

3. Zur Deutung der Scolithus-Sandsteine und "Pipe-Rocks".

Von

A. G. Högbom.

Auftreten und Ausbildung der Scolithen.

Die als *Scolithus linearis* bezeichneten rätselhaften Gebilde der kambrischen Sandsteine und Quarzite in Schweden, Schottland und Nordamerika werden gewöhnlich Anneliden zugeschrieben. Einige Forscher haben sich jedoch recht skeptisch gegenüber der Herleitung dieser Scolithen aus Anneliden und überhaupt aus Organismen gestellt und eine rein mechanische Entstehung derselben für wahrscheinlicher gehalten. So hat NATHORST (1, S. 51) die Vermutung ausgesprochen, dass sie durch das Aufsteigen von Gasbläschen — vielleicht des sich durch Zersetzung organischer Substanzen entwickelten Sumpfgases — gebildet sein könnten.

Die Gebundenheit der Scolithen an einem bestimmten stratigraphischen Formationsglied, nämlich dem das Olenellusniveau unmittelbar und ohne Diskordanz unterlagernden unterkambrischen Sandsteine, und das Auftreten von verschiedenen »Arten« oder Typen in verschiedenen Horizonten dieses Sandsteins, so dass man sogar mit Hilfe dieser Typen verschiedene Subzonen in dem unterkambrischen Sandstein oder Quarzit in Schottland ausgeschieden hat (7, S. 372), scheint beim ersten Ansehen für die organische Herkunft der Scolithen zu sprechen. Wenn man aber andererseits gewisse, unten näher erörterten Eigentümlichkeiten dieser Gesteine und ihres geologischen Auftretens in Betracht zieht, findet man Umstände, die zu einem mehr mechanischen Erklärungsversuch einladen. Da ich nur die zwei wichtigsten Vorkommnisse von Scolithusgesteinen, nämlich die »Pipe-rocks« von Schottland und die Scolithussandsteine von Kalmarsund in Schweden, durch Autopsie kenne, werde ich im folgenden nur diese berücksichtigen¹. Betreffs der kanadensischen »Pipe-rocks« dürfte indessen im ganzen dasselbe wie für die schottischen gelten, mit welchen sie nach mündlicher Mitteilung von Professor P. QUENSEL, der sie beide kennen gelernt hat, ganz übereinstimmende Ausbildung haben. Betreffs der von

¹ Näheres über den Kalmarsandstein ist in den unter 1—4 und 7, S. 60, angeführten Arbeiten zu finden.

SVENONIUS¹ aus Lappland erwähnten Scolithusgesteine kann ich keine näheren Angaben über die Beschaffenheit der Scolithen geben.

Gemeinsam für die schottischen und südschwedischen Scolithusgesteine (vgl. HOLST 6 und PEACH 7, S. 372) sind folgende Eigenschaften:

- 1) Auflagerung auf eine subkambrische Denudationsfläche;

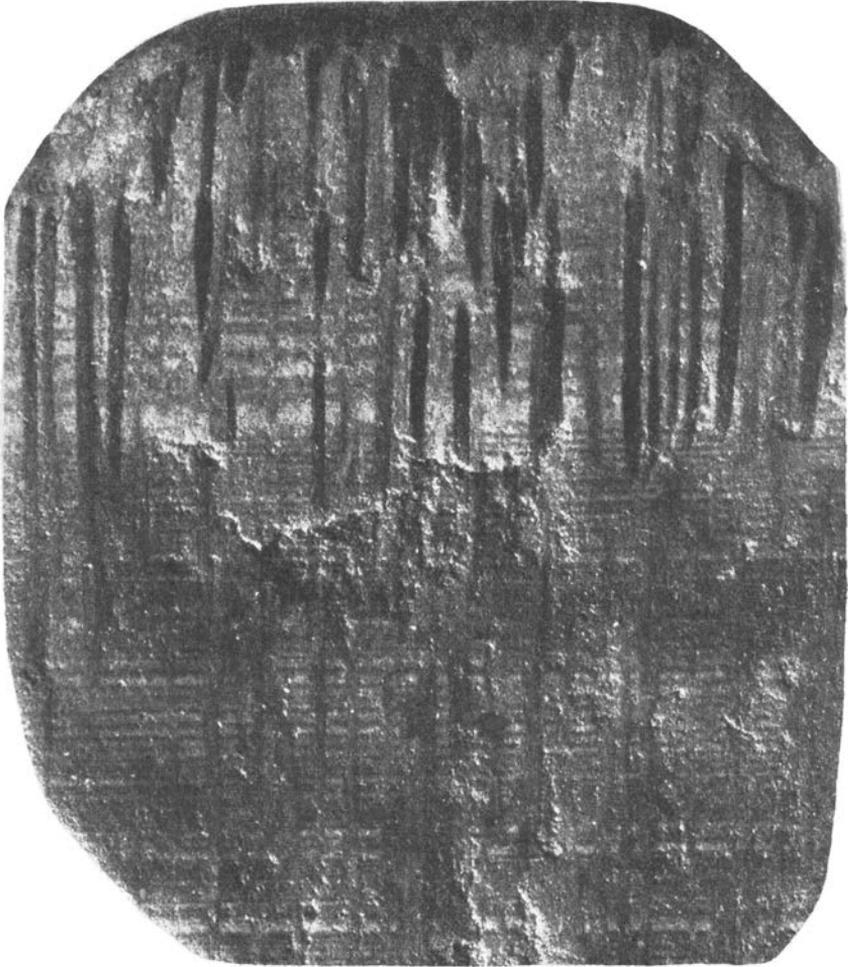


Fig. 1. Scolithussandstein; Schnitt senkrecht auf die Schichtung, parallel mit der Längsrichtung der Scolithen. Natürl. Grösse. Original im Gymnasialmuseum zu Kalmar.²

2) Unbedeutendes Liegendlager aus einem hauptsächlich Quarzgerölle enthaltendem Konglomerat, das z. T. durch eine arkoseartige Verwitterungs-

¹ Geol. Fören. Förhandl. 18. 344 (1896).

² Durch die freundliche Vermittelung von Dr. K. F. DUSÉN, der aus der Kalmargegend eine schöne Sammlung von Scolithusgesteinen zusammengebracht hat, habe ich Gelegenheit gehabt, für meine Studien das im Kalmarmuseum befindliche Material zu benutzen, wofür ich ihm meinen besten Dank abstatte.

breccie unterlagert oder vertreten wird, und z. T. Windschliffe auf den Geröllen zeigt;

3) Sandsteine, mehr oder minder quarzitisch, von weisser, gelblicher oder rotbrauner Farbe, z. T. mit Rippeln und Kreuzschichtung, z. T. parallelgeschichtet mit schichtenweise wechselnder Pigmentierung, mitunter auch mit einer unabhängig von der Schichtung auftretenden Infiltrationspigmentierung;

4) Scolithen, welche in verschiedenen Abarten und in verschiedenen Horizonten des Gesteins verschiedene Häufigkeit, Grösse und Ausbildung im übrigen zeigen;

5) Übergang der Scolithusgesteine nach oben in glauconitische tonige Sandsteine und Überlagerung dieser durch Olenellussandstein oder seine Äquivalente.

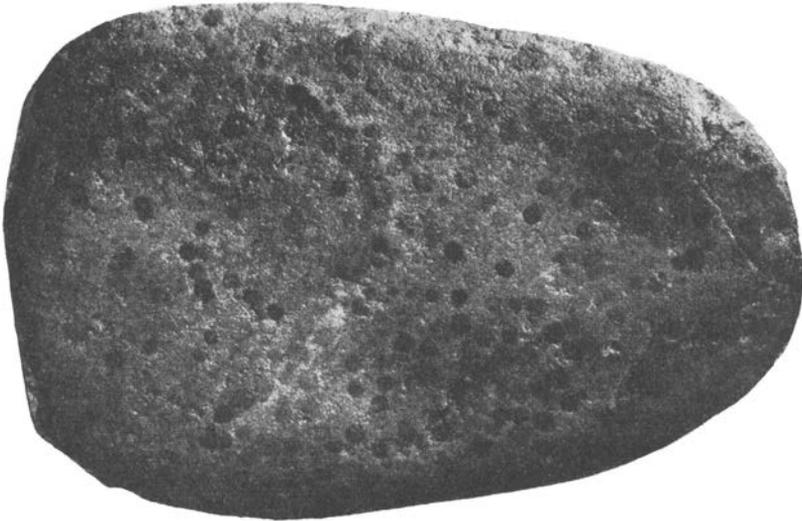


Fig. 2. Querschnitt durch Scolithen, aus demselben Stück wie Fig. 1. Natürl. Grösse.

Als *Unterschiede* zwischen den schottischen und südschwedischen Scolithusgesteinen mögen hervorgehoben werden:

1) Meistens mehr quarzitische und grobkörnige Sandsteine in Schottland, mehr klastische und feinkörnige Gesteine in Schweden;

2) Meistens dickere und kürzere, und oben oft trumpetenartig entwickelte Scolithen im schottischen Kambrium, feinere und längere Scolithen ohne trumpetenförmiger Mündung im schwedischen Kambrium;

3) Die schottischen Scolithen sind weiss oder heller als das sie umschliessende Gestein; die schwedischen sind gewöhnlich braunpigmentiert und dunkler als der umgebende Sandstein; doch kommt häufig vor, dass sie nicht oder nur ebensoviel wie der Sandstein pigmentiert sind, und auch dass sie, wenn sie eine stark pigmentierte Schicht durchsetzen, dort etwas entfärbt erscheinen;

4) Die schottischen »Pipe-rocks« sind gewöhnlich nicht mit Scolithen so dicht gespickt wie die schwedischen Scolithussandsteine, in welchen die Scolithen oft mehr als die Hälfte der ganzen Gesteinsmasse aufnehmen.

Die in den Abbildungen Fig. 1 und 2 dargestellten Längs- und Querschnitte können als repräsentativ für die schwedischen Scolithussandsteine gelten. Wegen schwächerer Pigmentierung treten mehrere Scolithen in den Abbildungen undeutlich oder gar nicht hervor. In der Tat stehen sie so dicht, dass die Zwischenräume nur einen kleineren Teil der Gesteinsmasse ausmachen. Die längsten von mir gesehenen Exemplare erreichen eine Länge von 15 cm; da es aber einige Schwierigkeit darbietet, Schnitte im Gestein zu bekommen, welche ganz parallel mit den Scolithen liegen, ist es nicht ausgeschlossen, dass diese noch länger werden können. Die Dicke schwankt bei verschiedenen Scolithen meistens zwischen ein paar und bis 5 mm, ist aber für jeden einzelnen recht gleichmässig. Die Zuspitzung an den Enden, die im Längsschnitte Fig. 1 zu sehen ist, dürfte z. T. der Lage des Schnittes, welches nicht völlig mit den Scolithen parallel liegt, zuzuschreiben sein. Es scheint jedoch in der Wirklichkeit eine solche Zuspitzung auch vorzukommen. Nach dem mir zugängigen Material zu urteilen sind die Scolithen im allgemeinen stumpfer in ihren oberen als in ihren unteren Enden. Die schwedischen Scolithen stehen senkrecht oder annähernd senkrecht auf die Schichtung des Gesteins und verlaufen meistens ganz geradlinig. Eine schwache Abweichung von der normalen Stellung und ebenso von der geradlinigen Ausbildung kann jedoch bei vereinzelt Exemplaren beobachtet werden. Die mir zur Verfügung stehenden Stücke von schottischen »Pipe-rocks« eignen sich minder gut für Reproduktion; sie enthalten viel dickere (gewöhnlich 6–8 mm im Querschnitt) und dabei auch kürzere Scolithen. Über die verschiedenen Ausbildungsformen der schottischen Scolithen im übrigen mag auf die Beschreibung von PEACH (7, S. 372 u. f.) hingewiesen werden; hier mögen nur die trumpeten- oder schalenförmige obere Mündung und die mitunter grosse Dicke (Querschnitte bis 3 cm) gewisser schottischen Scolithen hervorgehoben werden. Es mag dahingestellt werden, ob diese eine mit den anderen übereinstimmende Bildungsweise haben.

Zur Erläuterung der Zusammensetzung und der Struktur der Scolithen gebe ich zuletzt eine Beschreibung einiger Dünnschliffe.

1. Querschnitt eines schwedischen Scolithussandsteins, der auf einer Fläche von etwa 6 cm² 10 braune und gegen 70 durch ihre Farbe sich nicht oder nur wenig von der umgebenden Sandsteinsmasse abhebende Scolithen enthält. Durchmesser der einzelnen Scolithen 2–3 mm.

Die Quarzkörner sind in den Scolithen von derselben Grösse und Gestaltung wie in dem sie umgebenden Sandstein und messen bei ungefähr der Hälfte der Masse 0,5–0,2 mm, bei der anderen Hälfte meistens zwischen 0,1–0,05 mm, so dass eine gewissermassen porphyrische Struktur entsteht. Nur die grösseren Körner zeigen rundliche Formen, die kleinen sind mehr eckig. Nur die braunpigmentierten Scolithen treten unter dem Mikroskop

deutlich hervor. Als eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit für sowohl die pigmentierten wie die nicht pigmentierten Scolithen ist hervorzuheben, dass sie gern eine Tendenz zu einer zentrischen Struktur zeigen, indem die grösseren Quarzkörner sich reichlicher gegen das Zentrum angesammelt haben.

2. Querschnitt eines schwedischen Scolithussandsteins, der in einer Fläche von etwa 5 cm² gegen 50 Scolithen getroffen hat, unter denen die Mehrzahl starke Braunpigmentierung zeigt. Durchmesser der einzelnen Scolithen 1—2 mm. Die Quarzkörner innerhalb und ausserhalb der Scolithen haben überwiegend zwischen 0,1—0,03 mm Durchmesser, aber vereinzelte grössere Körner (bis 0,3 mm) kommen auch vor. In den Scolithen sind diese mitunter, wie im vorigen Falle, mehr zentrisch gelegen; meistens ist aber keine Sortierung merkbar. Die Pigmentierung der Quarzkörner mit Eisenoxyd ist in den Scolithen recht ungleichmässig; einige sind stark, andere schwach pigmentiert; und bei einigen ist das Pigment reichlicher in den peripherischen als in den zentralen Teilen oder umgekehrt (Vgl. Fig. 4).

3. Querschnitt an einem Stück »Pipe-rock«, Subzone III, Incnadamph, Schottland, zeigt auf einer Fläche von 6 cm² drei Scolithen von 6—8 mm Durchmesser. Während die Scolithen aus einem reinen, weissen Quarzit mit der Korngrösse 0,2—0,5 mm bestehen, ist das sie umgebende Gestein ein deutlich klastischer Sandstein mit einem trüben, gelblichen Bindemittel, in welchem die 0,2—0,4 mm grossen, eckigen Quarzkörner eingebettet liegen.

4. Ein anderes Stück »Pipe-rock« aus derselben Gegend zeigt noch grössere Scolithen, von etwa 8 mm Durchmesser. Auch hier sind die Scolithen rein quarzitisch, mit einer Korngrösse von 0,2—0,3 mm, und die umgebende Gesteinsmasse ist sandsteinsartig, mit einem gelblichen Verkittungsmittel für die Quarzkörner, welche teilweise rundlich sind und Dimensionen von bis 0,5 mm erreichen, grösstenteils aber viel kleiner (etwa 0,1—0,05 mm) und eckig sind (Vgl. Fig. 5).

In Längsschnitten sieht man weder bei den schwedischen noch bei den schottischen Scolithen einen Wechsel bezüglich der Struktur in der Längsrichtung und sie erweisen sich in dieser Hinsicht unabhängig von der Schichtung des sie umschliessenden Sandsteins.

Die schöne Schichtung und Wechsellagerung von braunen und hellen Lagern, die man oft in den schwedischen Scolithussandsteinen sieht, ist nur in geringem Grade durch Wechsel in der Grösse und Beschaffenheit der Körner des Sandsteins hervorgerufen. Grösstenteils ist sie durch die Verteilung des Eisenoxydpigments bedingt, welches nach der Bildung der Schichten in diese infiltriert worden ist. Dasselbe gilt auch von der Farbe der Scolithen selbst. Dass eine so zu sagen sekundäre Pigmentierung eine Rolle in der Färbung dieser Gesteine spielt, erhält übrigens aus der in denselben oft auftretenden Infiltrationsbänderung, welche unabhängig von den Schichten das Gestein durchsetzt und beim ersten Anblicke wohl leicht für fluviatile Kreuzschichtung gehalten werden könnte. Diese Bänderung ist auf die Fig. 3 zu sehen, wo die braunpigmentierten Bänder

z. T. quer über die Schichtflächen und über andere Infiltrationsbänder fortsetzen und auch (rechts oben in der Figur) parabolisch umbiegen, was alles deutlich zeigt, dass es sich nicht um Stromschichtung, sondern um sekundäre Infiltration handelt. Diese Infiltration dürfte am nächsten mit den durch Eisenoxyd (bezw. Hydrat) markierten Zonen zu vergleichen sein, die oft in Geröllen zu sehen sind, welche wechselweise Durchfeuchtung und Austrocknen ausgesetzt gewesen sind. Bei den unten beschriebenen Experimenten, die mit weissem Meeressande und mit Wasserleitungswasser ausgeführt wurden, gab der geringe Gehalt des Wassers an Eisensalzen jedoch eine ganz deutliche Rostfärbung an der ausgetrockneten Oberfläche, deren Sandkörner dabei sogar zu einer Kruste verkittet wurden. Ich halte

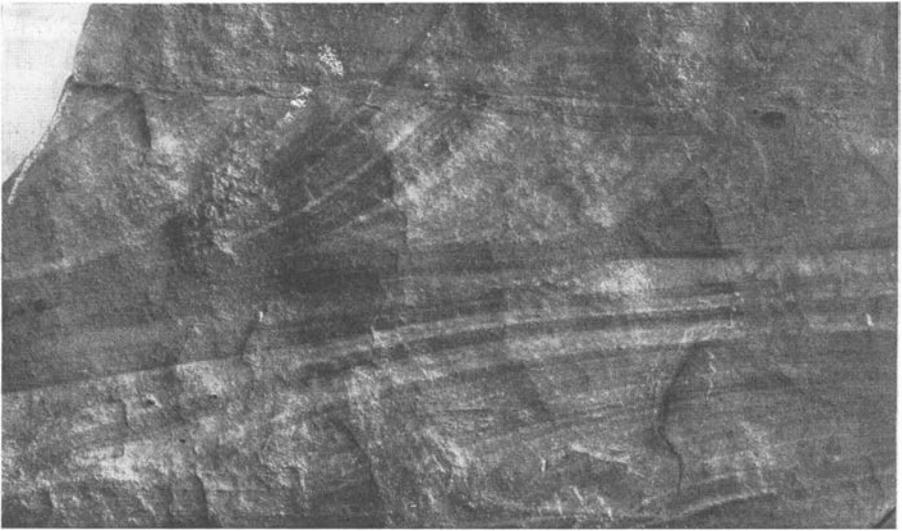
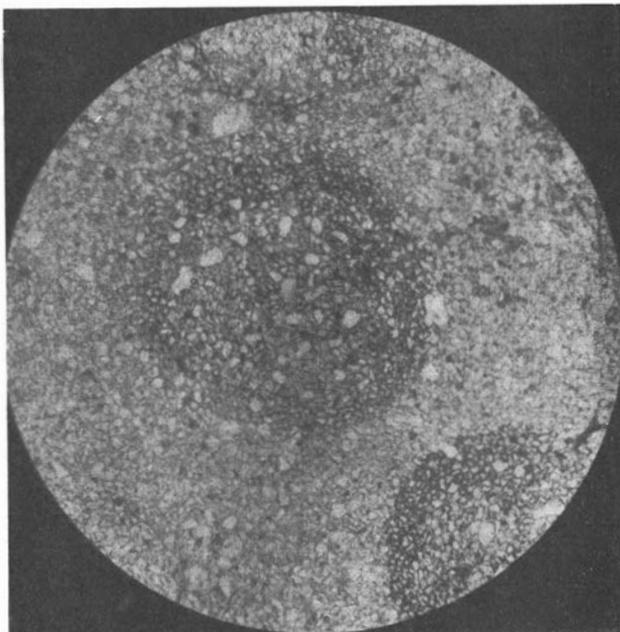


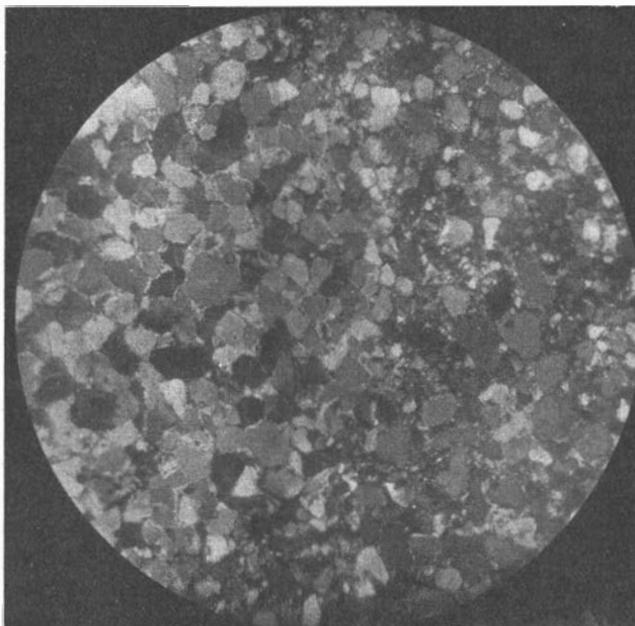
Fig. 3. Sandstein aus Kalmarsund mit braunpigmentierten Infiltrationsbändern, welche unabhängig von der undeutlich hervortretenden etwa horizontalen Schichtung auftreten und die Schichten überqueren. Original im Geologischen Museum zu Upsala.

es für wahrscheinlich, dass die starke Braunfärbung, wodurch die Schichtung mancher Sandsteine markiert wird, oft durch eine Ausfällung von Eisen (in der Form von Hydrat, welches sich später in Eisenoxyd umwandelt) beim Austrocknen der Schicht zu der Zeit entstanden ist, da sie die Oberfläche bildete. Wie es kommt, dass die Scolithen, wie meistens in den schwedischen Sandsteinen, oft stärker als diese pigmentiert sind, oder dass sie in anderen Fällen, wie in den schottischen »Pipe-rocks«, ganz ohne Pigmentierung sind, lässt sich wohl nicht ohne weitere Untersuchungen sagen. Es ist aber leicht sich vorzustellen, dass die verschiedene Pigmentierung der Scolithen und der sie umgebenden Gesteinsmasse auf ungleiches Leistungsvermögen für das in sie eindringende oder aufsteigende Wasser und auf ungleiche Austrocknungsgeschwindigkeit zurückzuführen sein kann. Die Verwandlung der schottischen Scolithen in reinen Quarzit,



O. Bäckström, foto.

Fig. 4. Scolithussandstein, Kalmarsund, mit zwei Querschnitten von pigmentierten Scolithen. Vergrößerung 15, Nicols +.



O. Bäckström, foto.

Fig. 5. »Pipe-rock«, Schottland. Links Querschnitt einer »Pipe«, ihre quarzitische Struktur zeigend, rechts der klastische Sandstein. Vergrößerung 15, Nicols +.

während die klastische Struktur übrigens im Gestein erhalten ist, kann vielleicht dadurch erklärt werden, dass die Quarzkörner in den Scolithen keine Eisenoxydbekleidung gehabt haben, während sie im Gestein durch eine Pigmenthülle geschützt gewesen sind. Diese Vermutungen mögen mehr oder weniger plausibel sein, jedenfalls scheint die Verteilung des Pigments in den Scolithusgesteinen und die Quarzitwandlung der Scolithen keinen besseren Erklärungsgrund bekommen, wenn man sich die Scolithen als durch Organismen gebildet denken will.

Die strukturelle Eigentümlichkeit vieler Scolithen, die darin besteht, dass die grösseren Quarzkörner, wie oben beschrieben, zentrisch angehäuft sind, dürfte dadurch entstanden sein, dass die in das Luftloch hineinfallenden kleineren Sandkörner mehr als die grossen an den feuchten Wänden des Loches anheften, und steht in guter Übereinstimmung mit der unten gegebenen Deutung der Scolithen.

Bildung scolithusähnlicher Luftlöcher bei Überflutung an sandigem Meeresufer.

Während eines Aufenthaltes an der holländischen Küste im Juli 1914 hatte ich Gelegenheit, eine Erscheinung zu beobachten, die schon beim ersten Anblick meine Gedanken auf die Scolithussandsteine richtete und bei näherer Untersuchung mir eine plausible Erklärung ihrer Bildungsweise zu geben schien.

Meine Beobachtungen wurden in der Nähe von Kattwiik, Wiik am Zee und Egmond am Zee gemacht. Besonders an dem letztgenannten Ort, wo ein starker westlicher Sturm gleichzeitig mit der Hochflut (23—25 Juli) das Wasser über das normale Flutniveau hinauftrieb, waren die Bedingungen günstig für die Entwicklung des Phänomens.

Das Küstenprofil ist auf der ganzen Strecke zwischen Scheweningen und Bergen am Zee ausserordentlich gleichmässig. Nach Innen erstreckt sich die Littoralzone bis an den Fuss einer recht steilen Dünenböschung, die nicht als die Luvseite einer normalen Uferdüne anzusehen ist, sondern ein vom Meere in der alten Dünenlandschaft eingeschnittenes Steilufer darstellt, der durch Wind und Sandflug zu einer gleichmässigen Böschung umgeformt worden ist. Zwischen der Springflut, die den Fuss dieser Böschung erreicht, und dem Ebbniveau erstreckt sich die aus reinem Sand bestehende Littoralzone mit einer Breite von etwa 150—200 meter.

Der Höhenunterschied zwischen dem oberen und unteren Rand dieser Zone beträgt rund 2 Meter. Zwei Uferwälle, ein oberer und schwächer ausgebildeter, ein unterer von kräftigerer Entwicklung, streichen dem Ufer entlang in dieser Littoralzone. Jener wird nur bei Hochwasser oder Springflut überspült, dieser liegt nur bei Ebbe grösstenteils über die Wasseroberfläche. Der obere Wall ist oft sehr schwach entwickelt und fehlt mitunter ganz. Während des Verlaufes des genannten Sturmes erfuhren die Wälle

ansehnliche Umgestaltungen und der untere verschob sich merkbar landwärts. Auf einer Strecke von etwa 2 km, nördlich von Egmond am Zee, wurden während eines Nachtes die beiden Wälle, unter denen der untere eine Breite von etwa 80 Meter und eine Höhe von 1,3—1,5 Meter hatte, durch den Sturm fast ausgeebnet, so dass am folgenden Morgen bei Ebbe die Littoralzone eine kaum merkbar gewölbte Ebene zwischen dem Wasser und dem Dünenfusse bildete. An diesem hatten die Brandungen die untersten, zum Schutz gegen Sandflug niedergestreckten Strohbündeln weggewaschen, was auf einem ekzeptionell hohen Flut deutete. Zwischen dem oberen und unteren Uferwall, seltener auch zwischen jenem und dem Dünenfuss finden sich Lagunen, in welchen verschiedene Ausbildungsformen von Rippeln, Trockenspalten in der schlammigen Bodenschicht, Spuren von Vögeln, eingeschwemmte Muscheln, Medusen u. a. zu sehen sind, welche bei steigendem Wasser durch den über den Wallkamm von den Wellen hinübergespülten Sand oder von dem einwärts sich verschiebenden Wall begraben werden.

Obleich die beschriebenen Verhältnisse nicht unmittelbar die Scolithusfrage berühren und obgleich ich nicht weiss, in welchem Grade sie typisch für diese Uferstrecke sind, da ich sie nur während kurzer Zeit beobachten konnte, dürften sie jedoch Erwähnung verdienen, um eine Vorstellung zu geben von den Umständen, unter welchen die scolithus-ähnlichen Gebilde, zu deren Beschreibung ich jetzt übergehe, entstehen können.

Als ich eines Morgens bei sinkendem Wasser eine Wanderung am Ufer machte, beobachtete ich zahlreiche vertikalstehende feine Löcher in dem eben vom Wasser verlassenen Uferwall, und zwar besonders auf seinem höchsten Kamm, wo sie so dicht standen, dass ich hie und da bis gegen hundert auf einer Fläche von 1 dm² rechnen konnte. Die Ähnlichkeit mit den Scolithen des südschwedischen kambrischen Sandsteines, wenn sie im Querschnitt gesehen werden, fiel mir sogleich ein. Ich suchte aber vergebens nach den Anneliden oder anderen Organismen, welche den Sand so durchlöchert hätten. Da diese, wenn einmal da, in der kurzen Zeit von höchstens ein paar Viertelstunden nicht gern ganz verschwinden könnten, schien mir eine andere Bildungsweise dieser Löcher anzunehmen sein, und ich passte deshalb die Gelegenheiten bei den zunächst folgenden Flutzeiten nachzusehen, ob die Erscheinung wieder hervortreten würde. Dies traf auch ein, indem die von dem unteren Wall abgeschwächten Brandungswellen den oberen Wall mit einer dünnen Wasserschicht überfluteten und dabei die Luft aus den trockenen Sandboden hinaustrieben. An den höchsten Teilen des oberen Walles, wo der Sand zu beträchtlicher Tiefe ausgetrocknet war, stiegen immerfort Luftbläschen hinauf, dabei senkrechte zylindrische Löcher im Sande bildend, die als Ausströmungskanäle dienten und sich nach unten verlängerten in demselben Maasse, wie das Wasser sich von oben in den Sand hineinsog. Der mit der ausströmenden Luft mitgerissene Sand wurde meistens durch das über-

flutende Wasser weggeführt; wenn aber dieses sich nur ganz langsam über den Uferwall bewegte, konnte der Sand sich um die Öffnung des Loches anhäufen, so dass es sich ein kleiner Kegel mit einer kraterartigen Öffnung bildete. In anderen Fällen wurde der Sand durch die Luftblasen zur Seite getrieben, so dass ein kleiner Ringwall auf etwas grösserer Entfernung (5—8 mm) von der Öffnung entstand. Manche Löcher wurden während des Fortgangs des Prozesses durch Einschwemmung von Sand zugestopft und andere öffneten sich in der Nähe. Auffallenderweise traf auch ein, dass die zuerst gebildeten Löcher zu funktionieren aufhörten, ohne dass sie durch Sand von oben zugestopft worden waren. Die Durchmesser der Löcher waren meistens um 2 mm, ausnahmsweise jedoch bis 4 mm, die Tiefe erreichte gewöhnlich ein paar cm oder etwas mehr, aber Tiefen von 7—10 cm waren auch nicht selten. Die grössten Tiefen, die ich messen konnte, waren 12 bis 13 mm und wurden nur selten angetroffen. Sie gingen bis zu dem trockenen Sand hinab. Wahrscheinlich hatte die Mehrzahl der anderen diese Tiefe auch erreicht, aber waren schon vor der Messung durch niedergeschwemmten Sand teilweise ausgefüllt. Die Korngrösse des Ufersandes, der hauptsächlich aus Quarz bestand, war grösstenteils 0.2—0.3 mm und die Körner waren meistens rundlich. Fragmente von Muschelschalen bildeten mitunter einen erheblichen Teil des Sandes.

Zur Charakteristik der Luftlöcher ist noch zu bemerken, dass die gröberen unter ihnen zuweilen sich nach oben trichterförmig erweiterten, so dass die Mündung des Loches sich wie in einer kleinen Schale befand. Der Durchmesser dieser Schale konnte bis 1 cm erreichen und am Boden der Schale war die Mündung des Loches in einigen Fällen von der oben beschriebenen kraterartigen Ausbildung.

Eine andere Erscheinung, die durch die Verdrängung der Luft aus dem Sande hervortrat, verdient erwähnt zu werden, obgleich sie für die Erklärung der Scolithusbildung keine unmittelbare Bedeutung hat.

Wenn ich über den von dem Flutwasser verlassenem Uferwall ging, fiel mir auf, dass er, besonders in seinen höchsten Teilen, wo die Luftlöcher vorkamen, ein fleckiges Aussehen zeigte, indem rundliche Flecke von meistens zwischen 6 und 12 cm Durchmesser durch eine etwas abweichende Farbe des feuchten Sandes hervortraten. Oft traten die Löcher innerhalb dieser Flecken reichlicher auf als in der Umgebung, es kamen aber auch Flecke vor, die keine Löcher zeigten. Die Entstehung dieser Flecke konnte ich später bei meinen Beobachtungen über die Bildung der Luftlöcher verfolgen. Es zeigte sich dann, dass während der Überflutung des vorher trockenen Sandwalles, auf seine Oberfläche gleichzeitig mit und z. T. nach der Bildung der Löcher Anschwellungen an der Oberfläche entstanden, welche flach konvexe uhrglasähnliche Erhebungen von bis 1 dm Durchmesser und mehr erreichten. Bei vorsichtiger Durchschneidung fand man einen entsprechenden Hohlraum unter diesem Gewölbe. Die Dicke des Gewölbes war in den untersuchten Fällen gewöhnlich etwa 2 cm

und die Höhe des Hohlraums, welche die Höhe des Gewölbes einigermassen zu entsprechen schien, betrug etwa 1 cm oder (in den grösseren Flecken) etwas mehr.

Wie es kam, dass die Luftlöcher nicht mehr für die Ausströmung der Luft fungierten, sondern diese sich so im Inneren an der Grenze zwischen dem durchfeuchteten und trockenen oder mit Wasser noch nicht gesättigtem Sande ansammelte und diese Anschwellungen an der Oberfläche verursachte, konnte ich nicht erkundigen. Die Erscheinung kann aber, wie unten dargelegt wird, experimentell hervorgerufen werden.¹

Nachdem der Flut sich vom Uferwalle zurückgezogen hatte und die Oberfläche zu trocknen begann, fielen diese Anschwellungen der Oberfläche bald zusammen unter Hinterlassen der oben genannten Flecke, die einer von der Umgebung etwas abweichenden Wassergehalt des Sandes zuzuschreiben waren und deshalb beim fortgesetztem Eintrocknen verschwanden.

Die oben beschriebenen Luftlöcher werden, nachdem Luft nicht weiter durch sie hinaufgetrieben wird, bald mit Sand gefüllt. Dies geschieht z. T. schon während der Überflutung des Sandwalles, indem das Wasser Sand mitschleppt, der in die Löcher hineinfällt, z. T. nach dem Rückzug des Wassers, wenn der Sand an der Oberfläche zu trocknen beginnt und durch den Wind über die durchlöchernte Fläche getrieben wird. Bei ruhigem Wetter werden die Löcher schon dadurch zugeschüttet, dass die Kohäsion des Sandes beim Trocknen aufhört. Wegen Verkittung mit den beim Verdunsten des Wassers hinterlassenen Meeressalzen können indessen die Löcher unter Umständen noch nach dem Trocknen des Sandes offen bleiben.

Dass an der Oberfläche zu einem gewissen Momente die Luftlöcher selten so zahlreich sind wie die Scolithen in einem Querschnitte der Sco-

¹ Man kann die oben beschriebenen Phänomene experimentell hervorbringen, wenn man z. B. eine Schale oder auch ein gewöhnliches Trinkglas mit trockenem Sand beinahe füllt und dann Wasser darüber giesst. Beim Hineindringen des Wassers in den Sand bildet dann die ausgetriebene Luft Löcher, welche sich nach unten in demselben Maasse verlängern, wie das Wasser sich hineinsaugt. Gewöhnlich bilden sich nur einige wenige Löcher, unter denen nur ein oder zwei während des Fortgangs des Prozesses fortwährend als Ausströmungskanäle für die vom Wasser herausgetriebene Luft funktionieren. Anstatt eines schon gebildeten Luftloches, dessen »Eruptionen« aufhören, kann ein neues sich in der Nähe bilden. Gern entstehen sie am Rande des Glases, was aber mit einiger Vorsicht entmieden werden kann. Mitunter bilden sich um die Löcher herum auch der oben beschriebene Ringwall und ebenso die schalenförmige Depression. Wenn man, nachdem das Wasser etwas in den Sand hineingedrungen hat, eine kleine Pause macht, bis neues Wasser übergossen wird, trifft es gern ein, dass keine Luft aufsteigt, dass aber der obere, nasse Sand hinaufgeschoben wird so dass zwischen diesem und dem trockenen oder nur schwach angefeuchteten unteren Sande Hohlräume entstehen, die jedoch nicht die regelmässige Wölbung, die oben beschrieben wurde, annehmen. Wenn dies Experiment in einem Trinkglase ausgeführt wird, kann dieser Hohlraum sich quer über das ganze Glas strecken. Noch leichter tritt diese Erscheinung in einem gewöhnlichen Proberröhre hervor.

lithussandsteine, dürfte z. T. daraus erklärlich sein, dass man in jenem Falle nur die noch offenen Löcher bemerkt, in diesem Falle dagegen alle die einst vorhandenen Löcher als Scolithen zum Vorschein kommen. Dazu kommt noch, dass ein beliebiger Querschnitt durch den Sandstein nicht nur die in diesem Schnitte endenden Scolithen trifft, wie der Fall ist mit den Luftlöchern einer natürlichen Oberfläche, sondern auch alle die später gebildeten Scolithen, welche mit ihren unteren Enden unter der Schnittfläche hinabreichen.

Ich habe den Versuch gemacht, die gefüllten Luftlöcher in Durchschnitten des Sandwalles zu untersuchen, da aber der Sand eine nur schwach hervortretende Schichtung hatte und bezüglich seiner Farbe und Korngrösse keine unmittelbar hervortretenden Unterschiede gegenüber den ausgefüllten Löchern zeigte, war es mir nicht möglich, jene mehr als in Ausnahmefällen zu erkennen.

Es ist jedoch ohne weiteres offenbar, dass die Packung der Körner und auch ihre Sortierung in den gefüllten Luftlöchern eine andere sein muss als in dem sie umgebenden, durch die Meereswellen aufgebauten Sandwall. Deshalb ist es auch zu erwarten, dass durch Wasserzirkulation und diagenetische Prozesse die Pigmentierung und die Zementation überhaupt Unterschiede hervorrufen können, welche Ähnlichkeiten mit dem Verhältnis der Scolithen zu ihrem Muttergestein darbieten müssen.

Bildungsbedingungen der unterkambrischen Scolithusgesteine.

Wenn die Scolithen etwa in der oben entwickelten Weise gebildet worden sind, stellt sich zur Beantwortung die Frage auf, wie es kommen kann, dass sie nur in den untersten Teilen der unterkambrischen Sandsteinsformation und nicht auch in jüngeren Formationen gefunden werden. Dies muss um so viel mehr auffallen, da man sich denken kann, dass die Bedingungen für die Bildung der beschriebenen Luftlöcher recht allgemein vorhanden gewesen sein dürfen, indem trockener Ufersand oft durch Überflutung von oben durchfeuchtet gewesen sein möchte.

Hierzu ist zuerst zu bemerken, dass die Erscheinung jedoch nicht so häufig sein kann, da sie bis jetzt der Aufmerksamkeit der Geologen entgangen zu sein scheint. In der Tat dürfte der trockene Sand an einem Ufer in den meisten Fällen bei steigendem Wasser, durch kapilläres Aufsteigen und durch Steigen der Grundwasserfläche, von unten gefeuchtet werden, so dass die Luft vor der Überflutung schon ausgetrieben ist und folglich keine Luftlöcher bilden kann.

Von dieser Möglichkeit abgesehen ist aber die Wahrscheinlichkeit nicht gross, dass die einmal gebildeten Luftlöcher oder die sie ausfüllenden Sandzylindern fossil aufbewahrt werden.

Durch die Wirkungen der Brandung, durch Austrocknen und nachher einsetzenden Wind sind sie leicht der Zerstörung heimgefallen, so dass es

offenbar sehr günstige Umstände zusammentreffen müssen, um ihre Aufbewahrung zu ermöglichen.

Dies scheint eben während der Bildung des unterkambrischen Sandsteines der Fall gewesen sein.

Aus den Lagerungsverhältnissen dieses Sandsteins geht hervor, dass er sich über eine ausserordentlich ausgeübnete Landoberfläche verbreitet hat, die vor der kambrischen Transgression für Verwitterung und Flugsandtrieb ausgesetzt gewesen war. Über diese subkambrische Denudationsfläche mit ihrer Horizontalität und ausserordentlich grossen Ausdehnung konnte das transgredierende Meer keine kräftigen Brandungen und keine starke Erosion zu stande bringen. Dies wird übrigens aus der schwachen Bearbeitung und unvollständigen Umlagerung des verwitterten Materiales, ebenso wie aus dem Erhalten der windgeschliffenen Geröllen des untersten Teils der Sandsteinsformation bezeugt. Während der Ebbezeit müssen weite Flächen trockengelegt gewesen sein, und als der Hochflut sich über diese weite Ebene verbreitete, muss es mit einer solchen Schnelligkeit geschehen sein, dass der trockene Sand nicht Zeit hatte, von unten durchfeuchtet zu werden, sondern in trockenem Zustande von dem Flutwasser überdeckt wurde. Dabei entstanden massenhaft die oben beschriebenen Luftlöcher, die dann entweder mit eingeschwemmtem Sand oder mit Flugsand ausgefüllt wurden. Bei alternierender Austrocknung und Durchfeuchtung wurde der Sand mit Eisenverbindungen imprägniert, welche sich später zu Eisenoxyd umsetzten und das Pigment des Sandsteins und der Scolithen bildeten. Da das Meer immer mehr transgredierte und nur schwach erodieren konnte, waren die Bedingungen für die Erhaltung der schon abgesetzten Lager günstig, weshalb es leicht eintreffen musste, dass die gebildeten Luftlöcher bezw. Scolithen der Zerstörung entgingen.

Zur Folge der Transgression traf indessen bald ein, dass der Sand während der Ebbe nicht mehr austrocknete, damit hörten dann die Bedingungen für die Scolithusbildung auf und auf dem feuchten Bodenschlich wurden nun die zahlreichen Spuren verschiedener Art aufbewahrt, die in dem etwas mehr tonigen und z. T. glaukonitischen, den Scolithussandstein überlagernden unterkambrischen Sandstein gefunden werden. *Eophyton*, *Cruziana*, *Scolithus errans* u. a. hören hieher. Auch trieben Medusen während der Flutzeit über das Plateau hinein und lieferten die Abdrücke im Boden ab, die aus Lugnås bekannt sind; und bei noch weiter hervorschreitender Transgression verbreiteten sich über das seichte Meer die Brachiopoden und die anderen marinen Organismen, die für die oberen Abteilungen des unterkambrischen Sandsteins charakteristisch sind. Das Fehlen des Scolithushorizontes in manchen unterkambrischen Sandsteinsgebieten dürfte entweder daraus erklärlich sein, dass die Bedingungen für Scolithusbildung nicht überall vorhanden gewesen sind, oder dass diese bald der Denudation heimgelassen sind. Dass der unterkambrische Sandstein, wenigstens auf dem subkambrischen Denudationsplateau Fennoskandias, wesentlich auf Kosten einer Verwitterungsdecke und durch ihre

Umlagerung gebildet worden ist, scheint sowohl aus der petrographischen Beschaffenheit wie aus den geographischen Verhältnissen zur Zeit der Bildung dieses Sandsteins geschlossen werden können. Es lässt sich nämlich nicht leicht denken, dass das Material zu diesem Sandstein durch Flüsse über die ungeheure subkambrische Denudationsfläche hinausgeführt sei, und auch die Beschaffenheit des Sandes, besonders in den unteren Schichten, weist ganz deutlich auf seinen Ursprung aus dem archaischen Liegendem und seinen Verwitterungsprodukten. Wie aus den windgeschliffenen Geröllen zu schliessen sein dürfte, kamen wahrscheinlich Flugsand und Dünen auf diese alte Denudationsfläche vor zu der Zeit, da die subkambrische Transgression einsetzte und ihre Umlagerungsarbeit begann.¹ —

Ich habe in meiner obigen Darstellung die schottischen »Pipe-rocks«, trotz ihrer von dem schwedischen Scolithussandstein etwas abweichenden Ausbildung, für mit diesen genetisch gleichwertig angenommen. Die Unterschiede betreffs der Dimensionen der Scolithen der beiden Gebiete dürften nicht so gross sein, dass man, da in anderen Hinsichten so grosse Übereinstimmung herrscht, eine verschiedene Bildungsweise, z. B. durch aufsteigende Luftbläschen in dem einen, durch Anneliden in dem anderen Falle voraussetzen darf. Auch die verschiedene Formenentwicklung scheint mit der hier entwickelten Hypothese erklärt werden können. Die Vorfindlichkeit von einem schalenförmigen oder trompetenartigen Oberende bei gewissen Pipe-Typen in Schottland, die oft auch bei den experimentell oder an jetzigem Meeresufer gebildeten Scolithusröhren ihr Gegenbild hat, und die Abwesenheit dieser Eigentümlichkeit bei den schwedischen Scolithen kann vielleicht dadurch erklärt werden, dass diese durch Denudation von Wellen und Wind oben abgeschnitten worden sind, ehe sie durch überlagernden Sand geschützt wurden, jene dagegen oft ohne Verletzung ihrer Mündung überlagert wurden.

Betreffs der als *Arenicolites* bezeichneten Gebilde der schottischen Pipe-Rocks, die durch grössere Dimensionen und eine Art »cone-in-cone« Struktur gekennzeichnet sind (vgl. 7, S. 302 u. f.), welche früher zu ihrer Deutung als Ortoceratiten Veranlassung gegeben hat, scheint mir eine andere Bildungsweise als für die typischen Scolithen anzunehmen sein und es kann in Frage gestellt werden, ob sie nicht mit den von DEECKE (8) und ANDRÉE (9) beschriebenen Sandsteinskegeln zusammenzuführen sind, die ebenfalls auf unorganischem Wege unter besonderen Umständen an sandigen Ufern gebildet werden. Zu derselben Kategorie gehören wohl auch die Kegelbilde, die aus dem unterkambrischem Sandstein auf Hästholmen in Kalmarsund und dem gleichaltrigen Nexösandstein auf Bornholm bekannt sind. Ob die als *Diplocraterium* bezeichneten Körper, welche in dem über das Scolithusniveau folgenden Sandstein gefunden werden, auch auf unorganischem Wege entstanden sind, ist mehr fraglich.

¹ Es darf bemerkt werden, dass die kanadensischen Scolithusgesteine nicht auf eine aus Grundgebirge gebildete Denudationsfläche lagern, sondern von einer alt- oder vorkambrischen Sandsteinsformation, anscheinend ohne Diskordanz, unterlagert sind.

Sie können vielleicht aus bohrenden Organismen herrühren, welche zu der Ebbezeit bei dem Trocknen des Sandes sich in tiefere, nicht austrocknenden Niveaus hineingruben. —

In der oben angeführten Arbeit von DEECKE, auf welche Dr. K. A. GRÖNWALL mich freundlichst aufmerksam gemacht hat, werden auch die Scolithen besprochen, welche er aufsteigenden Luftbläschen zuschreibt. Er meint aber, dass die Luft durch die Brandungswellen in den Sand eingetrieben geworden sei und bei abnehmendem Wasserdruck wieder ausgeströmt habe. Er hat Luftlöcher im Sande gesehen, die auf solcher Weise gedeutet werden.

Ohne die Richtigkeit dieser Beobachtung und Deutung bestreiten zu wollen, bin ich doch geneigt, die von mir oben beschriebene Bildungsweise der Luftlöcher auch in dem von DEECKE erwähnten Falle für wahrscheinlicher zu halten.

Damit sei indessen wie es wolle, die Beobachtungen DEECKE's an der Ostseeküste sind allerdings von Interesse, da sie darlegen, dass Ebbe und Flut nicht notwendige Bedingungen für die Bildung scolithusähnlicher Luftlöcher sind.

In den unterkambrischen Sandsteinen sieht man keine Gebilde, welche auf die von mir oben beschriebenen uhrglasähnlichen Wölbungen an den jetzigen Sandufern zurückzuführen sind; dagegen ist es nicht unwahrscheinlich, dass die in unseren roten präkambrischen Sandsteinen so häufigen entfärbten rundlichen Flecken oder richtiger platt linsenförmigen Körper, die nur durch ihre Farbe sich von dem umgebenden Sandstein unterscheiden, derartigen Aufblähungen zuzuschreiben sein können. Darüber habe ich jedoch nicht Gelegenheit gehabt, nähere Studien zu machen, weshalb ich diese Deutung als nur ganz hypotetisch bezeichnen darf.

Literatur.

1. E. SVEDMARK: Beskrifn. t. Kartbladet »Oskarshamn». Sveriges Geol. Undersökn. Ser. Ac, N:o 5, 1904.
2. H. MUNTHE: Beskrifn. t. Kartbladet »Kalmar». Sveriges Geol. Undersökn. Ser. Ac, N:o 6, 1902.
3. H. MUNTHE: Beskrifn. t. Kartbladet »Ottenby». Sveriges Geol. Undersökn. Ser. Ac; N:o 7, 1902.
4. H. MUNTHE & H. HEDSTRÖM: Beskrifn. t. Kartbladen »Mönsterås» och »Högby». Sveriges Geol. Undersökn. Ser. Ac, N:o 8, 1904.
5. A. G. NATHORST: Om spår af några evertebrerade djur m. m. och deras palæontologiska betydelse. Kungl. Vetensk. Akad. Handl. Bd. 18, N:o 7, 1880. Stockholm 1881.
6. N. O. HOLST: Bidrag till kännedomen om lagerföljden inom den kambriska sandstenen. Sveriges Geol. Undersökn. Ser. C, N:o 130, 1893.
7. B. N. PEACH & J. HORNE, a. o.: The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland. Mem. of the Geol. Surv. of Great Britain. Glasgow 1907.
8. W. DEECKE: Einige Beobachtungen am Sandstrande. Centralbl. für Miner. etc. 1906.
9. K. ANDRÉE: Ühr Sand- und Sandsteinskegel und ihre Bedeutung als Litoralgebilde. Geol. Rundschau 1912.

Gedruckt 15/2 1915.

