

Paläoökologische Aspekte der Sedimentologie

VON HORST BÖGER, Kiel *)

Mit 3 Abbildungen

Zusammenfassung

Die Biofazies eines Sedimentkörpers wird in erster Linie durch organismische Produktion und Tätigkeit geprägt; sodann aber auch durch den örtlichen Einfluß anorganischer Faktoren. Diese Zusammenhänge gelten in besonderem Maße für benthische Biozönosen und ihre Hinterlassenschaften, auf die in der folgenden Betrachtung vor allem Bezug genommen werden soll. Sie lassen sich besonders anschaulich an Hand zweier Parameter darstellen, die sich in einem Diagramm miteinander in Beziehung setzen lassen: 1. Der Einfluß der Organismen auf das Gefüge und 2. ihre Beteiligung am Stoffbestand.

In dieses Diagramm (Abb. 1) lassen sich nahezu alle Sedimenttypen zwanglos einordnen. Seine Anwendung auf zwei Profile (Abb. 2 und 3) macht deutlich, daß ihm auch ein gewisser praktischer und didaktischer Wert zukommt. Mit seiner Hilfe ist es möglich, eine Biofazies zeichnerisch knapp zu kennzeichnen, sie von anderen deutlich abzuheben und darüber hinaus Veränderungen der Biofazies übersichtlich darzustellen und damit die Entwicklung des Sedimentationsraumes unter paläoökologischen Aspekten zu skizzieren.

Summary

In addition to the local influence of inorganic factors on the sedimentary process, the activity of organisms and their production of organic material determines the character of a sediment-biofacies. These parameters can be arranged on co-ordinates: the abscissa representing the relative production of organic material, the ordinate the relative influence of organismic activity on the texture of a sediment. This co-ordinate system can be expanded into a diagram in which almost all types of sediments can be arranged (Fig. 1). In practice this diagram gives the possibility of considering different types of sediments under paleoecological aspects. Moreover, a specific biofacies can be easily represented and even the development of a biofacial sequence can be shown within one or more such diagrams (Figs. 2 and 3).

Es erscheint banal, darauf hinzuweisen, daß fossile Organismen als Sedimentpartikel überliefert werden und daß sich ihre ehemalige Aktivität im Sedimentgefüge ausdrücken kann. Man ist jedoch gewöhnt, das Sediment lediglich als

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. H. BÖGER, Geol. Paläont. Institut der Universität Kiel, Olshausenstraße 40—60, D-23, BRD.

Konservierungsmedium zu betrachten und vergißt, daß es im Stoffbestand und im Gefüge wesentlich durch Organismen bestimmt sein kann. Entsprechend unterliegen die biogenen Anteile des Sedimentpartikel-Spektrums den gleichen qualitativen und quantitativen Untersuchungsmethoden wie die anorganischen Anteile; in gleicher Weise wird das durch organismische Faktoren hervorgerufene Gefüge zwangsläufig gemeinsam behandelt.

Die paläoökologischen Aspekte der Sedimentologie ergeben sich daraus, daß die organogene und anorganogene Beteiligung am Stoffbestand und am Gefüge eines Sedimentes zueinander in funktionelle Beziehung gesetzt werden. Daraus folgt konsequent die zunächst widersprüchlich erscheinende Tatsache, daß auch rein anorganisch geprägte Sedimentkörper unter paläoökologischen Aspekten gesehen werden können.

Diese Beziehungen finden ihren Ausdruck in der Biofazies, das durch organismische Produktivität und Tätigkeit geprägte Gesicht eines Sedimentkörpers. Sie ist das Produkt ehemaliger Lebensgemeinschaften einerseits und dem sie beeinflussenden anorganischen Faktorengefüge andererseits, das partiell auch für den Sedimentationsprozeß selbst verantwortlich ist (H. SCHMIDT, 1935, 1958, SCHÄFER, 1962, REINECK, GUTMANN, & HERTWECK, 1967). Die Produktion organischer Partikel geschieht in mindestens einer Biozönose unter dem Faktorengefüge und im Raum mindestens eines Biotops (SCHÄFER, 1963), während Sedimentation und Einbettung und damit die Zusammenfügung zu einem Biofazies-Körper unter dem Einfluß und im Raum eines Thanatotops abläuft (MARTINSSON, 1965, BÖGER, 1970).

Die räumliche Verteilung rezenter Biofazies wird stets durch übergeordnete Faktoren gesteuert (SCHÄFER, 1962, REINECK, GUTMANN, & HERTWECK, 1967, DÖRJES, GADOW, REINECK, & SINGH, 1969). Dadurch ist ein genetischer Zusammenhang zwischen benachbarten Biofaziesbereichen begründet, den SCHÄFER, 1969, als „Biofazies-Sequenzen“ bezeichnet. Bei fortschreitender Sedimentation können sich diese Biofazies-Sequenzen gegeneinander verschieben und geraten dabei zwangsläufig auch in eine vertikale Folge (eine Neuformulierung des von J. WALTHER begründeten „Lagerungsgesetzes“). Die vertikale Reihenfolge der Fazieskörper ist dabei ein Ausdruck der Verlagerungsrichtung. Ein fossiles Beispiel solcher Biofazies-Sequenzen sind unter anderem die marinen Niveaus des paralischen Karbons (BÖGER, 1964, 1966 b).

Die einzelnen Geschehensabschnitte finden im fossilen Bereich ihren Ausdruck meist in der Bankung, die auch kleinste Unterschiede im Stoffbestand und im Gefüge hervortreten läßt (BÖGER, 1966 a, FLÜGEL, 1968). Die Bankdicke ist nur insofern ein relatives Maß für die Sedimentationsdauer als sie gemeinsam mit einer Gefügeanalyse und dem Vergleich zu anderen Bänken im Profil eine Rangordnung der Sedimentationsdauer begründen kann. Inwieweit die Bankfugen Zeitintervalle repräsentieren ist schwer abschätzbar. Zwischen einer raschen Umstellung der Bedingungen und einer langanhaltenden Sedimentationspause sind alle Übergänge denkbar.

Will man die Sedimentgesteine unter paläoökologischen und sedimentologischen Aspekten ordnen, so liegt es nahe, zwei Parameter zu benutzen: 1. den Einfluß

der Organismen auf das Gefüge und 2. ihre Beteiligung am Stoffbestand. Beide können zunächst ein beliebiges Sediment erschöpfend kennzeichnen, und beide haben den Vorteil, nicht nur qualitativ sondern teils auch quantitativ ausdrückbar zu sein. Ein Sediment kann entweder völlig aus organischer Substanz aufgebaut sein oder es besteht nur aus anorganischen Partikeln. Zwischen beiden Extremen lassen sich alle übrigen Werte auf einer gleitenden Skala anordnen. Andererseits sind viele Sedimenttypen in ihrem Gefüge durch die Tätigkeit benthischer Organismen bestimmt. Auch hier lassen sich wieder zwei Extreme denken: Entweder wird das Sedimentgefüge gänzlich durch Organismen geprägt oder es beruht nur auf der Wirkung anorganischer Faktoren. Eine gleitende Quantifizierung läßt sich auch hier denken; es wird aber bald deutlich, daß die Einwirkung der Organismen auf das Gefüge nach qualitativ unterschiedlichen Aktivitäten abläuft. Gerade diese qualitativ unterschiedliche Beteiligung der Organismen am Gefüge, die hinsichtlich einer Anordnung auf gleitender Skala zunächst sehr unbefriedigend erscheint, legt den Gedanken nahe, beide erwähnten Parameter in einem Diagramm zusammenzufassen (Abb. 1).

Wir wählen die Abszisse, um die Beteiligung der Organismen am Stoffbestand darzustellen, der von links nach rechts abnehmen soll. Auf der Ordinate sei der Beteiligungsgrad der Organismen am Gefüge aufgetragen, der von unten nach oben zunehmen soll. Diese beliebig gewählte Anordnung läßt sich selbstverständlich auch in anderer Weise treffen, ohne am Resultat etwas zu ändern.

Die Abhängigkeit, die in diesem Diagramm hergestellt wird, besagt, daß bei geringer Beteiligung der Organismen am Stoffbestand und hohem Einfluß auf das Gefüge dieses nicht durch organische Produktion bestimmt wird sondern durch die organismische Bewegungsaktivität; umgekehrt bestimmt bei hoher Stoffbeteiligung organisches Wachstum das Gefüge. Dieser Zusammenhang läßt sich erweitern, wenn man von den anorganischen Faktoren und Partikeln ausgeht. Je mehr sie das Gefüge bestimmen, desto höher wird das Fossilisationspotential und desto geringer der biologische Abbau; gleichzeitig nimmt die Sedimentationsgeschwindigkeit zu.

Auf dieser Grundlage lassen sich in dem Diagramm zunächst vier Felder gegeneinander abgrenzen: Ein Feld hoher organismischer Produktion, ein anderes vorwiegend biologischen Abbaues aller organismischen Bestandteile, zwischen denen

Abb. 1. Diagramm sedimentologisch-paläoökologischer Beziehungen (Erläuterung im Text, S. 534 ff.).

Diagram of sedimentological and paleoecological relationships.

The relative amount of production of organic material is arranged along the abscissa and decreases from left to right. The relative influence of organismic activity on the sediment-texture is plotted along the ordinate and increases from bottom to top. The diagram contains four fields: 1. Field of organic production (upper left), 2. field of organic destruction (upper right), 3. field of partial organic destruction (middle of upper half), 4. field of preservation (lower half). On the right ordiante the sedimentation-rate increases from top to bottom. On the upper abscissa the vagile benthos organisms increase from left to right, whereas the sessile benthos organisms decrease in the same direction.

FELD SELEKTIVEN ABBAUES

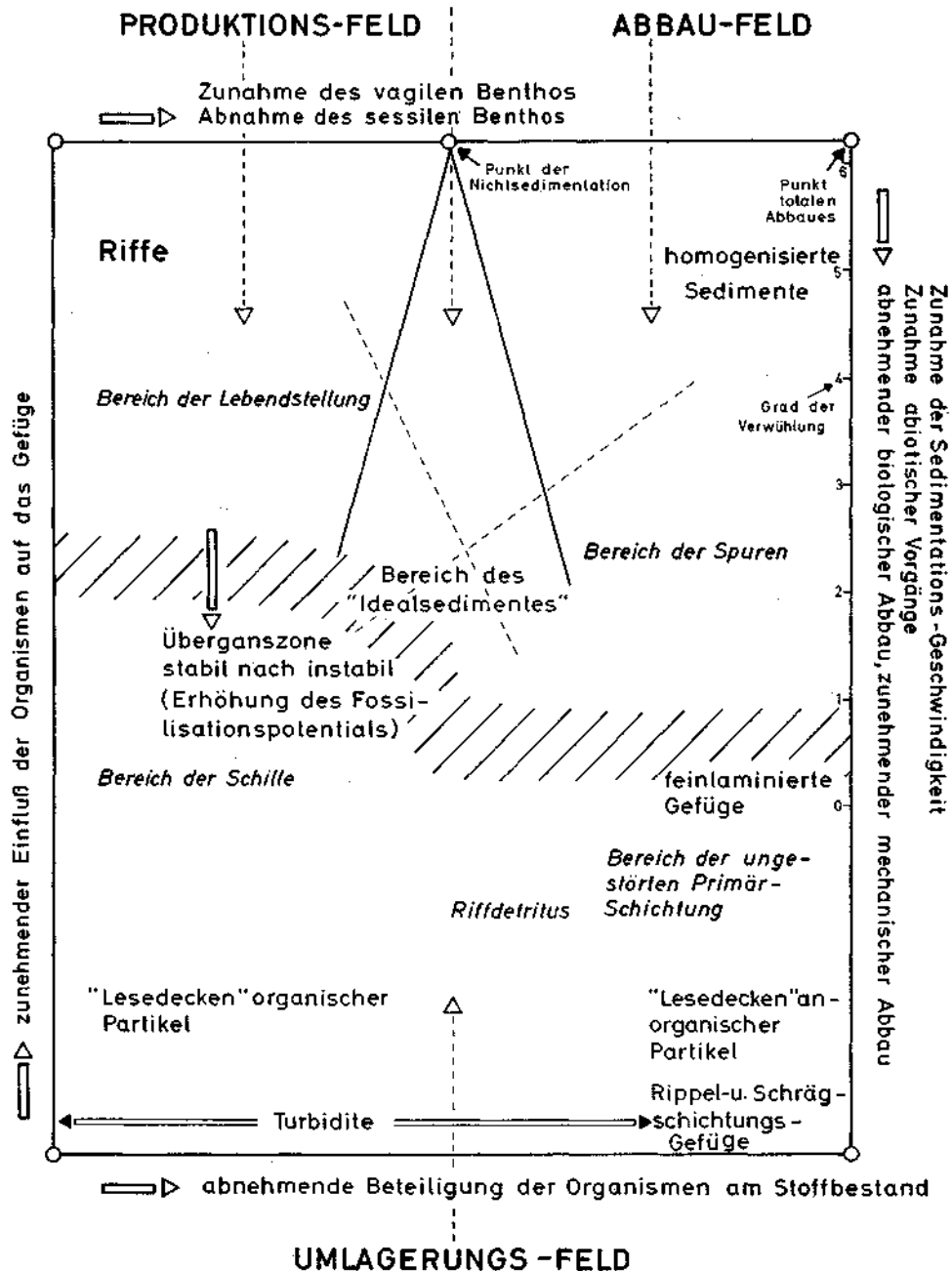


Abb. 1.

ein weiteres selektiven Abbaues vermittelt. Die untere Hälfte des Diagramms wird vom Feld der Umlagerung eingenommen. Dieses ist von der oberen Hälfte durch eine Zone getrennt, welche den Übergang von stabiler zu instabiler oder von autochthoner zu vorwiegend allochthoner Lagerung kennzeichnet. Innerhalb dieser Felder lassen sich Bereiche bestimmter Sedimenttypen abgrenzen. So ein Bereich der Riffe (links oben), einer der homogenisierten Sedimente (rechts oben), ein Bereich der ungestörten Primärschichtung (rechts unten), der nach unten versetzt Rippel- und Schrägschichtungsgefüge sowie weiter oben die feinlaminierten Gefüge enthält. Rechts in der Mitte, bis zum Zentrum vorstoßend, liegt der Bereich der Spuren, in gleicher Position links derjenige der Lebendstellung. Die Mitte des Diagramms wird vom Bereich des „Idealsedimentes“ eingenommen, das noch genauer zu charakterisieren sein wird. Die Turbidite nehmen natürlich ganz unten fast die ganze Länge der Abszisse ein. Links, etwas unterhalb der Mitte, liegt der Bereich der Schille, während der Riffdetritus etwa in der Mitte des Umlagerungsfeldes liegt.

Diese Lokalisierung der Sedimenttypen im Diagramm ist in den meisten Fällen zwingend. Nur einige Positionen verlangen eine besondere Erläuterung:

Während die Einordnung der Riffe problemlos ist, könnte die Versetzung des Riffdetritus nach rechts unten auf Widerspruch stoßen. Sicher muß er seine Position im Umlagerungsfeld haben; man möchte ihn sich aber eher in Nähe der Schille wünschen. Meistens ist jedoch sowohl die Beteiligung am Stoffbestand wie am Gefüge im Riffdetritus geringer als in den Schillen; es sei aber nicht ausgeschlossen, daß beide Bereiche sich gelegentlich überschneiden.

Aus vielen aktuo-paläontologischen Untersuchungen geht hervor, daß die organische Produktion teils oder ganz abgebaut werden kann (SCHÄFER, 1956, 1962, FÜTTERER, 1969); diese Tatsache ergibt sich auch zwangsläufig aus dem fossilen Befund. Aus ihm geht ebenso hervor, daß in bestimmten Bereichen der Abbau selektiv vor sich geht. Deshalb wurde ein Übergangsbereich selektiven Abbaues in das Diagramm eingefügt. Dieses Feld erscheint deshalb als dreieckiger Sektor, weil die Möglichkeit gegeben sein muß, daß ein relativ breites und ein verhältnismäßig schmales organismisches Stoffspektrum abgebaut werden kann. Allerdings fehlen hierzu noch quantitative Untersuchungen. Übrigens läßt sich nach biologischem, mechanischem und diagenetischem Abbau unterscheiden. Der mechanische Abbau überwiegt natürlich im Umlagerungsfeld, wo der biologische Abbau stark zurücktritt. Diagenetische Beziehungen allerdings sind nur schwer im Diagramm unterzubringen, obwohl nach neueren Untersuchungen (FÜTTERER, 1969) zwischen Sedimentation, organischer Produktion und Diagenese ein enger faktorieller Zusammenhang bestehen kann.

Der Bereich der Lebendstellung muß natürlich im Produktionsfeld liegen. Die organismische Beteiligung am Stoffbestand kann sehr hoch (konsequenterweise gehören auch die Riffe dazu) aber auch geringer sein; dadurch ist das weite Vordringen dieses Bereiches gegen das Mittelfeld motiviert. Die besondere Position, die ein Organismus in Lebendstellung einnimmt, bestimmt mehr oder weniger auch das Gefüge. Hievon ist streng der Einfluß auf das Gefüge zu unterscheiden, der durch die besondere Form eines Organismus gegeben ist. Selbstverständlich

können irgendwie gestaltete Organismen mechanisch oft nur in bestimmter Weise angeordnet werden. Die Erhaltungsfähigkeit der Lebendstellung ist verhältnismäßig gering. Darum ist die Anordnung dieses Bereiches oberhalb der Übergangszone folgerichtig, ebenso, daß er in das Feld selektiven Abbaues reicht, denn sonst wären bestimmte monotypische Nekrozönosen nicht verständlich.

Vielleicht findet sich für den Begriff „Idealsediment“ im zentralen Teil des Diagramms einmal ein besserer Name. In seinem Bereich halten organische Produktion und Beteiligung am Stoffbestand, der Einfluß der Organismen auf das Gefüge, die Zufuhr anorganischer Sedimentpartikel und die Einwirkung physikalischer Faktoren einander die Waage. Wichtig ist, daß in diesem Sediment auch der selektive Abbau eine besondere Rolle zu spielen scheint; auch dies wurde durch die starke Verbreiterung des entsprechenden Feldes im Zentrum des Diagramms angedeutet. Derartige „Idealsedimente“ scheinen übrigens rezent wie fossil häufiger zu sein als man vermuten möchte.

Während sich die Beteiligung der Organismen am Stoffbestand leicht quantifizieren läßt (eine Einteilung der Abszisse nach Prozentzahlen ist durchaus möglich), ist der Einfluß der Organismen auf das Gefüge zwar ebenfalls meßbar (DÖRJES, GADOW, REINECK, & SINGH, 1969), im Diagramm aber nur schwer widerspruchsfrei unterzubringen. Allenfalls läßt sich auf der rechten Ordinate im Bereich der Spuren eine entsprechende Einteilung wiedergeben (Grade 1 bis 6 nach DÖRJES, GADOW, REINECK, & SINGH, 1969).

Zwei gesondert bezeichnete Punkte verlangen eine nähere Erläuterung: 1. der Punkt der „Nichtsedimentation“ und 2. der Punkt des totalen Abbaues. Will man das Phänomen der Nichtsedimentation im Diagramm unterbringen, so kann dafür natürlich kein größerer Bereich abgegrenzt werden; der Anlage des Diagramms entsprechend kann hierfür nur ein randlich gelegener Punkt oder eine Strecke auf der Abszisse in Frage kommen. Die Lage des Punktes ergibt sich ohne gravierende Widersprüchlichkeit, wenn anscheinend auch etwas schematisch, aus einer konsequenten Interpretation des Diagramms: Er liegt in der Mitte der oberen Abszisse. Dort ist die Sedimentationsgeschwindigkeit gleich Null, und organismische Produktion und Abbau halten einander die Waage. Es mag zunächst stören, daß die Organismen dort den größten Einfluß auf das Gefüge haben sollen; das erscheint bei Nichtsedimentation aber nur logisch.

Der Punkt des totalen Abbaues in der rechten oberen Ecke des Diagramms mag als ausgesprochen fiktiv und ohne realen Hintergrund erscheinen. Hier wird nicht sedimentiert, und alles, was produziert wurde, wird wieder abgebaut. Es lassen sich jedoch Beispiele denken wie etwa abgeschlossene Meeresbecken, in die gelegentlich sauerstoffreiches Wasser einströmt, zu denen sich fossile Beispiele finden mögen. Hier wird übrigens ein Vorteil des Diagramms deutlich, der darin liegt, daß bei konsequenter Interpretation die Forschung auf bestimmte neue Probleme hingewiesen wird.

Der Linie zwischen dem Punkt der Nichtsedimentation und dem des totalen Abbaues kommt eine besondere Bedeutung zu. Manches Geschehen, das durch Bankungsfugen repräsentiert und uns nicht direkt überliefert wird, mag hier seinen Platz haben. Ich möchte sie darum die „Intervall-Linie“ nennen.

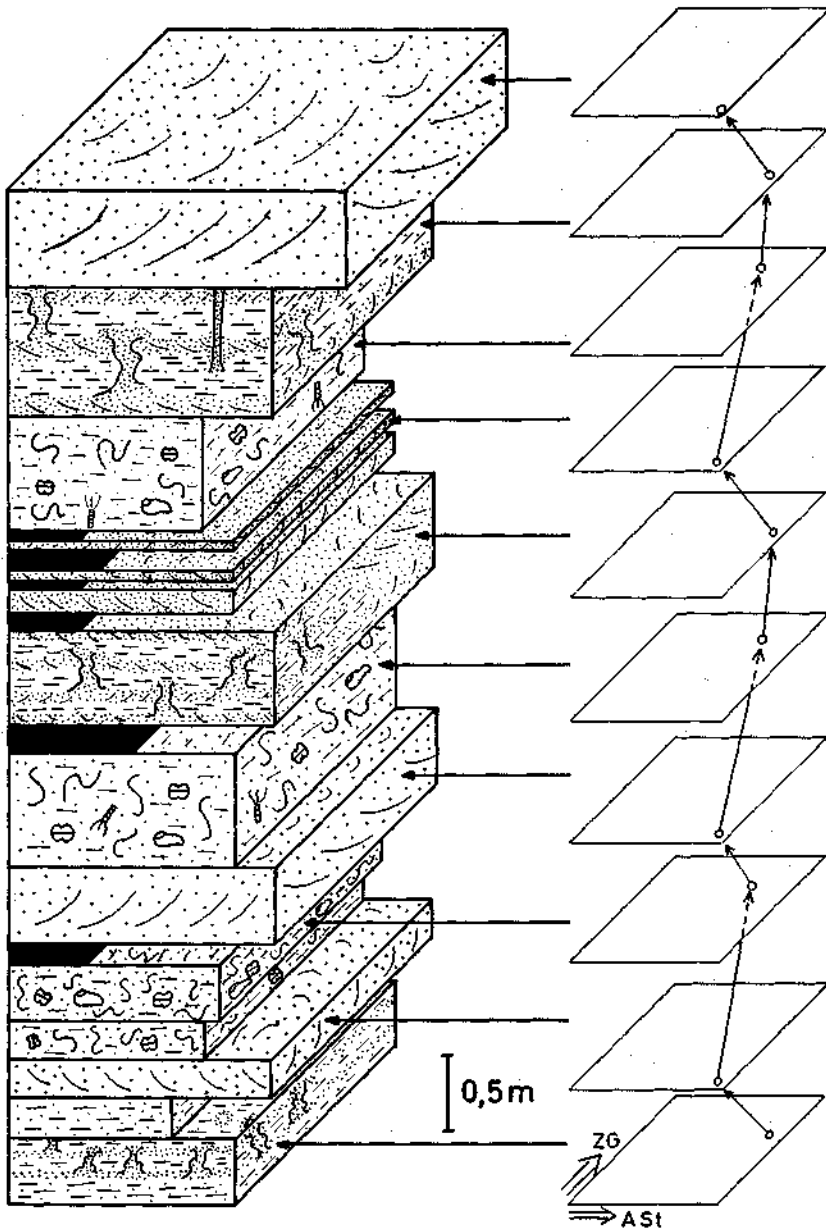


Abb. 2. Profil aus den Remscheid-Schichten (Unter-Devon, Ober-Ems) des Rechtsrheinischen Schiefergebirges; Volme-Tal, Straßenprofil B 54, zwischen Vorth und HP Grünenbaum.
 Section of Remscheid-beds (Lower Devonian, Upper Emsian), Rhenish-Schiefergebirge, West Germany.

Auf der oberen Abszisse ist angegeben, daß sessiles Benthos von links nach rechts abnimmt, während vagiles an Bedeutung gewinnt. Derartige Zusammenhänge sind aus Untersuchungen rezenter Biozönose-Folgen gut bekannt (zuletzt SCHÄFER, 1969). Diese Aussage läßt sich aber noch dadurch erweitern, daß man bei benthischen Organismen nach Sedimentfressern und Suspensionsfressern unterscheiden kann. Nach SANDERS, 1958 und PURDY, 1964, nimmt der Prozentanteil der Sedimentfresser mit steigendem Silt-Ton-Prozentgehalt zu, während umgekehrt der Anteil der Suspensionsfresser sinkt. Diese Abhängigkeit läßt sich unmittelbar auf die obere Abszisse übertragen. Damit wird ein weiterer Zusammenhang sichtbar; um ihn deutlich zu machen, ist es notwendig, etwas weiter auszuholen: Es ist die Frage, ob sich in der soeben angedeuteten Abhängigkeit ein direkter Kausalzusammenhang ausdrückt oder ob beide von Faktoren höherer Ordnung kontrolliert werden, was stark zu vermuten ist. Die Sedimentfresser haben es natürlich nicht auf die feinen anorganischen Partikel abgesehen sondern auf das mit ihnen verbundene organische Material, welches bevorzugt an feinkörnige Sedimente gebunden ist. Andererseits sind die Suspensionsfresser vom Gehalt organischen Materials im freien Wasser abhängig. Es ist also vernünftig anzunehmen, daß die Wasserbewegung für sie ein wichtiger Faktor ist, wie umgekehrt natürlich auch für die Ablagerung feinen Kornes und damit organi-

	Mittelsand mit Schrägschichtung		Mikrit
	Mittelsand mit Kiesanteilen		Mikrit mit Schillagen
	Silt-Feinsand mit Schrägschichtung		Biomikrit
	Silt-Feinsandlagen mit Verformungs-Wühlgefüge		Arenit (Biospartit)
	toniger Silt oder siltiger Ton mit Verformungs-Wühlgefüge		Märgel
	Tonstein		Kolonie-Korallen-Rasen
	Brachiopoden		Algen-Krusten
	Lamellibranchiaten		Echinodermenreste
	Austern		Einzelkorallen
	Nerineen		Crinoiden
	umkrustete Organismenreste		

schen Materials. Man kann also auf die obere Abszisse den Parameter Wasserbewegung übertragen, der von links nach rechts abnimmt, ebenso auch auf die rechte Ordinate, wo er von oben nach unten zunimmt. Als ein fossiles Beispiel für diese Zusammenhänge kann die Verteilung silurischer Chonetoida auf Gotland (Schweden) gelten (BÖGER, 1968).

Die notwendigerweise unterschiedliche Kennzeichnung der oberen und unteren Abszisse wie der linken und rechten Ordinate bedingt natürlich, daß der Geltungsbereich bestimmter Parametergrößen im Innern des Diagramms an gekrümmten Diagonalen seine Begrenzung findet. Besonders darauf beruht ja die Möglichkeit, qualitativ und quantitativ unterschiedliche Felder und Bereiche auszuscheiden.

An zwei Beispielen¹⁾ soll nun versucht werden, deutlich zu machen, daß das beschriebene paläoökologisch-sedimentologische Beziehungsdiagramm nicht nur eine müßige Spielerei zu sein braucht, sondern daß ihm auch eine gewisse praktische und vor allem didaktische Bedeutung zukommt. Vielleicht wird es auch einmal möglich sein, mit ihm Sedimentationsräume nach genetischen Kriterien differenzierend zu kennzeichnen.

Das erste Beispiel stellt einen Profilabschnitt aus den Remscheid-Schichten (Unter-Devon, Ober Ems) des rechtsrheinischen Schiefergebirges dar (Abb. 2). Es handelt sich um eine dünn- bis mittelbankige Folge klastischer Fazieskörper, die teils relativ reich an Spuren und Körperfossilien sind. Bezeichnend für die Schichtenfolge ist, daß jede Bank sich nach Stoffbestand und Gefüge deutlich von der vorhergehenden und der folgenden abhebt. Es lassen sich drei Hauptfaziestypen unterscheiden:

1. Siltige Tongesteine und Siltsteine alternieren in flachwelliger Wechschichtung. Die Siltlagen werden von kräftigen Fluchtspuren vertikal durchstoßen. Körperfossilien findet man nicht (1. und 10. Bank von unten, 2. Bank von oben). Im Diagramm ist dieser Faziestyp im Bereich der Spuren ganz am rechten Rand ungefähr in Höhe des Verwühlungsgrades 2 einzuordnen. Diese Positionen sind in die den Bänken entsprechenden Rechtecke rechts neben dem Profil einzutragen, welche den Positionen im Diagramm entsprechen.

2. Schräggeschichtete oder unsortierte Fein- bis Mittelsandsteine ohne Spuren oder Körperfossilien (3. und 7. Bank von unten, oberste Bank). Ihre Position liegt in der rechten unteren Ecke.

3. Siltige Tongesteine oder tonige Siltsteine, die stark verwühlt sind und nur noch Rudimente des Primärgefüges enthalten. Endichnia (MARTINSSON, 1965) sind zahlreich vorhanden; nicht selten ist das Gefüge völlig homogenisiert. An Körperfossilien kommen Brachiopoden, Lamellibranchiaten und Reste von Crinoiden vor. Die Kalkschalen der Brachiopoden sind teils erhalten, die der Lamellibranchiaten meist abgebaut (4., 5. und 8. Bank von unten, 3. Bank von oben). Ihr Diagramm-Punkt liegt rechts oben etwa in Höhe der Ziffer 5. Die Position variiert aber je nach Fossilführung mehr zur Mitte oder zum Rande hin.

Die Lage der Punkte in den dem Diagramm entsprechenden Rähmchen rechts des Profils pendelt in charakteristischer Weise zwischen der rechten unteren Ecke,

¹⁾ Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, gilt mein besonderer Dank für die Bereitstellung von Sachbeihilfen.

einer Position im unteren Bereich der Spuren, gegen das Diagrammzentrum versetzt. Stets liegen die Punkte in der rechten Diagrammhälfte. Um mehr Übersicht zu gewinnen, kann man auch alle Punkte in einem Rechteck vereinen. Ein Vergleich mit dem Diagramm selbst macht eine rasche Kennzeichnung der einzelnen Faziestypen und der Fazieswechsel unter paläoökologischen Aspekten möglich.

Welche paläoökologischen Aussagemöglichkeiten bietet nun das Diagramm für das behandelte Profil? Bei ausschließlich klastischer Sedimentation und geringer Beteiligung der Organismen am Stoffbestand wechselt die Fazies sprunghaft zwischen ungestörter Primärschichtung mit relativ hoher Sedimentationsgeschwindigkeit und starkem mechanischem Abbau zu langsamer Sedimentation mit mehr oder weniger starkem Einfluß der Organismen auf das Gefüge und auf den Stoffbestand. Einige Bänke nähern sich dem Bereich des „Idealsedimentes“. Dieser sprunghafte Wechsel geht verhältnismäßig rasch vor sich, denn die Bankdicken sind nicht sehr groß, vagiles Benthos herrscht vor, sessiles tritt zurück; dieses erscheint nur in den Bänken in Nähe des zentralen Bereiches. Jede Bank ist eine in sich geschlossene genetische Einheit, die ein bestimmtes ökologisches und physikalisches Wirkungsgefüge am Ort ihrer Sedimentation widerspiegelt. Der Wechsel geschieht zwar abrupt, ohne jedoch erkennbare erosive Auswirkungen zu hinterlassen. Alles spricht dafür, daß wir es mit räumlich und genetisch verknüpfbaren „Biofazies-Sequenzen“ (SCHÄFER, 1969) relativ flachen Wassers zu tun haben, vermutlich dicht unterhalb der normalen Wellenbasis. Die regionalen Faktorengefüge brauchen sich nur geringfügig zu ändern, um eine Verschiebung und Superposition der Biofazies-Sequenzen zu verursachen.

Ein Profil ganz anderen Typs stammt aus dem mutmaßlichen Grenzbereich Oxford-Kimmeridge in der Ostalgarve, Süd-Portugal (Abb. 3). Es handelt sich um eine ebenfalls gebankte Serie vorwiegend kalkig-mergeliger und sporadisch terrigen-klastischer Sedimentation. Unter den kalkigen Sedimenten lassen sich vier Typen unterscheiden:

1. Unsortierte, schlecht ausgewaschene Biosparite, deren biogene Komponenten meist in Bruchstücken vorliegen;

2. fossilführende Mikrite, deren Fossilien entweder diffus verteilt oder lagig konzentriert sind; in einigen Bänken sind sie vollständig erhalten, dann sind Nerineen, Austern und hornförmige Einzelkorallen zu unterscheiden. Die unvollständig erhaltenen Komponenten stammen vorwiegend von Lamellibranchiaten, Brachiopoden, Gastropoden, Korallen, Echinodermen und Algen. In einigen Fällen sind Fossilrümpfer aber auch ganze Exemplare von Algenkrusten umhüllt (auch in Mikrit!);

3. stark verwühlte Mergel mit Lamellibranchiaten (Astarte-artige, Austern-artige, Pleuromya-artige). Verformungswühlgefüge sind gelegentlich sichtbar, vorwiegend ist das Sediment hochgradig verwühlt;

4. Biolithite aus Algenkrusten oder ästigen Korallen.

Die ersten drei Typen sind entweder auf eine Bank beschränkt oder unter sich und mit Typ 4 in charakteristischer Weise kombiniert. In der basalen Bank des dargestellten Profilabschnittes werden unsortierte Biosparite von Algendecken überzogen und festgelegt, unter den Algendecken sind mutmaßliche ehemalige

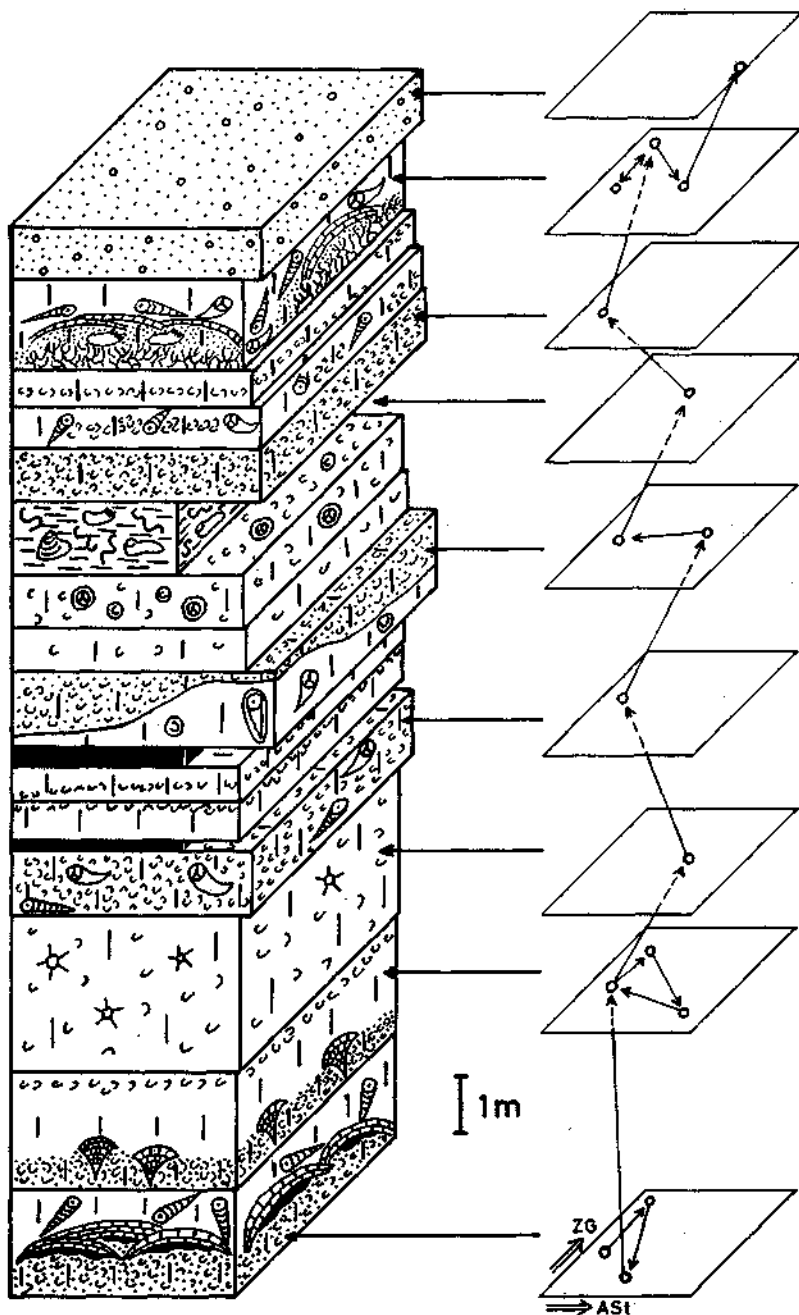


Abb. 3. Profil aus dem Grenzbereich Oxford-Kimmeridge, Ost-Algarve, Süd-Portugal. Uferprofil am Rio Séqua, nördlich Tavira, Straße Nr. 397, km 41.
 Section of Oxfordian-Kimmeridgian-beds. East-Algarve, South-Portugal.

Kavernen mit Mikrit oder Sparit ausgefüllt (siehe auch KREBS, 1969). Diese Algen-Biolithite werden von Biomikrit überdeckt.

Die zweitoberste Bank beginnt mit dem Wachstum ästiger Korallen in eng verfilzter Wuchsform. Die Zwischenräume sind mit mikritischer oder arenitischer Masse ausgefüllt und sparitisch zementiert. Auf diesem Biolithit siedeln Austern, die von Arenit mit hoher biogener Komponente umgeben sind. Diese Generation wird ihrerseits wiederum von Algenmatten abgedeckt, über denen Biomikrite mit Nerineen und hornförmigen Einzelkorallen folgen.

Weiterhin können innerhalb einer Bank Biomikrite durch Rinnen angeschnitten sein, die mit schlecht sortierten Biospariten ausgefüllt sind.

Die Einordnung der einzelnen Biofazies-Typen ist nur bei den Mikriten problematisch. Nimmt man eine Fällung des Kalkschlammes ohne wesentliche organismische Beteiligung an, so ist ein Mikrit oder Biomikrit in der rechten Hälfte unterzubringen. Dort wird die Einordnung weiterhin erschwert durch das auf Grund der geringen Korngröße homogen erscheinende Gefüge. Im hier angezogenen Beispiel wurde zunächst (genauere Untersuchungen stehen noch aus) so verfahren, daß eine vorwiegend anorganische Fällung ohne wesentliche organismische Beteiligung angenommen wurde. Nach neueren elektronenmikroskopischen Untersuchungen (FLÜGEL, FRANZ & OTT, 1968) kann man zwischen biotritischen und chemisch gefällten Mikritanteilen unterscheiden; damit wird eine Einordnung auch der Mikrite im Diagramm möglich, wenn sie auch mehr Mühe macht als bei anderen Sedimenttypen. Das Gefüge der Mikrite wurde in unserem Fall auf indirektem Wege bestimmt. Sind die eingelagerten relativ groben Fossilkomponenten locker verstreut, wurden die Typen nach rechts oben in Nähe des Idealsedimentes gestellt; sind in den Mikriten Feinstschille lagig angeordnet, so erfolgte die Einordnung in den Bereich der feinlamierten Gefüge (siehe die unterschiedliche Position der Mikrite in den Bänken zwei und drei von unten).

Das Profil der Abb. 3 unterscheidet sich zunächst von dem der Abb. 2 durch die Häufung der Positionen in der linken Hälfte des Diagramms. Wichtiger ist aber, daß in einigen Fällen die Position innerhalb einer Bank wechselt. Das weist auf eine genetisch grundsätzlich andere Entstehung des Gefüges hin als das in der Abb. 2 dargestellte.

Wie mir scheint, erlaubt das Diagramm nicht nur eine übersichtliche Anordnung unterschiedlicher Fazies-Typen unter dem Aspekt der biologischen Produktion und Gefügebildung. Mit der Einordnung eines Sedimentskörpers werden auch eine ganze Reihe genetischer Bezüge hergestellt, die einen Sedimentationsraum besonders dann gut kennzeichnen, wenn in einer Profilserie Vergleichsmöglichkeiten hergestellt werden können. Die Charakterisierung des Sedimentationsmilieus wird noch dadurch erweitert, daß zwischen der Bankdicke und dem Wechsel der Position im Diagramm eine Beziehung hergestellt wird.

Nicht nur einzelne Fazieskörper, sondern auch Entwicklungstendenzen bestimmter Sedimentationsräume in horizontaler und vertikaler Folge lassen sich graphisch eindeutig darstellen und interpretieren. Mit Hilfe des Schemas läßt sich außerdem in übersichtlicher Weise anschaulich machen, daß Fazieskörper meist in sich geschlossene genetische Einheiten darstellen, welche die Hinter-

lassenschaften eines bestimmten biologischen und physiko-chemischen Geschehens am Ort der Sedimentation sind.

Sicher mögen im ein oder anderen Fall gewisse Widersprüchlichkeiten auftreten. Es ist aber bisher nicht vorgekommen, daß sich ein bestimmter Faziestyp an mehreren Stellen hätte einordnen lassen.

Literatur

- BÖGER, H.: Paläoökologische Untersuchungen an Cyclothemem im Ruhrkarbon. *Paläont. Zt.* 38, Hefr 3—4, 142—157, Stuttgart 1964.
- BÖGER, H. (1966 a): Paläoökologische Untersuchungen an gebankten Kalken. Am Beispiel des Ooser Plattenkalkes. Oberdevon I der Eifel. *Geol. För. i, Stockholm Förh.* 88, pp. 307—326. Stockholm 1966.
- BÖGER, H. (1966 b): Die marinen Niveaus über den Flözen Schieferbank und Sarnsbank (Grenze Namur C — Westf. A) im Ruhrgebiet. *Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf.* 13, 1, 1—38, Krefeld 1966.
- BÖGER, H.: Paläoökologie silurischer Chonetoidea auf Gotland. *Lethaia* 1, pp. 122—136, Oslo 1968.
- BÖGER, H.: Über die Bildung und den Gebrauch von Begriffen in der Paläoökologie. *Lethaia*, Vol. 3, pp. 243—269, Oslo 1970.
- DÖRJES, J., GADOW, S., REINECK, H.-E., & SINGH, J. B.: Die Rinnen der Jade (Südliche Nordsee). Sedimente und Makrobenthos. *Senckenberg. maritima* 1, pp. 5—62, Frankfurt/M. 1969.
- FLÜGEL, E., FRANZ, H. E., & OTT, W. F.: Review on Electron Microscope Studies of Limestones. *Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe.* pp. 85—97. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1968.
- FLÜGEL, H.: Some Notes on the Insoluble Residues in Limestones. *Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe.* pp. 46—54. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1968.
- FÜTTERER, D.: Die Sedimente der nördlichen Adria vor der Küste Istriens. *Göttinger Arb. Geol. Paläont.* 3, pp. 57, Göttingen 1969.
- KREBS, W.: Early voidfilling cementation in Devonian fore-reef limestones (Germany). *Sedimentology* 12, pp. 279—299. Amsterdam 1969.
- MARTINSSON, A.: Aspects of a Middle Cambrian Thanatop on Öland. *Geol. Förén. i Stockholm Förh.* 87, pp. 181—230, Stockholm 1965.
- PURDY, E. G.: Sediments as Substrates. In Imbrie, J. & Newell H.: *Approaches to Paleoecology.* pp. 238—271. John Wiley and Sons, New York-London-Sidney 1964.
- REINECK, H. E., GUTMANN, F., & HERTWECK, G.: Das Schlickgebiet südlich Helgoland als Beispiel rezenter Schelfablagerungen. *Senck. leth.* 48, pp. 219—275. Frankfurt/M. 1967.
- SANDERS, H. L.: Benthic studies in Buzzards Bay, I; Animal-sediment relationships. *Limn. a. Oceanogr.* 3, pp. 245—258. Washington 1958.
- SCHÄFER, W.: Wirkungen der Benthos-Organismen* auf den jungen Schichtverband. *Senck. leth.* 37, pp. 183—263. Frankfurt/M. 1956.
- SCHÄFER, W.: *Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee.* Verlag Waldemar Kramer, pp. 666, Frankfurt/M. 1962.
- SCHÄFER, W.: Sarso, Modell der Biofazies-Sequenzen im Korallenriff-Bereich des Schelfes. *Senckenbergiana Maritima* 1, pp. 165—188, Frankfurt/M. 1969.
- SCHMIDT, H.: Zur Rangordnung der Faziesbegriffe. *Mittl. Geol. Ges., Wien* 49 (1956), pp. 333 bis 345. Wien 1958.
- SCHMIDT, H.: Die bionomische Einteilung der fossilen Meeresböden. *Fortschr. Geol. Pal.* 38, pp. 1—54, Berlin 1935.