

Genese Riff-naher Detritus-Kalke bei Balve im Rheinischen Schiefergebirge (Garbecker Kalk)

VON F. WOLFGANG EDER, Göttingen *)

Mit 6 Abbildungen

Inhalt

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung, Geologische Situation
2. Charakterisierung des „Garbecker Kalkes“
 - 2.1. Beschreibung der Zonen
 - 2.2. Rekonstruktion des Ablagerungsraumes
 - 2.3. Der Schüttungskörper
 - 2.4. Chemische Untersuchungen
 - 2.4.1. Karbonat-Verteilung im Garbecker Kalk
 - 2.4.2. Strontium-Verteilung
3. Genese des Garbecker Kalkes
 - 3.1. Genese der Schiefer (Zone A) und der Basisschicht (Zone B)
 - 3.2. Genese der oberen Kalkschicht (Zone D)
4. Allgemeine Folgerungen

Literatur

Zusammenfassung

Riff-nahe, mitteldevonische Detrituskalke am SE-Rand des Remscheid-Alternae-Sattels (Rheinisches Schiefergebirge) sind Ablagerungen des „off-reef“; die einem lokalen Stillwasser-Becken zwischen „fore-reef“ und Cephalopodenkalk-Schwellen zugeordnet werden. Turbidite relativ kleinen Ausmaßes gelangen in die autochthone Mergelkalk-Sedimentation dieses Beckens und bewirken eine Veränderung des physikalisch-chemischen sowie biologischen Haushalts.

Die für die beschriebene Kalk-Folge charakteristische Differenzierung in 4 Zonen (Kalk-reicher, mikritischer Schiefer (A), mikritische Basis-Kalkschicht (B), mikro-sparitische, ruditische Detritus-Kalkschicht (C) und obere mikritische Kalkschicht (D) wird als Folge dieser Beeinflussung gedeutet.

Die nur eine kümmerliche benthonische Fauna führenden Zonen A und B entsprechen Kalk-Lösungs- und Kalk-Fällungs-Niveaus, die durch eine plötzliche, turbiditische Detritusschüttung (Zone C) fixiert wurden; Boden-Lösungen sind dadurch am weiteren Aufstieg gehindert. Die Zone D ist durch reiches Benthos und eine erhöhte Kalk-Produktion charakterisiert, die als Folgewirkungen einer durch die Detrituseinschüttung verursachten Verbesserung der bionomischen Bedingungen erklärt werden.

*) Autoren-Anschrift: Dipl.-Geol. F. WOLFGANG EDER, 34 Göttingen, Geol.-Paläont. Institut, Berliner Straße 28.

Geochemische Untersuchungen sowie Rekonstruktionen der Strömungsrichtungen vervollständigen die fazieskundliche und sedimentologische Bearbeitung.

Summary

Certain detrital limestones of late Middle Devonian age at the south-east border of the Remscheid-Altenaer anticline (Rheinisches Schiefergebirge) are regarded as off-reef deposits of a local basin between a fore-reef platform and a zone of cephalopode limestones.

Detritus consisting of the debris of shallow-water reef-dwellers was shed episodically into this small basin. The allochthonous sediment was superimposed on an autochthonous carbonaceous sedimentation by small scale turbidity currents which influenced the physico-chemical and ecological conditions.

The turbidity current caused a differentiation of the sediment which resulted in 4 zones: micritic shale, rich in carbonate (A), basal micritic limestone (B), coarse grained, graded limestone (C), and upper micritic limestone relatively rich in autochthonous benthonic fauna (D). The zonation characterizes the limestone sequence here described as "Garbecker Kalk". The zones A and B are interpreted as modified by solution and reprecipitation of carbonate induced by the rapid deposition of the detrital material. The resulting shale of zone A seems to be produced by lowering of the pH during the diagenesis. The basal limestone bed (B) may be the place where the carbonate was reprecipitated at a higher pH value and where the migration of the pore solutions were stopped by the newly formed graded layer of detritus (C). Furthermore, the turbidity current gave rise to increased precipitation of carbonate and the development of a rich benthonic fauna, both of which are typical for the upper limestone bed (D).

Geochemical and paleocurrent data are cited in favour of the genetic interpretation.

1. Einleitung, Geologische Situation

Die folgende Arbeit ist ein weiterer Beitrag zur Kenntnis jener Karbonat-Sedimente und ihrer Sedimentologie, die sich zwischen einem Schelfrand, speziell einem Riff, und einem Becken abgelagert haben. Besonders der von MEISCHNER (1964, S. 173) angedeuteten Verzahnung allochthoner, allodapischer Kalke mit „mehr oder weniger autochthonen detritischen Kalken und Riffschutt in Richtung auf das Liefergebiet“ soll nachgegangen werden.

In der vorliegenden Veröffentlichung werden Teilergebnisse von Gelände- und Laborarbeiten referiert, die von 1967 bis 1969 vorgenommen wurden. Die Anregung zu dieser Bearbeitung ging von Prof. D. MEISCHNER aus. Der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft danke ich für eine Förderung der Untersuchungen durch eine Sachbeihilfe.

Im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge ist bei Balve der Übergang von einem Riff zu einem Becken in den ober-mitteldevonischen Massenkalken am SE-Rand des Remscheid-Altenaer-Sattels zu rekonstruieren (s. Abb. 1). Die paläogeographische Situation erkannte schon PAECKELMANN (1930, S. 591) und beschrieb den Fazieswechsel mit dem Hinweis, daß die „Schwelmer Massenkalke“ in

Richtung Süden „zunehmend durch Flinzschiefer und -Kalke sowie durch Cephalopodenkalke“ vertreten werden (1938, S. 12). Auch die weiteren Bearbeiter des Balver Gebietes teilen diese Vorstellung einer Schwelle, die über Plattenkalke allmählich in die Beckenfazies übergeht (JUX, 1960, S. 275/276; ZIEGLER, 1965, S. 535/536). In drei aufgelassenen Steinbrüchen des Hönnetals, die alle in das obere Givetium (*transversa* Zone, WITTEKINDT, 1965) zu stellen sind, läßt sich der Fazieswechsel von Riffschutt zu beckennahen Kalken erkennen: im Stein-

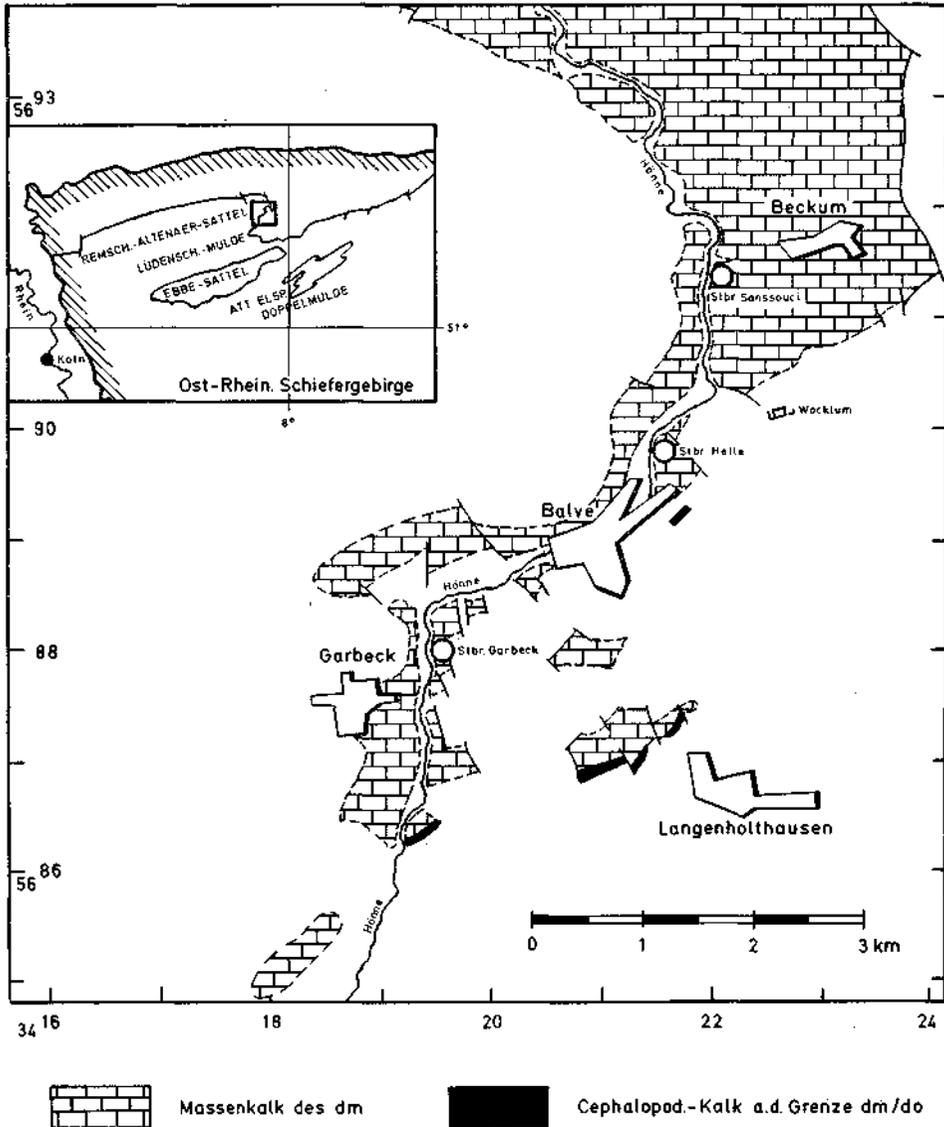


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes, geologische Situation.
 Location and geological situation of the investigated area.

bruch am Bahnhof Sanssouci; bei Helle, südöstlich der Balver Höhle und im östlich vom Bahnhof Garbeck gelegenen Aufschluß.

Die Bankfolge von Sanssouci (R 34 22 080; H 56 91 520, Bl. 4613, Balve) repräsentiert mit ca. 1 m mächtigen, brekziösen Calciruditbänken, aber auch dickbankigen Biostromen mit autochthonem Stromatoporen- und Korallen-Aufwuchs, die Sedimente einer vor der beckenwärtigen Riff-Front gelegenen Schuttplattform.

2 km weiter südlich ist bei der Balver Höhle, im aufgelassenen Steinbruch Helle (R 34 21 560; H 56 89 720, Bl. 4613, Balve) eine 35 m mächtige, gutgebankte Wechselfolge meist dm-starker Detrituskalke aufgeschlossen, in die — zum Hangenden hin deutlicher werden — blättrige, z. T. tuffitische schwarze Mergelkalk-Schiefer eingelagert sind. Im gesamten Profil werden diese mittel- bis dunkelgrauen, Pyrit-haltigen, bituminösen Plattenkalke von charakteristischen zwei- oder dreigeteilten Bänken gebildet. Den auffallendsten und meist auch mächtigsten Abschnitt einer solchen unterteilten Bank repräsentiert ein oft gradierter, ruditisch-arenitischer Detritus-Teil, der nach oben meist allmählich, z. T. abrupt, in einen lutitischen Mergelkalk mit autochthoner, benthonischer Fauna übergeht. Der Grob-Detritus wird oft von einer feinkörnigen, dunkelgrauen Mergelkalk-Schicht unterlagert. Diese zwei oder auch drei Einheiten bauen eine Bank auf, deren charakteristische Abfolge sowohl in der Vertikalen wie in der Horizontalen jeweils über den gesamten Aufschluß (ca. 150 m) zu verfolgen ist. Der ungefähr hundertfache Wechsel von Kalk und zwischengelagertem, dunklen Schiefer verleiht dem Ganzen den Charakter einer rhythmischen Ablagerung der „off-reef“-Region.

Im dritten Aufschluß, dem Steinbruch östlich Bahnhof Garbeck (R 34 19 520; H 56 88 280, Bl. 4613, Balve) ist ein ebenfalls 35 m mächtiger, detritischer Plattenkalk-Verband aufgeschlossen, der in seinen liegenden Partien dem von Helle sehr ähnelt. Der „off-reef“-Charakter ist hier infolge der etwas mächtigeren Schiefereinschaltungen noch klarer. Hervorzuheben sind auch in Garbeck charakteristisch zwei- oder meist dreigeteilte Bänke mit einem groben Detritus-führenden Mittelteil, der durch seine teilweise auffallend gute Gradierung und gleichbleibende Ausbildung auf Konvergenzen zu Turbiditen weist.

2. Charakterisierung des „Garbecker Kalkes“

Das überaus häufige und für die Wechsellagerung von Helle und Garbeck charakteristische Auftreten der kurz beschriebenen zwei- oder dreigeteilten Bänke erlaubt eine Abgrenzung dieser typischen Detritus-Kalke von undifferenzierten Fällungs-Kalken oder durch „slumping“ (i. w. S.) entstandenen Bänken.

Das hervorstechendste Merkmal einer einzelnen Bank ist im Idealfall die Differenzierung in drei Zonen: 1. eine feinkörnige, makroskopisch kaum Detritus führende Basisschicht eines Mergelkalkes oder Kalkes, 2. eine mittel- bis grobkörnigen, allochthonen Detritus enthaltende, gradierte Kalkschicht, die scharf oder allmählich 3. in eine wiederum feinkörnige Mergelkalkschicht übergeht, in der eine reiche autochthone Fauna zu finden ist. Ideal dreiteilig ausgebildete Bänke überlagern immer einen dunklen, feingeschichteten, mehrere cm

dicke, Kalk-reichen Schiefer; somit ergibt sich eine polare Abfolge von vier unterscheidbaren Zonen.

Insgesamt können diese charakteristischen Bänke sehr verschieden aussehen: ihre Gesamtmächtigkeit (10 bis 70 cm), aber auch die Ausbildung der einzelnen Einheiten, die Zusammensetzung und Korngröße ihres Detritus sowie ihre Gradierung oder Sortierung können variieren. Das gemeinsame Kennzeichen aber ist, daß eine Einzelbank — ähnlich den allodapischen Kalken (MEISCHNER, 1962) — über weitere Entfernungen nur mit geringen Veränderungen in Mächtigkeit und Zusammensetzung zu verfolgen ist.

Die hauptsächlich durch den arenitisch-ruditischen Mittelteil geprägten Bänke sind dem Gesteinsverband völlig konkordant eingelagert; keine greift durch eine ältere Schicht hindurch, obwohl Erosionsmarken vorhanden sind.

Durch das regelmäßige Auftreten dieser dreiteiligen Bänke sind die Kalke von Helle und Garbeck von anderen Plattenkalk-Vorkommen und allodapischen Kalken phänomenologisch, sedimentologisch und damit auch genetisch abzugrenzen. Unter dem Namen „Garbecker-Kalk“ soll daher eine Wechsellagerung von detritischen Plattenkalken mit Schiefen verstanden werden, die von — in ihrer Abfolge oben beschriebenen — typisch dreiteiligen Einzelbänken aufgebaut wird.

2.1. Beschreibung der Zonen

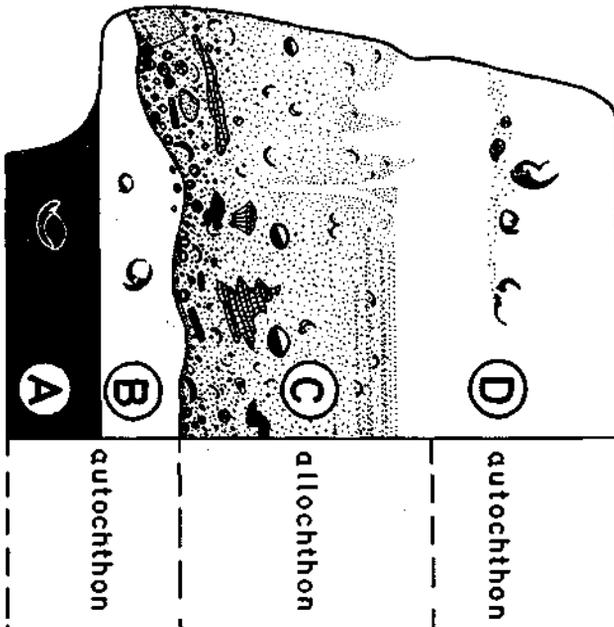
Neben der „petrofaziellen“ Unterscheidungsmöglichkeit der einzelnen Zonen bietet sich auch eine „biofazielle“. In Abb. 2 ist eine Idealabfolge des Garbecker Kalkes unter Berücksichtigung beider Gesichtspunkte dargestellt. Die Faunen-Verteilung ist mit der Bank-Zonierung korreliert, ein Wechsel von autochthoner und allochthoner Sedimentation wird durch diese Fauna kenntlich gemacht. Die vier Zonen werden mit A, B, C und D bezeichnet. Das Auftreten der wichtigsten Faunengruppe wurde durch Kreuze kenntlich gemacht, die der Häufigkeit der einzelnen Individuen allerdings nicht Rechnung tragen.

In den dunklen Mergelkalk-Schiefen der Zone A wie in der feinkörnigen Basisschicht B findet sich die gleiche, relativ kümmerliche Fauna. Kaum vorhandenes Benthos, fein-laminierte Schichtung — der Schiefer wie der Basisschicht — und die durch Pyrit und Bitumen (eine Analyse des organischen Kohlenstoffs ergab nur 0,5%) hervorgerufene dunkle Farbe deuten auf relativ lebensfeindliche, sauerstoffarme Böden „tieferen“ Wassers (SCHMIDT, 1935, S. 21).

Neben der faunistischen Übereinstimmung der Zonen A und B ist auch eine mineralogische feststellbar, denn abgesehen vom Karbonat-Gehalt besteht kein signifikanter Unterschied zwischen beiden. A und B bestehen überwiegend aus einem Pel-Mikrit, der durch plättchenartige Tonmineral-Aggregate („Illite“) flaserig laminiert wird; regellos verteilt findet sich arenitischer Biogen-Detritus.

Die Liegendgrenze des oft gradierten, grobkörnigen allochthonen Mittelteils C wird von einer meist scharfen Diskontinuität gebildet. Der markanteste, im Grunde einzig bedeutende Unterschied zur unterlagernden Basis ist das massenhafte Auftreten von ruditischen Detritus; die kalkigen Hartteile von Riff-Organismen finden sich als Bruchstücke oder intakte Exemplare in der gewohnten mikritischen oder mikrosparitischen Grundmasse, die teilweise von neugebildetem

Bank-Zonierung im GARBECKER KALK



		B e n t h o s			Plankton Nekton
			+		Echinodermen
			+	+	Stringocephalus burtini
+	+		+	+	Uncites gryphus
			+		Bornhardtina sp.
+	+		+	+	Atrypiden
			+		Cyrtiniden
			+		Orthiden
			+		Rhynchonelliden
			+		tabulate Korallen
+	+		+	+	rugose Korallen
			+		Stromatoporen
			+		Gastropoden
			+		Lamellibranchiaten
+	+		+	+	Foraminiferen
			+	+	Spurenfossilien
+	+		+	+	Styliolinen/Tentakuliten
+	+		+	+	Conodonten
+	+		+	+	Fischschuppen

Abb. 2. Idealabfolge einer Garbecker Kalkbank mit Faunen-Verteilung; variable Bank-Mächtigkeit (10 bis 70 cm).

Ideal zonation of a „Garbecker Kalk“-bed with the distribution of the fauna; the thickness varies from 10 to 70 cm.

Sparit verdrängt werden kann. Alle im Detritusteil C beobachteten sedimentologischen Merkmale lassen sich auf die Ablagerung eines Suspensionsstromes zurückführen (s. MEISCHNER, 1964).

In der idealen, polaren Zonenabfolge einer Garbecker Kalkbank vollzieht sich mit abnehmendem Detritusgehalt der Übergang in die obere, wiederum pelmikritische Mergelkalk-Schicht. In ihr findet sich wieder die gleiche Fauna wie in den Zonen A und B, allerdings ist die Häufigkeit mit der autochthones Benthos — neben der nektonischen und planktonischen Mikrofauna — auftritt, erheblich größer. Zusätzlich stellen sich in der Oberschicht D Spuren wühlender Organismen, Endichnia, ein, deren Grab- und Fraßbauten oft sogar noch den Detritusteil in Mitleidenschaft ziehen. In der Mergelkalk-Oberschicht muß also im Gegensatz zu den Zonen A und B eine bessere Versorgung mit Sauerstoff und mikroplanktonischer Nahrung gewährleistet gewesen sein.

2.2. Rekonstruktion des Ablagerungsraumes

Mit Hilfe von im Detritusteil zahlreich vorkommenden Brachiopoden-Wasserwaagen, die dachziegelartig gegen die Strömung verstellt sind (Imbrikation), ließ sich eine Rekonstruktion der jeweiligen Strömungsrichtung vornehmen. Bei einer Auswertung des über 180° breiten Transport-Spektrums läßt sich ein relativ lokales Becken zwischen einer „fore-reef“-Plattform und einer Cephalopodenkalk-Schwelle ermitteln, in das von Westen, Norden und Osten kleindimensionierte Turbidite geschürtet wurden (s. Abb. 3). Infolge der isolierten Situation (mangelnde Durchbewegung des Wassers, mangelnde Durchlüftung) stellten sich Stillwasser-ähnliche Bedingungen ein. Der Ablagerungsraum der Garbecker Kalke ist somit ein Beispiel für die „Relativität der bionomischen Tiefenzonen“ (SCHMIDT, 1935, S. 62 ff.).

2.3. Der Schüttungskörper

Auf Grund der an über 200 typischen Bänken in den Aufschlüssen Helle und Garbeck zu beobachtenden Variabilität in der Petrographie, dem Gefüge und der Faunenverteilung läßt sich nach dem Vorbild von MEISCHNER (1964, S. 163/164) das Modell eines Schüttungskörpers einer Garbecker Kalkbank rekonstruieren. Dieses ideale Schüttungsmodell muß allen beobachteten Merkmalen Rechnung tragen. Da sich keine der untersuchten Bänke über den Aufschlußbereich hinaus verfolgen ließ, mußte allein auf eine statistische Auswertung aller Kriterien zurückgegriffen werden, die alle Änderungen einer Idealbank sowohl in der Vertikalen, wie in der Horizontalen zu der in Abb. 4 A gegebenen Darstellung kombiniert.

In dieser Abbildung soll die paläogeographische Situation des Garbecker Kalkes (Ablagerung in einem relativ begrenztem, riffnahen Becken) berücksichtigt werden. Im proximalen, dem Schüttungsursprung zugewandten, Teil wird eine Hang-Neigung von ca. 20° für wahrscheinlich gehalten; bei der Überhöhung wurde keine Veränderung des Winkels vorgenommen. Die dargestellte Längserstreckung des Modellkörpers wurde mit Hilfe der paläogeographischen Rekonstruktion des Ablagerungsraumes ermittelt (siehe Abb. 3).

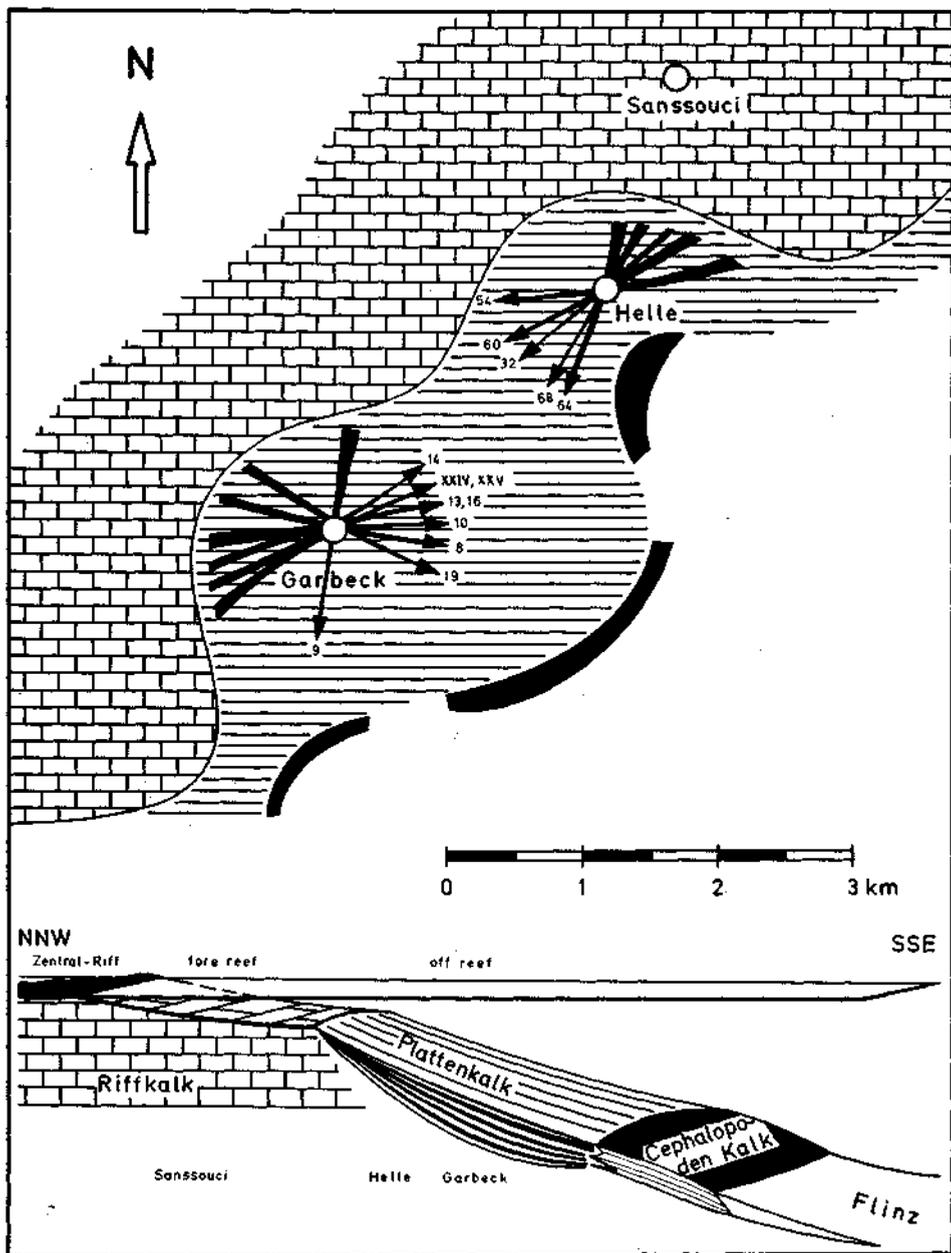


Abb. 3. Ablagerungsraum des Garbecker Kalkes mit Strömungs-Richtungen.
 Paleogeographical reconstruction of the depositional environment of the „Garbecker Kalk“, paleo-current directions are indicated by arrows.

In Schüttungsrichtung hangabwärts nimmt die Gesamtmächtigkeit der Idealbank gleichzeitig mit der Komponenten-Korngröße in der Detritus-Kalkschicht ab. Die im extrem proximalen Teil dargestellte Mächtigkeitsabnahme ist vorläufig hypothetisch. Die Abnahme von ca. 70 auf 10 cm geht vornehmlich zu Lasten der Grobdetritus-Zone C, die im distalen, dem beckenwärtigen, Teil fast völlig auskeilt. Parallel dieser Mächtigkeitsabnahme geht eine allmähliche Reduzierung der oberen Kalkschicht D, deren Abtrennung von der Basis-Kalkschicht B im distalsten Bereich nur mikrofaziell unter Berücksichtigung der Fauna und der Mineralogie erfolgen kann. Eine deutlich ausgebildete Basisschicht fehlt im ausgesprochen proximalen Abschnitt, sie ist erst etwas distaler vorhanden und klingt nach einer ungefähr im mittleren Teil erreichten maximalen Mächtigkeit aus.

Die Ausbildung einer Basisschicht ist an das Vorhandensein einer sie überlagernden Detritusschicht und eines sie unterlagernden Mergel- oder Mergelkalk-Schiefers gebunden. Ebenso ist die obere Kalkschicht mit ihrem besonders im proximalen Teil reichhaltig vorhandenen, autochthonem Benthos an eine sie unterlagernde Detritusschicht geknüpft. Hauptfaktor einer Idealbank ist der Grobdetritus der Zone C. Stromabwärts ist mit der erwähnten Korngrößen-Abnahme eine Reduzierung des Komponenten-Spektrums verbunden. In gleicher Richtung werden Gradierung und Sortierung, die im proximalen Teil undeutlich vorhanden sind, besser. Die an Schaleneinkippung zu registrierende Differenzierung der Zone C und die proximal kaum vorhandene laminierte Feinschichtung in den höheren Partien wird deutlicher. Ebenfalls wächst beckenwärts die Packungsdichte.

Strömungsmarken finden sich bevorzugt im proximalen und mittleren Abschnitt, sind allein für eine Rekonstruktion der Schüttungsrichtung nicht ausreichend. Imbrikations-Gefüge, die überall zu finden sind, erlauben dagegen derartige Bestimmungen.

2.4. Chemische Untersuchungen

Um den bei der Genese der Garbecker Kalke wirksamen Faktoren näher zu kommen, wurden chemische Untersuchungen durchgeführt: es wurden Karbonatgehalte titrimetrisch bestimmt und es wurde damit begonnen, röntgenspektralanalytisch Strontium-Gehalte zu ermitteln.

2.4.1. Karbonat-Verteilung im Garbecker Kalk

Nach der erfolgten Feststellung, daß neben Calzit Dolomit nur völlig untergeordnet im Grobdetritus vorhanden ist, konnten Gesamt-Karbonat-Analysen, die als CaCO_3 berechnet wurden, durchgeführt werden.

In der Abbildung 5 sind die Karbonat-Verteilungskurven der untersuchten Bänke dargestellt. Aufgetragen wurde der Bereich zwischen 90 und 100%; daher konnten die Werte der die Bänke über- und unterlagernden Schiefer nicht berücksichtigt werden.

Der Verlauf der Kurven ist relativ gleichartig. Im proximalen Teil des Schüttungskörpers, wo eine deutliche Dreigliederung der Bänke noch nicht sehr charakteristisch ist (Hel 23 bis Gar VIII, Abb. 4 B) lassen sich jeweils zwei Maxima erkennen, die in der Detritus-reichen Zone und in der — durch das

autochthone Benthos geprägten — Oberschicht liegen. Bei einer mächtigeren Ausbildung einer Basisschicht (Gar XVI bis Hel 66) kann ein drittes Maximum den Kurvenverlauf noch differenzieren.

Der Übergang der unter ideal ausgebildeten Bänken extrem Karbonat-, „armen“ Schiefer (69 bis 82,4%) in die Basisschicht erfolgt fließend. Unter einer relativ dicken Detritus-Zone nimmt innerhalb des Basisteils der Karbonatgehalt generell zu: das kann sich in einem allmählichen, mit Annäherung an den Grobdetritus steiler werdenden Anstieg äußern (z. B. Gar XXIV, Gar VIII) oder zusätzlich durch ein Maximum in der Mitte der Basisschicht differenziert sein; direkt unter der Diskontinuität von B zu C liegt dann ein Minimum, dem ein steiler Anstieg zum Detritusteil folgt (Gar XVI, XXIII, Hel 54 a). Der Kurvenverlauf unter einer dünneren Detrituslage ist dagegen einheitlicher (Hel 49 b, Hel 54 b) und ähnelt dem von distalen Bänken (Gar XXXIII).

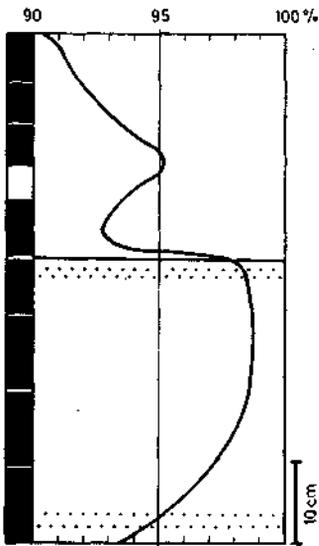
Innerhalb einer Bank kann der Detritusteil in seiner Mächtigkeit schwanken und somit eine Veränderung des Basisteils bewirken. Karbonatwerte aus den Bereichen der Basisschicht B, die von viel Detritus überlagert werden, liegen etwas tiefer als Werte von Proben, die nur von einer dünnen Lage eingedeckt sind (Hel 49 a und b, Hel 54 a und b).

Oberhalb des Maximums der Detritusschicht erfolgt ein unterschiedlicher Abfall der Karbonat-Kurve; in den proximalen Bänken, die schlecht sortiert und kaum gradiert sind, zeichnet er die scharfe Grenze zwischen detritischem Mittelteil und feinkörniger Oberschicht nach; in den Bänken dagegen, die in ihrem Gefüge einen laminierten Übergang der Zone C zu D erkennen lassen, erfolgt meist ein relativ allmählicher Abfall. Nach einem Minimum, das vereinzelt bis fast auf 90% heruntergeht, folgt ein Maximum der Oberschicht, in dem nicht mehr die höchsten Werte des Detritusteils erreicht werden. Der makroskopisch fließende Übergang in die hangenden Schiefer läßt sich auch durch den allmählich abnehmenden Karbonat-Gehalt belegen. Bemerkenswert ist, daß die Karbonat-Werte der hangenden Schiefer einer Bank etwas höher liegen als die der unterlagernden; es wurden Gehalte von 80 bis 90% ermittelt.

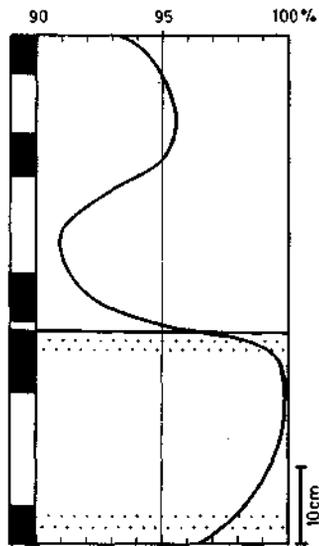
In der Diskussion über die Karbonat-Verteilung darf man neben dem — nur im Detritusteil untergeordnet auftretenden — Dolomit, der hier die als CaCO_3 berechneten Karbonat-Gehalte um vielleicht 0,5% zu hoch erscheinen läßt, den in allen Zonen, in der Basisschicht allerdings am auffälligsten, angereicherten Pyrit nicht vergessen. Pyrit erhöht scheinbar den Karbonat-Gehalt, da er bei Säurebehandlung der Proben auch HCl verbraucht. Die Fehler können in der Basisschicht 2 bis 3% betragen; das in der Basiszone vorhandene Maximum büßt dadurch an Signifikanz ein.

In Abb. 4 B ist die an den Einzelbänken ermittelte Karbonat-Verteilung auf den idealisierten Schüttungskörper übertragen worden. Die beiden Hauptmaxima (des Detritusteils und der Oberschicht) lassen sich mit allmählich abnehmendem Karbonat-Gehalt fast über das gesamte Schüttungsschema verfolgen. Das Maximum der Basisschicht ist auffällig an den Bereich gebunden, wo die Basiszone B ideal entwickelt ist. Inhomogenitäten dieses Bereichs die auch im Detritusteil beobachtet werden können (Gar XXIII), lassen auf variable Lösungs- und Fällungs-Milieus schließen.

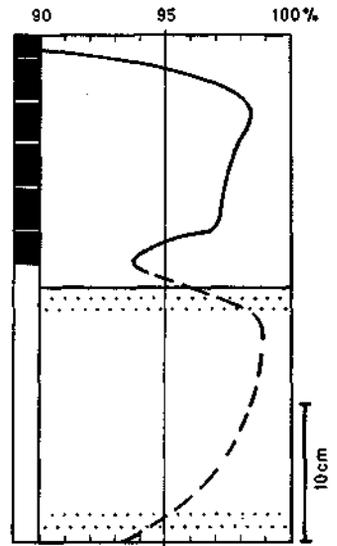
Hel 23



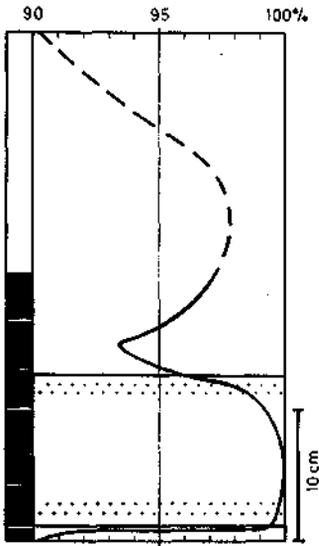
Hel 36



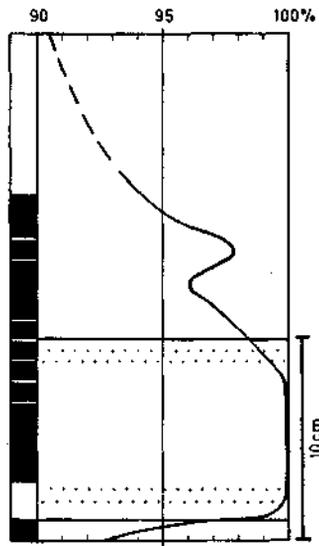
Hel 31



Hel 46



Gar XXIV



Gar VIII

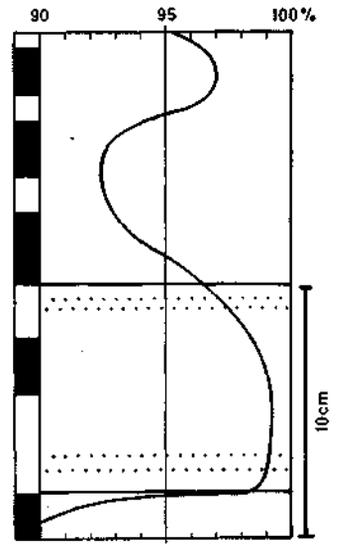
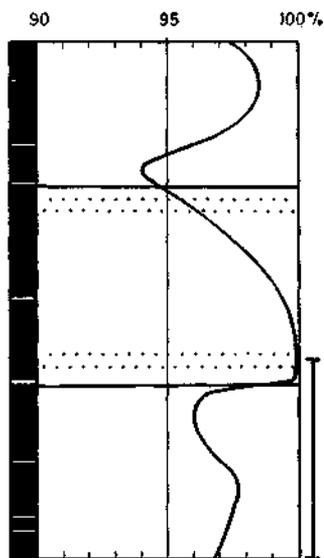
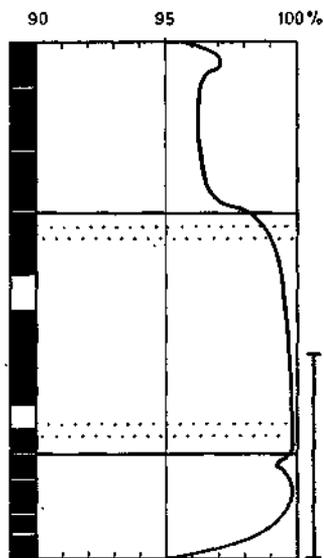


Abb. 5. Karbonat-Verteilung in Einzelbänken. Die Probenbereiche sind am Rand mit schwarzen Rechtecken hervorgehoben. Die gestrichelte Linie gibt den vermuteten Verlauf des Karbonat-Gehalts wieder. Die Punktsignatur kennzeichnet den Bereich der Detritus-Zone.

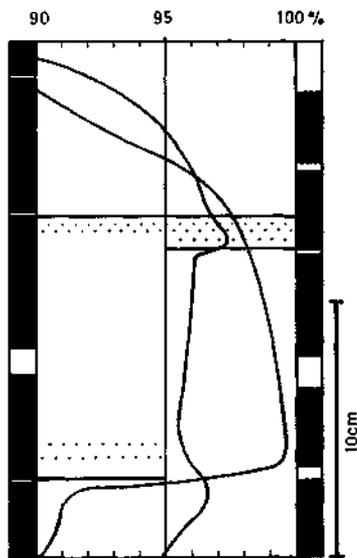
Gar XVI



Gar XXIII

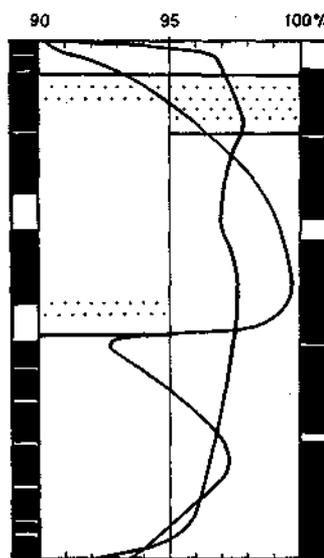


Hel 49a



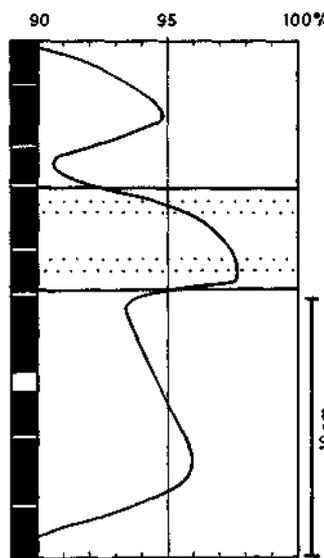
49 b

Hel 54a

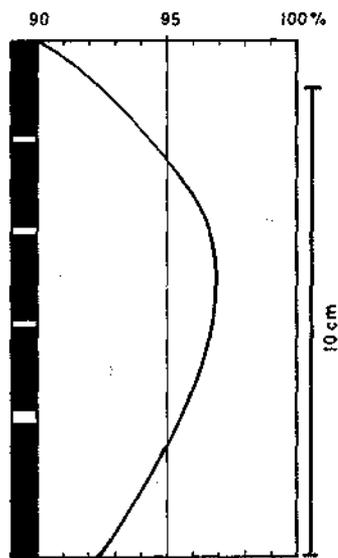


54b

Hel 66



Gar XXXIII



Distribution of total carbonate percentages in individual beds of „Garbecker Kalk“. The range of the samples is indicated by the black squares in the side column. Intermitting line shows the supposed trend of carbonate data. The thickness of the detrital zone is indicated by dots.

Je weiter stromab der Schüttungskörper gelangt, desto undifferenzierter wird auch sein Karbonataufbau; sämtliche Maxima klingen aus und hinterlassen in distalsten Partien fast homogene Kalkbänke.

2.4.2. Strontium-Verteilung

Strontium ist wegen seiner kristallchemischen Ähnlichkeit mit Calcium ein wichtiger, auch analytisch gut erfassbarer Nebenbestandteil primärer Karbonatminerale. Es unterliegt bevorzugt einem diagenetischen Stoffumsatz (WEDEPOHL, 1969, S. 17). Strontium-Analysen erlauben daher — bei genügender Probenzahl — Rückschlüsse auf möglicherweise stattgefundenene diagenetische Umlösungen.

Bisher wurden 11 Proben des Garbecker Kalkes auf Strontium untersucht, die nur eine erste grobe Differenzierung zulassen: die höchsten Werte (1250 und 770 ppm) scheinen an die höheren und distalen Parteien des Detritusteils gebunden zu sein (? durch Foraminiferen). Die Basisschicht ist eventuell durch etwas höhere Strontium-Gehalte (max. 520 ppm) von der Oberschicht (max. 350 ppm) zu unterscheiden.

Genetische Folgerungen, wie verstärkte Diagenese-Lösung in den Schiefen und anschließende Fällung in der Basisschicht, oder veränderte Salinitätsbedingungen im Detritusteil lassen sich auf Grund der geringen Analysenzahl noch nicht schlüssig ziehen.

3. Genese des Garbecker Kalkes

Der dominierende Faktor für die Kombination aller sedimentologischen Merkmale im Garbecker Kalk liegt in der Tatsache begründet, daß praktisch eine Sedimentation von Kalk in Kalk geschieht. Um zu klären, auf welche Weise diese beschriebene Differenzierung zustande gekommen sein könnte, wurde eine Korrelations-Analyse durchgeführt.

Da nur der Detritusteil C eine allochthone Komponente innerhalb des Garbecker Kalkes darstellt, ist besonders kritisch, welche Bank-Zonen er über- oder unterlagert. Träfe nämlich die naheliegendste Deutung zu, daß sich riffdetritogene Schüttungen mit einer Wechsellagerung Kalk-ärmerer und Kalk-reicherer Schichten „verzahnen“, müßte der Detritus ebenso häufig (oder sogar häufiger) Schiefer wie Kalk überlagern. Das hieße, einer von unbestimmten Faktoren (Klima?) gesteuerten Rhythmik (Wechsellagerung) überlagerte sich eine vom Zufall abhängige Episodik (Detritusschüttungen).

Bei Auswertung der in den Aufschlüssen Helle und Garbeck repräsentativen Bankzonen-Folge wurde aber festgestellt, daß die Detritusschicht mit einer relativen Häufigkeit von 76,4% eine Basis-Kalkschicht überlagert. Zusätzlich läßt sich eine über die zufällige Korrelation hinausgehende Abhängigkeit der Oberschicht D vom Detritusteil C registrieren: über C folgt D mit einer relativen Häufigkeit von 86,4%.

Sowohl das Auftreten einer Basisschicht als auch das einer Kalk-Oberschicht, ist über eine zufällige Wahrscheinlichkeit hinaus an das Vorhandensein einer Grobdetritus-Schicht gebunden. Diesen Ergebnissen sowie den Gelände- und Laborbefunden wird am elegantesten dadurch Rechnung getragen, daß man die

Genese der Zonen A, B und D als Konsequenz der turbiditischen Detrituseinschüttung auffaßt.

3.1. Genese der Schiefer (Zone A) und der Basisschicht (Zone B)

Die Hypothese, daß Detrituseinschüttungen aus Flachwasserbereichen in ein tiefer gelegenes, kalkreiches Ablagerungsmilieu gelangen und erst nach der Sedimentation Anlaß für eine Differenzierung des eingedeckten Kalkschlammes waren, wird durch die auffallende sedimentologische Ähnlichkeit der Schiefer-Zone A mit der Basisschicht B gestützt. Der einzige Unterschied zwischen beiden Zonen besteht im Karbonat-Gehalt, der in den als „Schiefer“ erscheinenden Partien durchschnittlich 15% niedriger liegt, aber sich mit ca. 80% Karbonat immer noch als Mergelkalk erweist. Bei einer — aus den bisher gesammelten Beobachtungen zu folgernden — frühdiagenetischen Kalk-Umlagerung sind aus einem primär vorhandenen Mergelkalk mit ca. 85 bis 90% CaCO_3 nur einige 10er % CaCO_3 herauszulösen, um die bestehende Differenzierung zu bekommen. Daß Kalk-Lösung und -Fällung unter der dämmenden Wirkung rasch sedimentierten Materials vorkommen, beschreiben SEILACHER & MEISCHNER (1964, S. 603). Auch die von MEISCHNER (1964) bei allodapischen Kalken beschriebene „Vorphase O“, deren Genese er nicht erklärte, wird heute von ihm als Resultat eines frühdiagenetischen Fällungs-Prozesses aufgefaßt (mündliche Mitteilung).

Hinweise auf die Veränderung der physikalisch-chemischen Faktoren scheinen die vor allem im Basisteil vorhandenen Nester von Mikrospartit zu geben. FOLK (1965, S. 42) macht diese — für eine Wechsellagerung besonders typische — Erscheinung von „irgendeinem chemischen Wechsel“ abhängig.

Die Vorgänge, die bei diagenetischen Veränderungen an Kalken stattfinden, sind jedoch so komplex, daß Deutungen nur mit großen Vorbehalten gegeben werden können. Trotzdem soll hier ein modellhaftes Schema erläutert werden, das die Differenzierung eines primär relativ homogenen Mergelkalkes durch eine frühdiagenetische Kalk-Umlagerung erklärt. Es wird damit der Versuch unternommen, Labor- und Geländebefunde durch ein chemisches Modell zu stützen, das unter Benutzung von Literaturdaten konstruiert wurde.

In rezenten Karbonat-Sedimenten ergaben pH-Messungen immer wieder erheblich niedrigere Werte als im Meerwasser. SEIBOLD (1962, S. 72) gibt Werte von 7,6 bis minimal 6,0 an, die in verschiedenen Kalksedimenten gefunden wurden. Bei gleichzeitig gemessenem Anstieg der Alkalinität im Sediment, muß der Kalk in gelöster Form vorliegen und dem Porenwasser zugeführt werden; SEIBOLD vermutet dabei „bakterielle oder sonstige Erzeugung von CO_2 “. Bei Annahme einer Erhöhung des pH-Wertes müßte die Kalksättigung erheblich zunehmen; dies kann bei einer Erosion sogar zu einer Kalkfällung im Sediment führen, da sich Meerwasser (pH-Wert um 8,2) mit Kalk-gesättigtem Porenwasser mischt (SEIBOLD; 1962, S. 73).

In Abb. 6 wird die zeitliche Abfolge bei der hypothetischen Genese des Garbecker Kalkes in einzelnen Phasen dargestellt, wobei der jeweilige pH-Wert-Verlauf eingezeichnet wurde. Phase 1 repräsentiert den Normalfall einer Mergelkalk-Sedimentation; an der Sedimentoberfläche wurden nur pH-Werte um 8,0 erreicht. In einigen cm Tiefe hat der pH-Wert, möglicherweise infolge bakterieller CO_2 -Entwicklung (CHILINGAR et al. 1967, S. 191), ein Minimum. Hier ist CaCO_3 in erhöhtem Maße im Porenwasser gelöst und bewegt sich aufwärts in Niveaus

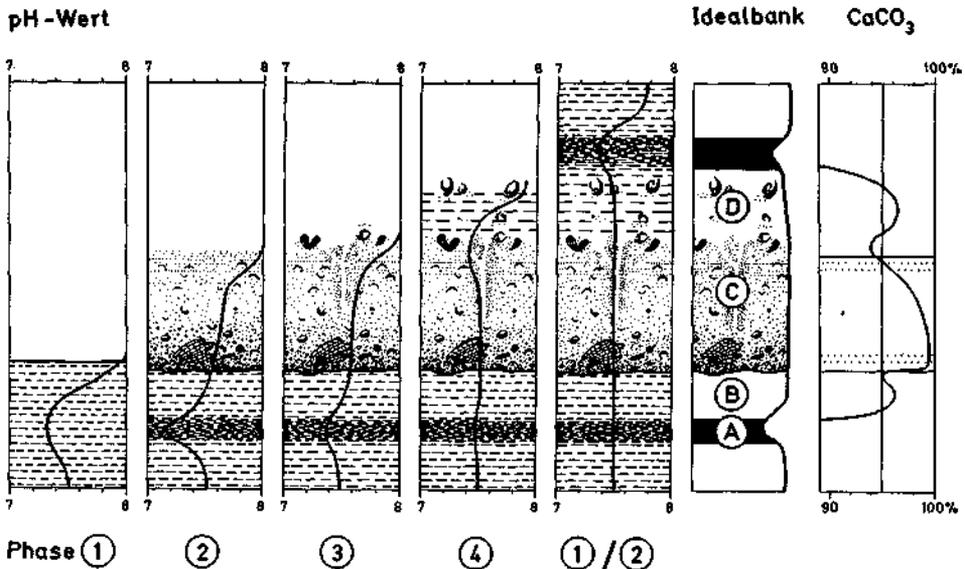


Abb. 6. Genese des Garbecker Kalkes; die schwarze Linie gibt den hypothetischen pH-Wert-Verlauf wieder.
 Hypothetical genesis of „Garbecker Kalk“; the supposed curve of pH-value is represented by black line.

mit höherem pH und fällt wieder aus. Bei stetiger Sedimentation — ohne irgendwelche äußere Beeinflussung — durchläuft das pH-Wert-Minimum kontinuierlich höhere Bereiche; das resultierende Sediment wirkt vollkommen gleichartig.

In Phase 2 ist der Zustand wiedergegeben, der sich nach Sedimentation einer turbiditischen Suspension eingestellt hat. Das pH-Wert-Minimum ist in einem bestimmten Niveau fixiert, es hat sich verschärft. Aufdringende Kalk-Lösungen scheiden sich unter dem Turbidit aus, an dessen Basis sofort nach erfolgter Erosion — gemäß der SEIBOLDSchen Hypothese — Kalk gefällt wurde. Schon hier wurde die Basisschicht gebildet. Im Turbidit nimmt der pH-Wert nach oben stetig zu.

In den Phasen 3 und 4 wird bei steigender Sedimentation über dem Turbidit das pH-Minimum kontinuierlich abgebaut, die mikrobiologische Zersetzung wird beendet.

Parallel zu dieser Karbonat-Verlagerung findet möglicherweise eine Anreicherung von Schwermetallen in der Basisschicht statt.

Dieser hypothetische Wechsel von Karbonat-Lösung und Fällung ist nur im mittleren und distalen Abschnitt des idealisierten Schüttungskörpers ausgebildet. Im proximalen Teil wurde eventuell durch zu starke Erosion die im Sediment vorhandene chemische Schichtung zerstört.

Eine ideale Differenzierung in die Zonen A und B, scheint sich im Garbecker Kalk auch nur dann einzustellen, wenn zwischen den einzelnen turbiditischen

Schüttungen genügend Zeit bleibt, in der eine autochthone Sedimentation mit innerer chemischer Schichtung abgelagert werden konnte.

3.2. Genese der oberen Kalkschicht (Zone D)

Die sich meist allmählich aus dem Detritusteil entwickelnde feinkörnige Oberschicht ist gleichsam die hangende Konsequenz der Turbiditeinschüttung; hier vollzieht sich der Übergang der allochthonen Sedimentation in eine autochthone.

Das sich nur wenig oberhalb der Grobdetritus-Grenze findende Karbonatgehalts-Minimum kann als der letzte Ausklang der Turbiditeinschüttung gedeutet werden; zuoberst sedimentierte die feinste Trübe, in diesem Fall „Illit“ und etwas Kaolinit. Verstärkt werden kann das Minimum durch in diesem Bereich auftretende Verkieselung, deren SiO_2 im unterlagernden Detritus mobilisiert wurde.

Das charakteristische Karbonat-Maximum der Oberschicht ist auffällig an den Bereich der besonders reichlich auftretenden benthonischen Fauna gebunden: eine erhöhte Kalkproduktion geht mit einer autochthonen Besiedlung Hand in Hand.

Für den Ablagerungs-Zeitraum der Oberschicht muß mit einer Verbesserung der bionomischen Verhältnisse gerechnet werden. Dies kann durch das Einströmen eines „turbidity current“ erreicht werden. Nach MEISCHNER (1967, S. 467) sind dabei zwei Effekte wirksam: erstens erfolgt ein Austausch des O_2 -armen Bodenwassers durch O_2 -reiches und zweitens werden durch die Detrituseindeckung relativ saure, die Lebensmöglichkeit eines Benthos einschränkende Bodenwasserlösungen abgedämmt. Auf Grund dieser Verbesserung der Existenzbedingungen kann ein relativ reiches Benthos (Korallen, Brachiopoden, Endobenthos, Foraminiferen) die Sedimentoberfläche eines Karbonat-Milieus besiedeln, das durch vorhandene Kristallisations-Keime zu einer weiteren Kalkfällung angeregt wird (s. dazu Abb. 6, Phase 3). Von KUENEN (1968, S. 543) wird bezweifelt, daß O_2 -reiche Bodenwässer eine länger andauernde Verbesserung der bionomischen Bedingungen bewirken können; Strömungen und Diffusion würden binnen weniger Wochen eine Durchmischung bewirken. Demgegenüber sind in der Ostsee Einbrüche von Bodenwasser zu beobachten, deren O_2 -Gehalt erst in mehreren Jahren abgebaut wurde.

Mit nachlassender Wirkung des Bodenwasser-Austauschs gewinnen allmählich die „normalen“ Sedimentations-Bedingungen wieder die Oberhand. Das Karbonat-Maximum klingt ab, die pH-Werte sinken im Sediment wieder unter 7,8 (Abb. 6, Phase 4) und können eventuell — bei einer folgenden Detrituseindeckung — sich zu einem neuen schärferen Minimum entwickeln (Abb. 6, Phase 1/2).

4. Allgemeine Folgerungen

Die Garbecker Kalke scheinen durch ihre spezifische Abfolge von allochthoner und autochthoner Sedimentation ein Sonderfall der Ablagerung zwischen einem Riff und einem Becken zu sein. Bisher wurden vergleichbare Sedimente nicht beschrieben, obwohl im Laufe der Erdgeschichte immer wieder paläogeographische Konstellationen entstanden, die dem Karbonat-reichen Ablagerungsraum des

Garbecker Kalkes entsprochen haben müssen. Der Grund scheint darin zu liegen, daß im „Verzahnungsbereich“ eines Riffes mit einem Becken eine Korrelation zwischen allochthonen Turbiditbänken und den sie überlagernden Fauna führenden, feinkörnigen Bänke nicht für möglich gehalten wurde. So deutete BÖGER (1966) in einer paläoökologischen Untersuchung Partien der Ooser Plattenkalke, die vermutlich die distalen Teile allodapischer Kalke darstellen (MEISCHNER, 1967), durch Hin- und Herwandern von Biofaziesbereichen.

Die Detritus-Plattenkalke von Donsbach, die auch als Turbidite gedeutet werden (KREBS & RABIEN, 1964, S. 113; KREBS, 1964, S. 31), sind in einer dem Ablagerungsraum der Garbecker Kalke paläogeographisch vergleichbaren Situation abgelagert worden; sie entsprechen ungefähr einer untypischen Folge in Garbeck.

Von allgemeiner Bedeutung scheint dagegen die am Beispiel des Garbecker Kalkes beschriebene Kalk-Umlagerung unter turbiditischen Detritusschüttungen zu sein. Neben der schon erwähnten „O-Phase“ (sensu MEISCHNER, 1964) von allodapischen Kalken, sind möglicherweise auch die „Harzböden“ von WERDING (1967, S. 253/254), die grobdetritische Turbidite unterlagern, als Kalkfällungs-Zonen zu deuten. Ob in den Grenzschiefern am Nordrand des Hohen Venns unter allodapischen Kalken, die KASIG (1967, S. 126) beschreibt, Kalk-Umlagerungen stattgefunden haben, bleibt abzuwarten; eine von KASIG (1967) gegebene Abbildung (Taf. 4, Abb. 28) zeigt Konvergenzen zur Basisschicht des Garbecker Kalkes.

Die an der Basis der Spickberg-Zyklen entwickelten schwarzen Mergel mit reicher Fauna (KREBS, 1969, S. 62/63) sind eventuell als Lösungs-Niveaus unter Kalk-reichen Schichten zu deuten.

Literatur

- BÖGER, H.: Paläoökologische Untersuchungen an gebankten Kalken. Am Beispiel des Ooser Plattenkalkes, Oberdevon I der Eifel. — Geol. Fören. Stockholm Förh., 88, 307—326, 11 Abb., Stockholm 1966.
- CHILINGAR, G. V., BISSELL, H. J., & WOLF, K. H.: Diagenesis of Carbonate Rocks. — In: Diagenesis in Sediments (Edits: LARSEN, G., & CHILINGAR, G. V.) — Developm. Sedimentol., 8, 179—322, 21 Abb., 12 Tab., Elsevier, Amsterdam 1967.
- EDER, F. W.: Riff-nahe detritische Kalke bei Balve im Rheinischen Schiefergebirge (Mittel-Devon, Garbecker Kalk). — Göttinger Arb. Geol. Paläont., im Druck.
- FOLK, R. L.: Some Aspects of Recrystallisation in Ancient Limestones. — Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Pub., 13, 14—48, 14 Abb., Tulsa 1965.
- JUX, U.: Die devonischen Riffe im Rheinischen Schiefergebirge. — N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 110, I, 186—258, 7 Abb., Taf. 9—27; II, 259—392, 18 Abb., Taf. 28—30, Stuttgart 1960.
- KASIG, W.: Biofazielle und feinstratigraphische Untersuchungen im Givetium und Frasnium am Nordrand des Stavelot-Venn-Massivs. — Diss., 177 S., 25 Abb., 11 Taf., Aachen 1967.
- KREBS, W.: Der Bau des oberdevonischen Langenaubach-Breitscheider Riffes und seine weitere Entwicklung im Unterkarbon (Rheinisches Schiefergebirge). — Abh. senckenb. naturf. Ges., 511, 1—105, 18 Abb., 13 Taf., 3 Tab., Frankfurt a. M. 1966.
- KREBS, W.: Über Schwarzschiefer und bituminöse Kalke im mitteleuropäischen Variscikum. — Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 22, I, 2—6, 6 Abb.; II, 62—67, 3 Abb., Hamburg 1969.
- KREBS, W., & RABIEN, A.: Zur Biostratigraphie und Fazies der Adorf-Stufe bei Donsbach (Conodonten- und Ostracoden-Chronologie, Oberdevon I, Rheinisches Schiefergebirge, Dillmüde). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 92, 75—119, 3 Abb., 2 Taf., 3 Tab., Wiesbaden 1964.

- KUENEN, PH. H.: Turbidity Currents and Organisms. — *Eclogae Geol. Helv.*, 61, 525—544, 1 Abb., Basel 1968.
- MEISCHNER, K.-D.: Rhenaer Kalk und Posidonienkalk im Kulm des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Kohlenkalk von Schreufa (Eder). — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, 39, 47 S., 15 Abb., 7 Taf., 2 Tab., Wiesbaden 1962.
- MEISCHNER, K.-D.: Allodapische Kalke, Turbidite in riff-nahen Sedimentationsbecken. — In: *Turbidites* (Edits: BOUMA, A. H., & BROUWER, A.) — *Developm. Sedimentol.*, 3, 156—191, 5 Abb., 3 Taf., Amsterdam 1964.
- MEISCHNER, K.-D.: Paläoökologische Untersuchungen an gebankten Kalken. Ein Diskussions-Beitrag. — *Geol. Fören. Stockholm Förh.*, 89, 465—469, 1 Abb., Stockholm 1967.
- PAECKELMANN, W.: Über Beziehungen zwischen Fazies und Tektonik im Devon des Sauerlandes. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, 82, 590—598, 5 Abb., Berlin 1930.
- PAECKELMANN, W.: Erläut. Bl. Balve (4613). — 70 S., 7 Abb., 1 Taf., 4 Tab., Berlin 1938.
- SCHMIDT, H.: Die bionomische Einteilung der fossilen Meereshöden. — *Fortschr. Geol. Paläont.*, 38 (XII), 154 S., 24 Abb., Berlin 1935.
- SEIBOLD, E.: Untersuchungen zur Kalkfällung und Kalklösung am Westrand der Great Bahama Bank. — *Sedimentol.*, 1, 50—74, 8 Abb., 3 Tab., Amsterdam 1962.
- SEILACHER, A., & MEISCHNER, D.: Fazies-Analyse im Paläozoikum des Oslo-Gebietes. — *Geol. Rdsch.*, 54, 596—619, 13 Abb., 1 Taf., Stuttgart 1964.
- WEDEPOHL, K. H.: Primäre und diagenetische Strontiumgehalte von Karbonatgesteinen. — *Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., B. Miner. Lagerstättenf.*, 14, 1, 17—23, 2 Abb., 2 Tab., Berlin 1969.
- WERDING, L.: Allodapische Kalke und Vorriff-Sedimente im Mittel-Devon des östlichen Taunus (Rheinisches Schiefergebirge). — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, 1967, 4, 242—255, 7 Abb., Stuttgart 1967.
- WITTEKINDT, H.: Zur Conodontenchronologie des Mitteldevons. — *Fortschr. Geol. Rheinld. Westf.*, 9, 621—646, 1 Abb., 3 Taf., 1 Tab., Krefeld 1965.
- ZIEGLER, W.: Zum höchsten Mitteldevon an der Nordflanke des Ebbesattels. — *Fortschr. Geol. Rheinld. Westf.*, 9, 519—538, 5 Abb., 2 Taf., Krefeld 1965.