, eingehend mit zugehörigen Zeichnungen berichten²⁾.

1) Josef Wolpert, Die Mycorrhizen von *Alnus alnobetula*. Flora 1909, p. 60.

2) Herr Professor Meyer machte mich, als diese Arbeit bereits im Druck war, auf eine Arbeit Kroemers (Geisenheimer Berichte 1907 Verlag von Parey S. 182 ff.)

III. Allgemeine Folgerungen.

Bis jetzt sind also nur Fälle der Metacutisierung der Wurzelspitze bekannt bei Pflanzen, welche perennieren. Es ist natürlich sehr interessant zu erfahren, ob ihnen allen jene Erscheinung zukommt, ob es Ausnahmefälle gibt, oder ob sie großen Gruppen prinzipiell fehlt, während sie bei anderen sich findet. Gibt es noch mehr Typen als die bisher bekannten, was lehrt uns eine vergleichende Entwicklungsgeschichte der Erscheinung? Kann diese künstlich auch durch äußere Einflüsse hervorgebracht werden¹⁾ oder tritt sie periodisch auf als innere Korrelationserscheinung? Unsere Notizen über die Zeit des Auftretens und Verschwindens sind noch fragmentarisch. Veranlaßt plötzlich eintretende Kälte des Bodens die Bildung von metacutisierten Zellen? Kann die durch die Eisbildung veranlaßte Trockenheit des Bodens sie bewirken? Tritt sie auch in Wasserkultur auf, auch wenn das Medium höhere Temperaturen aufweist? Tritt sie bei verschiedenen Pflanzen zur selben Zeit ein, oder ist sie so verschieden wie die Blütezeit? Tritt sie bei den Familien gleichzeitig ein? Gibt es prinzipielle Unterschiede in der Physiologie der Erscheinung bei Gymnospermen, Monocotylen und Dicotylen? Wenn es mir auch unwahrscheinlich vorkommt, so müßte doch insbesondere bei den Baumfarne, den Selaginellen und *Isoetes* nachgesehen werden.

Weiter soll festgestellt werden, wie sich die metacutisierte Wurzel physiologisch von der nicht metacutisierten unterscheidet. Es ist notwendig festzustellen, ob sie überhaupt geotropisch reagiert und wenn, ob die Reizzeit dieselbe ist? Wie reagiert sie chemotropisch, galvanotropisch? Wie verhält sie sich, wenn die Spitze vor Ausbildung der Metacutisierung weggeschnitten und wie, wenn sie später abgenommen wird? Auch wissen wir nicht, ob alle Wurzelspitzen einer Pflanze im Winter sich so ändern oder nur einige (die Spitzen der jüngsten Nebenwurzeln metacutisierten jedenfalls).

„Über die Bewurzelung der Rebe“ aufmerksam. Kroemer beschreibt hier die Metacutisierung der Wurzelspitze der Rebe. Die Erscheinung tritt nach seinen Beobachtungen im Spätherbst ein.

1) Daß die Endodermisbildung durch äußere Faktoren beeinflusst werden kann, haben Pethybridge (1899) und Gerneck (Diss. Göttingen 1902, S. 41) gezeigt. Die Zellen der Endodermis von der Mais- und der Weizenwurzel waren in destilliertem Wasser viel stärker verdickt als in der Nährlösung. Die Endodermis der Weizenwurzel verdickt unter dem Einfluß von Chloriden, KNO_3 und KH_2PO_4 ihre Wandungen, während $Ca(NO_3)_2$ die schwächste Verdickung aufweist.

Ob die aufgestellten vier Typen sich bewähren werden, oder ob, nachdem erst mehr Formen, insbesondere auch entwicklungs-geschichtlich auf alle diese Fragen hin untersucht sind, beispielsweise ob Typus IV (eine Intercutis ist vorhanden, es wird eine Verbindung durch metacutisierte Zellen mit der Sekundärendermis hergestellt; ein Anschluß an die sich ziemlich spät bildende Intercutis findet nicht statt) wegfallen kann, indem der Anschluß noch gefunden wird, müssen zukünftige Untersuchungen zeigen. Daß auch die genauere Kenntnis des Eigenschutzes der Pflanze im Winter einen Einfluß auf die Behandlung der Kulturpflanzen während der kalten Periode gewinnen kann, ist wahrscheinlich. Wir werden auf diese Weise einen Einblick in die Physiologie der Ruheperiode erhalten, so daß auch unsere Vorstellungen über die Rolle der Wurzeln während des Ablaufes pflanzlicher Entwicklung sich noch weiter klären werden.

Figuren-Erklärung.

Die Zeichnungen 2, 4, 5, 6 wurden mit dem Abbeschen, die übrigen mit dem großen Edingerschen Apparat (Winkel) aufgenommen. Mit Ausnahme von Fig. 3 beziehen sich alle auf in Chrom-Essigsäure konserviertes Wurzelmaterial von *Taxus baccata*.

Tafel IV.

Fig. 1. Anfangsstadium der metacutisierten Wurzelhaube. An der Spitze zwei Schichten, an den Seiten eine metacutisiert, Sekundärendermis, von dem Verbindungsstück ist noch nichts zu sehen. Hämalaun-Sudanglyzerin.

Fig. 2. Intercutiszellen in der Aufsicht.

Fig. 3. Längsschnitt durch die Wurzelspitze von *Alnus glutinosa*. An der Spitze zwei, an der Seite eine Zellschicht metacutisiert.

Fig. 4. Φ -Zellen mit angrenzender Sekundärendermis, Eau de Javelle, Sudanglyzerin, Anilinsulfat. *a* Mittellamelle, *b* verholzter, *c* unverholzter Teil.

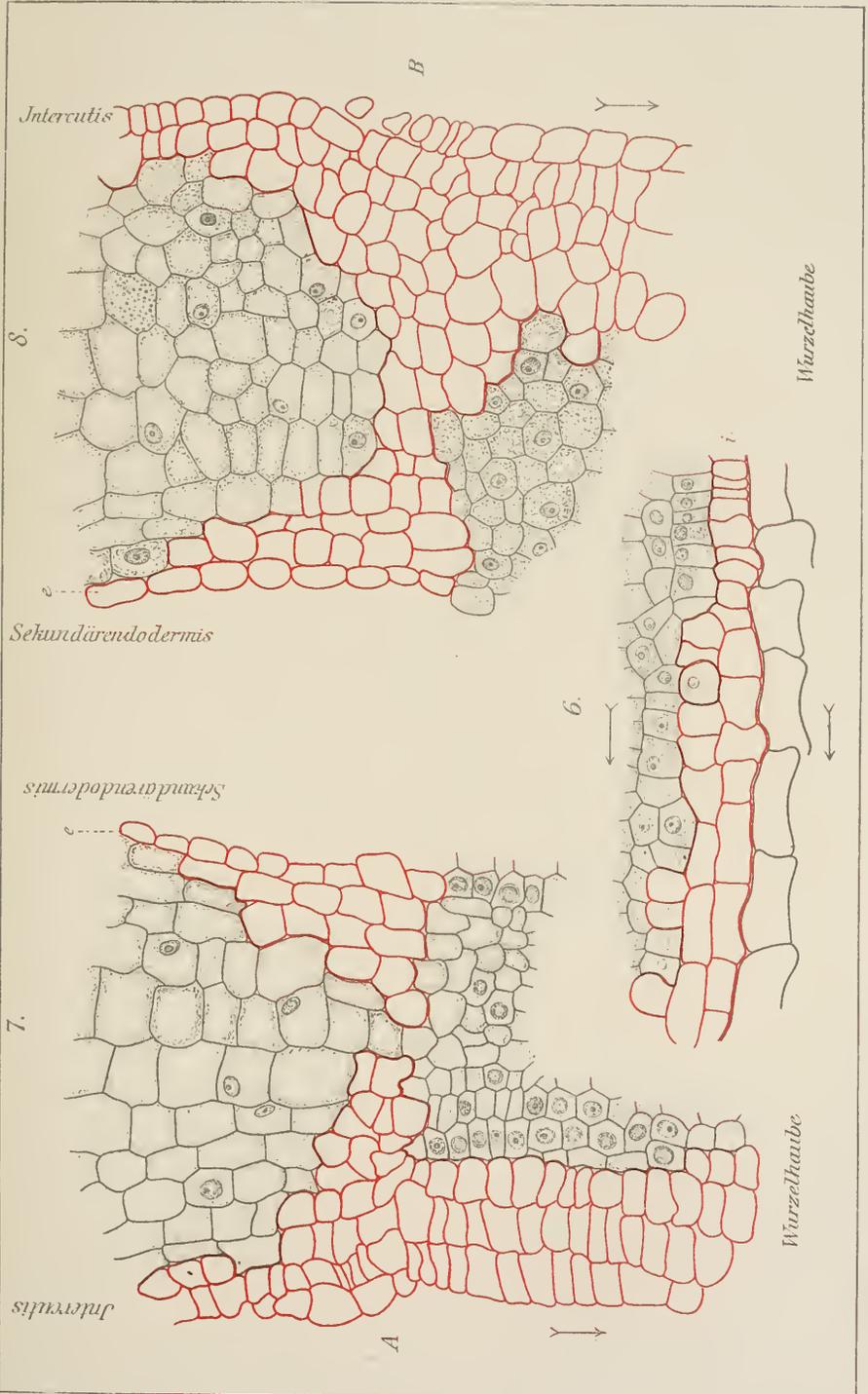
Fig. 5. Membran einer metacutisierten Wurzelhaubenzelle, Primärmembran und Suberinlamelle, Behandlung wie das Präparat von Fig. 4.

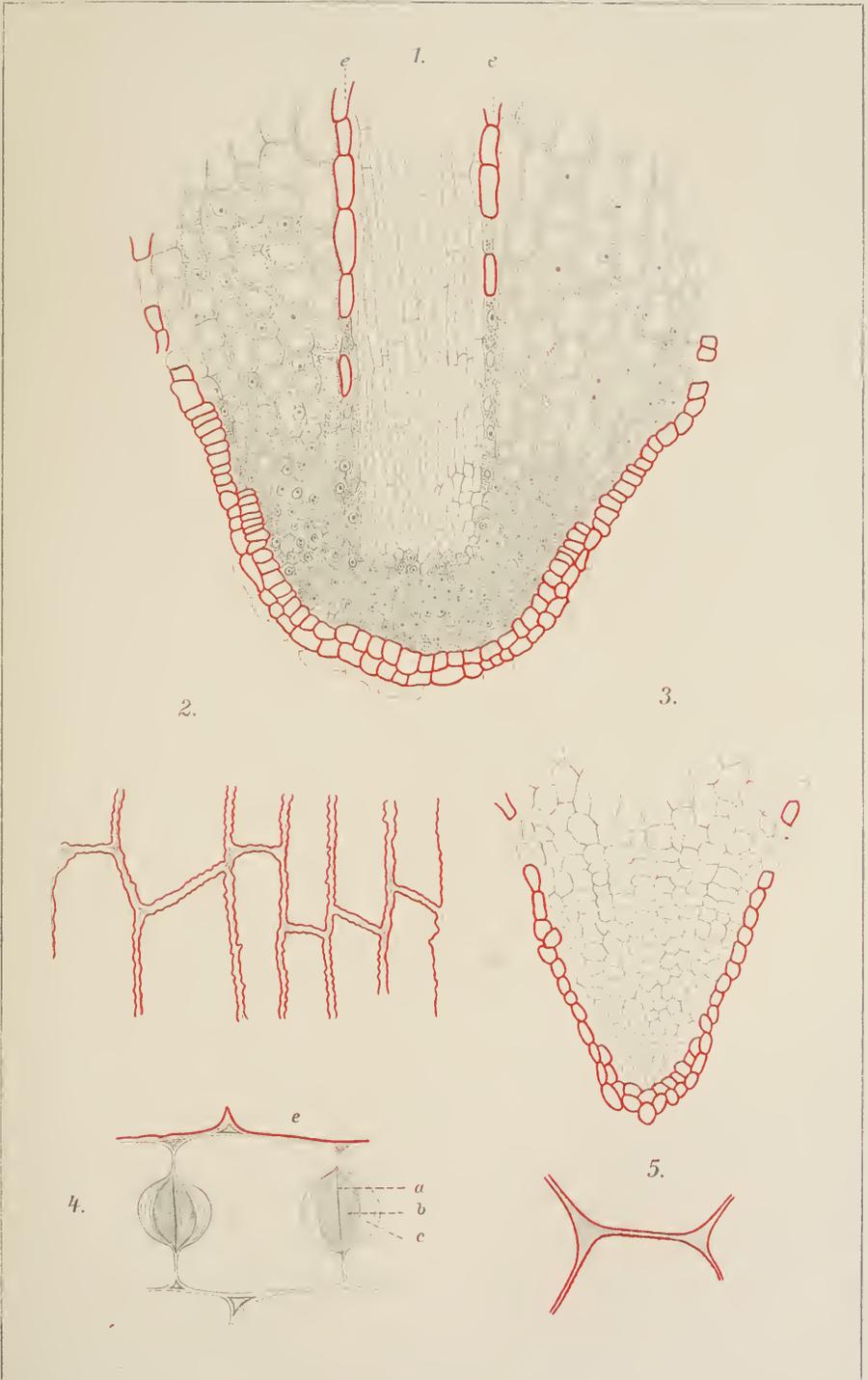
Tafel V.

Fig. 6. Seitenpartie, zur Demonstration der Überschiebung und des einschichtigen distinkten Primitivepblems; die Pfeilspitzen stellen die Richtung der Wurzel dar.

Fig. 7. Partie einer metacutisierten Wurzelspitze, die metacutisierte Schicht vier-schichtig, Anlage des Zwischenstückes; in der Mitte ist die Metacutisierung noch nicht eingetreten.

Fig. 8. Dasselbe wie in Fig. 7, nur ist das Verbindungsstück vollendet.





ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [48](#)

Autor(en)/Author(s): Plaut Menko

Artikel/Article: [Über die Veränderungen im anatomischen Bau der Wurzel während des Winters. 143-154](#)