

Milieu-Indikationen aus einem mitteldevonischen biohermalen Riff des Bergischen Landes mittels C- und O-Isotopen

Ulrich Jux und Ulrich Manze

Mit 9 Abbildungen und 4 Tabellen

(Eingegangen am 6. 6. 1977)

Kurzfassung

Nachdem bereits ein Stromatoporen-Bioström aus dem Mitteldevon des Bergischen Landes isotopephysikalisch untersucht worden ist (JUX & MANZE 1976), stand nunmehr als Vergleichsobjekt ein Rugosen-Bioherm des gleichen geosynklinalen Ablagerungsraumes im Blickfeld der Betrachtung.

Es handelt sich um Kalksteine, die bei Lantenbach (Genkelarm der Aggertalsperre bei Gummersbach) die Basis der Givet-Stufe markieren. Diese bildeten sich in einem Bioherm, dessen Kern durch *Hexagonaria*-Polster, die Flanken durch Tabulaten-Krusten und der Talus durch späte Schillkalke gekennzeichnet ist. Im Hangenden stehen siltige Schiefer mit neritischen Fauneneinschlüssen an. Hervorzuheben ist, daß unter den Riffbildnern keine Stromatoporen vorkommen.

50 Gesteinsproben, die aus vier Vertikal-Profilen entnommen wurden und repräsentativ für die drei unterschiedlichen Biofazies-Bereiche (vital-astrat, vital-lipostrat, vital-pantostrot) sind, boten die Grundlage für paläo-ökologische, geochemische und isotopephysikalische Analysen des Bioherms.

Der Riffkörper setzt sich danach aus ziemlich reinen Kalksteinen (CaO = 48%) mit geringem MgO-Anteil (= 0,9%) zusammen. Beachtlich ist aber, daß relativ stärkere Beimengungen an SiO₂ und Al₂O₃ festgestellt wurden als in den Eifel-Kalksteinen aus dem Bilsteiner Bioström. Während sich das Bioherm entwickelte, hielt folglich die Pelit-Sedimentation wie in den Selscheider und Odershäuser Schichten an. Möglicherweise war das Wasser für eine Stromatoporen-Zönose zu trüb oder zu wenig turbulent.

Die C¹²/C¹³-Verteilungen sind im Lantenbacher Kalksteinzug recht ausgeglichen (Riffdetritus: — 1,4‰; Riffkern: — 1,07‰) und die Karbonate damit etwas schwerer als im Bilsteiner Bioström. Lediglich an der Basis der „Siltigen Schiefer“ liegen die Werte negativer (— 2,55‰), was auf stärkere phyto gene Karbonat-Zuschläge zurückgeführt wird.

Die O¹⁶/O¹⁸-Verteilungen unterscheiden sich bei den einzelnen Biofazies-Bereichen; in den vital-astraten ergab sich für die *Hexagonaria*-Zönose — 9,56‰ und für die Tabulaten-Zönose — 8,06‰. Im Riffdetritus wurde — 8,74‰ bestimmt, was praktisch mit dem Mittelwert aller aus dem Kalksteinzug gemessenen Proben übereinstimmt. Diese Werte würden nach der CRAIG'schen Gleichung aber viel zu hohe Wassertemperaturen ergeben. Weil sich jedoch mindestens seit dem Kambrium die O-Isotopen-Zusammensetzungen allmählich zugunsten von O¹⁸ verändert haben, sind unsere Rechnungen entsprechend korrigiert worden. Damit ergeben sich für das Bodenwasser zur Entstehungszeit des Bioherms folgende realistische Werte:

„Siltige Schiefer,“	20,7° C
Riffdetritus	24,7° C
Tabulaten-Zönose	21,6° C
<i>Hexagonaria</i> -Zönose	28,5° C

Die Temperatur-Unterschiede erklären sich bei den autochthonen Riffbildnern durch reliefbedingte Wassertiefen; im Riffdetritus handelt es sich um Mischwerte verschiedener Zönosen und bei den „Siltigen Schiefen“ kommt das Übergreifen der neritischen Fazies (Tentaculiten-Schiefer!) zum Ausdruck. Aus dem Temperaturgang wird also zweierlei klar: Zunächst bauten Korallen im mäßig bewegten, vollmarinen Wasser und sozusagen unter dem Devon-Äquator ein kleines Bioherm auf. Dieses geriet im Verlaufe der U.-Givet-Transgression in zunehmend tiefere Wasserbereiche, so daß schließlich die Riff-Biozönose absterben mußte. Das Bilsteiner Bioström, den Tabulaten zufolge von gleichtemperiertem Wasser (21,7° C) umspült, wurde demgegenüber von litoralen Sandmassen zuge deckt.

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
1. Stratigraphische und regionale Übersicht	301
2. Problemstellung	302
3. Lagerungsverhältnisse	303
4. Profile	305
Vital-astrate Biofazies	305
Vital-lipostrate Biofazies	307
Vital-pantostrate Biofazies	308
5. Chemische Charakterisierung	309
6. Isotopen-Verteilungen in den Karbonatgesteinen	312
Kohlenstoff-Isotope	312
Sauerstoff-Isotope	315
Temperaturbestimmungen	317
7. Diskussion und Folgerungen	318
Indikation der Kohlenstoffisotope	321
Beurteilung der Paläotemperaturen	322

1. Stratigraphische und regionale Übersicht

Am Genkelarm der Aggertalsperre bei Gummersbach streicht östlich von Lantenbach (TK 25 Gummersbach; $r = 14500$, $h = 59000$) ein ca. 15 m mächtiger, südöstlich einfallender Zug mitteldevonischer Kalksteine aus (Abb. 1). Dieser hat im Schrifttum seit der Herausgabe des geologischen MTB Gummersbach (A. FUCHS & W. E. SCHMIDT, 1928) mehrfach Beachtung gefunden. Strukturell fügt sich die Abfolge dem nordwestlichen Flügel der bis in dieses Gebiet hineinreichenden Attendorfer Mulde ein.

In den Erläuterungen zum Blatt Gummersbach wird dem Lantenbacher Kalkstein-Horizont bereits besonderes stratigraphisches Gewicht gegeben, weil er gewissermaßen die Grenze zwischen unterem und oberem Mitteldevon markiert. FUCHS & SCHMIDT (1928, S. 26) waren der Ansicht, daß es sich um bankige Einschaltungen offenbar detritischer Karbonatgesteine in siltigen Tonschiefern handelt. Aus letzteren kannte man die z. T. entkalkten Reste von Brachiopoden, Bryozonen, Pelecypoden, Styliolinen, Trilobiten, Krinoiden sowie Pflanzen-detritus. Die feinklastischen Gesteine wurden als „Tentaculitenschiefer der Odershäuser Schichten“ bezeichnet und auf der geol. Karte als unterster Abschnitt des oberen Mitteldevons eingetragen. Später hielt THIENHAUS (1940) die Kalksteine für das Liegende der Odershäuser Schichten; denn auf seiner geol. Karte sind am Nordostende des Genkelsees in lückenloser Reihe unter den Odershäuser Schichten (= unterste Honselers Schichten bzw. unterstes Givet) der Lantenbacher Kalksteinzug und darunter schließlich die Selscheider Schiefer (= oberstes Eifel) vermerkt worden.

Im übrigen hat THIENHAUS (1940) erkannt, daß es sich bei den Kalksteinen um fossile Riffbildungen handelt, denen anderswo „sandiger Schiefer“ der obersten Selscheider Schiefer zeitlich entsprechen würden. Die Kalksteine — von FUCHS & SCHMIDT (1928) nicht weiter durch Fossilien gekennzeichnet — unterteufen also die sogenannten Tentaculitenschiefer oder Odershäuser Schichten (JUX, 1960). Von Anfang an sind somit die siltigen Schiefer über dem Kalksteinzug als Unter-Givet (Odershäuser Schichten) aufgefaßt worden. Das stratigraphische Alter der sandig-tonigen Abfolgen darunter wurde indessen unterschiedlich aufgefaßt: FUCHS & SCHMIDT (1928) rechneten auch hier noch mit unterstem Givet, während THIENHAUS (1940) bereits auf oberstes Eifel bezog.

Etwas anders beurteilten zuletzt H. SCHMIDT & L. TRUNKO (1965, S. 820) die stratigraphischen Verhältnisse: Der Kalksteinzug stellt ihnen zufolge gewissermaßen das Dach der Selscheider Schichten dar. Die sogenannten Tentaculitenschiefer darüber dürften aber als Freilinger Schichten auch noch die höchste Eifelstufe repräsentieren. Erst die darauffolgenden Mergelschiefer (Bonzeler Grenzschicht: FUCHS & SCHMIDT, 1928; THIENHAUS, 1940) würden unterstes Givet (Odershäuser Schichten) markieren.

Der Lantenbacher Kalksteinzug streicht etwa 150 m nordöstlich von der Talsperre im Hohlweg bei Bredenbruch aus. Allerdings hat sich die Fazies auf dieser Strecke verändert, so daß die Riffkalksteine durch bröckelig zerfallene Mergelschiefer, unreine Sandsteine mit mergelig-wulstigen Kalksteinlagen ersetzt sind. Diese Gesteine führen eine reiche Unter-Givet-

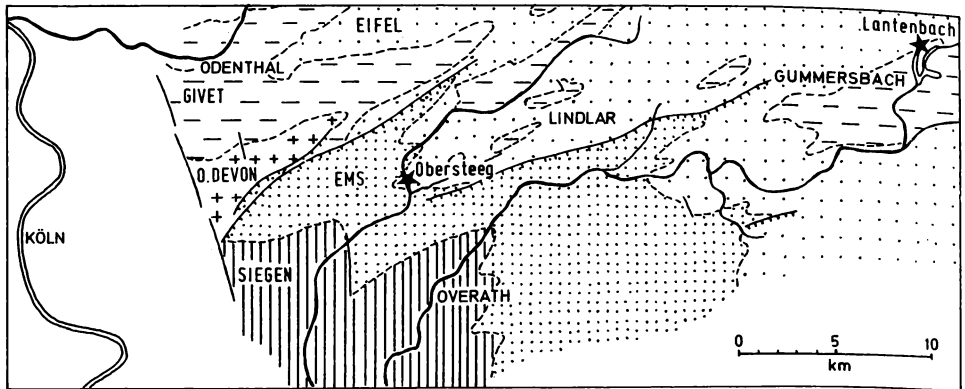


Abbildung 1. Lage und geologische Position des Bioherms von Lantebach bei Gummersbach und des Biostroms von Bilstein bei Obersteeg im Bergischen Land.

Fauna aus Trilobiten und Brachiopoden. Stratigraphisch bedeutsam sind insbesondere Conodonten (Mittlg. Geol. L. A. von NRW).

Somit gilt für unsere nachfolgenden Erörterungen als Richtprofil:

	Bonzeler Grenzschicht
Odershäuser Schichten	Tentaculitenschiefer
Givet	Lantebacher Kalksteinzug/Mergelschiefer
Eifel	Selscheider Schiefer (oberster Abschnitt = Freilinger Schichten).

2. Problemstellung

Unabhängig davon, ob man den Lantebacher Kalksteinzug schon ins Givet oder noch ins Eifel rechnet, kennzeichnet er einen markanten Fazieswechsel im Anschluß an die vorausgegangene langfristige Sedimentationsperiode klastischer Litoralgesteine. Es ist daher nicht zu verwundern, daß der Horizont auch in der westlich gelegenen Paffrather Mulde festgestellt werden kann. Dort erscheinen am nordöstlichen Flügel (Bechener Raum) über den paläontologisch gut belegten Freilinger Schichten unreine Bankkalke, die sich vor allem aus blockförmigen Rugosen (Hexagonarien), Stromatoporen sowie Brachiopoden zusammensetzen. Ihr Hangendes bilden siltige Schiefer, die viele Bryozoen, Brachiopoden und Pflanzenhäcksel enthalten (IVEN, 1975).

Die Kalksteine von Lantebach, die SPRIESTERSBACH (1942) zuerst als autochthone Riffbildungen angesprochen hatte, unterscheiden sich in einem Detail von denen der Paffrather Mulde. Entgegen den Angaben von THIENHAUS (1940) enthalten sie nämlich keine Stromatoporen, sondern bestehen einerseits aus massigen und phaceloiden Rugosen sowie inkrustierenden und ästigen Tabulaten, andererseits aus dem ehemaligen, mit Krinoiden-Oszikeln vermengten Brandungsschutt des Riffes (JUX, 1960).

Insofern stellt sich dieser Horizont als eine nicht eben häufige Biofazies im Rheinischen Devon dar, da dort die meisten Riffkalksteine durch das Nebeneinander von Korallen und Stromatoporen ausgewiesen sind.

Am Beispiel eines mitteldevonischen Biostroms aus dem Sülztal bei Obersteeg (Bilstein, Mühlenberg Schichten) konnte gezeigt werden, daß im litoral-marinen Bereich zunächst Tabulate und solitäre Rugose und danach erst Stromatoporen in die Riffbiozönose Eingang fanden. Auch bei verstärkter klastischer Sedimentzufuhr, die den Niedergang der benthonischen Lebensgemeinschaft zur Folge hatte, überdauerten die Tabulaten (Alveolitiden, Favositiden und Heliolitiden) die Stromatoporen. Anders als in den Lantebacher Kalksteinen

weisen die von Bilstein keine ausgeprägten biofaziellen Zonierungen auf. Vielmehr beteiligen sich dort Stromatoporen und Tabulate nebeneinander mit globulären und polsterähnlichen Wuchsformen an der Zusammensetzung des Biostroms. Den wechselhaften litoral-marinen Sedimentationsverhältnissen entsprechend streichen bei Bilstein über das ganze Profil hinweg nur unreine, z. T. stark sandige Karbonatgesteine aus. Dementsprechend schwanken natürlich die Gesteinszusammensetzungen von Probe zu Probe und stellenweise wurden beträchtliche SiO_2 , Al_2O_3 - oder Fe_2O_3 -Gehalte gemessen (JUX & MANZE, 1976, Abb. 4).

Daß dennoch bedeutsame paläogeographische Veränderungen im Aufschluß Bilstein dokumentiert sind, ließ sich durch die C-Isotopenverteilungen in den Karbonaten der eingeschichteten Organismenreste belegen. In den Sandsteinen an der Basis ist der C^{13} -Anteil geringer als in den Riffkalksteinen. Leichtes, durch Photosynthese angereichertes C^{12} nimmt im Biostrom merklich ab. Darin kommt ein bathymetrisch bedingtes Abrücken des Sedimentationsraumes vom festländischen Einzugsgebiet zum Ausdruck. Dennoch täuscht die Fazies nicht darüber hinweg, daß es sich lediglich um geringfügige Verschiebungen innerhalb des marginal-litoralen Sedimentationsraumes gehandelt hat.

Die Auffassung, daß bei den devonischen Riffen die Stromatoporen den Korallen (Rugose und Tabulate) folgten, hat LECOMPTÉ wiederholt vertreten und damit eine gewisse Bindung an die Siedlungsverhältnisse im stillen (unter Umständen auch relativ tiefen) oder bewegten (unter Umständen auch relativ flachen) Wasser gesehen. Beim Bilsteiner Riff sprechen Bio- und Lithofazies nicht unbedingt für diese Annahme, denn einzelne Tabulate überdauerten ja die Stromatoporen auch noch bei der verstärkten Neuzufuhr klastischer Sedimente. Andererseits lebten die Stromatoporen zweifelsohne im flachen turbulenten Wasser, in dem koloniale, blockförmige Rugose, offenbar wegen der zu hohen Sandschüttung nicht leben konnten.

Im Lantenbacher Aufschluß zeigt sich eine ganz andere Situation. Koloniale Rugose bilden den Kern des Bioherms; sie wurden überwachsen von Tabulaten, ohne daß Stromatoporen hinzugekommen wären. Ein ansehnlicher Fächer aus aufbereiteten Skeletten von Riffbildnern und anderen Riffbewohnern (z. B. Krinoiden) macht aber unmißverständlich klar, daß auch das Lantenbacher Bioherm dem kräftigen Wellengang ausgesetzt war. Vielleicht konnten die kolonialen Rugosen ihren Lebensraum beibehalten, weil terrigene Sedimentzufuhr weitgehend unterdrückt war und für Stromatoporen die zu besiedelnden Flächen nicht mehr genügend belichtet wurden.

Diese Fragestellung gab den Anlaß zu einer erneuten Untersuchung des Lantenbacher Riffes. Diesmal war also nicht die biofazielle Zonierung ins Blickfeld des Interesses gerückt, sondern die Umweltsbedingungen, denen die Rifforganismen während ihrer Wachstumsperioden und bei ihrem Absterben ausgesetzt waren. Neben der biofaziellen Analyse sollten zur Klärung vor allem chemische und isotopenphysikalische Meßmethoden eingesetzt werden.

Bezüglich der paläo-ökologischen Befunde kann weitgehend auf schon vorliegende Detailuntersuchungen zurückgegriffen werden (JUX, 1960, S. 193—200): Bei dieser ersten Bearbeitung mußte es eine offene Frage bleiben, weshalb das Bioherm keine Stromatoporen enthielt und warum es unvermittelt abstarb. Mit der Bestimmung der Isotopenverteilung in den Skelettkarbonaten der Riffbewohner ist es nunmehr möglich, sowohl die Herkunft des im Skelett-Karbonat fixierten Kohlenstoffs, als auch die Wassertemperaturen im Bereich der ehemaligen Biozönose zu erörtern. Damit eröffnen sich Möglichkeiten, paläogeographische und bathymetrische Veränderungen aus den Befunden eines Aufschlusses verlässlich abzuleiten.

3. Lagerungsverhältnisse

Der Lantenbacher Kalksteinzug ist mit etwa 80 m ungefähr im Gebirgsstreichen erschlossen; die Schichten fallen 30—35° nach Südosten ein. Vom Liegenden ist im Talsperrenbereich nichts einzusehen; zuunterst streichen Bänke aus, die sich aus Hexagonarien zusammensetzen. Im Hangenden des 10—12 m hohen und am künstlichen Steilufer (ehemaliger Kalksteinbruch) vorzüglich erschlossenen Kalksteinkomplexes überlagern mit scharfer Grenze die siltig-tonigen Odershäuser Schichten. Diese haben aber nirgendwo direkten Kontakt mit den eigentlichen biogenen Gerüstkalcken, wie z. B. den *Hexagonaria*-Bänken oder den in Wuchsposition überlieferten Tabulaten; vielmehr schaltet sich überall ein wechselnd mächtiger Fächer aus riffdetritogenem, spätigem Kalkstein dazwischen ein (Abb. 2).

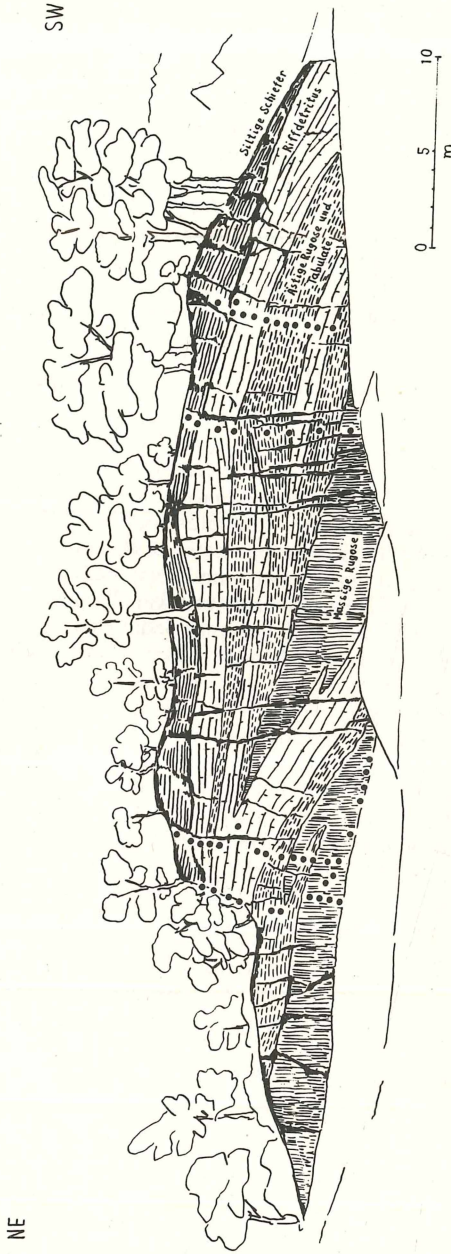


Abbildung 2. Lagerungs- und Faziesübersicht der am Steilufer der Genkeltalsperre bei Lantenbach ausstreichenden U.-Givet-Schichten. Probenentnahmestellen für chemische und isotopenphysikalische Untersuchungen sind als Punkte markiert.

Aus den Anlagerungsgefügen ist ersichtlich, daß der rollende Transport solcher Organoklaste aus nächster Nähe erfolgte. So kann man auch an den Schrägschichtungsgefügen der detritischen Kalksteine deutlich erkennen, daß es sich um „Hangschuttbildungen“ an einer kleinen Untiefe handelte. Abgesehen von der allgemeinen Aufrichtung, die die Schichten am Nordwest-Flügel der westlichen Attendorner Mulde während der varistischen Orogenese erfahren haben, sind die Profile ungestört der Beobachtung zugänglich. Lediglich im mittleren Teil des Aufschlusses ist das Gestein von einer starken senkrechten Klüftung durchsetzt. Einige Fugen sind später durch Kalzit geschlossen worden.

4. Profile

Man kann mit SCHÄFER (1963) in der ehemaligen Steinbruchswand (Steilufer des Genkelsees) zwei übergeordnete Biofaziesbereiche unterscheiden, nämlich die vital-astraten bzw. lipostraten Riffpartien einerseits und die vital-pantostraten siltig-tonigen Gesteine in ihrem Hangenden andererseits. Während letztere — selbst im riffnahen Ablagerungsraum — ziemlich gleichförmig zusammengesetzt sind, können die Kalksteine in mehrere biofazielle Teilbereiche gruppiert werden. Hierbei handelt es sich um die ehemaligen Biotope der massigen Rugosen (A), sowie der ästigen Rugosen und Tabulaten (B) und schließlich um den nur von wenigen inkrustierenden Riffbildnern besetzten, detritogenen Talus des Bioherms (C). Grundsätzlich gilt dabei die Reihung A, B, C, da im Hangenden von A an keiner Stelle ein Kontakt mit C gefunden wurde.

Im Lantenbacher Kalksteinzug setzte die biogene Gesteinsbildung offenbar mit dem Aufkommen von *Hexagonaria*-Zönosen (A) ein; allerdings sind innerhalb des aufgeschlossenen Riffkomplexes zwei Aufbauphasen zu erkennen, die jeweils den gesamten Zyklus A, B, C enthalten, wobei der jüngere eher eine horizontal betonte Anlagerung als vertikale Überlagerung ist.

Vital-astrate Biofazies

Hierunter verstehen wir die Abschnitte, in denen Riffbildner in ihrer ursprünglichen Wachstumsposition überliefert worden sind. Während FUCHS & SCHMIDT (1928) noch keine Fauneneinschlüsse aus den Kalksteinen meldeten, sprach THIENHAUS (1940) von „Korallen-Stromatoporen-Kalken“. Es muß aber nochmals betont werden, daß in dem hier behandelten Aufschluß keine Stromatoporen festgestellt worden sind und daß die massigen Rugosen gegenüber den Tabulaten innerhalb des Riffkomplexes voneinander getrennte Bereiche einnahmen. Astrat bedeutet soviel wie schichtungslos; das schließt aber nicht aus, daß der Korallenwuchs zu biologisch stratifizierten Gerüstkalke führen konnte. Riffkalke können durchaus massig und schichtungslos erscheinen, doch können auch abiotische Schichtungsgefüge vorgetäuscht werden. Dafür ist der Lantenbacher Aufschluß ein schönes Beispiel.

Massige Rugose

Die Kerne des Bioherms wird von kolonialen Rugosen eingenommen. Es handelt sich nicht um das Nebeneinander einzelner blockförmiger Korallen, sondern um polsterartig miteinander verwachsene Kolonien. Dadurch entstand eine biologische Schichtung des Riffes, wobei sich einzelne „Korallen-Rasen“ gegenseitig überwuchern konnten. Im allgemeinen wurden die im Anschnitt brotlaibartigen, cerioiden Korallen nur 15 bis 20 cm hoch. In engen Fugen — in und zwischen den Kolonien — ist feinstes Riffdetritus und Pelit abgesetzt worden.

Derartig schichtige Anordnungen der Koloniekorallen orientieren über den Verlauf und die Ausbildung ehemaliger Oberflächen und Böschungen am Riff; man kann diese jetzt noch im Aufschluß als kuppige, von Vertiefungen unterbrochene Wachstumsflächen verfolgen.

Phaceloide und dendroide Korallen kommen in diesen Bereichen nicht vor. Eine Art bestimmte allein den Biotop. Allerdings ist ihre systematische Zuordnung unterschiedlich verstanden worden. Bei THIENHAUS (1940) wird sie als *Schlüteria darwini* (FRECH), bei JUX (1960) als *Hexagonaria quadrigemina* (GF.) bezeichnet. Eine genauere Untersuchung hat GLINSKI (1955) veranlaßt, dafür eine neue Art, nämlich *Columnaria cacotropia*, einzuführen. Mit dem Artnamen sollte zum Ausdruck gebracht werden, daß die Gattungsanordnung einige Schwierigkeiten bereitet. Man mag überhaupt die Gattung *Columnaria* GF. 1826 anfechten, da man sie „mit vielen guten Gründen als eine primitive *Hexagonaria* ansprechen kann“ (GLINSKI,

1955). In Abb. 8, Fig. 1 a und 1 b sind Längs- und Querschnitte mehrerer Korallite wiedergegeben, aus denen sich die Artmerkmale (konkave oder gewellte Hauptböden) gut erkennen lassen.

Einen Eindruck der Siedlungsform vermittelt Abb. 8, Fig. 2. Man kann daraus entnehmen, wie die Hexagonarien seitlich ineinander verwachsen sind und wie einzelne Kolonien in höhere Wuchsstockwerke hineinwucherten. Feiner Rifffdetritus, Mergelschiefer, zuweilen auch Brachiopoden (Atrypiden, Schizophorien u. a.) finden sich in taschenförmigen Vertiefungen oder auch linsenartig zwischen den Koralliten. Die Koralliten sind nach diesen verfüllten Reliefs orientiert, so daß man aus ihren Wuchsstellungen keine einförmigen Strömungsrichtungen an der ehemaligen Riffoberfläche ermitteln kann.

Hexagonarien kommen im basalen Abschnitt im nordöstlichen und östlichen und im zentralen Aufschlußbereich vor. Sie fehlen im südwestlichen (Abb. 2).

Ästige Rugose und Tabulate

Nach Südwesten lösen sich die *Hexagonaria*-Polster auf, und es schalten sich in zunehmendem Maße Tabulate dazwischen ein. Diese überziehen die massigen Koloniekorallen auch nach oben hin. Teils handelt es sich um schichtige oder fladenartige Inkrustate, teils um bizarre, vielfältig gegliederte Stöcke. Vereinzelt kommen auch ästige oder netzförmig verzweigte Korallien vor. Mit Mergelschiefern und Rifffschutt verfüllte Fugen und Höhlungen sind in der Tabulaten-Zönose öfters zu finden, als in den insgesamt massiger aufgebauten *Hexagonaria*-Partien.

Auch die Tabulaten haben echte Gerüstkalke gebildet, wobei die Oberseiten der Kolonien die Morphologie der gewachsenen Riff-Flanken überliefert haben. Einzelne Korallien in solchen Wuchslagern sind in ihren kuppelförmigen Zentren 15 bis 20 cm hoch gewachsen und dehnen sich bis zu 2 Meter seitlich aus. An ihren Flanken können die sonst einheitlich aufgebauten Stöcke aufspalten und Rifffdetritus umschließen. Wie bei den Hexagonarien läßt sich feststellen, daß sich einzelne Kolonien über die allgemeine Riff-Fläche erhoben haben und dann durch Überwucherung anderer ein neues Stockwerk im Bioherm entstehen ließen (Abb. 8, Fig. 3 a, b).

Man könnte aus den Profilen ableiten, daß die Tabulaten in etwas tieferem Wasser als die Hexagonarien lebten. Vermutlich hatte aber für die Biozonation nicht die Bathymetrie die ausschlaggebende Bedeutung, sondern die Wasserbewegung. Letztere könnte — früher wie heute — ökologische Barrieren aufgerichtet haben. Die Bereiche mit den blockförmigen Rugosen wären danach vor der unmittelbaren Brandung durch Tabulaten-Krusten geschützt worden, so wie an modernen Riffen die inkrustierenden Kalkalgen (*Lithothamnium*) in der Brecherzone zu finden sind. Es ist möglich, daß neben den Tabulaten im Lantenbacher Kalksteinzug einige stromatolithartige Strukturen auf Algen zurückgehen; eine dominierende Rolle für die Lithogenese haben hier aber Pflanzen auf keinen Fall gespielt.

Die meisten Tabulaten sind Alveolitiden. Im ganzen Kalkstein-Profil wurden aber entgegen den Angaben von THIENHAUS (1940) keine *Heliolites*- oder *Favosites*-Arten festgestellt.

Aus den bislang vorliegenden Schlifften wurde *Alveolites crassus* LECOMPTE, 1939 bestimmt. Die Kelchöffnungen der Polypare haben wie beim Holotyp (Gi-a, Mulde von Dinant) bei ziemlich unregelmäßiger Gestaltung innere Durchmesser von 0,4 bis 0,8 mm. Die geraden bis leicht konkaven Böden folgen im allgemeinen in Abständen von 0,25 bis 0,3 mm aufeinander. *A. suborbicularis* LMCK. und *A. subaequalis* M.-E. & H. kommen als Riffbildner in der Tabulatenzone nicht vor (JUX 1960). Quer- und Längsschnitte durch Korallien von *A. crassus* LECOMPTE sind auf Abb. 8, Fig. 4 a, b dargestellt.

Taschenförmige und mit Detritus verfüllte Vertiefungen innerhalb der *Alveolites*-Krusten enthalten zuweilen Auloporiden. *Syringopora crisa* SCHLÜTER, 1889 hatte offenbar in den primären Vertiefungen auf abgestorbenen *Alveolites*-Korallien ihre ökologische Nische (Abb. 8, Fig. 4 b).

Etwas größere Einsenkungen auf der Riffoberfläche gaben ästigen Tabulaten [*Thamnopora tumefacta* Lecompte, 1939 und *T.? vermicularis* (McCoy, 1850)] Lebensraum. Letztere bildete — ähnlich *Syringopora* — sperrige Überzüge auf Alveolitiden (Abb. 8, Fig. 5). Vereinzelt kommen in solchen Detritus-Taschen auch Bruchstücke von *Coenites* EICHWALD vor.

An der SW-Seite des Aufschlusses finden sich — im Gegensatz zur NE-Flanke — innerhalb der aus Tabulaten aufgebauten Kalkstein-Partien auch häufiger ästige und solitäre rugose Korallen. Größtenteils haben diese die ursprünglichen Lebensstellungen innerhalb primärer Vertiefungen der alten Riffoberflächen beibehalten. Selbstredend ist deshalb auch in ihrem Lebensbereich der Anteil detritischer Gesteinskomponenten höher. Es überwiegen koloniale Formen, jedoch nicht in cerioiden, sondern in phaceloiden Wuchsformen. Einzelne Stöcke sind 25—30 cm lang und etwa 10 cm hoch (Abb. 9, Fig. 1). Die Polypare (\varnothing 6—8 mm) erheben sich z. T. gerade, z. T. verwunden aus der unebenen alten Riff-Böschung. In ihrem Strömungsschatten sind Organoklaste abgesetzt worden.

Die Art steht *Disphyllum geinitzi* LANG & SCHMIDT nahe — eine Form, die auch im belgischen Unter-Givet (Gi-b) vorkommt. Nur vereinzelt wurden solitäre Arten — *Acanthophyllum vermiculare* (GF.), *Mesophyllum maximum* (SCHLÜTER) — demgegenüber festgestellt (JUX 1960).

Wie gesagt, kommen innerhalb der Tabulaten-Zone rugose Korallen nur in den marginalen Säumen des Bioherms vor. Auf das Paläorelief bezogen waren ihre Standorte einige Meter (5—10 m) tiefer gelegen als die Innenbereiche des Riffes. Vermutlich reflektieren ihre phaceloiden und cylindroiden Wuchsformen eine geringere Wasserbewegung als die cerioiden Rugosen oder die massigen Tabulaten-Polster auf der Riff-Plattform.

Vital-lipostrate Biofazies

Riffe bestehen nur z. T. aus biogenen Gerüsten. Von heutigen weiß man, daß es für den organischen Zuwuchs Schwerpunkts-Zonen gibt. Hauptwachstum, allerdings auch Hauptabtrag erfolgt in den marginalen Turbulenzonen; die davon umsäumten Flächen sind nur partiell von lebenden Riffbildnern besetzt. Weite Areale der Riff-Plattform können völlig abgestorben sein. Bei wechselnden Strömungsrichtungen und steigendem Wasserspiegel verlagern sich zudem die aktiven Aufbauzonen in einem Riff-Komplex; Abrasionsflächen können dann z. B. wieder neu besiedelt und aufgestockt werden. Kontinuierlich wird indessen an den brandungsexponierten Riff-Flanken biogenes Baumaterial abgetragen. Die Organoklaste werden über die Riff-Plattform hinweg im Strömungsschatten oder vor der Brandungskante fächerartig abgelagert.

Solche Schutthalde konnten bei grundgehendem Wellengang — wie die Schrägschichtungsgefüge anzeigen — in Bewegung gesetzt werden. Auch Überlastung der Hänge durch neuzugeführte Organoklaste mag zu Umlagerungen geführt haben. Deshalb findet man im Talus nur vereinzelt Coelenteraten in ursprünglichen Wuchsstellungen.

Riffdetritus

Die südwestliche Seite des Aufschlusses zeigt über der Ökozone der ästigen Rugosen und Tabulaten eine bis zu 3 m mächtige Bedeckung aus dünnbankigen, schrägschichteten, späten Kalksteinen. Nach NE nimmt die Mächtigkeit ab, so daß, 30—40 m weiter auf der erschlossenen Riffkuppe, dieser Horizont bis auf 1 m ausgedünnt ist. Die Schrägschichtungsflächen und Anlagerungsgefüge machen deutlich, daß die Sedimentbestandteile aus nächster Nähe — nämlich den ehemaligen Brandungssäumen des Riffes — angeliefert wurden. Auffällig sind umgestürzte, aus ihrem natürlichen Wuchsverband herausgebrochene *Hexagonaria*-Blöcke (Abb. 9, Fig. 2). Es kommen daneben häufig zertrümmerte, bis handgroße Tabulaten-Krusten vor (Abb. 9, Fig. 3). Die Hauptmasse des biogenen Detritus stellen in den späten Kalksteinen Krinoiden. Ihre z. T. zerbrochenen Oszikel haben Durchmesser von 0,5 bis 1,5 mm; allerdings gibt es auch grobspätige Kalkstein-Partien mit 0,5 bis 1 cm dicken Krinoiden-Stielgliedern. Über die sperrigen Gefüge dieser Kalksteine kann man sich auf Abb. 9, Fig. 4 informieren. Die Matrix ist pelitisch bis kalzilititisch. Als eingelagerte Biogene findet man außerdem ästige Tabulaten wie *Thamnopora? vermicularis*, Auloporidenfragmente, Bryozoenreste und feine, 0,25 mm dicke Röhren (Styliolinen?).

Die Herkunft der Krinoiden ergibt sich ohne weiteres aus den Profil- und Lagerungsverhältnissen. Sie lebten ursprünglich am Riff. Zwar fehlen Anhaltspunkte dafür, daß das Riff den Wasserspiegel erreicht hatte, sicher wurde es aber noch vom Wellengang erfaßt. Abgestorbene oder aus ihrer Verankerung gerissene Seelilien wurden jedenfalls dem eigentlichen Brandungsschutt beigemischt und an den Böschungen mitabgesetzt.

Die Schichtflächen der detritischen Kalksteine haben — vor allem im oberen Abschnitt des Profils — Mergelschieferbestege. Solche pelitischen Einschaltungen können schichtig answellen und als 5 cm dicke Linsen, manchmal sogar meterlange Lagen erscheinen.

Obwohl der Riffschutt wegen seiner Mobilität im allgemeinen keine günstigen Siedlungsräume für sessiles Benthos anbot, bestanden offenbar dort auch einige stillere Bereiche, wo entweder inkrustierende Tabulaten (Alveolitiden) oder rasenartig wuchernde Thamnoporiden das klastische Substrat fixiert hatten (Abb. 9, Fig 5). Offenbar genügte eine kurzfristige Stabilisierung der Sedimentationsfläche, um den Lebensraum für bestimmte Riffforallen zu öffnen. Wahrscheinlich gehen einige strukturlose Verkrustungen von Talus-Partien auf den Metabolismus von Algen zurück.

Riffdetritus kommt in mehreren Bereichen des Lantenbacher Kalksteinzuges vor. Seine Anlagerung veranschaulicht unterschiedliche Aufbauphasen des Bioherms. Man kann — wie gesagt — zwei Hauptetappen unterscheiden. Die detritischen Einschaltungen innerhalb der südwestlichen Flanke hängen vermutlich mit wechselnden Strömungen bzw. mit veränderten Transportrichtungen zusammen. Jedenfalls sind nach den Anlagerungsgefügen im Riffdetritus die Organoklaste vorzugsweise nach SE geschüttet worden. Die relativ häufig gefundenen *Hexagonaria*-Blöcke geben einen Hinweis, daß auch die marginalen, hochgelegenen Riffbereiche gelegentlich von kräftiger Brandung bearbeitet wurden. Dabei sind die Korallen-Polster aufgerissen und ihre Trümmer über die Tabulaten-Zone hinwegbewegt worden. Entfernungsmäßig macht das allerdings nicht mehr als 30—40 m aus, wobei die Böschungswinkel 5° bis höchstens 20° betragen. Danach dürfte das Bioherm bzw. die ehemalige Riffkante die umgebende Sedimentationsfläche um ca. 10 m überragt haben.

Vital-pantostrate Biofazies

Ablagerungsflächen, die vom grundberührenden Seegang im allgemeinen nicht mehr zerstört wurden und wo die einmal deponierten klastischen Sedimente hydromechanisch keine weitere Aufbereitung erfuhren, weisen pantostrate Gefüge auf (SCHÄFER 1963). In solchen Gesteinen fehlen deshalb Schrägschichtungen, Rippelmarken oder Erosionsspuren. Eine biogene Sedimentumprägung wäre dabei natürlich immer noch möglich. Daher ist die feinklastische vital-pantostrate Biofazies oft durch bestimmte Bioturbationen ausgewiesen; bezeichnender sind allerdings Streupflaster aus Muscheln oder Brachiopoden, die eine dem Bodenleben angemessene Durchlüftung des Wassers belegen.

Siltige Schiefer

Über den Kalksteinen folgen mit scharfer Grenze siltige Schiefer (Odershäuser Schichten; Abb. 9, Fig. 6 und 7). Ihre Basis bildet im allgemeinen ein etwa 5 cm dicker, unreiner Kalkstein, auf den dann graugrüne, ebenschichtige, siltige Tonschiefer lagern. Die Schichtenflächen weisen helle Glimmerbestege auf. Im Abständen von 10 bis 20 cm sind plattige Siltsteine von etwa 5 cm Dicke eingeschaltet.

Abgesehen von der Kontaktzone setzen sich die Schiefer sehr gleichförmig zusammen. Man stellt feinschichtige, z. T. gradierte Gefüge fest. Nach Osten gehen die Schiefer in blauschwarze, kalkfreie Gesteine über, die mit Tentaculiten-Schiefern auf Blatt Attendorn übereinstimmen und von den Selscheider Schiefern wegen des geringen Sandgehaltes unterschieden werden können (THIENHAUS 1940).

Korngrößenmäßig besteht das Gestein zu etwa 50% aus Schluff und Feinsand. Der Rest ist tonige Matrix. Im einzelnen verteilen sich die Quarzkörner auf die Größen (in mm): 0,01—0,02 = 66%; —0,04 = 17%; —0,06 = 13%; —0,08 = 2%; —0,1 = 1%; —0,12 = 1%. Feinsand bildet also nur 4% des Quarzbestandes. Dominierende Tonminerale sind Illite.

Fossilien gibt es insbesondere aus den riffnahen Ablagerungsbereichen. Am häufigsten kommen eingeschwemmte Krinoiden-Oszikel vor, die selbst in höheren Lagen linsenartig oder in Streupflastern gefunden werden. Allerdings handelt es sich dort um Abdrücke, weil die Karbonate aus dem Gestein herausgelöst wurden.

Die isolierten Columnarien (\varnothing 1—10 mm) wurden schichtparallel dem Gesteinsverband einverleibt. Deshalb eignen sie sich besonders gut, um die innere Gesteins-Deformation (in Anschluß an Setzung und Diagenese) zu ermitteln. Die ursprünglich kreisrunden Scheiben sind nämlich elliptisch verzerrt worden, wobei die langen Achsen ungefähr parallel zum

Generalstreichen des Gebirges verlaufen. Das Verhältnis der kurzen zu den langen Achsen beträgt im Mittel 0,8681 (35 Exemplare; Varianz: 0,002; Standardabweichung: 0,045). Aus diesem Betrag läßt sich für den Gesteinsverband mit BREDDIN (1966) eine Querverkürzung von 9% und eine Seiten- und Hochlänge von 4,8% berechnen. Diese Werte stehen in guter Übereinstimmung mit denen, die im Lindlarer und Overather Raum festgestellt wurden.

Für das Bioherm läßt sich damit folgern, daß in dem umgebenden, inkompetenten Schiefermantel (im Liegenden Selscheider Schichten, im Hangenden Odershäuser Schichten) schichtparallele Scherprozesse anzunehmen sind, während die kompetenten Riffkalksteine durch Querklüftung auf die Dehnungskräfte reagierten.

In den schillartigen Anhäufungen von Seelilienstielgliedern kommen auch guterhaltene Abdrücke und Steinkerne anderer Evertebraten vor. Darunter sind hervorzuheben Brachiopoden (*Kyrtatrypa* cf. *culminigera* STRUVE; *Subrensselandia* sp.; *Emanuella* sp.; *Uncinulus pentagonus* (KAYSER); *Retzia pelmensis* (KAYSER), Bryozoen (*Fenestella*- und *Polypora*-Arten) und Muscheln (*Pterinopecten reticulatus* (GF.); *Parallelodon michelini* (A. & V.) u. a.). Vereinzelt gibt es auch Fragmente von Tabulaten (*Thamnopora* sp.).

Es handelt sich nicht um einen Bruchschill, denn die Muschel- oder Brachiopodenklappen wurden vollständig, wenngleich voneinander isoliert, eingeschichtet. Einige Pinnulae von Seelilien blieben jedoch im Verband erhalten. Daß der Ablagerungsraum dem offenen Faunenaustausch zugänglich war, deuten die in den fossilführenden Linsen gelegentlich festgestellten Tentaculiten an. An der Basis der zunächst mergelig entwickelten Schiefer wurden einige Exemplare der *Calceola sandalina* LMK., offenbar die stratigraphisch jüngsten Vertreter im Bergischen Land, nachgewiesen. Erwähnenswert sind außerdem Phacopidenreste (Thorax-Teile) sowie ein Pygidium von *Cyrtosymbole* cf. *meles* (R. & E. RICHTER).

Sowohl in den Schill-Linsen als auch in den Schiefen kommen zwar Tentaculiten vor, doch handelt es sich nur selten um wirkliche Massierungen. Man kann unter Umständen lange suchen, bis man überhaupt diese Fossilien erkannt hat. Größte Verbreitung haben winzige Dacryoconariden (Längen: 2—5 mm) mit *Nowakia sulcata* F. A. ROEMER und *Styliolina laevis* RICHTER. Vereinzelt sind Gehäusefragmente mit der Skulptur von *Tentaculites* sp. beigemischt. Nur die Gehäuse von *S. laevis* wurden auch gehäuft in richtungslosen Anordnungen festgestellt. Insbesondere im Verein mit Styliolinen enthalten die Schiefer Steinkerne glatter Ostracoden.

Häufiger als tierische Fossilien weisen die Schichtenflächen Fragmente von Gefäßpflanzen auf, wie etwa bis zu 3 cm lange, dichotom verzweigte, niedrig inkoehlte Psilophyten-Reste. Damit zusammen wurden überhaupt keine marinen Fossilien erkannt.

Die paläogeographischen Beziehungen zur herzynischen Magna-Fazies im Osten, sowie der Nachweis von Tentaculiten und Goniatiten (THIENHAUS 1940) veranlassen die Zuordnung der siltigen Schiefer in den neritischen Bereich; es handelt sich um die Ablagerungen eines offenen Meeresbeckens. Wahrscheinlich haben darin nur einige aufragende Untiefen — so z. B. abgestorbene Riffe — den Benthos-Tieren, wie solitären Korallen, Brachiopoden, Bryozoen und Krinoiden, einen räumlich und zeitlich beschränkten Lebensraum angeboten. Das klastische Sediment ist wegen der eingeschlossenen Pflanzenreste zwar auf landnahe Liefergebiete zu beziehen, doch ging die Gesteins-Akkumulation vor allem auf Materialzufuhren aus schwebendem Transport zurück.

5. Chemische Charakterisierung

Für die zahlreichen Gesteinsanalysen, die mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz-Methode im Labor der Spiegelglaswerke Germania (Porz) gemacht wurden, danken wir auch diesmal recht herzlich Frau Dr. G. DRÄGER und Herrn W. ULLMANN.

Aus den verschiedenen Biofaziesbereichen des Latenbacher Kalksteinzuges wurden Handstücke aus vier Vertikalprofilen für geochemische Vergleiche untersucht. Auf den Abb. 2 und 3 sind die Entnahmestellen als Punkte vermerkt.

Die Analysen bezogen sich auf folgende Elementverteilungen: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO und MgO. Es ist zu beachten, daß die siltigen Schiefer nicht untersucht wurden, da sie sich für das bestehende Analysen-Programm (Mehrkanal-Röntgenspektrometer ARL 72000) als karbonatarm erwiesen. Die SiO₂-Werte waren im übrigen nur bis zu einem Maximalgehalt von 5% zu erfassen. Weil dieser Betrag in fast allen Proben erreicht worden ist, sind die Kieselsäuregehalte meistens als Minimalwerte aufzufassen.

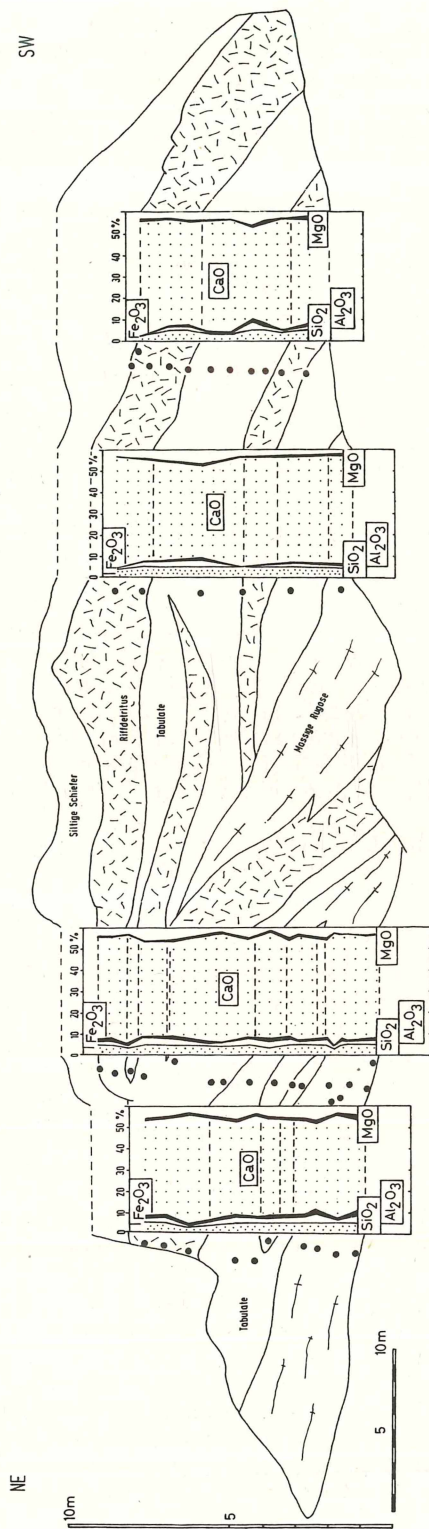


Abbildung 3. Gespreiztes Profil (wie Abb. 2) mit der chemischen Charakterisierung der Kalksteine. Analysendaten beziehen sich jeweils auf die links vermerkten Probenentnahmepunkte.

Verglichen mit dem Tabulaten-Stromatoporen-Biostrom von Bilstein im Sülztal (JUX & MANZE, 1976) ist die Elementverteilung im Rugosen-Tabulaten-Bioherm von Lantenbach gleichmäßiger gestreut. Aus den vier Profilen kann somit zunächst kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Ökozonen festgestellt werden. Etwas anders stellt sich der Sachverhalt dar, wenn man die Mittelwerte aller Analysen aus den unterschiedlichen Biofazies-Bereichen einander gegenüberstellt:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
Siltige Schiefer (Basis, Pr. 32)	1,96	0,52	1,18	52,34	0,84	% Mittelwert
Riffdetritus	4,42 (0,73)	1,69 (0,92)	1,18 (0,41)	48,48 (2,92)	0,84 (0,18)	% Mittelwert (St.-Abw.)
Ästige Rugose und Tabulate	4,63 (0,71)	2,04 (0,92)	1,25 (0,33)	47,45 (2,98)	1,02 (0,37)	% Mittelwert (St.-Abw.)
Massige Rugose	4,45	2,07	1,17	48,44	0,97	% Mittelwert

Tabelle 1.

Abgesehen von den siltigen Schiefen, die analytisch nur an ihrer noch kalkigen Basis durch eine Probe belegt sind, bestätigt die Mittelwerts-Auflistung das gleichmäßige Bild der Verteilungskurven. Lediglich Al₂O₃ und MgO geben wegen leichter quantitativer Unterschiede einige Hinweise auf etwas abgewandelte Sedimentationsmilieus.

Zwischen den autochthonen Riffbildnern gab es reichlich Sedimentfallen für Feindetritus und tonige Partikel. Daher ist die Al₂O₃-Verteilung sowohl im Bereich der Tabulaten als auch der Hexagonarien gleich. Im Riffdetritus ist der Tonerde-Anteil niedriger, weil bei der Umlagerung im strömenden Wasser gewissermaßen eine Wäsche erfolgte. Die leichten Unterschiede der MgO-Werte hängen beim Riffdetritus mit der starken Beimengung von Krinoiden-Oszikeln und den verminderten Tonerde-Anteilen und bei den Korallenkalken mit einer möglichen Beteiligung Magnesium-fixierender Algen in der Tabulaten-Ökozone zusammen.

Man darf allerdings geringfügige Schwankungen nicht überbewerten. Das zeigt eine horizontale Meßreihe über etwa 8 m innerhalb eines Hexagonarien-Polsters. Die 8 äquidistant genommenen Proben wiesen folgende MgO-Gehalte auf (in %): 0,78; 0,51; 0,37; 0,66; 0,92; 0,72; 0,81; 0,49. Interessant ist nun die Gegenüberstellung von Analysenwerten aus zwei unterschiedlichen Riffen, nämlich dem Lantenbacher Bioherm und dem Bilsteiner Biostrom (JUX & MANZE 1976). Beim ersteren sind die Werte aus der vital-astraten und lipostraten Biofazies zusammengefaßt worden (44 Proben), beim letzteren die aus dem Stromatoporenkalk-Horizont (25 Proben).

	Lantenbach	Bilstein	
SiO ₂	4,50	1,99	in %
Al ₂ O ₃	1,93	0,83	
Fe ₂ O ₃	1,20	0,58	
CaO	48,12	47,07	
MgO	0,94	0,60	

Tabelle 2.

Erwartungsgemäß ist der CaO-Gehalt in Lantenbach etwas höher als in Bilstein. Überraschend sind aber die relativ stärkeren Beimengungen an SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 und MgO. Wahrscheinlich gehen diese Unterschiede auf die paläogeographische Lage des Ablagerungsraumes zurück. Das Bilsteiner Tabulaten-Stromatoporen-Bioström entwickelte sich im Bereich des sandigen Litorals, in dem gleichmäßige Meeresströmungen einerseits eine gute Sedimentsortierung bewirkten (Mühlenberg-Sandsteine) andererseits Tonminerale abführten. In Lantenbach dagegen besteht das Substrat des Bioherms aus den Selscheider Schiefern und sein Hangendes aus siltigen Schiefern der Oderhäuser Schichten. Auch während des Riffwachstums ging natürlich die Pelit-Sedimentation weiter und vermutlich hängen die hohen Fe_2O_3 -, MgO- und SiO_2 -Werte mit solchen Ton- und Siltbeimengungen zusammen.

Vielleicht sind in dem Bioherm deshalb keine Stromatoporen zu finden, weil während seiner Bildungszeit das Wasser nicht klar genug war. In Bilstein verschwinden die Stromatoporen am Riffkomplex sobald die klastischen Sedimentanteile ein gewisses Maß überschreiten, während Tabulate weiterhin nachzuweisen sind.

6. Isotopen-Verteilungen in den Karbonat-Gesteinen

Aus den Karbonat-Gesteinen konnten mit den bekannten Methoden¹⁾ die Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotope bestimmt werden. Die siltigen Schiefer im Hangenden setzten allerdings in Orthophosphorsäure nicht genügend CO_2 für die Analyse frei. Nur ihre unterste kalkig-mergelige Lage konnte in das Meßverfahren einbezogen werden.

Bei den herangezogenen Proben handelt es sich um das Ausgangsmaterial, das auch mit der Röntgenfluoreszenz-Methode chemisch charakterisiert worden ist. Die Isotopen-Untersuchungen hatten zum Ziel, innerhalb des Bioherms biofazielle Unterschiede näher zu kennzeichnen und den Ablagerungsraum sowohl bathymetrisch als auch paläoklimatologisch abzugrenzen. Deshalb wurden nicht nur alle Proben — wie am Bilsteiner Bioström — auf die $\text{C}^{12}/\text{C}^{13}$ -Verhältnisse, sondern auch auf die $0^{16}/0^{18}$ -Verteilungen untersucht.

Kohlenstoff-Isotope

KEITH & WEBER (1964) haben den Bereich oberhalb von $\delta\text{C}^{13} = -2\text{‰}$ als bezeichnend für marine Kalk-Gesteine erkannt. Abgesehen vom Grenzbereich zu den siltigen Schiefern liegen alle Lantenbacher Meßwerte über -2‰ . Das bestätigt die paläontologischen Befunde; denn Rugose, Tabulate und Krinoiden sind Organismen aus dem vollmarinen Lebensraum. Dennoch schwanken die Isotopen-Verhältnisse in den vier Vertikalprofilen, wie Abb. 4 zeigt, innerhalb der angegebenen Grenzen. Beim Vergleich der Kurven ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Meßgenauigkeiten beim Kohlenstoff $\pm 0,25\text{‰}$ betragen. Zwar scheinen die Werte aus dem Riffdetritus etwas weiter im negativen Bereich zu liegen als die aus den Gerüstkalken. Aber erst eine Gegenüberstellung aus den drei Riffzonen vermittelt eine genauere Übersicht:

	Mittelwert	Standard-Abw.	Anzahl der Proben
Riffdetritus	$-1,41\text{‰}$	0,32	14
Tabulate	$-1,02\text{‰}$	0,52	13
Massige Rugose	$-1,12\text{‰}$	0,28	16

Wie die Standard-Abweichungen (und natürlich auch die Varianzen) zu erkennen geben, sind die Werte ziemlich verläßlich. Die Isotopen-Verhältnisse von Tabulaten und massigen Rugosen entsprechen sich weitgehend; die aus dem Riffdetritus sind in der Tat etwas negativer. Dennoch gilt, daß der Chemismus der Wassermassen am Bioherm während seines Aufbaus ziemlich gleichförmig war. Mit siltigen Schiefern ließen sich — wie gesagt — keine Messungen durchführen. Aus der Kontaktzone mit dem Riffdetritus war das indessen noch möglich. Das Mittel aus den 4 verfügbaren Analysen-Ergebnissen beträgt $-2,55\text{‰}$ (St.-Abw.: 0,52).

Dieses Verhältnis würde nach KEITH & WEBER (1964) schon nicht mehr ausgesprochen marine Umweltsbedingungen bezeichnen.

Dem widersprechen indessen die Fossilfunde aus diesem Niveau. Erinnerung sei an das Vorkommen solitärer Korallen (*Calceola sandalina*), artikulater Brachiopoden (z. B. *Atrypa*),

¹⁾ Die Messungen erfolgten am Massenspektrometer vom Typ CH 4 der Firma ATLAS im Geologischen Institut durch U. MANZE.

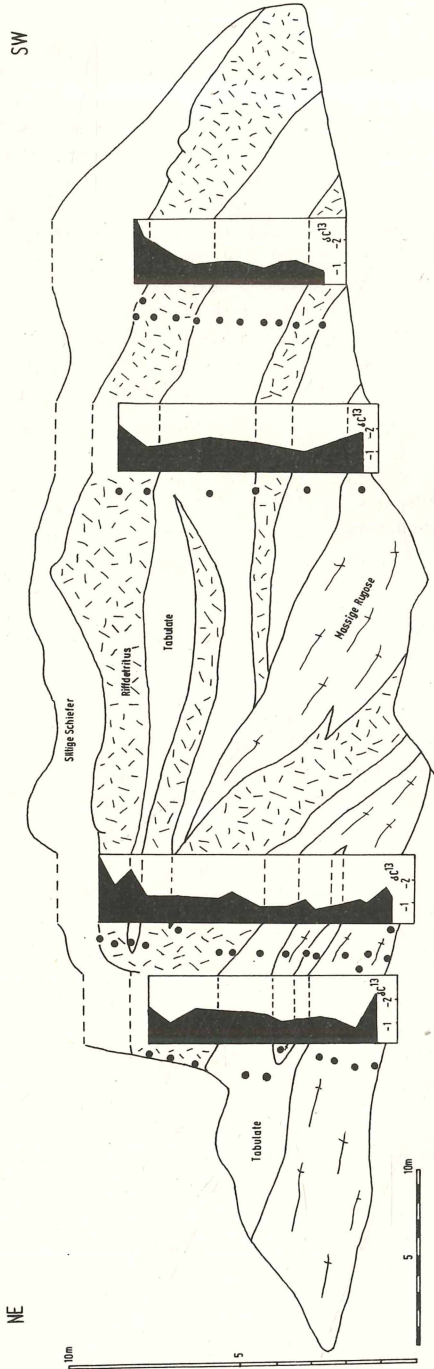


Abbildung 4. Gespreitztes Profil (wie Abb. 2) mit der Darstellung der gemessenen C¹²/C¹³-Verteilungen in 4 Vertikalprofilen.

Tentaculiten oder Krinoiden. Das unvermittelte Auftreten terrigener Sedimente (Siltige Schiefer), die Pflanzenhäcksel enthalten, erklärt die Verschiebung der Isotopen-Verhältnisse in den negativen Bereich.

Da man wegen der fossilen marinen Fauna keine Verbrackungen im Ablagerungsraum annehmen kann, muß man mit fraktionierten (Gefäßpflanzen!) Kohlenstoffbeimengungen rechnen. Es zeigt sich hier, wie wichtig es ist, faunistische, sedimentologische und isotope physikalische Befunde synoptisch auszuwerten. Beachtlich ist dabei, daß sich bedeutende Veränderungen der Sedimentations-Verhältnisse, wie der Übergang von der Riff- in die klastisch terrigene Gesteinsfazies, isotope physikalisch vorankündigen.

Gleichgültig, wie man sie paläo-ökologisch interpretiert, sind die winzigen Tentaculiten bezeichnende Faunenelemente der herzynischen Magna-Fazies. Offenbar wurden die Gehäuse weit verdriftet, so daß sie auch in die Domänen der rheinischen Magna-Fazies gerieten. Sowohl Selscheider als auch Odershäuser Schichten enthalten bei Lantenbach in einigen Lagen Tentaculiten-Massierungen, doch kann man deshalb weder petrographisch noch paläogeographisch mit der dunklen, einförmigen Tentaculiten-Fazies anderer Ablagerungsräume vergleichen. Das verdeutlichen auch die vergleichsweise herangezogenen Isotopenwerte von Tentaculiten-Gesteinen aus anderen Gebieten in nachfolgender Gegenüberstellung:

a) Siltige Schiefer

Fossilinhalt:	Fundort:	Fundschrift:	$\delta-C^{13}$	$\delta-O^{18}$
<i>Nowakia sulcata</i> ; <i>Styliolina laevis</i> ; Brachiopoden; Bryozoen; Krinoiden; Pflanzenhäcksel.	Lantenbach, Berg.-Land	Givet; Odershäuser Sch.	-2,55	-7,88

b) Schwarzer, mergeliger Kalkstein

Fossilinhalt:	Fundort:	Fundschrift:	$\delta-C^{13}$	$\delta-O^{18}$
<i>Homoctenus tenuicinctus</i> ; Brachiopoden; viele Goniatiten.	Greuel, Berg.-Gladbach	Frasne (to I) Hombacher Schichten	-1,0	-7,15

c) Schwarzer Mergelschiefer

Fossilinhalt:	Fundort:	Fundschrift:	$\delta-C^{13}$	$\delta-O^{18}$
<i>Styliolina laevis</i> ; vereinzelt Goniatiten.	Oberrödinghausen, Hönnetal	Frasne (to I)	-0,81	-7,66

d) Dunkelgrauer Kalkstein

Fossilinhalt:	Fundort:	Fundschrift:	$\delta-C^{13}$	$\delta-O^{18}$
<i>Nowakia zlichovensis</i> , <i>N. praecursor</i> ; <i>Viriatellina pseudogeinitziana</i> , <i>V. hercynica</i> ; <i>Styliolina</i> sp.	Zlichov, Prag	Ems; Zlichov-Kalke	-0,81	-5,98

Tabelle 3

Aus Tab. 3 geht hervor, daß mit der Artenabnahme im Benthos und der Zunahme des Karbonatanteils die $\delta-C^{13}$ -Werte näher an den PDB-Standard heranrücken. In dieser Tendenz kommt also eine abnehmende Kontinental-Beeinflussung der Sedimentation und eine zunehmende ozeanische Prägung zum Ausdruck.

Weil das Bioherm eine durch rhythmischen Zuwuchs der Riffbildner bedingte biologische Schichtung hat und sich so ursprüngliche Riffoberflächen widerspiegeln, wurde untersucht, ob die in den Vertikal-Profilen festgestellten Schwankungen der Isotopenverhältnisse in der Horizontalen nicht vorkommen. Wenn in den C^{12}/C^{13} -Verhältnissen ehemalige Sedimentationsmilieus dokumentiert sind, dann sollten nämlich Gesteine aus gleichalten und gleicharti-

gen Ökozonen sich entsprechende $\delta\text{-C}^{13}$ -Werte ergeben. Aus acht Gesteinsproben, die einem „Hexagonaria-Polster“ (10 m lang) entnommen wurden, wurde als Mittelwert für $\delta\text{-C}^{13} = -1,08\text{‰}$ bestimmt. Er entspricht praktisch dem Mittel aller Hexagonaria-Messungen. Der Unterschied von $0,03\text{‰}$ liegt weit unter der Fehlergrenze. Die Verlässlichkeit der Meßergebnisse der aus dem „Hexagonaria-Polster“ entnommenen Proben wird von der sehr geringen Standard-Abweichung ($0,08$) unterstrichen.

Vergleichsweise ist auch eine *Hexagonaria philomena* GLINSKI aus den etwas jüngeren Grevensteiner Schichten (M.-Givet) von Linde bei Lindlar (Steinbruch PACK) auf ihre Isotopenverhältnisse untersucht worden. Zwei übereinanderliegende Proben aus dem kopfgroßen Stock hatten $\delta\text{-C}^{13}$ -Werte von $-0,48$ (unten) und $-0,26$ (oben).

Es handelt sich bei dem Korallum um einen Gerüstkalk folgender Zusammensetzung:

	obere Probe	untere Probe
SiO ₂	0,79	0,78
Al ₂ O ₃	0,25	0,22
Fe ₂ O ₃	0,62	0,78
CaO	54,32	54,08
MgO	0,52	0,64

Die Analysen weisen einen erheblich reineren Kalkstein als in Lantenbach aus.

Die Lindener Block-Korallen wuchsen auf einem mergeligen, brachiopodenreichen (Atrypiden, Cyrtospiriferiden, Stringocephalen) Substrat; sie sind selbst von einem Stromatoporen-Biostrom überwachsen worden. Die stärkere Annäherung an den PDB-Standard mag eine noch ausgeprägtere Marinität andeuten — wenngleich sich nicht ausschließen läßt, daß physiologische Artmerkmale mit hineinspielen.

Bemerkenswert ist, daß die reineren Kalksteine im Bilsteiner Biostrom relativ „leichter“ sind; denn aus den etwa 60 von dort untersuchten Proben errechnete sich ein Mittelwert von $\delta\text{-C}^{13} = -1,6\text{‰}$. Unterschiede ergaben sich dabei zwischen Tabulaten und Stromatoporen. Erstere waren im Mittel etwas „leichter“ ($\delta\text{-C}^{13} = -1,95\text{‰}$) als letztere ($\delta\text{-C}^{13} = -1,66\text{‰}$). Auch hier führen wir die zum Lantenbacher Bioherm bestehenden Unterschiede nicht so sehr auf Salinitäts- oder Temperaturwechsel zurück, sondern auf die in stärkerem Maße beigemengte, biologisch fraktionierte (Gefäßpflanzen!) Kohlensäure. Dies kommt bei einer Gegenüberstellung vergleichbarer Gruppen zum Ausdruck. Die Tabulaten von Lantenbach haben einen $\delta\text{-C}^{13}$ -Wert, der um 1‰ höher liegt, als der entsprechende von Bilstein.

Sauerstoff-Isotope

Die O-Isotope streuen in viel höherem Maße als die vom Kohlenstoff. Das liegt an der leichteren Beweglichkeit des Sauerstoffs, wobei es bekanntlich schon bei Umkristallisationen (Aragonit-Kalzit) oder bei der Einwirkung meteorischer Wässer zu erheblichen Verschiebungen kommen kann. Man erkennt auf 4 Profildarstellungen (Abb. 5) keinen bestimmten Gang der Verteilungen. Es ist auch nicht zu ersehen, ob beispielsweise in den detritischen Kalken mehr O¹⁶ enthalten ist, als in der astraten Biofazies. Wegen solcher Unstetigkeiten ist oft überhaupt auf die Analyse von O¹⁶ und O¹⁸ in derartig alten Schichten verzichtet worden — nicht zuletzt, weil die übliche Umrechnung auf Paläotemperaturen unglauwbwürdige Extremwerte liefern würde. Es spielen bekanntlich bei der Isotopen-Zusammensetzung außer den Wassertemperaturen andere Faktoren (Diagenese, Umkristallisation, Verwitterung u. a.) eine große Rolle. (JUX & MANZE, 1976).

Der Mittelwert aller aus dem Lantenbacher Kalksteinzug gemessenen Proben (48) für $\delta\text{-O}^{18}$ beträgt $-8,75\text{‰}$. Erwartungsgemäß ist die Standardabweichung mit $1,46$ recht hoch. Dennoch entspricht das Ergebnis in etwa dem Mittel ($-8,30\text{‰}$) von 5 Givet-Kalksteinen aus Belgien (KEITH & WEBER, 1964, S. 1805; T 58—99 u. f.).

Auf die einzelnen Riffzonen bezogen, stellen sich die Sauerstoffdaten folgendermaßen dar:

	$\delta\text{-O}^{18}$ -Mittelwert	Standard-Abweichung	Anzahl der Proben
Riffdetritus	$-8,74\text{‰}$	1,44	14
Tabulate	$-8,06\text{‰}$	1,70	13
Massige Rugose	$-9,56\text{‰}$	0,76	16

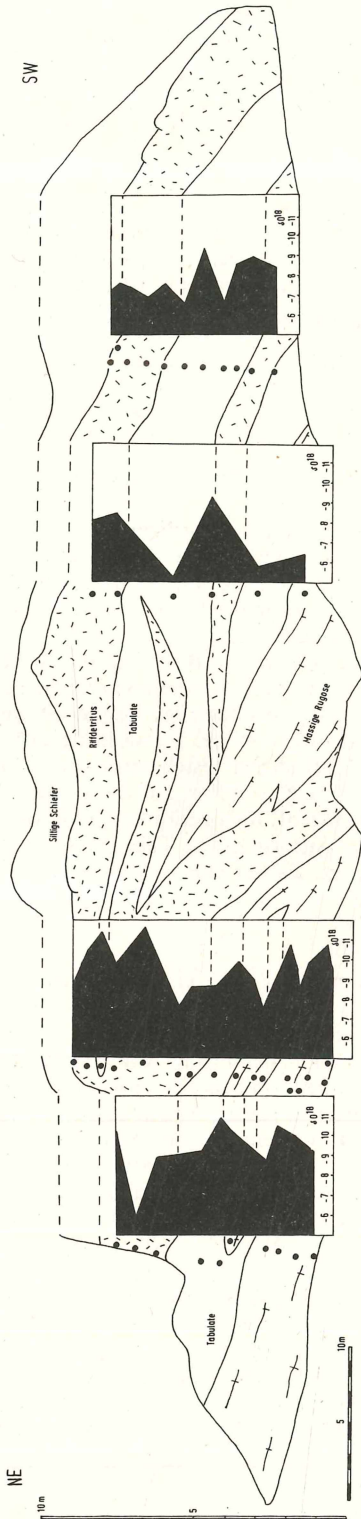


Abbildung 5. Gespreiztes Profil (wie Abb. 2) mit der Darstellung der gemessenen O¹⁶/O¹⁸-Verteilungen in 4 Vertikalprofilen.

Die $\delta\text{-O}^{18}$ -Mittelwerte für Riffdetritus und die Tabulaten-Biofazies entsprechen sich weitgehend. Beachtliche Unterschiede bestehen dagegen zu den aus der Zone der massigen Rugosen gewonnenen Werten. Daß diese indessen verläßlich sind, belegt die relativ geringe Standardabweichung. Trotzdem wurden durch zusätzliche Messungen in der flächigen Ausdehnung eines *Hexagonaria*-Polsters diese Angaben überprüft.

Die schon zuvor bei der C^{13} -Verteilung diskutierten 8 Gesteinsproben (Entnahmepunkte über etwa 10 m) ergaben auch diesmal einheitliche Zusammensetzungen. Als Mittelwert errechnete sich $-9,46\text{‰}$ bei einer Standardabweichung von 0,49.

Somit bestehen tatsächlich signifikante Unterschiede in den Isotopen-Zusammensetzungen einerseits zwischen der Biofazies massiger Rugosen oder Tabulaten und andererseits dem Riffdetritus. Allerdings ist damit nicht klar, ob die Verschiedenheit auf primäre Temperaturunterschiede, biologische Fraktionierungen oder sekundäre Austausch zurückgeht. Innerhalb der Gattung schwanken jedenfalls die Isotopen-Zusammensetzungen. An der schon erwähnten *Hexagonaria philomena* aus dem Givet von Linde wurden $\delta\text{-O}^{18}$ -Werte mit $-8,33\text{‰}$ bei zwei Proben festgestellt. Dieser Wert weicht um $1,13\text{‰}$ vom Mittelwert der Lantenbacher *Hexagonaria*-Proben ab.

Alle unsere gemittelten Messungen der Sauerstoff-Isotope fallen in die Rubrik, in die KEITH & WEBER (1964 Fig. 3) sog. mitteldevonische Süßwasser-Kalksteine untergebracht hatten. Vergleicht man genau mit dem Untersuchungsmaterial bzw. den dazu aufgelisteten Meßdaten der beiden Autoren (z. B. Belgische Givet-Kalke oder Greifensteiner Kalk), so ergibt sich, daß darunter die eindeutig marinen Gesteine mehr O^{16} enthalten als die sog. Süßwasser-Karbonate.

Die Verschiebung zu „schweren“ Karbonaten im Hangenden des Bioherms ist bemerkenswert. Die unreinen Kalksteine an der Basis der siltigen Schiefer liefern $\delta\text{-O}^{18}$ -Werte von $-7,88\text{‰}$ (Tab. 3).

Interessanterweise werden somit im Profil die Isotopen-Zusammensetzungen beim Sauerstoff nach oben „schwerer“, beim Kohlenstoff „leichter“. Der Sauerstoff-Wert aus den Siltigen Schiefeln entspricht durchaus nach KEITH & WEBER (1964, Fig. 3) marinen Mitteldevon-Kalksteinen. Vergleichs-Messungen an Tentaculiten-führenden Gesteinen aus anderen Gebieten entsprechen weitgehend diesem Befund. Die Frasn-Schiefer bzw. mergeligen Kalksteine aus dem Bergischen Land und dem Sauerland wurden mit $\delta\text{-O}^{18}$ von $-7,15\text{‰}$ und $-7,66\text{‰}$ gemessen. Am „schwersten“ sind die herzynischen Zlichov-Kalke mit $\delta\text{-O}^{18}$ von $-5,98\text{‰}$.

Temperaturbestimmungen

Bekanntlich wird O^{16} und O^{18} in unterschiedlichen Mengenverhältnissen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur den Karbonaten eingebaut. Wenn man für devonische Proben die EPSTEIN'sche oder CRAIG'sche Temperaturberechnung vornimmt, erhält man viel zu hohe Werte (JUX & MANZE, 1976). Wie Tab. 4 ersichtlich macht, hätte danach das Lantenbacher Bioherm in 60° bis 70° C warmem Wasser gestanden.

	Temperatur in $^\circ\text{C}$ nach CRAIG (1965)	Temperatur in $^\circ\text{C}$ nach JUX & MANZE
Siltige Schiefer	58,7	20,7
Riffdetritus	63,5	24,6
Tabulate	59,2	21,5
Rugose und Tabulate	64,1	25,0
Massige Rugose	68,9	28,5
Gesamtbioherm	63,6	24,7

Tabelle 4.

Nun haben KEITH & WEBER (1964, Fig. 3) den Nachweis gebracht, daß sich die Sauerstoff-Isotopen-Zusammensetzungen in marinen Kalksteinen seit dem Kambrium allmählich zugunsten von O^{18} verschoben haben. Anders ausgedrückt: Der Sauerstoff in den Karbonaten ist seit dem Kambrium um annähernd 10‰ und seit dem Devon um annähernd 7‰ schwerer geworden. Aus diesem Grunde wurde von uns bei der Ermittlung der Wassertemperaturen zur Ablagerungszeit der Mühlenberg-Schichten (Eifel-Stufe) ein entsprechender Korrekturfaktor in die Temperaturgleichung eingebaut. Daraus ergaben sich für das Bilsteiner Biostrom

wahrscheinliche Paläotemperaturen von etwa 16 °C für Stromatoporen und 21 °C für Tabulate.

In die EPSTEIN'sche Gleichung, die von CRAIG (1965) geringfügig abgeändert wurde, muß daher die scheinbare, im Laufe der Erdgeschichte erfolgte Isotopen-Verschiebung als Korrekturfaktor eingebaut werden. Wir rechnen deshalb für unsere Meßergebnisse an mitteldevonischem Material nach dem Schema:

$$t^{\circ}\text{C} = 16,9 - 4,2 (\delta\text{-O}^{18} + 7) + 0,13 (\delta\text{-O}^{18} + 7)^2$$

Wahrscheinlich sind die Veränderungen der Isotopen-Verhältnisse beim Sauerstoff im Laufe der Erdgeschichte auf die Wechselbeziehungen zwischen verstärkter Photosynthese auf den Kontinenten und irdischem Sauerstoff-Verbrauch zurückzuführen. Von einem anderen Ansatz ausgehend haben nämlich HEINZINGER, SCHIDLowski & JUNGE (1974) festgestellt, daß der im Devon verfügbare freie Sauerstoff um 6,2‰ „leichter“ war als heute. Das entspricht in etwa auch der von uns gefundenen Korrekturgröße für das Mitteldevon.

7. Diskussion und Folgerungen

Bei den Riffbildnern, die das Lantenbacher Bioherm aufbauten, handelt es sich um Rugose und Tabulate. Ihre Wuchsanordnungen, sowie die Anlagerung von Riffdetritus machen es klar, daß sich der Riffkörper über den Meeresgrund erhob. Die höchsten Bereiche am lebenden Riff (= Riff-Kuppe) wurden von den Polstern der *Hexagonaria cacotrophia* mehr oder weniger dicht besetzt.

Der Höhenunterschied zur Sohlfläche des Riffталus dürfte bei ungefähr 10 m gelegen haben. Zweifelsohne hat der Wellengang die Riffoberflächen bearbeitet. Wenn aber auch einzelne *Hexagonaria*-Blöcke mit dem Riffdetritus verlagert wurden, so setzt sich dessen Hauptmasse doch aus Echinodermen-Resten und kleinstückig-zerbrochenen Tabulaten zusammen. Dabei ist nicht auszuschließen, daß außer Organoklasten auch Bioklasten anfielen. Jedenfalls erkennt man an den *Hexagonaria*-Bänken weder Abrasionsmarken noch Spuren eines supralitoral Karstes. Folglich hatten die überlieferten Riffoberflächen nicht über den Wasserspiegel herausgeragt. Vermutlich reichten die Hexagonarien nur bis an die Untergrenze der Turbulenzzone heran.

Das Ausbleiben der Stromatoporen, die in ihrem Siedlungsbereich meistens stärkere Wasserbewegungen nachweisen lassen, mag gleichfalls darauf hindeuten. Die chemischen Analysen weisen die Stromatoporen-Kalke überdies als besonders rein aus, während in den *Hexagonaria*-Korallen ansehnliche Tongehalte eingebaut sind. Daraus wird ersichtlich, daß am Lantenbacher Bioherm die Strömungen im allgemeinen nicht stark genug waren, um die Tontrübe abzuspielen. Das ist aber im Siedlungsraum von Stromatoporen in der Regel der Fall gewesen. Vielleicht waren also Stromatoporen gegen Ton-Niederschläge weniger tolerant als Korallen. Wir sehen darin einen Selektionsfaktor, der vermutlich wirksamer war als die Wasseragitation an sich.

Abbildung 8. Riffbildner und Bauefüge im Lantenbacher Kalksteinzug (U.-Givet). Meßstrecken jeweils 4 mm; Länge des Kugelschreibers 14 cm.

Fig. 1 *Hexagonaria cacotrophia* (GLINSKI, 1955)

a. Querschnitt durch die cerioide Kolonie.

b. Längsschnitt mit bezeichnenden konkaven oder gewellten Böden.

Fig. 2 Polsterartig verwachsene *Hexagonaria cacotrophia*. Die Fugen zwischen den Korallen sind mit Mergelschiefer und feinem Riffdetritus erfüllt.

Fig. 3 Ausschnitte aus der Tabulaten-Biozönose.

a. Dicke Tabulaten-Krusten und Geflechte ästiger Rugosen umschließen Riffdetritus.

b. Von *Alveolites* überwucherte Hexagonarien.

Fig. 4 *Alveolites crassus* LECOMPTE, 1939

a. Querschnitt durch ein Korallum.

b. Der Längsschnitt zeigt, daß die Kolonie von *Syringopora crispa* SCHLÜTER, 1889 überwuchert worden ist.

Fig. 5 *Thamnopora? vermicularis* (Mc Coy, 1850)



1a



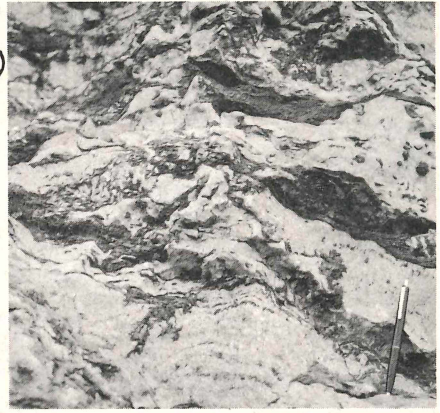
1b



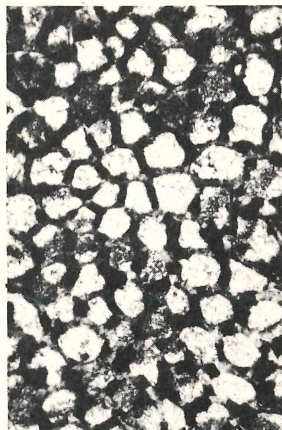
2



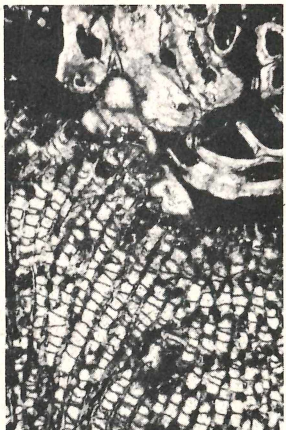
3a



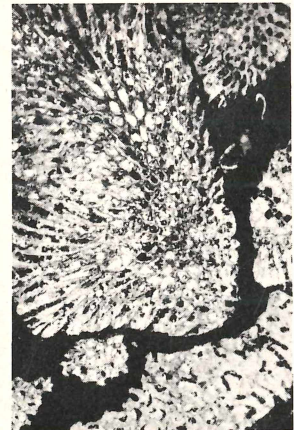
3b



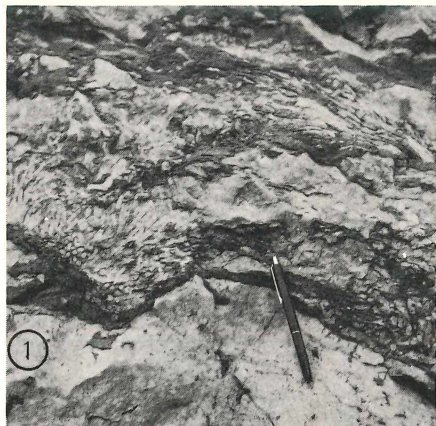
4a



4b



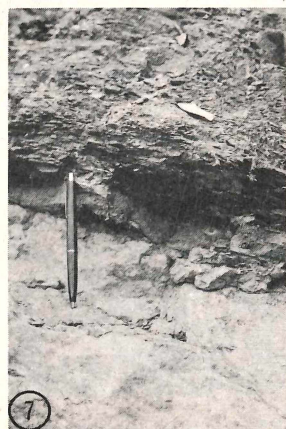
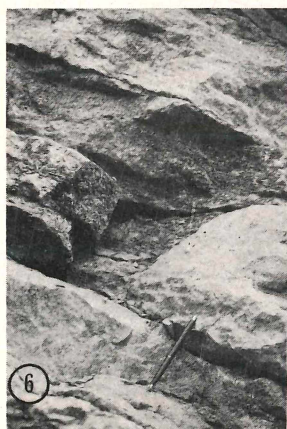
5



3

4

4mm



Indikation der Kohlenstoffisotope

Die siltigen Schiefer im Hangenden des Riffes könnten den Eindruck von Flachwasser-Ablagerungen des litoralen Bereichs erwecken; denn an ihrer Basis enthalten sie *Calceola*, Atrypiden, Fenestelliden und Krinoiden. Nach oben werden diese Fossilien spärlich; stattdessen sind die Schichtenflächen häufiger mit feinem Pflanzenhäcksel bedeckt.

Wegen derartig starker Beimengungen phytogener Komponenten liegen die Kohlenstoff-Isotopen-Verhältnisse auch weit im negativen Bereich. Trägt man die Mittelwerte der $\delta-C^{13}$ -Berechnungen für die einzelnen Biofazies so auf, wie sie im Vertikalprofil an der nordöstlichen Aufschlußseite übereinander folgen, dann ergibt sich eine graduelle Abnahme der C^{13} -Anteile (Abb. 6). Da aber — zumindest gegen Ende der biohermalen Entwicklungszeit — diese Fazies-Bereiche auch nebeneinander lagen, können die Werte auch in der Weise interpretiert werden, daß die vital-astrate Biofazies (Hexagonarien und Tabulate) wegen ihrer relativen Hochlage und günstigen Strömungsexposition ganz die Isotopen-Zusammensetzung normal-mariner Karbonate beibehielten, während im Riffdetritus — wegen des mitsedimentierten und zunehmenden terrigenen Anteils (Pelit und Silt) — bereits eine Verschiebung zum „leichteren“ Kohlenstoff eingeleitet ist. In den Siltigen Schiefen, in denen die vorherrschende Regional-Fazies überliefert ist, findet dieser Trend seinen Abschluß.

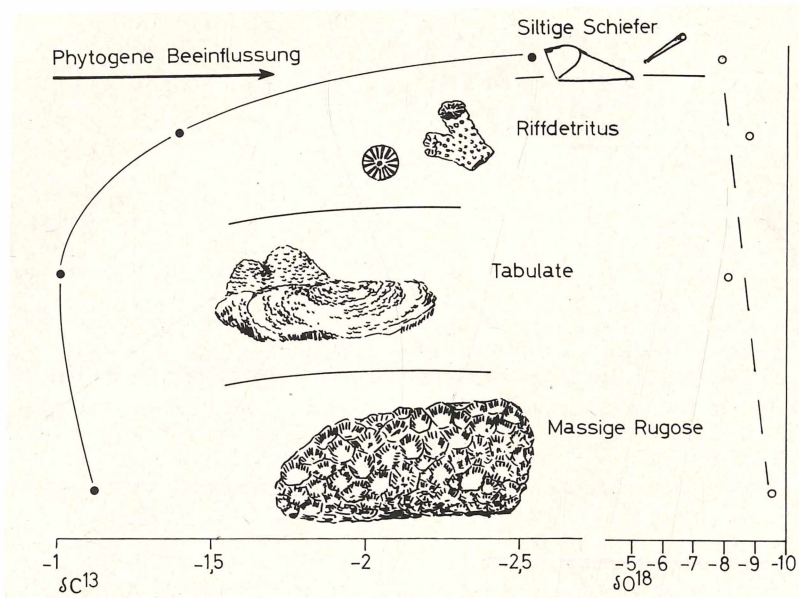


Abbildung 6. Mittelwertverteilungen von C^{12}/C^{13} und O^{16}/O^{18} in den aufeinanderfolgenden Ökozonen. Nach „oben“ nimmt $\delta-C^{13}$ ab und $\delta-O^{18}$ zu.

Abbildung 9 Riffbildner und Riffdetritus von den Flanken des Lantenbacher Bioherms (U.-Givet). Länge des Kugelschreibers 14 cm.

Fig. 1 Phaceloide Rugose innerhalb der Tabulaten-Zone.

Fig. 2 Umgestürzte *Hexagonaria*-Kolonie in der Tabulaten-Zönose der Riff-Flanke.

Fig. 3 Geschichteter Riffdetritus mit Bruchstücken von Tabulaten und Hexagonarien. Auf den Schichtfugen Mergelschiefer.

Fig. 4 Spätiger Kalkstein von der Riff-Flanke. Hauptbestand: Krinoiden und Tabulate.

Fig. 5 *Alveolites*-Krusten und *Thamnopora*-Rasen im Riffdetritus. Durch ihre Siedlungsweise festigen sie die Böschung am Riff.

Fig. 6 Oberkante des Riffdetritus (spätige Kalksteine) von der Südwest-Flanke des Lantenbacher Kalksteinzuges.

Fig. 7 Unterkante der „Siltigen Schiefer“ im Hangenden des Lantenbacher Kalksteinzuges. Die Grenze bildet eine unreine fossilreiche Kalksteinbank.

Weder die paläontologischen, noch die sedimentologischen Befunde stützen aber die Annahme, daß das Bioherm von Seichtwasser-Ablagerungen zugedeckt worden wäre. Die Benthos-Fossilien sind — wie gesagt — nur im unteren Abschnitt verhältnismäßig häufig zu finden. Vermutlich lebten sie noch eine Zeitlang auf dem abgestorbenen, schwach den Meeresboden überragenden und unter Schluff und Ton verschwundenen Riff. Es handelte sich insgesamt um vollmarine Artbestände. Die in den Schichten gleichfalls vorhandenen Tentaculiten und Dacryoconariden verraten wegen ihrer oft unregelmäßigen Einbettung stille, wenig durchströmte Sedimentationsräume.

Daß es sich wohl um Ablagerungen aus dem tieferen neritischen Bereich handelt, geht einerseits aus dem verarmten Benthos, andererseits den Sedimentärgefügen hervor. Nur zuweilen hat grundberührender Seegang die feinklastischen Gesteine erfaßt. Demnach könnte die Riffbiozönose abgestorben sein, weil die Sedimentationsflächen unter die von Koloniekorallen belebten Zonen abgesenkt worden sind (U.-Givet-Transgression).

Aus den biofaziellen Erörterungen wird verständlich, daß sich auf engem Raum, sozusagen nebeneinander, unterschiedliche isotopische Kohlenstoff-Verhältnisse in Karbonaten fixierten. Die Streuung geht von $\delta\text{-C}^{13} = -1,1\text{‰}$ bis $-2,6\text{‰}$; sie deckt sich damit weitgehend mit den Gruppierungen von $\delta\text{-C}^{13}$ -Werten ($+0,5\text{‰}$ bis $-3,2\text{‰}$), die aus den oberdevonischen Kalkknollen (Nehden-Stufe) des Bergischen Landes gewonnen wurden (JUX & MANZE 1974). Auch am Bilstener Riff-Komplex (Eifelstufe) wurden ähnliche Verteilungsbilder ($\delta\text{-C}^{13}$ von $-1,2\text{‰}$ bis $-3,4\text{‰}$) ermittelt (JUX & MANZE 1976).

Die abweichenden Isotopen-Zusammensetzungen in Karbonaten aus den Remscheider und Odenspieler Schichten (Ems- und Siegen-Stufe) erklären wir aus den besonderen paläogeographischen Gegebenheiten der Ablagerungsräume. Bei den Odenspieler Schichten ($\delta\text{-C}^{13}$ von $-12,2\text{‰}$ bis $-17,7\text{‰}$) handelt es sich um ziemlich landnah abgelagerte Gesteine, die viele Pflanzenfossilien aber nur wenige marine Versteinerungen aufweisen. Die Remscheider Schichten ($\delta\text{-C}^{13}$ von $-2,5\text{‰}$ bis $-5,7\text{‰}$) des südlichen Bergischen Landes sind nach ihrer Fauna (mehr Muscheln als Brachiopoden) und ihren Gesteinen (schlecht sortierte Klastika, Rotschiefer!) stark kontinental beeinflusste, marginal-marine Bildungen.

WELTE, KALKREUTH & HOEFS (1975) sehen die relative Zunahme von C^{13} in Kerogenen als ein Alterskriterium an, da ja mit dem starken Aufkommen der Großpflanzen im Mitteldevon die Produktion photosynthetischer Stoffe eine erhebliche Steigerung erfahren habe. Hierbei ist aber zu bedenken, daß die Kerogene vermutlich aus unterschiedlichen Ablagerungsräumen stammen und — im Gegensatz zu den Karbonaten — aufgrund komplizierter biochemischer und geochemischer Prozesse entstanden sind. Schon bei der bakteriellen Zersetzung organischer Substanz kommt es zu Isotopenfraktionierungen. Bedeutsam sind in diesem Zusammenhang die unterschiedlich ablaufenden „Reifeprozesse“ sapropelitisch-mariner und terrestrischer Muttersubstanzen bei Methankohlenstoffen, auf die STAHL (1975, Abb. 2) hinwies. Mit zunehmender Inkohlung kommt es jedenfalls zu einer Anreicherung von C^{13} (STAHL, 1968, Tab. 4).

Für Spekulationen über systematische Veränderungen der Isotopen-Verhältnisse im Laufe der Erdgeschichte erscheinen uns synd sedimentär fixierte Karbonate besser geeignet zu sein.

Beurteilung der Paläotemperaturen

Die Temperaturbestimmungen aus Sauerstoff-Isotopen-Verhältnissen streuen — auch bei der Einführung der Korrektur (für Mitteldevon: $+7\text{‰}$) — über ein relativ weites Feld ($20,7^\circ$ bis $28,5^\circ\text{C}$). Selbst am untersuchten Riff machen die Unterschiede zwischen den drei Biofazies-Bereichen 7°C aus. Leider fehlen für nähere Beleuchtungen dieses Sachverhaltes Vergleichsuntersuchungen an rezenten Riffen.

Betrachten wir zunächst die paläogeographische Lage des Ablagerungsraumes. Die mitteldevonischen Riffgürtel sind seit eh und je als verlässliche Zeugnisse tropisch-warmer Flachmeere verstanden worden. Nach den heute gängigen Rekonstruktionen des Devon-Globus bildeten sich die Korallen-Stromatoporen-Kalksteine des Rheinischen Schiefergebirges am Nordrand der mitteleuropäischen Geosynklinale. Dort lag der Devon-Äquator (JUX, 1975, Abb. 3). Die heutigen ozeanischen Oberflächenwässer der tropischen Zone (20°N und 20°S) haben ganzjährige Temperaturen zwischen 25°C und 28°C . Besonders warmtemperierte Wasserbereiche ($27\text{—}28^\circ\text{C}$) nahmen einen bis 2500 km breiten, wenig unterbrochenen Gürtel ein. Aktualistisch betrachtet, würden somit die zunächst hoch erscheinenden Paläo-

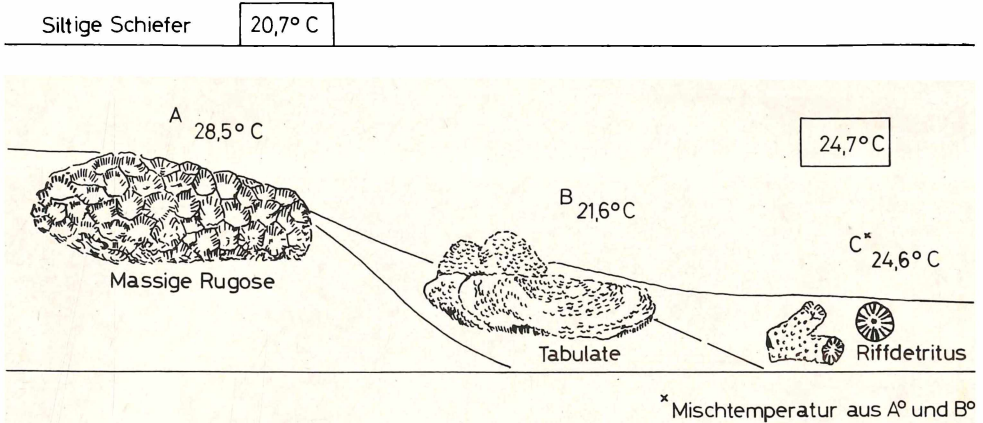


Abbildung 7. Relief-Positionen der biohermalen Ökozonen mit den ermittelten Paläotemperaturen des grundnahen Wassers.

Temperaturen am Lantenbacher Riff ausgezeichnet mit den paläogeographischen und paläoklimatologischen Erkenntnissen übereinstimmen.

Wie sind dann aber die Temperatur-Unterschiede am Bioherm selbst zu erklären? Dazu wird erneut auf das Paläo-Relief verwiesen (Abb. 7), in dem Hexagonarien erhöhte Riff-Partien besetzt hielten. Sie lebten somit näher zur Wasseroberfläche als die Tabulaten. Bathymetrisch machte das zwar nur wenige Meter aus, doch dürfte bei meist nur mäßig bewegtem Wasser die Temperaturkurve schon einige Meter unterhalb der Wasseroberfläche steil abgefallen sein. Der mögliche Auftrieb kühler Wassermassen würde diesen Effekt verstärkt haben. 21—22° C Wassertemperatur im Siedlungsbereich der Tabulaten erscheinen uns daher glaubwürdig.

Interessanterweise ergibt sich für den Riffdetritus eine Paläo-Temperatur von 24,6° C. Der scheinbare Widerspruch erklärt sich zwanglos daraus, daß der Talus Akkumulations-Zentrum, nicht aber Bildungsfläche der Karbonate war. Der Detritus setzt sich sowohl aus Komponenten der vital-astraten Biofazies als auch der verankerten Krinoiden zusammen. Das Mittel der für die verschiedenen Bio-Faziesbereiche errechneten Paläotemperaturen (A = 28,5° C, B = 21,6° C) ergibt 25° C. Dieser Wert entspricht weitgehend jenem aus dem Riffdetritus (C = 24,6° C).

Die Temperaturbestimmungen aus den Karbonaten der Siltigen Schiefer bezeichnen mit 20,7° C ein kühleres Wasser, was die sedimentologischen und paläontologischen Befunde stützt. Das Riff ist also nicht — wie etwa das Bilsteiner Biostrom — im Flachwasserbereich bei erhöhter klastischer Sedimentzufuhr abgestorben, sondern sprichwörtlich ertrunken. Wahrscheinlich war der biohermale, für das rheinische Mitteldevon ungewöhnliche Höhenwuchs der Riffbildner ein Vorankünder einer zögernd einsetzenden Unter-Givet Transgression. Die Siltigen Schiefer sind neritische Äquivalente der bathyalen herzynischen Magna-Fazies.

Man würde allerdings bei den Siltigen Schiefen im Vergleich zu den Riff-Kalksteinen noch niedrigere Temperaturen erwarten. Der Unterschied zum Biofazies-Bereich der Tabulaten beträgt ja nur 1° C. Dabei ist aber in Rechnung zu stellen, daß unsere Daten von der kalkig-mergeligen Basis der Siltigen Schiefer stammen und weiter oben nicht genügend Karbonat für Meßzwecke zu gewinnen war.

Um diesen Gesichtspunkt zu überprüfen, sind Temperaturbestimmungen an dem schon erwähnten Probenmaterial mit Tentaaculiten und Dacryoconariden gemacht worden. Folgende Werte wurden gefunden:

Hombacher Schichten	(Tab. 3, b)	= 17,5° C
Oberrödinghausener Mergelschiefer	(Tab. 3, c)	= 19,7° C
Zlichov-Kalke	(Tab. 3, d)	= 12,75° C

Erwartungsgemäß liegen die Paläotemperaturen für die Styliolinen-Schiefer aus dem Hönnetal (Tab. 3, c) am höchsten. Die Gesteinsprobe stammt aus dem untersten Schiefer-

packen, der dem „Eskesberger“-Riffkalk (Steinbruch Emil) aufliegt. Sie hat also im Paläo-Profil eine vergleichbare Position gehabt wie die Proben aus den Siltigen Schiefnern von Lantenbach. Auch der relativ niedrige, aus dem Zlichov-Kalk gewonnene Temperatur-Wert, bedarf der Interpretation. Unterschiedlich zu den Riff-Gesteinen wird nämlich nicht die Temperatur des bodennahen Wassers damit widerspiegelt, sondern vor allem die Bereiche, in denen die gesteinsbildenden Tentaculiten und Dacryoconariden als pelagische Organismen tatsächlich lebten.

Aus den Tabulaten-Korallien vom Bilsteiner Biostrom können jetzt auch entsprechend korrigierte Temperaturwerte vorgelegt werden. Es ergibt sich mit 21,7 °C dabei eine erstaunliche Übereinstimmung mit den Lantenbacher Befunden. Zwar scheinen die in den Stromatoporen-Zönosteen fixierten Paläotemperaturen mit 16,2 °C etwas zu niedrig zu liegen, doch muß hier die Profil-Entwicklung des Bilsteiner Aufschlusses im Auge behalten werden. Die Stromatoporen nehmen nämlich dort nur den zentralen Bereich des Biostroms ein. Darüber und darunter gibt es reichlich Tabulaten. — Daraus könnte der Schluß gezogen werden, daß die Stromatoporen — im Gegensatz zu den Tabulaten — kühleres, bzw. etwas tieferes, allerdings immer klares und stark bewegtes Wasser bevorzugten. Diese Ansicht müßte indessen durch weitere Vergleichsuntersuchungen (z. B. an Givet/Frasne-Massenkalken) bestätigt werden.

Literatur

- BREDDIN, H. (1966): Der Schuppenbau der mitteldevonischen Gesteinsfolgen von Lindlar bei Köln (Rheinisches Schiefergebirge). — *Geol. Mitt. (Aachen)*, 7, 44 S.
- CRAIG, H. (1965): The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. — *Proc. Spoleto Conf. Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. — 3. (Vortrags-Kurzfassung).
- FUCHS, A. & SCHMIDT, W. E. (1928): Bl. u. Erläuterungen „Gummersbach“ (2847). — *Geol. Karte v. Preuß. (Berlin)*, 263, 55 S.
- GLINSKI, A. (1955): Cerioide Columnariidae (Tetracoralla) aus dem Eiflium der Eifel und des Bergischen Landes. — *Senck. leth. (Frankfurt)* 36, 73—114.
- HEINZINGER, K., SCHIDLowski, M. & JUNGE, C. (1974): Isotopic composition of atmospheric oxygen during the geological past. — *Z. Naturforsch. (Wiesbaden)* 29a, 964—965.
- IVEN, C. (1975): Diplomkartierung auf der deutschen Grundkarte 1:5000, Blatt Herweg und einigen angrenzenden Gebieten. — *Geol. Inst. Köln*, 34 S., (unveröff.).
- JUX, U. (1960): Die devonischen Riffe im Rheinischen Schiefergebirge. I. u. II. — *N. Jb. Geol. Pal. (Stuttgart)*, Abh. 110, 185—258 und 259—391.
- (1975): Phytoplankton aus dem mittleren Oberdevon (Nehden-Stufe) des südwestlichen Bergischen Landes (Rheinisches Schiefergebirge). — *Palaeontogr. (Stuttgart)* 149, Abt. B, 113—138.
- JUX, U. & MANZE, U. (1974): Milieu-Indikationen im Devon des Bergischen Landes mittels Kohlenstoff-Isotopen. — *N. Jb. Geol. Pal. Mh. (Stuttgart)* H. 6, 353—363.
- & — (1976): Milieu-Indikationen aus einem mitteldevonischen biostromalen Riff des Bergischen Landes mittels Kohlenstoff-Isotopen. — *Decheniana (Bonn)* 129, 245—262.
- KEITH, M. L. & WEBER, J. N. (1964): Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils. — *Geochim. et Cosmochim. Acta (London)*, 28, 1787—1816.
- LECOMPTÉ, M. (1939): Les Tabulés du Dévonien Moyen et Supérieur du bord sud du Bassin de Dinant. — *Mém. Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique (Bruxelles)* 90, 213 S.
- SCHÄFER, W. (1963): Biozönose und Biofazies im marinen Bereich. — Aufsätze u. Reden, *Senckenb. naturf. Ges. (Frankfurt)* 11, 36 S.
- SCHMIDT, H. & TRUNKO, L. (1965): Die Basis des Givet im Bereich der Lenneschiefer. — *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld)* 9, 807—876.
- SPRIESTERSBACH, J. (1942): Lenneschiefer (Stratigraphie, Fazies, Fauna). — *Abh. Reichsamt Bodenforsch., N. F. (Berlin)* 203, 219 S.
- STAHL, W. J. (1968): Zur Herkunft nordwestdeutscher Erdgase. — *Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie (Hamburg)* 21, 514—518.
- (1975): Economically important applications of carbon isotope data of naturel gases and crude oil, in: *Nuclear techniques in geochemistry and geophysics (Vienna)*, 213—222.
- THIENHAUS, R. (1940): Die Faziesverhältnisse im Südwestteil der Attendorner Mulde und ihre Bedeutung für die Stratigraphie des bergisch-sauerländischen Mitteldevons. — *Abh. Reichsst. Bodenforsch. (Berlin)*, N. F. 199, 77 S.
- WELTE, D. H., KALKREUTH, W. & HOEFS, J. (1975): Age-trend in carbon isotopic composition in paleozoic sediments. — *Naturwissenschaften (Berlin)* 62, 482—483.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. Ulrich Jux, Dr. Ulrich Manze, Geologisches Institut der Universität zu Köln, Zülpicher Straße 49, D-5000 Köln 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [131](#)

Autor(en)/Author(s): Jux Ulrich, Manze Ulrich

Artikel/Article: [Milieu-Indikationen aus einem mitteldevonischen biohermalen Riff des Bergischen Landes mittels C- und O-Isotopen 300-324](#)