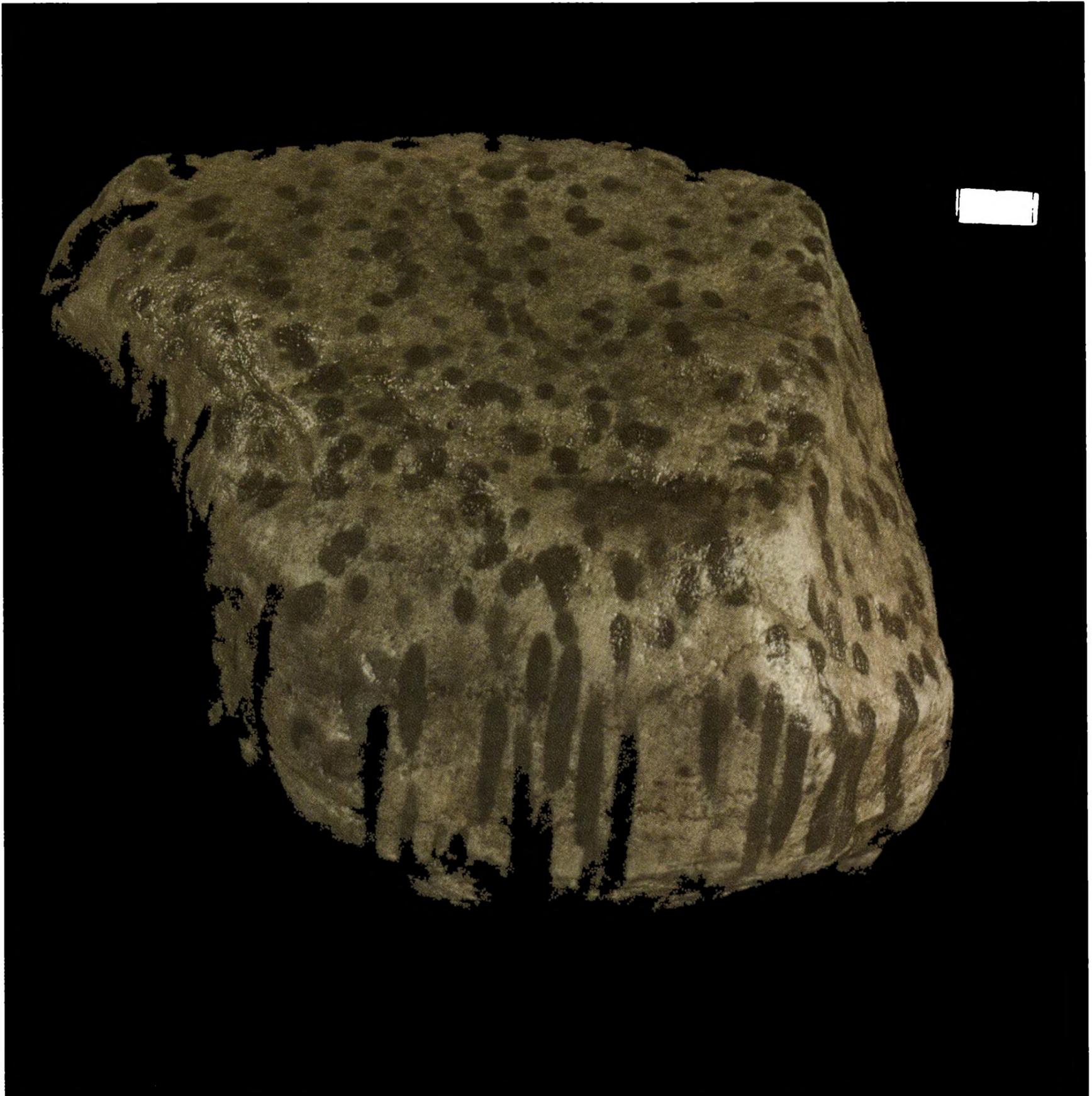


ARCHIV FÜR GESCHIEBEKUNDE

Herausgegeben vom Geologisch-Paläontologischen Institut
und Museum der Universität Hamburg
und der Gesellschaft für Geschiebekunde (GfG)



Im Selbstverlag der GfG

Arch. Geschiebekde.	Band I	Heft 6	Seite 305–368	Hamburg Januar 1993
---------------------	--------	--------	------------------	------------------------

Spurenfossilien unterkambrischer Sandsteine aus dem Sylter Kaolinsand sowie von Eiszeit-Geschieben

Werner A BARTHOLOMAUS

BARTHOLOMAUS WA 1993 Spurenfossilien unterkambrischer Sandsteine aus dem Sylter Kaolinsand sowie von Eiszeit-Geschieben [Trace Fossils in Lower Cambrian Sandstone Boulders from the Kaolinsand of Sylt and Pleistocene Geschiebes] - *Arch. Geschiebekde.* 1 (6): 307-328, 5 Tf., 6 Abb., 1 Tb., Hamburg. ISSN 0936-2967.

A review of trace fossils of Lower Cambrian age in geschiebes is given. As far as they are found in boulders of the pliocene Kaolinsand of the Isle of Sylt these trace-fossils are discussed in detail.

Werner A. Bartholomäus, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, Callinstr. 30, D-W-3000 Hannover, Germany.

Z u s a m m e n f a s s u n g: Nach einer Übersicht über Spurenfossilien in unterkambrischen Geschieben werden Spurenfossilien der gleichen Gesteine, soweit sie von Geröllen des Neogen bekannt sind, intensiver behandelt. Bei den bankweise überwiegend exklusiv auftretenden *Domichnia Skolithos*, *Monocraterion* und *Diplocraterion* können, in unterschiedlicher Häufigkeit, abwärtige, trichterförmige Sedimentschleppungen auftreten. Da es sich nicht um ein Konstruktionsmerkmal handelt, entfällt ihre spurensystematische Eignung.

Die unterkambrischen Sandsteine des Kaolinsandes können dem südschwedisch-Bornholmer Raum zugeordnet werden.

1. Einleitung

Nach ersten Beschreibungen von Körperfossilien begann mit TORELL die Beachtung der Spurenfossilien sowie spezieller Marken der nordischen Sandsteine des Kambrium (Übersicht bei ALPERT 1977). Die meisten von ihnen sind auch als eiszeitliche Geschiebe bekannt. Insbesondere handelt es sich um unter- bis mittelkambrische Schichten.

Ihre Verbreitung (Abb.1) erstreckt sich einmal untermeerisch in einem relativ schmalen Streifen zwischen Bornholm und dem Lagoda-See, zum andern entlang der Küste zwischen Schonen und der smäländischen Küste am Kalmarsund sowie den mittelschwedischen Vorkommen von Väster- und Östergötland und dem Sundgebiet mit Öland. Weitere Gebiete wie die Hedemark/S-Norwegen und den Skanden bis hinauf nach N-Norwegen und Schwedisch-Lappland (STODT 1987) kommen als Geschiebelieferanten weniger in Frage.

Das zweite zeitlich wichtige Auftreten dieser Gruppe umfaßt den ungleich längeren Zeitraum des jüngeren Tertiär (Neogen im alten Sinne). In Sedimenten dieses Zeitabschnittes herrscht in der groben Steinfraktion (> 20 cm) dieser Gesteinstyp sogar vor. Da sich Eisbeteiligung als Transportagens nicht direkt nachweisen läßt, handelt es sich nach dem sedimentologischen Befund um Gerölle. Für die beiden Abschnitte des Neogen, der für die Braunkohlenbildung wichtigen Zeit des Miozän und dem sich anschließenden Abschnitt des Pliozän unterscheiden sich allerdings die Ablagerungsräume für grobe Schüttungen, verursacht durch überregionale Verschiebungen der Meeresverbreitung in Verbindung mit tektonischen Teilbewegungen des nordeuropäischen Tertiärbeckens. Während kiesführende Braunkohlensande (Miozän) nur in Jütland, Schleswig und östlich der Elbe in S-Mecklenburg, Brandenburg bis zur Niederlausitz, Pommern bis zum südlichen Ostpreußen verbreitet sind, tritt kiesführender Kaolinsand

(Pliozän) nur in Schleswig-Holstein, der Deutschen Bucht, in Hamburg und im nördlichen Niedersachsen, vor allem dem Weser-Ems-Gebiet auf (Abb.2). Die Ostsee, von der besonders der westliche Teil mit zum Verbreitungsgebiet gehörte, ist wahrscheinlich erst in geologisch junger Zeit ausgeräumt worden (MEYER 1991).

Trotz der Verschiedenheit in Ablagerungsraum und -zeit sind die Unterschiede - geröllkundlich gesehen - für beide Neogenabschnitte so unbedeutend, daß die Aussagen über die hier zu behandelnden Sylter Sandsteine auch in deren Verbreitungsgebiet der mitteldeutschen Braunkohlensande und gleichalter anderer Vorkommen gelten.

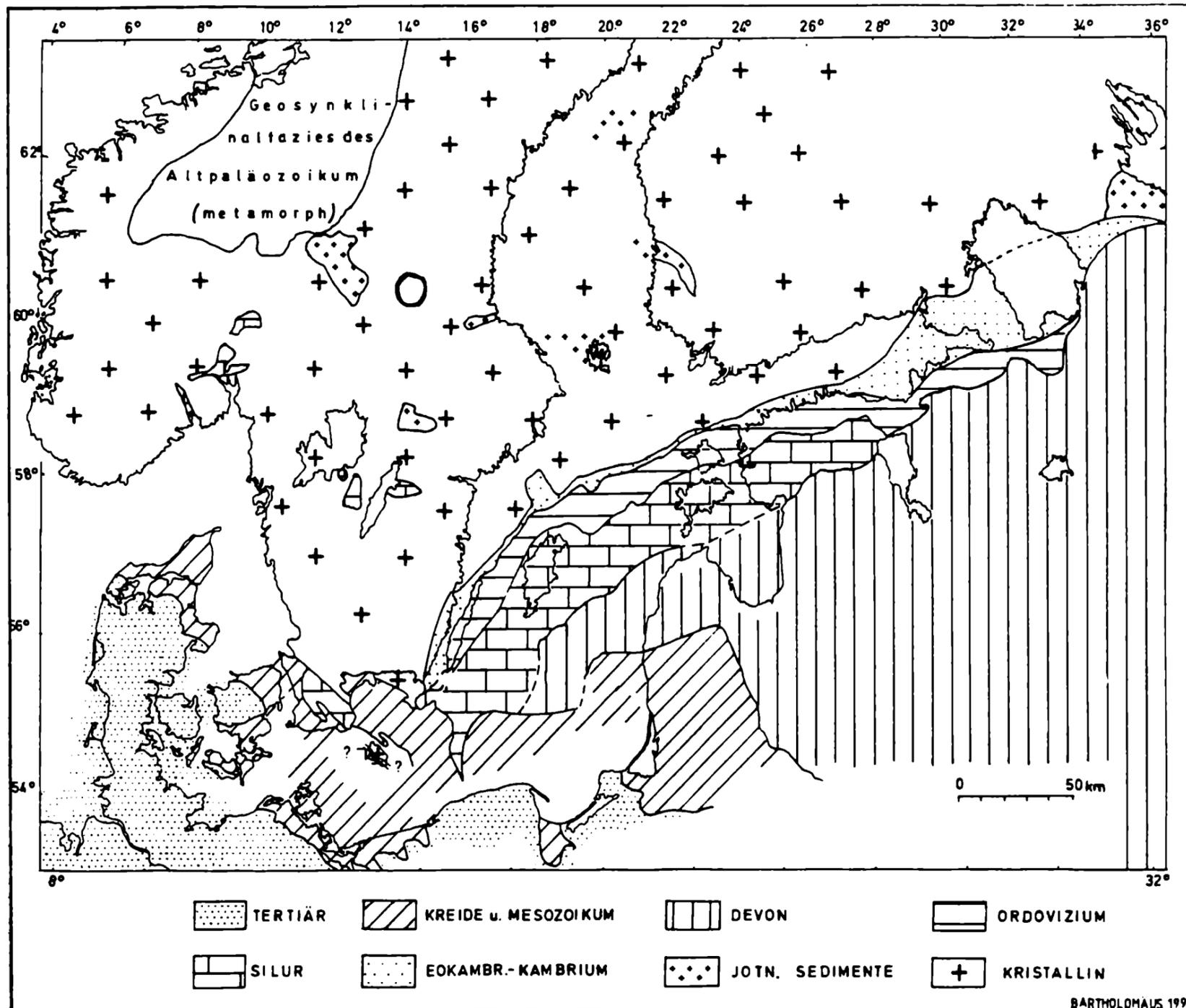


Abb. 1: Quartärabgedeckte Karte der Ostsee und Umgebung.

2. Übersicht über die unterkambrischen Spurenfossilien in Geschieben

Folgende Gesteinsgruppen sollen nicht behandelt werden: Der sterile Nexö-Sandstein des Eokambrium/basales Kambrium von Bornholm und die unterkambrischen Sandsteine, die von der Geschiebeforschung lediglich wegen lithologischer Eigenheiten Bezeichnungen erhalten haben, wie der/die Tigersandstein(e) und der gelegentlich auch *Scolithos* enthaltende Kalmarsund (= Chiasma)-Sandstein vom Kalmarsund (MEYER 1987).

Weiter sollen Sandsteine mit Körperfossilführung, wie der *Mobergella*-Sandstein und *Lingula*-Sandstein, unberücksichtigt bleiben.

Vom Unterkambrium sind einige Problematika bekannt. Dazu gehören:

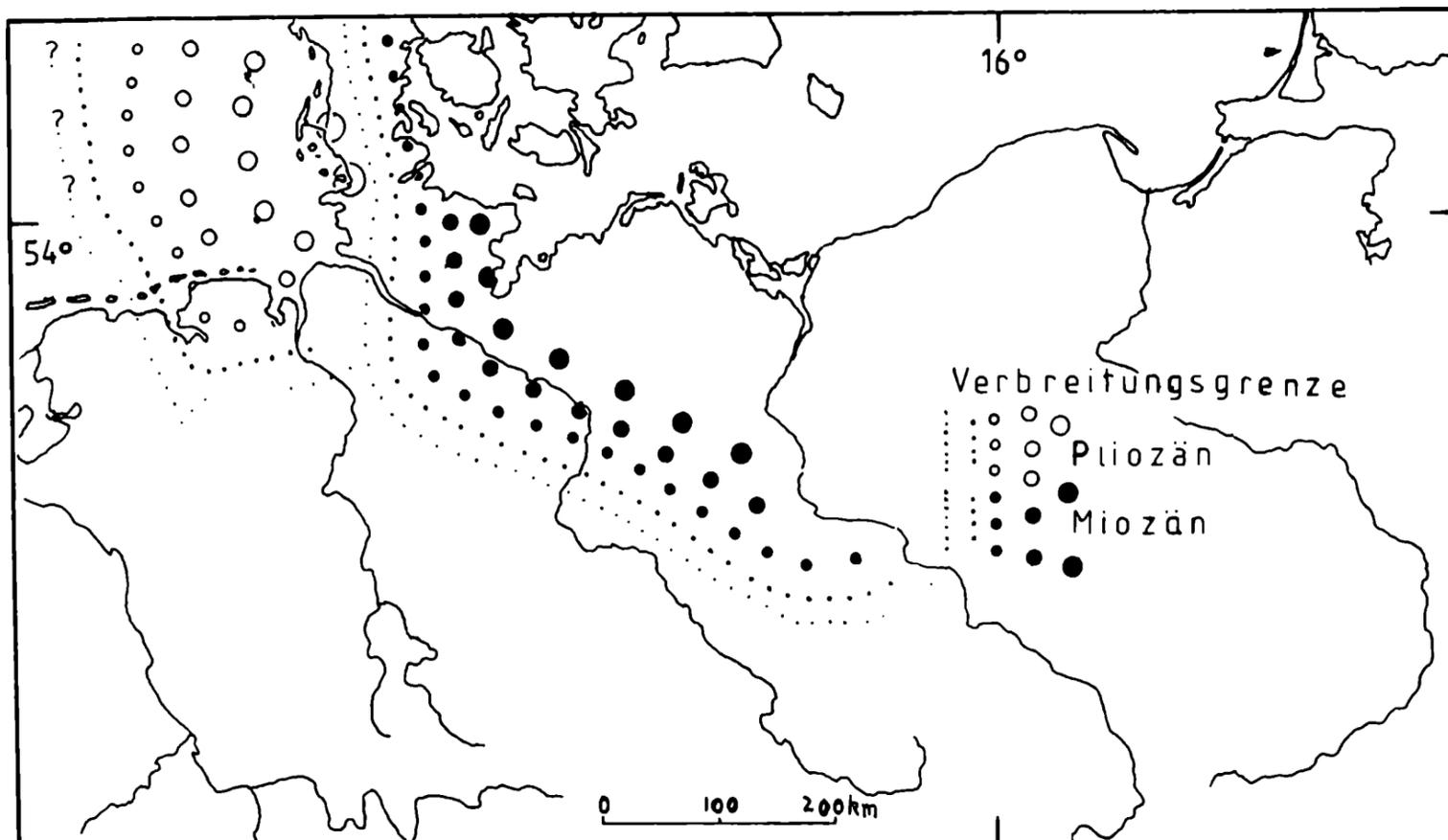


Abb. 2: Verbreitungsgrenze von nordischen Kiesanteilen in Braunkohlensanden (Unter-/Mittel-Miozän) und Kaolinsand (Pliozän) (nach verschiedenen Quellen).

***Spirocolex* TORELL**

NATHORST 1881: Tf.6, F.3; HANTZSCHEL 1975: Abb.108, F.3.

Diese Spur ist vom tonig-sandigen Unterkambrium Västergötlands bekannt. Da sie von Geschieben noch nicht erwähnt wurde, wird hier nicht darauf eingegangen. Das gilt auch für die in Form und Erzeuger *Rusophycus* nahestehende, jedoch langgestreckte Kriechspur

***Cruziana* D'ORBIGNY**

HANTZSCHEL 1975: Abb.34, F.1a-d,
die u.a. von Bornholm bekannt ist, sowie die Kriechspur

***Scolica* de QUATREFAGES**

HANTZSCHEL 1975: Abb:66, F.1-4,

die Zopffährte

***Halopoa* TORELL**

MARTINSSON 1965: Abb.29, HANTZSCHEL 1975: Abb.41, F.5,
von Västergötland und

***Tigillites* ROUAULT**

HANTZSCHEL 1975: Abb.71, F.2,
vom unterkambrischen Balkaquarzit von Bornholm.

Ebenso bleiben mittelkambrische Sandsteine unberücksichtigt. Dazu zählt der relativ kleine Geschiebe liefernde trilobitenführende

***Paradoxissimus*-Siltstein
(Syn. Tessini-"Sandstein")**

HUCKE & VOIGT 1967, LIENAU 1990, GIEBLER 1991, des Mittelkambrium mit

HANTZSCHEL 1975: Abb:71, F.4d
als spreitenförmiger Freßbaute und weiteren Spuren wie

Cruziana D'ORBIGNY
(MARTINSSON 1965)

sowie stratigraphisch und regional eng dazugehörige Sandsteine mit anderer Trilobitenfauna wie der

Liostracus-Sandstein
(RUDOLPH 1991).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die bekanntesten Spurenfossilien des Unterkambrium. Soweit sie lediglich von Geschieben bekannt sind, sollen sie hier kurz erwähnt werden. Die Spuren, die auch im Kaolinsand auftreten, werden ausführlicher behandelt.

Formal lassen sich die Bauten und Spuren nach ihrer Orientierung in vertikal, horizontal und indifferent orientiert gliedern. Die Ausrichtung ist eng an die biologische Funktion und den Anlaß gebunden (vgl. FREY 1975, SEMP 1978). Man unterscheidet Wohnbauten (*Domichnia*), Freßbauten (*Fodinichnia*), Weidespuren (*Pascichnia*), Ruhespuren (*Cubichnia*) und Kriechspuren (*Repichnia*).

Die Erzeuger der in dieser Weise ethologisch klassifizierbaren Lebensspuren lassen sich analog dem Epi- und Endobenthos zurechnen.

Tabelle 1: Vergleich des Auftretens unterkambrischer Sandsteine mit Spurenfossilien als Geschiebe des nordeuropäischen Vereisungsgebietes (Gs.) und als Neogengerölle Jütlands, Nord- und Mitteldeutschlands (Gr.).

	Verbreitung		Klassifikation	Auftreten in				Spur.- Assoc.
	Gs.	Gr.		Fk	Sd	GS	T	
<i>Eophyton Linnaeanum</i>	X		M - h	+				
"Sandkegel"	X		? ? v		+			
<i>Xenusion</i>	0		K -	+				
<i>Oldhamia</i>	X		S P h	+		+		
<i>Plagiogmus</i>	X		S R h			+		
<i>Psammichnites</i>	X		S R h	+				
<i>Bergaueria</i>	X		S F h	+			+	
<i>Rusophycus</i>	X		S R h	+			+	
<i>Syringomorpha</i>	X		S F v-h	+	+			
<i>Skolithos</i>	XXX	XXX	S D v	+	+		+	
<i>Diplocraterion</i>	XX	XX	S D v	+			! !	
<i>Monocraterion</i>	XX	XX	S D v	+	+		+	
<i>Planolites</i>	X	X	S F h	+	+		+	
ungerichtete Durchwühlung	XX	XX	S F i	+	+			
vertikale Bauten mit Stopfgefüge	X	X	S F? v	+				

Leerstelle = noch nicht beobachtet, 0 = extrem selten, X = selten, XX = häufig, XXX = sehr häufig.

M = Schleifmarke, K = Körperfossil, S = Spurenfossil [D = Wohnbaute (*Domichnia*, F = Freßbaute (*Fodinichnia*), P = Weidespur (*Pascichnia*), C = Ruhespur (*Cubichnia*), R = Kriechspur (*Repichnia*)];

Orientierung: h = horizontal, v = vertikal, i = indifferent.

Fk = Feinkies, Sd = reiner Sand, GS = glaukonitischer Sand, T = Schluff, Ton.

Eophyton Linnaeanum TORELL
(Tf.1)

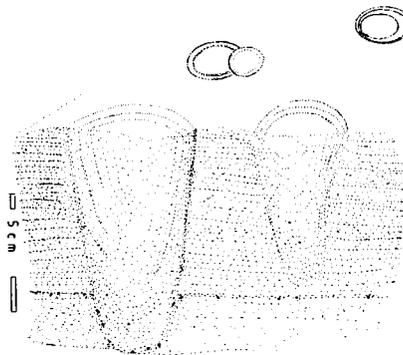
TORELL 1868: Tf.2, F.3; HADDING 1929: Abb.22; HANTZSCHEL 1975: Abb.103, F.1;
non HANTZSCHEL 1964: Abb.9.

Nach heutiger Erkenntnis handelt es sich um eine Schleifmarke, die durch unbekanntes Driftmaterial erzeugt ist. TORELL beschrieb die Marke (1867/68) vom Mickwitzia-Sandstein Västergötlands, von wo die Verbreitung bis nach Närke heraufreicht. Der Erstbeschreiber bildete die Marke teils gebogen, teils gerade verlaufend ab. Auch wenn *Eophyton* bei linealgeradem Verlauf besonders spektakulär wirkt, so sind es doch die mehr oder weniger zahlreichen rillenförmigen Striemen, die die Marke von anderen unterscheiden. So ist das von HANTZSCHEL (1964: Abb.9) dargestellte Geschiebe eher ein mittelkambrischer *Paradoxissimus*-Siltstein (Tessini-"Sandstein"), der auch in der Geschiebeliteratur gelegentlich irrtümlich als *Eophyton*-Sandstein bezeichnet wird.

Dieses häufige Geschiebe enthält i.d.R. auf Schichtflächen lückenlos angeordnet, kurze, unterschiedlich tief eingeschnittene, undeutliche Marken, die keine Verwechslung erlauben. Über das Spuren- und Markeninventar dieses Gesteins äußerte sich GIEGLER 1991.
Herkunft: Mittelschweden.

"Sandkegel"
(Abb.3)

SCHUDEBEURS 1969b: Abb.30,32-34; 1989:
Abb.3,12; WETZEL 1970: Tf.5-6;
non BRUUN-PETERSEN 1973: Abb.2-4.



Es handelt sich um bislang schlecht beschriebene, rotationssymmetrische, stumpfkegel- bis konisch geformete Körper aus abwärtig geschleppter Schichtung in mehr oder weniger glaukonitischem Sandstein. Sie wurden durch SCHUDEBEURS 1989 biogen gedeutet. Gleichartige "Chevron"-Strukturen in pleistozänen Küstensanden haben CURRAN & FREY (1977: Tf. 1a) als wahrscheinlich physikalisch erzeugt gedeutet. Sie sind gleichfalls von heimischen Schmelzwasserablagerungen bekannt.
Herkunft: Balkaquarzit/Bornholm.

Abb.3: Conusförmige "Sandkegel" in unterkambrischem Sandstein (nach SCHUDEBEURS 1989: Abb.12 und WETZEL 1970: Abb.5).

Xenusion POMPECKJ

SCHALLREUTER 1985, DZIK & KRUMBIEGEL 1989.

Xenusion hat als außergewöhnlich seltenes Fossil Eingang in das Emblem der diese Zeitschrift herausgebenden Gesellschaft gefunden. Es ist das bisher einzige bekannte Weichkörperfossil des epikontinentalen Sedimentationsraumes. Herkunft: unbekannt, wird den untersten Sandsteinen des Unterkambrium vom Kalmarsund zugerechnet.

Oldhamia FORBES
(Tf.1)

GLAESSNER 1969; HANTZSCHEL 1975: Abb.53, F.3b; JAEGER & MARTINSSON 1980.

Diese Weidespur, wahrscheinlich durch Trilobiten erzeugt, tritt vorherrschend in Sanden und Peliten auf.
Herkunft: westliches Skandinavien.

Plagiognus ROEDEL

(Tf.1)

HÖGBOM 1925; ROEDEL 1926, 1929; HANTZSCHEL 1964: Abb.6; 1975: Abb.59, F.4; HUCKE & VOIGT 1967: Tf.2, F.5; GLAESSNER 1969; BANKS 1970; PETERSON & CLARK 1974; JAEGER & MARTINSSON 1980: Abb.1-6; ? STODT 1987: Tf. 8, F.C; GIEBLER 1990: Abb.; LIENAU 1990: Tf.3, F.1.

Die schichtparallel orientierte Spur wird heute als Infauna (Borstenwürmer?, Mollusken?) den Fraßbauten zugerechnet. Sie ist ausschließlich von eher glaukonitarmen (Fein)sanden bekannt, die zusätzlich vertikal orientierte, sehr feine Grabgänge enthalten können.

Herkunft: Öland, Västergötland, Brantevik/Schonen.

Psammichnites TORELL

(Tf.1)

TORELL 1868: Tf.1; 1870: 9; HADDING 1929: 103; HANTZSCHEL 1964: Abb.7; 1975: Abb.62, F.2c; SCHUDEBEURS 1969b: Abb.24; RUDOLPH 1985: Abb.; ? GIEBLER 1987: Tf.1.

Es handelt sich wohl um eine Kriechspur (Schnecke?), die auf Schichtflächen hellen Sandsteines, auch gehäuft auftritt. Zusätzlich können vertikale Röhrenbauten auftreten.

Herkunft: Brantevik/Schonen (Hardeberga-Sandstein), Närke/Mittelschweden.

Bergaueria PRANTL

(Tf.1)

non WETZEL 1970: Tf.5-6, HANTZSCHEL 1975: Abb.28, F.2; STODT 1987: Tf.9, F.A.

Es handelt sich um die Ruhespur von fraglichen Coelenteraten in tonigem Sandstein.

Herkunft: unbekannt.

Rusophycus HALL

(Tf.1)

BERGSTROM 1970: Abb.1-3, HANTZSCHEL 1975: Abb.63.

Es handelt sich um die Ruhespur von Trilobiten. Sie ist sowohl aus der Tief- als auch von der Flachwasserfazies des unterkambrischen Meeres bekannt.

Herkunft: Västergötland, Hardeberga-Sandstein/Schonen.

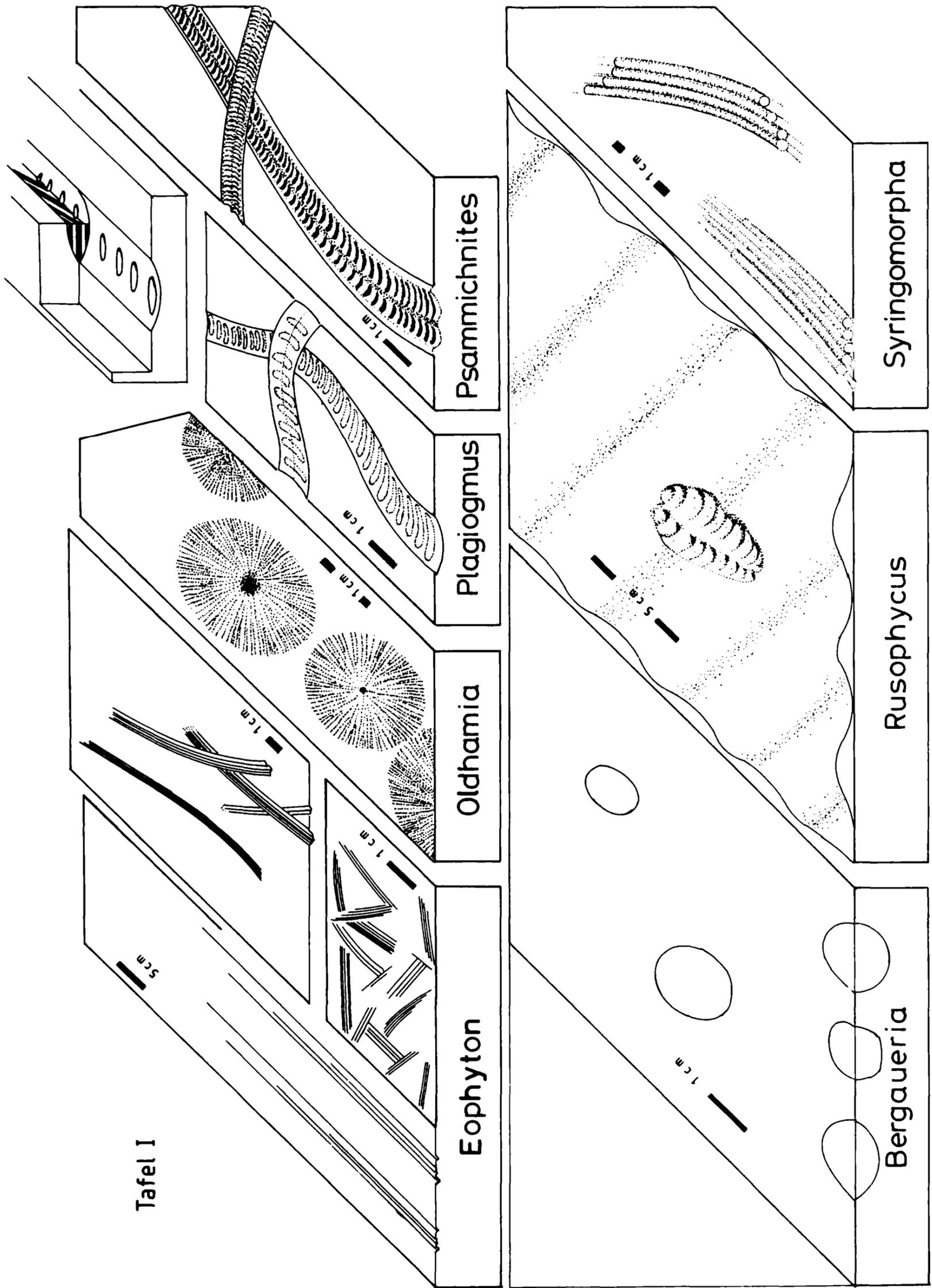
Syringomorpha NATHORST

(Tf.1)

NATHORST 1886; RICHTER 1927; HUCKE & VOIGT 1967: Tf.2, F.3-4; SCHUDEBEURS 1969b: Abb.19, MECKER 1969: Abb., HANTZSCHEL 1975: Abb.68, F.3; GRAGE 1978: Abb.S.28), ? GABA & PEK 1980: Abb.2.

Es handelt sich um die Fraßspur, möglicherweise eines Wurmes, die Überwiegend in glaukonitischen Sanden auftritt.

Tafel 1 (S.313). Horizontal orientierte Spurenfossilien und eine Marke aus unterkambrischen Geschieben (umgezeichnet nach Literaturangaben).



Herkunft: Schonen (Hardeberga-Sandstein, LINDSTRÖM & STAUDE 1971), Kalmarsund, Geschiebe von Öland.

Undefinierbare Bauten (Abb.4)

In Mittelsandsteinen können bevorzugt vertikal orientierte, röhrenförmige Bauten auftreten, die keinem strengen Bauprinzip unterliegen und damit kaum definierbar sind. Die Abbildung zeigt überwiegend vertikal, teil schräg, teils horizontal, teils umbiegende röhrenförmige Spuren (Kaliber 3-6 mm), die z.T. ein Stopfgefüge erkennen lassen. Es handelt sich deswegen eher um Freß- als um Wohnbauten. Die Schichtblätter sind teils aufwärtig, teils abwärtig, teils ungeschleppt, teils paketweise verdrückt.
Herkunft: unbekannt.

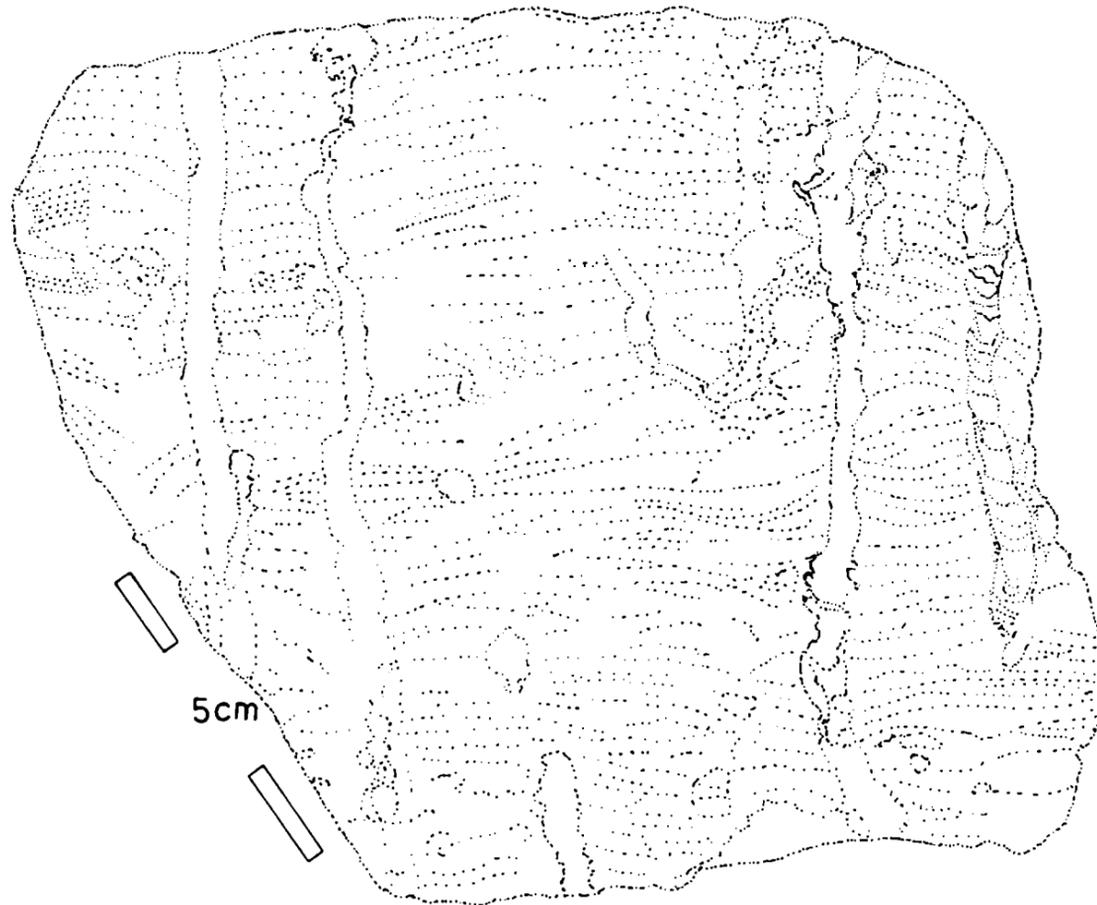


Abb.4. Undefinierbare Bauten in unterkambrischem Sandstein im Vertikalschnitt (Geschiebe aus Schleswig).

3. Spurenfossilien der Kaolinsandgerölle 3.1 Lithologie der Sandsteine

Die unterkambrischen Sandsteine (U.von HACHT 1978, 1979, 1984, 1985, 1987) bestehen überwiegend aus Mittelsand, aber Fein- und Grobsand, ja sogar Konglomerat aus feinem Feinkies (2-4 mm D) tritt ebenso auf. Feldspat und vereinzelte Glaukonitkörner können hinzutreten. Glaukonitreiche (bis 20 Vol. %) Fein- bis Mittelsande (Grünsandstein) treten aber durchaus auf. Weitverbreitet sind weiße, hellgrüne oder graue Gallen aus Ton bis Grobsilt (2 mm bis mehrere cm D), die überwiegend als plattig runde, weniger als eckige Partikel lagenweise eingestreut sind. Obwohl sich unter ihnen keine transportbedingten Armierungen aus Sedimentkorn (sandgespickte Tongerölle) nachweisen lassen, müssen sie wenigstens teilweise plastisch gewesen sein, da sie durch Bioturbation mit zerstört wurden. Je nach deren Ausmaß ist Schichtung überliefert.

Sowohl feinrhythmisch horizontale Schichtung, als auch Schrägschichtung treten auf. Schichtflächen sind nur selten durch Rippeln gegliedert. Weit verbreitet sind rote/braune Farbzonierungen, die diagentisch durch Ausfällung entstanden sind. Obwohl sie Schräg-/Schichtung vortäuschen, verlaufen sie

schräg zu ihr. Bei einem Durchmesser mehrerer dm haben sie oft die Geometrie ineinandergestapelter Schüsseln. Röhrenbauten, besonders von *Skolithos*, können durch farbigen Sand hangender Schichten verfüllt sein. Regelmäßig oder unregelmäßig verteilt sind punktförmige Nester (bis 1 cm) bindemittelfreier Bereiche. Hier sind bis auf ganz schwache Anätzungen/Quarzüberzüge diagenetische Vorgänge unterdrückt worden, so daß die detritisch geformten Quarzkörner beim Aufsägen herausfallen. Im Unterschied zu diesen Bereichen mit hohem Porenvolumen, sind die Sedimente ansonsten durchgehend durch homoaxiales Quarzwachstum zu porenfreien Kristallsandsteinen umgewandelt. In seltenen Fällen (in Bereichen vollständiger Einkieselung) ist unverwitterter Pyrit überliefert. In Glaukonitsandstein, treten selten diskusförmige Toneisenstein-konkretionen bis 10 cm Durchmesser auf.

Bei genauer Beachtung lassen sich bei dem überwiegenden Teil der Sandsteine fossile Lebensspuren nachweisen, von denen sich ein Teil nicht klassifizieren läßt. So sind auf Schichtflächen von glaukonithaltigen und -freien Sandsteinen gelegentlich mm-dünne, langgestreckte Weide?-Gänge als Hyporelief überliefert. Zu den bereits erwähnten undefinierbaren Bauten (Abb. 4) gehören weitständig angeordnete vertikale Bauten mit Stopfgefüge, die gelegentlich in violettroten Mittelsandsteinen anzutreffen sind.

Unter den Neogengeröllen lassen sich keine Glaukonitsandsteine mit vertikal orientierten Bauten beobachten. Lediglich weitständige, gerade bis schwach gebogene Röhren (Kaliber: 2-4 mm), ähnlich *Skolithos*, aber unorientiert, lassen sich in entschichteten glaukonithaltigen Feinsandsteinen gelegentlich nachweisen. Sie sind deutlich erkennbar mit tonig-schluffigen Wandauskleidungen (Stärke: 1/10 mm) ausgestattet. Wegen intensiver Verwitterung auf letzter Lagerstätte sind mürbe, z.B. tonige Gesteinsbereiche nicht vollständig erhalten.

3.2 Spurenfossilien

Skolithos HALDEMAN (Tf.2)

TORELL 1868: Tf.2, F.1; 1870: 12; WESTERGARD 1931: Tf.7-9, Tf.10, F.1; HUCKE & VOIGT 1967: Tf.1, F.1; SCHUDDEBEURS 1969b: Abb.1-3,16, NEBEN & KRUEGER 1979: Tf.114, GABA & PEK 1980: Tf.2, F.2; TIEDEMANN 1989: Abb.1-2; TROPPEZ 1986: Abb.1; non BENNHOLD 1935: Abb.1.

Eine moderne systematische Übersicht der Gattung *Skolithos* hat ALPERT (1974) zusammengestellt. Die Untersuchung von 30 Sandsteinen ergab folgende Zusammensetzung von Kolonien:

Röhrendicke: 2-5, überwiegend 3-4 mm, zu 29/30 gleich, zu 1/30 ungleich
 Röhrenabstand: engständig: zu 19/30,
 mittelständig: zu 3/30,
 weitständig: zu 9/30
 Röhrenlänge: wird immer durch die überlieferte Bankmächtigkeit mit wenigen cm bis max. 30 cm begrenzt. Röhren gehen auch durch Bänke mit mehreren Schrägschichtungskörpern.
 Röhrenabstand: zu 4/5 gleich (Durchschnitt: 8 mm), zu 1/5 ungleich (Durchschnitt: 12 mm).
 Röhrenorientierung: vertikal, ohne Beeinflussung durch Schrägschichtung, bei engständige Besiedlung besonders gerade und parallel, z.T. einheitlich mit wenigen Grad vom Lotrechten abweichend.
 Korngröße: Mittelsand : 18/30;
 Feinsand: 4/30;
 Grobsand: 8/30;
 feiner Feinkies: <1/30

Siedlungsdichte bei Kolonien vom Kaliber etwa 4 mm: häufig um 15000, max. um 50000 Individuen/qm, bei dünneren Röhren auch bis 80000 Individuen/m².

An verschiedenen Blöcken lassen sich jeweils nur vereinzelt Röhren beobachten, deren Umgebung in zerrender Weise trichterförmig abwärts deformiert ist. Auf sie hat bereits R. RICHTER (1926: 202) hingewiesen. Im Gegensatz dazu stellt der Hinweis von BENNHOLD (1935: Abb. 1) eine Verwechslung mit *Monocraterion* dar.



Wie auch bei Geschieben (Abb. 5), treten besonders bei lockerer Besiedlung auch Röhren auf, deren Ausrichtung nicht vollständig vertikal ist. Dabei sind durch Überschneidungen und Kappungen in unterschiedlichem Niveau unterscheidbare Generationen nur selten beobachtbar.

Verbreitung: Unterkambrium. Skanden, Oslogebiet, Schweden, Bornholm, Estland.

Abb.5. *Scolithos* in einem Geschiebe von Celle/Niedersachsen.

Monocraterion TORELL
(Tf.3, Tf.4, F.3)

WESTERGARD 1931: Tf.5-6; ? STEHMANN 1935: Abb.1-2; BENNHOLD 1935: Abb. 1-3; HUCKE & VOIGT 1967: Tf.1, F.2; SCHUDEBEURS 1969b: Abb.8-9; 1989: Abb.8,11; ? BRUUN-PETERSEN 1973: Abb.2-3, NEBEN & KRUEGER 1979: Tf. 113; GABA & PEK 1980: Abb.1; E.RICHTER 1986: Tf.1, F.1.

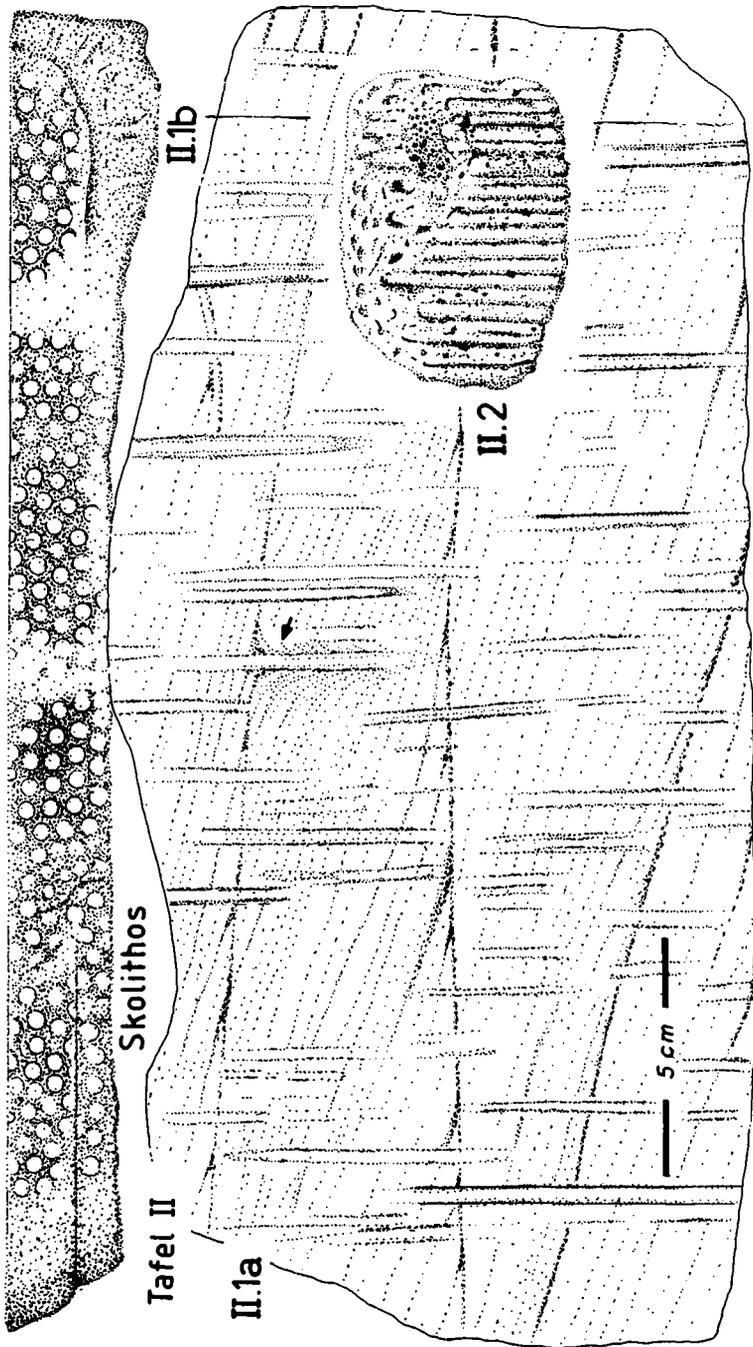
Röhren mit Trichteröffnungen können sich zwingenderweise nur an Kolonien mit lockerer Siedlungsdichte beobachten lassen, da ein Trichter am Eingang der vertikal orientierten Röhre seitlichen Raum beanspruchen würde. Nach Definition gehört zu *Monocraterion* dieser obere, also äußere Trichter, der sich im unbefestigten Sediment am Meeresboden ausbilden müsste, wenn die Röhre nicht stabilisiert ist. Von diesem Vorgang würde das unterlagernde Sediment allerdings unberührt bleiben. Bei dem vorliegenden Material lassen sich jedoch Trichter dieser Art nicht beobachten. Vielmehr existieren ausschließlich trichterförmige Schichtdeformationen rein zerrenden Charakters. Die überwiegend über die volle überlieferte Länge ausgebildeten Schleppungen/Sackungen müssen entweder bei der Anlage als Schleppung oder vor der Verfüllung mangels Stabilität durch Kollabieren entstanden sein. Nur in wenigen Fällen kappen die Schächte die sonst asymptotisch zulaufenden Sackungslinien, sind also während der Nutzung neu eingeschnitten.

Bereits BENNHOLD (1935) erkannte die abwärts gerichteten trichterförmigen Schleppungszonen. Im Gegensatz zu CRIMES et al. (1977: Abb. 7) und MARCOS et al. 1991 lassen sich "diskordante Trichter" nicht wahrnehmen. Neben vorherrschend stark geschleppten treten nahezu ungeschleppte Umgebungen von Röhren auch unmittelbar benachbart auf (Tf.3, F.2). Auf den Schichtflächen der überwiegend horizontal und feinrhythmisch geschichteten, weißen Mittel-

Tafel 2 (S.317). *Skolithos* (Gerölle aus Kaolinsand/Sylt).

2.1: *Skolithos*-Kolonie im senkrechten Anschnitt (a) sowie im Blick auf die Bankoberseite (b). Schräggeschichtete Sedimentationseinheiten werden durch mindestens drei Diskordanzen gegliedert. Unter Dutzenden von angeschnittenen Röhren liegt eine mit geschleppt/gesackter Umgebung vor (Pfeil). Die Schleppung/Sackung endet oben an einer Diskordanz. Unterschiedliche Durchmesser im Vertikalschnitt sowie der scheinbare Unterschied in der Besiedlungsdichte zwischen beiden Blickweisen sind Anschnitteffekte. Ebenso bieten die angeschnittenen Röhren keinen Hinweis auf ihre tatsächliche Länge. Wahrscheinlich gehen alle Röhren über die volle Bankmächtigkeit.

2.2: *Skolithos*-Kolonie in grobkörnigem Sediment.



sandsteine bilden diese Schleppungen einfach bis mehrfach ineinandergeschachtelte Ringe (Tf.3, F.1), die von lithologisch unterscheidbaren Hangendlagen herabgeschleppt wurden. Sie bezeugen, daß die freiliegende Schicht nicht im Niveau eines gedachten Mündungstrichter liegt, denn jeder beliebige hierzu parallele Anschnitt würde ein gleiches Kreismuster liefern. Da mehrere Röhren sich zu einem gemeinsamen Trichterkörper vereinigen können, entstehen auch unrunde Kreisschnitte. Mit durchschnittlich Kaliber 3-5 mm, liegt die Spur im Bereich von *Skolithos*, erreicht allerdings aber nicht deren Minimalkaliber.

Röhrenlänge: wird immer durch die überlieferte Bankmächtigkeit mit max 20 cm begrenzt. Röhren gehen auch durch Bänke aus mehreren Schrägschichtungskörpern.

Die Siedlungsdichte beträgt bis über 2000 Individuen/m². Einzelne Spuren können vom Lotrechten abweichen.

Im Gegensatz zu *Skolithos* lassen sich etagenweise gegliedert verschiedene Besiedlungsgenerationen beobachten. Hierbei sind Röhren in ihrem trichterlosen unterem Teil gekappt, während jüngere vom Hangendsediment her bis an die überlieferte Schichtuntergrenze reichen (Tf.4, F.3).

Verbreitung: Unterkambrium; Skanden, Oslogebiet, Schweden, Bornholm, Estland.

***Diplocraterion* TORELL**
(Tf.4,F.1, Tf.5,F.2)

WESTERGARD 1931: Tf.1-4, Tf.10, F.2-3; SCHUDEBEURS 1969b: Abb.10-12; HUCKE & VOIGT 1967: Tf.2,F.1-2; NEBEN & KRUEGER 1979:Tf.113; GABA & PEK 1980:Tf.2,F.1.

Durch den u-förmigen Gang unterscheidet sich *Diplocraterion* - bei gleicher Orientierung - von den geraden Röhrenbauten. Weiter gehört zur Definition eine verbindende Spreite. Da Spreiten allgemein auf Depositfresser hinweisen (vgl. R.RICHTER 1926), ist angezweifelt worden, daß es sich bei *Diplocraterion* um einen Suspensionsfresser handelt, der die Röhre lediglich bewohnt.

Für diesen Fall wäre *Diplocraterion* keine Wohnbaute (*Domichnium*), sondern eine Freißbaute (*Fodinichnium*). Haupteinwand gegen dieses Argument würde die sich aus der Orientierung ergebende unwirtschaftliche Arbeitsweise sein, da das Nährsubstrat natürlich horizontal verbreitet ist, so daß die erstgenannte Deutung wahrscheinlicher ist.

Bei den vorliegenden Blöcken weißen bis hellgrauen Mittelsandsteines reicht die Baute nicht ganz an die ebenflächig ausgebildete Bankunterseite heran. Die Bankoberseite ist dagegen je nach Siedlungsdichte tief durch kurze Furchen zerkratert, die durch hantelförmige Doppelöffnungen hervorgerufen wird. *Diplo-*

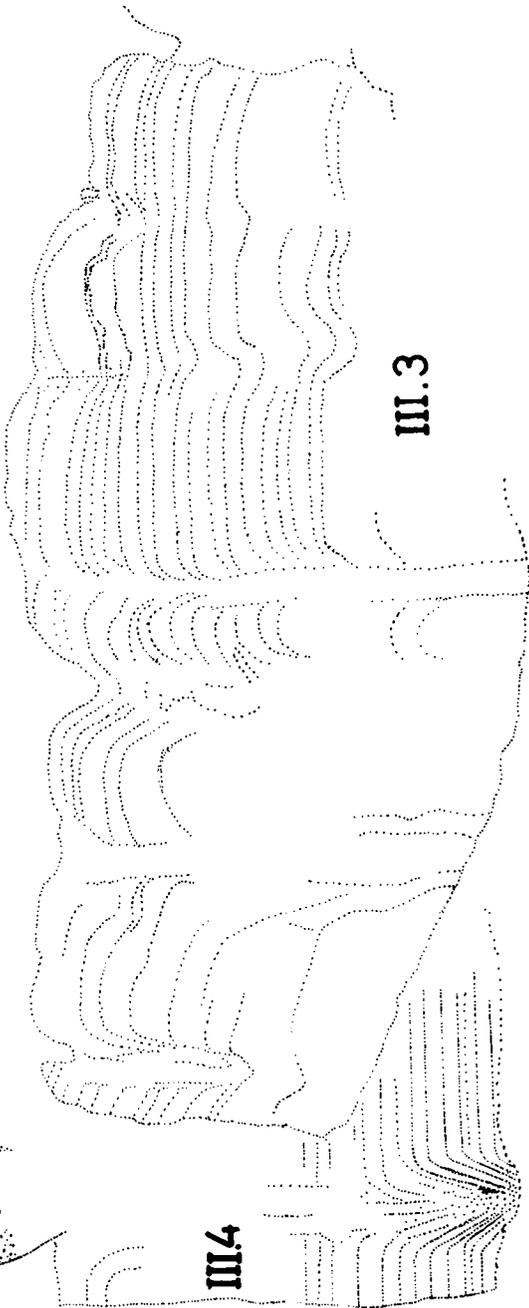
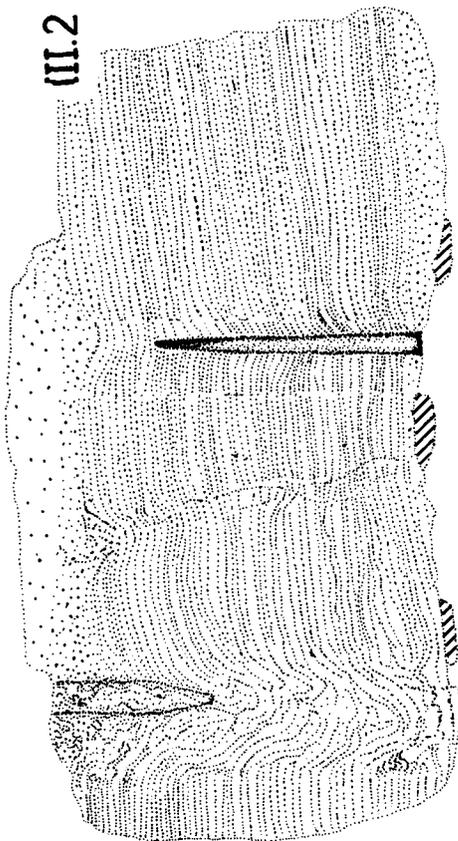
Tafel 3 (S.319). *Monocraterion* (Gerölle aus Kaolinsand/Sylt).

■F.1. Kombiniert vertikal und horizontal angeschnittene "Trichter" von *Monocraterion*. Die im horizontalen Anschnitt konzentrische Anordnung liefert häufig, wie auch in diesem Fall, durch Kompaktionsunterschiede hervorgerufen, ein ringförmiges Halbreilief. Hier ungewöhnlich ist der relativ große Kreisdurchmesser. Er wird durch zwei benachbarte Schleppungen/Sackungen hervorgerufen. Von den zugehörigen Röhren liegt jedoch nur eine in der Schnittebene. Die Schichtdeformationen rein plastischen Typs werden durch die Schnittlinien nahezu vollkommener asymmetrischer Rotationsparabeln verdeutlicht.

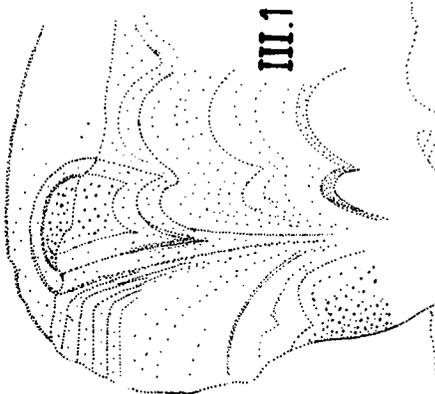
■F.2. Benachbarte *Monocraterion*-Bauten im senkrechten Anschnitt. Deutlich ist die rhythmische Feinschichtung des weißen Mittelsandsteins erkennbar. Alle drei Bauten sind median geschnitten. Die Schichtdeformationen reichen von sehr stark (links) bis unmerklich (rechts). Im letzteren Fall ergibt sich ein Halbreilief, da die Röhrenwand geringer verkieselt wurde als das umgebende Sediment und der meist besonders feste Steinkern. Straffiert: Tongerölle.

■F.3. Bauten von *Monocraterion* mit starker Schleppung/Sackung des Sedimentes im senkrechten Anschnitt. Es herrscht plastische Deformation vor. Bedingt durch Anschnitte in der Gangperipherie bilden sich lediglich verbogene, aber nicht unterbrochene Schichtlinien ab. ■F.4. Bauten von *Monocraterion* mit Schleppung/Sackung in Feinsandstein mit überlieferter Horizontalschichtung.

Monocraterion



Tafel III



craterion läßt sich bei Röhrenkaliber von etwa 4 mm und einem durchschnittlichen Schenkelabstand von 2 cm über max. 20 cm Länge beobachten. Die Länge ist von Individuum zu Individuum verschieden. Da das wohlgeschichtete (horizontal-/schräggeschichtete) Sediment in der unmittelbaren Umgebung der Spur, außerhalb des Spreitenzwischenraums, keine einengende Deformation zeigt, muß der Erzeuger ohne seitliche Krafteinwirkung auf das Substrat gegraben haben. Allerdings lassen in Einzelfällen relativ kräftige turbulente Schichtdeformationen beobachten (Tf.5, F.2), wie sie für tierische Erzeuger typisch sind.

Nach FURSICH 1974 sind systematische Unterscheidungen bei *Diplocraterion* nach dem Auftreten oder Fehlen von Mündungstrichtern, wie sie der Erstbearbeiter TORELL vornahm, ichnospezifisch durch die Möglichkeit unvollständiger, abtragungsbedingter Überlieferung unzulässig. Da sich bei dem vorliegenden Material in keinem einzigen Fall Mündungstrichter nachweisen lassen, kann bezweifelt werden, ob es sie überhaupt gibt. Statt dessen treten in unterschiedlichem Ausmaß abwärtige Sedimentschleppungen/sackungen auf, die für die hantelförmigen Doppeleintiefungen auf den Schichtflächen verantwortlich sind (Tf.4, F.1c). Auch eine Räumauskleidung läßt sich nicht erkennen.

Die Spur soll (FURSICH 1974) überwiegend intrusiv auftreten (z.B. WESTERGARD 1931: Tf.1, F.1), im vorliegenden Material herrscht retrusive Stellung jedoch vor (Tf.3, F.1b). Die von NEBEN-KRUEGER (1979: Tf.113) von Geschieben abgebildete Varietät *D. helmerseni* mit breiterem Schenkel konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Spreite liegt vollkommen oder wenigstens angenähert in einer Ebene. Einzelne Spuren können vom Lotrechten abweichen. Der Erzeuger von *Diplocraterion* überschneidet bei höherer Siedlungsdichte (max. 1000 Individuen/m²) gelegentlich bereits angelegte Bauten. Wie die übrigen *Domichnia* kommt *Diplocraterion* fast immer exklusiv vor.

Im Gegensatz zu der Definition von R.RICHTER 1926 von *Diplocraterion* TORELL, 1870 als spreitenloser Spur, tritt bei dem vorliegenden Material *Diplocraterion* ausschließlich mit Spreite auf.

Verbreitung: Unterkambrium. Skanden, Oslogebiet, Schweden, Bornholm, Estland.

Planolites NICHOLSON (Tf.4, F.2)

SCHUDEBEURS 1969: Abb.20-22; GABA & PEK 1980: Tf.1, F.1; STODT 1987; LIENAU 1990: Tf.3, F.4.

Im Gegensatz zu den skandinavischen Vorkommen ist *Planolites* vom Unterkambrium Kaliforniens durch ALPERT 1975 ausführlicher beschrieben worden. Bei den Sylter Sandsteinen handelt es sich um helle bis weiße, mürbe, quarzitisches Mittelsandsteine ohne Schichtung. Sie sind intensiv von annähernd horizontalen Grabgängen vom Typ *Planolites* durchsetzt, deren Füllung (als *Endichnia*) aus grünem Silt besteht oder herausgewittert ist. Soweit die Sandsteine (schwach) glaukonitführend sind, tritt auch in der Siltfüllung Glaukonit auf. Die geraden bis schwach gebogenen Röhren mit 2-5 mm ? sind unvollständig kompaktiert, sodaß ein Resthohlraum vorliegt. Sie verzweigen untergeordnet, ohne einer bestimmten Richtung zu gehorchen. Wegen Engständigkeit durchkreuzen sie sich bei gerader bis schwach gebogener Ausrichtung intensiv.

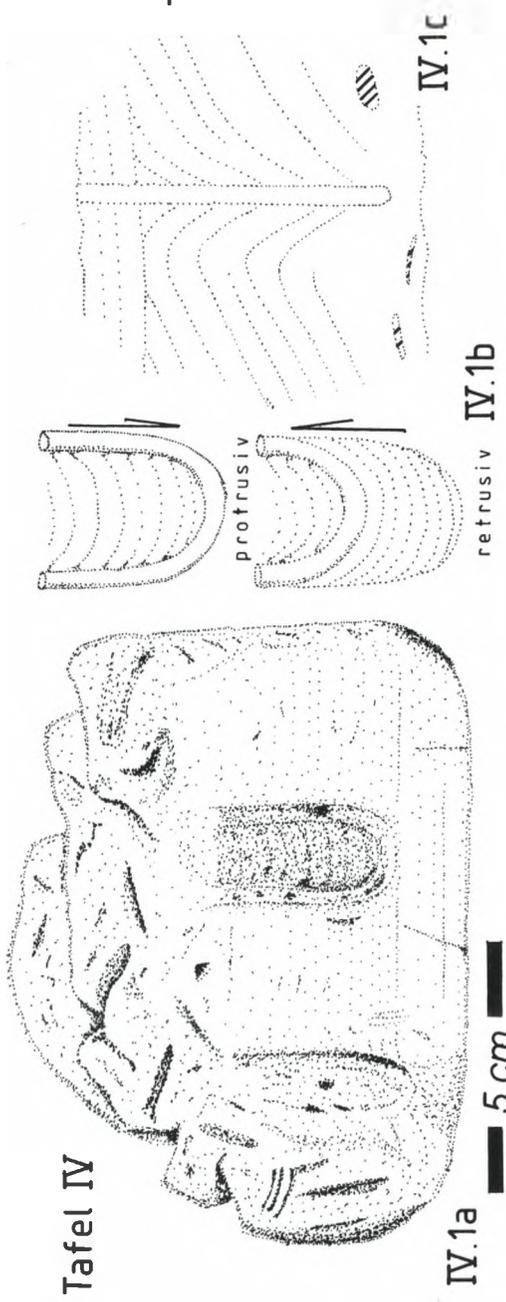
Tafel 4 (S.321). *Diplocraterion*, *Planolites*, *Monocraterion* (Gerölle aus dem Kaolinsand von Sylt).

F.1. *Diplocraterion*. ■a. Mäßig überlieferte *Diplocraterion*-Bauten, in den Spreitenebenen angeschnitten. Auf der Oberseite röhren tiefe Krater von weiteren Bauten her. ■b: schematisierte Baute, oben: protrusive Stellung unten: retrusive Stellung. ■c: Schnitt senkrecht zur Spreitenebene mit starker Schleppung/Sackung im schräggeschichteten Abschnitt. Straffiert: Tongerölle.

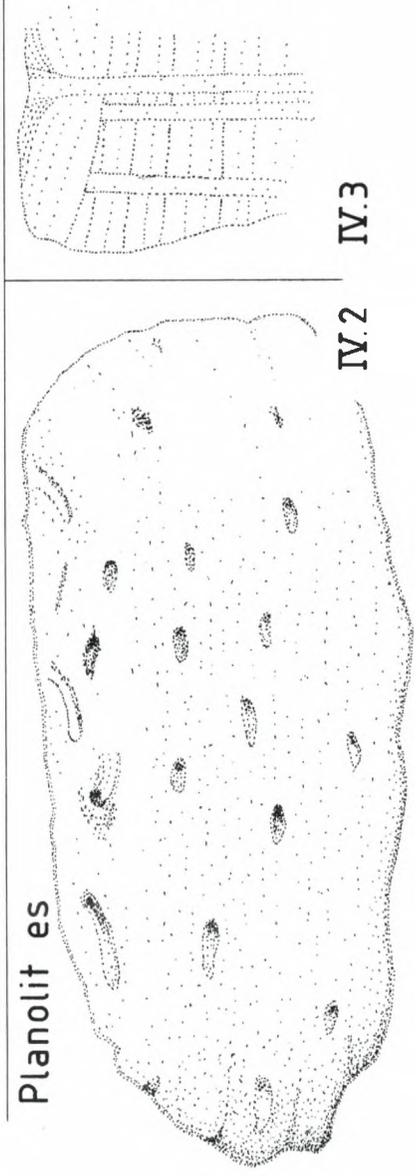
F.2. *Planolites*, überwiegend vertikal angeschnitten.

F.3. *Monocraterion* in zwei Besiedlungsgenerationen.

Diplocraterion



Monocraterion



Verbreitung: Unterkambrium. Nach LINDSTRÖM (pers. Mitt.) kommen ähnliche Baute im Lingulidensandstein Västergötlands vor. "krasten"? von der smäländischen Küste/Kalmar (WESTERGARD 1931).

Auch *Halopoa* cf. *imbricata* TORELL, bei POULSEN (1967: Abb. 5) von Siltsteinen der "Grünen Schiefer" von Bornholm abgebildet, zeigt starke Gemeinsamkeiten. *Planolites* läßt sich keinem bestimmten Liefergebiet zuordnen.

Als bislang namenlosen Typ vereisungszeitlichen Geschiebes hat LIENAU 1990 das Gestein abgebildet.

Ungerichtetes Wühlgefüge (Tf.5)

Durch intensive Durchwühlung und mangelnde Farbkontraste schwer erkennbare Bauten ohne bestimmte Orientierung. Sie treten in grauen und rötlichen Mittelsandsteinen auf. Vorherrschend sind röhrenförmige Gänge, aber auch Spreitenbauten ähnlich *Diplocraterion*, jedoch schräg orientiert, können auftreten. Verbreitung: Unterkambrium, wie vor.

Dunkelgraugrüne phosphatische, quarzitisches Sandsteine mit Bioturbation

Sehr selten treten stark verkieselte und kleinräumig phosphatische, entschichtete Feinsandsteine von dunkelgraugrüner Farbe auf. Sie sind von 3-5 mm dicken nicht verkieselten bioturbaten Flecken und unorientierten Gängen durchsetzt. Verbreitung: Unterkambrium von Brantevik/Schonen (HADDING 1929: 103); Siltstein ("Grüne Schiefer") von Bornholm (POULSEN 1967: 9), Rispebjerg-Sandstein (HANSEN 1936: 26; de MARINO 1980).

3.3 Ökologie

Es soll hier unterstellt werden, daß es sich bei den zu diskutierenden *Domichnia Skolithos*, *Monocraterion* und *Diplocraterion* um (tierische) Lebensspuren handelt, obwohl das insbesondere für *Skolithos* wiederholt angezweifelt wurde. Vgl. dazu TROPPEZ (1989), SUNDBERG (1983) sowie die Diskussion als Luftblasenaufstieg bei KLAEHN (1931).

Als Organismen, vielleicht schalenlose Wurmartige wie es Polichaete? sind (vgl. GLAESSNER 1979) gedeutet, handelt es sich um Schachtbauer, d.h. um Anlage in existierendem Sediment. Bei guter Überlieferung ist die Wandungsoberfläche bei den drei Formen, gemessen an der ursprünglichen Porosität und Rauigkeit des Kornes sehr glatt ausgebildet. Dies ist nur durch sorgfältige Anlage und Präparation erklärbar. Ebenso besteht in der Anlage der Schachtkaliber starke Übereinstimmung, was ebenfalls Ähnlichkeit der Organismen nahelegt.

Im Vergleich zu den übrigen vertikal orientierten und den sonstigen *Ichnia* tritt allein *Skolithos* in engständiger Besiedlung auch in Sediment des feinen Feinkieses auf. Gleiche Unterschiede im Energiemilieu stellten auch GOODWIN & ANDERSON (1974) von kambrischen Sedimenten Pennsylvaniens fest. Da der Eindringwiderstand in Grobdetritus wesentlich höher ist, muß für den unbekanntem Erzeuger eine ausreichend kräftige Ausstattung der Körperoberfläche und Muskulatur gefordert werden. Da *Skolithos* bei lückenloser Besiedlung besonders gerade und ohne Störung der Nachbarröhren angeordnet ist, bedarf es einer biologischen Fähigkeit (Thigmotaxis) für dieses gesteuerte Verhalten.

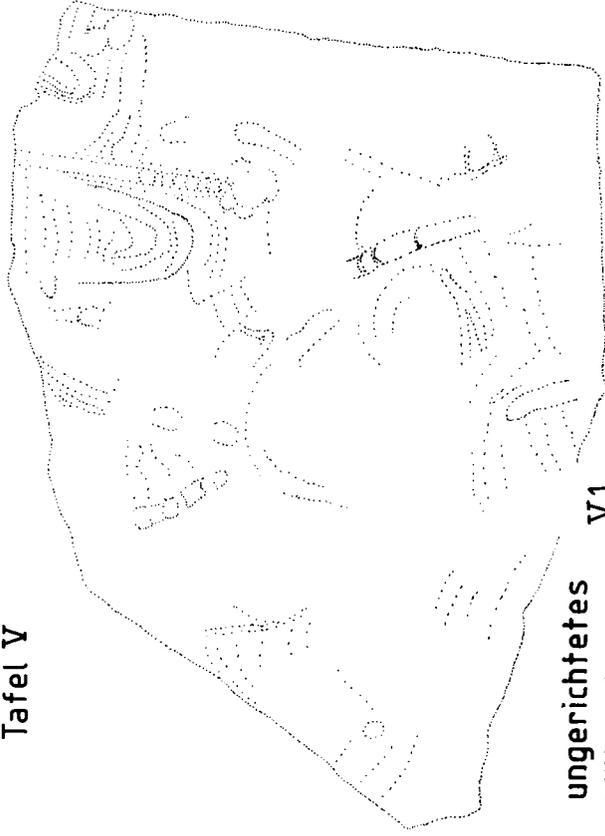
Aus geometrischen Gründen ist es zumindest für engstehende *Skolithos*-Kolonien nicht möglich, Mündungstrichter auszubilden. Daraus ergibt sich die

Tafel 5 (S.323). Ungerichtetes Wühlgefüge, *Diplocraterion* (Gerölle aus dem Kaolinsand von Sylt).

F.1. Mittelsandstein, intensiv bioturbat durchwühlt.

F.2. Bauten von *Diplocraterion* verschiedener Generation, die unter starker Durchwühlung erzeugt wurden. Ein grünes Grobsiltgeröll (oben links) ist nicht nur verstellt, sondern auch mechanisch mit seiner Umgebung ± vermengt worden. Straffiert: Siltgerölle.

Tafel V

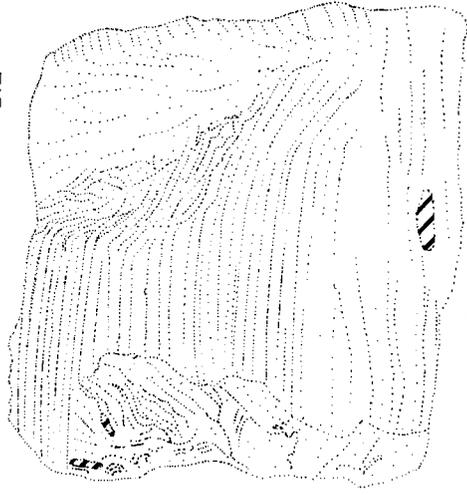


V.1

ungerichtetes
Wühlgefüge

Diplocraterion

V.2



5 cm

Notwendigkeit, die Zwischenwände der Komensalenbehausungen speziell zu stabilisieren. Möglichweise hat *Skolithos* dieses Ziel durch erhärtende Schleimung erreicht. Eine andere Lösung wären dünne Tonauskleidungen, die bei allen drei Formen vereinzelt zwischen Sandfüllung und Röhrenwand ausgebildet sein können.

Ein weiteres Problem ist die Deposition des Aushubes, der bei der Anlage und bei der Nutzung anfällt. In geschlossenen Kolonien besteht im Regelfall nur die Möglichkeit des Aufmauerns (Köcherbau). Solche, vom Normalsediment sich in der Textur unterscheidenden Toplagen, sind bisher nicht beobachtet (vgl. SUNDBERG 1983).

Alle drei *Domichnia* sind ohne einengende Krafteinwirkung auf das Sediment erzeugt und unterscheiden sich damit z.B. von den mechanisch gepressten Bauten von *Arenicola* (SCHAFER 1962).

Infrage kommt kratzende oder unwahrscheinlicher, saugende Arbeitsweise. Eine Röhrenwand ist kaum wahrnehmbar, schon deswegen weil ihre Dicke unter der durch die Körnung des Sedimentes begrenzten optischen Auflösbarkeit liegt.

In wenigen Fällen finden sich Andeutungen von seitlich parallel angeschnittenen und damit fossilen *Skolithos*-Röhren, die für eine wiederholte Besiedlung sprechen. Im allgemeinen scheint jedoch das Ende nach genau einmaliger Besiedlung, unabhängig von der Siedlungsdichte schlagartig gekommen zu sein.

Da sich bei den drei *Domichnia* Überschneidungen der Besiedlungsareale kaum beobachten lassen, scheinen sie auf unterschiedlichen, jedoch immer glaukonitfreien Habitaten gesiedelt zu haben.

3.4 Spurensystematik

Zwischen *Skolithos* und *Monocraterion* gibt es für das vorliegende Material ein definitorisches Problem. Nach allgemeiner Auffassung soll sich *Monocraterion* durch eine trichterförmige Öffnung unterscheiden. Dieses diagnostische Kriterium ist jedoch dadurch infragegestellt, daß alle Kolonien immer durch Bankober- und -unterseiten begrenzt sind, d.h., daß sich die natürlichen oberen und unteren Enden höchstens zufällig beobachten lassen. Auf dieses diagnostisch einschränkende Argument hat bereits WESTERGARD 1931 hingewiesen. Weiter können bei allen drei *Domichnia* und damit bei den gerad-röhrenförmigen neben Röhren ohne Schleppung des Sedimentes auch solche mit Schleppung/Sackung auftreten.

Unter Niveaueausgleich erzeugte Füllungen möglicher Trichter, die sich in Korngröße und Textur zu erkennen geben müßten, wurden unter Hunderten von Röhrenbauten niemals beobachtet. Folglich handelt es sich nicht um ein Konstruktionsmerkmal sondern um ein willkürliches, gravitativ mitbeeinflusstes Ereignis, das wahrscheinlich durch Kollabieren während der Nutzungszeit oder danach geschah oder unterblieb. Folgende Fälle treten (im Beobachtungsbereich auch größerer Gesteinsblöcke) auf:

- Röhren ohne Schleppungen, engständig, dick bis dünn, in einem Niveau gleichartige Röhren mit vereinzelt Schleppungen, mittel- bis weitständig, dick bis dünn, in einem Niveau: *Skolithos*
- Röhren mit vorherrschend starken Schleppungen, mittelständig, mitteldick, gelegentlich in mehr als einem Schichtniveau auftretend: *Monocraterion*
- U-förmige Röhren mit oder ohne Schleppungen in mehr als einem Schichtniveau auftretend: *Diplocraterion*

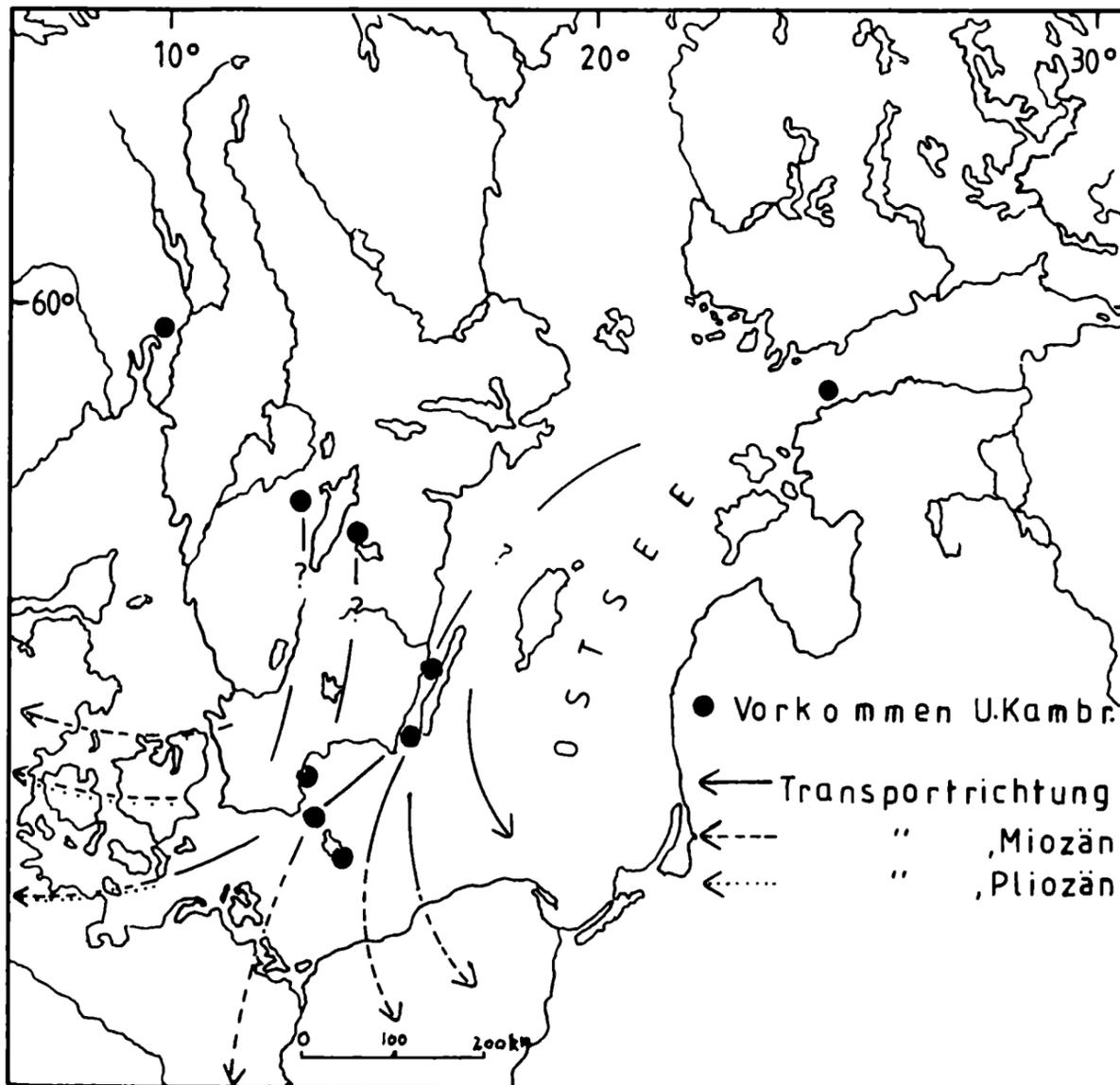
Wie aus der Fallunterscheidung deutlich wird, ist das Auftreten der Schleppungen bei den beiden gerad-röhrenförmigen Typen nicht normalverteilt, sondern sehr deutlich zweigipfelig, so daß die historisch gewachsene systematische Unterscheidung in *Skolithos* und *Monocraterion* durchaus verständlich ist. (Die Ein-Organismus-Hypothese befürworteten GOODWIN & ANDERSON 1974, während CRIMES et al. 1977 sie für unbegründbar hielten). Darüberhinaus ist für Röhren vom *Monocraterion*-Typ, aber mit kohligen Einlagerungen, die STEHMANN 1935 als *Lepocraterion* benannte, keine systematische Eigenständigkeit gerechtfertigt.

Aus systematischer Sicht sind auch für die u-förmigen Bauten keine Unterscheidungen möglich. Weder Spreiten noch Trichter veranlassen bzw. rechtfertigen weitergehende Unterscheidungen von *Diplocraterion*.

3.5 Herkunft der Sylter Sandsteine

Mehr noch als die überschaubar geringe Anzahl an lithologischen Typen unter den Sylter Sandsteinen fallen gar nicht so seltene Gerölle auf, deren Gesteinseigenschaften restlos übereinstimmen, so daß sie nicht nur vom gleichen Ort, sondern auch exakt aus der gleichen Schicht stammen müssen, obwohl sie ihre Lagerstatt letztlich als individuelle Gerölle erreicht haben.

Sowohl die hier behandelten unterkambrischen Sandsteine, als auch weitere spurenfreie Lithotypen aus dem Kaolinsand zeigen eine auffällige lithologische Übereinstimmung mit den Vorkommen von Bornholm - Schonen und des Kalmar-Gebietes. Selbst wenn man aufgrund der enormen Abtragungsmengen entsprechend dem flachen Einfallen, die neogene Ausbißlinie um viele 10er bis 100er-Kilometer nach NW verschoben denkt, ändert das an dem so begründeten Herkunftsgebiet nur graduell etwas.



Nach der Spurenfau-
geurteilt, kommen die
mittelschwedischen Vor-
kommen zwar genauso in-
frage, allerdings las-
sen sich nur fragliche
Lithotypen diesem Ge-
biet zuordnen. Da Ge-
steine der westlichsten
Ostsee in den Neogense-
dimenten bisher nicht
gefunden wurden, kommt
das Oslogebiet als Her-
kunftsgebiet kaum in-
frage. Noch unwahr-
scheinlicher sind wei-
ter entfernte Verbrei-
tungsareale der östli-
chen Ostsee. Von hier
allerdings fehlen
Kenntnisse über die un-
termeerischen Vorkom-
men, bzw. mangelt es an
gründlichen lithologi-
schen Beschreibungen
der estländischen Vor-
kommen am Glint.

Abb. 6: Schüttungsrichtungen kambrischer Sandsteingerölle während des Neogen.

4. Danksagung

Herrn Prof. R. FISCHER und Herrn Prof. K.-D. MEYER, Hannover, danke ich für fruchtbare Anregungen, Herrn Präp. H.-U. METZGER, Hannover, für zahlreiche Präparationen.

5. Literatur

- ALPERT S P 1974 Systematic review of the genus *Skolithos* - J. Paleont. 48 (4): 661-669, Tulsa/Okla.
-- 1975 *Planolites* and *Skolithos* from the upper Precambrian - Lower Cambrian, White-Inyo Mountains, California - Ibid. 49 (3): 508-529, 2 Abb., 3 Tf., ibid.
-- 1977 Trace fossils and the basal Cambrian boundary - CRIMES TP & HARPER JC (eds.): Trace fossils 2 - Geol. J. (Spec. Iss.) 9: 1-8, 3 Abb., Liverpool.

- BANKS NL 1970 Trace fossils from the Late Precambrian and Lower Cambrian of Finnmark, Norway - *Ibid.* 3: 19-34, *ibid.*
- BENNHOLD W 1935 *Scolithussandstein mit girlandenförmiger Schichtung.*- Z. Geschiebeforsch. 11: 126-129, 3 Abb., Leipzig.
- BERGSTRÖM J 1970 *Rusophycus* as an indication of early Cambrian age - CRIMES TP & HARPER JC (eds.): Trace fossils - *Geol. Jour. (Spec. Iss.)* 3: 35-42, 3 Abb., 1 Tf., Liverpool.
- BROMLEY RG 1990 Trace fossils - Biology and Taphonomy - 280 S., zahlr. Abb., London usw. (Unwin Hyman).
- BRUUN-PETERSEN J 1973 "Conical structures" in the lower Cambrian Balka Sandstone, Bornholm (Denmark), and in the lower Devonian Coblenz Sandstone, Marburg (Western Germany) - *N. Jb. Geol. Paläont. (Mh.)* 1973 (9): 513-528, 8 Abb., 1 Tb., Stuttgart.
- COWIE JW & SPENCER AM 1970 Trace fossils from the late Precambrian/Lower Cambrian of East Greenland - CRIMES TP & HARPER JC (eds.): Trace fossils - *Geol. Jour. (Spec. Iss.)* 3: 91-100, Liverpool.
- CRIMES TP & MARCOS A & ARBOLEYA M 1977: ?Late Precambrian - low Lower Cambrian trace fossils from Spain - *Ibid.* 9: 91-138, 10 Abb., 3 Tb., 8 Tf., *ibid.*
- CURRAN HA & FREY RW 1977 Pleistocene trace fossils from North Carolina (U.S.A.), and their Holocene analogues - *Ibid.*: 139-162, 2 Abb., 5 Tf., *ibid.*
- DZIK J & KRUMBIEGEL G 1989 The oldest 'onychophoran' *Xenusion*: a link connecting phyla? - *Lethaia* 22 (2): 169-181, 6 Abb., Oslo.
- FØYN S & GLAESSNER MF 1979 *Platysolenites*, other animal fossils, and the Precambrian - Cambrian transition in Norway - *Norsk geol. T.* 59: 25-46, Oslo.
- FREY R 1975 Trace Fossils - 562 S., zahlr. Abb., Berlin/&c. (Springer).
- FRITZ WH & CRIMES TP 1985 Lithology, trace fossils, and correlation of Precambrian - Cambrian boundary beds, Cassiar Mountains, north central British Columbia, Canada - *Geol. Surv. Canada Paper* 83 (13): 24 S., 4 Abb., 5 Tf., Ottawa.
- FÜRSICH FT 1974 On *Diplocraterion* TORELL 1870 and the significance of morphological features in vertical, spreiten-bearing, U-shaped trace fossils - *J. Paleont.* 48 (5): 952-962, 5 Abb. Tulsa/Okla.
- 1975 Trace fossils as environmental indicators in the Corallian of England and Normandy - *Lethaia* 8: 151-172, 16 Abb., Oslo.
- GABA Z & PEK I 1980 Lebensspuren aus dem Geschiebe des tschechischen Schlesiens - *Der Geschiebesammler* 14 (1): 13-30, 2 Abb., 4 Tf., Hamburg.
- GIEßLER M 1987 Noch ein Geschiebe mit *Psammichnites* - *Ibid.* 20 (4): 147-150, 1 Tf., *ibid.*
- 1990 Ein Geschiebe mit *Plagiogmus* ROEDEL - *Ibid.* 24 (1/2): 1-4, 1 Abb., *ib.*
- 1991 Spuren auf mittelkambrischem "Siltstein" - *Ibid.* 25 (1/2): 9-28, 13 Abb., *ibid.*
- GLAESSNER MF 1969 Trace Fossils from Precambrium and Basal Cambrian - *Lethaia* 2 (4): 369-393, 9 Abb., Oslo.
- 1979 Early Phanerozoic annelid worms and their geological and biological significance - *J. Geol. Soc. London* 132: 259-275, 3 Abb., 2 Tf., London.
- GOODWIN PW & ANDERSON EJ 1974 Associated physikal and biological structures in the environmental subdivision of a Cambrian tidal sand body - *J. Geol.* 82: 779-794, 13 Abb., Chicago.
- GRAGE K 1978 *Syringomorpha nilssoni* - *Der Geschiebesammler* 12 (1): 28, 1 Abb., Hamburg.
- HACHT U von 1978 Über Sammelmöglichkeiten in den Kaolinsandgruben im Raume Braderup/Munkmarsch - *Grondb. en Hamer* 1978 (2): 41-50, 6 Abb., Oldenzaal.
- 1979 Neue Beobachtungen an Gesteinen aus Braderup auf Sylt - *Natur und Museum* 109 (1): 10-17, Frankfurt a. M.
- 1984 Sedimentärgeschiebe im Kaolinsand von Sylt unter besonderer Berücksichtigung verkieselter Spongien - DEGENS, E.T. et al.: *Exkursionsführer Erdgeschichte des Nordsee- und Ostseeraumes*: 311-333, 1 Abb., 4 Tf., Hamburg (Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg).

- 1985 Sedimentär-geschiebe im Kaolinsand von Sylt unter besonderer Berücksichtigung verkieselter Spongien - HACHT U von (Hg.): Fossilien von Sylt: 25-41, 1 Abb., 4 Tf., Hamburg (I-M von Hacht).
- 1987 Spuren früherer Kaltzeiten im Kaolinsand von Sylt - Ibid. 2: 269-302, 11 Tf., ibid.
- HADDING A 1929 The Pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden. III. The Paleozoic and Mesozoic sandstones of Sweden - Medd. Lunds Geol.-Miner. Inst. N.F. (2) 41 [= Kungl. Fysiogr. Sällskapets Handl. (N.F). 40 (3)], 286 S., 138 Abb., Lund.
- HANTZSCHEL W 1964 Die Spuren-Fauna, bioturbate Texturen und Marken in unterkambrischen Sandstein-Geschieben Norddeutschlands und Schwedens - Der Aufschluß, (S. H). 14: 88-102, 9 Abb., Heidelberg.
- 1975 Trace Fossils and Problematica - TEICHERT C (Ed.) Treatise on Invertebrate Paleontology W [Miscellanea Supplement 1], 2. Aufl., XXI+269 S., 110 Abb., Boulder, Col./Lawrence, Kan. (Geol. Soc. Amer./Univ, Kan.).
- HANSEN K 1936 Die Gesteine von Bornholm - Danmarks Geol. Unders.(2.R) 62: 1-194, 8 Tf., 1 K., Kopenhagen.
- HÖGBOM AG 1925 A problematic Fossil from the Lower Cambrian of Kinnekulle - Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala 19: 215-223, 3 Abb., Uppsala.
- HUCKE K & VOIGT E 1967 Einführung in die Geschiebeforschung (Sedimentär-geschiebe) - 132 S., 50 Tf., 24 Abb., 5 Tb., 2 K., Oldenzaal (Nederlandse Geol. Ver.).
- JAEGER H & MARTINSSON A 1980 The Early Cambrian trace fossil *Plagiogmus* in its type area - Geol. Fören. Förhandl. 102 (2): 117-126, 6 Abb., Stockholm.
- KLAHN H 1932 Erhaltungsfähige senkrechte Gänge im Dünen-sand und die "Scolithus"-Frage. - Z. Geschiebeforsch. 8 (1): 1-18, 4 Abb., Leipzig.
- KRUL H 1953 Zwerfsteenfossilien van Twente - Publ. Nederl. Geol. Ver.: 125 S., unnum. Abb., Oldenzaal.
- LIENAU H-W 1990 Geschiebe - Boten aus dem Norden - Geschiebekde. akt. (S-h.) 2: 115 S., 33 Tf., 15 Tb., Hamburg.
- LIJN P v d 1935 Nederlandse zwerfsteenen - 150 S., 300 Abb., Zutphen (Thieme).
- LINDSTRÖM M & STAUDE H 1971 Beitrag zur Stratigraphie der unterkambrischen Sandsteine des südlichsten Skandinaviens - Geologica et Palaeontologica 5: 1-7, 2 Abb., 1 Tb., 1 Tf., Marburg.
- MARCOS A, AZOR A, GONZALEZ LODEIRO F & SIMANCAS F 1991 Early Phanerozoic trace fossils from the Sierra Albarrana Quartzites (Ossa-Morena Zone, Southwest Spain) - Scripta Geologica 97: 47-53, 1 Tf., 1 Abb., 1 Tb., Leiden.
- MARINO A de 1980 Sandstones and phosphatized calcareous sediments of the Lower Cambrian Rispebjerg Sandstone, Bornholm, Denmark - Danmarks Geol. Unders. (2) 113: 39 S., 11 Abb., Kopenhagen.
- MARTINSSON A 1965 Aspects of a Middle Cambrian Thanatotope on Öland - Geol. Fören. Förhandl. 87: 219-221, 35 Abb. [= Publ. Palaeont. Inst. Univ. Uppsala 62], Stockholm.
- MECKER H 1969 Über das Vorkommen der Syringomorpha im unterkambrischen Tiger-sandstein - Der Geschiebesammler 3 (3/4): 83-85, 1 Abb., Hamburg.
- MEYER K-D 1987 Indicator pebbles and stone count methods - EHLERS J (Hg.) Glacial deposits in North-West Europe: 275-287, Abb. 289-299, Tf. 50-67, Tb. 4, Rotterdam (Balkema).
- 1991 Zur Entstehung der westlichen Ostsee - Geol. Jb. (A) 127: 429-446, 8 Abb., 1 Tb. Hannover.
- NATHORST AG 1881 Om aftryck af medusor i sveriges kambriska lager - K. Svenska Vetenskapsakad., Handl. 19 (1): 31 S., 6 Tf., Stockholm.
- 1886 Nouvelles observations sur des traces d'animaux et autres phénomènes d'origine purement mécanique décrits comme "Algues fossiles". - K. Svenska Vetenskaps-Akad. Handl. 21 (14): 58 S., 5 Tf., 24 Abb., Stockholm.
- NEBEN W & KRUEGER HH 1979 Fossilien kambrischer, ordovizischer und silurischer Geschiebe - Staringia 5: 3-63, Tf. 110-164, Oldenzaal.
- PETERSON DO & CLARK DL 1974 Trace fossils *Plagiogmus* and *Skolithos* in the Tintic quartzite (Middle Cambrian) of Utah - J. Paleont. 48 (4): 766-768, 1

- Tf., Ohio.
- POULSEN C 1967 Fossils from the Lower Cambrian of Bornholm - Kongl. Danske Vidensk. Selskab. Mat.-fys. Meddel. 36 (2): 48 S., 3 Abb., 9 Tf., Kopenhagen.
- RICHTER E 1986 Die fossilführenden Geschiebe in der Umgebung von Leipzig - in: Altenburger Naturwiss. Forsch. 3 [RICHTER E, BAUDENBACHER R & EISSMANN L: Die Eiszeitgeschiebe in der Umgebung von Leipzig - Bestand, Herkunft, Nutzung und quartärgeologische Bedeutung]: 7-79, 20 Tf., 1 Abb., 1 Tb., Altenburg.
- RICHTER R 1926 Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie XII-XIV - Senckenbergiana 8 (3/4): 200-225, Tf. 3, Frankfurt a.M.
- 1927 *Syringomorpha nilsoni* (TORELL) in norddeutschen Geschieben des schwedischen Kambriums, ein glazialgeologisches verwendbares Problematikum - Senckenbergiana 9: 260-268, 2 Abb., Frankfurt a.M.
- ROEDEL H 1926 Ein kambrisches Geschiebe mit problematischen Spuren - Z. Geschiebeforsch. 2 (1): 22-26, 1 Abb., Leipzig.
- 1929 Ergänzung zu meiner Mitteilung über ein kambrisches Geschiebe mit problematischen Spuren - Ibid. 5 (1): 48-51, 1 Abb., ibid.
- RUDOLPH F 1985 Fundbericht II - Der Geschiebesammler 18 (3): 109, 1 Abb., Hamburg.
- 1991 Bestimmungshilfen für Geschiebesammler: Trilobiten 14. *Paradoxides paradoxissimus* (WAHLENBERG, 1821) - Geschiebekde. akt. 7 (3): 129-131, 1 Tf., Hamburg.
- SCHAFER W 1962 Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee - Senckenberg-Buch 41: 666 S., 277 Abb., 36 Tf., 77 Fig., Frankfurt a. M.
- SCHALLREUTER R 1985 Das zweite Xenusion - Geschiebekde. akt. 1 (2): 17, 19-23, 4 Abb., Hamburg.
- SCHUDEBEURS AP 1969a Fossiele Levenssporen Deel I - Grondboor en Hamer 1969 (4): 125-166.
- 1969b Fossiele Levenssporen Deel II (platen) - Ibid. (5): 169-216, 62 Abb.
- 1989 Zandkegels en Kegelzandsteen, nader bezien - Ibid. 43 (2): 48-57, 13 Abb., Oldenzaal.
- SEMP 1978 Trace Fossil concepts - Soc. Econ. Paleont. & Mineral. (= SEMP) Short Course 5: 181 S., zahlr. Abb., Oklahoma.
- STEHMANN E 1935 Über Wurmrohren im Nexösandstein auf Bornholm - Frankfurter Beitr. Geschiebeforsch. [Beih. Z. Geschiebeforsch.]: 28-33, 3 Abb., Leipzig.
- STODT F 1987 Sedimentologie, Spurenfossilien und Weichkörper-Metazoen der Dividal-Gruppe (Wendium/Unterkambrium) im Torneträskgebiet /Nordschweden - Unveröff. Inaug.-Diss. Naturw. Fak. Philipps-Univ. Marburg/Lahn, 119 S., 34 Abb., 11 Tf., Marburg.
- SUNDBERG FA 1983 *Skolithos linearis* HALDEMAN from the Carrara Formation (Cambrian) of California - J. Paleont. 57 (1): 145-149, 4 Abb., Tulsa/Okla.
- TIEDEMANN F 1989 Beitrag zum Entstehungsproblem der "Rundhöcker und Tapeten" aus unterkambrischen Sandsteinen des "Münsterländer Kiessandzuges" - Der Geschiebesammler 23 (1): 1-12, 6 Abb., Hamburg.
- TORELL O 1868 Bidrag till Sparagmitetagens geognosi och paleontologi - Acta Univ. Lundensis. Lunds Univ. Arskr. (2) 4 [1867] (13): 40 S., 3 Tf., Lund.
- 1870 Petrificata Suecana Formationis Cambricae - Ibid. 6 [1869] (8): 14 S., ibid.
- TROPPEZ UM 1986 *Skolithos* - Verursacher der Röhrenbauten gefunden? - Geschiebekde. akt. 2 (3): 35-37, 4 Abb., Hamburg.
- 1989 Eine neue *Scolithos*-Art - Ibid. 5 (1): 21-25, 3 Abb., ibid.
- WESTERGARD AH 1931 Diplocraterion, Monocraterion and Scolithus from the Lower Cambrian of Sweden - Sver. Geol. Undersökning (C) 372 [= Arsbok 25 (5)]: 25 S., 10 Tf., Stockholm.
- WETZEL W 1970 Paläozoische Geschiebe mit Wohnbauten fossiler Tiere - Der Geschiebesammler 5 (1): 13-21, 6 Abb., Hamburg.