

Einleitung..... 1

BIOTURBATION IN SPÄTQUARTÄREN TIEFWASSER - SEDIMENTEN 1

1.1. Problemstellung..... **VOR NW - AFRIKA** 4

1.2. Untersuchungsmethoden..... 6

1.3. Probenahme..... 6

1.4. Gefügeuntersuchung..... 6

1.5. Stratigraphische Einstufung der Sedimente..... 8

1.6. Bestimmung des organischen Kohlenstoffs..... 8

2. Beschreibung der wichtigsten Lebensspuren..... 8

 2.1. Chondrites..... 9

 2.2. Helminthopsis..... 16

 2.3. Lophostenium..... 19

 2.4. Planolites..... 21

 2.5. Scolicia..... 25

 2.6. Teichichnus..... 26

 2.7. Teichichnusähnliche Spuren..... 30

 2.8. Thalassinoides..... 31

 2.9. Trichichnus..... 33

 2.10. Zoophycos..... 34

Dissertation..... 31

zur Erlangung des Doktorgrades..... 33

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät..... 33

der Christian-Albrechts-Universität..... 34

zu Kiel..... 39

3. Grundlagen für eine ichnologische Gliederung..... 39

3.1. Auftreten der Lebensspuren in Abhängigkeit von der Sedimenttiefe..... 39

3.2. Spezialisierung des Verhaltens und Wühltypen..... 41

3.3. Gefügebeziehungen der Lebensspuren untereinander..... 43

3.4. Stockwerkbioturbation als ökologisches Merkmal..... 46

3.5. Gefügeprägung und Besiedlungsdichte des Makrobenthos..... 48

3.6. Einfluß des Substrates auf seine Verwühlung..... 50

3.7. "Schlagartige" Sedimentation und Bioturbation..... 51

3.8. Einfluß sonstiger Faktoren auf die Bioturbation..... 52

3.9. Kontinuität der Lebensspuren..... 53

4. Gliederung der Sedimente..... **vorgelegt von**..... 56

4.1. Verformungsstadien..... **ANDREAS WETZEL**..... 57

4.2. Vertikale Zonierung..... 59

4.3. Planoliten-Gemeinschaft..... **Kiel 1979**..... 62

4.4. Scolicia-Gemeinschaft..... 64

4.5. Chondrites-Gemeinschaft..... 66

4.6. Zoophycos..... 69

4.7. Synthese..... 72

Referent:.....

Korreferent:.....

Tag der mündlichen Prüfung:.....

Zum Druck genehmigt: Kiel, den.....

.....

(Dekan)

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Untersuchungsgebiet.....	1
1.2.	Problemstellung.....	4
2.	Untersuchungsmethoden.....	6
2.1.	Probennahme.....	6
2.2.	Gefügeuntersuchung.....	6
2.3.	Stratigraphische Einstufung der Sedimente.....	8
2.4.	Bestimmung des organischen Kohlenstoffs.....	8
3.	Beschreibung der wichtigsten Lebensspuren.....	8
	Chondrites.....	9
	Helminthopsis.....	16
	Lophoctenium.....	19
	Planolites.....	21
	Scolicia.....	25
	Teichichnus.....	28
	Teichichnusähnliche Spreiten.....	30
	Thalassinoides.....	31
	Trichichnus.....	33
	Trichichnusartige Gefüge.....	33
	Zoophycos.....	34
4.	Grundlagen für eine ichnologische Gliederung der Sedimente..	39
4.1.	Auftreten der Lebensspuren in Abhängigkeit von der Wasser- tiefe.....	39
4.2.	Spezialisierung des Verhaltens und Wühltiefe.....	41
4.3.	Gefügebeziehungen der Lebensspuren untereinander.....	43
4.4.	Stockwerkbioturbation als ökologisches Merkmal.....	46
4.5.	Gefügeprägung und Besiedlungsdichte des Makrobenthos.....	48
4.6.	Einfluß des Substrates auf seine Verwühlung.....	50
4.7.	"Schlagartige" Sedimentation und Bioturbation.....	51
4.8.	Einfluß sonstiger Faktoren auf die Bioturbation.....	52
4.9.	Kontinuität von Gefügebereichen.....	53
5.	Gliederung der Sedimente mit Hilfe von Lebensspuren.....	56
5.1.	Verformungswühlgefüge.....	57
5.2.	Vertikalspreiten-Gemeinschaft.....	60
5.3.	Planolites-Gemeinschaft.....	62
5.4.	Scolicia-Gemeinschaft.....	64
5.5.	Chondrites-Gemeinschaft.....	66
5.6.	Zoophycos.....	69
5.7.	Synthese.....	72

6.	Biogene Sedimentmischung.....	75
6.1.	Mischungszustände.....	75
6.2.	Biogener Sedimenttransport.....	76
6.3.	Beobachtungen an einzelnen Lebensspuren und Kernprofilen...	78
6.4.	Einfluß auf die stratigraphische Überlieferung.....	81
6.5.	Stratigraphische Auflösung in verwühlten Sedimenten.....	85
7.	Rezente und fossile Ichnozoosen.....	87
7.1.	Material und Arbeitsweisen.....	87
7.2.	Arbeitsweise und Ansprache von Lebensspuren.....	88
7.3.	Vergleichskriterien.....	90
7.4.	Wie "aktualistisch" sind die beobachteten Ichnozoosen?...	92
7.5.	Gibt es fossile Entsprechungen?.....	93
8.	Zusammenfassung.....	94
9.	Anhang.....	96
9.1.	Stationsliste.....	96
9.2.	Wassertiefen der Stationen >500 m.....	97
9.3.	Gefügeprofile langer Kerne (schematisch).....	98
9.4.	Bildbeispiele zu den Lebensspuran-Gemeinschaften.....	102
9.5.	Literatur.....	106

1. Einleitung

Vorwort

Zunächst sollen das Untersuchungsgebiet und seine Sedimente kurz
Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen der Untersuchungen
des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Kiel vor
NW-Afrika.

Für die Vergabe dieser Arbeit, das stete Interesse an ihrem Fortgang
und vielfältige Anregungen möchte ich Herrn Prof. Dr. E. Seibold dan-
ken. Ebenso sei Herrn Dr. F. Werner gedankt, der diese Arbeit betreu-
te und mich stets mit Rat und Tat unterstützte.

Herrn Prof. Dr. A. Seilacher (Tübingen) möchte ich für anregende Dis-
kussionen danken sowie für die Möglichkeit, Material seiner umfangrei-
chen Sammlung für vergleichende Untersuchungen heranzuziehen.

Viele Mitarbeiter des Kieler Institutes stellten freundlicherweise
bisher unveröffentlichte Untersuchungsergebnisse zur Verfügung: Frau Dr.
L. Diester-Haas Daten der Komponenten-Analyse, Herr Dr. F.-W. Haake Un-
tersuchungsergebnisse an benthischen Foraminiferen, Herr B. Koopmann
Angaben zur Sauerstoff-Isotopen-Stratigraphie, Herr Dr. H. Lange Ergeb-
nisse tonmineralogischer Untersuchungen, der Korngrößen-Analyse und
Karbonat-Bestimmung, Herr Dr. P. Müller geochemische Analysenwerte, Herr
Dr. U. Pflaumann Untersuchungsergebnisse an planktischen Foraminiferen
und Herr Prof. Dr. M. Sarnthein Hinweise auf paläoklimatisch-sedimento-
logische Zusammenhänge. Ihnen allen sei für Ihr Entgegenkommen, fach-
kundige Hinweise und kritischen Rat gedankt.

Frau W. Rehder und Frau B. Hecht sei für die sorgfältige Anfertigung
von Radio- und Photographien gedankt sowie Herrn H. Hensel, der bei
der Herstellung von Dünnschliffen half.

Allen, die beim Gewinnen des Probenmaterials auf See halfen, möchte ich
ich ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für finanzielle Unter-
stützung.

So ist heute die Zufuhr terrigenen Materials im Norden unter eri-
den bis semiariden Bedingungen bevorzugt eolisch (Koopmann 1979), im
Süden dagegen herrscht fluvialer Transport vor. Während kalter Kli-

1. Einleitung

Zunächst sollen das Untersuchungsgebiet und seine Sedimente kurz vorgestellt werden, um dann darauf aufbauend die Problemstellung der vorliegenden Arbeit zu erläutern.

1.1. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet war durch das zur Verfügung stehende Kernmaterial vorgegeben. Es wurde zwischen 12° und 28° N aus Wassertiefen zwischen 30 und 4.750 m entnommen ("Meteor"-Fahrten 25, 36 und 39 und "Valdivia"-Fahrt 10-3; s. Abb. 1-1 und Anhang 9.1.).

Die Morphologie des NW-afrikanischen Kontinentalrandes ist durch Schelfbreite, Neigung von Kontinentalhang und -fuß sowie das Auftreten von Canyons bestimmt. Während Schelfbreite und Neigung des Meeresbodens in ungefähr aus Abb. 1-1 zu ersehen sind, sind Canyons nur in kleinmaßstäblichen Karten (z.B. RUFFMAN et al. 1977) gut zu erkennen. Vor Cap Bojador treten sehr häufig submarine "Einschnitte" auf (RUST & WIENECKE 1973), vor Cap Barbas ist nach HINZ et al. (1974) eine eher ruhige Morphologie zu beobachten, südlich von Cap Blanc sind zunehmend häufiger Canyons zu beobachten (RUFFMAN et al. 1977) - sehr markant sind der Cayar- und der Casamance-Canyon.

Eine morphologische, und damit auch sedimentologische Besonderheit stellt die Erhebung bei 18° N/ 18° W dar.

Der Bau des Kontinentalrandes im Untersuchungsgebiet wurde von SEIBOLD & HINZ (1974) eingehender beschrieben.

Heute ist das Klima auf dem angrenzenden Festland zwischen 12° N und ca. 14° N vollhumid, zwischen ca. 14° N und ca. 17° N humid bis semiarid und nördlich 17° N + arid.

Im Gebiet nördlich Cap Verde weht der Nordost-Passat mehr oder minder beständig das ganze Jahr über aus NE bis NNE, südlich davon sind zunehmend auch auflandige Winde zu beobachten (DEHMEL 1965).

Klima und vorherrschende Richtungen von Boden- und Höhenwinden beeinflussen das Sedimentationsgeschehen im Untersuchungsgebiet nachhaltig:

So ist heute die Zufuhr terrigener Materials im Norden unter ariden bis semiariden Bedingungen bevorzugt äolisch (KOOPMANN 1979), im Süden dagegen herrscht fluviatiler Transport vor. Während kalter Kli-

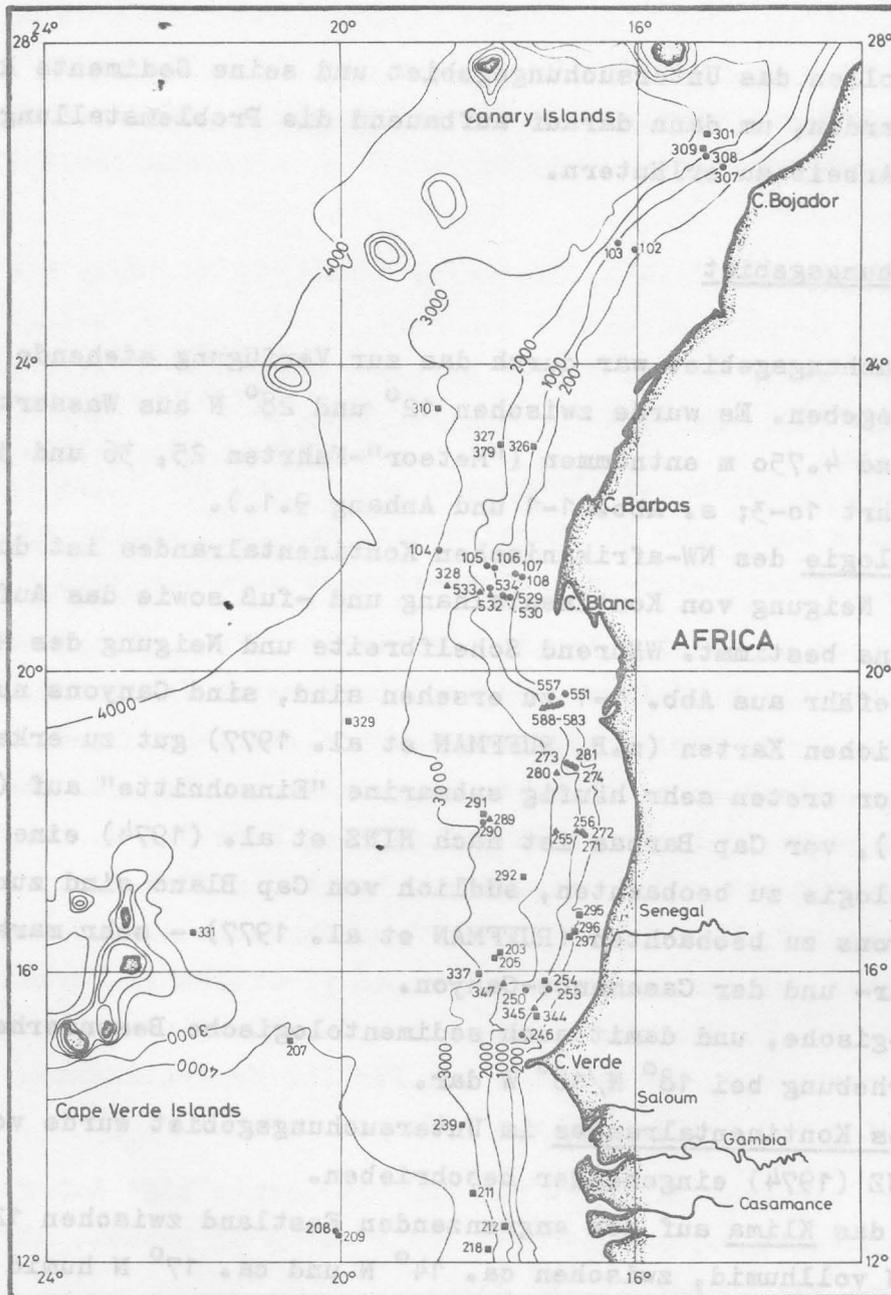


Abb. 1-1 Lage der Stationen der untersuchten Sedimentkerne (genaue Daten s. 9.1.)

- Nur kurze Kastengreiferkerne (mit Oberfläche)
- Nur lange Kasten-, Schwere- oder Kolbenlotkerne (ohne sicher definierte Oberfläche)
- ▲ Kastengreifer- und Lotkerne

maphasen, deren Dauer auch unter derjenigen der anhand der Sauerstoff-Isotopenstratigraphie ausgeschiedenen Stadien liegen kann, dehnten sich nach SARNTHEIN (1978) die ariden Gebiete bis auf ca. 14° N im Süden und bis auf über 28° N im Norden aus. Dabei fand ein verstärkter äolischer Transport von Partikeln statt, wie es KOOPMANN (1979) und SARNTHEIN & KOOPMANN (1979) beschreiben. Fluviatiler Transport war danach im wesentlichen nur südlich 14° N von Bedeutung.

Die vorherrschenden Windrichtungen wirken sich auch auf die Hydrographie aus. Nach DIETRICH et al. (1975) ist das Untersuchungsgebiet zwei verschiedenen hydrographischen Regionen zuzurechnen: Nördlich von Cap Verde der Passatstromregion mit dem äquatorwärts gerichteten Kanarenstrom und südlich davon der äquatorialen Gegenstromregion. Im Norden sind mit als Folge der ablandigen Passat-Winde Auftriebsphänomene festzustellen (WEICHART 1974), mit einer erhöhten biologischen Aktivität nicht nur im Oberflächenwasser, sondern auch in und auf dem Meeresboden (ROWE 1971). Sie wurden im Gebiet vor Cap Blanc ganzjährig beobachtet und nehmen nach Norden und Süden hin ab. Südlich Cap Verde gelangen Nährstoffe vor allem durch Flüsse ins Meer.

Die Sedimentationsrate wird von Terrigenzufuhr und biogener Schalenproduktion maßgeblich bestimmt, läßt man Umlagerungsprozesse einmal außer acht. Nach den bisherigen Kieler Untersuchungen ist die Sedimentationsrate in den einzelnen Kernen während kalter Klimaphasen höher als während warmer. Die höchsten Werte sind jeweils im Bereich der Stadiengrenzen zu beobachten (KOOPMANN, Kiel, unveröffentlicht).

Die Sedimentationsrate ihrerseits beeinflusst nach MÜLLER & SUESS (1979) die Akkumulationsrate von organischem Kohlenstoff sehr viel stärker als die C_{org} -Anlieferung. Während des Holozäns ist in den NW-afrikanischen Kontinentalhang- und -fußsedimenten ein Ansteigen der C_{org} -Akkumulationsraten von Norden nach Süden und von See her zum Land festzustellen. Während kalter Klimaphasen sind im Norden die C_{org} -Akkumulationsraten stark erhöht (Faktor 4-10), wohingegen im Bereich der Senegalmündung und südlich davon die Änderungen nicht so dramatisch sind (HARTMANN et al. 1976).

Weiterhin wird der Karbonatgehalt durch die terrigene "Verdünnung" des Biogenen bestimmt. Nach DIESTER-HAASS et al. (1973) und DIESTER-HAASS (1975) nämlich ist das Karbonat größtenteils biogenen Ursprungs. So ist der Karbonatgehalt in den nördlichen Kernen generell höher

(40-85%; MÜLLER 1975) als in den südlichen, vor Flußmündungen gelegenen Kernen (1-35%; MÜLLER 1975).

Massenverlagerungen (Turbidite oder chaotische Rutschmassen) treten bevorzugt während kalter Klimaphasen auf (SEIBOLD 1976; SEIBOLD et al. 1976; auch JACOBI 1976). Die maximale Aktivität derartiger Vorgänge ist zu Zeiten des raschesten Meeresspiegelanstieges zu beobachten (SARNTHEIN & DIESTER-HAASS 1977).

Verbreitet sind hangabwärts gerichtete Verlagerungen einzelner Körner zu beobachten, wodurch auf die Dauer nennenswerte Sedimentmengen bewegt werden. BEIN & FÜTTERER (1977) haben aus kumulativen Korngrößenverteilungskurven geschlossen, daß eine Verfrachtung einzelner Körner durch Strömungen eine große Rolle spielt. LUTZE (in: LUTZE et al. 1979) kommt zu ähnlichen Schlußfolgerungen aufgrund der beobachteten Häufigkeit von benthischen Flachwasserforaminiferen in den Kontinentalhang- und -fußsedimenten. Es ist anzunehmen, daß einerseits Strömungen (und die Schwerkraft) für die Verlagerung der Partikel sorgen, andererseits bei Aufwirbelung vom Boden Benthosorganismen maßgeblich beteiligt sind.

1.2. Problemstellung

Wie im vorigen Abschnitt angedeutet, steuern sehr verschiedene Faktoren, die oft starken Veränderungen mit der Zeit unterworfen sind, auf dem NW-afrikanischen Kontinentalrand die Ablagerung von Sedimenten. Diese sind jedoch nicht nur Dokumente des Sedimentationsgeschehens, sie stellen gleichzeitig auch das Substrat im Lebensraum des Benthos dar.

Die Aktivität der in und auf dem Meeresboden lebenden größeren Organismen (Bioturbation) hinterläßt im Sediment Spuren - "Lebensspuren" (=Wühlgefüge, biogene Sedimentgefüge).

Lebensspuren haben gegenüber Körperfossilien den Vorteil, daß sie nur mit einer deutlichen Deformation verbunden verlagert werden können und daher - nicht zerstört - die ökologischen Bedingungen "vorort" charakterisieren. Wühlgefüge kennzeichnen sogar ein Biotop oft besser als ein bestimmter Organismus (HERTWECK 1972), da ihr Typ weniger

artspezifisch bestimmt ist als vielmehr eine übergeordnete Anpassung an die ökologischen Bedingungen darstellt. Bei ähnlicher Lebensweise können somit taxonomisch verschiedene Tiere ähnliche Spuren im Sediment hinterlassen. Andererseits kann ein und dasselbe Tier unter verschiedenen Lebensbedingungen verschiedene Lebensspuren erzeugen. Eine taxonomische Deutung von Wühlgefügen ist daher selten möglich. Viel zweckmäßiger ist eine rein ökologisch-ethologische Klassifikation, wie sie SEILACHER (1953) vorschlug, da sie universell anwendbar ist, sei es auf rezente Wühlgefüge oder auf Spurenfossilien.

Die konsequente Anwendung dieses Schemas auf die innerhalb einer Ichnozoenose vertretenen "Verhaltenskategorien" und der Vergleich verschiedener Spurengemeinschaften führte zur "Ichnofazies"-Gliederung von Sedimenten auf der Grundlage einer bathymetrischen Verteilung der ausgeschiedenen Spurengesellschaften (SEILACHER 1967).

Während diese Grundlagen der Ichnologie an Fossilmaterial erarbeitet wurden, lieferte die "Rezent-Ichnologie" "aktualistische" Beobachtungen zur Ergänzung der Befunde im Fossilien, vor allem aus Flachwassersedimenten. Dabei konnte jedoch die Möglichkeit, die ökologisch wirksamen Faktoren zu ermitteln, nicht immer voll ausgeschöpft werden.

Über rezente Lebensspuren aus größeren Wassertiefen liegen bisher noch wenig Erfahrungen vor. So empfehlen sich geradezu die Ablagerungen im Untersuchungsgebiet für eine ichnologische Gefügeanalyse: Einerseits sind sie unter den verschiedensten Gesichtspunkten eingehend untersucht (SEIBOLD et al. 1976), und andererseits sind deutlich mehr als 90% der Ablagerungen verwühlt, ja, ein Großteil der Sedimentpartikel wird und wurde sogar mehrfach biogen umgelagert - die totale Verwühlung der kontinuierlich abgelagerten Sedimente ist hier als Normalfall anzusehen (s. Tab. 1-1). Dies führt zu der zentralen Frage der vorliegenden Arbeit, dem Zusammenhang zwischen Sedimentbildung und Bioturbation. Folgende Teilaspekte werden berücksichtigt: Welche Lebensspuren treten auf? Welche Faktoren beeinflussen ihr Auftreten? Welche Lebensspuren charakterisieren welches Biotop? Welchen Einfluß haben die wühlenden Organismen ihrerseits auf das Sediment? Sind ähnliche Vergesellschaftungen von Lebensspuren auch fossil anzutreffen?

Tabelle 1-1 Gefüge der Kerne aus Wassertiefen größer 500 m

Art der Gefüge	Länge der Profilabschnitte [m]	%-Anteil
<u>Primärgefüge</u>		
- Schichtung in extrem anoxischen Sedimenten	0.24	0.13
- Schichtung in oxisch-anoxischen Sedimenten	0.09	0.05
- Lagen (?Tuffe?)	0.07	0.04
- Turbidite	1.98	1.12
- Rutschmassen	10.45	5.94
<u>Sekundärgefüge</u>		
- Wühlgefüge	163.33	92.71 ^{†)}
<u>Gesamt</u>	176.16	99.99

^{†)} Da Rutschmassen im allgemeinen schon am Ursprungsort verwühlt waren, worauf eingeschlossene "Gerölle" hinweisen, die z.T. deformierte Lebensspuren enthalten, erhöht sich der Anteil von Kernabschnitten mit Wühlgefügen auf rund 99%.

2. Untersuchungsmethoden

2.1. Probennahme

Für die Entnahme der Sedimentproben wurden Kastengreifer, Kastenlot, Kolbenlot und Schwerelot eingesetzt (s. SEIBOLD 1972 und SEIBOLD & HINZ 1976; sowie Anhang 9.1.).

2.2. Gefügeuntersuchung

Zur Gefügeuntersuchung wurde die Methode der Röntgen-Radiographie angewandt, da mit ihr sehr viel mehr und differenziertere Strukturen erkennbar sind als im frischen Sediment. So sind rund 30% der im Untersuchungsgebiet beobachteten Lebensspurentypen im frischen Sediment nicht festzustellen (s. 3. Kap., Punkt 7.), d.h. ca. 40% der bearbeiteten Radiographiefläche.

Es wurde nach einem am hiesigen Institut von WERNER (Kiel) eingeführten Verfahren gearbeitet (WERNER, Kiel, unveröffentlicht; WERNER 1967, 1968; allgemeine Hinweise bei BOUMA 1964, 1969 und CALVERT & VEEVERS 1962):

Die Präparate sind 6 mm (Kerne 3..) oder 8 mm (Kerne 1.., 2.., 5..) dick und maximal (27.5×15) cm² groß.

Es wurden Filme "Agfa Gevaert Structurix D 4" belichtet mit

- (1) "eresco 120 kV", Firma Rich. Seifert & Co, Ahrensburg (Kerne 1.., 3..); es wurde mit 100 cm Filmabstand und weicher Röntgenstrahlung (5 mA, 30 kV) und Belichtungszeiten von 15 bis 45 Minuten gearbeitet;
- (2) "Faxitron 805", Firma Hewlett-Packard Company, McMinnville Division, Ore., USA (Kerne 2.., 5..); es wurde mit 61 cm Filmabstand und weicher Röntgenstrahlung (3 mA, 30 kV) und Belichtungszeiten von 15 bis 60 Minuten gearbeitet.

Die Röntgenfilme (Negative) im Maßstab 1:1 wurden direkt auf einem Leuchttisch ausgewertet.

Die einzelnen Lebensspuren wurden genauer untersucht anhand von speziell orientierten Radiographien, Radiographie-Serien und Stereo-Radiographien, die je nach Bedarf parallel und/oder senkrecht zu den betreffenden Gefügen entnommen wurden.

Aus den Präparaten wurden nach Bedarf Proben zum Herstellen bis zu (6×4) cm² großer Dünnschliffe entnommen (WERNER 1966). Sie wurden von Herrn UNGER (Mineralogisch-Petrographisches Institut Kiel) angefertigt.

Unbefriedigend blieben Versuche diese gängigen Methoden der Gefügeanalyse zu ergänzen:

- (1) Röntgen-Schichtaufnahmen wurden von dickeren Sedimentblöcken $((7 \times 11 \times 15)$ cm³) angefertigt, um auch die räumliche Gestalt größerer Gefüge in beliebigen Schnittlagen erfassen zu können. Die Aufnahmen wurden von Prof. STÜRMER (Erlangen) mit einem "Siretom 2000" der Firma SIEMENS durchgeführt.

- (2) Elektronische Bildverarbeitung herkömmlich angefertigter Radiographien, um mittels "Grauton-Analyse" möglicherweise mit unbewaffnetem Auge vorher nicht erkennbare Strukturen beobachten zu können. Diese Arbeiten wurden auf der Rechenanlage des SFB 149 in Hannover von Dipl.-Ing. KOLOUCH durchgeführt.

2.3. Stratigraphische Einstufung der Sedimente

Die stratigraphische Einstufung der Sedimente beruht auf (1) mikropaläontologischen Daten nach PFLAUMANN (1975), (2) einer Kombination von mikropaläontologischen und isotopenphysikalischen Untersuchungen von THIEDE (1977) und (3) noch weitgehend unveröffentlichten isotopenphysikalischen Datierungen ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ und ^{14}C), die gemeinsam von ERLENKEUSER, KOOPMANN und SARNTHEIN (alle Kiel) erarbeitet wurden.

Bei den isotopenphysikalischen Daten wurde die Stadien-Gliederung von EMILIANI (1955) benutzt (vgl. auch DUPLESSY 1978; SHACKLETON & OPDYKE 1973), bei der mikropaläontologischen Stratigraphie die Zonen-Gliederung von ERICSON & WOLLIN (1968). Die Unterschiede beider Systeme speziell für die Sedimente des Untersuchungsgebiets diskutieren SARNTHEIN (1979) und DIESTER-HAASS (1979).

2.4. Bestimmung des organischen Kohlenstoffes

Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von MÜLLER (1975) zu gewährleisten, wurde dieselbe Methode angewandt (HARTMANN et al. 1971).

3. Beschreibung der wichtigsten Lebensspuren

In den Kernen des Untersuchungsgebietes sind Lebensspuren nur als Vollformen beobachtet worden. Oberflächenspuren konnten in den bearbeiteten Profilen nicht erkannt werden, wohl deshalb, weil sie nur eine äußerst geringe Chance besitzen, erhalten zu werden (s. 4.3.).

In dieser Beschreibung werden nur Gestaltungswühlgefüge berücksichtigt. Ihre Verbreitung bringt es mit sich, daß im wesentlichen Kerne aus Wassertiefen von mehr als 500 m ausgewertet wurden. Bei geringeren Wassertiefen herrschen Verformungswühlgefüge vor. Neben anderen Gründen (s. 4.4.) wird in relativ grobkörnigen und schillhaltigen Sedimenten die Anlage von Gestaltungswühlgefügen behindert.

Bisher liegen so gut wie keine Erfahrungen über die Untersuchung von Gefügen total verwühlter Weichsedimente anhand von Profilen vor. Daher

1. Ethologischer Typ;
2. Gestalt || (1) Gesamte Lebensspur;
3. Größe || (2) "Grundgang", der während der Anlage der Lebensspur offene Gang, in dem sich der Organismus bewegt;
 - "Reeinflußter Bereich", das Volumen, das durch die Umhüllende um die Lebensspur beschrieben wird;
 - "Ganglänge", die Entfernung von der Sedimentoberfläche zum distalsten Punkt der Lebensspur;
 - "Lumen", innerer, zentraler Bereich eines Ganges;
 - "Wühlhof", der vom Organismus im Grundgang beeinflusste Bereich um das Lumen herum, z.B. Räum- oder Bauauskleidung;
4. Verlauf der Lebensspur (oder Teile von ihr, z.B. zwischen Abzweigungen)
 - gerade —————
 - gebogen - <math>< 90^\circ</math> 
 - gekrümmt - um 90° 
 - abknickend - um 90° 
 - gewunden - 90° bis 180° -Kehren; 
5. Verzweigungen; Verzweigungswinkel;
6. Orientierung
 - vertikal $90^\circ \pm 20^\circ$
 - geneigt

mehr	45°	\pm	20°
weniger		$-$	
 - horizontal $0^\circ \pm 20^\circ$;
7. Unterscheidung vom umgebenden Sediment in
(A) frischem Sediment; (B) Radiographie (Negativ);
8. Grenze zwischen Lebensspur und umgebenden Sediment, z.B. Bauauskleidung, Räumauskleidung;
9. Verfüllung und Innenstruktur der Lebensspur;
10. Ethologie, Verhaltensweisen der diese Lebensspur erzeugenden Organismen im Sediment;
11. Durch den Lebensspuren erzeugenden Organismus verursachte vertikale Sedimentverlagerung; Abschätzung nach den Punkten 7., 8., 9. und 10.;
12. Vergesellschaftung mit anderen Lebensspuren, angeführt nach dem relativen Alter der zusammen vorkommenden Wühlgefüge zueinander, dem sogenannten "Überprägungsalter":
 - (a) die beschriebene Lebensspur ist jünger als die aufgeführten Wühlgefüge und überprägt sie,
 - (b) die aufgeführten Wühlgefüge sind ungefähr gleich alt mit der beschriebenen Lebensspur, eine gegenseitige Überprägung ist zu beobachten,
 - (c) die beschriebene Lebensspur ist älter als die aufgeführten Wühlgefüge und wird von ihnen überprägt;
13. Wühltiefe -- Nummer des Gefügestockwerkes;

Es wird angegeben, bis zu welcher Tiefe im Meeresboden der Lebensspuren erzeugende Organismus tätig war. Die Wühltiefe ist von der Wassertiefe (resp. Landentfernung) abhängig (s. 4.3.). Mit zunehmender Wassertiefe nimmt die Wühltiefe der entsprechenden Organismen ab. Diese Veränderung kann für manche Lebensspuren direkt aus Abb. 4-4 abgelesen werden, für andere indirekt anhand der angegebenen Nummer des Gefügestockwerkes, dem diese Spur zuzurechnen ist. Lebensspuren kleinwüchsiger Organismen derselben Gruppe werden in der Regel flacher im Sediment angelegt als die großwüchsiger Formen.
14. Vorkommen und Verbreitung
 - 1. Wassertiefen sowie Angabe, in wievielen der Kerne aus dem angegebenen Tiefenbereich die beschriebene Lebensspur vorhanden ist;
 - 2. Weitere Kriterien, die Vorkommen und Verbreitung kennzeichnen;
15. Bemerkungen, u.a. Verwechselbarkeit mit anderen, ähnlichen Lebensspuren, Literaturvergleiche, andere wichtige Vorkommen, Vergleichsmaterial, mögliche erzeugende Organismen. Da bisher aus dem Untersuchungsgebiet aus Wassertiefen >500 m kein lebendes Makrobenthos in Zusammenhang mit dazugehörigen Lebensspuren geborgen werden konnte, sind nur Ableitungen aus 11. möglich.
16. Literatur;

An dieser Stelle seien noch einige im folgenden wiederholt gebrauchte Begriffe erläutert:

- Häufigkeitsangaben für Individuen: Wenige = 1-3; einige = 3-6; mehrere = 6-10.
Diese Einteilung wurde Zahlenangaben vorgezogen, um zu zeigen, daß meist Schätzwerte vorliegen.
- Korngrößenangaben: Angaben mit einem Adjektiv im Positiv kennzeichnen absolute Werte: Grobkörnig, grob >20 μm ; feinkörnig <20 μm ; Angaben mit einem Adjektiv im Komparativ kennzeichnen absolute Werte, die Bezugsgröße geht aus dem Kontext hervor.
- Angabe der Schnittlagen: Vertikal-/Horizontalschnitte = parallel/senkrecht zur Kernlängsachse; Quer-/Längsschnitte = senkrecht/parallel zur Längsachse der Lebensspur.

ist die Bestimmung und Benennung der Lebensspuren nach den nomenklatorischen Regeln der Palichnologie noch mit der Gefahr subjektiver Einflüsse belastet. Deshalb wurde eine Zuordnung der Gestaltungswühlgefüge zu den bestehenden Lebensspuren-Kategorien auf Ichnogenera beschränkt. Neben der Verbindlichkeit und Deutlichkeit der wissenschaftlichen Terminologie hat dies den Vorteil, einen Vergleich mit fossilem Material zu erleichtern.

Als Grundlage für die Einstufung der Wühlgefüge dienten "Fossilium Catalogus" und "Treatise" (HÄNTZSCHEL 1965, 1975).

Auf eine Beschreibung selten vorkommender und/oder untypischer Lebensspuren wird hier verzichtet. Zu der ersten Gruppe gehören "Krebstgänge" (s. HERTWECK 1972, S. 136), die eventuell zu Thalassinoides zu stellen sind, trichterförmige Lebensspuren (Photographie in DIESTERHAASS 1975, S. 28), Helminthopsis sp. B (s. Helminthopsis sp. A unter Punkt 15.) und Scolicia sp. B (entspricht den von HOWARD et al. 1974 beschriebenen Echiniden-Spuren). Zu der zweiten Gruppe gehören Arenicolites, Corophioides und Skolithus, die als Kennzeichen für Lebensspuren-Gemeinschaften im Untersuchungsgebiet eine untergeordnete Bedeutung haben.

Die wichtigsten Lebensspuren sind im folgenden in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Sie werden nach dem folgenden Schema (Einlageblatt) beschrieben.

Abbildungen zu den einzelnen Lebensspuren finden sich auch im Anhang 9.4., der einige (typische) Beispiele von Radiographien enthält.

Chondrites

Fünf Typen, die zu dieser Lebensspuren-Gattung zurechnen sind, können in den Sedimenten des Untersuchungsgebietes unterschieden werden. Sie weisen folgende Gemeinsamkeiten auf:

1. Freißpur - Gangsystem;
2. (1) "Pflanzenartiger Charakter", der mehr oder minder typisch ausgebildet sein kann (s. Tab. 3-1 und Abb. 3-1);
(2) Mehrfach abknickender, englumiger Gang mit + kreisrundem Querschnitt;

3. (1) Beeinflußter Bereich um einige 100 cm³;
 (2) — (s. Tab. 3-1);
6. Verbindung zur Sedimentoberfläche (1/3-2/3 der Wühltiefe) + vertikal, tiefer im Sediment geneigt, distale Gangteile + horizontal, (beachte sp. B b)!);
10. Phobotaktisch gesteuerte Anlage des Gangsystems;
16. FERGUSON (1965), HESSE (1972), OSGOOD (1970), SIMPSON (1957), TAUBER (1949).

Wichtige Merkmale zur Unterscheidung der einzelnen Chondrites-Typen entnehme man der Tabelle 3-1 und Abb. 3-1.

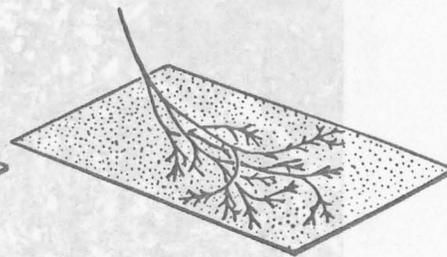
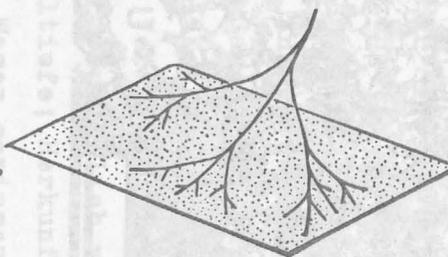
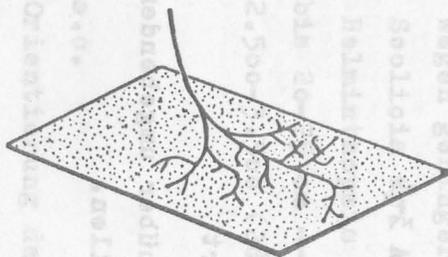
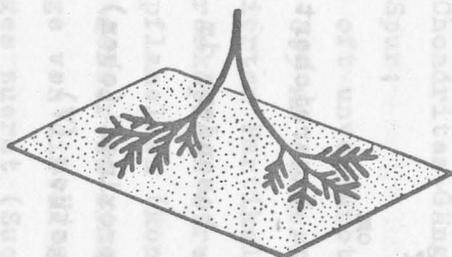
Tabelle 3-1 Merkmale zur Unterscheidung der Chondrites-Typen

Merkmal \ Typ	sp. A	sp. B	sp. C	sp. D	sp. E
2. (1) Typische Gestalt	"bäumchenartig"	"bäumchenartig"	---	---	"quastenförmig"
Gangsystem in einem Sedimentvol.	engständig	engständig	engständig	weitständig	engständig
3. (2) Gangdurchmesser [mm]	~3	~2	~1	~1	~1
Lumen : Wühlhof (mikroskopisch)	---	1 : 1/3-1/2	2 : 1	2 : 1	1 : 1/3-3/4
4. Verlauf der Gangstücke	gerade	gerade	gerade bis gebogen	gerade	gerade bis gekrümmt
5. Verzweigungen	zufällig bis alternierend	zufällig bis alternierend	unregelmäßig	unregelmäßig	wenig systematisch
Verzweigungswinkel - im allgemeinen - in einem Gangsystem	30-60° ± konstant	30-60° ± konstant	30-60° schwankend	30-90° schwankend	30-60° wenig schwankend
8. Wühlhof makroskopisch erkennbar	nein	nein	ja	ja	ja
9. Lumenfüllung	grobkörnig	feinkörnig	feinkörnig	feinkörnig bis unverfüllt	feinkörnig

Die nicht aufgeführten Punkte stehen entweder mit den in Tab. 3-1 genannten in Zusammenhang oder haben für die Ansprache der Typen weniger Bedeutung. Sie werden im folgenden erläutert.

Chondrites

Abb. 3-1



sp. A
sp. B a)

sp. C

sp. D

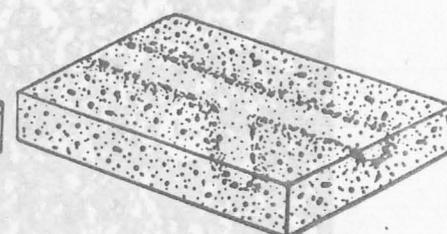
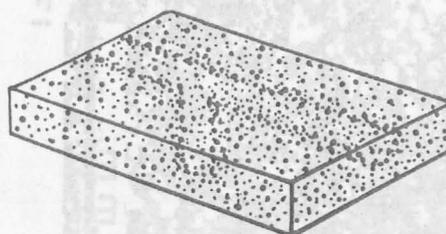
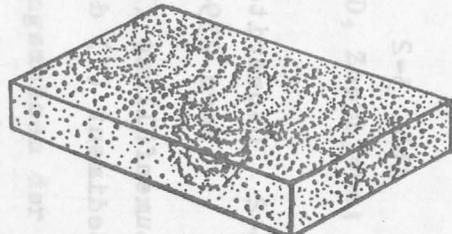
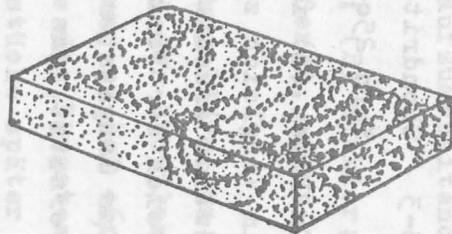
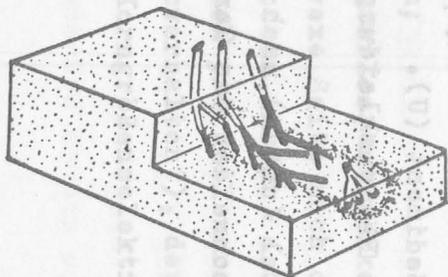
sp. E

Gestalt der verschiedenen Chondrites-Typen (schematisch)

Maßstab $\frac{0 \quad 2 \quad 4}{\text{cm}}$

Innenstrukturen der verschiedenen Chondrites Typen

Maßstab $\frac{0 \quad 1 \quad 2 \quad 3}{\text{mm}}$



sp. A

sp. B

sp. C

sp. E

sp. D

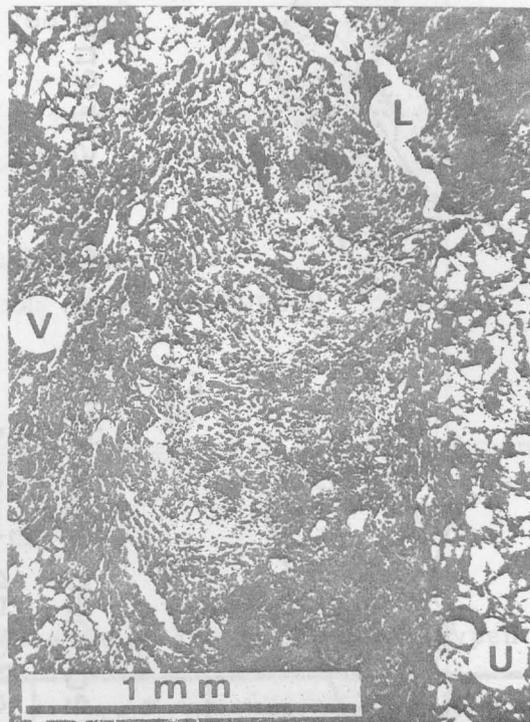
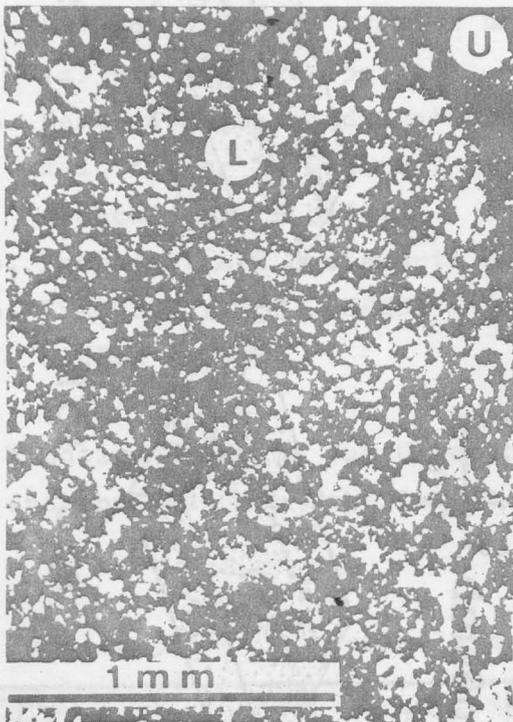


Abb. 3-2

Abb. 3-3

Abb. 3-2 Chondrites-Gefüge (sp. A) im Dünnschliff
Kern 239-1, 288 cm, horizontal orientiert

Lumenfüllung (L) mit Quarzkörnern (hell) gegenüber umgebenden
Sediment (U) deutlich angereichert; Stopflamellen.

Abb. 3-3 Chondrites-Gefüge (sp. B) im Dünnschliff
Kern 250-1, 28-32 cm, Ausschnitt bei 30 cm

Im Lumen (L) ist feinkörniges Material deutlich angereichert
im Vergleich zum umgebenden Sediment (U).

Gut zu erkennen ist die dünne Räumauskleidung, besonders im Be-
reich der Verzweigung (V).

Das Gangsystem wurde von distal (unten) nach proximal (oben)
versetzt, das Gangstück (L) schneidet das Gangstück (V).

Chondrites sp. A

7. (A) heller; (B) heller;
8. Homogener, im Mittel 0.25 mm dicker Saum aus größeren Körnern, an dem Stopflamellen ansetzen (s. Abb. 3-1 und 3-2);
9. Makroskopisch strukturlos; mikroskopisch mit annähernd halbkugelförmigen Stopflamellen (konvexe Seite nach distal); Abstand der Lamellen 0.01-0.05 mm; Lumenfüllung zu 2/3 aus Quarzkörnern >20µm mit Längsachsen + parallel zu Lamellen (s. Abb. 3-2);
10. Nutzung von + horizontal orientierten "Flächen"; 20-60% des beeinflussten Volumens genutzt; Gänge von distal nach proximal versetzt → Anlage des längsten Ganges zuerst (Suchverhalten?), der kürzeren Gangstücke später (Freßverhalten?); Ganganlage: Sediment gefressen, Kot auf Meeresboden; KorngröÙenselektion bei Versatz, Ursache des Versatzes mit größeren Körnern nicht klar;
11. Für ursprünglich vorhandenes Sediment Transport maximal über ganze Wühltiefe; Herkunft des Quarzes nicht restlos klar;
12. (a) Wegen geringer Häufigkeit nicht zu ermitteln;
(b) *Soolicia* sp. A;
(c) *Helminthopsis* sp. A, *Planolites* sp. A, B und D, *Zoophycos*;
13. 10 bis 20-25 cm — II.;
14. 1. 2.500-3.500 (20%);

Chondrites sp. B

6. a) s.o.
b) Orientierung der älteren Spuren maßgeblich, Längsachsen der Chondrites-Gänge folgen + der Mittellinie der aufzuarbeitenden Spur;
7. (A) oft unverfärbt, aber auch heller oder dunkler; (B) dunkler;
8. Bis 0.5 mm dicker Saum aus dichter gepackten, größeren, nicht orientierten Partikeln;
9. Makroskopisch strukturlos; mikroskopisch mit halbkugelförmigen Stopflamellen (konvexe Seite nach distal); Abstand der Stopflamellen schwer zu ermitteln, meist < 0.1 mm; Lumenfüllung zu 80% < 6µm;
10. Gänge von distal nach proximal versetzt → Anlage des längsten Ganges zuerst (Suchverhalten?), der kürzeren Gangstücke später (Freßverhalten?); KorngröÙenselektion: Grobkörniges ausgesondert

- in Wühlhof, Feinkörniges gefressen, Kot in Lumen (s. Abb. 3-3);
- a) bei flächenhafter Aufarbeitung des Sedimentes Gangsystem-Konfiguration wie bei *Chondrites* sp. A;
 - b) bei Aufarbeitung älterer Spuren ist deren Gestalt maßgeblich: *Planolites* sp. B, *Corophioides*, bei letzteren werden bemerkenswerterweise nur U-Gänge aufgearbeitet, nicht aber Versatzkörper; Nutzung der beeinflussten Volumina zu 20-80%;
11. Für Partikel $>6\mu\text{m}$ sind nur sehr geringe Transportweiten anzunehmen, für kleinere Partikel maximal über volle Wühltiefe (Suchgang), meist aber auch nur geringere vertikale Distanzen: Trotz Korngrö-
s- selektion keine Verfärbung, Farbträger ($<6\mu\text{m}$ -Fraktion, LANGE in SEIBOLD et al. 1973) nicht weit verlagert (s. 10.);
12. (a) *Chondrites* sp. C, *Corophioides*, *Planolites* sp. B, *Scolicia* sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
- (b) *Chondrites* sp. E, *Helminthopsis* sp. A, *Teichichnus*, *Thalassinoides*;
- (c) *Trichichnus*, *Zoophycos*;
13. 10-20 bis 25-30 cm — IV.
14. 1. 1.000-3.000 m (20%);
15. Die erzeugenden Organismen sind unbekannt, es gibt aber Anhaltspunkte, Tiere des Stammes "Sipunculida" als Urheber zu vermuten (SIMPSON 1957).

Chondrites sp. C

7. (A) verfärbt, Sedimentfarben des Hangenden (s. 13.); (B) Lumen + wie Umgebung, nur Räumauskleidung heller;
8. Nach außen hin nicht scharf begrenzte Räumauskleidung aus dichter gepackten, verschieden großen Partikeln; Packungsdichte nach außen hin abnehmend (s. Abb. 3-1);
9. Makro- und mikroskopisch strukturlose Füllung verarmt an großen Körnern, aber keine sorgfältige Korngrö-
s- selektion; Partikel + genauso dicht gelagert wie in der Umgebung;
10. Nutzung von Sedimenten in und auf dem Meeresboden; Abzweigungen eventuell als Suchverhalten deutbar (vgl. *Helminthopsis*);
11. Maximal Transport über volle Ganglänge; Vom Meeresboden ins Liegende und umgekehrt; aufgrund der Korngrö-
s- selektion und des geringen Gangdurchmessers wird kein allzu großes Sedimentvolumen verlagert;

12. (a) Scolicia sp. A;
(b) Planolites sp. A, B und C, teichichnusähnliche Spreiten;
(c) Chondrites sp. D, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D und E, Teichichnus, Trichichnus, Zoophycos;
13. 5-10 bis 15-30 cm — IV.;
14. 1. 1.000-3.000 m (25%); 3.000-3.500 (50%);
2. Maximale Verbreitung im Bereich der Holozän-Pleistozän-Grenze.

Chondrites sp. D

7. (A) unverfärbt; (B) Lumen dunkler, Räumauskleidung heller;
8. Nach außen hin nicht scharf begrenzte Räumauskleidung aus dichten gepackten, verschieden großen Partikeln; Packungsdichte nach außen hin abnehmend;
9. Gänge oft hohl; bei Verfüllung Lumeninhalt makro- und mikroskopisch strukturlos, feinkörnig (<10µm) und mit geringer Packungsdichte der Partikel;
10. Vertikale Gangstücke: Aufsuchen eines bestimmten - bisher unbekannt - "Milieus" (große Wühltiefe); Ganganlage: Sediment gefressen oder in Räumauskleidung, Kot auf Meeresboden; "offenes" Gangsystem: Eventuell langfristige Nutzung des Sedimentes mittels "farming" von Symbionten (vgl. SEILACHER 1977);
11. Sedimenttransport bei Anlage des Gangsystems maximal über volle Wühltiefe; aufgrund geringen Gangdurchmessers transportiertes Volumen gering;
12. (a) Chondrites sp. B und C, Planolites sp. A, B und C, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
(b) Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D und E, Teichichnus;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 5-10 bis 20-35 cm — IV.;
14. 1. 1.000-2.000 m (25%); 2.000- 4.000 m (50%);
2. Maximale Verbreitung im Bereich der Holozän-Pleistozän-Grenze;
15. Distale, bevorzugt horizontal orientierte Gangstücke können kurzfristig in die Vertikale umbiegen, um ungünstige Sedimente zu durchteufen, z.B. ?Tufflage? (Kern 205-1; s. 4.6.).

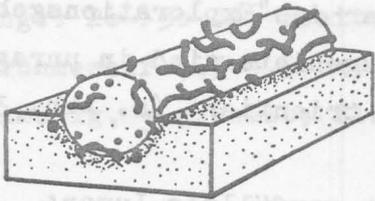
Chondrites sp. E

7. (A) verfärbt oder unverfärbt; (B) Lumen dunkler, Räumauskleidung heller;
8. Nach außen hin nicht scharf begrenzte Räumauskleidung aus dichter gelagerten, verschieden großen Partikeln; Packungsdichte der Partikel nach außen hin abnehmend;
9. Makroskopisch strukturlose Füllung aus feinkörnigem Material;
10. Längere Gänge zuerst angelegt (Suchverhalten?), kürzere abzweigende Gangstücke (Freßverhalten?) anschließend;
11. Für große Partikel sind nur relativ geringe Transportweiten - maximal um 5 cm - anzunehmen, für feinkörniges Material ist eine Verlagerung bis über die volle Wühltiefe möglich;
12. (a) Planolites sp. B und C, Scolicia sp. A;
(b) Chondrites sp. B, Planolites sp. D und E;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 5 bis 15 cm — IV.;
14. 1. 3.000-4.000 m (<30%); > 4.000 m (>30%);
2. Bevorzugt in feinkörnigen Sedimenten.

Helminthopsis sp. A

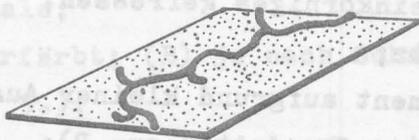
1. Freßspur - Gangsystem;
2. Sehr variabel, aber immer knäulartig-fädiger Eindruck;
3. Gangdurchmesser (Lumen) um 0.5 mm; Lumen : Wühlhof = 1 : 1/2-1; Ganglänge bis zu mehreren dm (geschätzt); beeinflusstes Volumen >100 cm³;
4. Unregelmäßig, gerade bis gewunden;
5. Unregelmäßig; verschieden häufig; an "Hauptgang" sitzen meist kurze, maximal cm-lange, blind endende Gangstücke - "Blindgänge";
6. Keine Vorzugsrichtung, Orientierung bestimmt durch Aufarbeitung älterer Spuren (Thigmotaxis?) - in größeren Wassertiefen eher horizontal;
7. (A) unverfärbt; (B) Lumen dunkler, Wühlhof heller als Umgebung;
8. 0.1-0.3 mm dicker Saum aus dichter gepackten, größeren, nicht orientierten Partikeln;

Helminthopsis sp. A

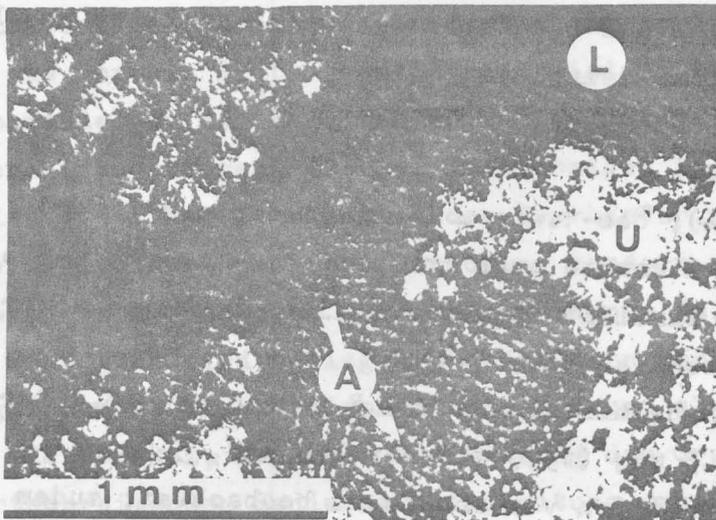


Helminthopsis sp. A im randlichen Bereich von Planolites sp. B (nach Kern 239-1)

Maßstab $\frac{0 \quad 1 \quad 2}{\text{cm}}$



Helminthopsis sp. A auf sedimentärer Grenzfläche (nach Kern 14224-1 aus der Sulu-See)



Helminthopsis-Gefüge (sp. A) im Dünnschliff (Kern 250-1, 20 cm)
Deutlich ist die Korngrößenselektion durch den erzeugenden Organismus zu sehen: Im Lumen der Spur (L) sind feine Partikel (dunkel) angereichert, in der Umgebung (U) große Partikel (hell).

A typische Suchverzweigung - blind endend.

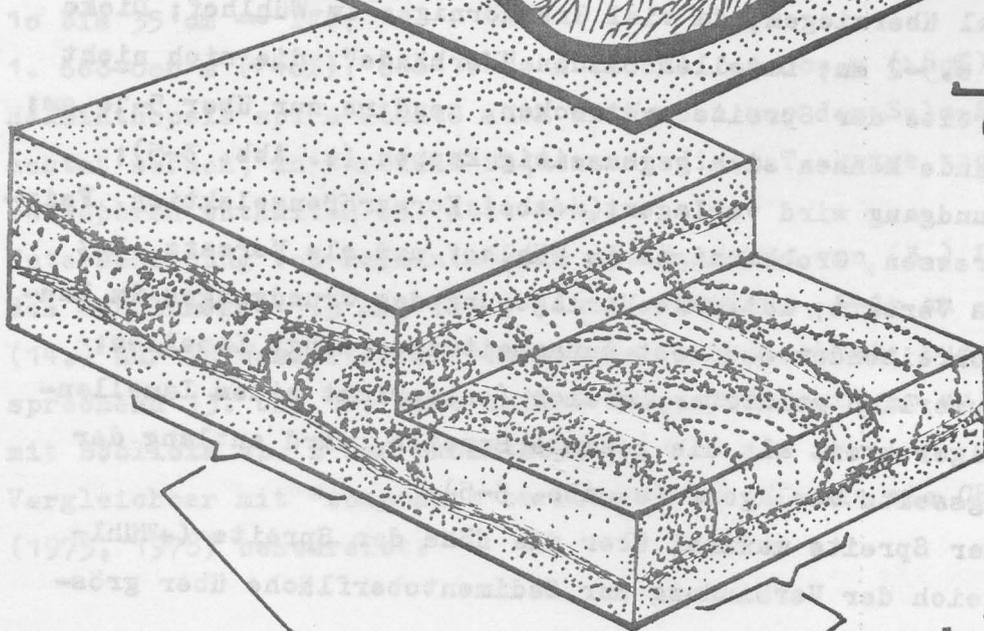
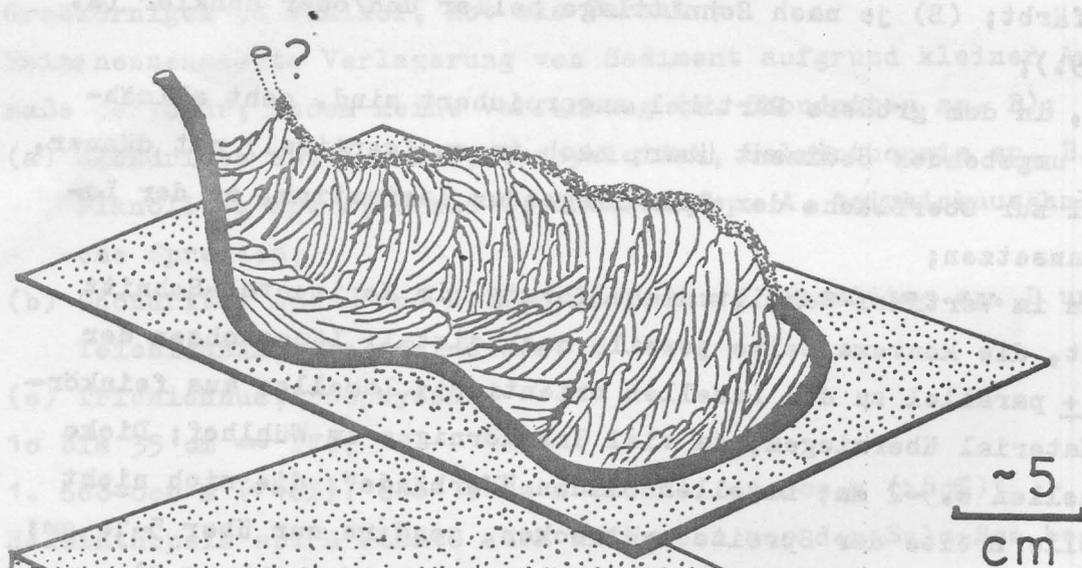
9. Strukturlose, feinkörnige (<20µm) Füllung;
10. Phobo-/thigmotaktisch gesteuerte Anlage gewundener Gänge: Abteufen eines Ganges in nährstoffreichere Sedimente (ältere Spuren); Suchverhalten: Abbiegen → positives Ergebnis, es wird eine Kehre erzeugt, → negatives Ergebnis, Rückkehr zum ursprünglichen Gang, ein Blindgang entsteht (s. Abb. 3-4); daher das "Explorationsgebiet" mit "knäulartigem" Charakter; Explorationsgebiete sind in unregelmäßiger Folge bevorzugt an älteren Spuren orientiert (s. Abb. 3-4):
 - a) Scolicia sp. A - bevorzugt Peripherie;
 - b) Planolites sp. B - bevorzugt feinkörnig verfülltes Lumen;
 - c) Corophioides - U-Gänge, nicht Versatzkörper; Beeinflusstes Volumen zu 40-60% genutzt; KorngröÙenselektion bei Freßvorgang: Feinkörniges gefressen, Grobkörniges in Wühlhof, Kot als Versatz;
11. Keine nennenswerte Verlagerung von Sediment aufgrund kleiner AusmaÙe der Spur; zudem keine Verfärbung (s. Chondrites sp. B);
12. (a) Chondrites sp. A und C, Corophioides, Helminthopsis sp. B, Planolites sp. A, B und C, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
 - (b) Chondrites sp. B und D, ?Lophoctenium, Planolites sp. D und E, Teichichnus, Thalassinoides;
 - (c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 10 bis 35 cm — IV.;
14. 1. 600-800 m (~40%); 800-1.000 m (~60%); > 1.000 m (>80%);
15. Helminthopsis sp. A konnte auch in Kernen aus der Sulu-See beobachtet werden, in Turbidit-Sequenzen, die z.T. keine anderen Lebensspuren enthalten (s. Abb. 3-4); Unterscheidung von Helminthopsis sp. B anhand von (3.) Durchmesser des Ganglumens ~1.5 mm; (13.) flacher wühlend, 5-10 cm — II.; (14.) nur in Wassertiefen von 400-800 m beobachtet; zudem ist entsprechend 13. und 14. eine andere Vergesellschaftung zu beobachten, mit Scolicia sp. B und Skolithus;
16. Vergleichbar mit "composite burrows" (Typ d), wie sie CHAMBERLAIN (1975, 1978) beschreibt.

Lophoostenium

1. Freßspur - Spreite;
2. (1) Zungenförmig, gewellt;
(2) U- bis J-förmig gebogen mit annähernd kreisrundem Querschnitt;
3. (1) Länge: 20-→50 cm; Breite: 10-→30 cm; Höhe: 1-2 cm;
(2) Durchmesser 0.5-1.5 cm; Länge bis einige dm;
4. Unregelmäßig, + gewellt; flächenhaft;
5. Keine;
6. Von der Sedimentoberfläche bis zur bevorzugten Tiefe vertikal bis geneigt, dann + horizontal; randliche Bereiche ca. 10° abwärts geneigt, sonst distale Teile der Spreite weniger stark geneigt als proximale;
7. (A) verfärbt; (B) je nach Schnittlage heller und/oder dunkler (s. 8. und 9.);
8. Wühlhof, in dem größere Partikel angereichert sind, geht allmählich in umgebendes Sediment über; nach innen (vertikal) mit dünner, parallel zur Oberfläche der Spur liegender Lamination, an der Lamellen ansetzen;
9. Lamellen im Vertikal-Schnitt sichelförmig, im Horizontal-Schnitt gekrümmt, die konvexe Seite jeweils nach distal; Längsachsen der Körner + parallel zu den Lamellen orientiert; Lamellen aus feinkörnigem Material überwiegen, da viel Grobkörniges im Wühlhof; Dicke der Lamellen 0.5-2 mm; Lamellen bilden "Verbände", die sich nicht über volle Breite der Spreite erstrecken, sondern nur über 5-10 cm; Lamellenverbände können sich gegenseitig kappen (s. Abb. 3-5);
10. Gebogener Grundgang wird verlagert, dabei Korngröbenselektion, Feinkörniges gefressen, Grobkörniges in Wühlhof und als Versatz, Kot ebenfalls als Versatz; laterale Verlagerung des Grundganges im Laufe der fortschreitenden Sediment-Aufarbeitung erzeugt Lamellen; ein + kontinuierlich genutzter Bereich (entspricht einem Lamellen-Verband), weniger breit als die gesamte Spreite, wird entlang der Spreiten-Längsseite verlagert (s. Abb. 3-5);
11. Im Bereich der Spreite maximal über die Höhe der Spreite (+Wühlhof), im Bereich der Verbindung zur Sedimentoberfläche über größere Distanzen;
12. (a) Chondrites sp. C, Planolites sp. A und B, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;

9. (b) Chondrites sp. D, Helminthopsis sp. A, Planolites sp. D, Teich-
ichnus, Thalassinoides;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 1a bis 25-35 cm — IV.;
14. 1. 1.000-3.000 m (~50%);
2. Bevorzugt in grobsiltig-feinsandigen Sedimenten;
15. Unterschiede zu Zoophycos: Ausbildung des Wühlhofes, sich kappende
Lamellen (Lamellen-Verbände), kein ausgeprägter Zentralbereich,
Fehlen einer Schacht-Spreite.

Lophoctenium



Lamellenverband

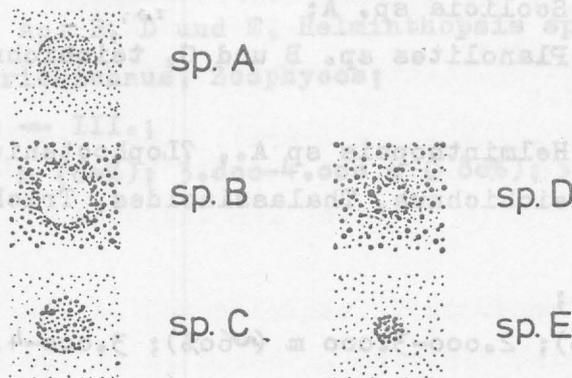
Abb. 3-5

Planolites

Lebensspuren der Gattung *Planolites* treten im Untersuchungsgebiet weit verbreitet und häufig auf. Zu dieser Gattung gehören gangförmige Lebensspuren, die arm an Merkmalen sind (vgl. auch FREY 1970). 5 Typen können unterschieden werden. Die Kennzeichen 1., 2., 4., 5., 6., 7., 10. und 15. sind der Gattung gemeinsam, anhand der Merkmale 3., 8., 9., 11., 12., 13. und 14. können die einzelnen Typen unterschieden werden (s. auch Abb. 3-6 und 3-7).

1. Freißspur - Gang;
2. Langgestreckte Gänge ohne typisches Nutzungsmuster im Sediment; Gangquerschnitt kreisrund bis oval;
4. Unregelmäßig, gerade bis gekrümmt;
5. Kaum beobachtet;
6. Nahe der Sedimentoberfläche bis ca. 1/2 der Wühltiefe vertikal bis geneigt, tiefer im Sediment \pm horizontal;
7. (A) verfärbt (typische "mottles"); (B) Lumen je nach Füllung heller (grobkörniger) oder dunkler (feinkörniger) als Umgebung (s. 9.);
9. Makro- und mikroskopisch ohne typische Struktur, Sedimentfüllung aber unterschiedlich (s.u. und Abb. 3-6);
10. Eine weiter reichende Spezialisierung der Verhaltensweisen (s. 4.2.) äußert sich nicht in der Anlage der Wühlgefüge; Korngrößen Selektion; mehr oder minder häufige Vertikalbewegungen (zur Versorgung mit Atemwasser?) verbunden mit Aufnahme von oberflächennahem Sediment; Kot in Ganglumen und auf Oberfläche;
15. Als Erzeuger kommen sehr viele Organismen infrage (vgl. auch GRIGGS et al. 1969).

Abb. 3-6 Querschnitte durch *Planolites*



Maßstab 0 1 2
cm

Das Ichnogenus *Planolites* läßt sich anhand des Lumen-Durchmessers der Lebensspuren untergliedern. Es wurden von ca. 200 *Planolites*-Exemplaren die Lumina vermessen und ihre Größenverteilung ermittelt. Es ergaben sich 2 Maxima, bei 4 mm und 9 mm Durchmesser, getrennt von einem Minimum (s. Abb. 3-7).

Die Unterscheidung nach dem Kriterium "Größe" erscheint gerechtfertigt, da bei Lebensspuren der gleichen Art kleine Exemplare im allgemeinen flacher im Sediment angelegt werden als größere, während bei verschiedenen Typen der gleichen Gattung - zumindest im Untersuchungsgebiet - der umgekehrte Fall beobachtet wird (s. 4.2.).

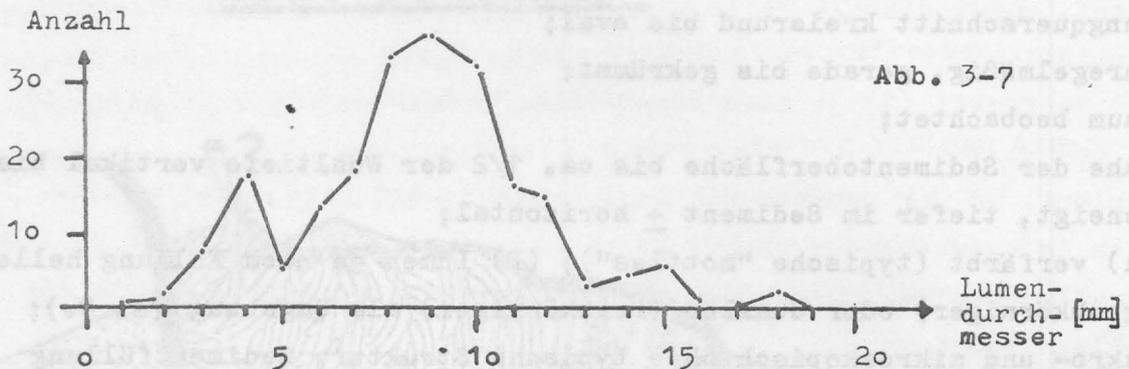


Abb. 3-7

Planolites sp. A

3. Gangdurchmesser 8-15 mm; Ganglänge bis einige dm;
8. Randlich dünner Saum aus etwas dichter gelagerten Partikeln, kein Wühlhof;
9. Im Lumen grobkörniges Material angereichert (s. Abb. 3-6);
11. Vertikale Verlagerung von Sediment vor allem bei den häufigeren Vertikalbewegungen der Erzeuger, verlagerte Menge schwer abzuschätzen, da der Anteil des Fremdmaterials (bis zu 80%) individuell verschieden und schon in einer Spur stark schwanken kann;
12. (a) *Chondrites* sp. A, *Scolicia* sp. A;
(b) *Chondrites* sp. C, *Planolites* sp. B und C, teichichnusähnliche Spreiten;
(c) *Chondrites* sp. D, *Helminthopsis* sp. A., ?*Lophoctenium*, *Planolites* sp. D und E, *Teichichnus*, *Thalassinoides*, *Trichichnus*, *Zoophycos*;
13. 5 bis 20-25 cm — III.;
14. 1. 1.000-2.000 m (100%); 2.000-3.000 m (~60%); 3.000-4.000 m (<50%);

Planolites sp. B

3. Gangdurchmesser: Lumen 6-15 mm, Lumen : Wühlhof ~ 1 : 1/2-1;
Ganglänge einige bis mehrere dm;
8. Wühlhof mit größeren Partikeln, Begrenzung zum Lumen hin scharf,
nach außen hin nicht;
9. Feinkörniges Material im Lumen angereichert (s. Abb. 3-6);
11. Nennenswerte vertikale Verlagerung von Sediment nur bei den gelegentlichen Vertikalbewegungen der Erzeuger;
12. (a) Chondrites sp. A, Scolicia sp. A;
(b) Chondrites sp. C, Planolites sp. A und C, teichichnusähnliche Spreiten;
(c) Chondrites sp. B, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D und E, Teichichnus, Thalassinoides, Trichichnus, Zoephycos;
13. 10 bis 20-25 cm — III.;
14. In allen Kernen aus Wassertiefen >1.000 m.

Planolites sp. C

3. Gangdurchmesser 6-15 mm; Ganglänge bis einige dm;
8. Saum aus dichter gelagerten Partikeln; kein Wühlhof;
9. Im Lumen Schalen von Mikroorganismen uä. angereichert (s. Abb. 3-6);
11. Vertikale Verlagerung von Sediment vor allem bei den häufigeren Vertikalbewegungen der Erzeuger, verlagerte Menge schwer abzuschätzen, da der Anteil des Fremdmaterials (bis zu 60%) von Spur zu Spur und auch innerhalb einer Spur stark schwanken kann;
12. (a) Scolicia sp. A;
(b) Chondrites sp. C, Planolites sp. A und B, teichichnusähnliche Spreiten;
(c) Chondrites sp. B, D und E, Helminthopsis sp. A, Planolites sp. D und E, Trichichnus, Zoephycos;
13. 5 bis 10-20 cm — III.;
14. 1. 1.000-3.000 m (60%); 3.000-4.000 m (> 80%); >4.000 m (100%).

12. (a) -
(b) Chondrites sp. A, Corophioides, Skolithus;
(c) Chondrites sp. B, C, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophocte-

Planolites sp. D

3. Gangdurchmesser: Lumen 2-5 mm, Lumen : Wühlhof $\sim 1 : 1/2-1$;
Ganglänge bis mehrere dm;
8. Wühlhof mit größeren Partikeln, Begrenzung zum Lumen hin scharf,
nach außen hin nicht;
9. Feinkörniges Material im Lumen angereichert (s. Abb. 3-6);
11. Nennenswerte vertikale Verlagerung von Sediment nur bei den gelegentlichen Vertikalbewegungen der Erzeuger;
12. (a) Chondrites sp. A und C, Planolites sp. A, B und C, teichichnusähnliche Spreiten, Scolicia sp. A;
(b) Chondrites sp. B, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Teichichnus;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 10 bis 20-35 cm — IV.;
14. 1. <2.000 m (<20%); 2.000-3.000 m ($\sim 80\%$); >3.000 m (100%).

Planolites sp. E

3. Gangdurchmesser 2-5 mm; Ganglänge bis einige dm;
8. Saum aus dichter gelagerten Partikeln; kein Wühlhof;
9. Im Lumen Schalen von Mikroorganismen uä. angereichert (s. Abb. 3-6);
11. Vertikale Verlagerung von Sediment vor allem bei den häufigeren Vertikalbewegungen der Erzeuger, verlagerte Menge schwer abzuschätzen, da der Anteil des Fremdmaterials (bis zu 60%) von Spur zu Spur und auch innerhalb einer Spur stark schwanken kann;
12. (a) Chondrites sp. C, Planolites sp. A, B und C, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
(b) Chondrites sp. B, D und E, Helminthopsis sp. A;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 10 bis 15-35 cm — IV.;
14. 1. <2.000 m (<20%); 2.000-3.000 m ($\sim 60\%$); 3.000-4.000 ($\sim 80\%$); >4.000 m (100%).

Scolieia sp. A

1. Freißspur - Gang;
2. Querschnitt annähernd liegend-oval, unten randlich mit 2 Ausstülpungen und oben zentral mit kleiner Depression (s. Abb. 3-8, 3-9);
3. Gangdurchmesser 2-5 cm; Radienverhältnisse 0.6-bis 0.75; Ganglänge bis einige dm;
4. Unregelmäßig, gerade bis gekrümmt, mitunter gewunden;
5. Keine;
6. Flach unter Sedimentoberfläche (< 10 cm) vertikal bis geneigt, tiefer im Sediment wenig geneigt bis horizontal;
7. (A) unverfärbt; (B) Umriß und typische Innenstrukturen heller;
8. Peripher größere Körner angereichert, eventuell stärker eingeschleimt, da dort bevorzugt Helminthopsis;
9. Innenstrukturen aus größeren, dichter gepackten Partikeln mit Längsachsen + parallel zu den Strukturen: Annähernd uhrglasförmige Lamellen, 0.5-1 mm breit, im Abstand von 1-7 mm, senkrecht zur Längsachse des Ganges; bei geradem Verlauf + parallel zueinander, bei Abknicken in Krümmungsrichtung näher zusammen; in unterer 1/2 sind Lamellen nicht durch homogene Zone unterbrochen (s. Abb. 3-8). An der konkaven Seite der Lamellen sitzen nach oben gerichtete, sich überlappende, mit zunehmend größerem Winkel (30-90°) ansetzende Fiedern; sie sind im unteren 1/5 der Spur nicht erkennbar; Ansatzwinkel sind typisch: Bei verschiedenen Exemplaren an vergleichbaren Positionen ähnliche Winkel. Anzahl der Fiedern nicht zählbar;
10. Anlage unregelmäßig gewundener Gänge; "Kamine" (Atemwasserversorgung) nicht beobachtet, aber aufgrund Ganglänge im Sediment und aus Analogiegründen anzunehmen; Organismus bewegt sich entgegen der Lamellenwölbung; Sedimentverlagerung durch "Schaufelkreisen" (16.3.), bewegtes Sediment eingeschleimt (16.1.), nur geringer Anteil (< 10%; s. 4.2.) gefressen, Kot in Gang, bei Versatz Sortierung der Körner nach ihrer Größe (16.3.), Versatz vom Hangenden zum Liegenden;
11. Trotz Sortierung der Korngrößen bei Versatz + Homogenisierung des Sedimentes in der Spur (s. 9., 10.);
12. (a) -
(b) Chondrites sp. A, Corophioides, Skolithus;
(c) Chondrites sp. B, C, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophocete-

nium, Planolites sp. A, B, C, D und E, Teichichnus, teichichnusähnliche Spreiten, Thalassinoides, Trichichnus, Zoophycos;

13. 5 bis 10-25 cm — II.;
14. 1. Einige Exemplare bei 660 m; 900-1.000 m (20%); >1.000 m (>80%)
2. Gefügebestimmend in "Windstaublagen" (s. 5.4.);
15. Erzeuger unbekannt, aber sehr wahrscheinlich irreguläre Echiniden;
16. 1. BROMLEY & ASGAARD (1975); 2. REINECK (1968); 3. SCHÄFER (1956);
auch GREGORY (1969), PIPER & MARSHALL (1969), HOWARD et al. (1974)

Erläuterungen zu den folgenden Abbildungen:

Abb. 3-8 Beobachtungen an Scolicia sp. A aus dem Untersuchungsgebiet (schematisch).

Abb. 3-9 Scolicia-Gefüge (sp. A) und begleitende Ichnofauna, Radio-
graphie-Negativ von Kern 289-3, 80-87 cm.

a Längsschnitt durch Scolicia sp. A; Bewegungsrichtung des
erzeugenden Organismus von rechts nach links;

b Querschnitt durch Scolicia sp. A;

c Querschnitt durch Planolites sp. B;

d Helminthopsis sp. A;

l Lamellen von Scolicia sp. A im Längsschnitt.

Abb. 3-10 Dünnschliff tertiärer Scolicia-Gefüge aus dem Zumaya-
Flysch (Spanien).

a Längsschnitt; Bewegungsrichtung des erzeugenden Organismus
von links nach rechts;

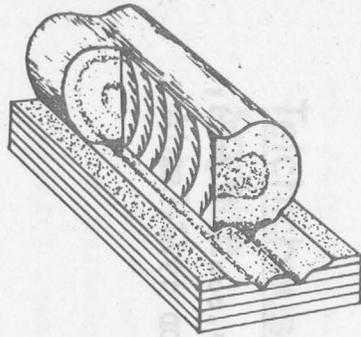
b Querschnitt;

l Lamellen im Längsschnitt;

q Lamellen im Querschnitt.

Die Lamellen (l, q) bestehen aus größeren, hellen Karbonat-
partikeln und mehr feinkörnigen, dunkleren Massen.

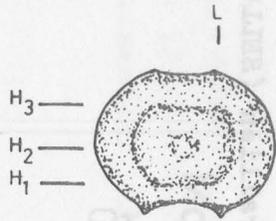
Das Vergleichsstück wurde von Prof. SEILLACHER (Tübingen)
zur Verfügung gestellt.



Blockbild

Ein Teil der Lamellen wurde der besseren Übersicht wegen nicht dargestellt.

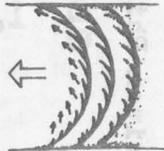
Maßstab



Schnitt senkrecht zur Längsachse



Maßstab für alle Schnitte



Schnitt parallel zur Längsachse (vertikal) Lage s.o. "L"

a) ungefähr naturgetreu b) schematisch
c) mit Bewegungsablauf

c) b) a)

Schnitte parallel zur Längsachse (horizontal)

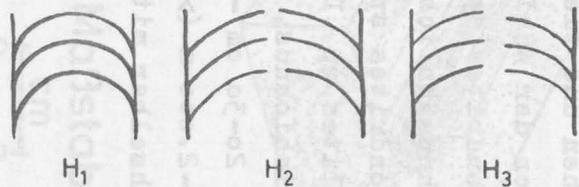


Abb. 3-8

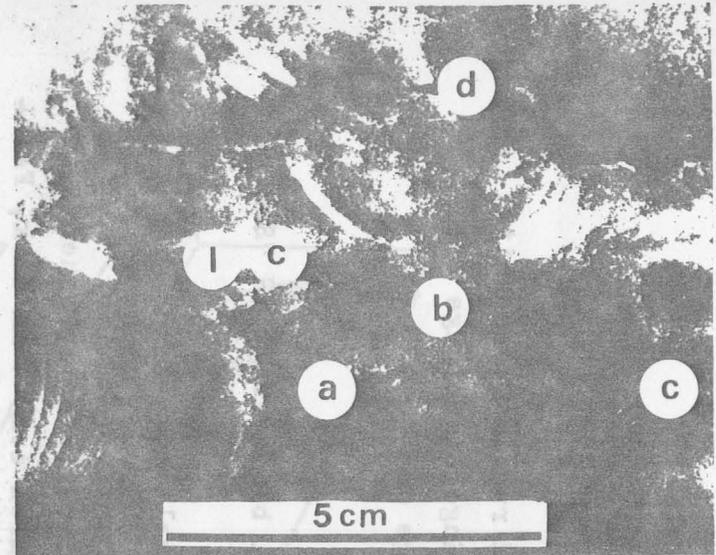


Abb. 3-9

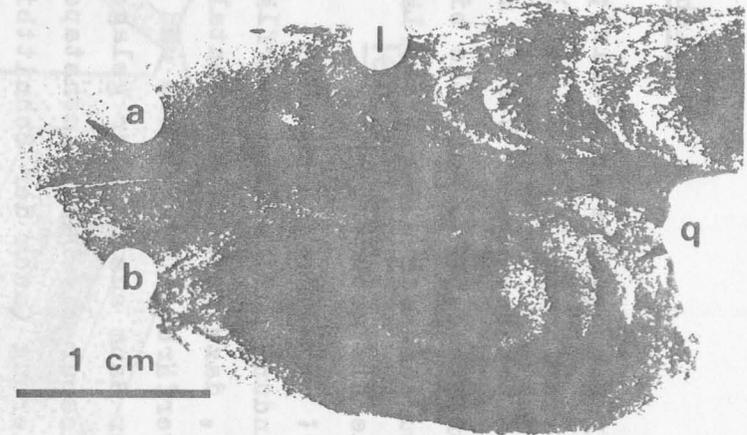


Abb. 3-10

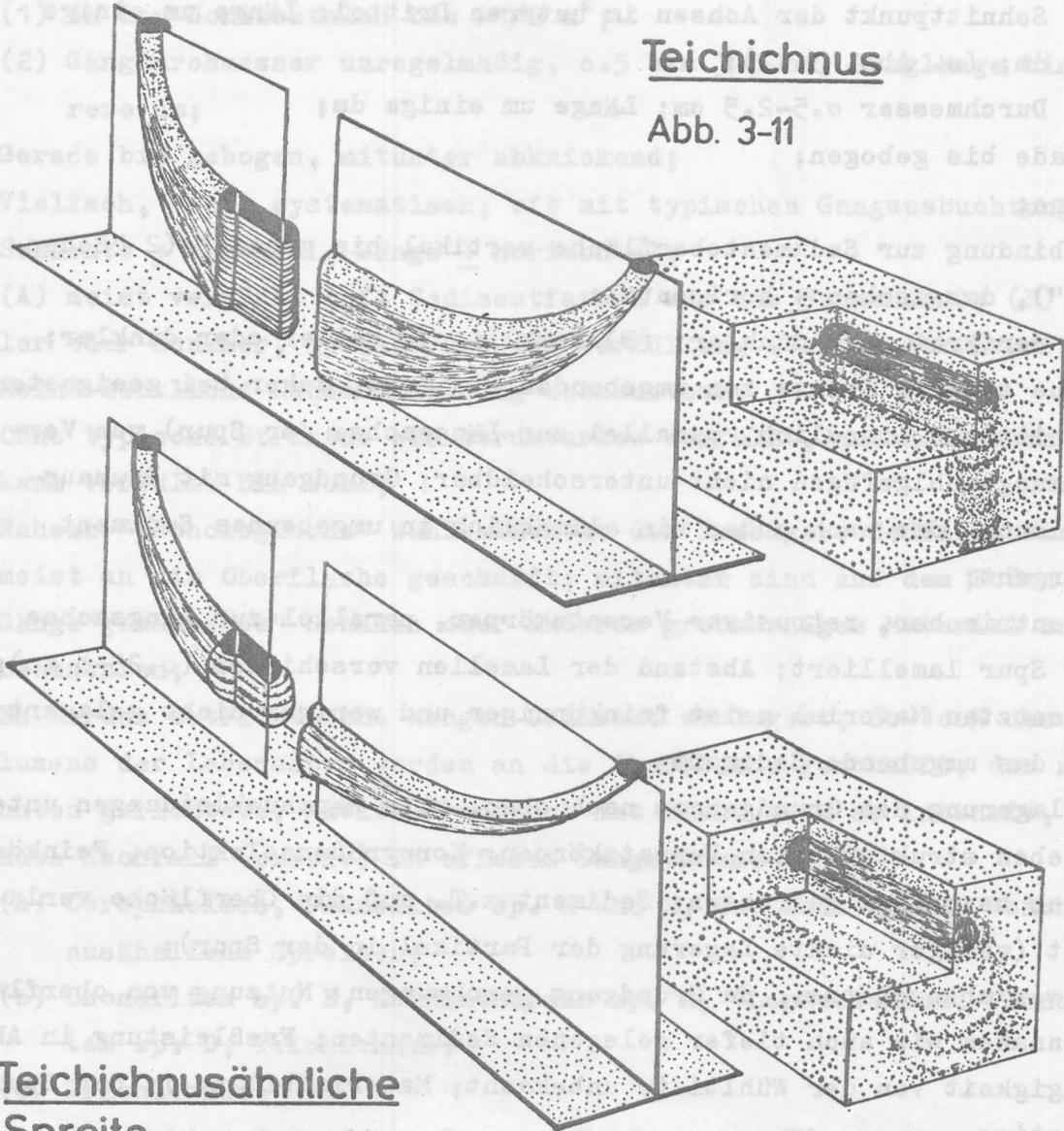
Teichichnus

1. Freißspur - Spreite (retrusiv);
2. (1) Mauerförmig (s. Abb. 3-11);
(2) Weitgeschwungener U-Gang mit annähernd rundem Querschnitt;
3. (1) Breite 0.5-2.0 cm; Höhe bis >10 cm; Länge bis einige dm;
(2) Durchmesser 0.5-1.5 cm; Länge um einige dm;
4. Gerade bis gebogen;
5. Keine;
6. Verbindung zur Sedimentoberfläche vertikal bis geneigt (2 "Schenkel"), dazwischen \pm horizontal;
7. (A) verfärbt; (B) hellere und dunklere Lamellen;
8. Dünner Saum aus dichter gelagerten Partikeln;
9. Lebensspur mit Dachrinnenstapel vergleichbar, dementsprechende Lamellierung (auch der Schnittbilder); Lamellen 0.25-1 mm dick, Feinkörniges (<6 μ m) und Grobkörniges (>6 μ m) abwechselnd; größere, längliche Körner \pm parallel zur Längsachse der Spur angeordnet;
10. Hin- und Herbewegen des Erzeugers im Grundgang; Korngrößenselektion, Feinkörniges bevorzugt gefressen, Grobkörniges nicht; Kot in Gang; Sedimentbilanz ungefähr ausgeglichen; Nutzung von Oberflächensedimenten wahrscheinlich nur in der Nähe der Enden des Grundganges;
11. Schwer abzuschätzen, da Grundgang geschwungen: Nutzung von oberflächennahen und tiefer gelegenen Sedimenten; Freißleistung in Abhängigkeit von der Wühltiefe unbekannt;
12. (a) Chondrites sp. C, Planolites sp. A und B, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
(b) Chondrites sp. B und D, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D, Thalassinoides;
(c) Trichichnus, Zoophycos;
13. 10 bis 20-30 cm — IV.;
14. 1. 600-2.000 m (>30%); 2.000-3.000 m (\sim 10%); 3.000-4.000 m (\sim 30%);
15. Verwechselbar mit retrusiven Rhizocorallien (SELLWOOD 1970, S. 495).

Teichzeichnung der Spreite

Teichichnus

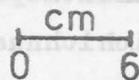
Abb. 3-11



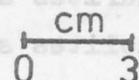
Teichichnusähnliche Spreite

Abb. 3-12

Maßstab



Maßstab



Teichichnusähnliche Spreiten

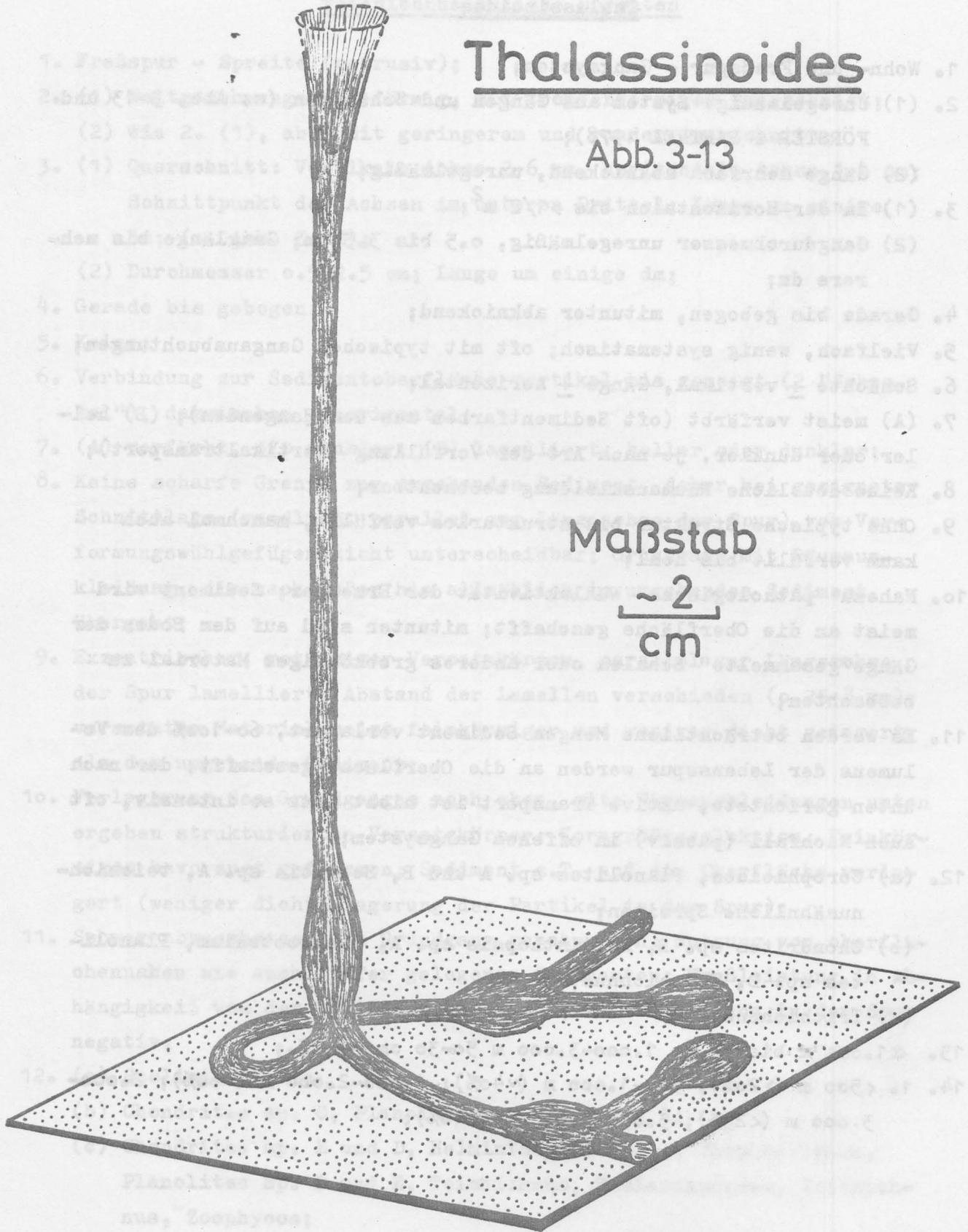
1. Freßspur - Spreite (retrusiv);
2. (1) Weitgeschwungen, U-förmig, mit tropfenförmigem Querschnitt;
(2) Wie 2. (1), aber mit geringerem und rundem Querschnitt;
3. (1) Querschnitt: Vertikale Achse 2-6 cm, horizontale Achse 1-4 cm;
Schnittpunkt der Achsen im unteren Drittel; Länge um einige dm; (s. Abb. 3-12);
(2) Durchmesser 0.5-2.5 cm; Länge um einige dm;
4. Gerade bis gebogen;
5. Keine;
6. Verbindung zur Sedimentoberfläche vertikal bis geneigt (2 "Schenkel"), dazwischen \pm horizontal;
7. (A) verfärbt, oft dunkler; (B) lamelliert, heller oder dunkler;
8. Keine scharfe Grenze zum umgebenden Sediment, daher bei geeigneter Schnittlage (randlich, parallel zur Längsachse der Spur) von Verformungswühlgefügen nicht unterscheidbar; Grundgang mit Räumauskleidung, die nach außen hin allmählich in umgebendes Sediment übergeht;
9. Exzentrischer, retrusiver Versatzkörper, parallel zur Längsachse der Spur lamelliert; Abstand der Lamellen verschieden (0.25-8 mm); versetztes Material meist feinkörniger und weniger dicht gelagert als das umgebende Sediment;
10. Verlagerung des Grundganges nach oben, alte Räumauskleidungen unten ergeben strukturierten Versatzkörper; Korngrößenselektion, Feinkörniges bevorzugt gefressen; Sediment z.T. auf die Oberfläche verlagert (weniger dichte Lagerung der Partikel in der Spur);
11. Schwer abzuschätzen, da Grundgang geschwungen: Nutzung von oberflächennahen wie auch tiefer gelegenen Sedimenten; Freßleistung in Abhängigkeit von der Wühltiefe unbekannt; Materialbilanz in der Spur negativ;
12. (a) Scolicia sp. A;
(b) Chondrites sp. C, Planolites sp. A, B und C;
(c) Chondrites sp. B und D, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D und E, Teichichnus, Thalassinoides, Trichichnus, Zoophycos;
13. 10 bis 20-25 cm — III.;
14. 1. 1.000-2.000 m (\sim 75%); 2.000-4.000 m (\sim 50%);

Thalassinoides

1. Wohn- und Freißpur - Gangsystem;
2. (1) Unregelmäßig: System aus Gängen und Schächten (s. Abb. 3-13 und FÖRSTER & BARTHEL 1978);
(2) Gänge mehrfach abknickend, unregelmäßig;
3. (1) In der Horizontalen bis $>1/2 \text{ m}^2$;
(2) Gangdurchmesser unregelmäßig, 0.5 bis 3.5 cm; Ganglänge bis mehrere dm;
4. Gerade bis gebogen, mitunter abknickend;
5. Vielfach, wenig systematisch; oft mit typischen Gangausbuchtungen;
6. Schächte + vertikal, Gänge + horizontal;
7. (A) meist verfärbt (oft Sedimentfarben aus dem Hangenden); (B) heller oder dunkler, je nach Art der Verfüllung (Vertikaltransport);
8. Keine deutliche Räumauskleidung beobachtbar;
9. Ohne typische Struktur bis strukturlos verfüllt, manchmal auch kaum verfüllt bis hohl;
10. Nahezu "pathologische" Wühlaktivität der Erzeuger; Sediment wird meist an die Oberfläche geschafft; mitunter sind auf dem Boden der Gänge "gesammelte" Schalen oder anderes grobkörniges Material zu beobachten;
11. Es werden beträchtliche Mengen Sediment verlagert, 60-100% des Volumens der Lebensspur werden an die Oberfläche geschafft; der nach unten gerichtete, aktive Transport ist nicht ganz so intensiv, oft auch Nachfall (passiv) in offenes Gangsystem;
12. (a) Corophioides, Planolites sp. A und B, Scolicia sp. A, teichichnusähnliche Spreiten;
(b) Chondrites sp. B, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. D, Teichichnus;
(c) Trichichnus;
13. $\ll 1.000 \text{ m}$ bis $>1 \text{ m}$; 1.000-3.000 m 50-30 cm — IV.;
14. 1. $<500 \text{ m}$ ($>20\%$); 500-1.000 m ($\sim 40\%$); 1.000-2.000 m ($>60\%$); 2.000-3.000 m ($<25\%$); 3.000-3.500 m ($<10\%$);
15. Durchmesser 0.5-1 cm;
16. Gerade bis gekrümmt;
17. Außerst selten verzweigt, dann über kleineren spitzen Winkel;
18. Bevorzugt + vertikal, selten geneigt;
19. (A) unverfärbt; (B) dunkler;

Thalassinoides

Abb. 3-13



Maßstab

~ 2
cm

Trichichnus

1. Freßspur - Gangsystem;
2. Dünne, vertikale Gänge mit annähernd kreisrundem Querschnitt;
3. Durchmesser: Lumen 0.4-0.8 mm; Lumen : Räumauskleidung $\sim 1 : 1/4-1/2$;
Länge bis mehrere dm; bis 8 Exemplare auf 4 cm² in der Horizontalen
4. Gerade bis gewunden;
5. Gelegentlich verzweigt; 10-90°; (untypisch);
6. Meist + vertikal, auch geneigt, selten horizontal;
7. (A) unverfärbt; (B) Lumen dunkler;
8. Räumauskleidung aus dichter gelagerten Partikeln;
9. Kaum verfüllt bis hohl; makro- und mikroskopisch strukturlos;
10. Bei Ganganlage Sediment größtenteils in Räumauskleidung; die Spezialisierung, die dem erzeugenden Organismus eine so große Wühltiefe ermöglicht, ist unbekannt;
11. Sediment meist lateral verlagert, selten vertikal; das verlagerte Volumen ist wegen des geringen Gangdurchmessers klein;
12. Alle anderen Lebensspuren können überprägt werden. Weniger tief angelegte Teile von Trichichnus werden oft von flacher wühlenden Organismen zerstört.
13. (a) Chondrites sp. B, C, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophoctenium, Planolites sp. A, B, C, D und E, Scolicia sp. A, Teichichnus, teichichnusähnliche Spreiten, Thalassinoides, Zoophycos;
13. Bis »60 cm;
14. 1. <1.000 m ($\sim 50\%$); >1.000 m ($\sim 90\%$);
2. Nicht in sandigen oder schillhaltigen Sedimenten beobachtet;
15. Von trichichnusartigen Gefügen Typ A oder B nicht gut unterscheidbar.

Trichichnusartige Gefüge Typ A

1. Keine Lebensspur, sondern anorganische Bildung: Entwässerungskanalchen. Hier aufgeführt wegen großer Ähnlichkeit mit Trichichnus;
2. Dünne, schlauchartige Gebilde mit veränderlichem Querschnitt;
3. Durchmesser 0.1-1 mm; Länge bis >1 m;
4. Gerade bis gekrümmt;
5. Äußerst selten verzweigt, dann aber immer spitze Winkel;
6. Bevorzugt + vertikal, selten geneigt;
7. (A) unverfärbt; (B) dunkler;

8. Kaum bemerkbarer Saum aus dichter gelagerten Partikeln;
9. Hohl;
10. und 11. entfallen;
12. (a) -
(b) Trichichnus, Zoophycos;
(c) Alle Lebensspuren aus Wassertiefen $>1.500-2.000$ m ;
13. dm- bis m-Bereich;(Entstehungstiefe);
14. 1. -
2. Meist in Zusammenhang mit Rutschmassen;
15. Unterscheidung von Trichichnus aufgrund 5., 6., 8.;
Abscheidung von Pyrit an den Wandungen von trichichnusartigen Gefü-
ügen Typ A möglich, dann nicht mehr von trichichnusartigen Gefügen
Typ B und von Trichichnus mit Pyrit gefüllt zu unterscheiden.

Trichichnusartige Gefüge Typ B

1. Keine Lebensspur! Hier aufgeführt wegen der möglichen (!) Ähnlich-
keit mit Trichichnus. Entstehung nicht durch Makrobenthos, sondern
unter der Mitwirkung von Mikroorganismen, vgl. LOVE (1962), BERNER
(1970);
2. Dünne, fadenartige Gebilde mit veränderlichem Querschnitt;
3. Durchmesser 0.1-1.5 mm; Länge bis >10 cm;
4. Gerade bis gekrümmt;
5. Möglich, mitunter häufig; alle möglichen Winkel;
6. Oft + vertikal, aber auch geneigt oder horizontal;
7. (A) Dünne Fäden nicht erkennbar, dicke meist dunkel; (B) sehr hell;
8. , 10. und 11. entfallen;
9. Strukturlos;
12. Überprägt alle Lebensspuren, gelegentlich von Zoophycos überprägt;
13. dm- bis m-Bereich (Entstehungstiefe);
14. Vorzugsweise in Wassertiefen 1.000-3.500 m ($>90\%$)
15. Unterscheidung von Pyritabscheidungen an oder in Trichichnus oder
trichichnusartigen Gefügen Typ A nicht möglich. Die Verformung von
Pyritfäden kann Hinweise auf mechanische Beanspruchung von Sedimen-
ten liefern.

Zoophycos

1. Freißpur - Spreitenbau;
2. (1) 3 Konzeptionen sind unterscheidbar, im einzelnen bestimmt durch Ansatz der + horizontal orientierten Freißbereiche am + vertikal orientierten Zentralbereich (s. Abb. 3-15): Gewundener Typ (helicoidal), trompetenförmiger Typ (trumpet like) und zungenförmiger Typ (tongue like; s. Abb. 3-18, 3-19). Typen durch Form des Grundganges (s. 2. (2)) und Spreitenbauprinzip (s. 10.) modifiziert. Die verschiedenen Typen lassen sich aus 4 Bauelementen (constructional elements), Schachtspreite (shaft spreiten), Abzweigungsspreite (deviation spreiten), Einfädelspreite (regression spreiten) und Freißspreite (feeding spreiten), kombinieren (s. Abb. 3-16, 3-18).
(2) U-förmig, Versatzkörper auf beiden Seiten mit offenem Gang; J-förmig, Versatzkörper nur an einer Seite mit offenem Gang;
3. S. Tab. 3-2;
4. -
5. Bei allen Typen; $10-60^\circ$;
6. Zentralbereich + vertikal; Freißbereiche + horizontal;
7. (A) verfärbt; (B) heller und/oder dunkler, bandartig, lamelliert;
8. Schmalen Wühlhof ($\sim 1/10$ der Lumenweite) mit ausgesonderten Partikeln;
9. Im Vertikalschnitt typische Lamellenstruktur (s. SIMPSON 1970, TAYLOR 1967); Lamellen aufgebaut aus ausgesonderten Partikeln (s. auch 8.) und Kot, homogen oder in Pillenform;
10. Abwechselnd Nahrungsaufnahme, thigmotaktisch gesteuert, verbunden mit teilweisem Versatz des entstandenen Hohlraumes mit Ausgesondertem, und Kotabgabe (s. Abb. 3-17); durch Fressen und Versetzen Verlagerung des Grundganges (Erzeugen der einzelnen Bauelemente, s.o.); Spreitenbauprinzip: Kontinuierlich, die Scheitellinie (Abb. 3-16 "apex-line") ist nicht unterbrochen; diskontinuierlich, eine Anzahl von einzelnen Spreiten mit je einer Scheitellinie ist aneinandergereiht.
11. Aufgrund der Verhaltensweisen der Erzeuger keine systematische, weitreichende Verlagerung von Sediment anzunehmen, aber sporadische "Mischungsereignisse" - sozusagen unmotiviert - sind zu beobachten, deren Bedeutung nicht so sehr in der Menge des transportierten Materials liegt als vielmehr in der Distanz, über die es verlagert wurde.

12. (a) Chondrites sp. A, B, C, D und E, Helminthopsis sp. A, ?Lophocentrum, Planolites sp. A, B, C, D und E, Scolicia sp. A, Teichichnus, teichichnusartige Spreiten;
 (b) -
 (c) Trichichnus;
 13. 20 bis 110 cm — V.;
 14. Erzeugende Organismen möglicherweise sipunculide Würmer;
 15. BISCHOFF (1968); BRADLEY (1973); EKDALE (1977); HÄNTZSCHEL & VOIGT (1957); REINECK (1973); SIMPSON (1970); TAYLOR (1967); WETZEL & WERNER (in press).

Tab. 3-2 Abmessungen von Zoophycos

	Minimum [mm]	Maximum [mm]
Vertikale Erstreckung (gesamt)	200	1.100
Vertikale Erstreckung der Schachtspreite	100	400
Durchmesser des Zentralbereiches		
kurze Achse	4	12
lange Achse	40	90
Vertikaler Abstand zwischen Freßspreiten (distale Teile)	20	120
Höhe der Freßspreiten	3	12
Durchmesser der Randstrukturen	2	10
Horizontale Erstreckung (längste Achse)	150	1.000 ⁺

⁺ Extrapolierter Wert, Verfahren s. WETZEL & WERNER (in press)

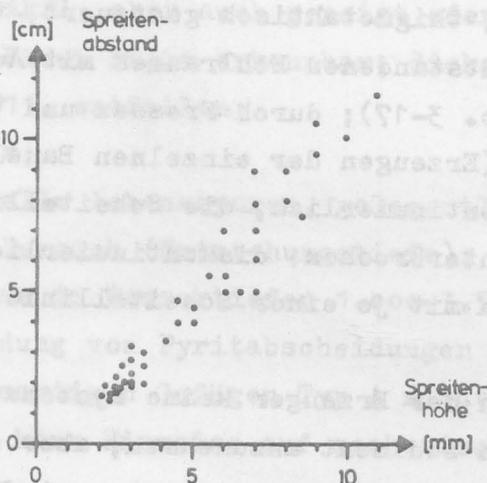
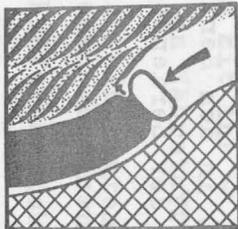


Abb. 3-14 Zusammenhang zwischen Spreitenhöhe und Spreitenabstand (für distale Teile von Freßspreiten).

Helicoidal		Trumpet like		Tongue like		(1) Continuously formed (2) Discontinuously formed
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
						U types Block diagrams
				not observed		
 Four and more coils of feeding spreiten		 Three and more flats of feeding spreiten		 Three and more flats of feeding spreiten		Possible variations in vertical sections (schematic diagrams)

Abb. 3-15 Zoophycos - morphologische Typen



- Sediment
- Fecal material
- Thigmotactically selected grains
- Basic tube
- Proximal part of the introvert
- Introvert
- Direction of motion
- Ingestion of sediment
- Back fill of { selected grains / fecal material

Abb. 3-17 Anlegen von Zoophycos-Spreiten (schematisch)

Constructional elements	Form of the basic tube	
	U-Form (A)	J-Form (B)
Shaft spreiten Block diagram 7-1 ~ 2 cm		
Deviation spreiten Block diagram 7-2 ~ 4 cm		
Regression spreiten Block diagram 7-3 ~ 3 cm		
Feeding spreiten Continuously formed Top view 7-4 ≥ 15 cm Apex line		
	Discontinuously formed Top view 7-5	

Abb. 3-16 Bauelemente von Zoophycos-Lebensspuren

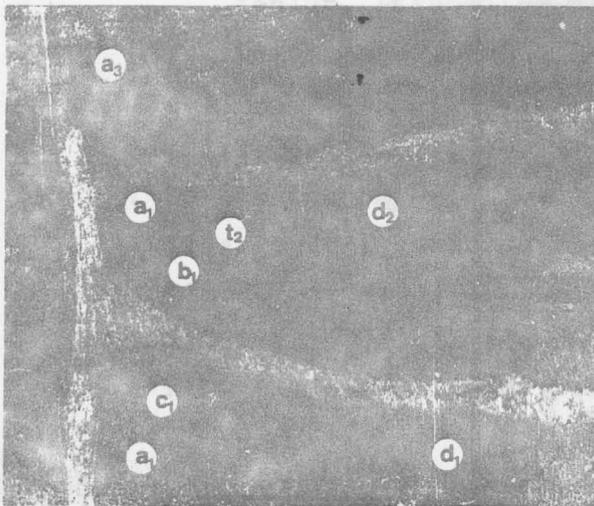


Abb. 3-18

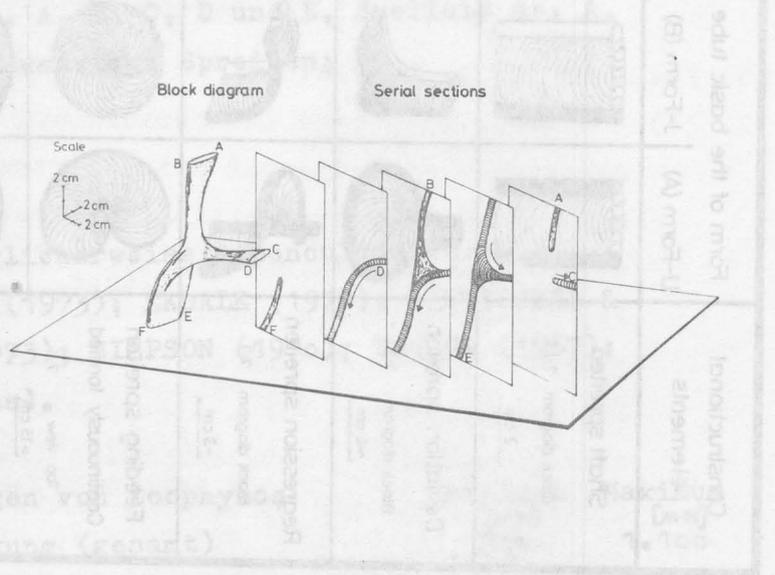


Abb. 3-19

Abb. 3-18 Photographie eines Teiles eines zungenförmigen Zoophycos;
Kern 211-1, 68-81 cm;

- a Schachtspreite - shaft spreiten
- b Abzweigungsspreite - deviation spreiten
- c Einfädelspreite - regression spreiten
- d Freßspreite - feeding spreiten
- t Randstruktur: Offener Gang, U-Typ

Auf der Photographie sind 3 verschiedene Zoophycos-Exemplare zu sehen,
die Indices 1, 2 oder 3 bezeichnen das 1., 2. oder 3. Exemplar.

Abb. 3-19 Verbindung zwischen Schacht- und Freßspreite eines zungenfö-
rmigen Zoophycos; gezeichnet nach Kern 289-3, 660-672 cm;

Buchstaben bezeichnen die Positionen der Eckpunkte des Blockbildes (block
diagram) in den Serienschnitten (serial sections).

Abstand der Serienschnitte 1 cm.

Pfeile zeigen die Hauptbewegungsrichtung des (ehemals) tätigen Organismus
an.

Abb. 3-14 Zusammenhänge zwischen Spreitenhöhe und
Spreitenabstand (für distale Teile von
Freßspreiten).

4. Grundlagen für eine ichnologische Gliederung der Sedimente

Im folgenden sollen die ethologisch-ökologischen Beziehungen der Lebensspuren erläutert werden, um darauf aufbauend eine ichnologische Gliederung der Sedimente im Arbeitsgebiet durchzuführen.

In den Sedimentkernen treten sowohl Verformungswühlgefüge als auch Gestaltungswühlgefüge auf. Letztere werden in den untersuchten Sedimenten (Wassertiefe >500 m) weitaus am häufigsten angelegt und stehen daher im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Daß im Arbeitsgebiet nahezu ideale Bedingungen für die im Meeresboden wühlenden Organismen vorliegen, dokumentiert der sehr hohe Anteil biogener Gefüge bei oft mehrfacher Verwühlung desselben Sedimentes. Diese Verhältnisse, die eine fortwährende Bioturbation erlauben, gestatten es, einige Umweltfaktoren einzeln zu erörtern, auch wenn viele von ihnen nicht unabhängig voneinander wirken. Aufgrund dieses Vorgehens können aus Werten, die für einzelne Faktoren angegeben werden, keineswegs Verallgemeinerungen, die auch für andere Seegebiete gelten sollen, abgeleitet werden.

Die im folgenden angegebenen Werte wurden aus vielen, oft weit voneinander entfernten Proben gewonnen. Um kleinräumige Unterschiede herauszuarbeiten, reichte in manchen Fällen die Probenanzahl und -dichte nicht aus. Daher besitzen manche Angaben eher modellartigen Charakter für das gesamte Untersuchungsgebiet.

4.1. Auftreten der Lebensspuren in Abhängigkeit von der Wassertiefe

Die meisten Lebensspuren treten nur innerhalb eines bestimmten Wassertiefenbereiches auf (Abb. 4-1). Bei Interpretation von Abb. 4-1 ist jedoch der Einfluß der Tiefenverteilung der bearbeiteten Kerne (s. 9.2.) zu berücksichtigen. Mit Sicherheit ist das Auftreten bestimmter Lebensspuren nicht direkt von der Wassertiefe abhängig, sondern mit ihr - resp. der Landentfernung - über Faktoren wie dem Angebot an Nährstoffen und der Sedimentzufuhr gekoppelt (THIEL 1975).

Ein Einfluß der Hangneigung, wie der Unterschied zwischen Kontinentallhang und -fuß, konnte anhand einer Veränderung der Ichnofauna nicht festgestellt werden.

Die in Abb. 4-1 dargestellten Beziehungen erlauben folgende Betrachtung:

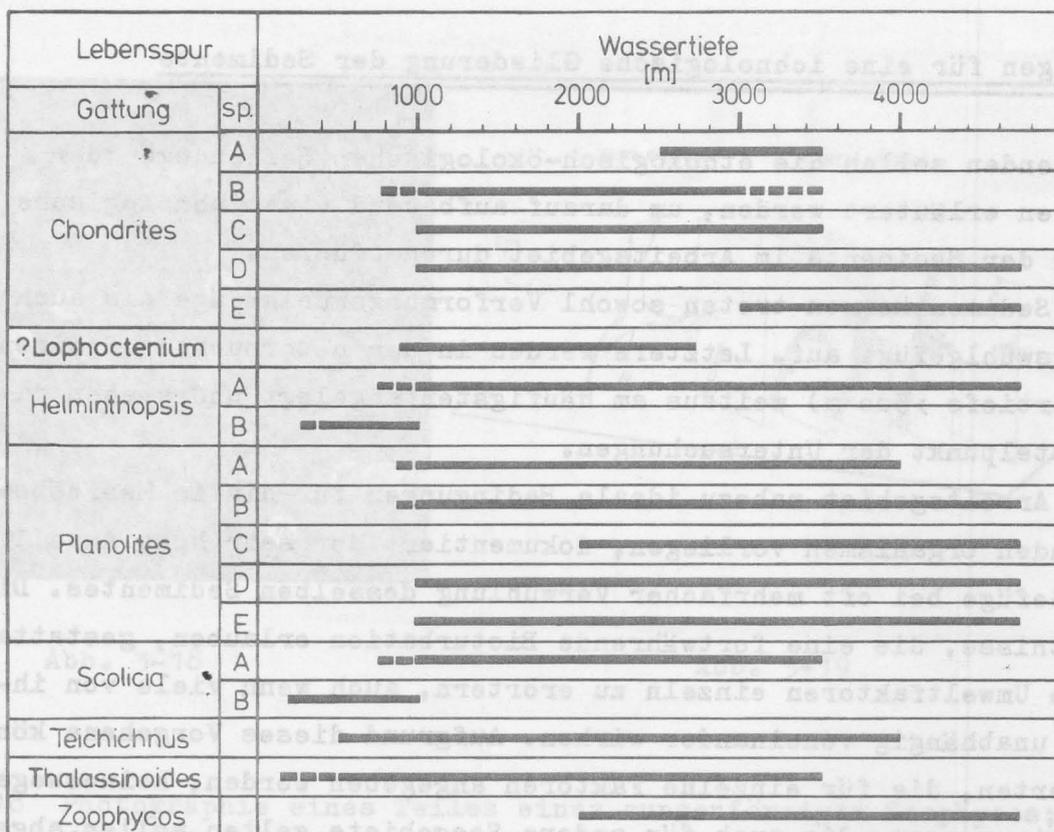


Abb. 4-1 Wassertiefenverbreitung einiger häufiger Lebensspuren vor NW-Afrika

1. Neben einer Änderung der Lebensspuren-Vergesellschaftung mit der Wassertiefe ist eine Zunahme des Anteils kleiner Wühlgefüge zu beobachten. Diese Tatsache kann dahingehend gedeutet werden, daß bei kleineren Durchmessern der Organismen die in größeren Tiefen spärlicher vorhandenen Nährstoffe räumlich gezielter und damit effektiver genutzt werden können.

2. Da sich das Spektrum der auftretenden Lebensspuren mit der Wassertiefe ändert, ist für die im folgenden dargestellten Lebensspuren-Gemeinschaften (s. 5. Kap.) die Veränderung ihrer Zusammensetzung mit der Wassertiefe zu berücksichtigen.

3. Mit zunehmender Wassertiefe sind geringere Schwankungen der Umweltfaktoren anzunehmen. Daher dürften bei gleichbleibender Toleranz der Faunen gegenüber solchen Schwankungen die Wechsel nicht so deutlich ausgeprägt sein. Oder aber, die Toleranz der Fauna gegenüber solchen Veränderungen der Umwelt ist nicht so groß, was nach der "time-stability-hypothesis" (SANDERS 1968) möglich wäre, da bei stabiler Umwelt über lange Zeiten eine optimale Fraktionierung der ökologischen Nischen stattfinden kann. Dann ist bei Umweltveränderungen mit erheblichen Wechseln der Ichnofauna zu rechnen.

Es muß betont werden, daß die Wassertiefenangaben nur für Lebensspuren im Untersuchungsgebiet gelten. In Vergleichsmaterial aus anderen Seegebieten und in der Literatur konnten mitunter erhebliche Abweichungen von den vor NW-Afrika gemachten Beobachtungen gefunden werden, z.B.:

1. Zoophycos:

- (a) Portugiesischer Kontinentalhang ab 1.000 m (Kern 10773-2);
- (b) Indischer Ozean ab 1.200 m (v. STACKELBERG 1972 - Kern K 226);
- (c) Pazifik bis >5.000 m (Kern 10176-1);

2. Chondrites:

- (a) Nildelta ab 185 m Chondrites sp. C und D (Kern 1008 KL);
- (b) Pazifik bis >5.000 m Chondrites sp. B und D (Kern 10176-1).

4.2. Spezialisierung des Verhaltens und Wühltiefe

Mit zunehmender Tiefe unter der Sedimentoberfläche nimmt im Regelfall die Anzahl der Organismen im Meeresboden, also auch die Biomasse pro Volumeneinheit ab. Somit werden Oberflächen- und oberflächennahe Ablagerungen häufiger gefressen und biogen umgelagert als tiefer liegende. Dementsprechend verringert sich auch Menge und Qualität der im Sediment zur Verfügung stehenden Nährstoffe. Daher sind, um tiefer gelegene Sedimente zu nutzen, speziellere Verhaltensweisen der Organismen erforderlich. Eine solche Optimierung der Verhaltensweisen mit zunehmender Sedimenttiefe äußert sich direkt und sehr auffällig in der Art der Aufarbeitung der Ablagerungen: Von in der Nähe der Oberfläche angelegten Gängen über kompliziertere Gangsysteme bis hin zu tief unter der Oberfläche angelegten Spreitenbauten. Dies entspricht dabei einer Verbesserung des Verhältnisses von "Freßleistung" - gegeben durch das gefressene Sedimentvolumen - zu "Bewegungsleistung" - gegeben durch das bewegte Sedimentvolumen. Hierbei sind 2 "Verhaltensgruppen", Wühlen von Gängen und Anlegen von Spreiten, prinzipiell zu unterscheiden (Abb. 4-2). Dabei entspricht der Quotient aus den "Partikelweglängen", P_G und P_S - der mittleren Strecke, über die ein Sedimentpartikel in einem Gang (G) oder einer Spreite (S) im einfachsten Fall verlagert wird - angenähert dem Verhältnis der jeweils nötigen Bewegungsleistungen zueinander, um ein bestimmtes Sedimentvolumen, in einem Gang V_G , in einer Spreite V_S , zu verlagern. Es ist aus der Abbildung ersichtlich, daß das Spreitenanlegen eine effektivere Verhaltensweise ist als das Gangwühlen.

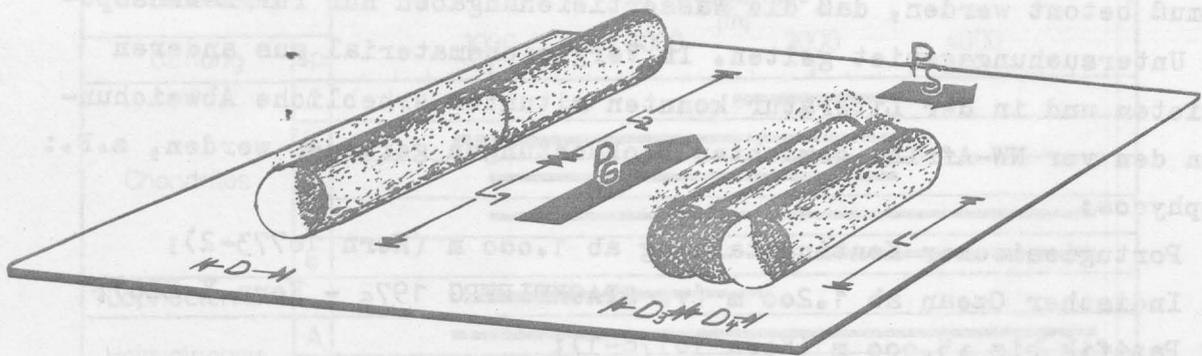


Abb. 4-2 Sedimentverlagerung in Gängen (G) und Spreiten (S)
schematisch

D Durchmesser; L Länge; V Volumen; P Mittlere "Partikelweglänge"
Es sind $L_1 = L_2 = L$; $V_1 = V_2 = V_G$; $D_3 = D_4 = D$; $V_3 = V_4 = V_S$:
Sind $L = \text{konst}$ und $D = \text{konst}$, dann ist $P_S < P_G$.

Da der "Effektivitätsquotient", also das Verhältnis von gefressenem zu bewegtem Sedimentvolumen, etwa dem Verhältnis der direkt zu beobachtenden Parameter Lumenweite (L) zu Lumenweite + Wühlhofhöhe (L+W) entsprechen dürfte (Angaben s. 3. Kap.), lassen sich innerhalb dieser beiden Verhaltensgruppen verschiedene Lebensspuren-Gattungen und -Typen direkt vergleichen (Tab. 4-1).

Tabelle 4-1

Gänge (+Gangsysteme)		Spreiten	
Lebensspur	$\frac{L}{L+W} \times 100$	Lebensspur	$\frac{L}{L+W} \times 100$
Verformungswühlgefüge	5-15 ⁺		
Scolicia sp. A	10-20 ⁺⁺		
Planolites sp. B	20-50		
Planolites sp. D	40-60	?Lophoctenium	40-60
Chondrites sp. D	50-70	Zoophycos	70-90

L = Lumenweite; L+W = Lumenweite+Wühlhof;

⁺geschätzt; ⁺⁺unter der Annahme, daß von irregulären Echiniden erzeugt;

Die Lebensspuren sind der Wühltiefe ihrer Erzeuger nach geordnet.

Es fällt wieder auf, daß innerhalb jeder Verhaltensgruppe Lebensspuren mit großem Durchmesser (L+W) und damit geringem $(L/L+W) \times 100$ flacher im Sediment angelegt werden als solche mit geringem Durchmesser. Auch Abb. 4-3 zeigt deutlich diese Tendenz. Auf dieser Darstellung wurde die Verhaltensgruppe "Gangwühlen" noch unterteilt nach dem Gesichtspunkt, ob Gangsysteme oder nur einfache Gänge erzeugt werden.

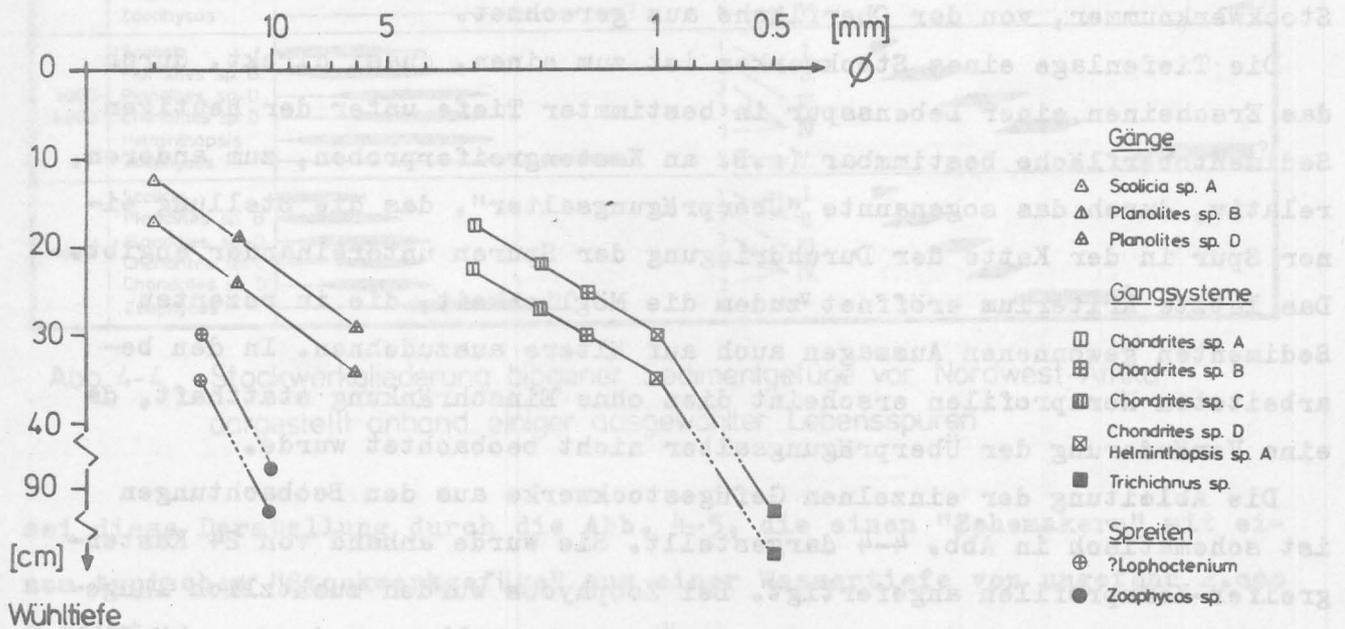


Abb. 4-3 Wühltiefe und Durchmesser von Lebensspurenerzeugern in verschiedenen Verhaltensgruppen (Angaben für ca. 2.000 m Wassertiefe)

4.3. Gefügebeziehungen der Lebensspuren untereinander

Die sich in oder auf dem Meeresboden bewegenden Organismen erzeugen biogene Gefüge. Für die Deutung des biogenen Gesamtgefüges als "Fazies-typ", der etwas über den Sedimentationsraum aussagen soll, ist das Verständnis der Beziehungen der Lebensspuren untereinander besonders wichtig. Die Präsenz eines Spurentypes in einem Gefüge ist nämlich keineswegs in erster Linie von der Dominanz des jeweiligen Erzeugers zu seinen Lebzeiten abhängig, sondern vielmehr von der Selektion, die er durch konkurrierende Spuren erfährt, während er der durchwühlten Zone angehört.

Im Hinblick auf eine quantifizierbare Analyse dieses Selektionsprozesses erweist sich die Modellvorstellung von einem Stockwerkgefüge, das unter gleichbleibenden äußeren Bedingungen mit der Sedimentation hochwächst, als nützlich. Die Gefügestockwerke entsprechen dabei ungefähr den bevorzugten Aufenthaltstiefen der wühlenden Spurenerzeuger. Für unsere Sedimente wird weiterhin angenommen, daß alle holozänen Lebensspuren auch heute noch angelegt werden. Das "Durchsetzungsvermögen" einer Spur - das Gegengewicht zur Selektion - wächst dabei mit der Stockwerknummer, von der Oberfläche aus gerechnet.

Die Tiefenlage eines Stockwerkes ist zum einen, quasi direkt, durch das Erscheinen einer Lebensspur in bestimmter Tiefe unter der heutigen Sedimentoberfläche bestimmbar (z.B. an Kastengreiferproben, zum anderen, relativ, durch das sogenannte "Überprägungsalter", das die Stellung einer Spur in der Kette der Durchdringung der Spuren untereinander angibt. Das letzte Kriterium eröffnet zudem die Möglichkeit, die in rezenten Sedimenten gewonnenen Aussagen auch auf ältere auszudehnen. In den bearbeiteten Kernprofilen erscheint dies ohne Einschränkung statthaft, da eine Veränderung der Überprägungsalter nicht beobachtet wurde.

Die Ableitung der einzelnen Gefügestockwerke aus den Beobachtungen ist schematisch in Abb. 4-4 dargestellt. Sie wurde anhand von 24 Kastengreifer-Kernprofilen angefertigt. Bei Zoophycos wurden zusätzlich längere Kernprofile benutzt. Der besseren Übersicht halber wurden nur häufig auftretende Lebensspuren in das Diagramm einbezogen. ⁺)

Die Tiefenverteilung der Proben (s. 9.2.) verlangte an sich eine Einteilung in Klassen von 500-1.500 m, 1.500-2.500 m usw., aber die Wassertiefenverteilung der Lebensspuren (s. 4.1.) erfordert eine Einteilung in Klassen von 1.000-2.000 m usw., denn nur so konnten Veränderungen der Ichnofauna innerhalb einer Klasse weitgehend vermieden werden.

Aus Abb. 4-4 läßt sich die Tendenz ablesen, daß die vertikale Ausdehnung der einzelnen Gefügestockwerke mit zunehmender Wassertiefe abnimmt. Die steuernden Faktoren, die das Auftreten bestimmter Verhaltensweisen der Organismen regulieren, sind dabei wohl vor allem das Angebot an Nährstoffen und die Sedimentzufuhr (s. 4.1., 5.7.).

Im folgenden sei ein kurzer Überblick über die einzelnen in Abb. 4-4 ausgeschiedenen Gefügestockwerke und ihren Spurenhalt gegeben. Ergänzt

⁺) Die nicht aufgeführten Lebensspuren lassen sich anhand der Angaben, die unter Punkt 13. im 3. Kapitel gemacht werden, zwanglos einfügen.

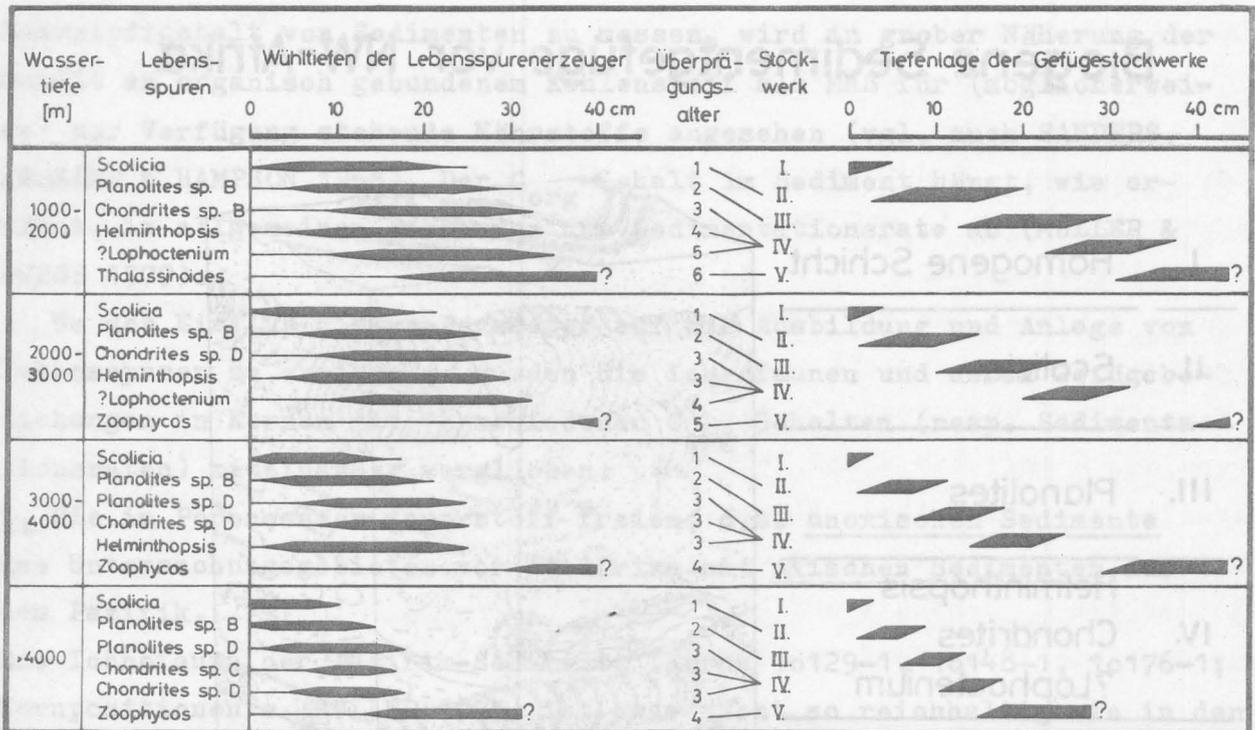


Abb. 4-4 Stockwerkgliederung biogener Sedimentgefüge vor Nordwest-Afrika dargestellt anhand einiger ausgewählter Lebensspuren

sei diese Darstellung durch die Abb. 4-5, die einen "Schemakern" mit einem typischen "Stockwerkgefüge" aus einer Wassertiefe von ungefähr 2.000 m zeigt.

- I. Homogene Oberschicht: Epibionten und kleine Infauna (Meiofauna; CULLEN 1973) homogenisieren die oberste Sedimentschicht. Es sind kaum Gestaltungswühlgefüge erkennbar. Allerdings ist eine technische und/oder präparativ verursachte Zerstörung älterer, konfigurativer Gefüge nicht auszuschließen.
- II. Scolicia-Stockwerk: Vertikal orientierte Röhren, z.B. vom Typ Skolithus, U-förmige Spuren uä., treten neben der gefügebestimmenden Lebensspur Scolicia sp. A auf.
- III. Planolites-Stockwerk: Weit überwiegend Planolites sp. A, B und/oder C. In 3 Fällen konnte eine Vergesellschaftung mit Chondrites sp. A beobachtet werden.
- IV. Kleinbauten-Stockwerk: Lebensspuren der Gattungen Chondrites (sp. B, D und E) und Helminthopsis (sp. A) bestimmen das Bild. Daneben finden sich ?Lophoctenium, Teichichnus und Thalassinoides - mitunter recht häufig.
- V. Zoophycos-Stockwerk: Ausschließlich mit der Lebensspur Zoophycos.

Biogene Sedimentgefüge vor NW-Afrika

- I. Homogene Schicht

- II. Scolicia

- III. Planolites

- IV. Helminthopsis
Chondrites
?Lophoctenium

- V. Zoophycos

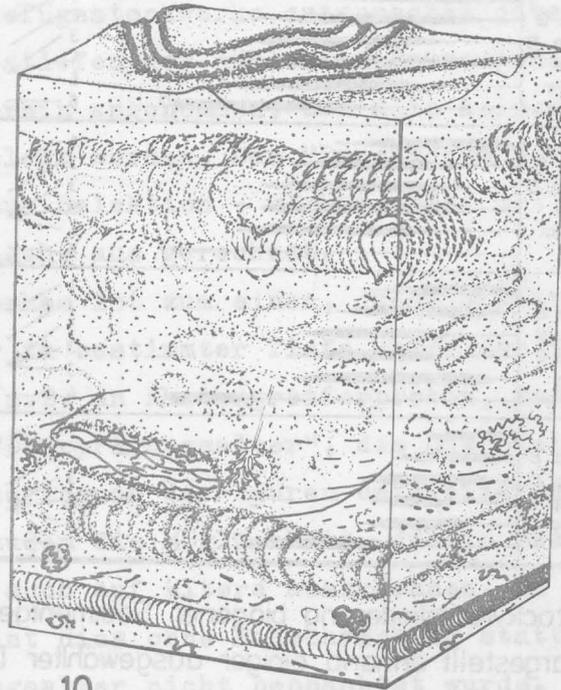
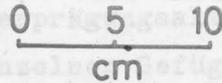


Abb. 4-5



Die Anlage von 5 Gefügestockwerken nacheinander in demselben Sediment, wie sie modellhaft dargestellt wurde, ist in natura nicht sehr häufig zu beobachten. Vielmehr unterliegen Auftreten und Erscheinungsformen der einzelnen Gefügestockwerke zeitlichen Veränderungen. Diese sollen in Abschnitt 5.7. - aufbauend auf der Gliederung der Sedimente mit Hilfe von Lebensspuren - kurz erläutert werden.

Die Ausbildung von Gefügestockwerken in "schlagartig" abgelagerten Sedimenten wie Rutschmassen oder Turbiditen wird in Abschnitt 4.7. erörtert.

4.4. Stockwerkbioturbation als ökologisches Merkmal

Bei mehrfacher Verwühlung derselben Sedimente, also nahezu idealen Bedingungen für die Infauna, ist für das Verhalten der Erzeuger der untersuchten Lebensspuren - zum allergrößten Teil Freißpuren - vor allem das Angebot an Nährstoffen und ihre vertikale Verteilung im Sediment von großer Wichtigkeit (s. 4.2.). Da es bisher nicht möglich ist, den

Nährstoffgehalt von Sedimenten zu messen, wird in grober Näherung der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff als Maß für (möglicherweise) zur Verfügung stehende Nährstoffe angesehen (vgl. auch SANDERS, HESSLER & HAMPSON 1965). Der C_{org} -Gehalt im Sediment hängt, wie erwähnt, im allgemeinen stark von der Sedimentationsrate ab (MÜLLER & SUESS 1979).

Um den Einfluß dieser Parameter auf die Ausbildung und Anlage von Lebensspuren zu ermitteln, wurden die Ichnofaunen und deren Gefügebeziehungen in Kernen mit verschiedenen C_{org} -Gehalten (resp. Sedimentationsraten) miteinander verglichen:

1. Die im Porenwasser sauerstoff-freien, d.h. anoxischen Sedimente des Untersuchungsgebietes vor NW-Afrika mit oxischen Sedimenten aus dem Pazifik.

Die Ichnofauna der Pazifik-Sedimente (Kerne 10129-1, 10148-1, 10176-1; Kernpositionen s. MÜLLER 1975) ist zwar nicht so reichhaltig wie in den Ablagerungen vor NW-Afrika, aber eine Reihe von Spuren ist ebenfalls vorhanden: Planolites, Teichichnus, Chondrites (4 Typen), Zoophycos. Auffällig ist, daß in den Pazifik-Kernen die Überprägungsalter nicht einheitlich sind und sich auch nicht systematisch verändern. Daher können keine Gefügestockwerke unterschieden werden. Die variierenden Überprägungsalter werden auf eine bedeutend geringere Mächtigkeit der durchwühlten Zone (nur ein "Gefügestockwerk") aufgrund spärlich vorhandener Nährstoffe zurückgeführt. Die C_{org} -Gehalte (MÜLLER, Kiel, unveröffentlicht) bestätigen eine solche Annahme: Innerhalb der obersten dm (30-40 cm) des Meeresbodens erreicht die organische Substanz schon so geringe Konzentrationen, daß sie nicht mehr für Makroorganismen verwertbar sein dürfte.

2. Sedimente des Untersuchungsgebietes mit und ohne Stockwerkbioturbation.

Verwühlte Ablagerungen ohne nachweisbare Stockwerkbioturbation aus Wassertiefen >1.000 m weisen zum weitaus größten Teil Verformungswühlgefüge (beachte 5.1.) auf. Derartige Lebensspuren zeigen keine nach unseren Kriterien (s. 4.2.) faßbare Spezialisierung des Verhaltens an. Die beobachteten biogenen "Sedimentwirbel" (WERNER 1968) besitzen Durchmesser bis zu 5 cm, sofern sie überhaupt zu ermitteln sind. Vermutlich werden derartige Gefüge noch in großen Tiefen (bis >0.5 m) angelegt. In Profilabschnitten, in denen solche Verformungswühlgefüge vorherrschen sind nur selten andere Lebensspuren zu beobachten (s. 5.1.).

Sedimente mit derartigen Gefügen zeichnen sich durch hohe Sedimentationsraten ($>10-20 \text{ cm}/1.000 \text{ a}$) und einen hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff ($>2-3\%$) aus.

Es ist anzunehmen, daß in einem solchen Biotop wegen des hohen Angebotes an Nährstoffen auch in größeren Sedimenttiefen kein Zwang zur Optimierung des Verhaltens besteht.

Ein gutes Beispiel für die Ausbildung von Gestaltungs- und Verformungswühlgefügen in Abhängigkeit von C_{org} -Gehalt und Sedimentationsrate geben die Kerne 327-5 und 379-2. Im oberen Kernabschnitt mit Sedimentationsraten von ca. $6 \text{ cm}/1.000 \text{ a}$ und Gehalten um $1\% C_{\text{org}}$ finden sich Gestaltungswühlgefüge mit Chondrites, Planolites, Zoophycos u.a.. Zum Liegenden hin wächst die Sedimentationsrate auf $>10-20 \text{ cm}/1.000 \text{ a}$ (DIESTER-HAASS et al. 1973) und der C_{org} -Gehalt auf $>2\%$ (MÜLLER 1975) an, die Ichnofauna ändert sich: Der Anteil der Verformungswühlgefüge nimmt deutlich zu.

Bei der Bedeutung, die das Angebot an Nährstoffen als limitierender Faktor für die Stockwerkbioturbation hat, liegt natürlich die Vermutung nahe, daß sich zwischen den einzelnen Gefügestockwerken ähnliche Grenzen finden lassen wie zwischen Sedimenten mit und ohne stockwerkartig angelegte Lebensspuren. Auch wenn Wühlgefüge eines Stockwerkes eine bestimmte Stellung ihrer Erzeuger innerhalb des Biotopes kennzeichnen, läßt sich daraus nicht der absolute Gehalt an Nährstoffen im Sediment ableiten, zumal als "Meßgröße" nur der C_{org} -Gehalt zur Verfügung steht (s. auch 5.7.).

Hinsichtlich der vertikalen Verteilung der Nährstoffe im Sediment läßt sich sogar vermuten, daß die Organismen in den einzelnen Stockwerken organische Substanzen unterschiedlicher Zusammensetzung als Nährstoffe verwerten: Leicht abzubauen Verbindungen dürften eher verbraucht werden als schwer aufschließbare (s. 5.7.). Bisher konnte diese Annahme allerdings nicht anhand der vorliegenden Analysendaten organischer Verbindungen aus den Ablagerungen des Untersuchungsgebietes bestätigt werden (MÜLLER, Kiel, frdl. mdl. Mitt.).

4.5. Gefügeprägung und Besiedlungsdichte des Makrobenthos

Setzt man geeignete Bedingungen für eine stockwerkartige Anlage von Lebensspuren voraus, so ist der Grad der Gefügeprägung in einem Stockwerk unter anderem davon abhängig, wieviele Organismen pro Zeiteinheit in diesem Sedimentvolumen wühlen.

Es ist bisher kaum möglich, den Einfluß dieser komplexen Größe zu ermitteln: Einerseits sind wichtige Eigenschaften des Biotopes wie E_h -, p_H -Wert, der Sauerstoffgehalt des Bodenwassers usw. nicht in Zusammenhang mit Organismen oder Lebensspuren gemessen worden; andererseits kennt man die entsprechenden Organismen, deren Populationsdichten und -strukturen kaum. Es ist anzunehmen, daß die Besiedlungsdichten des Makrobenthos in den Sedimenten des Untersuchungsgebietes gering sein dürften:

1. Nach THIEL (1975) sind Werte für die Biomasse anzunehmen, die zwischen $10-30 \text{ g/m}^2$ am höheren Kontinentalhang und $1-5 \text{ g/m}^2$ in der Tiefsee liegen.
2. WETZEL & WERNER (in press) errechnen für Zoophycos erzeugende Organismen eine mittlere Besiedlungsdichte von nur 1-4 Exemplaren auf 1.000 m^2 unter günstigen Bedingungen.
3. In unseren Kernen aus Wassertiefen $>500 \text{ m}$ wurden trotz einer erheblichen Anzahl von Proben (86) selten lebende Organismen gefunden.

Zieht man weiterhin die fleckenhafte Verbreitung der Tiefseefauna (z.B. GRASSLE et al. 1975) in Betracht, so wird deutlich, daß bei nur geringen Biotopunterschieden die zur Verfügung stehende Zeit (resp. die Sedimentationsrate) großen Einfluß auf die Gefügeprägung hat. Setzt man gleichbleibende Populationsdichte und ein ausreichendes Nährstoffangebot voraus, bleiben bei hohen Sedimentationsraten eher Gefüge aus oberflächennahen Stockwerken erhalten, bei niedrigen hingegen überwiegend Spuren der unteren Stockwerke. Bei gleichgerichteter Änderung der Sedimentationsraten werden diese Effekte verstärkt, bei entgegengesetzter verringert.

Dieser Ansatz ist jedoch theoretischer Natur:

1. ist für geringfügige Änderungen der Sedimentationsrate der Grad der Gefügeprägung - die Häufigkeit bestimmter Lebensspuren in einem Profilabschnitt - als Indikator nicht empfindlich genug,
2. beeinflussen starke Änderungen der Sedimentationsrate die Einbettungsrate des C_{org} (s.o.) und damit die Fauna und Ichnofauna, und
3. gehen starke Wechsel der Sedimentationsraten oft mit einer Substratveränderung einher (s. 4.6.).

Wirkung der Sedimentationsrate auf die Gefügeprägung der Hintergrundfauna, die ungefähr Stockwerken entsprechen (s. 3.), in Verbindung mit Abb. 4-4 ableiten (beachte 5.7.).

4.6. Einfluß des Substrates auf seine Verwühlung

Die Korngrößenzusammensetzung hat bekanntlich großen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften der Sedimente und damit auf deren Verwühlbarkeit. Da innerhalb eines Biotopes die Infauna an ein bestimmtes Substrat angepaßt ist, äußern sich zwangsläufig bedeutendere Veränderungen in der Art der Verwühlung und den Ichnozoenosen. Als Extreme können einerseits Sedimente angesehen werden, die Organismen durch peristaltische Bewegungen zu pumpen vermögen, und andererseits solche, deren Verlagerung nur mit Hilfe von Grabwerkzeugen möglich ist.

Bedeutendere Veränderungen des Substrates sollten sich deshalb auch in Form bestimmter Wechsel der Lebensspuren-Gemeinschaften erkennen lassen. Beispiele hierfür aus dem Untersuchungsgebiet sind grobkörnige Ablagerungen wie "Windstaublagen" (s. 5.4.), Tufflagen und Turbidite, die meist weniger oft biogen umgelagert sind als die umgebenden Sedimente. Mit zunehmender Wassertiefe (resp. Landentfernung) und abnehmenden Medianwerten werden Produkte derartiger Ereignisse weniger stark biogen aufgearbeitet als es nach dem Modell von der Stockwerkbioturbation anzunehmen ist (s. Tab. 4-2).

Besonders auffällig sind einige Profilabschnitte mit erhaltener Primärschichtung, die selektiv unverwühlt sind (Abb. 4-6). Diese Lagen werden als - heute halmyrolytisch umgewandelte - Tuffe gedeutet (LANGE, Kiel, frdl. mdl. Mitt.). Es wird angenommen, daß Organismen diese Schichten wegen ihrer Nährstoffarmut sowie der Größe und der Scharfkantigkeit der Partikel nicht nutzten (Kerne 205-1, 207-3, 310-4).

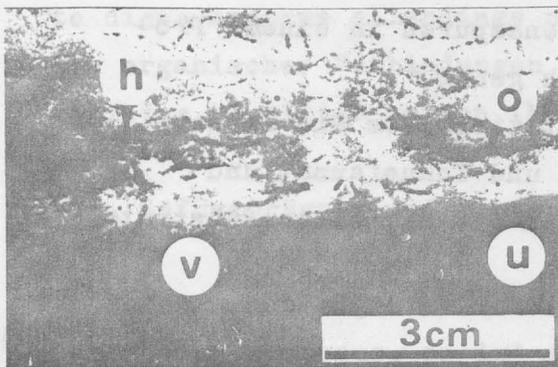


Abb. 4-6 Selektiv unverwühlte Lage
Kern 205-1, 89.5-95 cm

- o Obergrenze der Lage
- u Untergrenze der Lage
- h horizontal orientierte Gangstücke von Chondrites sp. D
- v kurzfristig in die Vertikale umbiegender Gangstücke von Chondrites sp. D

Tabelle 4-2

Kern-Nr.	344-6	586-2	533-3	239-1	331-2(-4)	209-2
Wassertiefe	625 m	665 m	2112 m	3160 m	3570 m	4720 m
Ereignis	Turbidite (Anzahl un- bekannt (1))	Turbidit	"Strömungs- ereignisse"	Turbidit	Turbidite	Turbidit
Mächtigkeit	unbekannt	ca. 40 cm	10-30 cm	ca. 10 cm	6-35 cm	ca. 5 cm
Substrat- veränderung	Grobkörniger; Ereignisse nicht identi- fizierbar (1)	Silikate >63µm bis zu 60% ange- reichert (1)	Fraktion >40µm bis zu 40% ange- reichert	Silikate >20µm bis zu 40% ange- reichert	Fraktion >63µm bis zu 60% ange- reichert (2)	Fraktion >20µm bis zu 25% ange- reichert (1)
Verwühlung						
generell	total	total	nie total	nicht total	nicht total	nicht total
Spuren im Hangenden bis ...	>40 cm	>40 cm	10-15 cm	5-10 cm	um 5 cm	um 3 cm
Basis	unkenntlich	nachweisbar	unverwühlt	unverwühlt	unverwühlt	unverwühlt

(1) LANGE, Kiel, unveröffentlicht; (2) DIESTER-HAASS (1975)

4.7. "Schlagartige" Sedimentation und Bioturbation

Das Modell von der Stockwerkbioturbation gilt für + kontinuierlich abgelagerte Sedimente. In diese sind gelegentlich "schlagartig" abgelagerte Rutschmassen und/oder Turbidite eingeschaltet. Wie machen sich diese bemerkbar? Was geschieht auf den Grenzflächen?

Im flacheren Wasser werden auch schnell abgelagerte Sedimente durch die Fauna aufgearbeitet (größere Wühltiefen, höhere Besiedlungsdichte). Im Tieferen hingegen bleiben solche Sedimente oft unverwühlt (geringere Besiedlungsdichte, speziellere Verhalten; s. 4.2.). Daher werden nur "schlagartig" abgelagerte Sedimente aus Wassertiefen $\gg 1.000$ m betrachtet. Besonders interessant sind die Grenzflächen:

1. Sohlflächen. Im Liegenden ist meist Erosion festzustellen. Da die ungefähre Tiefe, in der die meisten Lebensspuren im Sediment angelegt werden, bekannt ist, kann daraus auf die (minimale) Mächtigkeit des erodierten Sedimentes geschlossen werden (vgl. auch SEILACHER 1962).

Für die im Untersuchungsgebiet beobachteten Fälle (s. 9.4.) läßt sich die Wirkung der Erosion anhand der angegebenen Lebensspuren-Gemeinschaften der Hintergrundfauna, die ungefähr Stockwerken entsprechen (s. 5.), in Verbindung mit Abb. 4-4 ableiten (beachte 5.7.).

2. Oberflächen. Turbidite und Rutschmassen seien getrennt betrachtet:

a) Turbidite sind aufgrund des Substratwechsels in grobkörnigen Abschnitten wenig verwühlt und weisen kaum Lebensspuren auf (s. 4.6.). Diese entsprechen im allgemeinen den im Hangenden auftretenden Wühlgefügen. Feinkörnige Partien sind verwühlt und weisen keine vom Hangenden abweichende Ichnofauna auf.

b) Bei Rutschmassen sind alle Übergänge von nicht bis stockwerkartig verwühlt zu beobachten:

α) Unverwühlt sind Rutschmassen in den Kernen 211-1 und 292-3. Sie werden von Turbiditen überlagert (s.o.).

β) Im Kern 255-3 ist der Übergang von der Rutschmasse zur pelagischen Sedimentation in einem wenig verwühlten Bereich von einigen cm zu vermuten.

γ) Stockwerkartig verwühlt (mit Zoophycos) sind die Rutschmassen in den Kernen 301-3 und 309-3 in den obersten dm.

Die unterschiedliche Verwühlung kann folgende Ursache haben: Das hangende Sediment der Rutschmassen ist verschieden alt. "Älteres" Sediment enthält keine verwertbaren Substanzen mehr, da es schon am Ursprungsort mehrfach gefressen wurde. Es bleibt unverwühlt. Demgegenüber stehen junge Sedimente mit hohem Nährstoffgehalt, die dementsprechend verwühlt werden. Übergänge zwischen beiden Extremen sind möglich.

"Schlagartig" abgelagerte Sedimente stellen also oft eine Unterbrechung der Stockwerkbioturbation dar. Nach solchen Ereignissen ist meist als Reaktion der wühlenden Organismen auf das veränderte Biotop (Substrat, Nährstoffgehalt usw.) eine Änderung ihres Verhaltens (Wühltiefe, Prinzip der Spuren-Anlage usw.) festzustellen (s. auch 5.5., 5.6., 5.7.).

4.8. Einfluß sonstiger Faktoren auf die Bioturbation

Der Vollständigkeit halber seien noch weitere Faktoren genannt, die Einfluß auf die Populationen benthischer Makroorganismen (resp. auf deren Verhalten) haben und damit auf die Verwühlung der Sedimente. Manche Parameter wie Mikrotopographie, Strömungen, Salzgehalt, Temperatur, Suspensionsgehalt usw. können zwar heute ermittelt werden, aber Messungen in Zusammenhang mit Lebensspuren oder wühlenden

Makroorganismen liegen aus dem Untersuchungsgebiet bisher nicht vor.

Bisher können aus den Sedimentgefügen nur andeutungsweise Rückschlüsse auf den Sauerstoffgehalt des bodennahen Wassers gezogen werden. Ein Beispiel ist das Bauprinzip von Zoophycos: Spreiten mit einschlenkligem Gang (J-Typ) weisen auf höhere, solche mit doppelschenkligem Gang (U-Typ) auf niedrigere Gehalte an verfügbarem Sauerstoff hin (s. 5.6.). Es können, da es bisher an Meßwerten fehlt, nur relative Angaben gemacht werden.

- | | |
|-----------|---|
| Euxinisch | - Geschichte Sedimente, (unterer Teil von Kern 557-1);
Fehlende Bioturbation, O ₂ fehlt im Bodenwasser; |
| ↓ | |
| Anoxisch | - Geschichtete Sedimente + Verformungswühlgefüge,
(oberer Teil von Kern 557-1);
Pectinaria sp. mit "Schornstein", der über O ₂ -verarmte
Bodenwasserschicht hinausreicht; |
| ↓ | |
| | - Verformungswühlgefüge, (Kern 212), (beachte 4.4.); |
| | - Verformungswühlgefüge, Planolites, Zoophycos (U-Typ),
(Kern 211-1); |
| | - Gestaltungswühlgefüge, Zoophycos (J-Typ), (Kern 329-6); |
| ↓ | |
| Oxisch | - Geringmächtige durchwühlte Zone, variierende Überprä-
gungsalter - keine Stockwerkbioturbation i.e.S.,
(Kern 10176-1); |

4.9. Kontinuität von Gefügebereichen

Um Vorkommen und Verbreitung von Lebensspuren in Kernen bewerten zu können, wurde untersucht, inwieweit ein Profilabschnitt durch das Auftreten bestimmter Lebensspuren charakterisiert wird. Dazu wurden verschiedene Profile verglichen (1) an einem Kern parallel zueinander (jeweils 7, 11 oder 15 cm breit) und rechtwinklig zueinander (immer 15 cm breit) und (2) an mehreren Kernen von derselben Station. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

(1) Profilvergleiche an einem Kern:

Die betrachteten Profilabschnitte sind gegeben durch eine Lebensspur und einen Streifen von + 2 cm.

Gestalt, Größe, Orientierung und Häufigkeit der betrachteten Lebensspuren haben großen Einfluß darauf, ob eine Spur im Vergleichsprofil angetroffen wird oder nicht. Weiterhin wird in Parallelprofilen aus geometrischen Gründen mit größerer Wahrscheinlichkeit dieselbe Lebensspur angetroffen als in Profilen rechtwinklig zueinander. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

- 1) Flächenhaft angelegte, bevorzugt horizontal orientierte Lebensspuren sind im Mittel zu > 90% in den Vergleichsprofilen anzutreffen - Häufigkeit der Lebensspuren und Lage der Profile zueinander sind ohne Einfluß.
 - a) Spreiten: ?Lophoctenium, Zoephycos;
 - b) Gangsysteme: Chondrites sp. A, C, D und E, Helminthopsis;
- 2) bevorzugt horizontal orientierte Gänge a) und vertikal orientierte, längliche Spreiten b) sind generell nicht so oft wie 1) im Vergleichsprofil vorhanden
 - α) bei häufigem Auftreten (≥ 3)⁺ zu 60-100% (unabhängig von der Lage der Profile);
 - β) bei seltenerem Auftreten (≤ 2)⁺ in Profilen
 - parallel zueinander zu 60-80%, und in Profilen rechtwinklig zueinander zu 50-70%;
- a) Planolites, Scolicia;
- b) Teichichnus;
- 3) bevorzugt vertikal orientierte Lebensspuren mit geringer horizontaler Erstreckung werden im Vergleichsprofil relativ seltener angetroffen als 1) oder 2). Einen Überblick gibt Tabelle 4-3.

Tabelle 4-3

Spurentyp	Häufigkeit	Schnittlage		Name
		//	⊥	
U-Gänge, U-Spreiten	selten	30-50%	< 30%	Arenicolites Corophioides
Röhren, groß ($\varnothing > 0.8$ cm)	häufig (≥ 6) ⁺	> 50%	> 50%	Skolithus
	selten (≤ 2) ⁺	< 30%	< 10%	
Röhren, klein ($\varnothing < 0.1$ cm)	häufig (≥ 8) ⁺	> 80%	> 80%	Trichichnus
	selten (≤ 2) ⁺	30-60%	30-60%	

(2) Profilvergleiche an Kernen von derselben Station:

Bei einem solchen Vergleich müssen Orientierung und Häufigkeit der Lebensspur, die Wühltiefe der erzeugenden Organismen, die Entfernung der Kerne voneinander - z.B. durch Veränderungen der Wassertiefe abzuschätzen - und die Mächtigkeit der betrachteten Profilabschnitte berücksichtigt werden. Für die Analyse wurden 30 Kernmeter von 10 Stationen in 8 Vergleichen bearbeitet.

⁺ Exemplare/Profilabschnitt

In den verschiedenen Kernen von einer Station wurde versucht, Profilabschnitte, in denen eine Lebensspur vorherrscht, miteinander zu korrelieren. Es ergibt sich folgendes:

1. Die meisten Profilabschnitte ließen sich innerhalb bestimmter Toleranzbereiche gut miteinander korrelieren. Eine Ausnahme bilden die Kerne der Station 331, die eine unterschiedliche Anzahl verschieden mächtiger Turbidite enthalten.
2. Je mächtiger ein Profilabschnitt mit einer Lebensspur ist, desto besser ist eine Korrelation möglich. Allerdings treten mitunter zwischen den Vergleichsprofilen recht beachtliche Schwankungen hinsichtlich der Anzahl der angetroffenen Lebensspuren auf (bis Faktor 10).
3. Die Größe der Toleranzbereiche ist abhängig von der Wühltiefe der erzeugenden Organismen und der Mächtigkeit des zugehörigen Gefügestockwerkes. Generell läßt sich für flach unter der Sedimentoberfläche angelegte Spuren der Toleranzbereich ungefähr mit der einfachen Wühltiefe der erzeugenden Organismen angeben, für tiefer angelegte Spuren mit der Mächtigkeit des Gefügestockwerkes (resp. 1/2 der Wühltiefe). Da flach angelegte Spuren öfter überprägt werden können als tiefer angelegte, sind in den Grenzbereichen eines Profilabschnittes mit flach angelegten Spuren relativ zur Wühltiefe größere Toleranzen zu erwarten.
4. Die verschiedenen Lebensspuren sind unterschiedlich korrelierbar: Größe, Orientierung und Häufigkeit sind von Bedeutung (s. Tab. 4-4).

Tabelle 4-4

Lebensspurentyp	Lebensspurengattung	Toleranzbereich	Korrelation	Häufigkeitskriterium
Spreiten	Zoophycos	ca. 1/2 Wühltiefe	70-100%	Nicht erforderlich
	?Lophocentrum	ca. 1/2 Wühltiefe	60-100%	Nicht erforderlich
Gangsysteme	Chondrites sp. C und D	Stockwerkmächtigkeit	60-100%	Nicht erforderlich
	Helminthopsis	Stockwerkmächtigkeit	60-100% 40-60% 30%	%-Flächenanteile in Radiographie > 15 5-15 < 5
Gänge	Planolites	Wühltiefe	60-100% 40-70%	Mächtigkeit des Profilabschnittes > 20 cm > 10 cm
	Scolicia	Wühltiefe	50-100% 30-60%	Mächtigkeit des Profilabschnittes > 20 cm > 10 cm

5. Bevorzugt vertikal orientierte, größere Lebensspuren oder Teile von Lebensspuren ($>3 \text{ mm } \emptyset$) können in Profilvergleichen nicht mit einbezogen werden, da die Chance, sie wiederholt anzutreffen, zu gering ist. Nur bei Trichichnus ist eine Korrelation mehr oder minder gut möglich, da die durch die Wühltiefe vorgegebenen Toleranzbereiche außerordentlich groß sind (Wühltiefe bis $>1 \text{ m}$).

Toleranzbereich 0.5-1.0 m; Korrelation 30-90%.

Eine Häufigkeitsabhängigkeit ist zwar zu vermuten, aber nicht sicher nachweisbar.

5. Gliederung der Sedimente mit Hilfe von Lebensspuren

Durch Vergleich von zeitlichem Auftreten und Verbreitung der einzelnen Wühlgefüge wurden Lebensspuren oder Lebensspuren-Gemeinschaften ermittelt, die für Profilabschnitte typisch sind. Die in den verschiedenen Gemeinschaften dominierenden Wühlgefüge gehören verschiedenen Stockwerken und/oder Verhaltensgruppen an.

Daß die benthischen Infauna-Populationen von sehr vielen Faktoren beeinflusst werden, die meist nicht unabhängig voneinander wirken und deren Wirkungsweisen oft so gut wie unbekannt sind (s. 4.8.), ist zu berücksichtigen. Weiterhin ist für die Ausdeutung der biogenen Gefüge wichtig, daß die in den Kernen vorgefundenen Lebensspuren-Gemeinschaften keineswegs Vergesellschaftungen ungefähr gleichzeitig lebender

Organismen widerspiegeln. Denn aufgrund der unterschiedlichen Wühltiefen der Lebensspuren erzeugenden Organismen können flach im Sediment angelegte ältere und tiefer unter der Sedimentoberfläche erzeugte jüngere Wühlgefüge nebeneinander vorkommen. Anhand der ermittelten Wühltiefen (s. 4.3.) war es jedoch möglich, die ökologischen Beziehungen der Lebensspuren untereinander zu rekonstruieren und in Profilen darzustellen. Die Anwendung dieser Methode auf einzelne - vor allem tief im Sediment angelegte - Wühlgefüge wird an Ort und Stelle (s. 5.5., 5.6.) eingehender erörtert. Zur Ermittlung der ökologischen Gegebenheiten wurden Gefüge und "Lebenszeit-Profile" mit diversen Parametern verglichen.

Die im folgenden beschriebenen Lebensspuren-Gemeinschaften sind als Kennzeichen für ein bestimmtes Biotop aufgrund der zahlreichen, unterschiedlich wirksamen Umweltfaktoren nicht gleichwertig. Folgen-

de Kategorien sind zu unterscheiden:

- (1) Verformungswühlgefüge (5.1.): Ihr Vorhandensein schließt das Auftreten von Gestaltungswühlgefügen weitgehend aus. Unterhalb der in 5.1. angegebenen Grenzwerte treten Gefüge der Kategorien (2) und (3) auf.
- (2) "Hintergrundfauna": Gestaltungswühlgefüge, die vor allem eine Korngrössenspezifität der erzeugenden Organismen vermuten lassen, prägen oft die Gefüge längerer Profilabschnitte. Die entsprechenden Gemeinschaften (5.2., 5.3., 5.4.) wechseln einander ab.
- (3) "Überlappungsfauna": Gestaltungswühlgefüge, die verhältnismäßig viel tiefer und weniger dicht im Sediment angelegt werden, treten weitgehend unabhängig von den Gefügen der Kategorie (2) auf (5.5., 5.6.). Sie sind seltener zu beobachten als diese.

Eine Generalisierung des regionalen und zeitlichen Auftretens der Lebensspuren-Gemeinschaften findet sich in Abb. 5-4. - Die Vorkommen der Lebensspuren-Gemeinschaften in den einzelnen Kernen sind schematisch im Anhang 9.3. wiedergegeben, Bildbeispiele (Radiographien) dazu enthält Anhang 9.4..

Auf eine Übernahme des "Ichnofazies"-Begriffes wurde verzichtet, da die Vielfalt der ausgeschiedenen Lebensspuren-Gemeinschaften die Untergliederung bestehender oder die Einführung neuer Fazies (z.B. für Verformungswühlgefüge) nötig gemacht hätte. Zudem ist das Phänomen der Kombination von Hintergrund- und Überlappungsfauna nach dem "Fazies-Gedanken" schwer faßbar, da nicht "die Gesamtheit eines Einzelmerkmales (Gefüge) eines geologischen Körpers definierten Bereiches in seinem jetzigen Zustand" (MURAWSKI 1972) beschrieben wird.

5.1. Verformungswühlgefüge

Profilabschnitte, in denen Verformungswühlgefüge vorherrschen, treten in Wassertiefen über 1.000 m im Untersuchungsgebiet nur lokal auf. Im flacheren Wasser hingegen sind sie weit verbreitet, besonders in schnell abgelagerten und/oder sandigen Sedimenten und Schillen (s. 3.). Verformungswühlgefüge in Sedimenten aus größeren Wassertiefen wurden bisher kaum beschrieben und ökologisch gedeutet. Auf sie beziehen sich die in Tab. 5-1 angegebenen Werte. Derartige Verformungswühlgefüge

können am besten als biogene "Sedimentwirbel" (WERNER 1968) mit sehr variablem Querschnitt beschrieben werden (s. 9.4. A). Sie unterscheiden sich darin deutlich von landfernen und/oder in der Tiefsee vorkommenden Sedimenten, die arm an Gestaltungswühlgefügen sind. Letzteres beruht einerseits auf einer Kondensation der Gefügestockwerke und andererseits auf zu geringen Korngrößenunterschieden der Sedimente. Diese sind nämlich die Voraussetzung für die Erzeugung (zumindest in Radiographien) sichtbarer Lebensspuren. Denn bis auf Hohlformen beruhen alle Beobachtungen von Lebensspuren im Untersuchungsgebiet auf Korngrößenselektion durch die Lebensspuren erzeugenden Organismen.

Bei den hier erörterten Verformungswühlgefügen des mittleren und unteren Kontinentalhanges ist, wie erwähnt, die Gefügeprägung vom Nährstoffangebot abhängig, mit wachsendem C_{org} -Gehalt nimmt der Anteil der Gestaltungswühlgefüge ab. Eine Auswertung des NW-afrikanischen Kernmaterials ergibt folgende Beziehungen (Tab. 5-1):

<u>Tabelle 5-1</u>	C_{org} (%)	<u>Verformungswühlgefüge</u> <u>Gestaltungswühlgefüge</u>
	<1.5	0:1
	1.5-2.0	3:2
	2.0-2.5	4:1
	>2.5	1:0

Der Typ der erhaltenen Gestaltungswühlgefüge richtet sich ungefähr nach dem Sedimenttyp: In Sedimenten mit <30% der Fraktion >20 μ m der Silikate herrschen Lebensspuren der Planolites-Gemeinschaft vor (s. 5.3.), während bei einem Anteil von >30% der Fraktion >20 μ m der Silikate eher Lebensspuren zu finden sind, die der Scolicia-Gemeinschaft (s. 5.4.) zugerechnet werden können. Diese Tendenz der Abhängigkeit von der Korngröße der begleitenden Spuren ist auch im Hangenden und Liegenden von Profilabschnitten mit Verformungswühlgefügen festzustellen. Die beobachteten vertikalen Übergänge zu anderen Lebensspuren-Gemeinschaften sind auch im lateralen Sinn anzunehmen. Landwärts besteht die Tendenz zur Scolicia-Gemeinschaft, seewärts zur Planolites-Gemeinschaft.

Verformungswühlgefüge kennzeichnen Sedimente mit einem hohen Gehalt an Nährstoffen. Daher ist wahrscheinlich die Spezialisierung des Verhaltens der entsprechenden Infauna-Organismen gering, sodaß keine Gestaltungswühlgefüge angelegt werden (s. 4.4.).

Im Untersuchungsgebiet konnten Sedimente mit Verformungswühlgefügen in 2 Gebieten (s. Abb. 5-4) gefunden werden. Beide zeichnen sich einerseits durch erhöhte Primärproduktion und andererseits durch hohe Sedimentationsraten aus. Letzere sind nötig, um organische Substanzen im Sediment zu erhalten (MÜLLER & SUESS 1979):

(1) Vor Flußmündungen (gelöste und suspendierte Flußfracht) im Bereich der Mündungen von Senegal, Gambia und Casamance. Die Verformungswühlgefüge treten in Wassertiefen zwischen 1.000 und 3.500 m auf. Ihre zeitliche Einstufung ist bisher nur schlecht möglich, da stratigraphische Untersuchungen an entsprechenden Kernen noch ausstehen. Aus der Abfolge der Lebensspuren-Gemeinschaften im Profil, etwa die relative Lage der Verformungswühlgefüge zu den "Windstaub-Lagen", läßt sich ableiten, daß es sich um humide Perioden (Warmzeiten - Stadium 1, 3 usw.) handelt. Aus Analogiegründen wird diese Annahme auch auf Kerne übertragen, die keine Scolicia-Profilabschnitte (s. 5.4.) enthalten (212, 218).

(2) In Auftriebsgebieten mit starker Sedimentation: Vor Cap Blanc und Cap Barbas sind verstärkt Auftriebsphänomene und hohe Sedimentationsraten während der letzten kalten Klimaphase (Stadium 2) beschrieben worden. Die entsprechenden Profilabschnitte weisen alle hohe oder erhöhte Werte für Radiolarien und Benthos auf (DIESTER-HAASS 1975; DIESTER-HAASS et al. 1973; THIEDE 1977). Die erhöhten Sedimentationsraten beruhen einerseits auf der Zufuhr äolischen Materials (KOPPMANN 1979) und andererseits auf hangabwärts gerichtetem Einzelkorn-Transport (BEIN & FÜTTERER 1977; LUTZE et al. 1979). Die Verformungswühlgefüge treten in Wassertiefen zwischen 2.000 und 3.000 m auf. Sie werden überwiegend ins Stadium 2 eingestuft, sind aber auch schon - zusammen mit Lebensspuren der Planolites- oder Scolicia-Gemeinschaft - im Handgenden des Stadium 3 zu finden.

Es gelang leider nicht, Kriterien zu finden, die eine Unterscheidung von Verformungswühlgefügen in Auftriebsgebieten und vor Flußmündungen ermöglichen.

Das Manuskript (Kern 28) wird dem Sauerstoff-Gebiet zugeordnet; MÜLLER, Kiel, unveröffentlicht)

5.2. Vertikalspreiten-Gemeinschaft

In Profilabschnitten, in denen diese Gemeinschaft vorherrscht, werden die Gefüge durch Lebensspuren der Gattungen *Corophioides*, *?Lophoctenium*, *Teichichnus* und teichichnusähnliche Spreiten bestimmt. Daneben finden sich verbreitet *Scolicia* sp. A (oft kleinlumig, ~ 2 cm \emptyset), *Helminthopsis* sp. A, *Planolites* sp. A und B (mitunter recht häufig) und gelegentlich *Thalassinoides*.

Das Gefügebild dieser Gemeinschaft ist innerhalb des Untersuchungsgebietes recht unterschiedlich. Die Ursache dafür ist einerseits die vergleichsweise große Anzahl der dazugehörigen Lebensspuren und andererseits die unterschiedliche Art der Gefügeprägung: Zwischen markanten Gestaltungswühlgefügen (s. 9.4. B) und nur andeutungsweise erkennbaren (s. 9.4. C) sind alle Übergänge zu beobachten. Für letztere ist eine Lamination des Sedimentes typisch, die sich schwer von Biostratifikation abgrenzen läßt. Da diese laminierten Gefüge aber *Scolicia* und *Planolites* manchmal überprägen, werden sie summarisch als Spreiten oder Spreitenreste in untypischer Schnittlage gedeutet. Sie sind also nicht - im Gegensatz zu Verformungswühlgefügen - als Produkte wenig qualifizierten Verhaltens anzusehen.

Die Vertikalspreiten-Gemeinschaft tritt bevorzugt in ca. 1.000 m Wassertiefe in mächtigen (> 0.5 m) Profilabschnitten auf. Sie kann aber sowohl bis zu maximal 3.000 m Wassertiefe in geringmächtigen Profilabschnitten (< 20 cm) gefunden werden, als auch bis herauf zu 500 m Wassertiefe. Allerdings ändert sich das Spektrum der auftretenden Lebensspuren (s. 4.1.): In größeren Wassertiefen herrschen *?Lophoctenium* und teichichnusähnliche Spreiten vor, von *Thalassinoides* und *Helminthopsis* sp. A (*Planolites* sp. A und B) begleitet. Um 1.000 m Wassertiefe findet sich die oben beschriebene Ichnozoenose. Der Übergang zwischen diesen beiden Bereichen konnte aufgrund fehlender Proben (s. 9.2.) nicht beobachtet werden.

Seewärts verzahnt die Vertikalspreiten-Gemeinschaft mit der *Scolicia*-Gemeinschaft. In Wassertiefen < 1.000 m treten mehr und mehr Verformungswühlgefüge in den Vordergrund, begleitet von einer Veränderung der Ichnofauna (s. 4.1.) - *Helminthopsis* sp. B, *Scolicia* sp. B, vertikal orientierte Röhren und kleine, untypische, vielfach gewundene Gänge, gelegentlich *Thalassinoides*.

Im Liegenden und Hangenden der Vertikalspreiten-Gemeinschaft befindet sich in Sedimenten kalter Klimaphasen meist die Scolicia-Gemeinschaft, in warmzeitlichen Sedimenten hingegen die Planolites-Gemeinschaft.

Regional beobachtet wurde die Vertikalspreiten-Gemeinschaft zwischen Cap Verde und Cap Barbas in über 90% der betreffenden Profile in kaltzeitlichen Sedimenten (Liegendes des Stadium 1 und Stadium 2), und zwar zu über 60% in Kernen aus Wassertiefen um 1.000 m.

Die regionale Verbreitung zeigt, daß sich die Vertikalspreiten-Gemeinschaft bevorzugt in größeren Sedimenten mit einem sehr hohen Anteil an terrigenem Material in der Sandfraktion findet (Daten nach LANGGE, Kiel, unveröffentlicht; DIESTER-HAASS 1975; Kiel, unveröffentlicht), in ca. 1.000 m Wassertiefe >40% der Fraktion >20µm der Silikate und >70% terrigenem Material - in größeren Wassertiefen sind geringere Werte anzunehmen. Das Biotop ähnelt - zumindest seiner Korngrößenzusammensetzung nach - recht stark dem der Scolicia-Gemeinschaft. Die Sedimentationsraten sind meist höher (>40 cm/1.000 a in 1.000 m Wassertiefe) als in den Scolicia-Profilabschnitten.

Die Vertikalspreiten-Gemeinschaft ist ökologisch noch nicht eindeutig zu interpretieren, zumal von den betreffenden Kernen Untersuchungsergebnisse der Geochemie, Komponentenanalyse und Mikropaläontologie bisher nicht vorliegen. Mehrere Deutungsmöglichkeiten sind denkbar:

(1) Bemerkenswert ist die Ähnlichkeit der zeitlichen Verbreitung dieser Gemeinschaft mit Zoophycos (s. 5.6.): Sie tritt bevorzugt in kaltzeitlichen Sedimenten auf, im Gebiet zwischen Cap Blanc und Cap Barbas jedoch auch in holozänen. Daher könnte diese Gemeinschaft ein Äquivalent von Zoophycos in geringeren Wassertiefen darstellen und von ähnlichen Umweltfaktoren beeinflusst werden (s. 5.6.).

(2) Die in dieser Gemeinschaft vertretenen Lebensspuren weisen auf ein hochspezialisiertes Verhalten der erzeugenden Organismen hin: Spreitenanlegen, Korngrößenselektion, Atemwassersystem und die (zumindest teilweise) Nutzung von Oberflächensedimenten. Trotz dieser Spezialisierungen werden vergleichsweise nur geringe Wühltiefen erreicht (s. 3. Kap.). Dies und der geringe Durchmesser der daneben vorkommenden Scolicia-Gefüge zeigen ungünstige Bedingungen für die Infauna an. Da das Nährstoffangebot ausreichend sein dürfte (Kern 280-2 mit ~1% C_{org} im entsprechenden Abschnitt; MÜLLER, Kiel, unveröffentlicht) wird der Sauerstoff-Ge-

halt des Bodenwassers als limitierender Faktor angenommen: Heute wird im Gebiet vor Cap Blanc ein Sauerstoff-Minimum zwischen 100-300 und 700-900 m Wassertiefe beobachtet (WEICHART 1974). Möglicherweise konnte sich während kalter Klimaphasen bei tiefer liegendem Meeresspiegel und veränderter Wassermassenzirkulation (s. 5.7.) bei gleichzeitig erhöhter C_{org} -Akkumulation (HARTMANN et al. 1976) ein Sauerstoff-Minimum in Wassertiefen um 1.000 m ausbilden. Dies ließe eine + gleichförmige Verbreitung dieser Gemeinschaft vermuten. Demgegenüber steht jedoch die Beobachtung, daß diese Gemeinschaft vor Cap Blanc und nördlich davon in Sedimenten unterschiedlichen Alters vorkommt. Allerdings kann dies eventuell auf einer Substratspezifität der erzeugenden Organismen beruhen.

Unabhängig von diesen Deutungen kann die Vertikalspreiten-Gemeinschaft im Untersuchungsgebiet als typisch für Sedimente angesehen werden, die in rund 1.000 m Wassertief während kalter Klimaphasen abgelagert wurden.

5.3. Planolites-Gemeinschaft

Diese Gemeinschaft wird zur Hintergrundfauna gerechnet. Verschiedene Typen von Planolites-Gefügen treten in den entsprechenden Profilabschnitten je nach Wassertiefe und Landentfernung auf:

In Wassertiefen zwischen ca. 1.000 und 2.000 m herrschen Planolites sp. B (und gelegentlich sp. A) vor, vereinzelt tritt sp. D auf. Helminthopsis sp. A ist relativ häufig.

In größeren Wassertiefen nimmt der Anteil von Planolites sp. C und E zu, von sp. A ab. Insgesamt sind kleiner dimensionierte Planolites - auch innerhalb einer "Größengruppe" - häufiger. Helminthopsis sp. A tritt spärlicher auf.

In sehr landfernen Kernen (207, 208, 209, 331) nimmt der Anteil weniger gut erkennbarer Gestaltungswühlgefüge, die der Planolites-Gemeinschaft angehören dürften, zu. Das Phänomen der weniger guten Identifizierbarkeit von Wühlgefügen in derartigen Sedimenten wurde in Abschnitt 5.1. erörtert.

Eine ungefähr gleichartige Zusammensetzung der Planolites-Gemeinschaft ist sowohl innerhalb eines Kernes in verschiedenen Profilab-

schnitten festzustellen, als auch in Kernen, die in ungefähr gleicher Landentfernung und Wassertiefe entnommen wurden.

Vertikal geht diese Gemeinschaft innerhalb eines Profiles entweder in die Scolicia-, die Vertikalspreiten-Gemeinschaft oder Verformungswühlgefüge über. Überlappungsf fauna kann wahlweise mit oder ohne Wechsel der Hintergrundfauna auftreten.

Landwärts besteht die Tendenz, mit der Scolicia-Gemeinschaft zu verzahnen, seewärts ändert sich meist nur das Spektrum der auftretenden Planolites-Typen (s.o.).

Das Auftreten der Planolites-Gemeinschaft und ihre vertikalen Übergänge in den verschiedenen Kernen ist der Abb. 5-4 und dem Anhang 9.3. zu entnehmen.

Die Planolites-Gemeinschaft tritt danach im allgemeinen nur in Sedimenten auf, die mehr als 40-50% der Fraktion $< 2\mu\text{m}$ der Silikate enthalten (Daten nach LANGE, Kiel, unveröffentlicht). Der Übergang von der Planolites- zur Scolicia-Gemeinschaft bei zunehmend gröberem Sediment, sowohl innerhalb eines Profiles als auch lateral, mag dafür als Beleg dienen (s. Abb. 5-1). Andere Analysendaten (etwa C_{org}) lieferten keine Anhaltspunkte für die Veränderung der Hintergrundfauna. Dies kann mit der Merkmalsarmut von Planolites zusammenhängen und der damit verbundenen größeren Anzahl möglicher, solche Lebensspuren erzeugender Organismen, die an verschiedene Umweltbedingungen angepaßt sein können. GRIGGS et al. (1969) bilden eine Reihe von Infauna-Organismen ab, die sehr unterschiedlichen taxonomischen Gruppen angehören und "mottled structures" zugeordnet werden, als die Planolites-Gefüge in der Regel im frischen Sediment zu erkennen sind.

Im Untersuchungsgebiet ist die Planolites-Gemeinschaft sehr weit verbreitet. Sie kann bereits ab ca. 1 km Wassertiefe auftreten. In Sedimenten, in denen auch die Scolicia- oder Vertikalspreiten-Gemeinschaft auftritt, findet sich die Planolites-Gemeinschaft als Hintergrundfauna bevorzugt in warmzeitlichen Sedimenten, sofern nicht ihrer statt Verformungswühlgefüge angelegt worden sind. Im tieferen Wasser werden Planolites-Gefüge permanent als Hintergrundfauna erzeugt.

5.4. Scolicia-Gemeinschaft

Diese Gemeinschaft wird zur Hintergrundfauna gerechnet. *Scolicia* sp. A tritt in den entsprechenden Profilabschnitten gefügebestimmend auf (s. Abb. 3-9 und 9.4. E). Hinzu treten verbreitet, mitunter sogar häufig *Helminthopsis* sp. A, weiterhin *Planolites* sp. B und seltener sp. A. In den Übergangsbereichen zu anderen Lebensspuren-Gemeinschaften oder bei nicht so deutlicher Ausbildung der *Scolicia*-Gemeinschaft finden sich teichichnusähnliche Spreiten und in manchen Kernen *Thalassinoides*. - Unterschiedliche Überlappungsfauna kann hinzutreten.

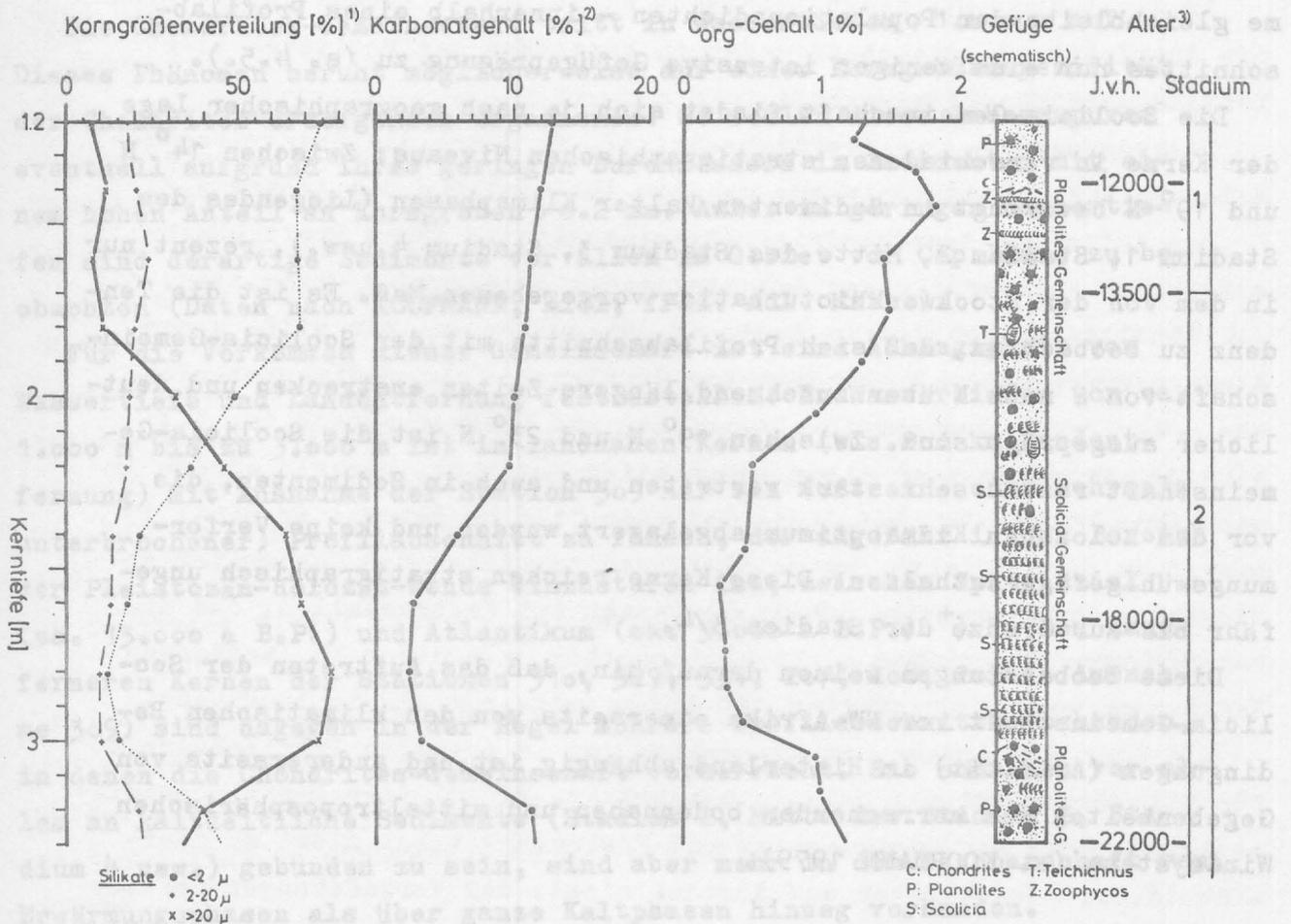
Vertikal geht die *Scolicia*-Gemeinschaft in größeren Wassertiefen (>1.000 m) in die *Planolites*-Gemeinschaft oder Verformungswühlgefüge über, in geringeren in letztere oder die Vertikalspreiten-Gemeinschaft.

Seewärts verzahnt die *Scolicia*-Gemeinschaft meist mit der *Planolites*-Gemeinschaft, landwärts hingegen mit der Vertikalspreiten-Gemeinschaft.

Die *Scolicia*-Gemeinschaft findet sich vor NW-Afrika vor allem in bräunlich gefärbten, nicht-bindigen Sedimenten aus Wassertiefen >1 km zwischen 14° N und 23° N bis zu einer Landentfernung von ca. 250 km in allen hinreichend langen Kernen. Die entsprechenden Profilabschnitte, "Lagen", enthalten in der Regel mehr als 40-50% der Fraktion >20µm der Silikate (Daten nach LANGE, Kiel, unveröffentlicht). Je nach Wassertiefe dürften die Werte - hier für 2-3 km angegeben - etwas höher (flacher) oder niedriger (tiefer) liegen. Der sehr hohe Anteil von terrigenen Silikatpartikeln (bis >90%, KOOPMANN, Kiel, frdl. mdl. Mitt.) verursacht ein relatives Minimum des C_{org} und des Karbonatgehaltes (Daten nach DIESTER-HAASS 1975; MÜLLER 1975; MÜLLER, Kiel, unveröffentlicht; eigene Bestimmungen). Exemplarisch ist in Abb. 5-1 ein entsprechender Profilabschnitt dargestellt. - Sedimente mit diesen Merkmalen gehen vor NW-Afrika im wesentlichen auf die erheblich verstärkte Zufuhr von äolisch transportiertem Silt zurück.

Das Zurücktreten von Lebensspuren tieferer Gefügestockwerke, deren Erzeuger an ein an Nährstoffen verarmtes Sediment angepaßt sind (s. auch 5.6.), kann wie folgt gedeutet werden:

(1) Die durch die *Scolicia*-Gemeinschaft charakterisierten Sedimente weisen andere mechanische Eigenschaften auf als Ablagerungen mit einem geringeren Silt-Gehalt. Der verminderte Ton-Anteil begünstigt einerseits das Wühlen der mutmaßlichen *Scolicia*-Erzeuger, irregulären



1) Daten nach LANGE (Kiel), unveröffentlicht 2) Daten nach DIESTER-HAASS (1975) 3) Daten nach KOOPMANN (1979)

Abb. 5-1 Profilabschnitt 120-330 cm von Kern 347-2 mit Planolites- und Scolicia-Gemeinschaft. Der Kern ist vor der Senegal-Mündung in etwa 2.700 m Wassertiefe entnommen worden.

Die Gefüge sind schematisch dargestellt; Bildbeispiele zu den Lebensspuren-Gemeinschaften sind im Anhang 9.4. (D, E) zu finden.

In dem Abschnitt, in dem die Scolicia-Gemeinschaft gefügebestimmend auftritt, ist der Silikatanteil $> 20 \mu\text{m}$ drastisch erhöht, Karbonat- und C_{org} -Gehalt hingegen weisen ein relatives Minimum auf.

Die Übergänge zur Planolites-Gemeinschaft sind gut zu erkennen.

Echiniden, im Sediment (BROMLEY & ASGAARD 1975) und hemmt andererseits die Tätigkeit von Organismen, die Sediment durch peristaltische Bewegungen verlagern ("pumpen"; TAIT 1971).

(2) Die relativ erhöhten Sedimentationsraten lassen - unter der Annah-

me gleichbleibender Populationsdichten - innerhalb eines Profilabschnittes nur eine weniger intensive Gefügeprägung zu (s. 4.5.).

Die Scolicia-Gemeinschaft findet sich je nach geographischer Lage der Kerne in verschiedenen stratigraphischen Niveaus: Zwischen 14° N und 19° N bevorzugt in Sedimenten kalter Klimaphasen (Liegendes des Stadium 1, Stadium 2, Mitte des Stadium 3, Stadium 4 usw.), rezent nur in dem von der Stockwerkbioturbation vorgegebenen Maß. Es ist die Tendenz zu beobachten, daß sich Profilabschnitte mit der Scolicia-Gemeinschaft von S nach N über zunehmend längere Zeiten erstrecken und deutlicher ausgeprägt sind. Zwischen 19° N und 23° N ist die Scolicia-Gemeinschaft rezent sehr stark vertreten und auch in Sedimenten, die vor dem holozänen Klimaoptimum abgelagert wurden und keine Verformungswühlgefüge enthalten. Diese Kerne reichen stratigraphisch ungefähr bis zur Grenze der Stadien 3/4.

Diese Beobachtungen weisen darauf hin, daß das Auftreten der Scolicia-Gemeinschaft vor NW-Afrika einerseits von den klimatischen Bedingungen (Aridität) im Hinterland abhängig ist und andererseits von Gegebenheiten des herrschenden bodennahen und mitteltroposphärischen Windsystems (s. KOOPMANN 1979).

5.5. Chondrites-Gemeinschaft

Der Chondrites-Gemeinschaft werden nur die bevorzugt horizontal orientierten Lebensspuren der Gattung Chondrites zugerechnet. Weitaus am häufigsten treten Chondrites sp. C und D auf (s. 9.4. F), die Varietäten sp. A und B sind nur gelegentlich zu beobachten, Chondrites sp. E tritt nur in sehr großen Wassertiefen auf (>3.000 m).⁺

Die Chondrites-Gemeinschaft wird der Überlappungsfauna zugerechnet, da eine typische Vergesellschaftung mit anderen Wühlgefügen innerhalb der entsprechenden Profilabschnitte nicht zu beobachten ist, abgesehen von Sedimenten aus Wassertiefen >2.000 m, in denen ein gewisser Zusammenhang mit dem Auftreten von Zoophycos festzustellen ist (s.u.).

⁺) Die Chondrites sp. E enthaltenden Kerne der Stationen 208, 209, 218 können als Ausnahme angesehen werden, da das Auftreten dieser Spur als Folge der "Verkleinerung von Wühlgefügen" mit zunehmender Wassertiefe (s. 4.1.) zu betrachten ist. Die ökologische Signifikanz kommt den auch in diesen Kernen vorhandenen - Chondrites sp. C und D zu.

Die Chondrites-Gemeinschaft tritt in Wassertiefen > 1.000 m auf. Dieses Phänomen beruht möglicherweise auf einer Korngrößenpezifität der Chondrites erzeugenden Organismen: So fehlen diese Lebensspuren eventuell aufgrund ihres geringen Durchmessers in Sedimenten mit einem hohen Anteil an Korngrößen > 0.2 mm. Außer in geringen Wassertiefen sind derartige Sedimente vor allem im Gebiet vor Cap Blanc zu beobachten (Daten nach KOOPMANN, Kiel, frdl. mdl. Mitt.).

Für die Vorkommen dieser Gemeinschaft ist eine Abhängigkeit von Wassertiefe und Landentfernung festzustellen: In Wassertiefen von ca. 1.000 m bis zu 3.000 m ist in landnahen Kernen (bis 200 km Landentfernung) mit Ausnahme der Station 309 nur ein (oft ein- oder mehrmals unterbrochener) Profilabschnitt zu finden, der ungefähr in den Bereich der Pleistozän-Holozän-Wende einzustufen ist, zwischen Spätglazial (ca. 13.000 a B.P.) und Atlantikum (ca. 5.000 a B.P.)[†]. In den landferneren Kernen der Stationen 310, 329, 331, 207, 208, 209 (+ Ausnahme 309) sind dagegen in der Regel mehrere Profilabschnitte vorhanden, in denen die Chondrites-Gemeinschaft vorherrscht. Sie scheinen vor allem an kaltzeitliche Sedimente (Stadium 2, Mitte des Stadium 3, Stadium 4 usw.) gebunden zu sein, sind aber mehr in der Nachbarschaft von Erwärmungsphasen als über ganze Kaltphasen hinweg vorhanden. Generell ist die Tendenz zu beobachten, daß die Chondrites-Gemeinschaft in landfernen Kernen eher auftritt als in landnahen Kernen aus geringeren Wassertiefen.

In Sedimenten aus Wassertiefen > 2.000 m ist ein gewisser Zusammenhang mit Zoophycos auffällig. So findet sich zwischen 2.000 und 3.000 m Wassertiefe die Chondrites-Gemeinschaft immer im Hangenden von Zoophycos führenden Profilabschnitten. Küstenferner ist oft ein mehrmaliges Auftreten von Chondriten innerhalb eines Kernes zu beobachten, immer im Hangenden von Zoophycos, häufiger aber auch in anderen Teilen der betreffenden Profilabschnitte, nie jedoch über deren volle Mächtigkeit. Ein Fehlen von Zoophycos wie auch Chondrites im Gebiet vor Cap Blanc scheint in diesem Zusammenhang erwähnenswert.

[†]) Obwohl nicht alle Kerne genau datiert sind, erscheint aufgrund der Abfolge der einzelnen Lebensspuren-Gemeinschaften und ihrer relativen Lage zueinander - zumal für die südlich Cap Verde gelegenen Kerne - eine solche Generalisierung möglich.

In den landnahen, nicht Zoophycos enthaltenden Kernen findet sich die Chondrites-Gemeinschaft meist im Hangenden der Scolicia- oder Vertikalspreiten-Gemeinschaft.

Die genaue Lage der Profilabschnitte, in denen die Chondrites-Gemeinschaft auftritt, entnehme man der Abb. 5-4 und dem Anhang 9.3..

Das Auftreten der Chondrites-Gemeinschaft in einem Profilabschnitt entspricht keinesfalls der Lebenszeit der erzeugenden Organismen, die ja verhältnismäßig tief im Sediment wühlen können. Mit Hilfe eines Atemwassersystems - Verbindung des Grundganges zur Sedimentoberfläche - und eines hochentwickelten Such- und Freßverhaltens (s. 3.) sind die Organismen an diese Lebensweise angepaßt. Deshalb wurden je nach Wassertiefe (s. 4.3.) die Gefügeprofile um Beträge zwischen 15 bis 35 cm "korrigiert", um so "Lebenszeitprofile" der Chondrites erzeugenden Organismen zu erhalten. Danach ist festzustellen, daß die betreffenden Organismen nicht gleichzeitig auftreten: In landfernen Sedimenten werden Chondriten oft früher angelegt als in landnahen.

Die Zeit der Anlage von Chondrites ist im obersten Profilabschnitt für alle Kerne auf das Holozän beschränkt. Für tiefere Profilabschnitte ist dagegen ein Zusammenhang mit Erwärmungsphasen nicht so deutlich (s.o.) - auch unter der Annahme nicht, daß Veränderungen des Bodenwassers denen im Oberflächenwasser, die die Grundlage der Klimastratigraphie darstellen, um mehrere hundert bis einige tausend Jahre vorausseilen (THIEDE 1977).

Vorkommen und Verbreitung, die Vergesellschaftung mit Zoophycos in größeren Wassertiefen sowie die Verhaltenssteuerung der Chondrites erzeugenden Organismen legen nahe, ein überwiegend durch den Sedimenttyp beeinflusstes Auftreten dieser Gemeinschaft zu vermuten (s. auch 5.6.). Ohne daß es bisher möglich ist, genau zu sagen, welche Faktoren die Anlage dieser Wühlgefüge beeinflussen, kann man davon ausgehen, daß diese Änderungen im Prinzip zuerst in landfernen Gebieten wirksam waren und dann in Landnähe. Während sich die vorholozänen Klimaänderungen (in Form der Chondrites-Gemeinschaft) oft nur in landfernen Seegebieten bemerkbar machten, scheint der Pleistozän-Holozän-Umschwung ein sehr viel prägnanteres Ereignis gewesen zu sein. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit der Änderung der Zirkulation des Tiefenwassers im Atlantik (s. 5.7.).

5.6. Zoophycos

Zoophycos tritt im Untersuchungsgebiet ab 2.000 m Wassertiefe in allen hinreichend langen Kernen (s.u.) auf. Die maximalen Vorkommen liegen zwischen 2.500 und 3.500 m. In einigen Kernen aus geeigneten Wassertiefen (s. Abb. 5-2) fehlt diese Lebensspur jedoch. So können folgende Randbedingungen angegeben werden:

1. Zoophycos tritt bevorzugt in tonig-siltigen Sedimenten auf, fehlt dagegen in gröberen, schnell abgelagerten Sedimenten, die meist durch Lebensspuren der Gattungen ?Lophoctenium und Thalassinoides gekennzeichnet sind. Wahrscheinlich ist auch daher in "Windstaublagen" (s. 5.4.) die Anzahl der Freßspreiten/Längeneinheit im Profil geringer als in mehr tonigen Kernpartien (vgl. z.B. Stationen 289 mit 310 oder 309).

2. Zoophycos findet sich in anoxischen Sedimenten, die zwischen 0,3% und 1,8% C_{org} enthalten. So fehlt Zoophycos einerseits in Ablagerungen, die ein Überangebot an Nährstoffen (s. 4.4., 5.1.) aufweisen, und andererseits in oxischen, langsam abgelagerten Sedimenten. Sie enthalten in Tiefen, wo sich die Zoophycos erzeugenden Organismen aufhalten, nicht in genügender Menge aufschließbare organische Verbindungen.

Einen Grenzfall für derartige Bedingungen stellt Kern 209-2 dar, in dem nur wenige, sehr kleine Zoophycos enthalten sind. Die geringe Größe dieser Exemplare weist auf ein für Zoophycos erzeugende Organismen ungünstiges Biotop hin (MARINTSCH & FINKS 1978). Eine Anpassung der Zoophycos erzeugenden Organismen an ein oxisches Biotop (Reduzierung der Wühltiefe), wie sie in einigen Pazifik-Kernen beobachtet wurde, ist im Untersuchungsgebiet nicht festzustellen. Dort nämlich befindet sich Zoophycos im Tiefenniveau (Überprägungsalter!) von Planolites sp. B resp. D und Chondrites sp. B (Kerne 10147-1, 10176-1).

Biotopeigenschaften lassen sich nicht nur aus dem Vorhandensein oder Fehlen von Zoophycos ableiten, sondern auch aus dem jeweils beobachteten Bauprinzip der Spreiten - U- oder J-förmiger Grundgang (durchgehendes resp. blind endendes Atemwassersystem; s. Abb 3-15, 3-16, 9.4. E und G): Das Auftreten von U- und J-Typen ist signifikant mit dem C_{org} -Gehalt des Sedimentes korreliert (s. Abb. 5-2). Dies steht möglicherweise mit dem im Atemwasser verfügbaren Sauerstoff in Zusammenhang (s. auch 4.8.). Die regionale Verteilung der U- und J-Typen ist aus Abb. 5-3 zu ersehen.

Unabhängig davon, ob die einzelnen Zoophycos nach U- oder J-Prinzip angelegt sind, lassen sich Profilabschnitte, die diese Lebensspur enthalten, über große Entfernungen korrelieren (s. Abb. 5-4). Dabei besitzt jeder Profilabschnitt zumindest die Mächtigkeit der halben Wühltiefe (s. 4.9.). Innerhalb eines solchen Abschnittes tritt Zoophycos weitgehend unabhängig von anderen Lebensspuren auf und wird daher der Überlappungsfauna zugerechnet. Die Verbreitung Zoophycos führender Horizonte geht aus Abb. 5-4 und aus dem Anhang 9.3. hervor. Generell läßt sich hinsichtlich der Vorkommen von Zoophycos folgendes feststellen:

Zwischen den Canarischen Inseln und Cap Verde treten mehr als 80% der beobachteten Freßspreiten von Zoophycos in kaltzeitlichen Sedimenten auf, also im Liegenden von Stadium 1, Stadium 2, Mitte des Stadium 3, Stadium 4 usw.. Die betrachteten Profilabschnitte erstrecken sich meist über die gesamten Kaltphasen-Sedimente. Im Bereich von Cap Verde und südlich davon tritt Zoophycos zunehmend auch in warmzeitlichen Sedimenten auf. Zudem entsprechen Zoophycos führende Profilabschnitte nicht mehr ganzen Kaltphasen, also insgesamt kürzeren Zeiten.

Einen ungewöhnlichen Fall stellen die Sedimente der Stationen 327/379 dar: Hier tritt Zoophycos nur in der Mitte des Stadium 1 auf.

Während Zoophycos im Untersuchungsgebiet doch weitgehend an Sedimente aus vergleichsweise kalten Epochen gebunden zu sein scheint, lebten die erzeugenden Organismen keinesfalls während dieser Zeiten, sondern je nach Sedimentationsrate zwischen 4.000 und 20.000 Jahren später. Wie bei Chondrites liefert eine Korrektur sogenannte "Lebenszeitprofile". Dabei werden die Obergrenzen von Zoophycos führenden Profilabschnitten um den Betrag "Maximale Wühltiefe", die Untergrenzen um den Betrag "Entfernung Sedimentoberfläche-1. Freßspreite" korrigiert, wobei die Beträge für einen Zoophycos bestimmter Größe anhand von Abb. 3-14 und Tab. 3-2 unter Berücksichtigung der Wassertiefe (s. 4.3.) interpoliert werden. Diese Korrektur liefert Lebenszeitprofile mit "längster Dauer" für die Zoophycos-Erzeugung in dem betreffenden Profil. Es zeigt sich dann, daß Verbreitung und Vorkommen der Zoophycos erzeugenden Organismen nicht so einheitlich sind wie bei der Spur selbst: Entsprechende Verhaltensweisen sind zu den verschiedensten Zeiten zu beobachten und lassen sich nicht gut mit anderen Daten korrelieren. Daher scheint es nicht angebracht, eine Ver-

änderung der Zusammensetzung der benthischen Makrofauna anzunehmen. Vielmehr steht zu vermuten, daß innerhalb einer - sich eher langfristig ändernden - Population entsprechende Organismen ihr "Zoophycos-Verhalten" nur unter bestimmten Bedingungen zeigen. Die vermuteten Zoophycos-Erzeuger, sipunculide Würmer (WETZEL & WERNER in press), zeigen ausgesprochen thigmotaktisch gesteuerte Verhaltensweisen (KAESTNER 1969), und diese werden von im Sediment enthaltenen Stoffen beeinflußt. Eventuell besteht ein Zusammenhang mit den während Kaltphasen zu beobachtenden, erhöhten C_{org} -Akkumulationsraten (HARTMANN et al. 1976) und der damit verbundenen Änderung des Abbaus organischer Substanzen (MÜLLER, Kiel, frdl. mdl. Mitt.). Eine Änderung der C/N-Verhältnisse ist zwar festzustellen (MÜLLER 1975), aber zu geringfügig, um allein aussagekräftig zu sein (MÜLLER, Kiel, frdl. mdl. Mitt.). Ob Änderungen der Produktivität im Oberflächenwasser oder aber der Zirkulation des bodennahen Wasserkörpers, die von THIEDE (1977) und McINTYRE et al. (1976) angenommen werden, maßgeblich sind, mag dahingestellt bleiben. Die Verbreitung von Zoophycos im Untersuchungsgebiet jedenfalls muß wohl mit auf besonders während Kaltphasen wirksamen, überregionalen Änderungen des sedimentären Milieus in Zusammenhang gebracht werden.

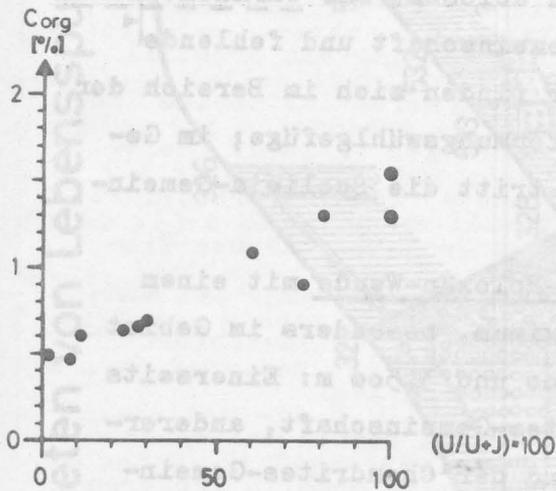


Abb. 5-2 Verhältnis von C_{org} -Gehalt der Sedimente zum Anteil der Zoophycos-Lebensspuren mit U-förmigen Grundgang

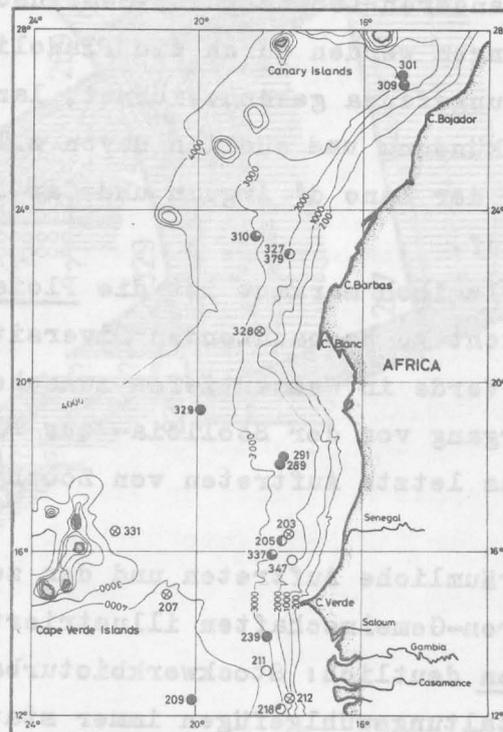


Abb. 5-3 Kerne aus Wassertiefen >2.000 m mit Vorkommen von Zoophycos unter Berücksichtigung des Bauprinzips der Spreiten.

- 100% J-Typen
- 100% U-Typen
- ⊗ Ohne Zoophycos

5.7. Synthese

Eine Generalisierung der Beobachtungen wurde in Abb. 5-4 versucht. Die Verbindungslinien zwischen den einzelnen Kernen sind hypothetisch und wurden unter der Annahme relativ homogener Biotope gezeichnet. Lokale Einflüsse wie Rutschmassen oder Turbidite wurden nicht berücksichtigt. Das zeitliche Auflösungsvermögen für Profilabschnitte mit Wühlgefügen ist beschränkt (s. 4.9.), aber Differenzierungen innerhalb der Stadien der Sauerstoff-Isotopen-Stratigraphie sind erkennbar. Das zeitliche Auftreten der einzelnen Lebensspuren-Gemeinschaften ist zwar regional unterschiedlich, aber nicht prinzipiell verschieden. So ist in kalt- und warmzeitlichen Kontinentalrandsedimenten im Prinzip die Tendenz einer Differenzierung des Lebensspuren-Inhaltes zu beobachten, die sich landwärts zusehends deutlicher bemerkbar macht:

Landfern ist zu allen Zeiten (ab Stadium 6) eine kaum differenzierte Planolites-Fauna festzustellen. Landnäher finden sich in kaltzeitlichen Sedimenten die Chondrites-Gemeinschaft und dann Zoophycos, zwischen 14° N und 22° N zusätzlich die Scolicia- und die Vertikalspreiten-Gemeinschaft; vor Cap Blanc treten begrenzt Verformungswühlgefüge auf, die die anderen Lebensspuren-Gemeinschaften ablösen. Die warmzeitlichen Ablagerungen werden durch die Planolites-Gemeinschaft und fehlende Überlappungsf fauna gekennzeichnet, landnäher finden sich im Bereich der Senegal-Mündung und südlich davon z.T. Verformungswühlgefüge; im Gebiet vor der Banc d'Arguin und Cap Barbas tritt die Scolicia-Gemeinschaft auf.

Ichneologisch markant ist die Pleistozän-Holozän-Wende mit einem sonst nicht zu beobachtenden Diversitätsmaximum, besonders im Gebiet vor Cap Verde in Wassertiefen zwischen 2.000 und 3.500 m: Einerseits der Übergang von der Scolicia- zur Planolites-Gemeinschaft, andererseits das letzte Auftreten von Zoophycos und der Chondrites-Gemeinschaft.

Das räumliche Auftreten und der zeitliche Wechsel der einzelnen Lebensspuren-Gemeinschaften illustriert die Realität der Stockwerkbio-turbation deutlich: Stockwerkbio-turbation findet zwar bei der Anlage von Gestaltungswühlgefügen immer statt, aber die Anlage bestimmter Lebensspuren in einem Stockwerk und der Grad der Gefügeprägung, der Anteil einer Lebensspur am Gesamten, unterliegen zeitlichen Veränderungen.

Auftreten von Lebensspuren-Gemeinschaften vor NW-Afrika (schematisch)

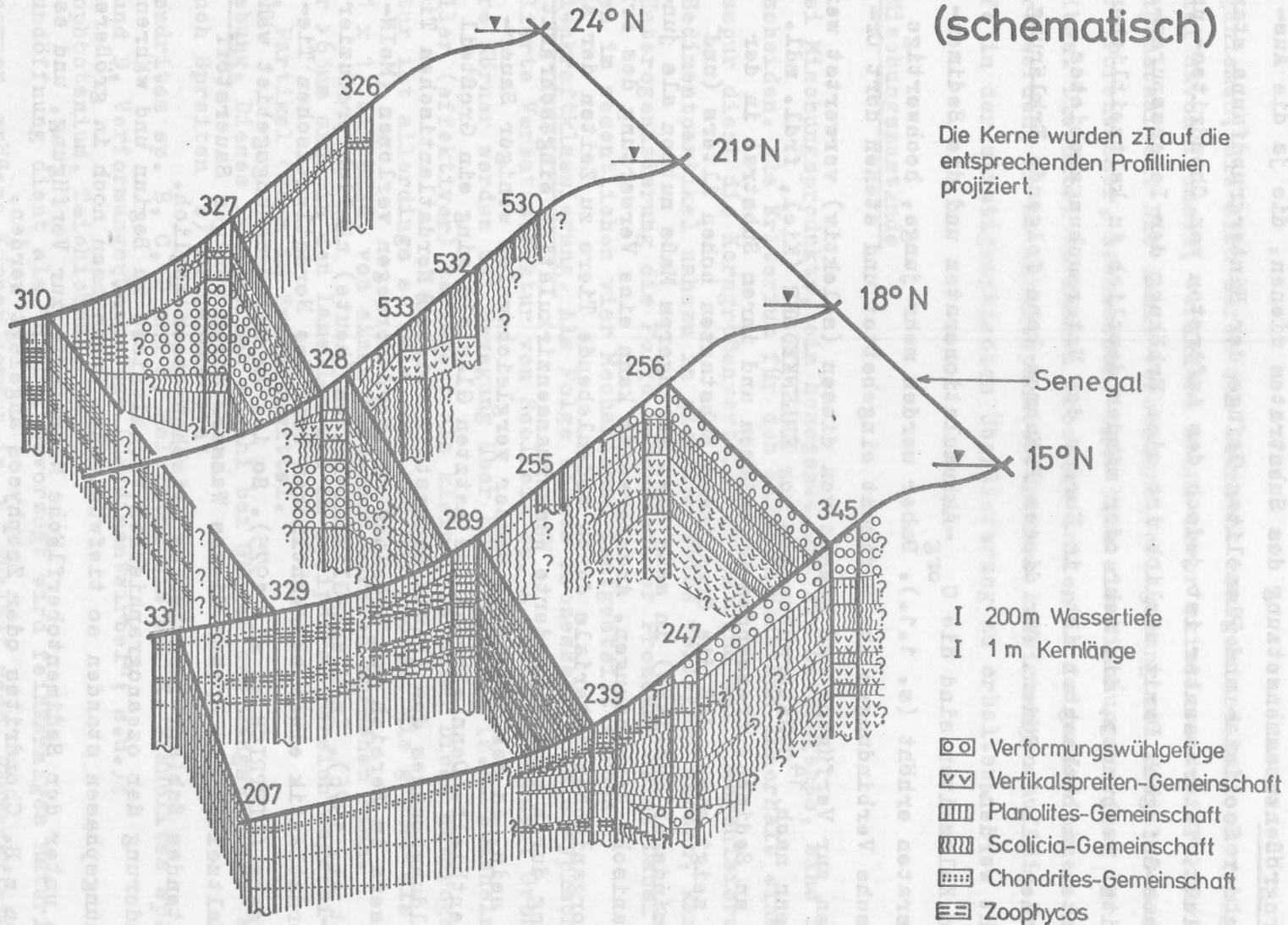


Abb. 5-4

Als gutes Beispiel dafür kann die regionale und zeitliche Veränderung der Korngrößenzusammensetzung des Substrates dienen, die ja die Ausbildung der Scolicia- und Planolites-Gefüge der Hintergrundfauna stark beeinflusst. Interessanter ist jedoch das Auftreten von Chondrites- und Zoophycos-Gefügen. Damit nämlich ist eine Erhöhung der Lebensspuren-Diversität verbunden, die mehr oder minder deutlich in kaltzeitlichen Sedimenten zu beobachten ist, im Norden des Untersuchungsgebietes deutlicher als im Süden. Für dieses Phänomen kann folgende Erklärung versucht werden:

Während Kaltzeiten sind die C_{org} -Akkumulationsraten und die Sedimentationsraten erhöht (s. 1.1.). Daher werden mehr junge, hochwertige organische Verbindungen ins Sediment eingebettet und stehen dort Organismen zur Verfügung und können von diesen (selektiv) verwertet werden. Denn nach ^{14}C -Untersuchungen von ERLLENKEUSER (Kiel, frdl. mdl. Mitt.) an Sediment fressenden Organismen und ihrem Substrat in der Ostsee zeigt sich, daß die Organismen Substanzen hohen Alters (und damit minderer Qualität) in sehr viel geringerem Maße nutzen als junge organische Verbindungen. Andererseits kann eine Verwertung des frischen organischen Materials durch bodenlebende Tiere zu Zeiten der Ablagerung durch eine veränderte Wassermassenzirkulation eingeschränkt worden sein, da das bodennahe Wasser vergleichsweise weniger Sauerstoff enthielt. Denn während des letzten Glazials ging ein Großteil des Bildungsraumes des (heute Sauerstoff-reichen) Nordatlantischen Tiefenwassers im Bereich von Grönland und Nord-Norwegen verloren (McINTYRE et al. 1976). In Nicht-Glazial-Zeiten (heute) nämlich produziert der Nordatlantik einen beträchtlichen Teil des Nordatlantischen Tiefenwassers (DIETRICH et al. 1975). So ist im Untersuchungsgebiet während Kaltzeiten ein Ersatz dieses Wassers durch weniger Sauerstoff enthaltendes Sub(ant-)arktisches Zwischenwasser möglich.

Bei Änderung der ozeanographischen Verhältnisse zu Beginn und während Erwärmungsphasen standen so tiefwühlenden Organismen noch in größeren Tiefen unter der Sedimentoberfläche Nährstoffe zur Verfügung, und es konnten z.B. Chondrites oder Zoophycos angelegt werden.

6. Biogene Sedimentmischung

Organismen, die sich durch das Sediment bewegen und mehr oder minder viel davon fressen, verändern seine zuvor existierenden Strukturen und Eigenschaften. Die damit verbundene Verlagerung von Sediment und Wasser (Porenwasser, Atemwasser) läßt sich als Mischungsvorgang beschreiben. Die dabei wirksamen Prozesse sollen im folgenden näher analysiert werden, um so Anhaltspunkte für ihre Auswirkungen auf die Unschärfe in der stratigraphischen Überlieferung zu erhalten.

6.1. Mischungszustände

Zwei Mischungsprodukte, ein homogenes und ein heterogenes, sind zu unterscheiden. Als Kriterium für den Mischungszustand innerhalb einer Lebensspur dient die Korngrößenverteilung. Während bei Homogenisierung alle Sedimentpartikel nahezu in gleicher Weise verlagert werden, kann eine Heterogenisierung die Folge verschiedener Prozesse sein. Dabei konnten im wesentlichen vier Mechanismen festgestellt werden:

1. Fliehkraftklassierung. Als Folge dieses Prozesses muß die typische, lamellierte Versatzstruktur von *Scolicia* sp. A gedeutet werden: Große, schwere Körner werden bei Bewegung über Körperanhänge (z.B. Stacheln) schneller (effektiver) verlagert als kleine, leichte. Diese heterogene Struktur ist allerdings so fein, daß man bei Proben, die größer als $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$ sind, von einem homogenen Bereich sprechen kann.

Körner $> 63 \mu\text{m}$ sind in den Lamellen und im peripheren Bereich angereichert, Partikel $< 20 \mu\text{m}$ im Zwischenmittel.

2. Siebung. Dieses Prinzip ist sowohl bei Gängen und Gangsystemen a) als auch Spreiten b) zu beobachten:

a) *Chondrites* sp. B, C, D und E, *Helminthopsis* sp. A, *Planolites* sp.

B und D, Verformungswühlgefüge ("Sedimentwirbel"; s.u.);

b) ?*Lophoctenium*, *Teichichnus*.

Die Mundöffnung dient als "Sieb", bevorzugt wird feinkörniges Material aufgenommen, größere Körner kommen in a) Wühlhof resp. Räumauskleidung oder b) Lamellen. Die Fraktion $< 6 \mu\text{m}$ ist a) im Lumen oder b) in den Lamellen um 10-50% angereichert.

3. Kornselektion. Es werden entweder bevorzugt größere Partikel ($> 20-40 \mu\text{m}$) aufgenommen, z.B. von den Erzeugern von *Chondrites* sp. A

und Planolites sp. A, C und E, oder wahlweise größere oder feinere Partikel ($< 6\mu\text{m}$) thigmotaktisch verlagert, z.B. vom Zoophycos-Erzeuger.

4. Erzeugen von Hohlräumen. Das ehemals vorhandene Sediment wurde verlagert (s. 6.2.).

Die beiden Mischungszustände können bei folgenden Lebensspuren festgestellt werden:

Homogen: Wühlgefüge des 1. Gefügestockwerkes, Verformungswühlgefüge (mit Einschränkungen) ⁺) und Scolicia sp. A (s.o.);

Heterogen: Alle anderen Lebensspuren, Gestaltungs- wie Verformungswühlgefüge ⁺).

Die Bedeutung der Umverteilung von Sedimentpartikeln ihrer Größe nach liegt in folgendem:

1. Erst die heterogene Umverteilung von Sedimentpartikeln führt zu fossil erhaltungsfähigen Lebensspuren. Ebenso hat die Korngrößenverteilung für die Fleckung von Sedimenten große Bedeutung, da die Fraktion $< 6\mu\text{m}$ als wichtigster Farbträger der Sedimente anzusehen ist (LANGE in SEIBOLD et al. 1973) und die Färbung damit von deren Verteilung abhängt.

2. Durch heterogene Mischung wird die Konsolidation der Sedimente erhöht, einerseits durch "Rüttelleffekte" (EINSELE & WERNER 1968) und andererseits entstehen "Bahnen" aus grobkörnigem Material oder Hohlräume, durch die bei Verfestigung Wasser entweichen kann.

6.2. Biogener Sedimenttransport

Radiographien und Dünnschliffe zeigen, daß die Sedimentbilanz in den einzelnen Lebensspuren - offene Gänge ausgenommen - im Prinzip ausgeglichen ist, da sich die Packungsdichte der Partikel oft nur geringfügig ändert.

⁺) Die Verformungswühlgefüge des 1. Gefügestockwerkes unterscheiden sich insofern von tiefer im Sediment angelegten, als bei ersteren eine annähernd strukturlose (homogene) Sedimentschicht zu beobachten ist, während bei letzteren wenig strukturierte (heterogene) "Sedimentwirbel" (WERNER 1968) zu beobachten sind, die Korngrößen-sortierung ist jedoch sehr viel schlechter als bei Gestaltungswühlgefügen.

Bei Verlagerung von Sediment infolge Bioturbation konnten verschiedene Prozesse festgestellt werden. Sie sind eng mit Art und System der Nahrungsaufnahme verknüpft:

1. "Selektionstransport". Bei der Selektion von Partikeln während des Freßvorganges wird Sediment auch vertikal verlagert. Nicht Gefressenes wird in der Peripherie des Grundganges abgelagert, auch als Räum- oder Bauauskleidung (REINECK 1957). Die Transportweite ist um so größer, je weiter das Lumen des betreffenden Grundganges ist (s. 4.2., für die axiale Komponente s. 2. und 3.). Diese Art des Sedimenttransportes tritt sowohl bei Homogenisierung als auch bei Heterogenisierung auf.

2. "Verdauungstransport". Aufgrund ihrer Fortbewegung scheiden die meisten Organismen das Gefressene selten dort wieder aus, wo sie es aufgenommen haben. Nennenswerte Effekte bezüglich der stratigraphischen Unschärfe werden jedoch nur bei Vertikalbewegungen der Organismen erzeugt.

3. "Sedimenttransport bei Gangverlagerung". Bei Lebensspuren, deren Erzeuger einen offenen Gang mit System verlagern und stets eine Verbindung zur Sedimentoberfläche haben, sind noch weitere Transportmechanismen zu beobachten:

a) Erzeugen eines offenen Ganges. Sediment wird verlagert

α) auf den Meeresboden (z.B. bei Thalassinoides);

β) z.T. auf den Meeresboden, z.T. in Wühlhof resp. Räumauskleidung (z.B. bei Chondrites sp. A, und Spreitenbauten);

γ) nur in Wühlhof resp. Räumauskleidung (z.B. bei Chondrites sp. B, C, D und E, Trichichnus);

b) Verlagern eines offenen Ganges:

α) Gang bleibt offen (nicht aktiv versetzt), die unter a) genannten Mechanismen werden angewandt (z.B. bei Chondrites sp. D, Thalassinoides, Trichichnus);

β) Grundgang wird versetzt, Gangsysteme oder Spreiten entstehen. Derartige Versatzstrukturen weisen auf eine in der Regel vor Ort stattfindende Aufarbeitung des Sedimentes hin. Gelegentliche Exkursionen der Lebensspuren erzeugenden Organismen einerseits und "Nachfall" in die offenen Gänge andererseits führen zu schwer kalkulierbarer Sedimentmischung, zumal nicht klar ist, woher das Sediment stammt, das zum Ausgleich auf den Meeresboden verlagert wird.

Planolites (s. 3.). Beobachtungen an Profilen liegen aller-

c) Verfall offener Gänge. In einen offenen Gang kann Sediment hineinfallen, sei es von der Sedimentoberfläche oder durch Kollabieren der Gangwandung.

6.3. Beobachtungen an einzelnen Lebensspuren und Kernprofilen

Die Erzeuger verschiedener Lebensspuren mischen und transportieren Sediment in vielfältiger Weise (s. 6.1., 6.2.). Die vertikale Sedimentmischung ist also von den auftretenden biogenen Gefügen abhängig. Zur ersten Klärung dieser Frage wurden 5 Profilabschnitte bearbeitet. Sie wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, ob sie Komponenten enthalten, die eindeutig zu erkennen sind und die mit einer vermutlich ehemals scharfen Grenze zum umgebenden Sediment hin abgelagert wurden (Abb. 6-1). Solche Sedimentationsereignisse sind meist mit einer deutlichen Änderung des Substrates verbunden. Deshalb sind sie in der Regel weniger stark verwühlt (s. 4.6.). Für stratigraphisch markante Ereignisse, die nicht mit einer so starken Vergrößerung des Substrates verbunden sind, sind daher größere Transportweiten anzunehmen.

Für die einzelnen Lebensspuren und Gefügestockwerke ergibt sich folgendes:

1. Verformungswühlgefüge.

Für die homogene Oberschicht wird eine vollständige Homogenisierung über die gesamte Mächtigkeit dieses Stockwerkes angenommen. Die daraus resultierenden Effekte können nach dem Modell von BERGER & HEATH (1968) errechnet werden.

Für andere, tiefer im Sediment angelegte Verformungswühlgefüge wird wegen der sehr schlechten Kornselektion durch die erzeugenden Organismen eine Homogenisierung über das Lumen einer Spur angenommen. Für den Vertikaltransport gilt dasselbe wie für Planolites (s.u.), unter Berücksichtigung der größeren Durchmesser der biogenen "Sedimentwirbel".

2. Scolicia.

Die Lebensspur Scolicia stellt im Rahmen von Proben, die größer sind als $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$ einen homogenen Mischungsbereich dar (s. 6.1.). Die durch die Aufnahme von Partikeln in den Verdauungstrakt stattfindende Sedimentverlagerung kann gegenüber der bewegten Sedimentmenge vernachlässigt werden. Zudem treten aufgrund der Atemwasserver-

sorgung mit Hilfe eines "Schornsteins" oder aus dem Porenwasser (BROMLEY & ASGAARD 1975) Vertikalbewegungen meist nur im Bereich des Gefügestockwerkes (II.) auf. Der Sedimenttransport beruht also im wesentlichen auf dem Versetzen des hinter dem Organismus liegenden Hohlraumes. Daher ist eine homogene Verteilung von Sedimentpartikeln innerhalb eines Stockwerkes nicht zu erwarten.

3. Planolites.

Eine vertikale Sedimentverlagerung beruht auf Selektions- und Verdauungstransport. Die beobachtete einförmige Mischung in den untersuchten Profilen geht vermutlich auf die recht große Häufigkeit der Planolites-Gefüge zurück. Der Anteil der vermischten Komponenten nimmt bei einer "Ereignis-Untergrenze" - zum Liegenden hin mehr oder minder gleichmäßig ab (s. Abb. 6-1). Denn einerseits sind in einem Gefügestockwerk in maximaler Tiefe angelegte Lebensspuren seltener als solche, die in der Mitte des Stockwerkes erzeugt werden, und andererseits wird das Stockwerk bei Sedimentation nach oben verlagert. Die durchmischte Schicht ist mächtiger als in den Stockwerken I. und II., da sich die Planolites erzeugenden Organismen zwischen Sedimentoberfläche und Stockwerkuntergrenze über größere vertikale Distanzen bewegen.

4. Gangsysteme.

Die Erzeuger englumiger Gangsysteme (z.B. Chondrites, Helminthopsis, Trichichnus) tragen wegen ihres geringen Durchmessers nur unwesentlich zur Verlagerung großer Partikeln ($>63\mu\text{m}$) bei. Diese werden hauptsächlich durch Selektionstransport in Wühlhof resp. Räumauskleidung verlagert. Für Feinkörniges ($<6\mu\text{m}$) sind größere Transportweiten anzunehmen (s. 3. Kap., Punkt 11.).

5. Spreiten des IV. Stockwerkes.

Das Sediment wird durch Spreiten erzeugende Organismen in schwer kalkulierbarer Weise verlagert (s. 6.2.). Vertikal orientierte Spreiten werden im Vergleich zu Zoophycos flacher im Sediment angelegt. Damit ist der Sedimentumsatz auf einen weniger mächtigen Bereich beschränkt. Durch das Auftreten verschiedener Lebensspuren-Typen, die sich im einzelnen nicht immer identifizieren lassen, ist eine Generalisierung des Mischungsvorganges und damit eine Quantifizierung schlecht möglich. Bei großen Häufigkeiten jedoch, z.B. in Profilabschnitten mit der Vertikalspreiten-Gemeinschaft, und allmählicher Aufwärtsverlagerung der durchmischten Zone infolge Sedimentation ist derselbe Effekt möglich wie bei Planolites (s. 3.). Beobachtungen an Profilen liegen allerdings bisher nicht vor.

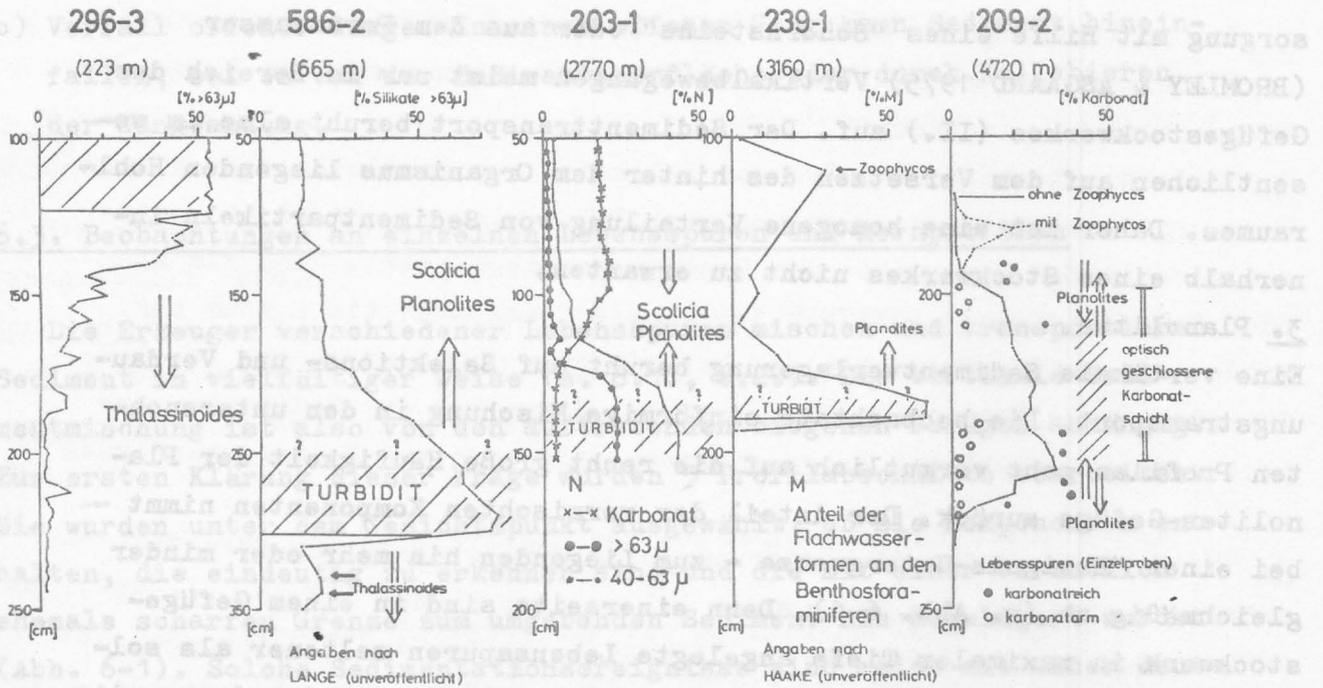


Abb. 6-1 Biogene Sedimentmischung in 5 Kernabschnitten

6. Zoophycos

Bei Zoophycos liegt die Bedeutung der Sedimentmischung nicht so sehr in der absoluten Menge des verlagerten Materials als vielmehr in der großen Distanz, über die es transportiert worden sein kann. Die erstellten Mischungsprofile zeigen gut eine unregelmäßige Sedimentmischung durch Zoophycos erzeugende Organismen (Abb. 6-1):

In Kern 239-1 kann eine sekundäre Häufung benthischer Flachwasserforaminiferen auf eine Verlagerung durch Zoophycos-Erzeuger zurückgeführt werden. Bemerkenswert ist, daß nur 2 Exemplare der insgesamt 8 in diesem Profilabschnitt Material aus dem Liegenden enthalten. In den übrigen untersuchten Fällen wurde Sediment aus dem Hangenden den Freßspreiten festgestellt.

In Kern 209-2 ergab die Untersuchung von Proben mit und ohne Zoophycos einen Sedimenttransport aus dem Liegenden.

Zoophycos erzeugende Organismen verlagern Sediment zwar wie andere Spreiten-Erzeuger, aber es sind verschiedene "Arbeitsrichtungen" bei der Anlage der Freßspreiten möglich: Von oben nach unten oder umgekehrt. So werden Partikel entweder vom Hangenden ins Liegende oder umgekehrt verlagert. Aus Analysen der Innenstrukturen auf horizontalen Flächen im Aufschluß konnte BISCHOFF (1968) beide "Arbeitsrichtungen"

ableiten. In rezenten Sedimenten steht leider zu wenig Material zur Verfügung (Kernquerschnitt!), um ähnliche Untersuchungen durchführen zu können. Auch war es bisher nicht möglich, andere Indizien für die "Arbeitsrichtung" von Zoophycos-Erzeugern in Vertikalschnitten festzustellen. Daher ist eine generelle Aussage über die Sedimentvermischung durch Zoophycos-Erzeuger schlecht möglich.

7. Thalassinoides.

Die durch die Thalassinoides-Erzeuger hervorgerufene vertikale Sedimentverlagerung beruht im wesentlichen auf Verfall (oder Versatz) offener Gänge. Die Verteilung der verlagerten Komponenten im Profil ist ungleichmäßig (s. Abb. 6-1). Da bisher keine vollständige Durchmischung eines Profilabschnittes durch Thalassinoides-Erzeuger im Untersuchungsgebiet beobachtet wurde, ist nicht klar, ob bei zunehmender Spurenhäufigkeit die Verteilung der gemischten Komponenten gleichmäßiger wird.

6.4. Einfluß auf die stratigraphische Überlieferung

Anhand der "Mischungsprofile" (Abb. 6-1) konnten folgende Prinzipien erkannt werden:

1. Die Größe der vermischten Komponenten hat Einfluß auf die Distanz, über die sie verlagert werden: Große Partikel werden meist nicht so weit verlagert wie kleine.

Ähnliches beschreiben auch RUDDIMAN & GLOVER (1972), die gröbere Komponenten nur in der Nähe der ursprünglichen Lage einer dünnen Aschenschicht im Profil feststellten, meist im Bereich einer makroskopisch erkennbaren, homogenen Schicht.

2. Mit zunehmender Wassertiefe wird die Mischung der Sedimente einförmiger:

a) Im Verlauf der Verteilungskurven für die betrachteten, vermischten Komponenten treten weniger Schwankungen auf;

b) Die Abweichung der in den Kernen 296-3, 203-1 und 209-2 untersuchten Parallelproben voneinander wird geringer.

Diese Phänomene beruhen im Untersuchungsgebiet möglicherweise auf der Abnahme der Intensität der biogenen Mischung, d.h. des pro Zeiteinheit verwühlten Volumens, mit zunehmender Wassertiefe (resp. Landentfernung).

Ähnliche Zusammenhänge werden auch von GUINASSO & SCHINK (1975) angenommen, die die Intensität der Sedimentmischung für die Tiefsee über die Biomasse ableiten.

GLASS (1969) beschreibt vermischte Tiefsee-Sedimente, die Mikrotektite enthalten. Mit zunehmender Anzahl von im frischen Sediment sichtbaren Wühlspuren wird die Verteilung der Mikrotektite im Profil ungleichmäßiger: Von gleichmäßigen Verteilungskurven bei wenigen Spuren bis hin zu einer Folge von einzelnen Häufungen von Mikrotektiten bei sehr starker Bioturbation.

3. Die Distanz der Verwühlung ins Liegende ist durch die Mächtigkeit der unterhalb einer "Ereignisgrenze" auftretenden durchwühlten Zone vorgegeben. Die Transportweiten ins Hangende sind meist größer, da mit der Aufwärtsverlagerung der durchwühlten Zone infolge Sedimentation immer Partikel aus dem Liegenden mit nach oben verlagert werden. Anhand der in Abb. 6-1 dargestellten Beobachtungen läßt sich ein Verhältnis der Transportweiten von "Liegend- zu Hangend-Verwühlung" von mindestens 1:2 bis 1:5 abschätzen. Demzufolge sind die Untergrenzen von Ereignissen in stark verwühlten Sedimenten viel schärfer überliefert als Obergrenzen.

Die Ausbildung einer "Ereignis-Untergrenze" im Profil hängt von mehreren Parametern ab (z.B. Mischungsintensität, Sedimentationsrate, Verhältnis der Mächtigkeiten von "Ereignis-Sediment" zu total durchwühlter Zone). BERGER & HEATH (1968) diskutieren dies Problem unter der Annahme gleichbleibender Mischungsintensität und Sedimentationsrate, während GUINASSO & SCHINK (1975) eine zeitabhängige Veränderung der Mischungsintensität berücksichtigen.

4. Der biogene Sedimenttransport in der durchwühlten Zone wirkt sich auch auf die Bestimmung der absoluten Alter aus:

Einerseits ist das Alter von Oberflächensedimenten aufgrund der Aufwärtsverlagerung von Sedimenten aus dem Liegenden zu hoch ($\neq 0$), andererseits sind zu geringe Alter des Liegenden zu beobachten, da zum Ausgleich der "Sedimentbilanz" Sediment aus dem Hangenden nach unten verlagert wurde.

Diesen Effekt beschreiben PENG et al. (1977, 1979) näher und benutzen ihn bei der Ableitung von numerischen Mischungsmodellen (s. auch 5.)

5. Bei stratigraphischen Untersuchungen ist nicht nur der Zeitpunkt eines Ereignisses von Interesse, sondern auch die auftretenden absoluten Werte.

Durch biogene Sedimentmischung werden Extremwerte weniger prägnant überliefert. Zur Errechnung dieses Effektes ist in letzter Zeit eine Reihe von Arbeiten in der Literatur bekannt geworden, z.B. BERGER & HEATH (1968), GUINASSO & SCHINK (1975) und PENG et al. (1977, 1979). Diese Modelle wurden bisher nur auf einförmig gemischte Sedimente erfolgreich angewandt (z.B. BERGER et al. 1977). Erfahrungen über ungleichförmig gemischte Sedimente, wie sie im Untersuchungsgebiet auftreten, liegen bisher nicht vor.

Die Mischungsmodelle von PENG et al. (1977, 1979) wurden an Material erarbeitet, das dem ähnlich ist, dessen Gefüge BERGER et al. (1979) beschreiben: In den untersuchten Sedimenten war auch eine stockwerkartige Anlage der biogenen Gefüge zu beobachten. Allerdings konnten nur zwei unterschiedlich stark durchwühlte Bereiche unterschieden werden, abgesehen vom 3. (historischen) Stockwerk, das ja schließlich in allen Sedimenten vorhanden ist. Wichtiger ist jedoch, daß die beobachteten Gefüge fast vollständig der Gattung Planolites zuzuordnen sind. Daher ist eine einförmigere Mischung über die Mächtigkeit der durchwühlten Zone anzunehmen (s. 6.3.). Vor NW-Afrika hingegen tritt eine ihrem Mengenumsatz und der Mischungsart nach schwer kalkulierbare, differenzierte Ichnofauna auf: In 5 Gefügestockwerken sind jeweils andere Verhalten der Organismen im Sediment zu beobachten und eine aus dem jeweiligen Verhalten resultierende Mischungsart. Fazit: Die im Vergleich zu den Sedimenten im Untersuchungsgebiet einfachere stockwerkartige Anlage der biogenen Gefüge und die eintönigere Ichnofauna sind wohl Ursache für eine einförmigere Mischung des Sedimentes durch die Lebenspuren-Erzeuger und damit für eine leichtere Kalkulierbarkeit des Mischungsvorganges.

6. Eine einfache exponentielle Verteilung der Anteile der beobachteten gemischten Komponenten am Sediment konnte nicht beobachtet werden. Erst nach Kumulieren der ermittelten Werte konnten die so erstellten Kurven mit Hilfe einfacher e-Funktionen beschrieben werden (als Beispiel Abb. 6-2 für Kern 296-3).

An dieser Stelle sei noch kurz der Einfluß des Probenabstandes auf den Verlauf der ermittelten Verteilungskurven erörtert: Nimmt man eine abnehmende Konzentration der gemischten Partikel mit zunehmender Distanz von der ursprünglichen Lage im Kern an, ist bei großem Probenabstand auch in sehr ungleichförmig gemischten Sedimenten

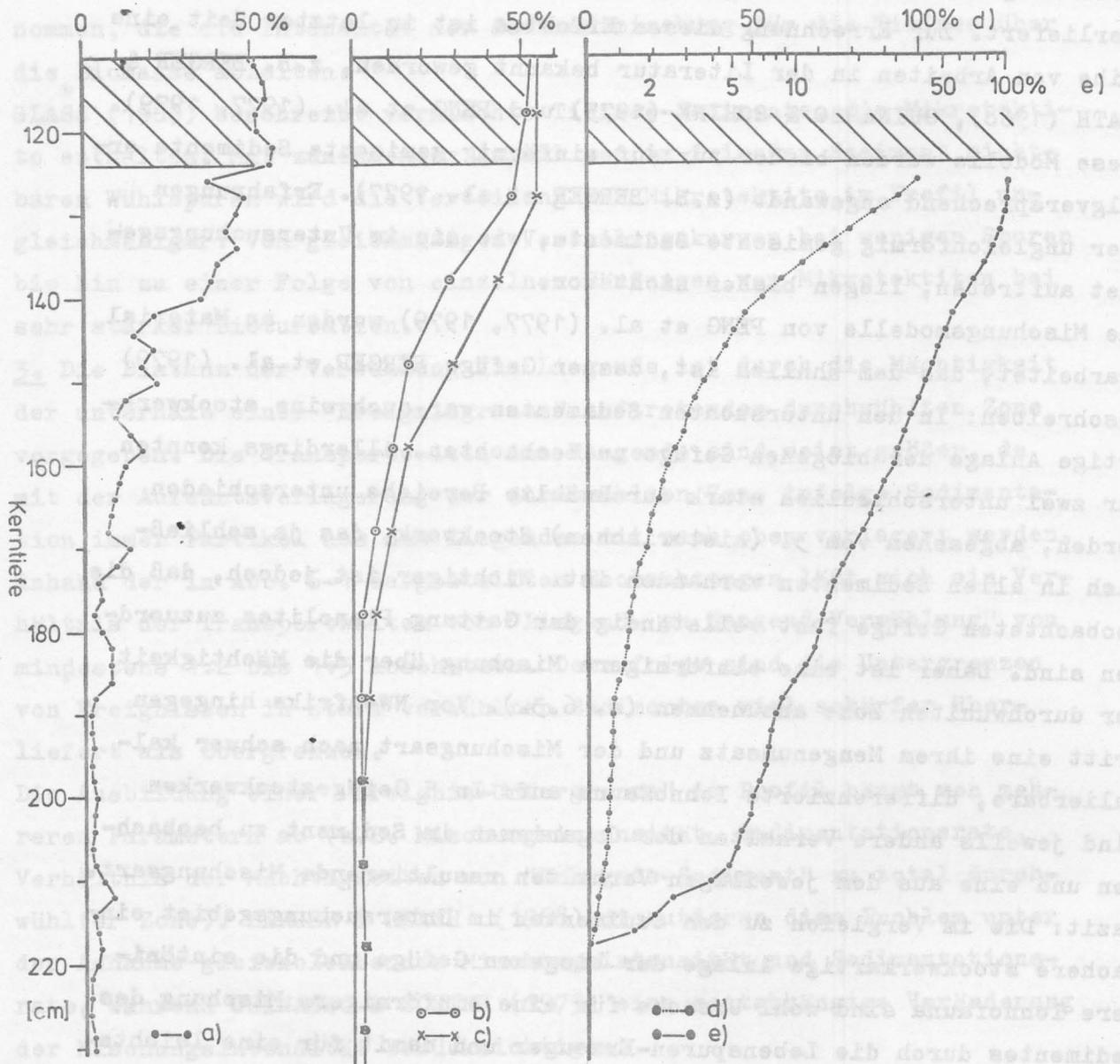


Abb. 6-2 Kern 296-3: Verteilung der Fraktion >63µm

Die Partikel sind infolge der Tätigkeit Thalassinoides erzeugender Organismen nach unten verlagert worden und befinden sich fast alle in den entsprechenden Lebensspuren.

▨ Keine einzelnen Lebensspuren erkennbar.

- a) Kontinuierliche Beprobung, Probe jeweils 2 cm dick;
- b) Lückenhafte Beprobung, Probenabstand 10 cm, Probendicke 2 cm;
- c) Kontinuierliche Beprobung, Probe jeweils 10 cm dick;
- d) a) kumuliert über den wahrscheinlich gemischten Bereich;
- e) d) in logarithmischen Maßstab aufgetragen, bei geradem Verlauf Beschreibung durch einfache e-Funktion möglich.

(z.B. Kern 296-3; s. Abb. 6-2) eine glatte, angenähert durch eine e-Funktion beschreibbare Verteilung zu beobachten. Bei kontinuierlicher Beprobung in kleinen Abständen ist die Verteilung der Komponenten jedoch sehr viel ungleichförmiger. Auf diesem Effekt dürfte eventuell auch die gleichförmige, von SARNTHEIN (1972) durch eine e-Funktion beschriebene Verteilung nach oben gemischten Reliktsedimenten in Kernen aus dem Persischen Golf beruhen.

6.5. Stratigraphische Auflösung in verwühlten Sedimenten

Die ungleichförmige Mischung der Sedimente im Untersuchungsgebiet läßt bisjetzt nur eine generelle Betrachtung der möglichen Fehler zu und keine Errechnung der ursprünglichen Lage und Intensität der stratigraphischen Informationswerte (s. 6.4.). So soll lediglich diskutiert werden, unter welchen Bedingungen die beste stratigraphische Auflösung erwartet werden kann, und wie groß diese ungefähr ist. Eine Reihe von Voraussetzungen sollte - so weit wie möglich - erfüllt sein:

1. Sollten die Proben

- a) nicht den ihrem Mischungscharakter nach sehr uneinheitlichen Spreitenbauten entstammen, und
- b) in ihrer Mächtigkeit deutlich die Durchmesser kleiner Lebensspuren wie Chondrites, Helminthopsis usw. übertreffen;

2. sollten bevorzugt große Komponenten (>125µm) untersucht werden; und

3. sollten sich die Untersuchungen eher an "Ereignis-Untergrenzen" orientieren als an Obergrenzen (s. 6.4.).

Das stratigraphische Auflösungsvermögen wächst prinzipiell mit steigender Sedimentationsrate. Damit verbunden ist aber auch eine vermehrte Einbettung organischer Substanzen (MÜLLER & SUESS 1979). Das kann eine intensivere Verwühlung zur Folge haben (s. 4.4.). Unter diesen Voraussetzungen ist trotzdem in 2 Fällen eine erhöhte stratigraphische Auflösung denkbar:

1. In Profilabschnitten, in denen die Lebensspur *Scolicia* die Gefüge bestimmt. Ein Beispiel für geringe Verwühlung in solchen Abschnitten ist im Anhang 9.4. (E) abgebildet.

Der durch die *Scolicia*-Erzeuger verursachte Sedimenttransport hat nur eine relativ geringe vertikale Verlagerung von Partikeln zur Folge (s. 6.3.). Läßt man vorerst die durch das oberste Stockwerk hervorge-

rufene Mischung außer Acht, dürfte der aus der Scolicia-Anlage resultierende quasi-homogene Mischungsbereich (s. 6.1.) ungefähr die Mächtigkeit eines Durchmessers eines Scolicia-Wühlgefüges haben. Aufgrund dieser Angaben läßt sich die stratigraphische Auflösung in entsprechenden Profilabschnitten wie folgt abschätzen:

Gefüge	Mächtigkeit des Bereiches	
	homogener Mischung	cm
Homogene Oberschicht	4	1
Scolicia sp. A	3	3
Summe	7	4
Wassertiefe	1.000 m	3.000 m
cm Sediment pro 1.000 a	35	13
Auflösungs- genauigkeit	200 a	300a

2. Im Grenzbereich selektiv unverwühlter Lagen (s. 4.6.) ist wahrscheinlich eine noch höhere Auflösung zu erwarten. Die Genauigkeiten dürften durch das Verhältnis der Probenmächtigkeit zur Sedimentationsrate vorgegeben sein.

Leider sind derartige Sedimente nur sehr selten zu beobachten (Kern 205-1, 207-3, 310-4; s. 9.3.) und der zur Verfügung stehende Probenkörper hat kaum eine Mächtigkeit von mehr als 1 cm.

Im Planolites-Stockwerk ist wegen der größeren Wühltiefe und der häufigeren Vertikalbewegungen der Lebensspuren-Erzeuger die Auflösung vergleichsweise niedriger, abgesehen von der Verwühlung in den oberen Stockwerken. Sie dürfte um $1 \frac{1}{2}$ bis $3 \frac{1}{2}$ mal geringer sein (Angabe geschätzt!) als im Scolicia-Stockwerk.

Für Spreitenbauten und Thalassinoides-Wühlgefüge können keine Angaben gemacht werden (s. 6.3.). Daher kann auch der Einfluß der Wechsel der Ichnofauna in warm- und kaltzeitlichen Sedimenten nicht geklärt werden.

So muß es Ziel bleiben, die bisher erarbeiteten Mischungsmodelle, die auf der Annahme mehrerer "Schichten" mit unterschiedlichen Mischungskoeffizienten basieren (PENG et al. 1977, 1979) an die im Untersuchungsgebiet beobachteten Lebensspuren und Gefügestockwerke anzugleichen und entsprechende Mischungskoeffizienten zu ermitteln.

7. Rezente und fossile Ichnozoenosen

Die meisten Lebensspuren und Ichnozoenosen sind bisher in Sedimentgesteinen untersucht worden. Es wird deshalb die methodische Frage gestellt, wie und in welchem Maß sich die in den Sedimentkernen des Untersuchungsgebietes beobachteten Ichnozoenosen mit fossil gefundenen vergleichen lassen, und welche methodisch bedingten Unterschiede in der Ansprache von Lebensspuren-Gemeinschaften auftreten können.

7.1. Material und Arbeitsweisen

Bei der Analyse biogener Gefüge in Kernen rezenter Sedimente werden oft andere Methoden und Kriterien angewandt als in festländischen Aufschlüssen. Ein Vergleich der Arbeitsweisen ist als Übersicht in Tabelle 7-1 zusammengestellt.

Tabelle 7-1	Untersuchungsgebiet (Rezente Weichsedimente)	Festland *) (Fossile Sedimente)
Beobachtungsmöglichkeit	Kerne	Aufschlüsse **)
Probengröße Probenmenge Vorzugsrichtung Toponomie Objekte Vertikal orientiert Horizontal orientiert Bevorzugt Beobachtung von	Durchmesser klein Länge groß Gering Vertikal (Profile) (h zu s-Flächen) Vollformen Große Lebensspuren ***) Kleine Lebensspuren ***) Vertikal orientiert Horizontal orientiert Vertikalen Veränderungen <u>Selten vollständige Spuren (s. Methode)</u> (<u>Verlauf</u> <u>Verzweigungen</u> <u>Innenstrukturen</u> <u>Sedimentfüllung</u> <u>Verzweigungen</u> <u>Verlauf</u>) unterrepräsentiert Je nach Größe analysierbar (s.o.) Überprägungsalter	Aufschlüsse **) Selten problematisch Bevorzugt Flächen (// zu s-Flächen) Reliefe, seltener Vollformen Große und kleine Lebensspuren ***) Vertikal orientiert Horizontal orientiert Lateralen Vergesellschaftungen (<u>Verlauf</u> <u>Verzweigungen</u> <u>Skulpturen</u> <u>Innenstrukturen ****)</u>) Orientierung nicht so bedeutsam Überprägungsalter ****)
Material	Weichsedimente	Festgesteine
Alter	Sehr gering ("rezent")	Hoch (fossil)
Methode	Radiographie	Direktbeobachtung
Vorzüge	Ökologische Bedingungen besser zu ermitteln	Mehr diagnostische Merkmale vorhanden

*) Angaben anhand Literaturdaten (z.B. aus CRIMES & HARPER 1970, 1977) **) Bohrkerne stellen ein "Mittelding" dar.

) Groß: $\phi > 3$ mm; klein: $\phi < 3$ mm *) Von auf dem Festland arbeitenden Autoren nur selten verwendet

Für Diagnose vorteilhaft; Merkmal nur begrenzt oder gar nicht verfügbar; Beeinträchtigt Diagnose

GEOMAR
- Bibliothek -
Wischhofstr. 1-3
2300 KIEL 14

Der Einfluß der Diagenese ist nur schwer abzuschätzen. - Alle Beobachtungen von Wühlgefügen im Untersuchungsgebiet beruhen auf Unterschieden in der Packungsdichte und der Größe der Partikel zwischen Lebensspuren und umgebenden Sediment. Letztere - bei allen Spuren mehr oder minder gut ausgeprägt (s. 3. Kap. Punkt 9.) - dürften bei Alterung und Verfestigung der Sedimente kaum verloren gehen. In diagenetisch überformten Ablagerungen können jedoch Wühlhöfe resp. Räumauskleidungen nicht immer als Teile von Lebensspuren erkannt werden, z.B. bei Planolites. So kann eine zu geringe Dichte von Lebensspuren und damit zu geringe Verwühlung (als Anteil der Wühlgefüge im Sediment ausgedrückt) vorgetäuscht werden.

Ein Problem stellen auch diagenetische Neubildungen dar: So zerstören z.B. frühdigenetische Pyritbildungen im Kern 218-1 große Teile der Lebensspuren derart, daß eine Analyse biogener Gefüge kaum durchführbar ist.

In wie weit noch spätere diagenetische Bildungen die Untersuchung von Lebensspuren behindern oder unmöglich machen können, ist für Sedimente, wie sie im Untersuchungsgebiet auftreten, bisher nicht bekannt.

7.2. Arbeitsweise und Ansprache von Lebensspuren

In den untersuchten Profilen können größere ($> 3 \text{ mm } \varnothing$), vertikal orientierte Wühlgefüge nur mit Einschränkungen (Reproduzierbarkeit der Beobachtungswerte) zur Charakterisierung von Lebensspuren-Gemeinschaften herangezogen werden (s. 4.9.). Es wurde deshalb in Einzelfällen versucht, die Bedeutung derartiger biogener Gefüge in horizontal orientierten Schnitten zu ermitteln.

Im wesentlichen sind 2 Gruppen zu unterscheiden, Röhren von Filtrierern oder Suspensionsfischern und Freißpuren (oder Teile davon).

Bei der ersten Gruppe ist die Anzahl der Spuren pro Flächeneinheit vor allem vom Nachschub an nahrungsreichem Schweb abhängig. Die Zufuhr geeigneter Partikel dürfte mit wachsender Landentfernung entsprechend den lokalen Gegebenheiten abnehmen.

In schnell akkumulierten Flachwassersedimenten (Wassertiefe $< 200 \text{ m}$) ist in einigen Proben die Anzahl solcher Lebensspuren so groß, daß sie auch in Profilen gefügebestimmend sind.

Mit abnehmender Anzahl solcher Lebensspuren wird die Reproduzierbarkeit geringer. Daher kann bei einem Vergleich, wie er angestrebt wird, ein zu kleines Spektrum an vertikal orientierten Spuren in rezenten Sedimenten festgestellt werden.

In Sedimenten aus Wassertiefen > 1.000 m mit Stockwerkbioturbation besitzen vertikal orientierte, von der Oberfläche ausgehende (Teile von) Spuren nur in Profilabschnitten mit der Scolicia-Gemeinschaft überhaupt Erhaltungschancen (s. 6.4.). Aber aufgrund des seltenen Vorkommens solcher Spuren auch in horizontal orientierten Schnitten, ist nur in wenigen Fällen die für diese Gemeinschaft angegebene Diversität zu gering.

Vertikal orientierte (Teile von) Freßspuren konnten nur in Zusammenhang mit der Vertikalspreiten-Gemeinschaft gefügebestimmend gefunden werden. Bei ihr ist jedoch aufgrund der im Profil oft ähnlichen Schnittbilder eine sichere Unterscheidung der einzelnen Ichnogenera nicht immer gut möglich (s. 5.2.). Für einen Vergleich "rezentfossil" ist allerdings das Überwiegen + vertikal orientierter Spreiten wie ?Lophoctenium oder Teichichnus kennzeichnend und nicht so sehr die Anzahl der auftretenden Typen.

Horizontal orientierte Lebensspuren, die rezent aufgrund ihrer Merkmalsarmut der Gattung Planolites zugeordnet werden, haben eventuell einen typischen Verlauf oder Skulpturen auf dem Lumen, die sich aber in Weichsedimenten nicht beobachten lassen. Allerdings können diese "Verlaufsmuster" nicht so markant sein, da sie sich sonst in einem 15 cm breiten Profil in einem auffälligen Schnittmuster äußern würden. Möglicherweise lassen sich die Lebensspuren dieses Ichnogenus - diagenetisch überprägt - einer größeren Anzahl von Kategorien zuordnen. Eine "Verzerrung" des Spureninhaltes der Planolites-Gemeinschaft scheint in unseren Sedimenten möglich. Die Größenordnung dieses Fehlers ist unklar.

Für die Hintergrundfauna werden im rezenten möglicherweise zu geringe Diversitäten der einzelnen Lebensspuren-Gemeinschaften angegeben. Bei der Überlappungsfauna ist das nicht der Fall.

7.3. Vergleichskriterien

Ein Vergleich von Lebensspuren allein ist für eine Identifizierung entsprechender, unter ähnlichen Bedingungen gebildeter, fossiler Kontinentalrandsedimente auf dem Festland nicht immer dienlich. Deshalb sollten weitere Kriterien herangezogen werden. Für das Untersuchungsgebiet können folgende Merkmale angegeben werden:

- (1) Totale Durchwühlung (keine primären Gefüge) in den kontinuierlich abgelagerten Sedimenten beobachtbar;
- (2) Anteil der Freßspuren in Ablagerungen aus Wassertiefen >500 m $>90\%$
- (3) Stockwerkbioturbation; Systematik der Überprägungsalter;
- (4) Rascher vertikaler Wechsel verschiedener Lebensspuren-Gemeinschaften, wobei eine Gemeinschaft selten mehr als 4 m mächtige Profilabschnitte einnimmt - abgesehen von Planolites-Gefügen in der Tiefsee;
- (5) In den Sedimenten fehlende Oberflächenspuren;
- (6) Fehlende Graphoglypten;
- (7) Sedimenttyp: Siltig-feinsandiger Ton(stein) lokal mit Rutschmassen oder Turbiditen;
- (8) Chondrites-Zoophycos-Soolicia-Vergesellschaftung.

Im folgenden seien einige dieser Kriterien näher erläutert:

- Graphoglypten

Der Begriff "Graphoglypten" - 1895 von FUCHS geprägt - umfaßt im wesentlichen Flysch-Spurenfossilien, zu deren typischsten Vertretern Paleodictyon gehört. Für diese Spurengruppe ist "eine hochgradige Verhaltens-Optimierung und eine phylogenetische Größenabnahme bezeichnend für die Evolution in dem stabilen, aber nahrungsbeschränkten Biotop des Tiefseebodens" (SEILACHER 1974).

Diese Lebensspuren-Gruppe fehlt in den untersuchten Sedimenten bis auf einige Wühlgefüge, die zur Gattung Helminthopsis gestellt werden. Für dieses Phänomen ist eine Reihe von Erklärungen möglich:

- (a) Graphoglypten sind mit den angewandten Methoden nicht nachweisbar. In Kernmaterial aus der Sulu-See, einem kleinen, tiefen Meeresbecken mit flyschartigen Ablagerungen im Beckentiefsten (KÖGLER et al. 1979) konnte in Radiographien eine Reihe von Graphoglypten nachgewiesen werden, wie Cosmoraphe, Glockereria und Protopaleodictyon. Daher dürfte ihr Fehlen in den Sedimenten vor NW-Afrika andere Gründe haben:

(b) Graphoglypten werden nicht erhalten.

Da diese Spuren verhältnismäßig flach im Sediment angelegt werden, erleiden sie aufgrund der mehrfachen Verwühlung der Sedimente dasselbe Schicksal wie Oberflächenspuren. Allerdings müßten Graphoglypten dann wohl in Oberflächenproben nachweisbar sein, es sei denn, ihre Anlage wäre auf kaltzeitliche Sedimente beschränkt, die sich ja tatsächlich durch höhere Diversitäten auszeichnen. Dann ist jedoch folgendes zu berücksichtigen:

(c) Graphoglypten werden nicht angelegt.

Diese Lebensspuren-Gruppe dokumentiert eine sehr gute Anpassung der Verhaltensweisen der Lebensspuren-Erzeuger an ein im Nährstoffangebot beschränktes, stabiles Biotop (SEILACHER 1974, 1977). Da die Sedimente im Untersuchungsgebiet verhältnismäßig reich an C_{org} und damit an potentiellen Nährstoffen sind (s. 4.4.), können sich derartige Verhaltensweisen nicht durchsetzen: Die Graphoglypten-Verhalten sind für Oberflächensedimente im Untersuchungsgebiet überspezialisiert und damit uneffektiv (s. 4.2., 4.4.), denn die Konkurrenz durch andere, weniger ortsgebundene Organismen ist zu groß. Epifauna und flach wühlende Infauna würden die Graphoglypten-Gangsysteme zerstören, zumal deren eventuell vorhandene Schleimauskleidung eine potentielle Nahrungsquelle darstellt. So wäre eine dem Graphoglypten-Verhalten entsprechende ökologische Nische nur tiefer im Sediment vorhanden. Viele dieser Lebensspuren sind jedoch wegen ihrer vielfachen Verbindungen zur Sedimentoberfläche nicht für größere Tiefen geeignet. Daher werden Graphoglypten in den Sedimenten des Untersuchungsgebietes wahrscheinlich nicht angelegt.

Das Fehlen von Graphoglypten ist demnach typisch für das Untersuchungsgebiet.

- Chondrites-Zoophycos-Scolicia-Vergesellschaftung

Diese Vergesellschaftung kann für weite Teile des Untersuchungsgebietes, zwischen 14° N und 24° N, als typisch gelten (s. 5.7.).

Chondrites/Zoophycos kennzeichnen im Untersuchungsgebiet Wassertiefen >1.000 m, Scolicia-Gefüge grobkörnige Sedimente (Aridität auf dem angrenzenden Festland, ablandiges Windsystem).

In festländischen Aufschlüssen müßte diese Spurenvergesellschaftung unabhängig von der Arbeitsweise festzustellen sein.

7.4. Wie "aktualistisch" sind die beobachteten Ichnozoenosen?

Kommen die Beobachtungen im Untersuchungsgebiet überhaupt als "aktualistische" Analoga zu fossilen Ablagerungen in Frage, oder liegt etwa ein "An-Aktualismus" vor, wie ihn SEILACHER (1957) für Wattenablagerungen anführt? Dies soll durch einen Vergleich mit 2 Übersichtstabellen (CHAMBERLAIN 1978; SEILACHER 1978) geprüft werden. Sie wurden anhand zahlreicher Beobachtungen auf dem Festland in Aufschlüssen und an Kernen zusammengestellt und zeigen Lebensspuren(-Assoziationen) in einem bestimmten Biotop.

In der Tabelle von CHAMBERLAIN (1978) ist "off shore" nach dem Kriterium "Wassertiefe" nur ein Teil der in den Sedimenten des Untersuchungsgebietes auftretenden Lebensspuren im angegebenen Tiefenbereich "bathyal slope" vorhanden: Arenicolites (s. Einführung 3. Kap.), Chondrites, ?Lophoctenium, Ophiomorpha ⁺) (→ Planolites (?)) ⁺⁺), Planolites, Scalarituba ⁺) (→ Planolites (?)) ⁺⁺), Teichichnus und Zoophycos. Hinzukommen noch bisher nur aus Tiefsee-Bohrkernen bekannte "composite burrows" (→ Chondrites sp. B, Helminthopsis sp. A) ⁺⁺), wie sie von CHAMBERLAIN (1975) beschrieben wurden. Als Wühlgefüge aus dem Flachwasser treten Planolites (sp. A ?)) ⁺⁺), "echinoid burrows" (→ Scolicia) ⁺⁺) und Thalassinoides auf. Ihr Vorhandensein wurde schon in 5.4. eingehender erläutert.

Landfern in größeren Wassertiefen (Stationen 207, 208, 209) ist die "abyssal plain"-Assoziation mit Chondrites, Helminthoida ⁺), Planolites, Teichichnus ⁺⁺⁺), Zoophycos und "composite burrows" vertreten. Eine gute Übereinstimmung ist festzustellen.

In der von SEILACHER (1978) abgebildeten Tabelle sind die Ichnofazies-Einheiten nach der Wassertiefe aufgeführt. Die Sedimente des Untersuchungsgebietes wären der Bathymetrie nach in die Zoophycos-Fazies (SEILACHER 1967) einzustufen. Die dazugehörigen Spurenspektren umfassen jedoch weniger Wühlgefüge als im Untersuchungsgebiet auftreten, oder in der Tabelle von CHAMBERLAIN (1978) angeführt sind. Damit ist zwar das Schema von SEILACHER flexibler anwendbar, aber es enthält für einen Vergleich nicht immer genug Angaben zum Lebensspuren-Inhalt einer Fazies.

⁺) Im Untersuchungsgebiet nicht beobachtet ⁺⁺) (→ Entsprechungen)

⁺⁺⁺) Nur vereinzelt in großen Wassertiefen

Der Vergleich unserer Beobachtungen mit den Tabellen zeigt, daß die im Untersuchungsgebiet festgestellten Ichnozoenosen durchaus als "aktualistisch" angesehen werden können.

7.5. Gibt es fossile Entsprechungen?

Trotz des "Aktualismus" der im Untersuchungsgebiet auftretenden Ichnozoenosen konnten bisher in der Literatur keine Beschreibungen fossiler Entsprechungen gefunden werden. Zwar existieren im Schrifttum Schilderungen des Übergangsbereiches vom Schelf zur Tiefsee (z.B. CHAMBERLAIN 1971; CRIMES 1973, 1977; SEILACHER & MEIACHNER 1964), ohne daß diese jedoch den Sedimenten (häufige Turbidite), dem Spurenhalt (Graphoglypten), der Verwühlungsintensität (Primärgefüge) oder der Gesteinsausbildung nach den Ablagerungen im Untersuchungsgebiet entsprechen. Warum fehlen Beobachtungen an ähnlichen Sedimentgesteinen? Folgende Antworten sind möglich:

1. Derartige Gefüge treten nur in relativ kurzen Profilen auf und sind daher verhältnismäßig schwer zu finden.
2. Die Gefüge der zu erwartenden siltig-feinsandigen Tonsteine sind wahrscheinlich nicht so auffällig und spektakulär. Sofern sie überhaupt bemerkt werden, werden sie beim ersten Augenschein nicht zu einer so eingehenden Untersuchung herausfordern wie vor NW-Afrika.
3. Das Sedimentationsgeschehen im Untersuchungsgebiet ist von einer Reihe Faktoren abhängig, die nur selten zusammen auftreten (s. 1.1.):
 - a) Zufuhr terrigenen Materials im wesentlichen äolisch, nur südlich 16° N auch fluviatil;
 - b) Produktive Wassermassen als Folge von Auftriebserscheinungen und Düngungseffekten vor Flußmündungen;
 - c) Im Vergleich zum Anteil biogener Gefüge wenig Turbidite und Rutschmassen, meist südlich 16° N (Flußmündungen, steilere Hangmorphologie);
 - d) Keine langandauernde, hochgradige Sauerstoffverarmung des Bodengewässers aufgrund unbehinderter Zirkulation;
 - e) Ablagerungen auf einem tektonisch passiven Kontinentalrand (SEIBOLD & HINZ 1974), der fossil seltener zu beobachten ist.

Heute sind Kontinentalränder mit den geschilderten Bedingungen nur selten zu beobachten. Während des Hochglazials waren sie weiter verbreitet, machten aber im Verhältnis zur globalen Kontinentalrandlänge nur einen geringen Bruchteil aus. Einen guten Überblick geben die Karten von SARNTHEIN (1978). Man findet solche Kontinentalränder auf den Westseiten der Kontinente in den Passatregionen: Vor der großen Sandwüste NW-Australiens (rezent aber nur mit unbedeutendem Auftrieb; DIETRICH et al. 1975), der Kalahari und der Sahara. Typischerweise fehlen hohe, küstenparallele Gebirge. Alle diese Sedimentationsräume befinden sich auf passiven Kontinentalrändern.

Alles in allem sind also die Aussichten, einen dem NW-afrikanischen Kontinentalrand ähnliches Sedimentationsgebiet fossil auf dem Festland zu finden, recht gering - und wahrscheinlich dürften die Gefüge nicht sehr auffällig sein.

8. Zusammenfassung

In den Sedimenten vor NW-Afrika zwischen 12° N und 28° N wurden von 86 Kernen aus Wassertiefen > 500 m die Gefüge mit Hilfe von Radiographien untersucht. Der Flächenanteil der biogenen Gefüge in den Radiographien ist deutlich größer als 90%.

25 Typen von Gestaltungswühlgefügen sind zu beobachten, 19 von ihnen können 9 fossil bekannten Ichnogenera zugeordnet werden: Chondrites (5), Helminthopsis (2), Lophoctenium, Planolites (5), Scolicia (2), Teichichnus, Thalassinoides, Trichichnus und Zoophycos.

Die Verwühlung der Ablagerungen ist sehr intensiv, mehrmalige biogene Sedimentaufarbeitung ist die Regel. Dabei wird das Verhalten der Organismen und somit auch die Gestaltung der Lebensspuren im wesentlichen vom Nährstoffangebot gesteuert: In Sedimenten mit $> 2\%$ C_{org} treten Verformungswühlgefüge auf, bei $< 2\%$ C_{org} Gestaltungswühlgefüge. Letztere werden systematisch verschieden tief im Sediment in sogenannten "Gefügestockwerken" angelegt. Mit zunehmender Tiefe im Meeresboden sind speziellere Verhalten und innerhalb jeder "Verhaltensgruppe" eine Abnahme der Durchmesser der Lebensspuren-Erzeuger festzustellen. Folgende Stockwerke werden von oben nach unten unterschieden: (I) Homogene Oberschicht (biogene Sedimenthomogenisierung); (II) Scolicia-Stockwerk (Gänge, 2-4 cm Durchmesser); (III) Planolites-Stock-

werk (Gänge, ~1 cm Durchmesser); (IV.) Kleinbauten-Stockwerk mit Chondrites, Helminthopsis (Gangsysteme, Gangdurchmesser 1-3 mm) und Lophocentrum, Teichichnus (Spreiten, Höhe ~1.5-2.5 cm) und (V.) Zoophycos (Spreiten, Höhe ~1 cm).

Mit zunehmender Wassertiefe nimmt die Mächtigkeit der durchwühlten Zone von 80 cm bei 500m über 40-50 cm bei 2.000 m bis auf 15-25 cm bei 4.750 m ab.

In Anlehnung an die Gefügestockwerke werden Wühlgefüge zu Lebensspuren-Gemeinschaften zusammengefaßt, mit denen sich die Sedimente ökologisch untergliedern lassen. Es werden unterschieden: (1) Verformungswühlgefüge in Sedimenten mit $> 2\% C_{org}$; (2) Scolicia-Gemeinschaft (3) Planolites-Gemeinschaft für beide wird eine Korngrößenspezifität angenommen, (2) in stark grobsilthaltigen und (3) in feinkörnigen Sedimenten; (4) Vertikalspreiten-Gemeinschaft mit Corophioides, Lophocentrum und Teichichnus; (5) Chondrites-Gemeinschaft und (6) Zoophycos, (4), (5) und (6) treten bevorzugt in kaltzeitlichen Sedimenten auf, (4) in Wassertiefen um 1.000 m, (5) ab 1.000 m und (6) meist zwischen 2.000 und 3.500 m.

Die Ichnofauna und somit auch das Auftreten der einzelnen Lebensspuren-Gemeinschaften und Gefügestockwerken unterliegt zeitlichen Veränderungen. Insgesamt ist die Spurendiversität in kaltzeitlichen Sedimenten höher als in warmzeitlichen. Dieses Phänomen wird mit der erhöhten Einbettungsrate von organischen Substanzen und eventuellen Veränderungen der Wassermassenzirkulation in Zusammenhang gebracht.

Von den verschiedene Lebensspuren erzeugenden Organismen werden die Sedimente in unterschiedlicher Weise gemischt. Dadurch wird die stratigraphische Überlieferung gestört. Die mehrfache Verwühlung durch Erzeuger verschiedener Lebensspuren beeinträchtigt eine generelle, quantitative Aussage über die biogene Sedimentmischung im Untersuchungsgebiet erheblich. Die geringsten stratigraphischen Unschärfen treten im Bereich von Scolicia-Gefügen auf. Die optimale Auflösung liegt zwischen 200 und 300 Jahren.

Die rezenten Beobachtungen vor NW-Afrika werden als "aktualistisch" anwendbares Modell angesehen. Fossile Gegenstücke sind jedoch bisher nicht bekannt, da (1) ähnliche Sedimentationsgebiete auch heute selten auftreten, (2) sie auf passiven Kontinentalrändern liegen und (3) in den fossil zu erwartenden siltigen Tonsteinen die biogenen Gefüge wenig auffällig sein dürften.

9. Anhang

9.1. Stationsliste

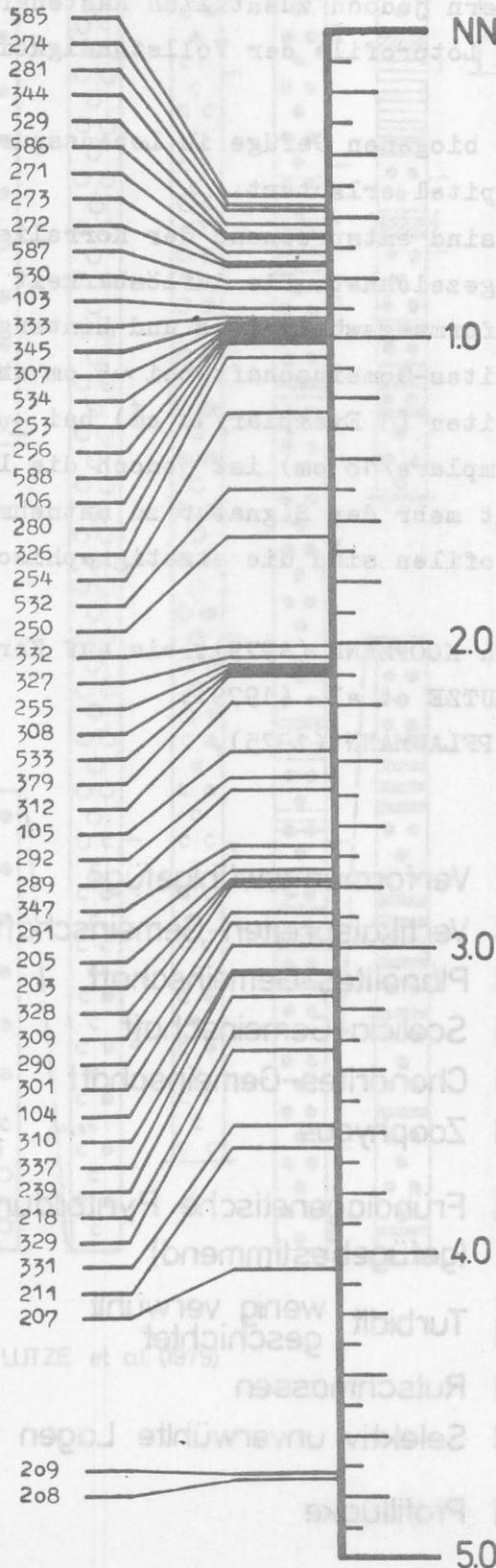
Angaben nach SEIBOLD (1972) für die Stationen 301-379, im Kieler Probenverzeichnis 12301-12379, nach THIEL, Hamburg (unveröffentlicht) für die Stationen 102-108, im Kieler Probenverzeichnis 13102-13108, und nach SEIBOLD & HINZ (1976) für die Stationen 203-297 und 529-588, im Kieler Probenverzeichnis 13203-13297 und 13529-13588.

Bezeichnung der Geräte wie folgt: KG = Kastengreifer, KL = Kastenlot, PL = Kolbenlot und SL = Schwerelot.

Station Nr.	Breite N o ' o'	Länge W o ' o'	Wasser- tiefe m	Gerät	Kern- länge cm	Station Nr.	Breite N o ' o'	Länge W o ' o'	Wasser- tiefe m	Gerät	Kern- länge cm
301-3	27-03,0	15-03,1	2934	KL	225	250-1	15-42,2	17-32,7	1680	KG	32
307-4	26-24,3	14-57,7	980	KG	25	253-1	15-46,1	17-10,8	985	KG	50
308-3	26-38,7	15-03,2	2085	KG	40	253-2	15-46,1	17-10,8	985	KL	72
309-2	26-50,3	15-06,6	2820	KL	350	254-1	15-51,3	17-09,7	1240	KL	352
309-3	26-50,3	15-06,6	2760	PL	750	255-2	17-51,3	17-10,0	2082	KG	42
310-4	23-29,9	18-43,0	3080	KL	550	255-3	17-51,3	17-10,0	2068	KL	381
326-4	23-02,1	17-24,6	1056	KL	300	256-1	17-52,4	16-47,5	995	KG	45
327-5	23-07,9	17-44,1	2046	KL	580	256-2	17-52,4	16-47,5	995	KL	560
328-4	21-08,7	18-34,4	2798	KG	50	271-1	17-51,5	16-43,9	708	KG	40
328-5	21-08,7	18-34,4	2778	KL	550	272-1	17-51,8	16-44,8	755	KG	27
328-6	21-08,7	18-34,4	2778	KL	150	273-1	18-46,3	16-53,2	744	KG	27
329-5	19-22,0	19-55,8	3316	KL	500	274-1	18-44,8	16-50,1	556	KG	31
329-6	19-22,0	19-55,8	3320	PL	850	280-1	18-43,7	16-57,8	1029	KG	31
331-1	16-32,9	21-58,2	3573	KG	20	280-2	18-43,7	16-57,8	1030	KL	447
331-2	16-32,9	21-58,2	3568	KL	167	281-2	18-48,3	16-50,8	580	KG	37
331-4	16-32,9	21-58,2	3569	PL	305	289-1	18-04,4	18-00,6	2485	KG	44
337-5	15-58,4	18-07,1	3082	KL	143	289-2	18-04,4	18-00,6	2492	KL	496
344-6	15-25,7	17-20,5	625	KL	350	289-3	18-04,4	18-00,6	2490	KL	910
345-4	15-28,8	17-21,6	966	KG	50	290-1	18-03,2	18-04,0	2895	KG	42
345-5	15-28,8	17-21,6	945	KL	500	291-1	18-07,1	18-04,5	2696	KL	556
347-2	15-49,5	17-50,7	2576	KL	600	292-3	17-16,8	17-33,6	2448	KL	346
379-1	23-08,4	17-44,7	2066	KL	780	295-1	16-49,1	16-43,9	505	KL	440
379-2	23-08,4	17-44,7	2096	KL	280	296-3	16-31,8	16-47,5	215	KL	496
379-3	23-08,4	17-44,7	2136	PL	770	297-2	16-31,2	16-47,6	320	KL	320
102-1	25-30,5	15-59,6	420	KG	18	529-1	20-59,6	17-42,2	660	KG	22
103-1	25-33,9	16-08,1	928	KG	30	530-1	21-00,0	17-43,7	830	KG	30
104-1	21-36,9	18-16,1	2998	KG	42	532-1	20-58,8	17-52,5	1503	KL	204
105-1	21-26,5	18-15,2	2187	KG	35	532-2	20-58,8	17-52,5	1418	KG	31
106-1	21-24,6	17-53,6	1023	KG	33	533-1	20-59,6	18-01,9	2093	KG	23
107-1	21-22,7	17-24,0	409	KG	23	533-3	20-59,6	18-01,9	2112	SL	396
108-1	21-19,5	17-29,2	191	KG	15	534-1	21-01,3	17-53,0	980	KG	28
						551-4	19-42,6	16-58,2	49	KG	43
203-1	16-15,5	17-49,1	2771	KL	146	557-1	19-44,7	17-07,3	415	KG	43
205-1	16-11,1	17-55,7	2742	KL	154	583-1	19-42,7	17-06,3	140	KG	32
207-3	15-05,1	20-41,9	14050	PL	310	584-2	19-41,8	17-08,1	242	KG	32
208-3	12-29,3	20-04,2	4732	KG	45	585-1	19-41,2	17-09,0	528	KG	37
209-2	12-29,2	20-02,7	4713	KL	800	586-2	19-40,8	17-12,0	665	SL	425
211-1	12-56,1	18-14,9	3652	KL	374	586-3	19-40,8	17-12,0	660	KG	35
212-1	12-29,3	17-47,4	2190	SL	470	587-1	19-38,9	17-13,5	818	KG	39
218-1	12-02,0	17-00,0	3285	KL	578	588-2	19-37,4	17-15,2	973	KG	35
239-1	13-52,6	18-18,8	3156	KL	475	588-3	19-37,4	17-15,2	1000	SL	505
246-1	15-05,4	17-27,8	1429	KG	44						

9.2. Wassertiefen der Stationen >500m

Stationsnr. Wassertiefe [km]



9.3. Gefügeprofile langer Kerne (schematisch)

Von jeder Station >500 m Wassertiefe wurde der längste der bearbeiteten Kerne dargestellt, dessen Gefüge als biogen unveränderlich anzusehen sind. Es wurden nur Kerne berücksichtigt, die die durchwühlte Zone durchteufen. Sofern jedoch zusätzlich Kastengreifer-Profile vorhanden sind, sind die Lotprofile der Vollständigkeit halber ergänzt worden.

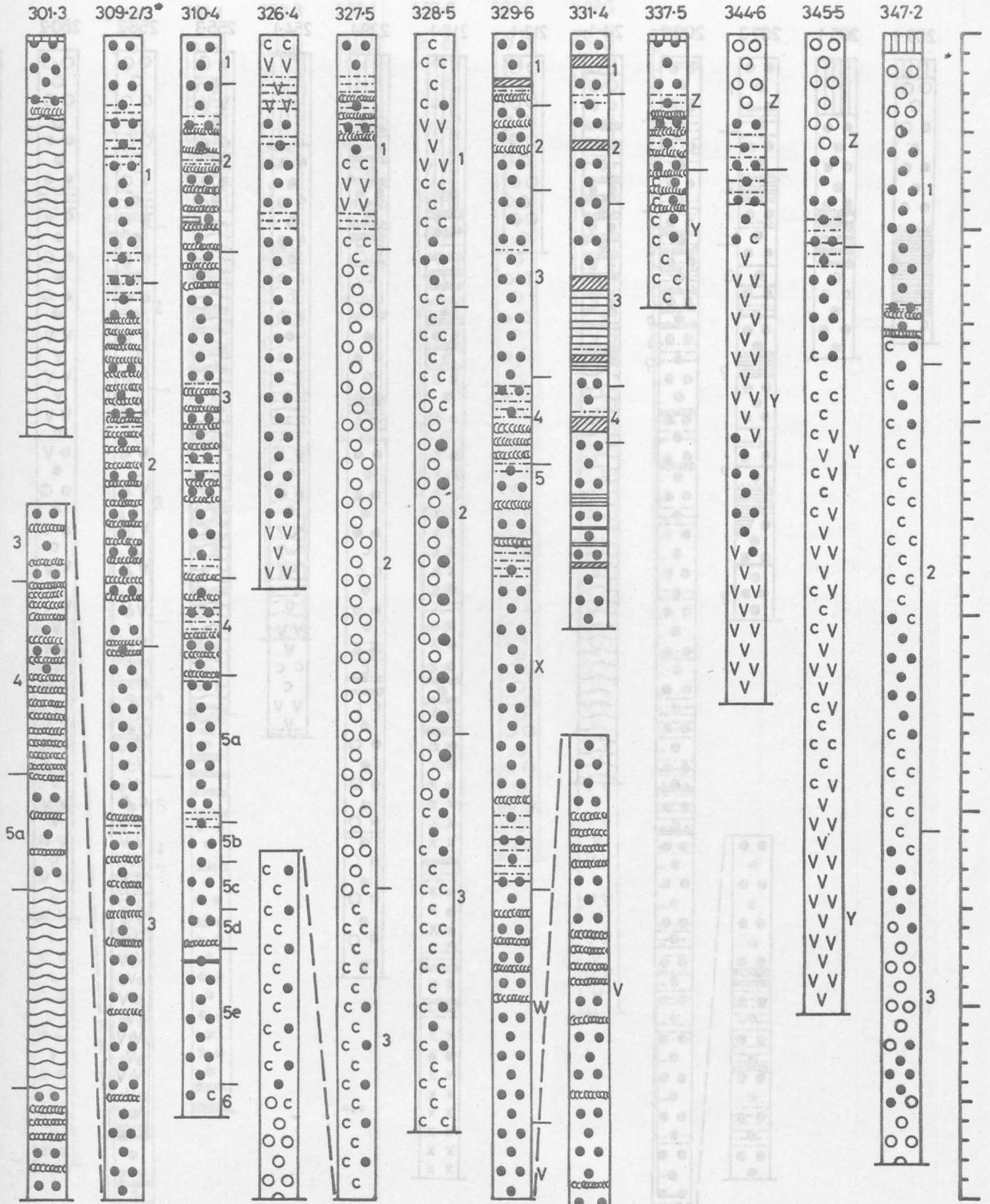
Die Einteilung der biogenen Gefüge in Lebensspuren-Gemeinschaften erfolgte wie im 5. Kapitel erläutert.

Die Gefügeprofile sind entsprechend der Korrelierbarkeit von Lebensspuren (s. 4.9.) gezeichnet. Die Auflösbarkeit der dargestellten Profile liegt für Verformungswühlgefüge und Hintergrundfauna bei ~10-15 cm, für die Chondrites-Gemeinschaft bei ~5 cm und bei Zoophycos für einzelne Freßspreiten (1 Exemplar/10 cm) bei \pm 2 cm, bei häufigem Auftreten (> 2 Exemplare/10 cm) ist jedoch die Lage und die Anzahl der Freßspreiten nicht mehr der Signatur zu entnehmen.

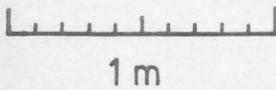
Seitlich an den Profilen sind die stratigraphischen Alter angegeben:

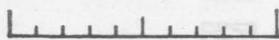
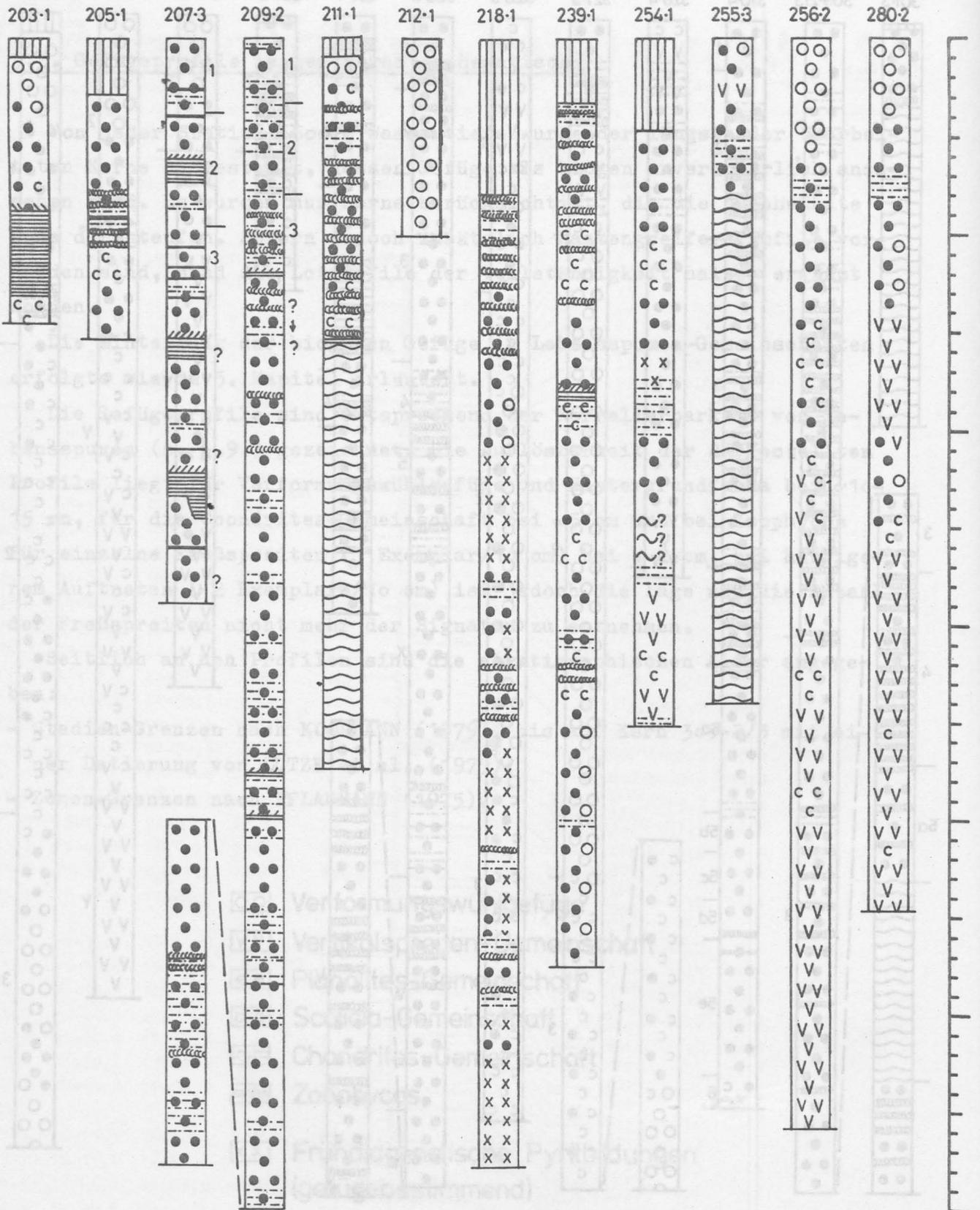
- Stadien-Grenzen nach KOOPMANN (1979), bis auf Kern 309-2/3 mit einer Datierung von LUTZE et al. (1979);
- Zonen-Grenzen nach PFLAUMANN (1975).

-  Verformungswühlgefüge
-  Vertikalspreiten-Gemeinschaft
-  Planolites-Gemeinschaft
-  Scolicia-Gemeinschaft
-  Chondrites-Gemeinschaft
-  Zoophycos
-  Frühdiagenetische Pyritbildungen (gefügebestimmend)
-  Turbidit wenig verwühlt geschichtet
-  Rutschmassen
-  Selektiv unverwühlte Lagen
-  Profillücke



* Korrelation der Kerne nach LUTZE et al. (1979)

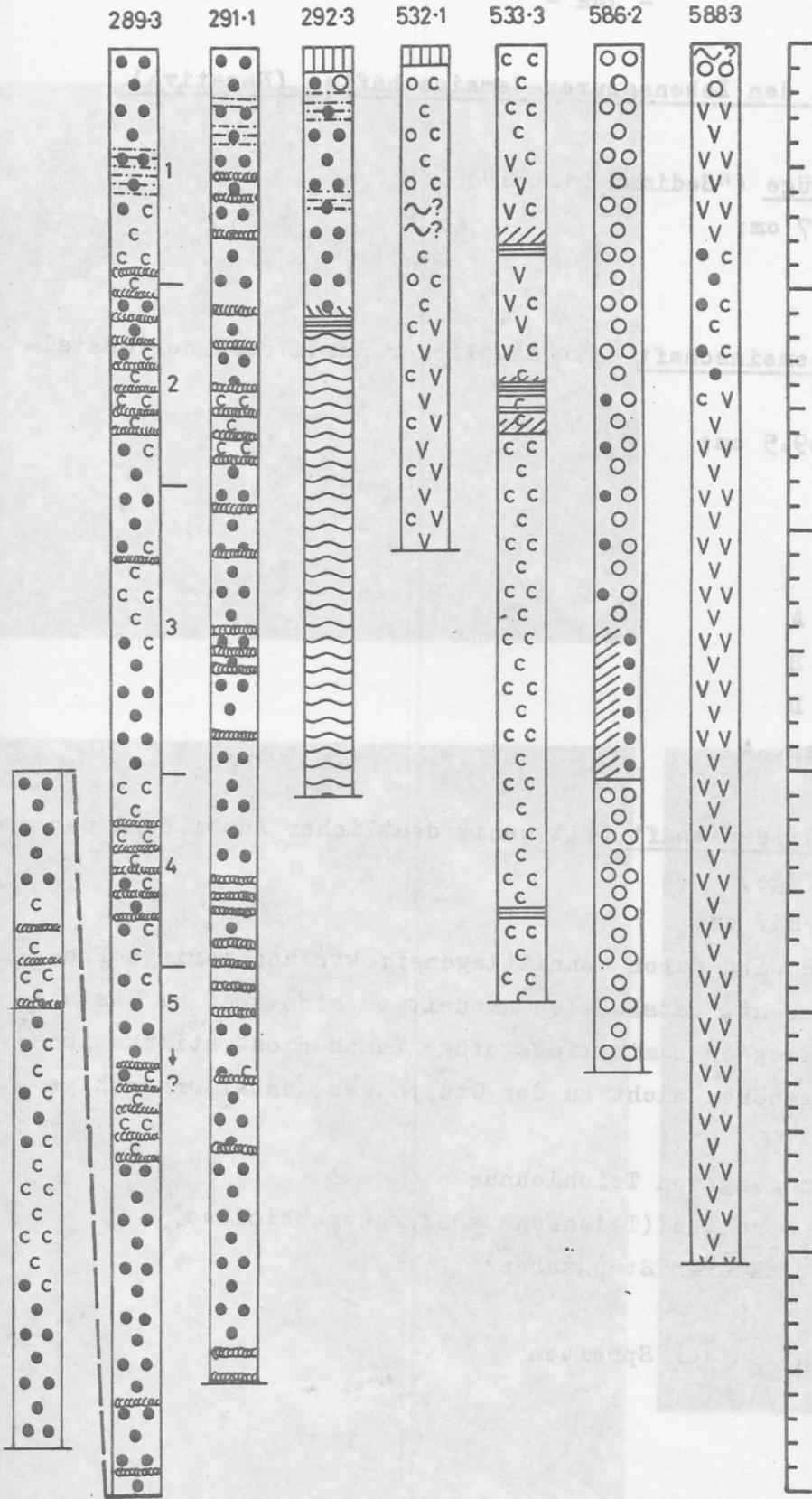




1m

- Turbulenz verweht
- Rutschschicht
- Selektiv unverwehte Lagen
- Profillücke

1m



A Verformungsfläche
Kern 279-2, 107-117
T. T. T.
B Verformungsfläche
Kern 256-2, 281-202
a ?
b ?
c ?
d ?
e ?
f ?
g ?

9.4. Bildbeispiele zu den Lebensspuren-Gemeinschaften (Negative)

A Verformungswühlgefüge ("Sedimentwirbel")

Kern 379-2, 107-117 cm;

t Trichichnus

B Vertikalspreiten-Gemeinschaft (mit deutlicher Ausbildung der Gestaltungswühlgefüge)

Kern 256-2, 281-309.5 cm;

a ?Lophoctenium

b Corophioides

c Teichichnus

d Planolites sp. A

e Planolites sp. B

f Planolites sp. D

g Helminthopsis sp. A

C Vertikalspreiten-Gemeinschaft (mit wenig deutlicher Ausbildung der Gestaltungswühlgefüge)

Kern 588-3, 225.5-237 cm;

Biogene Lamination wird durch Schnittlageneffekte und geringe Profilbreite vorgetäuscht, tatsächlich handelt es sich aber um Gestaltungswühlgefüge. Biogene Laminationsgefüge (auch Biostratifikationsgefüge) hingegen gehören nicht zu der Gruppe der Gestaltungswühlgefüge.

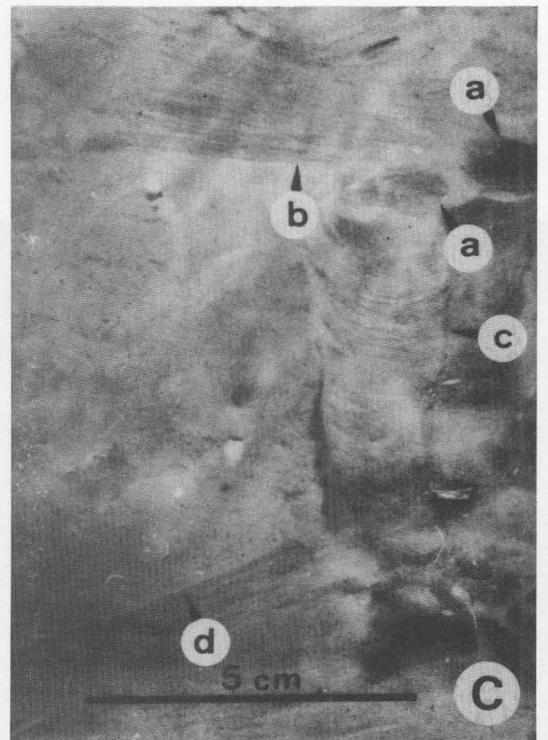
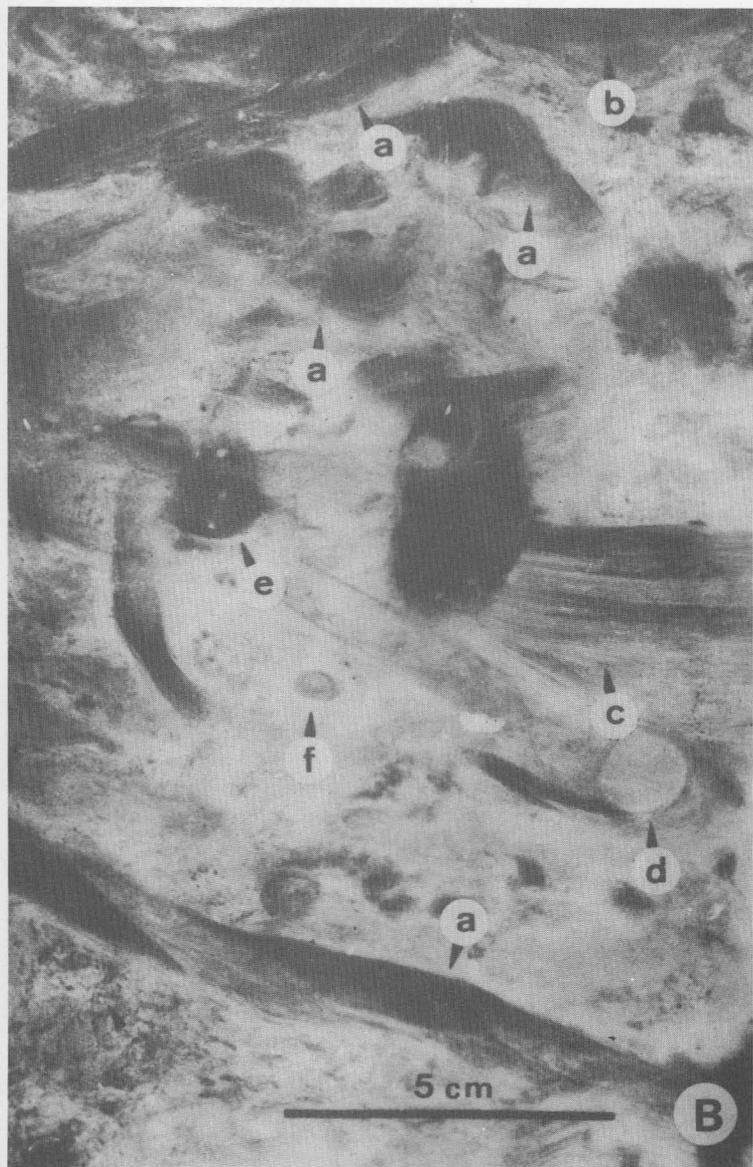
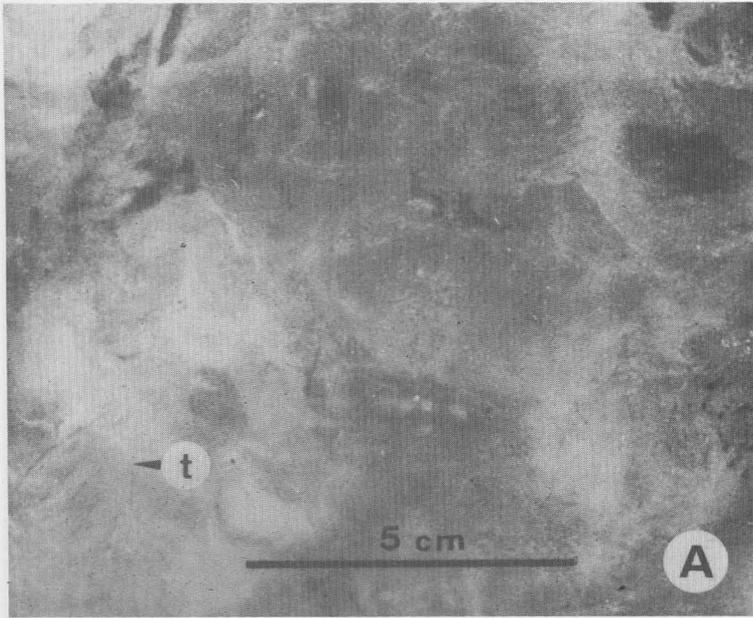
a Verfüllter Grundgang von Teichichnus

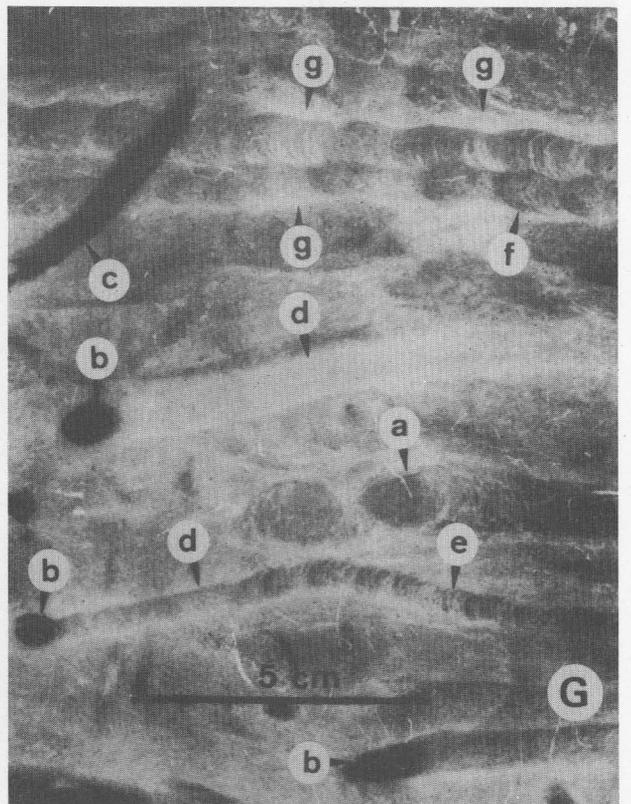
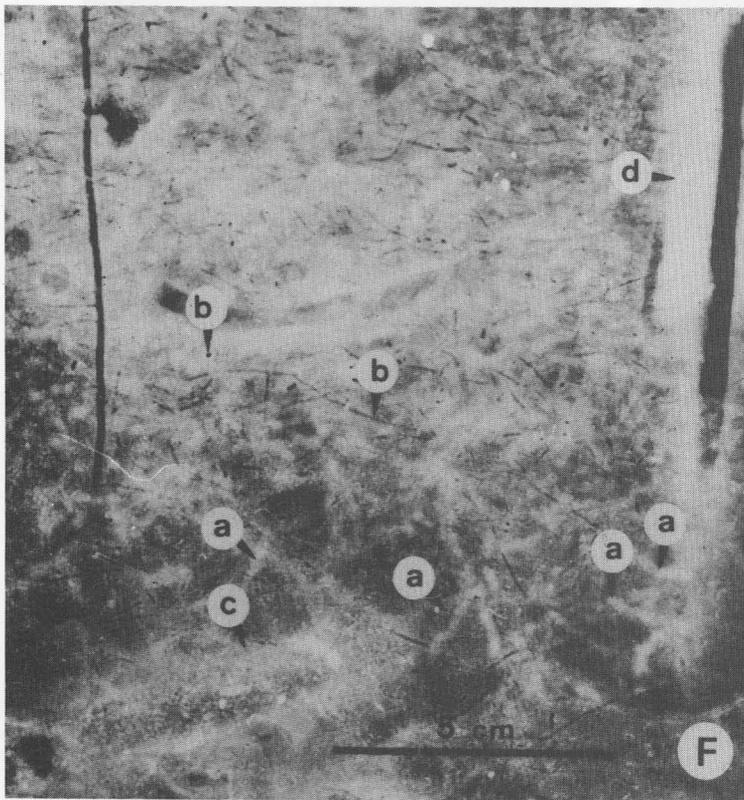
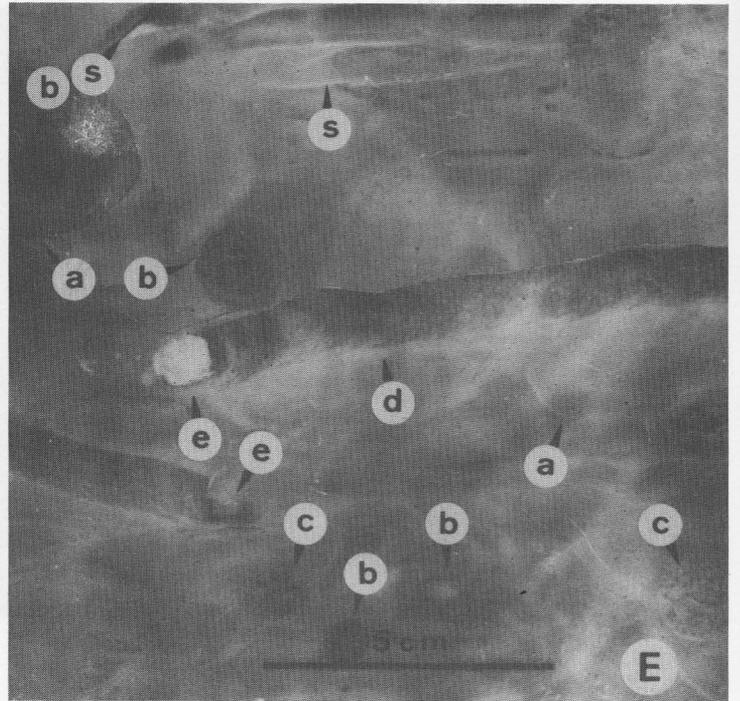
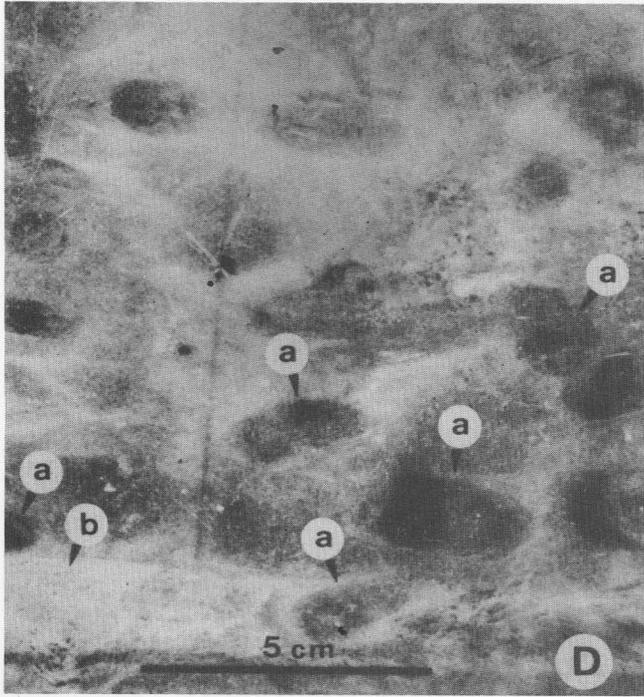
b Lamination von Spreiten (Teichichnus oder Corophioides)

Beachte Kappung anderer Strukturen!

c Teichichnus

d Gekappte Lamination von Spreiten





D Planolites-Gemeinschaft

Kern 289-3, 188.5-201 cm;

- a Planolites sp. B
- b Helminthopsis sp. A - an Planolites sp. B orientiert

E Scolicia-Gemeinschaft

Kern 239-1, 123.5-137 cm;

- a Scolicia sp. A
- b Planolites sp. B
- c Helminthopsis sp. A - an Planolites sp. B orientiert
- d Zoophycos-Freßspreite
- e Zoophycos-Randstruktur: Aktiv verfüllter Gang (J-Typ)
- s Unverwühlte Restschichtung - Hinweis auf geringe Verwühlung innerhalb der Scolicia-Gemeinschaft

F Chondrites-Gemeinschaft

Kern 211-1, 40.5-55 cm;

- a Chondrites sp. C
- b Chondrites sp. D
- c Planolites sp. D
- d Zoophycos-Schachtspreite mit offenem Gang

G Zoophycos

Kern 310-4, 309-324.5 cm;

- a Zoophycos-Randstruktur: Aktiv verfüllter Gang (J-Typ)
- b Zoophycos-Randstruktur: Offener Gang (U-Typ)
- c Zoophycos-Schachtspreite - offener Gang
- d Zoophycos-Freßspreite mit homogener Verfüllung
- e Zoophycos-Freßspreite mit strukturierter Verfüllung (Lamellen), z.T. Kotpillen-Füllung
- f Zoophycos-Freßspreiten mit veränderlichem Durchmesser
- g Wühlhof um Zoophycos-Freßspreiten

9.5. Literatur

- BEIN, A. & RÜTTERER, D. (1977): Texture and composition of continental shelf to rise sediments off the northwestern coast of Africa: an indication for downslope transportation. - "Meteor"-Forsch.-Ergebn., C, 27, 46-74, Berlin, Stuttgart.
- BERGER, W.H. & HEATH, G.R. (1968): Vertical mixing in pelagic sediments. - Jour. Marine Res., 26, 134-143, New Haven/Conn..
- BERGER, W.H., EKDALE, A.A. & BRYANT, P.P. (1979): Selective preservation of burrows in deep-sea carbonates. - Marine Geol., 32, 205-230, Amsterdam.
- BERGER, W.H., JOHNSON, R.F. & KILLINGLEY, J.S. (1977): 'Unmixing' of the deep-sea record and the deglacial meltwater spike. - Nature, 269, 661-663, London.
- BERNER, R.A. (1970): Sedimentary pyrite formation. - Am. J. Sci., 268, 1-23, New Haven/Conn..
- BISCHOFF, B. (1968): Zoophycos, a polychaete annelid, Eocene of Greece. - J. Paleontol., 42, 1439-1443, Tulsa/Okla..
- BOUMA, A.H. (1964): Notes on X-Ray interpretation of marine sediments. - Marine Geol., 2, 278-309, Amsterdam.
- BOUMA, A.H. (1969): Methods for the study of sedimentary structures. - 458 S., J. Wiley & Sons, New York.
- BRADLEY, J. (1973): Zoophycos and Umbellula (Pennatulacea): their synthesis and identity. - Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 13, 103-128, Amsterdam.
- PROMLEY, R.G. & ASGAARD, U. (1975): Sediment structures produced by a spatangoid echinoid: A problem of preservation. - Bull. geol. Soc. Denmark, 24, 261-281, Copenhagen.
- CALVERT, S.E. & VEEVERS, J.J. (1962): Minor structures of unconsolidated marine sediments revealed by X-radiography. - Sedimentology, 1, 296-301, Oxford.
- CHAMBERLAIN, C.K. (1971): Bathymetry and paleoecology of Ouachita Geosyncline of southeastern Oklahoma as determined from trace fossils. - Amer. Ass. Pet. Geol., Bull., 55, 34-50, Tulsa/Okla..
- CHAMBERLAIN, C.K. (1975): Trace fossils in DSDP cores from the Pacific. - J. Paleontol., 49, 1074-1096, Tulsa/Okla..
- CHAMBERLAIN, C.K. (1978): Recognition of trace fossils in cores. - In: P.B. BASAN (ed.), Trace fossil concepts, Soc. Econ. Paleontol. Mineralog., Short Course No. 5, 133-183, Tulsa/Okla..
- CRIMES, T.P. (1973): From limestones to distal turbidites: a facies and trace fossil analysis in the Zumaya flysch (Paleocene-Eocene), North Spain. - Sedimentology, 20, 105-131, Oxford.
- CRIMES, T.P. (1977): Modular construction of deep-water trace fossils from the Cretaceous of Spain. - J. Paleontol., 51, 591-605, Tulsa/Okla..
- CRIMES, T.P. & HARPER, J.C. (eds.) (1970): Trace fossils. - Geol. Journ., Spec. Issue, 3, 547 S., Seel House Press, Liverpool.
- CRIMES, T.P. & HARPER, J.C. (eds.) (1977): Trace fossils 2. - Geol. Journ., Spec. Issue, 9, 351 S., Seel House Press, Liverpool.
- CULLEN, D.J. (1973): Bioturbation of superficial marine sediments by interstitial meiobenthos. - Nature, 242, 323-324, London.

- DEHMEL, R. (1965): Diercke Weltatlas (120. Aufl.). - 168 S., Westermann, Braunschweig.
- DIESTER-HAASS, L. (1975): Sedimentation and climate in the Late Quaternary between Senegal and the Cape Verde Islands. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 20, 1-32, Berlin, Stuttgart.
- DIESTER-HAASS, L. (1979): Indicators of continental climates in marine sediments - a reply. - "Meteor"-Forsch.-Ergebn., C (in press), Berlin, Stuttgart.
- DIESTER-HAASS, L., SCHRADER, H.J. & THIEDE, J. (1973): Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 16, 19-66, Berlin, Stuttgart.
- DIETRICH, G., KALLE, K., KRAUSS, W. & SIEDLER, G. (1975): Allgemeine Meereskunde (3. Aufl.). - 593 S., Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- DREIMANIS, A. (1977): Correlation of Wisconsin glacial events between the eastern Great Lakes and the St. Lawrence Lowlands. - Géogr. phys. Quat., 31, 37-51, Ontario.
- DUPLESSY, J.-C. (1978): Isotope studies. - In: J. GRIBBIN (ed.), Climatic change, 46-67, Cambridge University Press, Cambridge.
- EINSELE, G. & WERNER, F. (1968): Zusammensetzung, Gefüge und mechanische Eigenschaften rezenter Sedimente vom Nildelta, Roten Meer und Golf von Aden. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 1, 21-42, Berlin, Stuttgart.
- EKDALE, A.A. (1977): Abyssal trace fossils in the worldwide Deep Sea Drilling Projekt cores. - In: T.P. CRIMES & J.C. HARPER (eds.), Trace fossils 2, Geol. Journ., Spec. Issue, 9, 163-182, Seel House Press, Liverpool.
- EKDALE, A.A. & BERGER, W.H. (1978): Deep-sea ichnofacies: modern organism traces on and in pelagic carbonates of the western equatorial Pacific. - Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 23, 263-278, Amsterdam.
- EMILIANI, C. (1955): Pleistocene temperatures. - Jour. Geol., 63, 539-578, Chicago/Ill..
- ERICSON, D.B. & WOLLIN, G. (1968): Pleistocene climates and chronology in deep-sea sediments. - Science, 162, 1227-1234, Washington.
- FERGUSON, L. (1965): A note on the emplacement of sediment in the trace fossil Chondrites. - Geol. Soc. London, Proc., 1622, 79-82, London.
- FÜRSTER, R. & BARTHEL, K.W. (1978): On recent and fossil Thalassina (Decapoda, Crustacea) and their burrows. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1978, 291-306, Stuttgart.
- FREY, R.W. (1970): Trace fossils of Fort Hays limestone member of Niobara Chalk (Upper Cretaceous), west-central Kansas. - Univ. Kans. Paleontol. Contrib., Article 53, 41 S., Lawrence, Kans..
- FUCHS, TH. (1895): Studien über Fukoiden und Hieroglyphen. - Denkschr. Akad. Wiss., Wien, 62, 369-448, Wien.
- GLASS, B.P. (1969): Reworking of deep-sea sediments as indicated by the vertical dispersion of the Australasian and Ivory Coast microtektite horizons. - Earth Planet. Sci. Lett., 6, 409-415, Amsterdam.
- GRASSLE, J.F., SANDERS, H.L., HESSLER, R.R., ROWE, G.T. & McLELLAN, T. (1975): Pattern and zonation: a study of bathyal megafauna using the research submersible Alvin. - Deep-Sea Res., 22, 457-481, Oxford.
- GREGORY, M.R. (1969): Trace fossils from the turbidite facies of the Waitemata Group, Whangaparaoa Peninsula, Auckland. - Trans. R. Soc. N. Z., Earth Sciences, 7, 1-20, Wellington.

- GRIGGS, G.B., CAREY, A.G. & KUIM, L.D. (1969): Deep-sea sedimentation and sediment-fauna interaction in Cascadia Channel and on Cascadia Abyssal Plain. - *Deep-Sea Res.*, 16, 157-170, Oxford.
- GUINASSO, N.L. & SCHINK, D.R. (1975): Quantitative estimates of biological mixing rates in abyssal sediments. - *J. Geophys. Res.*, 80, 3032-3043, Washington D.C..
- HÄNTZSCHEL, W. (1965): *Vestigia Invertebratorum et Problematica*. - *Fossilium Catalogus I, Animalia pars 108*, 142 S., W. Jung, 's-Gravenhage.
- HÄNTZSCHEL, W. (1975): *Trace fossils and problematica*, 2nd edition. - *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellaneous, Supplement 1*, XXI+269 p., C. TEICHERT ed. Geol. Soc. America and Univ. Kansas, Boulder/Colo., and Lawrence/Kans..
- HARTMANN, M., LANGE, H., SEIBOLD, E. & WALGER, E. (1971): *Oberflächensedimente im Persischen Golf und Golf von Oman. I. Geologisch-hydrologischer Rahmen und erste sedimentologische Ergebnisse*. - *"Meteor" Forsch.-Ergebn.*, C, 4, 1-76, Berlin, Stuttgart.
- HARTMANN, M., MÜLLER, P.J., SUESS, E. & van der WEIJDEN (1976): *Chemistry of Late Quaternary sediments and their interstitial waters from the NW African continental margin*. - *"Meteor"-Forsch.-Ergebn.*, C, 24, 1-67, Berlin, Stuttgart.
- HERTWECK, G. (1972): *Distribution and environmental significance of lebensspuren and in situ skeletal remains*. - *Senckenbergiana marit.*, 4, 125-167, Frankfurt.
- HESSE, R. (1972): *Turbiditic and non-turbiditic mudstones of Flysch sections*. - 24th Internat. Geol. Congr., Montreal, Sec. 6, 116, Montreal.
- HINZ, K.E., SEIBOLD, E. & WISSMANN, G. (1974): *Continental slope anticline and unconformities off West Africa*. - *"Meteor" Forsch. Ergebn.*, C, 17, 67-73, Berlin, Stuttgart.
- HOWARD, J.D., REINECK, H.-E. & RIETSCHEL, S. (1974): *Biogenic sedimentary structures formed by heart urchins*. - *Senckenbergiana marit.*, 6, 185-201, Frankfurt.
- JACOBI, R.D. (1976): *Sediment slides on the northwestern continental margin of Africa*. - *Marine Geol.*, 22, 157-173, Amsterdam.
- KAESTNER, A. (1969): *Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Bd. I Wirbellose 1. Teil*, 3. Aufl.. - 898 S., S. Fischer, Stuttgart.
- KÖGLER, F.-C., AIMOGELO, D., ESTUPIGAN, P., EXON, N.F., HARTMANN, M., MÜLLER, P.J. & WHITICAR, M.J. (1979): *The Sulu Sea Basin: R. V. Valdivia cruise report and preliminary results (VA 16-5, 1977)*. - CCOP (in press).
- KOOPMANN, B. (1979): *Sahara-Staub in Sedimenten des tropisch-subtropischen N-Atlantik während der letzten 20.000 Jahre*. - Diss. Univ. Kiel (unveröffentlicht), Kiel.
- LOVE, L.G. (1962): *Further studies on micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite*. - *Paleontology*, 5, 444-459, London.
- LUTZE, G.F., SARNTHEIN, M., KOOPMANN, B., PFLAUMANN, U., ERLKENKUSER, H. & THIEDE, J. (1979): *Meteor Cores 12309: Late Pleistocene reference section for interpretation of the Neogene of Site 397*. - In: U. von RAD & W.B.F. RYAN (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Projekt*, 47-A, (in press), U.S. Government Printing Office, Washington.
- MARINTSCH, E.J. & FINKS, R.M. (1978): *Zoophycos size may indicate environmental gradients*. - *Lethaia*, 11, 273-279, Oslo.
- McINTYRE, A., KIPP, N.G., BÈ, A.W.H., CROWLEY, T., KELLOGG, T., GARDNER, J.V., PRELL, W. & RUDDIMAN, W.F. (1976): *Glacial North Atlantic 18.000 years ago: a CLIMAP reconstruction*. - *Geol. Soc. America Mem.*, 145, 43-76, Boulder/Colo.

- MÜLLER, P.J. (1975): Diagenese stickstoffhaltiger organischer Substanzen in oxischen und anoxischen marinen Sedimenten. - "Meteor" Forsch. Ergebn., C, 22, 1-60, Berlin, Stuttgart.
- MÜLLER, P. & SUESS, E. (1979): Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans. I. Organic carbon preservation. - Deep-Sea Res. (in press), Oxford.
- MURAWSKI, H. (1972): Geologisches Wörterbuch, 6. Aufl.. - 220 S., Enke, Stuttgart.
- OSGOOD, R.G., Jr. (1970): Trace fossils of the Cincinnati area. - Palaeontographica Americana, 6, 281-444.
- PENG, T.-H., BROECKER, W.S. & BERGER, W.H. (1979): Rates of benthic mixing in deep-sea sediments as determined by radioactive tracers. - Quaternary Res., 11, 141-149, New York.
- PENG, T.-H., BROECKER, W.S., KIPPHUT, G. & SHACKLETON, N. (1977): Benthic mixing in deep-sea cores as determined by ¹⁴C dating and its implications regarding climate stratigraphy and the fate of fossil fuel CO₂. - In: N.R. ANDERSON & A. MALAHOFF (eds.), The fate of fossil fuel CO₂, Marine Science, 6, 355-373, Plenum Press, New York, London.
- PFLAUMANN, U. (1975): Late Quaternary stratigraphy based on planktonic foraminifera off Senegal. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 23, 1-46, Berlin, Stuttgart.
- PIPER, D.J.W. & MARSHALL, N.F. (1969): Bioturbation of Holocene sediments on La Jolla deep sea fan, California. - J. Sediment. Petrol., 39, 601-606, Tulsa/Okla..
- REINECK, H.-E. (1957): Über Wühlgänge im Watt und deren Abänderung durch ihre Bewohner. - Paläont. Z., 31, 32-34, Stuttgart.
- REINECK, H.-E. (1968): Lebensspuren von Herzigeln. - Senckenbergiana, 49, 311-319, Frankfurt.
- REINECK, H.-E. (1973): Schichtung und Wühlgefüge in Grundproben vor der ostafrikanischen Küste. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 16, 67-81, Berlin, Stuttgart.
- ROWE, G.T. (1971): Benthic biomass and surface productivity. - In: J.D. COSTLOW (ed.), Fertility of the sea II., 441-454, Gordon & Breach, New York.
- RUDDIMAN, W.F. & GLOVER, L.K. (1972): Vertical mixing of ice rafted volcanic ash in North Atlantic sediments. - Geol. Soc. Amer. Bull., 83, 2817-2836, Boulder/Colo..
- RUFFMAN, A., MEAGHER, L.C. & STEWART, J.McG. (1977): Bathymetry of the continental shelf and margin of Senegal and the Gambia, West Africa. - In: OSS Baffin Offshore Survey, Senegal and the Gambia, 1, 21-98, Department of Fisheries and the Environment Fisheries and Marine Service Scientific Information and Publication Branch, Ottawa.
- RUST, U. & WIENECKE, F. (1973): Bathymetrische und geomorphologische Bearbeitung von submarinen "Einschnitten" im Seegebiet vor Westafrika. Ein methodischer Versuch. - Münchener Geogr. Abh., 9, 53-68, München.
- SANDERS, H.L. (1968): Marine benthic diversity: a comparative study. - Am. Nat., 102, 243-281 281, Chicago/Ill..
- SANDERS, H.L., HESSLER, R.R. & HAMPSON, G.R. (1965): An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay Head-Bermuda transect. - Deep-Sea Res., 12, 845-867, Oxford.
- SARNTHEIN, M. (1972): Stratigraphic contamination by vertical bioturbation in Holocene shelf sediments. - 24th Internat. Geol. Congr., Montreal, Proc. 6, 432-436, Montreal.
- SARNTHEIN, M. (1978): Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. - Nature, 272, 43-46, London.
- SARNTHEIN, M. (1979): Indicators of continental climates in marine sediments - a discussion. - "Meteor"-Forsch.-Ergebn., C (in press), Berlin, Stuttgart.

- SARNTHEIN, M. & DIESTER-HAASS, L. (1977): Eolian-sand turbidites. - J. Sediment. Petrol., 47, 868-890, Tulsa/Okla..
- SARNTHEIN, M. & KOOPMANN, B. (1979): Late Quaternary deep-sea record on NW African dust supply and wind circulation. - In: E.M. van ZINDEREN-BAKKER & J.A. COETZEE (eds.), Paleogeology of Africa, 12, (in press), A.A. Balkema, Cape Town, Amsterdam.
- SCHÄFER, W. (1956): Wirkungen der Benthos-Organismen auf den jungen Schichtverband. - Senckenbergiana, 37, 183-263, Frankfurt.
- SEIBOLD, E. (1972): Cruise 25/1971 of RV "Meteor": continental margin of West Africa. General report and preliminary results. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 10, 17-38, Berlin, Stuttgart.
- SEIBOLD, E. (1976): Downslope sediment transport off NW-Africa. - 25th Internat. Geol. Congr., Congr., Sydney, Abstracts, 2, 355-356, Sydney.
- SEIBOLD, E., DIESTER-HAASS, L., FÜTTERER, D., HARTMANN, M., KÖGLER, F.-C., LANGE, H., MÜLLER, P.J., PFLAUMANN, U., SCHRADER, H.J. & SUESS, E. (1976): Late Quaternary sedimentation off the western Sahara. - An. Acad. bras. Cient., 48, suppl., 287-296, Sao Paulo.
- SEIBOLD, E., DIESTER, L., FÜTTERER, D., LANGE, H., MÜLLER, P. & WERNER, F. (1973): Holocene sediments and sedimentary processes in the Iranian part of the Persian Gulf. - In: B.H. PURSER (ed.), The Persian Gulf, 57-80, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- SEIBOLD, E. & HINZ, K. (1974): Continental slope construction and destruction, West Africa. - In: C.A. BURK & C.L. DRAKE (eds.), The geology of continental margins, 179-196, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- SEIBOLD, E. & HINZ, K. (1976): German cruises to the continental margin of North West Africa in 1975: general reports and preliminary results from "Valdivia" 10 and "Meteor" 39. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 25, 47-80, Berlin, Stuttgart.
- SEILACHER, A. (1953): Studien zur Paläologie. I. Über die Methoden der Paläologie. - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 96, 421-451, Stuttgart.
- SEILACHER, A. (1957): An-aktualistisches Wattenmeer?. - Paläont. Z., 31, 198-206, Stuttgart.
- SEILACHER, A. (1962): Paleontological studies on turbidite sedimentation and erosion. - Journ. Geol., 70, 227-234, Chicago/Ill..
- SEILACHER, A. (1967): Bathymetry of trace fossils. - Marine Geol., 5, 413-428, Amsterdam.
- SEILACHER, A. (1978): Use of trace fossil assemblages for recognizing depositional environments. - In: P.B. BASAN (ed.), Trace fossil concepts, Soc. Econ. Paleontol. Mineralog., Short Course No. 5, 185-201, Tulsa/Okla..
- SEILACHER, A. & MEISCHNER, D. (1964): Fazies-Analyse im Paläozoikum des Oslo-Gebietes. - Geol. Rdsch., 54, 596-619, Stuttgart.
- SEILACHER, A. (1974): Flysch trace fossils: Evolution of behavioural diversity in the deep-sea. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1974, 233-245, Stuttgart.
- SEILACHER, A. (1977): Pattern analysis of Paleodictyon and related trace fossils. - In: T.P. CRIMES & J.C. HARPER (eds.), Trace fossils 2, Geol. Journ., Spec. Issue, 9, 289-334, Seel House Press, Liverpool.
- SELLWOOD, B.W. (1970): The relation of trace fossils to small scale sedimentary cycles in the British Lias. - In: T.P. CRIMES & J.C. HARPER (eds.), Trace fossils, Geol. Journ., Spec. Issue, 3, 489-504, Seel House Press, Liverpool.
- SHACKLETON, N.J. & OPDYKE, N.D. (1973): Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10⁵ year and 10⁶ year scale. - Quaternary Res., 3, 39-55, New York.

- SIMPSON, S. (1957): On the trace fossil Chondrites. - Geol. Soc. London, Quat. Jour., 112, 475-500, London.
- SIMPSON, S. (1970): Notes on Zoophycos and Spirophyton. - In: T.P. CRIMES & J.C. HARPER (eds.), Trace fossils, Geol. Journ., Spec. Issue, 3, 505-514, Seel House Press, Liverpool.
- v. STACKELBERG, U. (1972): Faziesverteilung in Sedimenten des indisch-pakistanischen Kontinentalrandes (Arabisches Meer). - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 9, 1-73, Berlin, Stuttgart.
- TAIT, R.V. (1971): Meeresökologie. - 305 S., Thieme, Stuttgart.
- TAUBER, A.F. (1949): Paläobiologische Analyse von Chondrites furcatus STERNBERG. - Jb. geol. Bundesanst. Wien, 93 (1948), 141-154, Wien.
- TAYLOR, B.J. (1967): Trace fossils from the Fossil Bluff Series of Alexander Islands. - Bull. Br. Antarctic Surv., 13, 1-30, London.
- THIEDE, J. (1977): Aspects of the variability of the Glacial and Interglacial North Atlantic eastern boundary current (last 150.000 years). - "Meteor" Forsch.-Ergebn., C, 28, 1-36, Berlin, Stuttgart.
- THIEL, H. (1975): The size structure of the deep-sea benthos. - Int. Revue ges. Hydrobiol., 60, 575-606, Berlin.
- VOIGT, E. & HÄNTZSCHEL, W. (1956): Die grauen Bänder in der Schreibkreide Nordwest-Deutschlands und ihre Deutung als Lebensspuren. - Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, 25, 104-122, Hamburg.
- WEICHART, G. (1974): Meereschemische Untersuchungen im nordwestafrikanischen Auftriebsgebiet 1968. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., A, 14, 33-70, Berlin, Stuttgart.
- WERNER, F. (1966): Herstellung von ungestörten Dünnschliffen aus wassergesättigten, pelitischen Lockersedimenten mittels Gefriertrocknung. - Meyniana, 16, 107-112, Kiel.
- WERNER, F. (1967): Röntgen-Radiographie zur Untersuchung von Sedimentstrukturen. - Umschau, 16, 532, Frankfurt.
- WERNER, F. (1968): Gefügeanalyse feingeschichteter Schlicksedimente der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee). - Meyniana, 18, 79-105, Kiel.
- WETZEL, A. & WERNER, F. (in press): Morphology and ecological significance of Zoophycos in deep-sea sediments off NW-Africa.

Lebenslauf

Am 22. Januar 1953 wurde ich als 2. Kind von Wolfgang Wetzel und seiner Ehefrau Christa, geb. Quasebarth, in Berlin-Zehlendorf geboren. Ich bin Deutscher.

Von 1959 bis 1961 besuchte ich die 13. Grundschule in Berlin-Steglitz, von 1961 bis 1963 die Hardenbergschule in Kiel, anschließend die Kieler Gelehrtenschule, von 1965 bis 1972 die Erich-Hoepner-Oberschule in Berlin-Charlottenburg, wo ich auch das Abitur machte.

Zum Sommersemester 1972 immatrikulierte ich mich an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel für das Fach Geologie. Im Frühjahr 1974 legte ich die Diplom-Vorprüfung ab. Das folgende Sommersemester verbrachte ich an der Universität Innsbruck. Dann setzte ich mein Studium in Kiel fort. Im Sommer 1976 legte ich die Diplom-Hauptprüfung ab. Im Herbst 1976 begann ich mit der Arbeit an der vorliegenden Dissertation.

Kiel, den

(Andreas Wetzel)