

72. J. Größ: Lithogene und normale Verkalkung.

(Mit Tafel IX)

(Eingegangen am 30. Dezember 1919.)

Im ersten Teil dieser Arbeit¹⁾ wurden eingehend die Verkalkungen an Wurzeln beschrieben, die in den Sandgruben bei Woltersdorf vorkommen. Ähnliche Kalkbildungen wurden nun auch bei Stettin von Prof. HOFMANN aufgefunden, der mir eine kleine Sammlung solcher Objekte freundlichst zur Verfügung stellte. Als ich sie erhielt, sah ich sofort, daß es sich um Produkte handelte, die denen aus dem Woltersdorfer Fundort ganz ähnlich sind.

Die Länge der Stücke — an Zahl 12 — schwankt zwischen 1 und 6 cm. Sie sind unverzweigt und besitzen eine raue Oberfläche, in der man mit der Lupe scharf umrissene Poren bemerkt. Aus diesen entsprangen vor der Verkalkung vom Rhizom aus die Wurzelfäden, die nicht mitverkalkten. Nach einer Mitteilung von Prof. HOFMANN sind diese Kalkgebilde durch *Achillacarhizome* erzeugt worden. Weitere Angaben habe ich nicht erhalten können.

Die Richtigkeit dieser Behauptung vorausgesetzt, würden diese Verkalkungen sehr wahrscheinlich nur rezente Bildungen darstellen. Die Dünnschliffe wurden in der gleichen Weise hergestellt, wie ich es für die Kalkwurzeln in der ersten Arbeit beschrieben habe.

Die anatomischen Verhältnisse, wie sie im Dünnschliff zu erkennen sind, widersprechen nicht denen des unverkalkten Rhizoms von *Achillaea millefolium*.

Das Gewebe erscheint im allgemeinen durch die Verkalkung stark verzerrt; besonders die Zellen der Rinde haben eine sehr zusammengedrückte Form. Die Phellogenschicht ist trotz der Kalkeinlagerung deutlich zu erkennen (Fig. 1), und auch im Xylemteil sind einzelne Gefäße mit ihren Wand einschnitten oder Wandversteifungen noch immerhin zu unterscheiden (Fig. 2). In der Rinde befinden sich rundliche Höhlungen mit großlumigen Zellen angefüllt, deren Inhalt gelblich und stark lichtbrechend ist. Diese anatomischen Differenzierungen lassen sich zwanglos als Öldrüsen deuten, die auch in ähnlicher Ausbildung in *Achillacarhizom* vorkommen (Fig. 3).

1) S. Die Kalkwurzeln von Woltersdorf. D. Ber. 1916. XXXIV. Heft 7.

Der axile Markzylinder enthält großlumige Zellen, die fast ganz verkalkt sind; die Mitte nimmt eine mehr oder weniger ausgedehnte Höhlung ein.

Durch das ganze Gewebe hin sind Sklerotien holzbewohnender Pilze zerstreut. Diese werden die Enzyme geliefert haben, die zur Auflösung der Zellhäute vor der Gewebeverkalkung nötig sind, und um eine solche handelt es sich in diesem Falle ganz zweifellos.

Wie bei den Woltersdorfern Kalkwurzeln wird auch das Stettiner *Achillacarhizom* von einem Kalkmantel umschlossen, der Sandkörnchen enthält, und so wird auch hier ein Behälter geschaffen, der die sezernierte Enzymlösung zusammenhält, die in Folge von Wasserverdunstung noch konzentriert werden kann.

Die Zellwände bestehen nach der Verkalkung aus kleinen Einzelkriställchen. Der Zellinhalt verkalkt, indem sich durch einen Fällungsprozeß die Calciumkarbonatteilchen niederschlagen und dann die Plasmareste als dunkle Körperchen einschließen. Mitunter kann es hierbei vorkommen, daß sich die Kriställchen konzentrisch um einen Punkt herumlagern (s. a. in Fig. 3), oder aber die Kriställchen wachsen durch Apposition zu einem größeren Einzelkristall heran, der dann das Lumen ausfüllt und ebenfalls die Plasmareste als kleine dunkle Körperchen enthält.

Bei der Verkalkung der Öldrüsen scheint noch irgend ein chemischer Vorgang mitzuspielen, denn die Zellen sind mit einer gelblichen, stark lichtbrechenden Substanz angefüllt. Möglicherweise wird in ihnen die Fällung durch Ölsäure oder durch eine andere Fettsäure bewirkt.

Das vorhandene Material gewährt uns einen Einblick darin, wie die Verkalkung ganz allgemein an vegetabilischen Objekten vor sich geht. Zunächst schlägt sich der Kalk an der Oberfläche der Objekte nieder, ähnlich so wie an Gegenständen im Wasser des Karlsbader Sprudels. Mit dem eingelagerten Sand bildet der Kalk einen umhüllenden festen Mantel, in welchem die Enzymlösungen zirkulieren, die von den auf solchen abgestorbenen Pflanzenteilen stets vorkommenden Pilzen herrühren.

An Stelle der aufgelösten Zellwände scheidet sich der Kalk in sehr kleinen, unregelmäßig liegenden Kristallen ab.

Der Zellinhalt verkalkt entweder in der gleichen Weise durch Auskristallisieren kleiner Kalkspathrhomboeder oder durch Fällung andersartiger Niederschläge; dabei sind beteiligt: Oxalsäure, Fettsäuren, Gerbsäuren und Proteinstoffe von verschiedener Art.

Die normale Verkalkung.

Der normale Verkalkungsprozeß setzt im Organismus ein zur Schaffung eines Skeletts, zur Festigung und Versteifung gewisser Organe, entsprechend ihrer Funktion und schließlich zur Herstellung von Schutzvorrichtungen mannigfacher Art. Bei diesen Vorgängen wird der Kalk von den Zellen nach außen hin abgeschieden, schließt sie aber naturgemäß nicht völlig ab. So gelangt z. B. bei der Knochenbildung der Kalk in der hyalinen Interzellulärsubstanz zur Ablagerung, wobei die Haarkanäle die Zirkulation der Säfte zwischen den Zellen aufrechterhalten.

Im Innern der lebenden Zelle wird der kohlen saure Kalk in Form von Cystolithen abgeschieden, so z. B. bei Moreen und Acanthaceen. Viel häufiger setzt sich der Kalk auf der Oberfläche vieler in Wasser flutenden Pflanzen ab, z. B. auf *Chara*, *Potamogeton*, *Ricciella* u. a. Wenn so die Characeen in größerer Menge verkalken und absterben, lagern sie ganze Schichten von rezentem Süßwasserkalk ab¹⁾.

In den Cystolithen gelangt der Kalk im Innern der Zelle zur Abscheidung; ihr Bau und ihre Entwicklungsgeschichte sind durch viele Arbeiten hinlänglich und eingehend aufgeklärt, so daß wohl nur noch wenige Fragen zur Erörterung offen bleiben.

Anders verhält es sich mit dem Bau der Zellhäute bei den Kalkalgen, so z. B. bei den Corallineen, Melobesiaceen, bei einzelnen Arten von *Halymeda* und bei *Acetabularia*. Über die normale Kalk-einlagerung dieser Organismen finden sich Angaben in OLTMANN'S Werk: Morphologie und Biologie der Algen. 1904. Bd. I. p. 554.

Eine merkwürdige Erscheinung bei der normalen Verkalkung beobachtete BERTHOLD²⁾, daß nämlich bei den Corallineen die Ausbildung der Kalkhülle von der Belichtung abhängt. Bei günstigem Lichtgenuß ist die Ausscheidung von Kalk stärker und ausgiebiger, bei Lichtmangel dagegen geringer; im Schatten kann z. B. *Acetabularia* ganz kalkfrei bleiben.

Ferner zeigte MEIGEN³⁾, daß neben Kalkspath auch vielfach Arragonit in den Kalkalgen abgelagert wird, und HÖGBOM⁴⁾ fand,

1) S. KERNER v. MARILAUN. Pflanzenleben Bd. 1, p. 239.

2) G. BERTHOLD, Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Meeresalgen. PRINGSH Jahrb. 1882 13. p. 710.

3) W. MEIGEN, Beiträge zur Kenntnis des kohlen sauren Kalkes. Habilitationsschrift. Freiburg 1902.

4) A. HÖGBOM, Über Dolomitbildung und dolomitische Kalkalgen. Neues Jahrb. für Min. Geol. und Palaeont. 1894. 1. p. 262.

in den Inkrustationen außerdem noch Magnesiumkarbonat. So z. B. enthielten *Lithothamnium*-arten auf Bermudas an 12,4 % $MgCO_3$.

Für die Untersuchung der Frage, wie der Kalk in normaler Weise in die Zellohülle eingelagert wird, standen mir nur zwei Arten *Corallina*, *Lithothamnium polymorphum* und *Galaxaura monilifera* Kjell. u. Asken. zur Verfügung. Diese Art sowie das *Lithothamnium* wurden am Strand bei Bodö gesammelt, die *Corallina*-arten bei Helgoland.

Von *Lithothamnium* lassen sich Dünnschliffe nach bekannter Methode sehr leicht anfertigen; nur darf man nicht unterlassen, den letzten Schliff des Präparates ohne Smirgel im Wasserstrom unter der Leitung auf der Mattscheibe zu Ende zu führen, da man sonst abgeriebene Teilchen unter das Deckglas bekommt. Viel schwieriger gestaltet sich die Herstellung eines Präparates von *Corallina* und *Galaxaura*. Die Stielglieder werden zunächst in Alkohol völlig entwässert, worauf dieser durch Äther ersetzt wird. Darin erwärmt man die Objekte möglichst lange, um aus ihnen etwaige Luftblasen auszutreiben. Schließlich gibt man zu dem Äther mehr und mehr Kanadabalsam, von dem man an der Luft den Äther allmählich abdunsten läßt. Ist die Masse fest geworden, so wird sie evtl. unter weiterem Zusatz von Kanadabalsam vorsichtig eingeschmolzen, wobei man ein Übererhitzen zu vermeiden hat, das sich durch starkes Aufschäumen oder Schwärzung anzeigen würde. Das Erhitzen hat man einzustellen, wenn eine mit einem Stäbchen herausgenommene Probe fadenziehend wird und dabei schnell erhärtet. Bevor die Masse fest wird, verteilt man sie in kleine Formen aus Ölpapier. Nach dem ersten Anschleifen untersucht man mit einer Lupe, ob sich in der Schlifffläche auch Quer- und Längsschnitte befinden. Durch weiteres Schleifen mit einseitigem Druck lassen sich die schiefen Schnittflächen ausrichten.

Die Stücke werden nun nach dem gewöhnlichen Verfahren weiter behandelt, also auf dem Objektträger aufgeklebt und unter Anwendung von feinem Smirgel dünn geschliffen. Man verschleißt das Präparat mit Kanadabalsam, ohne zu erhitzen.

Um zunächst das Zellulosegerüst des Algenkörpers zu erhalten, wählen wir ein Präparat mit einem vollständigen Längsschnitt aus, der mit verdünnter Salzsäure entkalkt wird. Hierbei bemerkt man, daß die Gelenkzellen völlig kalkfrei sind. Nach dem Abspülen der Säure setzt man eine Lösung von $ZnCl_2 + J$ hinzu, wodurch sich das ganze Gewebe blauviolett färbt, also aus Zellulose besteht. Eine Differenzierung macht sich bemerkbar, wenn man zu einem zweiten entkalkten Präparat Kongorotlösung hinzufügt: dadurch

färben sich die langgestreckten Gelenkzellen überhaupt nicht, während die Gliederzellen den Farbstoff leicht annehmen. Daraus folgt, daß die Zellulose der Gelenkzellen den Charakter einer Säure besitzt, und daß die der Gliederzellen von basischer Art ist. In diesen Eigenschaften liegt wahrscheinlich der Grund, daß der Kalk in die Zellhäute der Gelenkzellen nicht eingelagert wird.

Die normale Verkalkung geht bei den Corallineen, bei *Lithothamnium*, überhaupt bei allen Kalkalgen in der Weise vor sich, daß winzig kleine Kalkkriställchen nicht lückenlos der Zellwand eingelagert werden. Sie verschmelzen wohl miteinander, aber bilden ein von vielen einfachen oder verzweigten Kanälen durchzogenes schwammförmiges Gerüst. Es gelang mir, dies in Fig. 4 mit dem Immersionssystem im polarisierten Licht zur Darstellung zu bringen. Das Präparat entstammt einer bei Bodö gefundenen *Galaxaura* mit kurzen Stielgliedern, die seitlich von einem schmalen, flügelartig hervorspringenden Hautsaum umrandet sind. Unter dem Mikroskop lassen sich die Porenkanälchen deutlich verfolgen, da die Kriställchen auf dunklem Grunde hell aufleuchten und scharf umschrieben sind. Man sieht, wie die Kanälchen vielfach anastomosieren. Ferner läßt sich leicht erkennen, daß in den Querwänden, die parallel zur Oberfläche gelagert sind, viel weniger Kalkteilchen eingelagert sind. Diese fehlen sogar in den Querwänden der jüngeren Zellen vollständig. Da dieselben reihenweis in Trajektorien aneinanderschließen, machen sie gewissermaßen den Eindruck von Siebröhren. Durch diese Einrichtung wird, wie wohl ohne weiteres ersichtlich ist, die Zirkulation der Säfte bedeutend erleichtert.

Die Kalkkriställchen sind meist sehr klein, nur ausnahmsweise werden sie etwas größer, und nach dieser Hinsicht fand sich unter den Präparaten ein Schliff, der die Beantwortung der Frage zuließ, ob die kristallographische Hauptachse der Kristalle eine gewisse Richtung innehält. In Fig. 5 — gezeichnet mit dem System Zeiß E im polarisierten Licht — sehen wir einen Querschnitt der Zellen. Daran läßt sich leicht beobachten, daß die Hauptachsen der Kristalle senkrecht zur Längsachse der Zelle und radiär in der Zellwand gelagert sind. Abweichungen von der orthogonalen Richtung kommen vor; sie sind wohl durch Verschiebung der Kristalle infolge von mechanischem Druck bei der Einlagerung entstanden.

In den übrigen Präparaten erschienen trotz der starken Vergrößerung die Kalkteilchen nur als sehr kleine eckige Körperchen, an denen mit Sicherheit eine kristallographische Hauptachse nicht

zu erkennen war (Fig. 4a u. b). Doch ist zu vermuten, daß die Anlage derselben stets oder doch vorzugsweise radiär in der Zellwand erfolgt, denn in einzelnen Querwänden, in denen die Kriställchen sich nadelförmig ausgebildet hatten, waren diese stets senkrecht zum Querdurchmesser der Zelle eingelagert. Wahrscheinlich dürfte der Flüssigkeitsstrom, der von Zelle zu Zelle hauptsächlich durch die weniger verkalkten Querwände erfolgt, eine richtende Wirkung bei der Anlage der Kristalle ausüben.

Die lithogene Verkalkung.

Die basalen Glieder der Algenstämmchen werden von Detritus umhüllt, dessen Teilchen miteinander verschmelzen. Gleichzeitig schlägt sich außen auf der Oberhaut noch nachträglich der Kalk in feinkörnigen Kristallen nieder. Dadurch wird allmählich ein Kalkmantel gebildet, in welchem die Algenzellen zum Absterben gebracht werden, und in dem dann ein Nährboden für Bakterien aller Art geschaffen ist. Tatsächlich fand ich auch in den Spalten und Poren der untersuchten Kalkstücke noch Kokken und fadenförmige Spaltpilze. Diese werden dann besonders in den umhüllenden Kalkmänteln weiter wuchern, und so werden auch hier, wie in den Kalkwurzeln ähnliche Verhältnisse geschaffen. Durch die von diesen miteingeschlossenen Pilzen abgeschiedenen Cytasen wird die in dem Algengewebe noch vorhandene Zellulose gelöst. Infolgedessen konnten die schon normal eingelagerten Kriställchen anwachsen oder neue auskristallisieren. Die Poren wurden somit angefüllt, die Zellwand ging vollständig in Kalk über. Bei dieser neuen sekundären Einlagerung nahmen die Kriställchen keine bevorzugte Richtung ein, vielmehr gleicht nun der Vorgang ganz dem der Gewebverkalkung in den Kalkwurzeln.

Von der Zellwand aus greift die Verkalkung auf den Zellinhalt über. Entweder wird dieser ganz mit Kalkspathkristallen ausgefüllt (S. z in Fig. 6) oder von dem Plasma bleibt ein Rest übrig, der durch eine Art Karbonisierungsprozeß infolge der Einwirkung von Pilzsekreten in Huminsubstanz übergegangen ist (S. z in Fig. 7). Diese Verkalkung verläuft vorzugsweise zentripetal, wodurch feste Röhren entstehen. Ihre äußere Schicht ist der Kalkmantel, der zuerst den Algenkörper einhüllte.

Zwischen den Corallineen fanden sich noch andere Algen von konfervoidem oder strauchartigem Habitus — vielleicht *Ectocarpeen*, *Bangia* u. a. —, die also normal nicht verkalken. Bei diesen fadenförmigen Algen, deren Thallus eine oder mehrere Zellreihen bildete, beginnt die lithogene Verkalkung gleichfalls damit, daß sich auf

der Oberfläche der Stämmchen erst vereinzelt, dann mehr und mehr Kalkkriställchen absetzen. Diese verwachsen miteinander und bilden einen röhrenförmigen Kalkmantel, ähnlich so, wie es im Süßwasserkalk bei Characeen¹⁾ vorkommt. Die Algen zerbrechen nun, fallen zu Boden und werden von Detritus umhüllt.

Um die weitere Veränderung dieser Kalkröhrchen, die im Helgoländer submarinen Kalk in großer Menge vorkommen, zu verfolgen, wurden Stücke dieser Kalkablagerung, auf der jene Algen gewachsen waren, nach Behandlung mit Kanadabalsam geschliffen, so wie ich es für die Stielglieder von *Corallina* angegeben habe. Auf dem Schliff wurden die noch unverkalkten organischen Überreste mit Methylenblau gefärbt.

Viele der Röhrchen waren ganz leer oder nur zum Teil mit Kalkspathkristallen angefüllt. Andere enthielten noch färbbare organische Substanz, in der die Zellhäute undeutlich zu erkennen waren. Meist lag der zusammengeschrumpfte Algenkörper der einen Seite des Kalkröhrchens an, der übrige Teil der Höhlung enthielt mehr oder weniger Kalkrhomboeder (Fig. 8b, z = Zellhäute). Es kamen jedoch auch Röhrchen besonders von *Corallina* vor, die ganz mit verkalktem Algengewebe angefüllt waren; in ihnen ließen sich noch die einzelnen Zellen unterscheiden (Fig. 8a einen Querschliff).

In den meisten Fällen enthielten die Röhrchen eine dichte Masse von kristallinischem Kalk, in dem viele Huminkörperchen, die karbonisierten Überreste der Zellinhalte, vorkamen (Fig. 7 einen Längsschliff, m Kalkmantel, z verkalkte Zellen).

Schließlich fand sich noch eingebettet in Detritus ein verkalkter Algenfaden mit ziemlich großen Zellen; der Kalkmantel hatte sich nur einseitig entwickelt, zwischen den Zellen waren die Überreste der Zellwände zu unterscheiden und die Lumina waren völlig mit Kalkspat angefüllt (Fig. 6, m Kalkmantel, z eine Zelle).

Hier nicht unerwähnt lassen möchte ich Beobachtungen, die ich über den Kalksinter der Berliner Wasserleitung machte. Die Kalkgebilde hingen wie Eiszapfen von der Decke der Gewölbe herab, die sich über den Filteranlagen befinden. Die schön drusenartig auskristallisierten Kalkablagerungen enthielten nur ganz vereinzelt Algen, die nicht verkalkt waren. Zu diesen Kalksinterschichten hatten auch *Carexrhizome*, (*C. arenosa*) ihren Weg genommen und waren, von Kalk umhüllt, teils lebend, teils abgestorben. In einigen Gefäßen von diesen hing der Kalk an auszukristallisieren.

1) KERNER v. MARILAUN b. c.

Dagegen kamen völlige Zell- oder auch nur Zellwandverkalkungen in ihnen nicht vor, denn es dürften wohl die dazu notwendigen Bakterien nur gelegentlich in dem Kalksinter zugegen sein, da das Wasser durch eine über 2 m dicke Sandschicht filtriert wird, bevor es abtröpfelt.

Bei längerer Dauer würden also wohl die Gefäße der abgestorbenen Rhizome gänzlich mit kristallinischem Kalk ausgefüllt und die Oberfläche mit einem Kalkmantel umkleidet. Dieser Vorgang verläuft so, wie die Verkalkung der vegetabilischen Objekte im Karlsbader Sprudel: es ist eine unvollkommene Verkalkung.

Bei der fossilen, im Rhät vorkommenden *Diplopora annulata* bestehen die Kalkröhrchen aus ziemlich reinen Rhomboedern. Der Inhalt der Röhren ist aus kristallinischem Kalk zusammengesetzt, der viele feinkörnige Huminkörperchen enthält, ähnlich wie in Fig. 7. Dies sind die metamorphosierten plasmatischen Überreste: sie hemmen die Lösung des Kalks durch Salzsäure, während der aus reineren Kristallen bestehende Mantel sich viel leichter löst.

In früheren Erdperioden müssen in den Meeren für die Ablagerung submariner Kalkschichten die damaligen Algen eine ähnliche Bedeutung gehabt haben, wie die der Jetztzeit. Dafür ließen sich Belege aus dem Rhät beibringen. Unterhalb Partenkirchen an der Loisach liegen als sogenannte „Partnachsichten“ Kalkbänke, die mit dünnen Kohlschichten durchsetzt sind.

Die Untersuchung der Dünnschliffe dieser eingesprengten, dünnblättrigen Kohle lehrte, daß es sich um Algenreste handle; denn teilweise waren noch Zellstrukturen und Zellwände in karbonisiertem Zustande zu erkennen. An anderen Stellen lösten sich die Massen unter dem Mikroskop in größere oder kleinere Huminkugeln auf. Der Thallus dieser Algen muß blattartig und dünn gewesen sein, etwa so wie bei unseren Laminarien oder *Fucus*arten. In einem der Präparate fand sich eine *Foraminifere*.

Den interessantesten Fund bilden jedoch völlig verkalkte Algenstättchen, die mit denen der Helgoländer submarinen rezenten Kalkschicht auffallend übereinstimmen (vgl. die Fig. 7, 8 und 10). In Fig. 10 ist ein Querschnitt dargestellt, in dem sich von dem Inhalt noch undeutlich der Kalkmantel abhebt. Die Zellen sind ganz verkalkt, der restierende Inhalt ist karbonisiert. Dieser verkalkte Algenkörper gleicht ganz dem einer in Fig. 7 dargestellten rezenten Alge. In beiden sind die Zellwände durch Kalk ersetzt. Trotz ihrer großen Ähnlichkeit im Aufbau können die beiden Algen doch sehr verschiedenen Stämmen des Systems angehören.

Unterbrochene Verkalkung.

Die völlige Gewebeverkalkung kann nur mit Hilfe von Pilzsekreten vor sich gehen, so daß sich an Stelle der abgebauten Zellwand kryptokristallinischer Kalk niederzuschlagen vermag. Beide Vorgänge müssen aufeinander eingestellt sein, denn erfolgt die Lösung der Zellwände zu schnell oder die Auskristallisierung zu langsam, so entstehen Hohlräume, die später allmählich mit Kalkspat ausgefüllt werden können. Auf derartigen Dünnschliffen erhält man ein nicht lückenlos zusammenhängendes Gewebe oder ganze Hohldrucke, in denen, wenn sie später ausgefüllt werden, die Steinkerne oder die sogen. „Versteinerungen“ entstehen.

Als ein für diese Fragen sehr günstiges Material erwies sich ein Kalktuff aus Klingen in Thür., den mir H. Prof. KOLKWITZ freundlichst „zugestellt“ hatte. Die Masse war mit Kalkröhrchen dicht durchsetzt, von denen z. B. eins einen Durchmesser von 3 bis 3,5 mm und eine Länge von 5 cm hatte. Doch dürften die Dimensionen noch anders ausfallen, wenn die Messung nicht an einem Bruchstück ausgeführt worden wäre. In einem der Röhrchen fand ich einen kleinen Überrest von einem monokotyledonischen Gefäßbündel — wahrscheinlich von einer *Inneus*art — in Verbindung mit fadenförmigen Bakterien (*Cladothrix?*).

Die Kalkröhrchen sind nach diesem Befund die gleichen Kalkmäntel, wie sie KERNER v. MARILAUN für die Characeen beschreibt und wie die, welche in den rezenten Kalkschichten des Helgoländer Meeresbodens vorkommen. Die meisten waren leer, Einzelne enthielten verkalktes Gewebe, allem Anschein nach von *Inneus*. Doch erstreckte sich diese Verkalkung nicht durch den ganzen Raum des Röhrchens, sondern nur durch geringe Teile. Diese Befunde sprechen dafür, daß die Pilzwirkung im Verhältnis zur Auskristallisierung des Kalkes übermäßig schnell erfolgte.

Experimentell ließ sich zeigen, daß sich in den Bruchstücken dieses Kalktuffes, selbst nachdem sie längere Zeit (1–2 Monate) trocken gelagert hatten, immer noch wirksame Pilze entwickelten. Die Methode, die ich an anderer Stelle¹⁾ näher beschrieben habe, beruht darauf, daß von Pilzen, wenn sie in Gegenwart von Schwefel und Zellulose Schwefelwasserstoff entwickeln, dies nur dadurch bewirkt werden kann, daß von ihnen eine Zytase oder Zellulase abgesondert wird, durch welche die Zellulose verzuckert wird.

1) S. E. ABDERHALDEN, Handbuch der Biochemischen Arbeitsmethoden. 2. z. Z. noch nicht erschienene Ausgabe. Abt. IV. Methoden zur Erkennung der Zytase.

Versuch: In einem Kolben wurden etwa 50 g feinpulverisierten Kalktuffes mit ebensoviel Wasser, 2 g sterilisierte Sägespäne und 2 g Schwefel möglichst gut miteinander vermengt. Es entwickelte sich allmählig, aber fortgesetzt Schwefelwasserstoff, der durch ein in den Hals des Kolbens hineingehängtes Bleipapier aufgefangen wurde.

In einem Parallelversuch wurde zu der Mischung etwas Glykose zugesetzt, wodurch sofort große Mengen von Schwefelwasserstoff erzeugt wurden.

Zur Untersuchung auf anaerobe zelluloseangreifende Bakterien wurden 5—10 g Kalktuff mit der gleichen Menge Schwefel und Holzspäne in 50 ccm Nährlösung gegeben, die auf 100 Wasser 0,1 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 0,5 % MgSO_4 — 0,025 % K_3PO_4 eine Spur NaCl und NH_4Cl enthielt. Nach dem Durchschütteln wurde die Flüssigkeit 2 cm hoch mit flüssigem Paraffin überschichtet. Auch hierdurch stieg Schwefelwasserstoff auf, der das darüberhängende Bleipapier schwärzte.

Nach diesem Ergebnis zu urteilen, müssen mit frisch gebrochenem Material bedeutende Mengen von Schwefelwasserstoff frei werden, und dementsprechend sind in dem Kalktuff reichlich aerobe und anaerobe Bakterien oder andere zelluloselösende Pilze vorhanden, wie dies ja auch die mikroskopische Untersuchung bestätigte.

Ganz anders verhielt sich ein Süßwasserkalk, der hinter Potsdam in der Havel gefunden wird. Da dieser eine leicht zerreibliche Masse bildet, mußte er in eine Lösung von Kanadabalsam gelegt und dann in dieses Harz eingeschmolzen werden.

Der Kalk enthielt reichlich die Schalen einer *Bithynia*, ferner organische, mit Methylenblau färbbare Substanzen, die zum Teil noch als Überreste von Blattgewebe, zum Teil als Pilzfäden zu erkennen waren. Interessant war darin das Vorkommen völlig verkalkter Algen. Von diesen sind in Fig. 12 (rechts) einige Stücke einer Fadenalge im polarisierten Licht wiedergegeben. In ihnen sieht man deutlich die einzelnen mit Kalkspath angefüllten Zellen sich abheben.

Auf der linken Seite sind einige der zahlreich vorkommenden Kugelalgen abgebildet. Sie erscheinen in allen Stadien der Verkalkung: Die Zellhaut ist entweder vorhanden, oder durch eine schalenförmige Kalkhülle ersetzt. Der Inhalt ist dunkelgelblich bis rötlichbraun, entweder feinkörnig, oder er enthält ein kugelförmiges Konkrement, in anderen Fällen auch mehrere.

Andero dieser Algen, die völlig verkalkt sind, zeigen den ehemaligen Inhalt nur durch eine gelbliche Färbung an.

Daß es sich um Algen und nicht um andersartige organische Zerfallstücke handelt, wird am besten dadurch bewiesen, daß sich Zellen im Teilungszustand auffinden ließen (Fig. 12, links unten).

Auch bei dieser Algenverkalkung müssen zelluloselösende Fermente mitwirken. Die Energie derselben muß ferner in einem gewissen Verhältnis zu der Auskrystallisation des Kalkes stehen. Wird jene übermäßig stark, so entstehen Hohldrucke wie in dem Klingener Kalktuff. In dem Süßwasserkalk der Havel ist eine solche Wirkung wegen der erleichterten Diffusion, da die Masse von Wasser überströmt wird, nicht anzunehmen.

Andererseits darf die Fällung des Calciumkarbonats nicht zu gering werden. Sie hängt ab von der Verdunstung, vom Kohlensäuregehalt des Wassers und damit von Luftdruck und Temperatur. So könnte man z. B. die Beobachtung BERTHOLDS von kalkfreien, im Schatten wachsender Acetabularien dadurch erklären, daß an diesen Orten infolge geringerer Assimilation das Wasser einen höheren Kohlensäuregehalt besitzt, wodurch der Kalk leichter in Lösung geht.

Ein Versuch, um festzustellen, wie die Fermenteinwirkung während der Ausfällung von Kalk vor sich geht, wurde folgendermaßen ausgeführt: Zu 50 g fein zerriebener Kalkwurzeln wurde ebensoviel Wasser mit einer Anzahl dünner Radialschnitte aus Kiefernholz gegeben. Nach Durchleiten von Kohlensäure wurde der Hals des Kolbens mit Watte verschlossen. Die Schnitte waren nach dreimonatlicher Einwirkung der Pilzenzyme stark korrodiert und gleichzeitig dicht bedeckt mit kleinen Kalkkrystallen, so daß erst nach Lösung derselben die Korrosionen aufzufinden waren. Es besteht also kein Zweifel, daß bei längerer Versuchsdauer die Holzsnitte gänzlich verkalken würden, und in ihren Dünnschliffen würde man dann die nunmehr aus Kalk bestehenden Tracheidenzellwände zu erkennen vermögen.

Schließlich sei noch erwähnt, daß man verkalktes Gewebe noch im Carbon antreffen kann. So z. B. ließen sich in einem Schliff durch ein Equisetites aus dem Waldenburger Carbon deutlich die verkalkten Hartbastbündel erkennen.

Resultate.

1. Bei der Halbverkalkung werden in kalkreichen Wässern die vegetabilischen Objekte mit einem Kalkmantel umhüllt; innere Höhlungen, Gefäße, Tracheiden, Drüsenhöhlräume usw. werden mit kristallinischem Kalk ausgefüllt.

2. Bei der Ganzverkalkung wird das Gewebe durch Pilzfermente gelöst und durch Kalk ersetzt. Von der Zellwand aus wird das Lumen ausgefüllt, wobei von der organischen Substanz meist ein Rest in karbonisiertem Zustande übrig bleibt.

3. Bei dieser Verkalkung, die man lithogen oder steinkernbildend nennen kann, werden die Krystalle regellos ausgeschieden, und keine Richtung wird bevorzugt.

4. Die normale Verkalkung gewisser Algen (Corallinaceen, *Lithothamnium*, Melobesiaceen, *Halymeda* u. a.) besteht darin, daß Kalkkryställchen in die Zellwand eingelagert werden und miteinander zu einem schwammförmigen Gerüst verschmelzen. Die Hauptachse der Krystalle ist radial gerichtet, und in den parallel zur Oberhaut liegenden Querwänden wird weniger Kalk abgelagert.

5. Die Kohle in den Partnachsichten entstammt Algen mit blattartigem Thallus. Außerdem kommen darin die Überreste von Algen vor, deren Habitus strauch- oder fadenförmig ist. Ihr Stammquerschnitt ist mehrzellig, und das Gewebe ist völlig verkalkt.

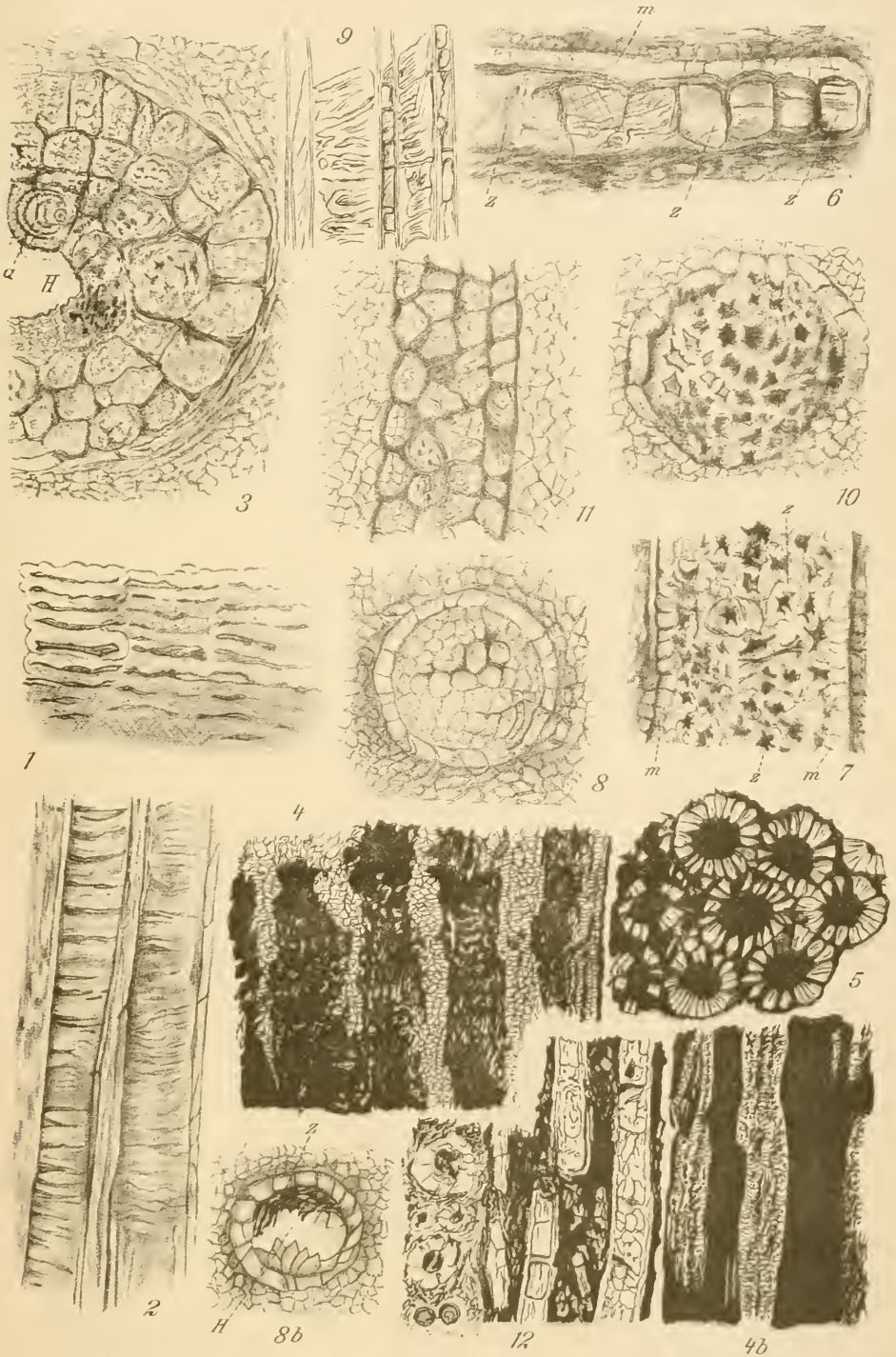
6. In Kalktuff können vegetabilische Objekte durch Pilze gänzlich zerstört werden, ohne daß ihr Gewebe verkalkt, wodurch Hohldrucke entstehen, die später Veranlassung zur Bildung von Steinkernen geben.

Die kleine Sammlung verkalkter *Achillae*rhizome, die Prof. HOFMANN-Stettin gefunden hat, ist dem Botanischen Museum zu Dahlem überwiesen worden. Für Überlassung von Material (Kalkalgen und Kalktuff) spreche ich noch Herrn Prof. KOLKWITZ meinen besten Dank aus.

Erklärung der Tafel IX.

- Fig. 1. Dünnschliff eines verkalkten *Achillae*rhizoms, quer durch die Phellogenschicht der Rinde.
- Fig. 2. Wie vorher. 2 verkalkte Gefäße im Längsschnitt.
- Fig. 3. Wie vorher. Schliff durch eine mehrzellige verkalkte Öldrüse. Im Innern der Hohlraum H, in der Zelle a eine konzentrische Ablagerung kristallinischen Kalkes.
- Fig. 4a. Längsschliff durch das Stengelglied einer bei Bodö gefundenen *Galaxaura*. Vergr. 1000—1200fach mit dem Immersionssystem und gezeichnet in polarisiertem Licht.
- Fig. 4b. Wie vorher. Der Schliff wurde durch eine jüngere Partie am Rande gemacht. Die tangential gelagerten Querwände erscheinen dunkel, da in ihnen noch kein Kalk abgelagert ist.
- Fig. 5. Präparat einer bei Helgoland gefundenen *Corallina*. Querschliff durch ein Stengelglied. Die Hauptachse der Kalkspathe ist radial gelagert. Vergr. mit ZEISS System E in polarisiertem Licht.

- Fig. 6. Eine verkalkte Fadenalge, in submarinem, rezenten Kalk eingebettet. m = der halbseitig ausgebildete Kalkmantel.
- Fig. 7. Längsschliff durch ein Kalkröhrchen aus submarinem, rezenten Kalk. Der Inhalt ist völlig verkalktes Zellgewebe eines *Algenhallus*. Vergr. 300 fach.
- Fig. 8a. Wie vorher. Querschliff.
- Fig. 8b. Wie vorher. z = zusammengeschrumpfte, noch mit Methylenblau färbbare Zellsabstanz H = Hohlraum, in den von unten Kalkspathe hineinkristallisieren. Vergr. 300 fach.
- Fig. 9. Halbverkalkung im Gefäßbündel eines *Carexrhizoms*, das sich im Kalksinter der Berliner Wasserleitung befand. Vergr. 300 fach.
- Fig. 10. Querschliff durch ein Kalkröhrchen, enthaltend das völlig verkalkte Zellgewebe eines Algenstämmchens wie in Fig. 8a. Das Objekt stammt aus dem kohlehaltigen Partnachkalk, gefunden unterhalb Partenkirchen am linken Loisachufer. Vergr. 400 fach.
- Fig. 11. Wie vorher. Längsschliff. Vergr. 400 fach.
- Fig. 12. Dünnschliff durch einen Süßwasserkalk, der in der Havel hinter Potsdam gefunden wurde; enthält völlig verkalkte Fadenalgen (rechts). Auf der linken Seite Kugelalgen mit verkalkter Membran, entstammen aber einem anderen Präparat. Gezeichnet in polarisiertem Licht. Vergr. 300 fach.



J. Grüss ger.

H. Jausa lit.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [37](#)

Autor(en)/Author(s): Grüss(Grüb) J.

Artikel/Article: [Lithogene und normale Verkalkung 531-543](#)