

II. Übersichten über die Fortschritte der Geologie.

See-Erz, Roströhren und verwandte Konkretionen.

Von **Waldemar Ohle.**

(Aus der Hydrobiologischen Anstalt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft
zu Plön i. H.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Einleitung	281
II. Die bisherigen Forschungen über Eisen- und Mangankonkretionen	283
III. Die Entstehung von Roströhren	288
IV. Den Roströhren ähnliche Bildungen	290
V. Fossile kegelartige Gebilde	290
VI. Zusammenfassung	292
VII. Literaturverzeichnis	293

I. Einleitung.

Im Herbst vorigen Jahres wurden wir zum erstenmal auf die interessanten und seltenen Litoralgebilde des Großen Plöner Sees aufmerksam, welche uns in der Arbeit S. 225 beschäftigt haben. Wir haben sie als Röhrensteine bezeichnet, weil sie eine zentrale Röhre besitzen. Anfangs dachten wir an einen Zusammenhang mit den lange Zeit bekannten, von LENZ (1924) beschriebenen unterseeischen Querkalkausscheidungen. Bald aber zeigte sich, daß es sich um Konkretionen gänzlich anderen Ursprunges handelte. Wir wollen uns an dieser Stelle mit denjenigen Bildungen befassen, welche auf Grund ihrer Gestalt und ihres Aufbaues mit Röhrensteinen verwandt sind.

Eine äußere Ähnlichkeit besteht unbedingt mit geschichteten Biolithen, wie sie u. a. die Schnecklisande des Bodensees und naheliegender Gewässer darstellen. Nach SCHMIDLE (1916) besteht dieser Kalksand teilweise nur aus Schneckenmumien. Diese zeigen infolge der regen Assimilationstätigkeit von Algen, wie *Schizothrix*, *Rivularia* usw. Jahresring-ähnliche, schalige Struktur, was SCHMIDLE damit erklärt, daß die „Mumien im Sommer rascher als im Winter wachsen, wo sie zudem meist trocken liegen“. Auch spricht SCHMIDLE von verzweigten, die Kalkinkrustationen durchziehenden Kalkröhrchen und gibt damit wahrscheinlich einen kurzen Hinweis auf die „Kegelsteine“ des Mindelsees sowie eines Wiesengrabens oberhalb des Dorfes Aufkirch bei Überlingen; im Bodensee fehlen sie. Brieflich teilte mir Herr Geh. Rat Dr. W. SCHMIDLE mit, daß die Kegelsteine Kalkausscheidungen einer *Chantransia*-Art darstellen. Sie erreichen mehr

als 6 cm Höhe und mehr als 3 cm Durchmesser, wie ich an den Exemplaren messen konnte, die mir Herr Geh. Rat Dr. SCHMIDLE gütigst zur Verfügung stellte. Der im Zentrum befindliche röhrenförmige, oben und unten offene Hohlraum ist auf einen *Phragmites*-Halm zurückzuführen, um den sich die Chantransien angesiedelt hatten. Die CO_2 wird dem Wasser durch die Algen entzogen, so daß die gelösten Karbonate, im wesentlichen CaCO_3 , ausfallen. Im Laufe der Zeit entsteht ein Kalkpolster — die anderen Karbonate mögen der Einfachheit halber unberücksichtigt bleiben —, an dessen Oberfläche die Algen immer weiter gedeihen, während sie im Bereich der Inkrustationen selbst allmählich absterben. Im Sommer erfolgt die CO_2 -Assimilation infolge erhöhter Temperatur gegenüber dem Winter in stärkerem Maße; die Folge ist eine erhöhte Kalkausscheidung. Stirbt dann der *Phragmites*-Halm ab und verwest allmählich, so haben wir ein Gebilde vor uns, wie es oben kurz beschrieben worden ist. Die Oberfläche der Kegelsteine ist mit kleinen Kalkwäzchen bedeckt, welche den ehemaligen Chantransien-Kolonien entsprechen.

Rein äußerlich ganz ähnlicher Beschaffenheit sind die Travertinröhren der Tivoli-Wasserfälle (COHN, 1864). Diese Konkretionen zeigen meist größere Ausmaße als die Kegelsteine und tragen ringsherum kleinere und größere Wäzchen, die letzten Kennzeichen der einzelnen Algenkolonien. Im Gegensatz zu den Bildungen des Mindelsees sind die Travertinröhren um verschiedenartige Initialien, z. B. um abgefallene Äste beliebiger Bäume usw. orientiert. Fällt dieser Kristallisationskern später heraus, so entsteht hier genau so der zentrale Hohlraum. Im Querschnitt wechseln konzentrische dichte, strahlige mit weichen, erdigen Schichten ab. COHN macht diese Folge von der Beschaffenheit des Wassers abhängig. Da die Regengüsse in Mittelitalien sehr regelmäßig in bestimmter Zeit des Jahres erfolgen, so glaubt COHN die Schichtungen als Jahresringe erklären zu können. Als primäre Ursache der Schalenbildung erklärt er die Kryptogamenvegetation; das weitere Anwachsen der Zylinder aber kann ohne Mitwirken von Lebensprozessen erfolgen.

Die Entstehung der Kegelsteine wie der Travertinröhren ist in chemischer Hinsicht nicht sehr verschieden von den Kalktuffbildungen, welche häufig zu finden und z. B. durch EULENSTEIN (1866) vom Uracher Wasserfall beschrieben worden sind. Zwischen Moosstengelchen, in der Hauptsache von *Hypnum commutatum*, wird ein Teil der gelösten freien CO_2 auf biologischem wie auf rein physikalischem Wege entfernt, und an derselben Stelle wird Kalk ausgeschieden. Da es sich hier schon um verhältnismäßig grobe Pflanzen handelt, ist die Schichtung der Ablagerungen nur undeutlich oder nicht zu erkennen. In kalkreichen Bächen, wie sie auf Rügen häufig sind, gedeihen auf den überspülten Steinen und hineingefallenen Baumzweigen usw. Algen, welche für eine allmähliche Ausscheidung des

Kalkes weitgehend verantwortlich sind. Im Sommer wird viel und lockeres Karbonat gebildet, im Winter dagegen wenig, dafür um so festeres. Das Ergebnis ist eine wohl ausgebildete feine Schalenbildung um die Kristallisationskerne herum.

Alle die beschriebenen Kalkkonkretionen sind auf die gleiche chemische Entstehungsformel zu bringen: Auf physikalischem oder auf assimilatorischem Wege wird die CO_2 -Konzentration herabgesetzt, so daß das Lösungsgleichgewicht der gelösten Karbonat-Ionen gestört wird. Im wesentlichen bestehen die Konkretionen aus CaCO_3 ; aber auch Fe_2CO_3 bzw. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ist meistens in hohem Prozentgehalt vertreten.

II. Die bisherigen Forschungen über Eisen- bzw. Mangan-konkretionen.

Die bedeutendsten Beiträge zur Erforschung der Probleme hat EINAR NAUMANN in zahlreichen Veröffentlichungen gegeben. Es waren vor allem die schwedischen, im vorigen Jahrhundert noch vielfach abbauwürdigen See-Erzlager, welche den Autor zu diesen Forschungen veranlaßt haben. Noch heute wird im See Vidöstern nach Erz gebaggert, wie mir Herr Prof. Dr. E. NAUMANN freundlichst mitteilte. Bereits 1919 stellte er fest, daß das Fe in Tonen oftmals in Oxydverbindungen um durch Pflanzenwurzeln erzeugte Kanäle abgeschieden wird. 1921 beschrieb er verschiedenartigste Roströhrenbildungen, die jedoch nur zum Teil in Tonen lagen. In den schwedischen Urgebirgen sind ja die Tone selten; sie finden sich bei einigen Seen von besonderer glazigener Natur, den eisgestauchten Wannern. Aber auch hier stehen sie sehr oft nicht im Litoral an, so daß sich keine Roströhren darin bilden können. Ob die Tatsache der relativen Seltenheit von Röhrenerzen unter den übrigen mannigfaltigen Formen schwedischer Erze damit in Einklang zu bringen ist, vermögen wir nicht ohne weiteres auszusagen. Die Oxydationsringe, welche die zentralen Röhren konzentrisch umgeben, führte NAUMANN auf LIESEGANGSche Phänomene zurück. In seiner Abhandlung über die Entstehung der See- und Sumpferze Süd- und Mittelschwedens (1929) gab NAUMANN dann allgemeine Erläuterungen über die chemischen Grundlagen der Erzbildung. Er schloß sich eng an S. ODÉN (1919) an, indem er für die Auflösung des Fe und für seinen Transport Humussäuren verantwortlich machte, während die Hydrokarbonatbindung nur selten in Frage kommen sollte. Auch wurde die Geltung der Meinung AARNIOS (1918) als möglich betrachtet, der annahm, daß Fe kolloidal als Ferrioxyd unter Mitwirkung von Humus als Schutzkolloid in Lösung gehalten würde. Bei der Ausfällung des Fe mußte es sich daher um Oxydationen der Humusstoffe handeln. Diese Ableitungen sind offenbar „regional bedingt“, insofern als diesen Forschern nur kalkarme, humose Wässer

zur Verfügung standen. NAUMANN macht schon selbst darauf aufmerksam, daß derselbe Effekt erreicht wird, wenn die Hydrokarbonate einer Oxydation unterliegen. Besonders bemerkenswert sind die von NAUMANN gegebenen Abbildungen, unter denen sofort die Schemata der konzentrischen Ringbildungen von eisenschüssigen Zonen um Pflanzenwurzeln auffallen. Eine besondere Art unter den formenreichen See-Erzen schwedischer kalkarmer Seen stellen die Röhren-erze dar, welche von NAUMANN auf Roströhrenbildungen zurückgeführt werden. Als Initiale für diese Konkretionen dienen dort meistens die elitoral wachsenden Pflanzen *Isoëtes*, *Lobelia* und *Subularia*. Es handelt sich dabei jedoch nicht einzig und allein um eine mechanische Wirkung der Wurzeln, indem die Röhren gebildet werden. Die schwedischen Röhren-erze sind an Ausmaß viel geringer als unsere Röhrensteine. Die Ursache dafür ist u. a. in den verschiedenartigen Initialen zu suchen. Die Wurzeln von *Isoëtes*, *Lobelia* usw. sind bedeutend kleiner als diejenigen von *Phragmites*, *Typha* usw. Außerdem ist bestimmt auch der Kalkgehalt des Untergrundes für die Größe der Konkretion verantwortlich. Auf die übrigen von NAUMANN genannten Initialmaterialien braucht hier nicht näher eingegangen zu werden. NAUMANN machte dann 1928 auf die Bedeutung der siderogenen Organismen für die See-Erzbildung aufmerksam, und 1929 schloß er sich im wesentlichen an die bereits in den genannten Veröffentlichungen dargelegten Anschauungen an. 1930 gab er die letzte Zusammenfassung im Rahmen seiner „Bodenkunde der Seen“, in welcher den Mikroorganismen erhöhtes Interesse gewidmet wird.

Ebenso wie NAUMANN setzen sich ASCHAN (1907, 1932) und PERFILIEV (1926) für die grundsätzliche Bedeutung der Mikroben bei der See-Erzbildung ein. PERFILIEV wendet sich mit aller Entschiedenheit an die Gegner dieser Anschauung. Die vergeblichen Bemühungen einzelner Forscher, in den Erzen Bakterien nachzuweisen, sind, wie der russische Autor betont, nicht als Gegenbeweis anzusehen, denn die Oxydhydrate sind in derartig umfangreicher Masse abgelagert, daß die Mikroorganismen nahezu gänzlich verdeckt werden und „die sorgfältigste mikroskopische Untersuchung erfolglos bleiben muß“.

Die bisher aus Rußland bekannten See-Erze weisen einen nur geringen Kalkgehalt auf. Die durch PERFILIEV wiedergegebenen chemischen Analysen der Erze des Seg-Sees geben z. B. einen Gehalt von 0,66% CaO und von 40,47% Fe₂O₃ an.

Auf die Resultate PERFILIEVs muß weiterhin aufmerksam gemacht werden, wenn eine Parallele von den See-Erzen zu denjenigen Fe-reichen Bildungen gestattet ist, die unmittelbar in größerer Seetiefe entstanden sind. PERFILIEV (1929) fand, daß in den im Schlamm zahlreicher Gewässer auftretenden grell gefärbten Mikrozonen von Eisenoxydhydrat in Massen die Eisenbakterie *Gallionella* auftritt.

Für die regionale Verbreitung der See-Erze gibt NAUMANN folgende Grundzüge an: Sie fehlen in den Kalkgebirgen; speziell läßt sich aussagen, daß die Erzbildung unterbleibt, wenn ein Einfluß von Kalkgesteinen, von Tonablagerungen oder von elektrolytreichen Gewässern besteht. Umgekehrt gehören die Erze in erster Linie den Urgebirgsgegenden Schwedens an und treten zusammen mit Silikatgesteinen, mit Grusablagerungen und mit elektrolytarmen Gewässern auf. So liegen die Verhältnisse in Schweden, wie NAUMANN (1930) uns beschrieben hat.

Bereits 1866 charakterisierte STAPFF die zahlreichen schwedischen Fundorte von See- und Wiesenerzen. Für die Mitte des vorigen Jahrhunderts ist diese regional-limnologische Darstellung als eine hervorragende Leistung anzusehen; und daher sollen die zusammenfassenden Schlußfolgerungen STAPFFS hier wörtlich zitiert werden:

„So stellt sich heraus, daß die See- und Wiesenerze den Gegenden vorzugsweise angehören, welche an Wäldern und Torfmooren reich sind, deren Boden aus Grus und Sand besteht, welche Flötz-Kalk, kalkigen Thon und Mergel entbehren, und wo Grünsteine und andere Bergarten vorherrschen, welche eisenhaltige Wässer veranlassen können.“

Für Norddeutschland sind wenigstens in rein theoretischer Hinsicht einige Ergänzungen zu machen, welche als Ausnahmen von den genannten Regeln zu bewerten sind. An einen praktischen Abbau der anzuführenden, im Vergleich zu den schwedischen minimal kleinen „See-Erzlager“ kann niemals gedacht werden. Ihre Existenz in kalkreicher Umgebung aber ist wissenschaftlich von einigem Interesse.

Die ältesten Angaben über See-Erzbildung in einem kalkreichen Gewässer stammen von WELTNER (1905), der sie zum erstenmal im Madü-See in Pommern fand. Eine Wasseranalyse von jenem See besitzen wir leider nicht; über den Kalkreichtum des Wassers orientieren aber ungefähr auch die von WINTER ausgeführten und von WELTNER wiedergegebenen Sedimentanalysen. Der Schlamm von der Schar der Madü besaß einen CaCO_3 -Gehalt von mehr als 30%. Mit der Dredge faßte WELTNER in 20—30 m Tiefe des Sees kleine, im frischen Zustand hellbraun gefärbte, an der Luft dunkler werdende Kügelchen. In deren Zentrum saß manchmal ein kleines Schneckengehäuse oder ein größeres Sandkorn usw. Diese Stoffe dienten offenbar als Initialmaterial. Darum sind in konzentrischen Schalen weichere und härtere Lagen von See-Erz orientiert, welche nach dem Kochen mit Salzsäure feinste Sandkörnchen, Diatomeen, Pollenkörner usw. im Rückstand erkennen ließen. Die Abscheidung der Metallhydroxyde wird durch die O_2 -Abgabe der Pflanzen befördert, sofern diese vorhanden sind. Außerdem weist WELTNER, indem er sich an BECK (1903) anschließt, auf die mögliche Bedeutung von Eisenbakterien hin.

Eine weitere Mitteilung über kalkreiches See-Erz stammt wieder von NAUMANN (1922), und zwar von der Spree bei Berlin. Es

handelt sich dort um schrot- und erbsengroße Konkretionen von z. T. völlig unregelmäßiger Gestalt, entsprechend den ungleichmäßig geformten Initialen, wie größeren Sandkörnern usw. Der Autor versuchte, die Eisenfällung rein chemisch-physikalisch verständlich zu machen, indem er sich eine Koagulation von Ferrihydroxyd-Sol an kapillaren Rissen der Sandkörner vorstellte. Schon KOLKWITZ (1909) hatte die Spree-Erze kurz beschrieben und festgestellt, daß der Kern derselben stets mit organischen Fragmenten erfüllt ist. Teilweise fand KOLKWITZ darin Molluskengehäuse. Eine wichtige Ergänzung zu diesen Daten ist die NAUMANNsche Arbeit.

Auch WESENBERG-LUND (1901) berichtet in seiner Arbeit über die Sedimente des Fure-Sees von See-Erz. Es wurde auf Grund der vorherrschenden Form als Bohnerz bezeichnet und ist auch vom dänischen Tjustrup-See bekannt. Der Fure-See besitzt einen durchschnittlichen Kalkgehalt von 40 lmg Ca (BRÖNSTED und WESENBERG-LUND, 1911) und ist daher als kalkreich zu bezeichnen. Einige andere seeländische und jütische Gewässer enthalten ebenfalls See-Erz, im Vergleich zum Fure-See aber weniger; sie stehen in der Karbonatkonzentration meistens in gleicher Höhe wie der Fure-See. Als Initialmaterial dienten am häufigsten Molluskenschalen, welche gewissermaßen im Laufe der Zeit in Limonit umgewandelt werden. Wie weit Mikroorganismen eine Rolle bei der Erzentstehung spielen, läßt WESENBERG-LUND ausdrücklich unentschieden.

Weitere Vorkommen von See-Erz sind von vier kalkreichen Seen der Alpen bekannt, vom Starnberger, Tegern-, Kochel- und Millstätter See. Profundale Eisenanreicherungen beschreibt WASMUND (1930) auch vom Enzig-See in Pommern. Dort waren Chironomiden-Röhren in 35 m Tiefe des Sees durch Fe gelbrot gefärbt. Eine ähnliche Beobachtung machten wir an den Tiefersedimenten des Schmalen Lucin in Mecklenburg (OHLE, 1934).

Damit ist die uns bekannte Literatur erschöpft, die sich speziell mit See-Erzbildung kalkreicher Gewässer beschäftigt. Eine Zusammenfassung bis zum Jahre 1908 hat POTONIÉ gegeben, nachdem er schon 1899 die Roströhrenbildungen kurz erwähnt hatte. Er bezeichnete sie als Ton-Eisen-Hosen. Allgemein ist wahrscheinlich die Anhäufung von Eisenhydroxyd in kalkreichen Gewässern häufiger, als man bisher angenommen hat.

Die Roströhren kalkreicher Landschaften gehören unbedingt auch zu dieser Kategorie von Eisenablagerungen. Von Gewässern jener Gegenden sind sie noch nicht beschrieben worden, wohl aber von feuchten Standorten, von denen meistens nicht ermittelt werden kann, ob sie ehemals vielleicht unter Wasser gelegen haben.

Als erste ausführliche Veröffentlichung dieser Art ist diejenige von GEINITZ (1912) zu nennen. Wenn der Autor auch eine unzureichende Erklärung für den Ursprung der eisenschüssigen Zonen an-

gegeben hat, so bleibt doch das Verdienst bestehen, die Konkretionen zum erstenmal beschrieben zu haben. Außerdem war es dieser geniale Forscher, der als erster die Bedeutung der Kolloidchemie für die Ausbildung der konzentrisch angeordneten Schalen wechselnden Fe-Gehaltes erkannte, zu einer Zeit, als noch nicht einmal die „Geologischen Diffusionen“ von LIESEGANG (1913) erschienen waren.

Das Material, welches GEINITZ wahrscheinlich zur Verfügung stand — so nehmen wir an, obgleich der Autor keine näheren Angaben über die Herkunft seiner Proben macht, vielmehr allgemein von „unseren Diluvialtonen“ spricht —, haben wir in dankenswerter Weise vom Mineralogisch-Geologischen Institut der Universität Rostock leihweise erhalten. Die Konkretionen haben das gleiche Aussehen wie unsere vom Ufergelände des Großen Plöner Sees, darunter kugelige und elliptische Formen; andere wieder sind von zylindrischer und weitere von flacher Gestalt. Herr Prof. Dr. CORRENS machte mir die Mitteilung, wofür ich meinen Dank an dieser Stelle wiederholen möchte, daß fünf Stück der Konkretionen aus der Warnow-Niederung südl. von Rostock von den Orten Pölchow, Papendorf und Ziegelei Papendorf stammten und zwei weitere Gebilde von Hohenfelde südl. von Doberan. Gewässer liegen nicht in der Nähe. Wie die Verhältnisse in früherer Zeit lagen, läßt sich nicht ohne weiteres entscheiden. In allen Fällen fanden sich die Gebilde im Diluvialton, dessen geologisch-zeitliche Stellung bisher nicht genauer ermittelt worden ist. Beim Ausgraben kam der schalige Bruch zum Vorschein, der auf die durch Fe-Fällung hervorgerufene Erhärtung zurückzuführen ist. Auf diese Weise sind die mecklenburgischen Konkretionen den Röhrensteinen des Großen Plöner Sees sehr ähnlich; es fehlt nur der sekundäre Algenbewuchs. Auch der Kalkgehalt der ersteren ist groß.

Eine ausführliche chemische Untersuchung von Roströhren stammt von FROSTERUS (1913). Mit seinen Ergebnissen hatten wir die unserigen ausführlich zu vergleichen (S. 237 ff.). In der Nähe von Paimio (Finnland) besteht der Boden maximal bis zu einer Tiefe von 60 m aus postglazialen Tonablagerungen. Es finden sich, wie an Hand von Bestimmungen der fossilen Diatomeenflora nachgewiesen werden konnte, Tone der Yoldia-, der Ancyclus- und der Litorina-Zeit übereinander gelagert. Die Roströhren liegen in einer Tiefe von 45 bis 175 cm unter der Oberfläche. Im südlichen Finnland wurde ein weiteres Profil durch Bänderton bei Leppäkoski erschlossen. Die konzentrisch um Wurzeln gelagerten Zonen wurden dort bis zur oberen Grenze des Grundwasserhorizontes noch in einer Tiefe von 4 m angetroffen. In Holstein beträgt die Maximaltiefe des Vorkommens 1,5 m. An der Oberfläche des Geländes wurden in Finnland niemals Roströhren beobachtet, so daß es auch nicht zur Bildung von Röhrensteinen kommen konnte.

Letzthin berichtet MÜCKENHAUSEN (1934) aus der Umgebung von Landsberg (Warthe) von „röhrchenförmigen Eisenhydroxydbildungen, Konkretionen von Raseneisenstein und Kalziumkarbonat“. Wichtig ist die kurze Angabe des Autors: „Es ist charakteristisch, daß in dem Sand das Sesquioxyd des Eisens homogen zum Absatz kommt, was in dichtem Lehm und Tonboden nicht der Fall ist.“

III. Die Entstehung von Roströhren.

Im Großen Plöner See sind es *Phragmites communis*, *Typha latifolia*, *Juncus supinus*, *Scirpus lacustris* u. a., in schwedischen Gewässern sind es nach NAUMANN (1922) im wesentlichen die Charakterpflanzen der kalkarmen Gewässer, *Isoëtes*, *Lobelia* und *Subularia*, welche Roströhren ausbilden. Dabei ist die Pflanzenart sicherlich ohne Bedeutung, indem alle Litoralpflanzen derartige Bildungen hervorrufen können. Sie müssen nur befähigt sein, ihre Wurzeln tief genug in den tonigen bzw. kalkigen Untergrund zu schicken, d. h. sie müssen die obersten Zentimeter lockerer Ablagerungen durchdringen, obgleich auch hier schon Färbungen von Eisenhydroxyd beobachtet werden konnten. Prinzipiell entsprechen die in der Seekreide verlaufenden Fe- und Mn-Fällungen denjenigen der Tone, entbehren jedoch im allgemeinen der sekundären Erhärtungsprozesse und sind mechanischen Beanspruchungen gegenüber nicht besonders widerstandsfähig. Wir wollen sie daher bei unseren weiteren Betrachtungen vernachlässigen, wollen aber noch einmal hinzufügen, daß für sie die meisten an tonigen Gebilden näher studierten Erscheinungen zu verallgemeinern sind.

Die Wurzeln pressen den Ton auf Grund ihres Wachstums auseinander. LÖNNERBLAD (1933) vermochte nachzuweisen, daß die Wurzeln in den so entstandenen Röhren O₂ abgeben, welcher im Zellgewebe dorthin diffundiert. *Isoëtes* zeigte in Laboratoriumsversuchen an den Wurzelspitzen ein lebhaftes Wachstum, so daß der O₂ in dieser Region dafür total verbraucht wird. *Phragmites communis* und *Juncus supinus* aber atmeten dort weniger und produzierten O₂. Gerade diese Pflanzen haben für das Problem in Holstein Bedeutung. An Hand unserer Untersuchungen können wir die LÖNNERBLADschen Ergebnisse stützen. Die Roströhren der beiden Pflanzen reichten stets bis zu den feinsten Wurzelspitzen, ein Zeichen für die hohe O₂-Abgabe und die dementsprechend geringe Wachstumsintensität dieses Teiles. Als wichtigstes Faktum ist die O₂-Abgabe als solche hinzustellen. Es muß LÖNNERBLAD (1933) zugestimmt werden, wenn er sagt: „Die Entstehung der Roströhren ist also nach meiner Ansicht in hohem Grade an die Lebensprozesse der Pflanzen gebunden. Die erste Anreicherung von Eisen um das Wurzelorgan ist indessen nur als ein Beginn zu betrachten . . .“ Die Meinung

STAPFFs, der freigemachte Sauerstoff werde durch „die faulenden Substanzen ozonisiert“, ist überholt. Die weitere Verdickung der Wurzelhülse soll nach Ansicht LÖNNERBLADS „auf rein physikalischem Wege und ohne Mitwirken des Organismus“ erfolgen, indem neue Partikel adsorbiert werden. „Dieser Prozeß kann dann noch lange nach dem Tode der Pflanze fort dauern und erreicht eine ganz besondere Mächtigkeit innerhalb der sowohl lokal wie regional begrenzten Gebiete, die ein eisenreiches Grundwasser zeigen.“ Wohl hat LÖNNERBLAD damit einen wichtigen neuen Gesichtspunkt, die O_2 -Abgabe der Wurzeln, in die Debatte über die Roströhren geworfen, das Problem aber ist nach unserer Ansicht auf diese Weise nicht erschöpfend behandelt. Die postvitale Anreicherung des Eisenhydroxyds bezeichnete NAUMANN (1921) als überwiegend gegenüber der zur Vegetationszeit erfolgenden und versuchte, die Lokalisierung insgesamt auf rein chemisch-physikalische Ursachen zurückzuführen. SJÖSTEDT (1921) konstatierte bei seinen Studien an den Küsten von Schonen das Vorherrschen der Eisenfällung an älteren Algen; demgegenüber „zeigten sich junge, neugebildete und zwar lebhaft assimilierende Zellen und Thallusteile immer ganz frei“ davon. Auch dauerte die Zunahme der Braunfärbung noch postvital an. Erläuterungen zu diesen Erscheinungen hat SJÖSTEDT nicht gegeben. Die Eisenausfällungen an *Batrachospermum vagum* erkannte LUNDQVIST (1923) als physiologisch veranlaßt und sekundär durch „Konkretion fortgesetzt“. Die röhrenartigen Bildungen bleiben nicht lange erhalten, da das Eisenhydroxyd nach dem Absterben des *Batrachospermum* wieder in Lösung geht. Sehr bedeutsam sind die Andeutungen, welche NAUMANN (1922) macht über den Hergang der nachträglichen Verdickung zunächst nur klein ausgebildeter See-Erze. Das Pflanzenmaterial könne z. B. durch den Gehalt an Gerbstoffen, die Molluskenschalen wegen ihres Kalkgehaltes infolge der Reaktion mit Eisenlösungen von Bedeutung sein. Nicht geringere Beachtung verdienen die Hinweise auf die Fällungswirkungen der Mikroorganismen.

Die Hervorhebung chemisch-physikalischer Faktoren für die Fe-Lokalisierung durch NAUMANN (1921) kann durch weitere Literaturangaben ergänzt werden. Mit ihren Anschauungen haben AARNIO (1913) und FROSTERUS (1913) in derselben Richtung gewiesen. Der erstere neigt dazu, den Kolloidcharakter von gelöstem Eisenhydroxyd als wesentlich in den Vordergrund zu stellen, indem einerseits Elektrolyte wie z. B. H_2SO_4 , die ja, wenn auch selten, in Naturwässern vorkommen kann, und andererseits negativ geladene Hydrosole, vor allem SiO_2 und Humusstoffe, das Fe festlegen. FROSTERUS muß sich auf Grund seiner Ergebnisse erstens auch zu der Bedeutung der Humusstoffe als fällendes Agens bekennen, zum anderen aber alleinige Wirkung von Oxydationsprozessen annehmen.

Mit Bestimmtheit läßt sich aussagen, daß allen diesen verschiedenen Ableitungen mehr oder weniger eine Bedeutung zukommt. Im Einzelfalle muß entschieden werden, ob das eine oder andere Faktum überwiegt.

IV. Den Röhrensteinen ähnliche Bildungen.

Den Röhrensteinen analoge Gebilde können die *Corophium*-Röhren der Watten darstellen, wenn auch in viel kleineren Ausmaßen. WOHLLENBERG (1931) fand die Wohnröhren von *Corophium volutator* mit Eisenhydroxyd bedeckt, das sich aus dem von oben in die Röhren gelangenden O₂ und dem reichlich vorhandenen Eisensulfid sowie anderen Fe-Verbindungen des Schlammes gebildet hatte. In der unmittelbaren Umgebung der Röhren waren die Sand- und Tonpartikelchen in einer etwa 1 mm dicken Schicht miteinander durch Eisenhydroxyd (auch Schleim?) verkittet. Der Autor teilt außerdem mit: „So fand ich in Gebieten, die in der Abtragung waren, vom strömenden Wasser herauspräparierte *Corophium*-Röhren. Der die Röhren umgebende Schlick war durch die Wasserbewegung fortgewaschen worden, die Röhren hingegen befanden sich zum Teil noch in ihrer ursprünglichen Lage und überragten wie Säulen das ausgeräumte Substrat“.

Die Röhrensteine des Gr. Plöner Sees sind nun mit Roströhren in ihrer ersten Entwicklung identisch. Die Roströhren sind erhärtet, der umliegende Ton wurde durch das bewegte Uferwasser fortgespült, und auf diese Weise blieben einzelne Säulen stehen, die Röhrensteine¹⁾.

Eine weitere interessante Parallele zu den Roströhren und Röhrensteinen sind die von RAMANN (1911, zit. nach NAUMANN, 1931) beschriebenen Osteokollen. In den durch Wurzeln im Erdboden erzeugten Gängen lagert sich unter gewissen Bedingungen CaCO₃ ab. Diese Osteokolla entsteht in trockenen, leichten Sanden und hat, nachdem der letztere fortgeweht ist, große Ähnlichkeit mit einem Tierknochen, daher der Name. Ganz analog den Röhrensteinen und Roströhren bewirkt der durch die verwesenen Wurzeln entstandene Erdkanal eine stärkere Durchlüftung. Die CO₂ hinzutretender kalkreicher Wasser wird zum Teil an die Luft abgegeben und auf diese Weise das Lösungsgleichgewicht der Karbonate gestört. Es fällt CaCO₃ aus; bei den Röhrensteinen wird zum Teil wahrscheinlich in gleicher Weise Eisenkarbonat gebildet, das anschließend sogleich der Oxydation unterliegt.

V. Fossile kegelartige Gebilde.

Als solche könnte man schon die ungeheuer zahlreichen Konkretionen der oben genannten Uferregion am Gr. Plöner See bezeichnen. Die obersten Lagen von ihnen müssen mindestens 50 Jahre alt sein.

¹⁾ Vgl. die Ergebnisse der hierüber angestellten Untersuchungen in dieser Zeitschrift, 1934, S. 225.

So lange Zeit ist seit der Seesenkung vom Jahre 1882 vergangen. Die in 1 m Tiefe des jetzigen Uferlandes anzutreffenden Roströhren aber müssen bedeutend älter sein. Das gleiche gilt wahrscheinlich für die mecklenburgischen Konkretionen. Eine zeitliche Festlegung war bisher leider nicht möglich, könnte indessen vielleicht auf pollen-analytischem Wege erreicht werden.

Die bekanntesten fossilen Wurzelröhren sind diejenigen aus dem miozänen Münzenberger Sandstein (LIESEGANG, 1913; 1931). Das tonig-quarzige Milieu war durch O₂-Armut ausgezeichnet, und es bildete sich daher nicht wie bei den Röhrensteinen Limonit; sondern Hämatit umgibt die Wurzelröhren in zahlreichen Kreisen, welche teilweise einen bedeutenden Durchmesser erreichen. Wir besitzen von dem Münzenberger Sandstein ein paar geschliffene Stücke, die einem Achat an Schönheit kaum nachstehen²⁾.

Kugel- und kegelförmige Konkretionen sind in verschiedensten geologischen Schichten verbreitet. Nur selten sind die Gebilde auf Wurzelröhren als Initial zurückgeführt worden. Teilweise möchte man annehmen, daß nur die exakte Ableitung dieser Bildungsweise noch nicht möglich gewesen ist. In einigen Fällen aber ist klar zu erkennen, daß nicht Pflanzenwurzeln, sondern Quarzkörner, Mollusken-schalen, Tierleiber usw. als wirksame Ausgangszone dienten. Die Herleitung eines Teils der Fe-Konkretionen aus dem Quadersandstein der nordböhmischen Kreideplatte von oxydierten, knollen- oder schnurförmigen Anhäufungen ehemaliger Pyritkristalle, wie sie GRABER (1908) vornimmt, ist anzuzweifeln, zumal ein derartiger Irrtum auch bei den pommerschen, einwandfrei andersartigen Konkretionen vorgelegen hat.

Eine eingehende chemische Untersuchung von Mangankonkretionen ist von GLEISSNER (1913) durchgeführt worden. Es handelte sich um Mn-reiche, knollenartige Gebilde aus dem Diluvium von Bruchsal in Baden. GLEISSNER konnte auf Grund seiner Untersuchungsergebnisse nicht genau angeben, ob die Bildung der Manganknollen auf biologischem Wege oder auf rein chemisch-physikalischem Wege erfolgt ist. Ich habe mich mit Herrn Prof. Dr. M. HELBIG, unter dessen Protektorat die genannte Arbeit entstanden ist, in Verbindung gesetzt. Leider sind die durch GLEISSNER eingesammelten Proben bei einem Brande des Freiburger Institutes für Bodenkunde verloren gegangen, wie mir Herr Professor HELBIG mitteilte. Wir müssen daher darauf verzichten, GLEISSNERS Untersuchungen näher zu berücksichtigen.

Wir glaubten anfangs, die „Sandkegel“ des Ostseestrandes, welche DEECKE (1906) zuerst beschrieben hat, auf Grund ihrer wohl ausgebildeten konzentrischen Struktur als Wurzelgebilde deuten zu können.

²⁾ Für die freundliche Überlassung der Proben möchte ich hiermit Herrn Prof. Dr. LIESEGANG meinen Dank wiederholen.

Vor allem schien uns die von dem Autor gegebene Ableitung, der sich ANDRÉE (1912a, 1912b, 1914 und 1920) angeschlossen hat, nur schwer verständlich, wenn er schreibt: „Die konzentrisch-schalige Anordnung entsteht durch Kapillarspannung des Wassers; in dem Maße, wie sich das Wasser seitwärts ausbreitet, wächst die Kugel zu einer bestimmten Größe.“ — „Dann überwindet die Schwere schließlich die Kapillarspannung, und es geht aus der Kugel durch Einsickern die Kegel- oder Tutenform hervor.“ Diese Erklärung wurde zu einer Zeit gegeben, als LIESEGANG mit seinen größeren geologischen Arbeiten noch nicht an die Öffentlichkeit getreten war. Herr Geh. Rat Prof. Dr. W. DEECKE hatte die Güte, mir brieflich längere Ausführungen über die Sandsteinkegel zu geben, wofür ich hier meinen Dank wiederholen möchte. Daraus geht hervor, daß es sich bei den Kegeln um lockere, beim Austrocknen vergängliche Gebilde aus dem Dünensand am Darß (Vorpommern) handelt. Sie sind wegen ihrer losen Beschaffenheit in keiner geologischen Sammlung zu finden. Sie entstehen und vergehen am Strande in zwei bis drei Tagen, können jedoch, durch Kalk- oder Humatlösungen zu widerstandsfähigen Konkretionen verfestigt, geologische Zeiten überdauern. So sind nach DEECKE die Kegel von Bornholm aus dem unterkambrischen Nexö-sandstein, ebenso diejenigen aus den oberen Coblenschichten (Kreis Marburg, Hessen) mit den vorpommerschen Sandsteinkegeln der Ostseeküste verwandt. Ich verdanke Herrn Geh. Rat Prof. Dr. DEECKE, diese fossilen Sandsteinkegel aus der Sammlung des Freiburger Geologischen Instituts in Händen gehabt zu haben. Von zentralen Röhren war nichts zu entdecken. Es fehlten aber auch die geringsten Spuren von Diffusionsringen, welche bei denselben Gebilden der Jetztzeit im Dünensand deutlich ausgebildet sein sollen (nach DEECKE, 1906); die Erhärtungsprozesse müßten demnach die der Entstehungsweise entsprechende Struktur vernichtet haben. Die Deutung der Genese bietet somit gewisse Schwierigkeiten und darf uns an dieser Stelle nicht weiter beschäftigen. Wir wollten nur ganz allgemein den Leitsatz herausstellen, daß nicht alle kegel- oder kugelförmigen Konkretionen, mögen sie im Querschnitt konzentrische Ringe aufweisen oder nicht, auf das Wachstum von Pflanzenwurzeln zurückzuführen sind.

VI. Zusammenfassung.

Den Röhrensteinen des Großen Plöner Sees verwandte Bildungen werden an Hand der wichtigsten Literatur beschrieben. Fe- und Mn-Konkrete — unter diese fallen See-Erze, Roströhren, Fe-Anhäufungen in Seesedimenten u. a. — sind nach dem jetzigen Stande der Forschung im wesentlichen durch Mikroben gebildet oder wenigstens in ihrer Entstehung durch diese Organismen unterstützt, obgleich meistens eine rein chemisch-physikalische Deutung der Prozesse möglich ist. Die Grundzüge der regionalen Verbreitung von See- und

Wiesenerzen in Schweden wurden zuerst von STAPFF dargelegt und später durch NAUMANN den neuesten Anschauungen angepaßt. Kalk, Ton und elektrolytreiche Gewässer unterdrücken die Erzbildung. Auch von karbonatreichen Böden und Wässern sind Anhäufungen von Eisenhydroxyd bekannt, aber den schwedischen Massenvorkommen gegenüber geringfügig. Die Entstehung der Roströhren wird näher erläutert. O₂-Abgabe der Pflanzenwurzeln, physikalische Adsorptionsprozesse, wahrscheinlich auch Gerbstoffe und Kalk usw. fällen Fe und Mn aus. Den Röhrensteinen ähnliche Bildungen sind bei den Wohnröhren von *Corophium* beobachtet worden. Auch die Osteokollen gestatten eine Parallele; dennoch handelt es sich dabei um Kalkfällung. Die bekanntesten fossilen Roströhren stammen aus dem Münzenberger Sandstein.

VII. Literaturverzeichnis.

- AARNIO, B.: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Ausfällung des Eisens in Podsolböden. — Intern. Mitt. Bodenkunde, **3**, Heft 2/3, S. 131 bis 140. 1913.
- , —: Om sjömalmerne i några sjöar i Pusula, Pyhäjärvi, Loppis, Somerniemi och Tammela Socknar. — Geotekniska Meddelanden, Nr. 20. Helsingfors 1918.
- ANDRÉE, K.: Über Kegeltexur in Sanden und Sandsteinen mit besonderer Berücksichtigung der Sandsteinkegel des oberen Unterdevon der Umgegend von Marburg. — Sitz.-Ber. d. Ges. z. Förd. d. ges. Wiss. zu Marburg, S. 49 bis 55. 1912a.
- , —: Über Sand- und Sandsteinkegel und ihre Bedeutung als Litoralgebilde. — Geol. Rundsch., **3**, S. 537—543. 1912b.
- , —: Über Sandsteinkegel im Potsdam-Sandstein des östlichen Canada. — Schriften d. Ges. z. Förd. d. ges. Wiss. zu Marburg, **13**, 7, S. 409—466. 1914.
- , —: Geologie des Meeresbodens. **2**. 1920.
- ASCHAN, O.: Humusämnen i de nordiska inlandsvatten och deras betydelse, särskildt vid sjömalmerne daning. — Helsingfors 1906. S. 151—157.
- , —: Die Bedeutung der wasserlöslichen Humusstoffe (Humussole) für die Bildung der See- und Sumpferze. — Zeitschr. f. prakt. Geol., **15**, S. 60 bis 61. 1907.
- , —: Om vattenhumus och dess medverkan vid sjömalmsbildningen. I—IV. — Stockholm. Arkiv f. Kemi, Min. och Geol., **10A**, Nr. 15, S. 1—143. 1932.
- , —: Über Wasserhumus und seine Beteiligung an der Erzbildung in den nordischen Süßgewässern. — Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, math.-phys. Kl., S. 505—518. 1932.
- BECK, R.: Lehre von den Erzlagern. 2. Aufl. Berlin 1903.
- BRÖNSTED und WESENBERG-LUND, C.: Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. — Intern. Revue d. ges. Hydrogr. u. Hydrol., **4**, Nr. 3 u. 4. 1911.
- COHN, FERD.: Über die Entstehung des Travertin in den Wasserfällen von Tivoli. — N. Jahrb. f. Min., Geol., Pal., S. 580—610. 1864.
- DEECKE, W.: Einige Beobachtungen am Sandstrande. — Centralbl. f. Min. usw., S. 721—727. 1906.
- EULENSTEIN, TH.: Tuffbildungen des Uracher Wasserfalls. — Jahreshefte des Vereins f. vaterl. Naturkunde in Württemberg, S. 36—42. 1866.
- FROSTERUS, B.: Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildung in Tonen der humiden Gegenden. — Intern. Mitt. Bodenkunde, **3**, S. 99—130. 1913.

- GEINITZ, E.: Kolloiderscheinungen in Konkretionen. — Centralbl. f. Min., Geol. u. Pal., S. 282—287. 1912.
- GLEISSNER, M. J.: Über rezente Bodenver kittungen durch Mangan bzw. Kalk. — Dissertation. Freiburg i. Br. 1913.
- GRABER, H. V.: Eisenreiche Konkretionen aus dem Quadersandstein der nordböhmis chen Kreideplatte. — N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal., Beil.-Bd. 25, S. 487. 1908.
- KOLKWITZ, R.: *Schizomycetes*. In: Kryptogamenflora der Mark Brandenburg. Leipzig 1909.
- LENZ, FR.: Quellkreide im Großen Plöner See. — Verhandl. d. Intern. Vereinigung f. theoret. u. angew. Limnologie Innsbruck, S. 361—376. 1924.
- LIESEGANG, R.: Beiträge zur Geochemie. — Geol. Rundsch., 4, S. 404—408. 1913.
- , —: Geologische Diffusionen. — Dresden und Leipzig, Verlag Th. Steinkopff. S. 1—180. 1913.
- , —: Disperse Gebilde. (Mineralogisch-Geologischer Teil.) — Handwörterbuch d. Naturwiss., 2. Aufl., S. 1096—1099. 1931.
- , —: Colloid chemistry and geology. — Colloid chemistry, S. 251—260. 1932.
- LINCK, G.: Über Diffusionsringe. — Chemie der Erde, 4, S. 88—94. 1930.
- LÖNNERBLAD, G.: Zur Kenntnis der Eisenausscheidung der Pflanzen. — Botan. Notiser, S. 402—412. 1933.
- LORIÉ, J.: La stratigraphie des Argilles de la campine belge et du Limbourg néerlandais. — Bull. Soc. Belge de Géol., 21. 1908.
- LUNDQVIST, G.: Om roströr hos Batrachospermum och dessas förhållande till slamavlagringarna. — Botan. Notiser, S. 285—292. 1923.
- MÜCKENHAUSEN, E.: Die Böden der weiteren Umgebung von Landsberg/Warthe und spezielle Untersuchungen an Grundwasserböden. — Landwirtschaftl. Jahrb., Zeitschr. f. wissenschaftl. Landwirtschaft, 79, S. 283—322. 1934.
- NAUMANN, E.: Om järnets förekomststätt i limniska avlagringar. — Sveriges Geol. Undersökn., Ser. C, Nr. 289. 1919.
- , —: Om roströr och vissa därmed jämförliga bildningar. — Ebenda, Ser. C, Nr. 301. 1921.
- , —: Södra och mellersta Sveriges sjö- och myrmalmer, deras bildningshistoria, utbredning och praktiska betydelse. — Ebenda, Ser. C, Nr. 297. 1922.
- , —: Über die Seerbildungen der Spree in der Nähe von Berlin. — Archiv f. Hydrob., 13, S. 397—403. 1922.
- , —: Siderogene Organismen und die Bildung von Seenerz. — Ber. Deutsch. Bot. Ges., 46, S. 141—147. 1928.
- , —: Die Bodenablagerungen der Seen. — Verhandl. d. Intern. Vereinigung f. theoret. u. angew. Limnologie, 4, Rom, S. 31—106. 1929.
- , —: Einführung in die Bodenkunde der Seen. — Die Binnengewässer, 9, S. 1—126. Stuttgart 1930.
- , —: Limnologische Terminologie. — Verlag Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1931.
- ODÉN, S.: Die Huminsäuren. — Kolloidchem. Beihefte, 10. 1919.
- OHLE, W.: Chemische und physikalische Untersuchungen norddeutscher Seen. — Archiv f. Hydrob., 26. 1934.
- , —: Roströhren und Röhrensteine im Ufer des Gr. Plöner Sees. — Natur und Volk. 1934.
- PERFILIEV, B. W.: Die Rolle der Mikroben in der Erzbildung. — Verhandl. d. Intern. Vereinigung f. theoret. u. angew. Limnologie, 3, Moskau, S. 330 bis 359. 1926.
- , —: Zur Mikrobiologie der Bodenablagerungen. — Ebenda, 4, Rom, S. 107 bis 143. 1929.

- PIA, J.: Kohlensäure und Kalk. Einführung in das Verständnis ihres Verhaltens in den Binnengewässern. — Die Binnengewässer, **13**, S. 1—183. Stuttgart 1933.
- POTONIE, H.: Lehrbuch der Pflanzenpalaeontologie. 1899.
- , —: Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. **1**. Die Sapropelite. — Abh. Kgl. Preuß. Geol. Landesanst., N. F. Heft 55, S. 1—251. 1908.
- RAMANN, E.: Bodenkunde. — Berlin 1911.
- SJÖSTEDT, G.: Om järnutfällning hos hafsalger vid skånes kuster. — Botan. Notiser, S. 101—130. 1921.
- SCHMIDLE, W.: Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte des Großherzogtums Baden. Blatt Konstanz. Nr. 162. Heidelberg 1916.
- STAPFF, F. M.: Über die Entstehung der Seerze. — Z. Deutsch. Geol. Ges., **18**, S. 86—176. 1866.
- WASMUND, E.: Lakustrische Unterwasserböden (Seeablagerungen der nördlichen humiden Breiten). — Handbuch der Bodenlehre (BLANCK), **5**, S. 97 bis 189. 1930.
- WELTNER, W.: Über den Tiefenschlamm, das Seerz und über Kalkstein-aushöhlungen im Madüsee. — Archiv Naturgesch., 71. Jahrg., S. 277—296. 1905.
- WESENBERG-LUND, C.: Studier over Søkalk, Bønnemalm og Søgtytte i danske indsøer. (Mit engl. Zus.) — Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, Nr. 7. 1901.
- WOHLENBERG, E.: Die grüne Insel in der Eidermündung. Eine entwicklungsphysiologische Untersuchung. — Arch. Deutsch. Seewarte, **50**, Nr. 2. 1931.
-