

44. J. GRÜß: Die Kalkwurzeln von Woltersdorf.

(Eingegangen am 23. 7. 1916.)

(Mit Taf. XIII und 1 Abb. im Text.)

Nordöstlich vom Müggelsee in der Mark streicht in ebendieser Richtung eine Hügelkette, welche kurz vor dem Ort Woltersdorf endigt. Durch eine tiefe Sandgrube, die auf Kies abgebaut wird, werden hier die Schichten aufgeschlossen, und dadurch ergibt sich folgendes: Die Talsohle wird von einer mächtigen Grundmoräne ausgefüllt, die auch weiterhin in Rüdersdorf zutage tritt, wo sie den Rötschichten unmittelbar aufgelagert ist. Etwa 10 m darüber liegt ein zweiter Moränenzug, und oberhalb desselben befinden sich Sande von verschiedener Zusammensetzung und teilweise in Kreuzschichtung. Endlich läßt sich leicht am oberen Rande der Grube der obere Geschiebemergel als eine sich weit ausbreitende dünne Deckenschicht erkennen.

Unterhalb derselben ist eine etwa 3 m dicke Sandschicht mit Wurzelstücken durchsetzt, die alle mit dickem Kalkmantel umhüllt sind, und die ich deswegen als „Kalkwurzeln“ bezeichnet habe. Sie dürften, wie ich schon vorweg berichten möchte, ein botanisches Interesse dadurch erwecken, daß die Verkalkung auf das Gewebe übergegriffen hat.

Mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse war ich der Ansicht, daß es sich hier um interglaciale Fossilien handle, und ich suchte hierfür weitere Belege beizubringen.

Zunächst fiel auf, daß sich in anderen diluvialen Schichten unserer Mark solche Gebilde, wie sie die Woltersdorfer Kalkwurzeln darstellen, nicht auffinden ließen. Dagegen zeigten Wurzelüberreste, die sich bisweilen in *Paludina diluviana* vorfanden, eine ähnliche Beschaffenheit wie die nicht verkalkten Stränge. Ein gleiches Ergebnis brachte ein Vergleich mit unzweifelhaft diluvialen Zapfen und Aststückchen aus dem Kieselguhrlager von Ober-Lürß.

Wie man an dem Gewebe sehen konnte, enthielten die Kalkzylinder nur Wurzeln von *Pinus sylvestris* und *Betula alba*, also von Bäumen, mit denen die Hügel dicht besetzt sind. Durchaus nicht kamen Überreste nordischer Arten vor.

Anatomie der Kalkwurzeln.

Die durchschnittliche Länge der Stücke beträgt 25—30 cm bei einem Durchmesser von 3—4 cm; einige waren 40 cm lang.

mit einem Durchmesser von 5—6 cm; nur wenige erreichten 50 cm und etwas darüber. Einen Durchmesser von 8—9 cm hatten nur einige Doppelwurzeln; also zwei oder drei Kalkwurzeln, die der Länge nach mit ihrer äußeren Umhüllung verwachsen waren. Andererseits kamen auch ganz dünne Wurzeln vor, die wenige mm dick waren und die sich reichlich verzweigten. Sie bildeten ein zartes Geflecht zierlicher weißer Kalkfäden.

Die Oberfläche war mehr oder weniger runzlig bis rippig, seltener ganz glatt; oft umschlossen die Nebenwurzeln als feines Netzwerk den Hauptstamm. Die äußerste Schicht enthielt in dem

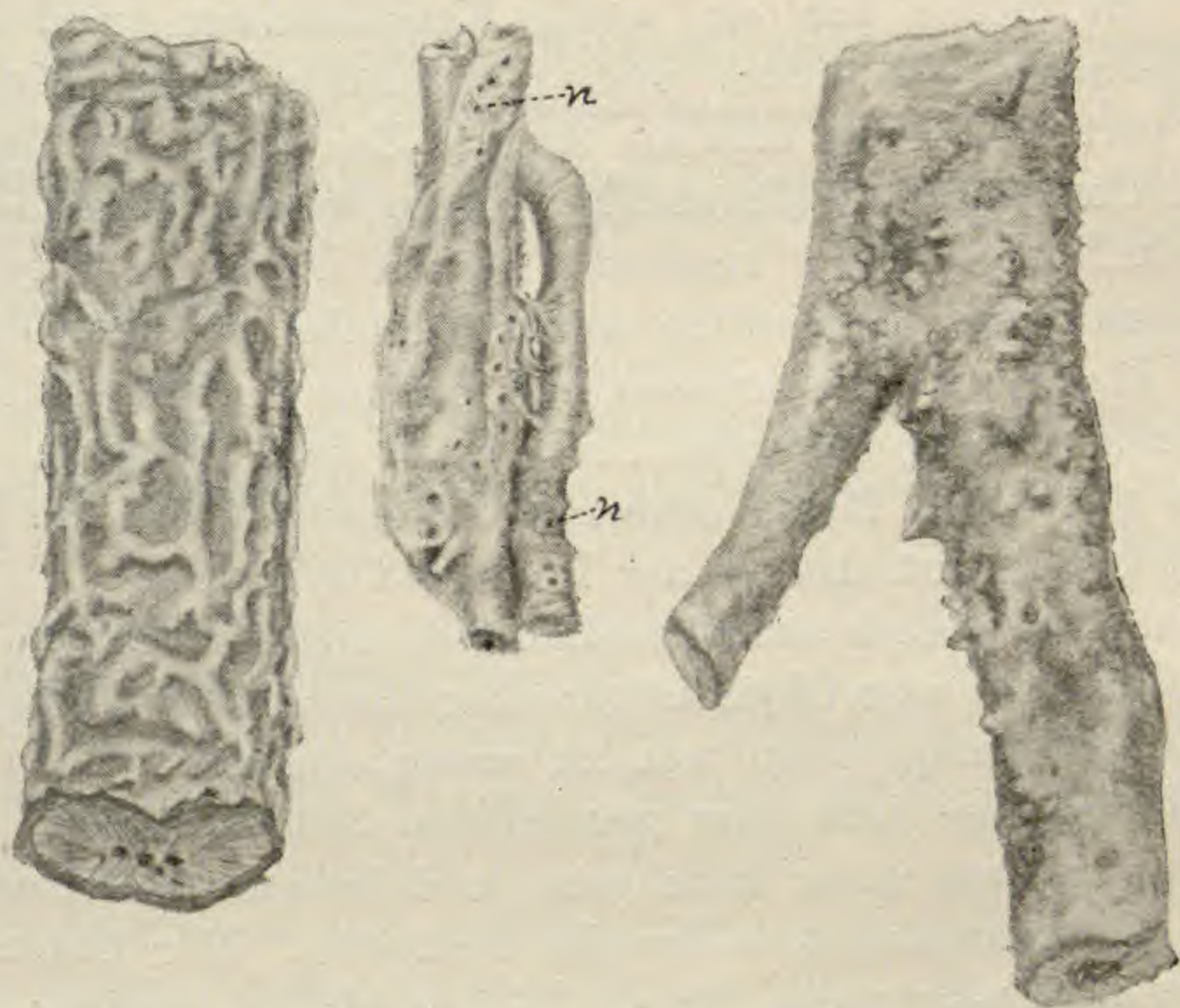


Abb. 1. Bruchstücke von Woltersdorfer Kalkwurzeln in $\frac{1}{4}$ d. nat. Gr. n = Insertion der Nebenwurzeln.

Kalk stets auch Sand, der aus Quarz und Feldspathkörnchen bestand. Dieser Zementmantel bewirkt, daß bei großer Trockenheit immer noch je nach der Dichtigkeit mehr oder weniger Feuchtigkeit in der Marksicht zurückgehalten wird. In dieser findet sich das Wurzelgewebe bestehend aus Kalk und organischer Substanz. Jener ist von verschiedener Beschaffenheit: meist locker und zerreiblich; aber auch ganz feste Kalkzylinder kommen vor. In dieser Grundmasse liegen graue Stäubchen, die mehr oder weniger zusammenhängen, oder kleine dunkle Schüppchen, welche der Masse das Ansehn von Kohlenkalk erteilen.

Eine ganze Anzahl von Kalkzylindern hüllten mehrere dünne Wurzeln von 2—5 mm Durchmesser ein, die nicht verkalkt waren.

Die Kalkmasse war nur selten dicht und fest genug, daß sich von den Objekten ohne weiteres ein Dünnschliff herstellen ließ, meist war sie zu locker und wenig kohärent, weshalb erst noch eine besondere Vorbereitung nötig war, um das Schleifen zu ermöglichen.

Die Präparation der Dünnschliffe.

Die lockeren, zerreiblichen Kalkstücke wurden zunächst mit absolutem Alkohol völlig entwässert, der dann durch Äther ersetzt wurde. Zu diesem kam ein wenig Kanadabalsam, und es wurde Sorge getragen, daß dieser sich gleichmäßig in Flüssigkeit und Objekt verteilte, indem man sie längere Zeit (mehrere Tage) unter öfterem Umschütteln aufbewahrte. Dann wurde allmählich mehr und mehr Kanadabalsam zugesetzt, bis die Lösung eine syrupartige Konsistenz hatte. Schließlich wurde dieselbe mit dem Objekt über kleiner Flamme eingeschmolzen und solange in Fluß gehalten, bis eine kleine herausgenommene Probe nach dem Erkalten zu einer spröden glasartigen Masse erstarrte. Nun wurde aus der Schmelze das Objekt entfernt, das an der Luft bald erhärtete.

Man darf jedoch den Kanadabalsam nicht überhitzen, da dann der Schliff leicht vom Objektträger abspringen kann, dagegen haftet er nicht fest genug, wenn man zu wenig erhitzt.

Die an der Luft hart gewordenen Stücke lassen sich gut schleifen, und aus ihnen kann man nach bekannter Methode Dünnschliffe für mikroskopische Zwecke herstellen. Nur lassen sich die Schnitte nicht übertragen, da sie leicht zerfallen würden; man muß daher zuletzt ohne Schleifmittel und im durchfließenden Wasserstrom schleifen.

Die mikroskopische Struktur der Kalkwurzeln.

Die äußere Hülle ist aus Sand und Kalk zusammengesetzt. Jener besteht fast nur aus Quarz- und Feldspathkörnchen.

Die Quarzkörnchen sind eckig bis rundlich und enthalten zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse, und es gelang unter diesen auch solche mit der bekannten tanzenden Vakuole aufzufinden, was also für Kohlensäureeinschluß sprechen könnte.

Die Kalkmassen sind kryptokristallinisch; doch finden sich auch besonders in den Zellräumen größere Täfelchen, resp. Rhomboëder, die auch vielleicht infolge Zersplitterung beim Schleifen

als rundliche oder eckige Körnchen erscheinen. Der Kalk enthielt einige Prozente Tonerde und eine geringe Menge, etwa $\frac{1}{10}$ pCt. Magnesia.

Die Masse der Rinde war mit schwärzlichbraunen Schüppchen stark durchsetzt. Dies waren meist die Inhalte der Rindenzellen, zum Teil auch Zellhäute. Da diese aus dem Gewebe restierenden Teilchen keinen Farbstoff mehr annahmen, erwiesen sie sich als karbonisiert; sie sind einer Zersetzung anheimgefallen, bei der unter Austritt der übrigen Elemente eine Anreicherung von Kohlenstoff stattgefunden hat. Es fanden sich übrigens ganze Wurzelstücke in einzelnen Kalkmänteln, die vollkommen der Braunkohle glichen: die Membran polarisiert nicht mehr und nimmt keinen Farbstoff an.

Ein Teil der organischen Substanz hatte diesen Zustand noch nicht erreicht, bildete aber kein zusammenhängendes Gewebe. Daher zerfiel bei Zusatz verdünnter Salzsäure unter Kohlensäureentwicklung der ganze Dünnschliff in ein Haufwerk feiner organischer Stäubchen.

Den größten Teil der Grundmasse nahmen die völlig verkalkten Zellen ein, die sich als Steinkerne erwiesen, d. h. ihre ursprüngliche Substanz ist durch Kalk ersetzt worden, welcher meist eine kryptokristallinische, bisweilen auch eine mikrokristallinische Struktur zeigte. Die verkalkten Wurzeln gehörten nur *Pinus sylvestris* und *Betula alba* an.

In den bekannten dickwandigen Rindenzellen zeigte sich der Inhalt karbonisiert, die Wandung bestand aus einer hellgelblichen bernsteinähnlichen, teilweise porösen Masse.

Hier handelt es sich wahrscheinlich nicht um eine Pseudomorphose im mineralogischen Sinne, sondern um eine Verbindung von Elementen der ursprünglichen Zellhaut oder von deren enzymatischen Derivaten mit Kalk.

Im Leptom der Wurzeln waren die verkalkten Zellhäute nur selten zu erkennen, der Inhalt bestand aus grobkörnigem Kalk. Einzelne Gewebeschichten waren zusammengeschoben und verzerrt.

In den jüngsten Wurzelteilen fehlte stets Mark und Holzteil, so daß diese Wurzeln als kleine Kanälchen am Stamm erschienen (s. n. in Textfigur). Sonst waren die Tracheiden so verkalkt, daß alle Einzelheiten noch hervortreten. In Abb. 2 Taf. XIII ist eine solche Tracheide dargestellt; sie wurde aus dem Gewebeverband durch verdünnte Salzsäure herausgelöst und isoliert.

Sie erweist sich als Steinkern, d. h. die ganze ursprüngliche Membran ist durch Kalk ersetzt. Dieser tritt, wie es die Figur wiedergibt, teilweise in Körnchen auf, teilweise in Form kleiner

rhomboedrischer Täfelchen. Für deren Lagerung ist meist die Streifung der ursprünglichen Membran maßgebend gewesen. Die Längsachse der Kriställchen ist den Streifen parallel, wie dies aus dem oberen Teil der Abbildung zu erkennen ist. Dagegen sind hier die Tüpfel bei t nur wenig deutlich zu erkennen.

In anderen Dünnschliffen ließen sich verkalkte Tracheiden auffinden, in deren Tüpfeln die Struktur noch deutlich hervortrat. In Abb. 3 sind als Beispiele zwei von ihnen wiedergegeben: in dem einen links ist der Hohlraum mit gröberen Kalkkörnchen angefüllt, in dem anderen rechts ist nur die Tüpfelmembran durch feinkörnigen Kalk ersetzt, während der Hohlraum frei blieb.

In Abb. 1 ist der Querschliff durch eine Nebenwurzel dargestellt, die sich von dem Gewebe der Hauptwurzel stark abhebt. Das Leptom L ist teilweise beim Schleifen abgesprungen, aber noch an den Resten zu erkennen. Im Holzkörper sind die Tracheiden durchgehend mit mikrokristallinischem Kalk angefüllt, und ebenso sind auch die Zellwände ersetzt.

In den Harzgängen ist das Harz nicht verschwunden, jedoch metamorphosiert, es ist in eine durchsichtig bis durchscheinende Masse verwandelt, in der ein sehr feinkörniger Niederschlag enthalten ist.

In den jüngeren Wurzeln heben sich die Zellen des Pleroms häufig dadurch ab, daß sie mit grobkörnigem Kalk angefüllt sind. Durch die Anordnung der Kriställchen sind die einzelnen Zellen gegeneinander unterschieden. Häufig jedoch fehlt das Plerom, was sich schon mit der Lupe erkennen läßt.

Auch im polarisierten Licht zeigt sich, daß wir in der in Abb. 2 dargestellten Tracheide nun mehr einen Steinkern vor uns haben. Sind die Nikols gekreuzt, so sieht man auf dunklem Grunde die Einzelkristalle in den verschiedensten Farben aufleuchten. An den Tüpfeln ist das Achsenkreuz verschwunden, der beste Beweis, daß die Membran gelöst und durch Kalkkristalle ersetzt ist. Die kristallographischen Achsen können daher auch nicht in ähnlicher Weise wie die der Membranmicellen orientiert sein; sondern ihre Lage ist regellos.

Was den Erhaltungszustand der Form anbetrifft, so sei noch bemerkt, daß in einigen Dünnschliffen das Gewebe mit allen Einzelheiten trotz der Verkalkung hervortrat. In anderen Lagen war vor diesem Prozeß eine Gewebeverzerrung hervorgerufen worden. Die Zellen erschienen wie zusammengeschoben und einzelne Schichten wellig gebogen. Wahrscheinlich liegen hier Druck- und Spannungswirkungen vor infolge der Kalkeinlagerung.

Die mykologischen Verhältnisse.

Einige der jüngeren Wurzeln waren von einem Mycorrhizamantel umschlossen, dessen pseudoparenchymatisches Gewebe gleichfalls verkalkt war. Teilweise waren die Zellwände der Hyphen ganz verschwunden, und nur eine bräunliche Färbung zeigte ihre einstige Lage an; teilweise hatten sich noch die Häute erhalten, waren dann aber fast völlig karbonisiert, da sie selbst in dünnen, sich auskeilenden Schliffen völlig undurchsichtig und schwarz erschienen. Meist waren sie zusammengepreßt oder auch in Stücke zerrissen; einzelne weniger veränderte Hyphen hoben sich als braune Fäden deutlich ab.

Zwei derselben, die vereinzelt vorkamen, zeichneten sich dadurch aus, daß sie braune Sporen gebildet hatten. Auch von diesen waren einige von dem Verkalkungsprozeß ergriffen worden. (S. Abb. 4.)

Schließlich fanden sich reichlich Sklerotien in allen Stadien der Verkalkung. In Abb. 5 ist ein solches Sklerotium zur Hälfte abgebildet. Die Zellen in der Mitte sind unverkalkt (s. m.); sie sind inhaltsarm und ihre Membranen karbonisiert. Die nach außen liegenden Zellen k sind verkalkt, wie sich dies im polarisierten Lichte nachweisen ließ, ihre Häute sind zum Teil ganz resorbiert.

Aehnliche Verhältnisse trifft man manchmal bei Versteinerungen an, deren Hohlraum vom Steinkern nicht völlig ausgefüllt ist, so daß sich im Innern desselben noch unausgefüllte Räume vorfinden.

Die Zellen des Periderms p sind in diesem Fall ebenfalls nicht verkalkt, sie erscheinen zusammengepreßt, und ihre Membranen sind stark karbonisiert. Vielleicht ist hier aus diesem Grund die Verkalkung nicht eingetreten.

Andererseits waren ein paar Sklerotien völlig verkalkt; ihr pseudoparenchymatisches Gewebe war resorbiert, und die Zellen enthielten großkörnigen Kalk.

Die nicht verkalkten Sklerotien waren gänzlich karbonisiert; sie stimmten in ihrem Ansehn durchaus mit denen überein, die ich in einer aus dem tertiären Ton von Rauschen stammenden Braunkohle auffand.

Nach meiner Überzeugung kann der Pilz, dessen Ueberreste sich durch das ganze verkalkte Wurzelgewebe erstrecken, nur *Trametes radiciperda* sein; denn bei einem diesbezüglichen Vergleich fand ich hier ganz ähnliche Sporen und sporogene Hyphen wie die in Abb. 4 abgebildeten.

Cytasewirkungen.

Eine ganze Anzahl Kalkmäntel umschlossen Wurzeln, die gar nicht verkalkt waren. Ihr Gewebe erwies sich als enzymatisch stark abgebaut. Gewöhnlich waren hauptsächlich die sekundären Schichten der Tracheidenmembran mit Rinnen durchzogen, die in der Richtung der spiralig angeordneten feinen Streifen verliefen. (S. Abbild. 6.) Durch die Tüpfel erfuhren diese Rinnen meist eine Ablenkung, liefen aber sonst hindurch, wodurch die äußere Tüpfelmembran in zwei oder mehr Stücke zerspalten wurde.

Im weiteren Stadium erscheint die Tracheide netzförmig, gleichsam als ob die infolge der Auflösung hervorgetretenen Spiralstreifen sich kreuzten. Doch ist dies nur scheinbar, indem ein Streifensystem der vorderen, das andere der hinteren Zellwand angehört.

Spalten entstehen, wenn die Auflösung auf die Mittellamelle übergreift, und dies trifft man häufig an; dann zerklüften ganze Reihen von parallelen Spalten die Zellwand. Stellenweise waren Flächenstücke von der tertiären und sekundären Zellhaut abgetragen, aber nicht in gleichem Umfange, wie dies an dem Rand der Wunde zu sehen war, wo die primäre Haut nur ungleichmäßig von der sekundären bedeckt war, während sie in der Mitte freigelegt erschien. Dieser Fall bietet indessen einige Schwierigkeiten des Erkennens, denn an auskeilenden Schnitten kann die Membran leicht angeschnitten werden, und man erhält dann ein ähnliches Bild. Hier sind jedoch die Ränder scharfkantig und zackig, gleichsam wie ausgebrochen, wogegen sie bei der Abtragung durch Cytase mehr glatt oder unregelmäßig wellenförmig verlaufen.

Es ließ sich keine Wurzel finden, in der nicht die Tracheidenmembran in der geschilderten Weise stark abgetragen war. Daher konnte vermutet werden, daß auch die Substanz dieser Zellhäute wenn nicht ganz, so doch teilweise hydrolytisch verändert sei. Ich habe nach dieser Richtung hin eine eingehende Untersuchung geführt und zwar anschließend an Ergebnisse früherer Untersuchungen über das Dattelendosperm.

An diesen aus Hemizellulose bestehenden Zellhäuten zeigt sich die hydrolytische Veränderung durch folgende Anzeichen: 1. Das Lichtbrechungsvermögen wird verändert. 2. Ein Unterschied zeigt sich bei Anwendung von Jodreagentien. 3. Die Polarisation wird herabgesetzt. 4. Die Speicherung von Farbstoffen ist eine andere.

An den Tracheiden ließ sich nicht feststellen, daß der Rand der Lösungszone eine andere Lichtbrechung aufwies als die intakte

Membran. Um die weiteren Beziehungen zu prüfen, wurde folgendermaßen verfahren:

2 ERLLENMEIERkolben wurden mit dünnen Schnitten der Tracheiden aus den Kalkwurzeln und anderseits mit solchen aus rezenten Kiefernwurzeln, die gleiche Dimensionen hatten, beschickt. Dazu kamen je 100 ccm Wasser mit 1,5 % Schwefelsäure. Mit aufgesetztem Rückflußkühler wurden sie 12 Tage unter 70° gehalten.

Die Schnitte wurden mit Phloroglucin und Salzsäure völlig übereinstimmend intensiv rot gefärbt. Mit Chlorzinkjod wurden sie gelbbraun; sie blieben also ungefärbt. Einen Unterschied machten nur die Tüpfelmembranen der Markstrahlzellen aus den rezenten Kiefernwurzeln, die bald blauviolett wurden; die aus den Kalkwurzeln färbten sich nicht. Für diese geringfügigen Gewebs-teile könnte also eine hydrolytische Veränderung angenommen werden.

In gleicher Weise wurden die beiderlei Schnitte nach Entfernung des Lignins durch Kaliumchlorat und Salzsäure behandelt. Die Lösung bestand aus der gesättigten Salzlösung, zu der ein Drittel Salzsäure hinzugesetzt worden war. Dauer der Einwirkung = 12 Tage. Keine Spur von Ligninreaktion zeigte sich. Chlorzinkjod färbte die korrodierten Tracheiden ausgiebig blau. Das Gewebe der rezenten Wurzeln bläute sich unter dieser Bedingung nur zögernd und teilweise nicht gleichmäßig. Dies rührt daher, daß die Mittellamelle überhaupt keine Färbung annimmt, andererseits absorbiert die korrodierte Membran viel leichter das Jod, da dieses infolge der Zerklüftung der tertiären Zellhautschicht auch leichter die sekundäre Schicht erreichen kann.

Die mit der verdünnten Schwefelsäure erhitzten Schnitte wurden fortgesetzt mit Kupferoxydammoniak ausgewaschen, dann mit verdünnter Kalilauge, um schließlich in jener blauen Lösung zu verbleiben. Sowohl die Schnitte der rezenten als auch die der Kalkwurzeln verhielten sich völlig gleich.

In allen trat schwache Quellung, aber kaum eine Lösungserscheinung ein.

Nur die unbehöften Tüpfel der Markstrahlzellen aus den Kalkwurzeln zeigten nach dieser Behandlung häufig radiale Risse. Sonst aber stimmten die zu vergleichenden Zellhäute auch darin überein, daß sie sich nach dem Auswaschen in einer Lösung von Thioninblau und Magdalenrot blau bis violett färbten und zwar in der gleichen Nüance.

Die gechlorten Schnitte lösten sich nach dem Auswaschen

ganz miteinander übereinstimmend in Kupferoxydammoniak. Im polarisierten Licht leuchten die gechlorten Tracheiden und zwar die korrodierten wie die rezenten genau so wie vorher, d. h. in der Holzmicelle besitzt nur die Zellulosemolekel die ablenkende Eigenschaft. Bringt man eine korrodierte Tracheide in polarisiertes Licht, so leuchten unverändert die Streifen b (s. Abb. 6), die sich mit Neutralrot und essigsaurer Tonerde intensiv rot färben lassen, während die hellen Streifen a keinen oder nur sehr gering den Farbstoff annehmen. Auf dem Querschnitt sieht man, daß hier die Zellwand dünner geworden und daß teilweise die primäre Membran infolge der Abtragung freigelegt ist. Demgemäß leuchten auch die Streifen a im polarisierten Licht nicht auf und bleiben dunkel, wenn die Nikols gekreuzt sind.

Das Ergebnis kann nur folgendes sein:

Die Tracheidenmembran der Kalkwurzeln ist nicht teilweise hydrolysiert; die Masse der Micellen ist in ihrer chemischen Zusammensetzung nicht partiell gelöst. — Vielmehr sind die verschwundenen Streifen in toto, in ihrer ganzen Zusammensetzung herausgelöst, ohne daß die übrige Substanz verändert wurde.

Darnach verläuft die Auflösung der Holzzellwand ähnlich so wie bei der Stärke, wenn auf diese bei niedriger Temperatur Diastase einwirkt, und zwar fehlen hier auch die Zwischenstufen, die Dextrine.

Die Lösungserscheinungen lassen folgende Annahme zu: Die sekundäre Schicht der Holzzellwand setzt sich aus Schichten zusammen, die abwechselnd aus mehr oder weniger dicht gelagerten Micellen bestehen. Die Ränder dieser Schichten entsprechen den Streifen, deren spiraliger Verlauf an der Membran häufig hervortritt. Das Enzym, welches in die Masse der Membran eindringt, bringt durch Wasseraddition die weniger dicht gelagerten Micellen zuerst in Lösung, wodurch Kanäle und Risse entstehen. Der Querschnitt durch die korrodierte Zelle zeigt an, daß sich einzelne Lagen gewissermaßen blattartig abschälen. Mit dieser Lösung werden auch die inkrustierenden Substanzen frei.

Die Verkalkung eine Begleiterscheinung der Enzymeinwirkung.

In den bekannten „Karlsbader Bouquetts“ bildet der Kalk nur Überzüge auf den Pflanzenteilen. Selten fand ich, wenn Holzteile dabei waren, in deren Zellen Kalkkristalle in Form von Rhomboedern. An dieser Einlagerung waren nur die oberflächlichen Schichten beteiligt.

Kalksinterschichten, die aus den Röhren der Berliner Wasserleitung stammten, enthielten *Carexrhizome* und einige Fadenalgen. In den Zellen dieser Objekte fanden sich überhaupt keine Kalkkristalle.

Daraufhin untersuchte ich noch verschiedene Kalktuffe. Eine interessante Verkalkung von Moosen und Moosvorkeimen findet z. B. im Tiefschacht und im Alvenslebener Bruch von Rüdersdorf statt. An den zu Tage tretenden Wänden der Stollen siedeln sich häufig Moose an. Die Verkalkung beginnt bei diesen gewöhnlich an der Spitze der jungen Blätter, wo gewöhnlich eine kleine Kalkdrüse entsteht. Diese vergrößert sich und greift auf die Ober- und Unterseite der Blätter über, so daß diese wie in einer Scheide stecken. Schließlich wird auch der Stamm mit einer Kalkkruste überzogen. In ähnlicher Weise verkalkt das Protonema. Eine an den Faden sich ansetzende Kristalldrüse wird zu einem Ring, der die zylindrische Zelle umschließt. Wird die übernächste Zelle in gleicher Weise ergriffen, so wächst das interanulare Zwischenstück tonnenartig aus. Ich habe eine ganze Kette von solchen unförmlich ausgewachsenen Zellen aufgefunden, in der immer auf einen Kalkring eine blasig aufgetriebene Zelle folgte.

Im Innern aller dieser Zellen waren nie Kalkkristalle zu entdecken.

Darnach sind die Fälle, in denen Calciumkarbonat im Innern der Zellen abgeschieden wird, nicht allzuhäufig anzutreffen. Eine solche Abscheidung ist auch wohl nur im abgestorbenen Gewebe möglich, wenn die etwa noch vorhandenen Säuren gebunden worden sind.

Im Holz läßt sich der kohlensaure Kalk wohl zum Auskristallisieren bringen; doch verläuft ein solcher Vorgang ziemlich langsam, wie folgender Versuch zeigt: Ein ERLÉNMEYERkolben wurde zur Hälfte mit Wasser gefüllt, zu dem kohlensaurer Kalk von feinsten Zerteilung hinzugefügt worden war. Durch den leicht verschließenden Kork ragte ein Kiefernholzstäbchen von 20 cm Länge und 1 cm Dicke in die Flüssigkeit, die außerdem noch mit einem Kohlensäurebehälter in Verbindung stand. Aus dem in die Luft ragenden Teil des Stäbchens konnte das Wasser verdunsten, welches den kohlensauren Kalk in Lösung mit sich geführt hatte.

In Abbildung 8 ist ein Schnitt von dem oberen Ende des Holzstabes wiedergegeben. Die Tracheiden sind mit verhältnismäßig großen Kristallen angefüllt. Dieser Kalk fand sich nur im oberen Teil des Stäbchens, das aus dem Kolben herausragte, in einer Ausdehnung von 2—3 cm. Keineswegs waren alle Holzzellen so

angefüllt wie dies in Abbildung 8 dargestellt ist; sondern viele Tracheiden enthielten nur wenige und kleine Kristalle, viele auch gar keine. Die Zeitdauer, während welcher die Verdunstung vor sich gehen konnte, erstreckte sich über 3 Jahre; wonach die Kristallisation sehr langsam vor sich geht.

Ein unerwartetes Ergebnis hatte ein anderer nach dieser Richtung hin unternommener Versuch: Von einer Anzahl Kalkwurzeln wurde der Kalkmantel entfernt, wonach die verkalkten und unverkalkten Wurzelteile in einem Kolben möglichst aseptisch zerkleinert wurden. Dies ließ sich mit einem Glasstab leicht ausführen, da ja das Material leicht zerreiblich ist. Etwa 50 g Substanz wurde mit ebensoviel Wasser übergossen, durchgeschüttelt und unter Wasserverschluß gehalten. Dazu wurden Holzschnitte von einer rezenten Kiefernwurzel hinzugegeben.

Nach 3—4 Monaten erschienen auf der Oberfläche der Flüssigkeit feine weiße Häufchen, scheinbar aus Pilzmycel bestehend. Unter dem Mikroskop erwiesen sich diese als zusammengesetzt aus kleinen Kristallen von kohlensaurem Kalk, die also aus der Flüssigkeit auskristallisiert waren.

In großen Mengen hatten sich diese Kriställchen an den zugesetzten Schnitten ausgeschieden und füllten auch die Zellen aus. Noch merkwürdiger war, daß sich die Flüssigkeit als starke Cytaselösung erwies. Sämtliche Schnitte waren korrodiert. In Abbildung 3 ist ein Teil eines Schnittes wiedergegeben. Zahlreiche Porenkanäle verlaufen parallel zur Streifung, und zahlreiche Kalkkriställchen haben sich besonders an den Tüpfeln ausgeschieden.

In anderen Schnitten zeigte sich noch eine andere Lösungsform. Nach Fortlösung des Kalks durch verdünnte Salzsäure wurde die Holzzellhaut mit essigsaurer Tonerde behandelt und durch Neutralrot gefärbt. Der Lösungsmodus ist aus Abbildung 10 zu ersehen. Die dunklen Stellen haben den Farbstoff angenommen und sind unverändert. Wahrscheinlich hatten sich hier die Kalkkristalle angesetzt und die Enzymwirkung nicht zur vollen Geltung kommen lassen. An den hellen Stellen ist die Membran abgetragen und dünner geworden. Schließlich wurde die Lösung filtriert und antiseptisch gemacht, sie behielt jedoch ihre enzymatische Wirksamkeit, wie dies wieder zugesetzte Schnitte nach 3 monatlicher Einwirkungsdauer erkennen ließen. So sind in Abbildung 11 zwei Tüpfel abgebildet, die zweifellos durch Enzymwirkungen verändert worden sind.

An der Tüpfelhaut treten radiär gestellte Spalten auf (s. Abb. 11 a), die sich erweitern, wodurch die Tüpfelhaut schwindet.

Gewöhnlich bleibt noch ein ringförmiger Rest (s. Abb. 11b), dessen innerer Rand gezähnt erscheint. Man erkennt unschwer, daß diese Zähnen von den Stäbchen herrühren, welche (wie in a) vorher zwischen den Spalten die korrodierte Tüpfelhaut bildeten.

Außerdem fanden sich hier Tüpfel, an denen die Lösung der gewölbten Außenhaut einfach vom Porus aus erfolgte.

Mehrfache Versuche hatten das gleiche Resultat: Extrakte aus den Kalkwurzeln wirkten mit und ohne Antisepticum holzlösend und zwar ähnlich wie Diastase auf Stärkekörner.

Die Wirksamkeit dieser Lösungen übertraf die aller anderen Extrakte, die ich jemals auf Cytase untersucht habe.

Mitunter geht es nicht an, Extrakte herzustellen, wenn z. B. — wie in unserem Fall — das Material sich nicht zum Auspressen eignet; dann dürfte sich folgende Methode mit Erfolg anwenden lassen: Die möglichst fein zerriebene, angefeuchtete und antiseptisch gemachte Masse wird in Reagenzgläser gefüllt und durch Korken verschlossen. Durch diese wird ein Holzstäbchen eingeführt, das etwa 20 cm lang, 1—2 cm breit und 1 mm dünn ist und oben über den Kork genügend weit in die Luft ragen muß. Das freie Ende wird mit antiseptischer Watte umwickelt, um Pilze abzuhalten.

Das Holz, am besten Kiefernholz, muß mit Xylol und Äther von Harz befreit sein; auch ist es so zuzuschneiden, daß die Tüpfel parallel der Oberfläche liegen. Man hat nun zu sorgen, daß die Wasserverdunstung aus dem freien Holzteil möglichst ausgiebig stattfindet, indem man die Gläser in den Exsiccator bringt oder starker Zugluft aussetzt.

Die Cytasewirkung läßt sich dann an dem Auftreten der strahligen Tüpfel (Abb. 11a) leicht verfolgen. Bei dieser Methode liegt der Gedanke zu Grunde, daß sich in dem Holzstäbchen das Enzym anreichert, während oben das Wasser verdunstet. So äußerte sich z. B. die Cytaselösung aus den geriebenen Kalkwurzeln nach einer Einwirkungszeit von 4 Wochen.

Es fragte sich nun, woher diese Cytase in den Kalkwurzeln käme. Zur Beantwortung dieser Frage wurden mit Hilfe der biologischen Methode aus der Masse folgende die Kalkwurzeln bewohnende Pilze bestimmt: *Trametes radiciperda*, *Penicillium spec.* mit bräunlichen Sporen, die in langen Ketten aneinander haften, *Guttulina spec.*, *Pleospora spec.*, Bakterien, darunter ein *Micrococcus*, welcher rundliche gelatinöse Kolonien bildete, die bald gelb bis bräunlich wurden, *Alternaria tenuis*, *Pezizsa aerugo* und *Ceratostomella pilifera*.

Davon wurden auf Cytase untersucht: *Trametes radiciperda*.

Einige Sporen mit Mycel wurden mit dünnen Schnitten von Kiefernholz im hängenden Tropfen im hohlen Glasklotz kultiviert. Die Hyphen verzweigten sich besonders im Weichbast und in den Markstrahlen, deren Zellwände bald aufgelöst wurden, und in den angrenzenden Tracheiden zeigten sich Korrosionsspalten.

Ein Spahn mit etwas Mycel wurde mit dem untern Ende im Wasser stehend aseptisch im Reagenzglas gehalten.

Außer den erwähnten Korrosionen zeigten sich auch bald die strahligen Tüpfel, und diese Erscheinungen breiteten sich allmählich aus.

Als zu einer solchen Kultur einmal Calciumcarbonat hinzugefügt worden war, zeigte sich ganz auffallend ein stärkeres Wachstum der Hyphen. Da dies möglicherweise auf einer Beschleunigung der Cytasewirkung beruhen konnte, wurde noch eine dritte Versuchsreihe ausgeführt.

Frisch eingesammeltes *Trametesmycel* wurde möglichst fein zerschnitten und mit Glaspulver und Thymol verrieben. Ein Teil davon wurde mit kohlensaurem Kalk vermengt. Die Massen wurden nun nach der oben mitgeteilten Methode in Reagenzgläser gefüllt, mit den Holzstübchen als Testobjekten in Berührung gebracht und unter sonst gleichen Bedingungen gehalten. In beiden Fällen sind nach 6 Wochen die beschriebenen Korrosionen eingetreten; es ließ sich aber mit Sicherheit nicht entscheiden, ob der Kalk die Enzymwirkung beschleunigt, obwohl einige Stellen an den Testobjekten dafür sprachen.

So beruht die beobachtete günstige Einwirkung des Kalkes auf das Hyphenwachstum wohl nur darauf, daß freie Säuren, besonders Kohlensäure vom Kalke aufgenommen und so entfernt werden.

Das erwähnte *Penicillium spec.* löste im hängenden Tropfen hauptsächlich die Wände der Markstrahlzellen auf.

Alternaria. Einige Sporen wurden auf Holz, das im Wasser stand, aseptisch ausgesät. Das Mycel breitete sich alsbald aus und bedeckte die Oberfläche des Wassers. Da es nicht tief eindrang, wurden Schnitte von Kiefernholz und vom Dattelendosperm hineingegeben. Nach genügend langer Einwirkung, wozu mehrere Wochen nötig waren, zeigten alle Objekte starke Korrosionen, an den Dattelzellwänden die sogenannten „Abschmelzungen, wobei zu bemerken ist, daß die Hyphen nicht eingewachsen waren, also die Cytase sezerniert haben mußten.

Die *Alternariacytase* löst also gleichzeitig Holz und Mannan. *Ceratostomella* und *Perizza* lassen sich gleichfalls auf Holz kultivieren, ihre Cytasesekretion ist aber in Vergleich zu den vorher erwähnten sehr gering.

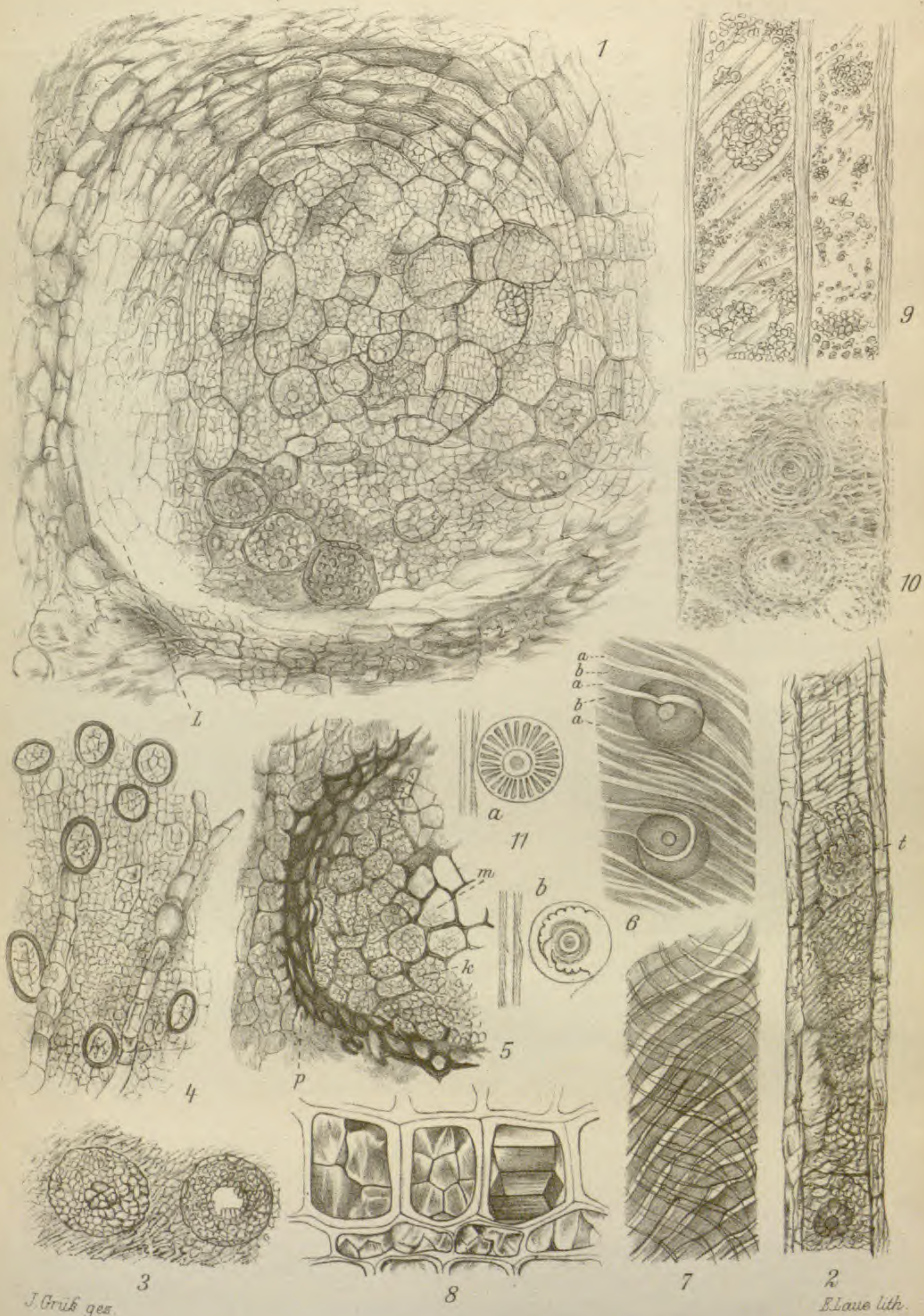
Darnach scheiden in den Kalkwurzeln *Trametes*, *Penicillium*, *Alternaria* und vielleicht noch Bakterien die Cytase ab, die sich wegen des schützenden und einhüllenden Zementmantels in Lösung erhält und fortgesetzt die starken Holzkorrosionen hervorbringt. Da nun die Wurzeln unter dem oberen Geschiebemergel liegen, wird ihnen durch das Regenwasser ständig neue Kalklösung zugeführt, denn die im Boden vorhandene Kohlensäure führt das Calciumkarbonat in doppeltkohlensauren Kalk über, der bei trockenem Wetter sich als CaCO_3 an der korrodierten Tracheidenwand wieder abscheidet und die Zelle allmählich ausfüllt, wodurch schließlich der Steinkern resultiert, wie er in Abb. 2 abgebildet ist.

Die Frage, ob die Kalkwurzeln der letzten Interglacialzeit entstammen, kann mit Sicherheit nicht beantwortet werden. Dafür aber, daß sie ein immerhin hohes Alter besitzen, spricht der Umstand, daß ihr Gewebe teilweise — wie oben erwähnt — in karbonisiertem Zustand übergegangen ist.

Erklärung der Tafel XIII.

- Abb. 1. Dünnschliff einer verkalkten Wurzel V. 250.
 - Abb. 2. Steinkern einer Tracheide. V. 300.
 - Abb. 3. Tüpfel aus einer verkalkten Tracheide.
 - Abb. 4. Pilzmycel mit Sporen aus einem Dünnschliff.
 - Abb. 5. Ein halbes Sklerotium aus einem Dünnschliff; in der Mitte zu nicht verkalkt.
 - Abb. 6. Eine durch Cytase korrodierte Tracheide aus dem nicht verkalkten Teil einer „Kalkwurzel“.
 - Abb. 7. Wie vorher. Weiteres Auflösungsstadium“.
 - Abb. 8. Kalkkristalle, künstlich erzeugt in Kiefernholz.
 - Abb. 9. Tracheiden durch Cytase abgebaut, welche aus den Kalkwurzeln stammte.
 - Abb. 10. Wie vorher, aber der Kalk durch HCl gelöst.
- V. der Abb. 3—10 mit Zeiß E.

Eine Sammlung von Kalkwurzeln und Dünnschliffen ist dem Bot. Museum in Dahlem überwiesen.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Grüss(Grüß) J.

Artikel/Article: [Die Kalkwurzeln von Woltersdorf. 456-469](#)