BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE
ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 156

ERIK FLÜGEL · HEINZ HÖTZL

Palökologische und statistische Untersuchungen in mitteldevonischen Schelf-Kalken (Schwelmer Kalk, Givet; Rheinisches Schiefergebirge)

Palecological and statistical investigations of Middle Devonian shelf limestones (Schwelm facies, Givetian; Rheinisches Schiefergebirge)

Mit 17 Tabellen im Text und 29 Abbildungen

MÜNCHEN 1976
VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C.H.BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG MÜNCHEN

Flügel, Erik & Hötzl, Heinz: Palökologische und statistische Untersuchungen in mitteldevonischen Schelf-Kalken (Schwelmer Kalk, Givet; Rheinisches Schiefergebirge).
(Palecological and statistical investigations of Middle Devonian shelf limestones (Schwelm facies, Givetian; Rheinisches Schiefergebirge).
Summary: Multivariate statistical methods are used to typify benthonic communities of the Schwelm limestone in Sauerland, W-Germany, by quantitative and qualitative paleontological characters.
Key words: Middle Devonian communities; palecology; shelf environment; multivariate methods.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Erik Flügel, Institut für Paläontologie Universität Erlangen-Nürnberg, Loewenichstraße 28, D-8520 Erlangen; Prof. Dr. Heinz Hötzl, Institut für Geologie, Universität (TH), Kaiserstraße 12, D-7500 Karlsruhe.

ISBN 3 7696 2546 3

© Bayerische Akademie der Wissenschaften, München 1976
Druck des Textteils: C. H. Beck'sche Buchdruckerei Nördlingen
Druck des Tafelteils: Graphische Anstalt E. Wartelsteiner, Garching-Hochbrück
Printed in Germany

INHALT

Zusammenfassung 5

Summary 7

1. Einleitung 9
   1.1 Problemstellung und Arbeitsmethoden 9
   1.2 Untersuchungsgebiete 10
   1.3 Fazielle Einordnung 11

2. Paläontologie 12
   2.1 Mikrofazielle Merkmale 14
   2.2 Paläontologische Kurzbeschreibung 14
      2.2.1 Foraminiferen und Calcisphaeren 15
      2.2.2 Stromatoporen 16
      2.2.3 Korallen 20
      2.2.4 Bryozoen 26
      2.2.5 Brachiopoden 26
      2.2.6 Gastropoden 26
      2.2.7 Echinodermaten 26
      2.2.8 Kalkalgen 27
   2.3 Verbreitung der Organismen im Untersuchungsgebiet 27
   2.4 Palökologische Interpretationen 28
      2.4.1 Synökologie der Organismen einer Schichtfläche 29

3. Methoden der statistischen Daten-Erfassung 31
   3.1 Abgrenzung der Beprobungseinheiten 32
   3.2 Auswahl der quantitativ erfaßbaren Komponenten 32
   3.3 Bestimmung der Flächen- und Volumenanteile der Komponenten 33
      3.3.1 Punktzählverfahren 33
      3.3.2 Linienmeßmethode 35

4. Statistische Verfahren zur Daten-Auswertung 36
   4.1 Übersicht 36
   4.2 Ähnlichkeitsmaße 37
      4.2.1 Korrelationskoeffizient 37
      4.2.2 cos Φ-Koeffizient 38
      4.2.3 Distanzkoeffizient 39
   4.3 Multivariate Verfahren 39
      4.3.1 Clusteranalyse 40
      4.3.2 Faktorenanalyse 41
   4.4 Einsatz von Rechenanlagen 42
   4.5 Bemerkungen zur statistischen Auswertung von Faziesdaten 42

5. Ergebnisse der statistischen Auswertung 44
5.1 Schichtfläche in Letmathe 44
5.2 Profil P in Letmathe 49
5.3 Profil 36 in Letmathe 52
5.4 Profil Steltenberg, Hohenlimburg 55

6. Interpretation der quantitativen Daten 59
6.1 Beziehungen zwischen faunistischen Elementen 59
6.2 Beziehungen von quantitativen und qualitativen Merkmalen (Assoziationstypen im Schwelmer Kalk) 62

Dank 65

Literatur 66

ZUSAMMENFASSUNG

(1) Problemstellung: Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der vergleichenden Überprüfung verschiedener statistischer Methoden hinsichtlich deren Eignung für Fazies-Studien und auf der kombinierten, qualitativen und quantitativen Typisierung von Organismen-Assoziationen in mitteldevonischen Flachmeer-Biotopen.

(2) Untersuchungsgebiet: Meßtischblatt Iserlohn/4612 und Hohenlimburg/4611, Gebiet von Letmathe-Iserlohn im Sauerland. Bearbeitet wurden eine im Bereich von etwa 30 × 10 m zugängliche Schichtfläche und drei Detailprofile im östlichsten Steinbruch S der Lenne bzw. im Steinbruch „Maria" in Letmathe sowie Profile in den Steinbrüchen Steltenberg und Mühlendorf in Hohenlimburg.

Alter und Fazies: Givet; Schwelm-Fazies des Massenkalkes. Flachwasser-Sedimente einer Riff-freien Plattform (Bank-Phase). Überwiegend Biomikrite mit Stromatoporen, Korallen und Brachiopoden.

(3) Paläontologische Untersuchungsmethoden: Über 400 Fossilproben wurden mit Hilfe von über 300 Dünnschliffen systematisch untersucht und bei Foraminiferen, Calcisphaeren, Stromatoporen, tabulaten und rugosen Korallen, Bryozoen und Kalkalgen nach Arten bestimmt. Der im Untersuchungsraum relativ homogene Fossilbestand setzt sich aus über 50 Arten zusammen. Die palökologische Interpretation der Fauna und Flora ergibt hinsichtlich der Umweltbedingungen folgende Hinweise: normal marine Salinität, Tendenzen zur Salinitätserhöhung möglich; Wassertiefe unterhalb der Wellen- bzw. Gezeiten-Fläche; Wasserbewegung relativ gering, zeitweise gerichtet, keine Turbulenzen; Substrat wechselnd zwischen Schlammböden und Kalksand-Böden. Synökologische Beobachtungen an den auf der Schichtfläche festgestellten Arten zeigen, daß die heterotypischen Relationen durch Epökie (bei etwa 50% der Stromatoporen und tabulaten Korallen sowie bei porostromaten Algen), Entökie (Würmer in Stromatoporen-Kolonien) und durch – auch statistisch faßbare – Parökie (von Stromatoporen-Arten) ausgezeichnet sind.

(4) Statistische Untersuchungsmethoden: Der relativ einheitliche Fossilbestand der Schichtfläche und der Profile wurde durch Auszählung der Gruppenhäufigkeit [Stromatoporen, Alveoliten, Favositiden, Helioliten, Auloporen, Thamnoporen, Amphiporen, rugose Einzelkorallen, Brachiopoden, Schalen-Reste, restliche Biogene (meist Echinodermaten), Algen; Matrix (= alle Komponenten kleiner als 2 mm sowie Mikrit bzw. Sparit, im Schliffbereich überwiegend Foraminiferen und Calcisphaeren)] mit Hilfe der Punktzählmethode und der Linienmeßmethode im Anschluß an die statistische Abgrenzung der Beprobungseinheiten bzw. der Ermittlung des Stichproben-Umfanges in verschieden großen Testfeldern erfaßt. Die derart gewonnene Urmatrix (Tabelle 11) wurde normiert und standardisiert, um vorgetäuschte Varianzunterschiede zu vermeiden; die weiteren Berechnungen gingen (zu Vergleichszwecken) von beobachteten, normierten und standardisierten Werten aus.

Der Grad der Beziehungen zwischen den Variablen bzw. zwischen den Stichproben wurde durch Berechnung der Ähnlichkeitsmaße [Korrelationskoeffizient als Produktmomentkorrelation sowohl für das geschlossene Zahlensystem als Prozentwerte als auch für das offene Zahlenfeld als i-Zahlen; cos-Φ-Koeffizient (Koeffizient der proportionalen Ähnlichkeit); Distanzkoeffizient] in der R- und Q-Technik bestimmt. Daran schloß sich die

Klassifikation der Merkmale (Fossilgruppen bzw. Lebensformtypen) in einem hierarchischen System im Rahmen der Cluster-Analyse (weighted-pair-group-Methode) und die Bestimmung der Abhängigkeit der Merkmalsausbildung von unabhängigen Faktoren im Rahmen einer Faktoren-Analyse (Hauptachsenanalyse, orthogonale Rotation der Faktorenmatrix) an.

(5) Vergleich der statistischen Methoden: Bei einem Vergleich von Punktzählmethode und Linienmeßmethode in Testfeldern auf der Schichtfläche und an Schichtköpfen im Profil zeigt sich, daß die Mittelwerte bis zu einem Zehntel des jeweiligen Wertes differieren und daß bei faziellen Untersuchungen die Linienmeßmethode ohne größere Vorbehalte verwendet werden kann. Bei der Bestimmung der Korrelationskoeffizienten ergeben sich kaum Unterschiede bei Verwendung von Prozentwerten und bei Verwendung von i-Zahlen. Die für alle Datenmatrizen durchgeführten multivariaten Vergleichsberechnungen mit Hilfe der Korrelations-, cos Φ- und Distanzkoeffizienten erbrachten eine weitgehende Übereinstimmung bezüglich der Klassifizierung der Variablen und der Stichproben; die Frage der Wahl der Ähnlichkeitsmatrizen erscheint daher nicht von wesentlicher Bedeutung, wenn auch der Korrelationskoeffizient gewisse Vorteile im Rahmen der Faktorenanalyse bietet. Die bei der Faktorenanalyse durchgeführte schiefwinkelige Rotation erbrachte im Vergleich mit der orthogonalen Rotation nur geringfügige Unterschiede und keine Vorteile hinsichtlich einer klareren Zusammenfassung von Grundelementen.

(6) Gruppierung der Biogene und Assoziationstypen: In allen Datensätzen ist eine Gliederung der Biogene in zwei miteinander stark negativ korrelierende Großgruppen erkennbar (massive, globulare und lamellare Wuchsformen; zylindrische Lebensformtypen zusammen mit Brachiopoden und mikritischer Grundmasse); die auch in der Faktorenanalyse deutliche Zweitrennung zeigt die klare Steuerung der Lebensformtypen durch (gleichartige) Umweltfaktoren (Wasser-Bewegung, als weiterer Faktor unter Umständen Substrat-Festigkeit).

Bei einem Vergleich der statistischen Organismenverteilungen auf der Schichtfläche und in den Profilen wurden folgende Assoziationstypen festgestellt: Assoziationstyp A – lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, rugose hornförmige Korallen vom Typus *Acanthophyllum*) – Amphiporen – Foraminiferen; Assoziationstyp B – lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, Amphiporen, rugose hornförmige Einzelkorallen) – Einzelkorallen – Brachiopoden; Assoziationstyp C – lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, Amphiporen, rugose hornförmige Einzelkorallen) – Echinodermaten und Brachiopoden.

Alveoliten treten als Durchläuferelemente auf, jedoch nicht in den durch Amphiporen oder durch Echinodermaten gekennzeichneten Arealen.

Bei diesen Organismenvergesellschaftungen handelt es sich um echte, mit rezentzoologischen Befunden vergleichbare Assoziationen, die im Falle des Assoziationstyp A als im Schwelmer Kalk verbreitete ökologische Grundeinheit („*Actinostroma? stellulatum* – *Clathrocoilona spissa* – Kommunität") bestimmt werden konnte.

SUMMARY

(1) *Problems:* The focal point of the work is a comparative investigation of different statistical methods regarding their suitability for facies-studies and combined qualitative and quantitative typification of communities in Middle Devonian shallow-water biotopes.

(2) *Area of investigation:* Map Iserlohn/4612 and Hohenlimburg/4611, near Letmathe-Iserlohn, Sauerland. Area of investigation is a surface of a limestone bed exposed 30 × 10 m, three detailed sections in the eastern quarry S of the Lenne river, the quarry „Maria" in Letmathe as well as sections in the quarry Steltenberg and Mühlendorf in Hohenlimburg.

Age and facies: Givetian Schwelm facies of the „Massenkalk". Shallow water platform sediments without reefs (bank-phase). Predominating biomicrites with stromatoporoids, corals and brachiopods.

(3) *Palaeontological studies:* More than 400 fossil samples were studied with more than 300 thin sections. Foraminiferes, calcisphaeres, stromatoporoids, tabulate and rugose corals, bryozoans and calcareous algae were determined by species. The relatively homogenous fauna and flora consists of more than 50 species. The palecological interpretation reveals the following environmental features: normal marine salinity, perhaps tendencies to increased salinity; water-depth below the range of wave-movements; water-movement relatively low, occasionally currents, no turbulences, substrate alternating between mud-bottoms and calcareous sand-bottoms. The heterotypical relations of the organisms are characterized by epökie (about 50% of the stromatoporoids and the tabulate corals as well as of porostromate algae), entökie (worms in stromatoporoid colonies) and parökie (statistically associated stromatoporoid species).

(4) *Statistical methods:* The relatively homogenous fauna of the bedding surface and of the sections were determined by means of counting group frequencies (stromatoporiods, alveolitids, favositids, heliolitids, auloporids, thamnoporids, amphiporids, rugose single corals, brachiopods, shell fragments, the rest of biogenes (mostly echinodermates), algae; Matrix (= all components smaller than 2 mm, mainly foraminiferes and calcisphaeres, as well as micrite and sparite). In addition to the statistical determination of the sampling units and size of random samples, the point-count-method and line-count-method were used in test areas of different size. The elementar-matrix (table 11) was normed and standardized in order to avoid simulated variance differencies. All further calculations (for purpose of comparison) were derived from observed, normed and standardized values.

The degree of relation between variables or random samples was determined by measures of similarities using R- and Q mode-technique. The correlation coefficient was calculated as product-moment-correlation for closed number system with procent values and for open number system with i-numbers; further the cos-Φ coefficient (coefficient of proportional similarity) and the distance coefficient were used. This had been followed by a classiffication of datas (fossil-groups or „Lebensform" types) in an hierarchical system using cluster analysis (weighted-pair-group-method). The relation between variables and non-dependent factors were calculated by factor analysis (main-axis-analysis, orthogonal rotation of factor-matrix).

(5) *Comparison of statistical methods:* In comparison of point-count- and line-count method in test areas on the bed surface and in the sections is shown, that the mean values differ up to 10% of the actual value and that in facies investigations the line-count method can be used without any greater reservations. There are hardly any differences in calculating the correlation-coefficient when using percent values and i-numbers. Classification of variables and random samples is very similar using different methods for calculation of similarity-coefficient. Therefore the choice of similarity matrices is not of main importance, even if the correlation-coefficient offers certain advantages for factor analysis. There are only minor differences between oblique rotation and orthogonal rotation within factor analysis. No advantages can be seen regarding better classification of elements.

(6) *Grouping of fossil-and associations-types:* All data complexes show a separation of two main groups strongly negativ correlated (massive, globular and lamellar growth forms; cylindrical „Lebensform" types together with brachiopods and micrite matrix). This separation, shown in factor analysis too, indicates the control of „Lebensform" types by equal environmental factors (water-movements and perhaps substrate consistency).

The comparison of statistical distribution of organisms on the bedding surface and in sections show some heteromict association types: association type A – lamellar stromatoporoids – globular stromatoporoids –

cylindrical „Lebensform" types (thamnoporids, rugose cup-shaped corals of *Acanthophyllum* type) – amphiporids – foraminiferes; association type B – lamellar stromatoporoids – globular stromatoporoids – cylindrical „Lebensform" types (thamnoporids, amphiporids, rugose cup-shaped single corals) – single corals – brachiopods; association type C – lamellar stromatoporoids – globular stromatoporoids – cylindrical „Lebensform" types (thamnoporids, amphiporids, rugose cup-shaped single corals) – echinodermates and brachiopods.

Alveolites occurs as element which pass through, however not in the area marked by amphiporids or by echinodermates.

This associations are parts of communities comparable with recent ecological units. Association type A can be determined by *Actinostroma? stellulatum – Clathrocoilona spissa*; the community is widely distributed in the Givetian Schwelm limestone.

1. EINLEITUNG

Die Typisierung von fossilen Biofazies-Bereichen ist weitgehend von genauen Angaben über die Häufigkeit, Verteilung und über die gegenseitigen Beziehungen der Organismen abhängig.

Grundsätzlich sollte auch bei palökologischen Analysen überprüft werden, welchen ökologischen Kategorien das festgestellte Fossilvorkommen zuzuordnen ist. Unter Berücksichtigung der in der Meeresbiologie verwendeten Begriffsfassungen (RIEDL 1963, 1966) kann davon ausgegangen werden, daß bei der Beschreibung von fossilen autochthonen oder parautochthonen Faunen des Flachwasserbereichs Bestände (erfaßt durch eine Stichprobe), Assoziationen (erfaßt durch mehrere Proben, die eine statistische Bindung erkennen lassen) oder Biozoenosen (bei Nachweis des kausalen Zusammenhanges der Artenbindungen) behandelt werden. Die Abgrenzung dieser Kategorien wird verschieden gehandhabt, ist jedoch weitgehend von der statistischen Aufbereitung des Beobachtungsmaterials abhängig.

Bereits PETERSEN (1915) ging bei der Einführung des Kommunitätenkonzeptes von der Vorstellung aus, daß zur Kennzeichnung von sich statistisch wiederholenden Häufigkeiten von Organismen deren absolute Zahl bezogen auf eine gleichbleibende Meßfläche verwendet werden kann. Die Größe dieser Meßfläche wurde von THORSON (1957) für das rezente Benthos des Litoralbereiches mit 100 cm^2 angegeben.

Bei Übertragung des Kommunitätenkonzeptes auf paläontologisches Material (JOHNSON 1960, FAGERSTROM 1964) ergibt sich die Notwendigkeit einer quantitativen Definition von ökologischen Standardeinheiten unter Berücksichtigung der statistischen Variationsbreite. Am günstigsten für derartige Untersuchungen erweisen sich Organismen-Anhäufungen auf Schichtflächen.

Die hier vorgelegte Untersuchung befaßt sich mit der Häufigkeit und Verteilung von überwiegend sessilen Epibionten auf Schichtflächen und an Schichtstößen innerhalb von Profilen. Die quantitative Behandlung des Fossilmaterials gestattet Aussagen über den Umfang der durch numerische Klassifikationen ermittelten ökologischen Einheiten sowie über die Mindestzahl der diese Einheiten bedingenden Faktoren. Durch die parallel zur statistischen Analyse vorgenommene paläontologische Bearbeitung der Fossilien ist eine Deutung der statistischen Gruppierungen möglich.

Die hier untersuchten Fossilgemeinschaften entsprechen unter Berücksichtigung der hierarchischen Ordnung der Organismen-Assoziation (ANDERSON 1974) dem in seinen synökologischen Beziehungen überschaubaren Basisbereich, wie er bisher nur vereinzelt untersucht wurde (z. B. WALKER 1972).

1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ARBEITSMETHODEN

Den Untersuchungen lagen folgende Fragestellungen zugrunde:

(1) Paläontologische Typisierung von ökologischen Kategorien unter Berücksichtigung der heterotypischen Relationen.

(2) Beschreibung von geologisch einzeitigen ökologischen Kategorien eines überschaubaren Areals durch qualitative und quantitative Erfassung der auf Schichtflächen feststellbaren Fossilien.

(3) Ermittlung der ökologischen Einheiten bzw. Kategorien durch Häufigkeitsstatistik und numerische Klassifikation.

(4) Feststellung der für diese Klassifikation verantwortlichen Mindestzahl von Faktoren.

(5) Deutung der Art dieser Faktoren durch synökologische Beobachtungen und durch Berücksichtigung der mikrofaziellen Merkmale.

(6) Überprüfung der statistischen Methoden hinsichtlich der Brauchbarkeit für fazielle Untersuchungen durch Einsatz verschiedener Verfahren bei der Berechnung der Ähnlichkeitsmaße (Korrelationskoeffizienten, cos-Φ-Koeffizient und Distanzkoeffizient) bei der Klassifikation der quantitativen Merkmale in einem hierarchischen System (Cluster-Analyse) und bei der Bestimmung der Abhängigkeit der Merkmalsausbildung von voneinander unabhängigen Faktoren (Faktoren-Analyse).

(7) Vergleich von Meßmethoden im Gelände (Punktzähl- und Linienmeßmethode) zur Ermittlung von statistisch auswertbaren Probenmengen und -größen.

(8) Vergleich der auf Schichtflächen festgestellten Häufigkeitsverteilungen der Organismen mit quantitativen Daten, die in Profilen an Schichtstößen gewonnen wurden.

(9) Beschreibung von ökologischen Grundkategorien des Schwelmer Kalkes im Raum von Letmathe.

Die zur Anwendung gelangten Arbeitsmethoden umfassen Untersuchungen im Gelände [Detailkartierung (H. BARS 1966, unveröff.); Profilaufnahmen (H. BARS, E. FLÜGEL, H. HÖTZL); quantitative Feldarbeiten (H. HÖTZL); Fossilaufsammlungen (E. FLÜGEL)], im Institut [Paläontologische und mikrofazielle Untersuchung der Proben mit Hilfe von Dünnschliffen, Folien-Abzügen und karbonatfreien Rückständen (E. FLÜGEL, H. HÖTZL; Mitarbeit von J. G. HADITSCH und G.-F. TIETZ)] und Rechenarbeiten an den Rechenzentren in Karlsruhe und in Darmstadt (H. HÖTZL). Genauere Angaben finden sich in den Abschnitten 2.1, 2.2, 3, 4.1 und 4.4.

1.2 UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Die untersuchten Lokalitäten liegen im Bereich des nordöstlichen Kalkzuges des Remscheider Sattels (Sauerland).

Für quantitativ-palökologische und paläontologische Untersuchungen wurden folgende Aufschlüsse auf den Meßtischblättern Hohenlimburg (4611) und Iserlohn (4612) herangezogen:

(a) Stadtgebiet von Letmathe (MTBl. Iserlohn): östlichster Steinbruch südlich der Lenne.

In dem heute stillgelegten Bruch sind die basalen Abschnitte des obermitteldevonischen Schwelmer-Kalkes aufgeschlossen. Die häufigkeitsstatistischen Aufnahmen erfolgten einerseits auf einer auf 30 × 10 m zugänglichen Schichtfläche (Abb. 1–2) und andererseits in zwei Detailprofilen (Profil P am Ostabschluß des Bruches, Profil 36 südlich der untersuchten Schichtfläche).

(b) Stadtgebiet von Hohenlimburg (MTBl. Hohenlimburg): Steinbruch am Steltenberg.

Die quantitativen Aufnahmen wurden in einem Profil an der Westwand der unteren Bruchsohle vorgenommen. Aus dem gleichen Bereich stammen Fossilproben, die zur Charakterisierung von im Gelände unterscheidbaren „Faziestypen" dienten.

(c) Stadtgebiet von Hohenlimburg: Alter Steinbruch Mühlendorf am Südhang des Mühlenberges, an der Straße Letmathe – Hohenlimburg. Fossilproben aus dem Schwelmer-Kalk der Bruch-Westwand und aus dem an der Bundesstraße östlich des Tunneleinganges zum Bruch aufgeschlossenen Profil (Profil Mühlenberg 4).

(d) Stadtgebiet von Letmathe: Steinbruch „Maria" im Gebiet der Helmke.

Die zur Charakterisierung der Fauna und Flora herangezogenen Proben stammen aus dem von HEINRICH (1914) beschriebenen und durch H. BARS neu aufgenommenen Profil des Schwelmer-Kalkes an der Westwand des Steinbruches.

In allen Lokalitäten tritt mit *Stringocephalus burtini* DEFRANCE das Leitfossil des Givets auf.

Die Abbildungen 1–3 zeigen die Lokalitäten.

1.3 FAZIELLE EINORDNUNG

Unter Berücksichtigung der von W. KREBS (1968, 1971) vorgenommenen Fazies-Gliederung im Devon des östlichen Rheinischen Schiefergebirges sind die am Nordrand der Remscheider Antiklinale aufgeschlossenen „Massenkalke" als Ablagerungen auf einem topographisch differenzierten Untergrund im Bereich unterhalb der Zone dauernder Wellenbewegung anzusehen.

Der im Gebiet von Letmathe und Hohenlimburg untersuchte Schwelmer Kalk zeigt sowohl lateral als auch vertikal rasche und teilweise abrupte Fazieswechsel. Dies wird einerseits aus der Häufigkeitsstatistik auf der Schichtfläche deutlich als auch durch die quantitative Erfassung der Detailprofile im östlichsten Steinbruch südlich der Lenne in Letmathe. Qualitativ ist der „Bank-Typus Massenkalk" durch einen von Bank zu Bank, im dm-Bereich zu beobachtenden Wechsel in der Zusammensetzung der Faunen (Abb. 3) und durch relativ starke Tonsedimentation charakterisiert. Rückstandsanalysen (Tabelle 1) zeigen, daß relativ hohe und von Faziestyp zu Faziestyp wechselnde Rückstandsmengen auftreten.

Auf den in Profilen stark wechselnden Fossilinhalt in den mitteldevonischen Kalken des Raumes Letmathe haben bereits HEINRICH (1914) und BECKMANN (unveröff. Dissertation, Univ. Köln) aufmerksam gemacht. Insbesondere in dem von HEINRICH beschriebenen Profil an der Westwand des Steinbruches „Maria" in Letmathe sowie im Steinbruch Steltenberg in Hohenlimburg werden die oben skizzierten Verhältnisse durch wiederholte Einschaltungen von Amphiporen- oder Korallen-Bänken in Folgen von Stromatoporen-Kalken und durch das Auftreten von Brachiopoden-Schillbänken deutlich.

Tabelle 1: Menge der karbonatfreien Rückstände bei verschiedenen Typen des Schwelmer Kalkes

Probe	Lokalität	Mikrofazies	Rückstandsmenge (Gew. %)
3	Steinbruch Steltenberg	(Stromatoporen-Kolonie)	2,76
4	—	Crinoiden-Biosparit	1,36
10	—	Biomikrit mit dendroiden Stromatoporen	1,66
9	—	Biomikrit mit rugosen Einzelkorallen	1,80
12	—	Amphiporen-Biomikrit	1,86
53	Letmathe, Schichtfläche	Stromatoporen-Biopelmikrit	7,50
66	—	graphitoid- und pyritreicher Mikrit mit Thamnoporen und Alveoliten	12,30

2. PALÄONTOLOGIE

Eine paläontologische Bearbeitung der quantitativ erfaßten Bereiche erschien notwendig, da Aussagen über ökologische Kategorien nach Möglichkeit von der Untersuchung niederer taxonomischer Einheiten ausgehen sollten (siehe BÖGER 1970).

Im Gelände konnten folgende Organismen-Gruppen unterschieden werden:

Stromatoporen; tabulate Korallen mit Alveoliten, Favositiden, Helioliten, Auloporen, Thamnoporen; Amphiporen; rugose Einzelkorallen; Bryozoen; Brachiopoden; Gastropoden; Echinodermen. Als weitere quantitativ erfaßte Gruppe wurden nicht näher einzuordnende Schalen-Reste ausgeschieden.

Weitere Aufgliederungen nach Wuchsformen wurden nur bei Messungen in Profilanschnitten durchgeführt (globulare und lamellare bzw. tabulare Kolonien von Stromatoporen und Alveoliten). Stellenweise erfolgte eine Zusammenziehung aller zylindrischen Lebensformtypen (Amphiporen, Auloporen, rugose Einzelkorallen und zylindrische Organismenreste von unklarer systematischer Zuordnung, eventuell Kalkschwämme).

Die systematische Bearbeitung der auf der Schichtfläche und in den Profilen gesammelten Fossilproben hat gezeigt, daß einige im Gelände unterschiedene Gruppen wie zum Beispiel Favositen auf Auswitterungs- und Anschnitteffekte anderer taxonomischer Einheiten (zum Beispiel von grobzelligen Striatoporen bzw. Thamnoporen) zurückzuführen sind. Es ergab sich daher einseits eine Reduktion der effektiv vorhandenen Fossilgruppen, zum anderen aber durch die Untersuchung der im Gelände nicht weiter typisierbaren kleinen Biogene im Größenbereich unter 2 mm eine Erweiterung des Fossilspektrums.

Hier sind insbesondere Foraminiferen, Calcisphaeren und verschiedene Kalkalgen (Dasycladaceen, porostromate Algen) zu nennen.

Da für die Mikrofossilien und für die Stromatoporen-Fauna bereits Publikationen vorliegen (E. FLÜGEL u. H. HÖTZL 1971, E. FLÜGEL, 1974), kann sich die paläontologische Beschreibung auf eine Kurzdarstellung der Fossilgruppen beschränken, wobei den neben Stromatoporen ökologisch wichtigeren Gruppen (Amphiporen; tabulate Korallen) eingehendere Darstellungen gewidmet sind.

Tabelle 2: Fossilinhalt der Schwelmer Kalke (überwiegend nach Dünnschliffuntersuchungen) im Raum Letmathe

	östlichster Steinbruch S der Lenne	Steinbruch „Maria" W-Wand	Steinbruch Steltenberg	Steinbruch Mühlendorf, Hohenlimburg
Foraminiferen				
Archaesphaera sp.	×	×	×	×
Bisphaera cf. *grandis* LIPINA		×	×	
Bisphaera sp.	×	×		
Diplosphaerina sp.		×		
Cribrosphaeroides simplex (REITLINGER)		×		
Palachemonella beckmanni FLÜGEL u. HÖTZL		×		
Parathurammina dagmarae SULEIMANOV		×	×	
Tuberitina sp.		×		
Umbellina sp.		×		
Vicinesphaera sp.	×	×	×	×

	östlichster Steinbruch S der Lenne	Steinbruch „Maria" W-Wand	Steinbruch Steltenberg	Steinbruch Mühlendorf, Hohenlimburg
Stromatoporen				
Actinostroma clathratum NICHOLSON				×
Actinostroma cf. *perlaminatum* LECOMPTE	×			
Actinostroma ? *stellulatum* NICHOLSON	×		×	×
Amphipora ramosa (PHILLIPS)		×	×	
Amphipora rudis LECOMPTE			×	
Clathrocoilona spissa (LECOMPTE)	×		×	×
Hermatostroma roemeri (NICHOLSON)	×			
Hermatostroma schlüteri NICHOLSON	×			
Parallelopora goldfussi BARGATZKY	×		×	
Plectostroma cf. *salairicum* (YAVORSKY)	×		×	
Stachyodes sp.	×	×	×	×
Stromatopora sp.	×			×
Korallen				
Acanthophyllum (Grypophyllum) vermiculare (GOLDFUSS)	×		×	
Acanthophyllum (Neostringophyllum) concavum (WALTHER)	×			
Acanthophyllum (Neostringophyllum) sp.	×		×	
Plasmophyllum (Mesophyllum) vesiculosum annulifer (SCHLÜTER)	×			
Plasmophyllum sp.			×	×
Spinophyllum spongiosum (SCHLÜTER) sensu WEDEKIND	×			
Alveolites suborbicularis LAMARCK	×	×	×	×
Alveolites taenioformis SCHLÜTER	×			
Alveolites sp.			×	×
Aulopora sp.	×		×	
Heliolites (Heliolites) porosus porosus (GOLDFUSS)	×		×	×
Heliolites (Heliolites) cf. *relictus* STUMM	×			
Thamnopora reticulata (BLAINVILLE)	×	×	×	×
Thamnopora vermicularis (M'COY)	×	×		
Bryozoen				
Rhombopora sp.	×			
Brachiopoden				
Spinatrypa sp.	×		×	
Stringocephalus burtini DEFRANCE	×	×	×	×
Gastropoden	×	×	×	×
Crinoiden	×	×	×	×
Echinoideen	×	×		×
Kalkalgen				
Girvanella ducii WETHERED	×	×		×
Girvanella wetheredi CHAPMAN	×	×		
Rothpletzella devonica (MASLOV)	×			
Vermiporella cf. *myna* WRAY		×	×	
Calcisphaeren				
Typus 1 *(Pachysphaerina* sp.*)*	×	×	×	
Typus 2		×		
Typus 3		×		
Typus 4 (*Paleocancellus* sp.)		×		
Typus 5 (*Polyderma* ? sp.)		×		
Typus 6 (*Sphaerella* ? sp.)		×		
Typus 7 (*Radiosphaera* sp.)		×	×	×

2.1 MIKROFAZIELLE MERKMALE

Die Mehrzahl der untersuchten Kalkproben weist eine mikritische Grundmasse auf, die häufig schwarz gefärbt ist. Auflichtuntersuchungen im Erzmikroskop (Prof. Dr. J. G. HADITSCH, Leoben) ergaben, daß die Grau- und Schwarzfärbung durch feinstverteilten Pyrit und durch Graphitoide (Graphit-Vorstadien) bedingt ist:

Graphitoide sind im allgemeinen auf Matrixpartien zwischen Komponenten, auf tonreichere Matrixpartien und nur selten auf Biogene (wie zum Beispiel sekundäre Hohlräume in Crinoiden-Elementen) beschränkt. Feinster Pyrit-Staub aus ungleich großen Körnern tritt unregelmäßig verteilt in der Matrix und in den primären Hohlräumen der Biogene auf. Von besonderem Interesse ist die Beobachtung von Pyritanreicherungen im Bereich der Latilaminae von Stromatoporen (Probe 16, Anschliff H 320, *Actinostroma? stellulatum* NICHOLSON, östlichster Steinbruch S der Lenne, Letmathe); die im Dünnschliff erkennbare „schwarze Lage", welche – häufig unter Ausbildung von „ripair tissue" – die Latilaminae nach oben abschließt, zeigt in diesem Teil des Stockes Anhäufungen von Pyrit, der sehr wahrscheinlich durch Reduktion im Bereich der hier in größerer Menge vorhanden gewesenen organischen Substanz entstanden ist (Abb. 4). Ähnlich dürften die „Pyritnester" im Bereich der Kelch-Hohlräume von Thamnoporen zu erklären sein (Probe 67, Lokalität wie oben).

Insbesondere in den Kalken des HEINRICH-Profils im Steinbruch „Maria" in Letmathe treten Biosparite und Biopelsparite auf, bei welchen die spätige Grundmasse stellenweise beträchtlich neomorph verändert ist.

Als Komponenten finden sich neben den unter 2.2 genannten Biogenen (siehe Tabelle 2) in einigen Faziestypen häufige strukturlose Mikrit-Pellets und seltene mikritische Intraklaste. Krustenkörner wie Ooide und Onkoide fehlen, desgleichen Aggregatkörner wie zum Beispiel Lumps.

Die Biogene sind häufig in Lebensstellung anzutreffen: Auf der im Steinbruch in Letmathe aufgeschlossenen Schichtfläche weist nur ein sehr geringerer Prozentsatz der halbkugeligen oder flach-laminaren Stromatoporen- und Tabulaten-Kolonien Anzeichen von geringfügiger Umlagerung vor der Sedimentüberdeckung auf. Hier und im Profil des Steinbruches „Maria" ist *Stringocephalus burtini* in Lebensstellung zu beobachten.

Kleinere Biogene wie Thamnoporen-Kolonien oder kleine Brachiopoden sind relativ oft zerbrochen, aber kaum weit transportiert. Die letzte Aussage gilt nicht für Biopelsparite des HEINRICH-Profils und im Steinbruch Steltenberg, wo Dachziegellagerung des arenitischen Biodetritus Strömungsbedingungen anzeigen.

Auffallend sind die aus den „Massenkalken" seit langem bekannten, insbesondere im Steinbruch in Letmathe zu beobachtenden autigenen Quarze, deren cm-große Kristalle Stromatoporen- oder Korallenstrukturen einschließen (siehe D. K. RICHTER 1971).

2.2 PALÄONTOLOGISCHE KURZBESCHREIBUNG

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Verteilung der Biogene in den einzelnen Lokalitäten. Insgesamt wurden über 400 Fossilproben mit Hilfe von über 300 Dünnschliffen sowie in Folienabzügen und Anschliffen untersucht. Mengenmäßig verteilt sich das Untersuchungsmaterial zu etwa 55% auf den östlichsten Steinbruch südlich der Lenne in Letmathe, zu 20% auf die Westwand im Steinbruch „Maria" in Letmathe, zu 15% auf den Steinbruch Steltenberg und zu 10% auf den Steinbruch Mühlendorf in Hohenlimburg.

Das bearbeitete Material wird im Institut für Paläontologie der Universität Erlangen aufbewahrt.

2.2.1 FORAMINIFEREN UND CALCISPHAEREN

Foraminiferen und Calcisphaeren finden sich überwiegend in schwach bis gut ausgewaschenen Pelmikriten und Biopelmikriten, seltener auch in Biopelspariten zusammen mit zahlreichen verschieden großen Pellets und einigen Intraklasten. Derartige Sedimenttypen treten an den untersuchten Lokalitäten insbesondere im „HEINRICH-Profil" an der Westwand des Steinbruchs „Maria" auf. In diesem Profil und auch in Proben aus den Steinbrüchen Steltenberg und Mühlendorf läßt sich eine Vergesellschaftung mit Amphiporen und Brachiopoden beobachten. In Proben mit häufigen Stromatoporen und größeren Kolonien von tabulaten Korallen tritt die Zahl der Foraminiferen und Calcisphaeren sowohl hinsichtlich der Individuenmenge als auch hinsichtlich der Artendifferenzierung deutlich zurück; dies zeigen die Proben aus der Schichtfläche in Letmathe.

Nahezu alle im Schliff typisierbaren Foraminiferen gehören zur Familie Parathuramminidae BYKOVA. Ordnet man die bestimmbaren Arten nach ihrer Häufigkeit so ergibt sich folgendes Bild:

Vicinesphaera sp. *Archaesphaera* sp., *Bisphaera* cf. *Bisphaera grandis* LIPINA, *Parathurammina dagmarae* SULEIMANOV, *Cribrosphaeroides simplex* (REITLINGER), *Palachemonella beckmanni* E. FLÜGEL & H. HÖTZL, *Diplosphaerina* sp., *Tuberitina* sp. *Umbellina* sp.

Bis auf die drei zuletzt genannten Gattungen handelt es sich um Vertreter des Benthos, bei *Parathurammina* und *Archaesphaera* eventuell auch um planktonische Foraminiferen (siehe PRONINA & CHUVASHOV 1965).

Als Calcisphaeren werden kalzitische Hohlkugeln mit zum Teil differenzierter Wand und Durchmessern unter 500 μ bezeichnet. Es ist ungeklärt, ob es sich um Protozoen oder um Algen-Reste (Sporen von planktonischen Grünalgen oder Reproduktionszysten von Dasycladaceen?) handelt.

Im untersuchten Material treten Calcisphaeren in ähnlicher Vergesellschaftung wie Foraminiferen auf, wobei wiederum eine deutliche Bindung an Pelmikrite und Pelsparite bzw. Biopelmikrite zu beobachten ist.

Nach Schalen-Bau (Gestalt und Wand-Beschaffenheit) können 7 morphologische Typen unterschieden werden, die teilweise mit bereits bekannten Gattungen identifiziert werden konnten:

Typus 1 (*Pachysphaerina* CONIL; Wand einschichtig, aus mikrogranularem Kalzit, mit dichtliegenden Poren), Typus 2 (große, nicht streng kugelförmige Schalen mit einschichtiger Wand aus im Schliff grau erscheinenden mikrogranularen Kalzit), Typus 3 (Wand einschichtig, möglicherweise agglutiniert; vielleicht aber nur ein Erhaltungsstadium von Typus 1!), Typus 4 (*Palaeocancellus* DERVILLÉ; ; Wand einschichtig, aus durchscheinendem Kalzit (hyalin), Radialporen), Typus 5 (*Polyderma* DERVILLÉ?; Wand zweischichtig mit hyalin-perforierter Innenschale und mikrogranularer-perforierter Außenschale), Typus 6 (*Sphaerella* REITLINGER?; Wand verschieden dick, nicht differenziert, in einigen Schnitten fibrös-hyalin), Typus 7 (*Radiosphaera* REITLINGER; Wand einschichtig, im Durchlicht gelb erscheinend, zu Radialstacheln ausgezogen).

Eine eingehende Beschreibung dieser Foraminiferen und Calcisphaeren findet sich bei E. FLÜGEL & H. HÖTZL (1971).

Bei der als *Cribrosphaeroides simplex* bestimmten Form handelt es sich sehr wahrscheinlich um die durch KAZMIERCZAK (1975) beschriebene Grünalge *Eovolvox silesiensis*.

2.2.2 STROMATOPOREN (Abb. 5, 6, 9, 11, 12, 13)

Die auf der Schichtfläche in Letmathe auftretenden Stromatoporen wurden durch E. FLÜGEL (1974) beschrieben.

Es handelt sich um acht Arten, unter welchen *Actinostroma? stellulatum* NICHOLSON und *Clathrocoilona spissa* (LECOMPTE) quantitativ an der Spitze stehen, gefolgt von *Hermatostroma roemeri* (NICHOLSON) und *Hermatostroma schlüteri* NICHOLSON, *Stachyodes* sp., *Parallelopora goldfussi* BARGATZKY, *Plectostroma* cf. *Plectostroma salairicum* (YAVORSKY), *Actinostroma* cf. *Actinostroma perlaminatum* LECOMPTE.

Einige dieser Arten treten auch in anderen Lokalitäten auf (siehe Tab. 2). Von besonderem Interesse sind die im HEINRICH-Profil und an den Lokalitäten Steltenberg und Mühlendorf in gesteinsbildender Häufigkeit zu beobachtenden Amphiporen, die nachfolgend beschrieben werden:

Amphipora SCHULZ 1883
Amphipora ramosa (PHILLIPS 1841)
(Abb. 12)

\+ 1841 *Caunopora ramosa.* – PHILLIPS, S. 19, Taf. 8, Fig. 22
1968 *ramosa* PHILLIPS 1841, *Caunopora.* – E. FLÜGEL & E. FLÜGEL-KAHLER, S. 342 (cum syn.)

Typus: Das Typusmaterial dürfte nach STEARN (1966: 109) in Verlust geraten sein.

Locus typicus: Chudleigh, South Devon, England.

Stratum typicum: Chudleigh limestone, Givet (siehe GOLDRING et al. 1967).

Definition: Kleine einfache oder verzweigte, gekrümmte und zylindrische Coenostea mit einem Axialkanal, dicken unregelmäßig angeordneten Skelettelementen und großen, gelängten Randblasen.

Abmessungen: Coenostea-⌀ 2,5 bis 5 mm, ⌀ des Axialkanals 0,50–0,60 mm, Maschen-⌀ 0,20–0,40 mm, Dicke der Skelettelemente 0,12–0,25 mm, Größe der Randblasen 0,35 bis 1 mm, Dicke der Außenwand 0,05–0,20 mm.

Material: (a) Schwelmer Kalk; West-Wand des Steinbruchs „Maria" in Letmathe. Probe 1230.

(b) Schwelmer Kalk; Steinbruch Mühlenberg. Probe L 8.

Beschreibung: Die Auswertung eines Schliffes mit 62 Coenostea-Schnitten (Probe 1230) erbrachte folgende Ergebnisse:

Die Coenostea sind überwiegend einfach-zylindrisch entwickelt und nur in seltenen Fällen gekrümmt oder einfach verzweigt. In den meisten Schnitten ist ein im allgemeinen nur sehr schwach tabulierter Axialkanal zu erkennen. Die im gesamten Coenosteum etwa gleich dicken Skelettelemente zeigen lediglich in Längsschnitten eine bevorzugte vertikale, nach oben und außen leicht divergierende Anordnung. Nahezu in allen Schnitten sind Randblasen zu beobachten, die nach innen von in der Dicke nicht abweichenden Skelettelementen, nach außen von einer stellenweise querfibrösen Wand begrenzt sind. Dissepimente in den durch die Skelettelemente gebildeten Maschen sind extrem selten.

In Tabelle 3 sind die Abmessungen von 10 Coenostea zusammengestellt. Es fällt auf, daß einzelne Merkmale nur eine geringfügige Variationsbreite besitzen. Dies gilt insbesondere für den Durchmesser der Coenostea, den Durchmesser der Axialkanäle und für die Dicke der Außenwand. Von relativer Konstanz ist auch der Durchmesser der von den Skelett-

Tabelle 3: Abmessungen von *Amphipora ramosa* (PHILLIPS), Schwelmer Kalk von Letmathe. 10 Querschnitte. Werte in Mikron.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coenosteum-⌀	4500× 3800	4000× 3000	4400× 3700	3600× 3200	3700× 2900	3500× 7000	3600× 6000	3500× 5000	3500	3500
Axialkanal-⌀	600	550	—	—	—	700× 1100	650	600× 1000	600	550
Maschen-⌀	200– 300	120– 200	100– 250	150– 190	120– 300	120– 200	190– 240	100– 190	100– 200	100– 200
Breite der Skelettelemente	150– 200	150– 300	250– 370	70– 140	120– 260	70– 100	140– 240	90– 120	70– 120	90– 120
Randblasen-Breite	240– 360	430– 500	300– 400	—	300	400– 800	120– 180	120– 180	750– 800	400– 600
Randblasen-Höhe	700– 1200	900– 1500	400– 700	—	400	300– 350	620– 740	400– 700	360– 400	300– 400
Randblasen-Begrenzung	140– 200	170– 190	120– 190	—	120– 190	120	180– 250	180– 250	100– 200	100– 200
Außenwand-Breite	70	70– 95	50– 70	70– 95	70– 120	95– 190	50– 95	70– 120	95– 120	70– 95

elementen begrenzten Maschen. Hingegen sind größere Schwankungen – sowohl innerhalb eines Coenosteums als auch zwischen verschiedenen Coenostea – in den Dicken der Skelettelemente und bei den Abmessungen der Randblasen zu beobachten.

Sowohl in Längs- als auch in Querschnitten fällt eine deutliche Dreiteilung des Coenosteums auf: die Axialröhre wird von dem relativ engmaschigen, aus Skelettelementen gebildeten Reticulum ummantelt; gegen außen zu schließt sich der Bereich der Randblasen (= Randzone) an. Untersucht man das prozentuelle Verhältnis dieser drei Bereiche in 10 Schnitten, so ist eine weitgehend ähnliche Tendenz festzustellen (Tabelle 4).

Tabelle 4. Prozentueller Anteil der Coenostea-Bereiche bei *Amphipora ramosa* (PHILLIPS) aus dem Schwelmer Kalk von Letmathe. Probe 1230.

Coenosteum-⌀ (Mikron)	Gesamt-⌀ = 100% Zentral-Bereich	Reticulum-Bereich	Rand-Bereich
3500	17	51,5	31,5
3700	13,5	54	32,5
3500	14	46	40
3200	18,5	44	37,5
3600	17	33	50
3600	17	50	33
3400	18	47	35
4200	12	57	31
4200	14	48	38
3200	18,5	37,5	44

Die Umkehrung der sonst üblichen Verhältnisse in einem Fall dürfte durch die Schnittlage bedingt sein. Generell ist ein weitgehend übereinstimmendes Verhalten der verschie-

denen Coenostea zu beobachten. Das arithmetische Mittel beträgt für den Zentralbereich 15,95, für das Reticulum 46,40 und für den Randbereich 37,25.

Die Mikrostruktur der Skelettelemente ist für die Unterscheidung der Gattung *Amphipora* von *Paramphipora* YAVORSKY von wesentlicher Bedeutung (siehe YAVORSKY 1968): Im Bereich des Reticulums besitzen die Sklettelemente eine durch Konzentration von „specks" markierte, dunkel gefärbte Zone von etwa 35–45 μ Breite (gemessen an bis zu 180 μ breiten Skelettelementen). Diese Zone liegt nicht immer zentral; in einzelnen Abschnitten der Skelettelemente ist sie scheinbar unterbrochen. Die Ummantelung der Zentralzone erfolgt durch etwa senkrecht zur Oberfläche der Skelettelemente stehende, gelblich gefärbte Kalzitfasern, die einen Querschnittsdurchmesser zwischen etwa 6 und 10 μ besitzen. Die Begrenzung der Skelettelemente nach außen ist im allgemeinen scharf.

Im Gegensatz zu den Skelettelementen wurde in der Außenwand des Coenosteums und in der Wand des Axialkanals keine Medianzone beobachtet. Die Wand des Axialkanals ist gegen das Lumen zu deutlich markiert; die Begrenzung gegen das Reticulum erscheint unscharf. In der Wand fällt eine querfibröse Feinstruktur auf, die durch radial angeordnete, schwarz gefärbte, bis zu 5 μ breite Elemente zwischen bis zu 12 μ breiten Kalzitfasern gebildet wird.

Einen ähnlichen Feinbau besitzt die Außenwand: Auch hier treten radial angeordnete, gelblich gefärbte Kalzitfasern auf, zwischen denen hellere, bis etwa 4 μ breite, ebenfalls radial angeordnete Elemente auffallen. Die Wandbegrenzung ist sowohl gegen innen als auch gegen außen scharf.

Bemerkungen zur Bestimmung: Nach GOGOLCZYK (1956) können folgende Merkmale zur Unterscheidung von Arten innerhalb der Gattung *Amphipora* verwendet werden: Durchmesser des Coenosteums, Durchmesser des Axialkanals, Dicke der Skelettelemente, Durchmesser der durch die Skelettelemente gebildeten Maschen, Art der Retikulation, Breite und Höhe der Randblasen, Dicke der Randblasen-Wände, Dicke der Außenwand, Ausbildung der Böden im Axialkanal und der Dissepimente in den Randpartien des Coenosteums.

Von diesen Merkmalen erweisen sich die Dimensionen der Coenostea und der Axialkanäle als Elemente mit relativ geringen quantitativen Variationsbreiten. Zur Arten-Trennung bietet sich außerdem die prozentuellen Anteile der Coenostea-Bereiche an (siehe Tabelle 4).

Unter Berücksichtigung dieser Merkmale können folgende Arten zum Vergleich herangezogen werden:

Amphipora ramosa (PHILLIPS), *Amphipora regularis* LESOVAJA in LESOVAJA & IKONNIKOVA, *Amphipora spissa* YAVORSKY und *Amphipora uralensis* YAVORSKY. Die ebenfalls ähnliche Art *Amphipora patokensis* RIABININ ist auf Grund der abweichenden Mikrostruktur zur Gattung *Paramphipora* zu stellen.

Von diesen Arten scheiden *Amphipora regularis* und *Amphipora uralensis* für nähere Vergleiche aus, da Randblasen nicht oder nur spärlich entwickelt sind. *Amphipora spissa* besitzt ein breiteres Reticulum und eine schmälere Randzone (Zentralbereich 14 %, Reticulum 72 %, Randbereich 14 %). Hingegen bestehen gute Übereinstimmungen zwischen unserem Material und den von LECOMPTE (1952 : 325) aus dem belgischen Givet als *Amphipora ramosa* beschriebenen Formen. Nachmessungen auf den Figuren 2c und 5a auf Tafel 68 sowie auf Fig. 3 auf Tafel 67 (Material NICHOLSON) ergaben folgende Prozentwerte: Zentralbereich 12, 14, 12 und 14 %; Reticulum 59, 55,5, 65 und 53 %; Randbereich 39, 30,5, 23 und 33 %.

Verbreitung der Art: *Amphipora ramosa* (PHILLIPS) wird weltweit aus dem Givet beschrieben. Während die aus dem Frasne bekanntgemachten Funde durchaus mit der Art zu identifizieren sein dürften, sind die aus stratigraphisch älteren Schichten gemeldeten Vorkommen zu überprüfen. So ist die von YAVORSKY (1957: 63, Taf. 41, Fig. 1–9) aus dem Unter-Devon des Kuznets beschriebene Form zu *Paramphipora* zu stellen. Die von LEMAITRE (1934: 202, Taf. 17, Fig. 2–3) aus dem unteren Devon der Bretagne beschriebene Kolonie weist nach den aus den Abbildungen ermittelten Werten stark abweichende Prozentsätze auf. Die von CHEN (1959: 286, Taf. 1, Fig. 2) aus dem Ober-Devon von China bekanntgemachte Form ist als *Amphipora rudis* LECOMPTE zu bestimmen.

Amphipora rudis LECOMPTE, 1952
(Abb. 9)

\+ 1952 *Amphipora rudis* nov. sp. – LECOMPTE, S. 329, Taf. 69, Fig. 3, 3a, 4, 5, 5a, 5b, 5c
1968 *rudis* LECOMPTE, *Amphipora*. – E. FLÜGEL & E. FLÜGEL-KAHLER, S. 369

Typus: Durch LECOMPTE wurde das auf Tafel 69, Fig. 3 und 3a abgebildete Exemplar 5036 als Holotypus festgelegt. Aufbewahrung: Naturhistorisches Museum, Brüssel.

Locus typicus: Senzeille, Becken von Dinant, Belgien.

Stratum typicum: F 1 b?, Frasne, unteres Ober-Devon.

Definition: Reticulum aus dicken Skelettelementen, die auffallend ungleiche und grobe Maschen bilden. Randblasen extrem reduziert. Im Längsschnitt verlängerte, 0,40 bis 0,50 große Maschen. An der Peripherie stellenweise lange Pfeiler.

Abmessungen: Coenosteum-⌀ 3–3,5 mm, Axialkanal-⌀ 0,50–0,80 mm, Durchmesser der Maschen 0,40–0,50 mm, Dicke der Skelettelemente 0,15–0,25 mm.

Material: Westwand an der unteren Bruchsohle des Steinbruchs Steltenberg in Hohenlimburg. Schwelmer Kalk. Probe Stel 13.

Beschreibung: Die Coenostea sind zylindrisch entwickelt, wobei in Längsschnitten häufig eine leichte Krümmung zu beobachten ist. Innerhalb der Coenostea treten auffallende Breiten-Unterschiede auf (Schwankungen zwischen 0,16 und 0,22 bzw. 0,18 und 0,20 mm). Als wesentliche Kriterien sind die zwischen 0,15 und 0,20 mm dicken und zu groben und unregelmäßigen Maschen (⌀ 0,15 bis 0,45 mm) vereinigten Skelettelemente, das Fehlen einer deutlich ausgebildeten Außenwand und der – allerdings nur in wenigen Schnitten erkennbare – große Axialkanal (⌀ bis etwa 0,50 mm) zu nennen. In Längsschnitten sind lange, mehrere Millimeter verfolgbare Vertikalelemente zu sehen. Randblasen scheinen vollkommen zu fehlen.

Die Coenostea bestehen demnach nur aus zwei Bereichen (Zentralbereich und Reticulum, 15–25 % und 75–85 %).

Auf eine tabellarische Darstellung der quantitativen Daten kann verzichtet werden, da die Art durch qualitative Merkmale gut charakterisiert ist.

Die Mikrostruktur der Skelettelemente ist durch den Besitz einer dunkel gefärbten Medianzone gekennzeichnet. In dieser etwa 12 µ breiten Zone (gemessen in etwa 120 µ breiten Skelettelementen) sind dichtliegende schwarze „specks" (⌀ etwa 1–3 µ) zu beobachten. Stellenweise ist diese Zone deutlich als ± scharf ausgeprägte „Mittellinie" entwickelt, stellenweise jedoch gehen senkrecht von dieser Medianzone dunkel gefärbte Ansammlungen von specks in den aus radialstehenden helleren Kalzitfasern bestehenden

ummantelnden Bereich hinein. Es ist wahrscheinlich, daß es sich hier um eine Wanderung von organischer Substanz an den Grenzflächen zwischen den bis zu 12 µ breiten Kristallen handelt. Die ummantelnden Kalzitfasern sind in auffallender Weise radial angeordnet. Die Medianzone dürfte als Bereich der initialen Skelettbildung anzusehen sein. Bei dem sich anbietenden Vergleich mit Korallen (WISE 1969) fällt jedoch auf, daß Hinweise auf einen Trabekelbau fehlen.

Bemerkungen zur Bestimmung: Obwohl einige Unterschiede im Durchmesser der Coenostea und in der Maschengröße bestehen, kann das vorliegende Material mit Sicherheit als *Amphipora rudis* bestimmt werden, da das Fehlen der Wand und der Randblasen sowie die grobe Ausbildung der Skelettelemente nur bei dieser Art beschrieben werden.

Möglicherweise ist das Fehlen der Wand sekundärer Natur. Bei 200facher Vergrößerung ist zu sehen, daß bohrende Algen mit Filamentdurchmessern um 2–4 µ die Coenosteumoberflächen offensichtlich von außen her mikritisiert haben, so daß bis zu 20 µ dicke Mikritkrusten um Amphiporen-Fragmente entstanden sind. In ähnlicher Weise äußert sich FISCHBUCH (1970), der die als *Amphipora rudis* bezeichneten Formen auf abgerollte Exemplare von *Amphipora ramosa* zurückführen will.

Verbreitung der Art: *Amphipora rudis* LECOMPTE wurde aus dem Givet und Frasne von Belgien beschrieben. Weitere Funde stammen aus dem Givet von Mähren und aus dem unteren Ober-Devon der Karnischen Alpen. Mögliche Bestimmungen beziehen sich auf Material aus dem Frasne von Afghanistan und aus China.

2.2.3 KORALLEN (Abb. 5, 6, 7, 8, 10, 11)

Unter den im Schwelmer Kalk der untersuchten Lokalitäten auftretenden Korallen überwiegen quantitativ die tabulaten Korallen, die aus diesem Grunde auch detailierter beschrieben werden.

Die Rugosa sind im östlichsten Steinbruch südlich der Lenne in Letmathe im Bereich der Schichtfläche durch folgende Arten vertreten (Bestimmung Dr. R. BIRENHEIDE, Frankfurt a. M.):

Acantophyllum (Grypophyllum) vermiculare (GOLDFUSS), *Acanthophyllum (Neostringophyllum) concavum* (WALTHER), *Acanthophyllum (Neostringophyllum)* sp., *Plasmophyllum (Mesophyllum) vesiculosum annulifer* (SCHLÜTER), *Spinophyllum spongiosum* (SCHLÜTER) sensu WEDEKIND.

Diese Arten sind in den mitteldevonischen Eifel-Riffen überwiegend aus der Zone der „Rübenriffe" bekannt (siehe BIRENHEIDE 1962a, 1962b, 1963). Es fällt auf, daß unter dem untersuchten Material keine koloniebildenden rugosen Korallen vertreten sind.

Die Tabulata verteilen sich auf Heliolitinae, Pachyporinae, Alveolitinae und Auloporinae. Quantitativ stehen die Alveoliten an der Spitze, wobei jedoch deutliche Unterschiede von Bank zu Bank zu beobachten sind.

Tabulata MILNE-EDWARDS & HAIME, 1850
Heliolitidae LINDSTRÖM, 1876
Heliolitinae LINDSTRÖM, 1876
Heliolites DANA, 1846

Heliolites (Heliolites) porosus porosus (GOLDFUSS, 1826) (Abb. 8)

+ 1826 *Astrea porosa.* – GOLDFUSS, S. 64, Taf. 21, Fig. 7a bis 7g
1956 *Heliolites (Heliolites) porosus porosus* (GOLDFUSS). – H. FLÜGEL, S. 73, Taf. 1, Fig. 1–2 (cumsyn.)

Typus: Als Lectotypus wurde durch H. FLÜGEL (1956) das bei GOLDFUSS auf Tafel 21, Fig. 7d und 7e abgebildete Exemplar 214d bestimmt. Aufbewahrung: Paläontologisches Institut der Universität Bonn.

Locus typicus und stratum typicum: nicht bekannt. „Devon der Eifel".

Definition: Tabularien-⌀ zwischen 1,2 und 1,6 mm, meist 1,4–1,5 mm. Tabularien relativ weitständig, auf einen qcm kommen etwa 11–17 Tabularien. Große von polygonalen Tubuli erfüllte Zwischenräume. Tubuli-⌀ zwischen 0,2 und 0,4 mm, Mauern der Tubuli zum Teil verdickt. Septaldornen in den Tabularien meist gut ausgebildet. Zahl der Tabulae (bezogen auf 5 mm) in den Tabularien 8–16, in den Tubuli 14–21.

Material: Diese Art ist auf der untersuchten Schichtfläche im Schwelmer Kalk von Letmathe mit zahlreichen Kolonien vertreten, wovon acht Kolonien quantitativ ausgewertet wurden (Tab. 5).

Tabelle 5: Abmessungen von *Heliolites (Heliolites) porosus porosus* (GOLDFUSS) aus drei Teilbereichen auf der quantitativ erfaßten Schichtfläche im östlichsten Steinbruch südlich der Lenne, Letmathe.

Schliff	Tabularien ⌀	Tabularien Zahl pro qcm	Tabularien Tabulae auf 5 mm	Tubuli ⌀	Tubuli Zahl auf 5 mm	Abstand der Tabularien mm	Zahl der Tubuli zwischen den Tabularien
Feld 53							
1004	1,2–1,5	12	—	0,3–0,4	25	3–4	3–5
1018	1,0–1,3	16	—	0,2–0,3	25–30	2,5–3,0	3–5
1020/1021	1,0–1,2	12	12–16	0,2–0,3	15	2,5–3,0	3–5
Feld 60							
1120	1,2–1,4	14	—	0,3–0,5	—	2,5–3,0	3–7
1124/1125	0,9–1,2	12	10–11	0,2–0,3	15–16	2,2–5,0	4–8
1167/1168	1,2–1,4	12	12	0,2–0,3	12–15	2,5–5,0	4–8
1172	1,1–1,3	12	10–13	0,2–0,3	20	2,0–2,5	4–7
Feld 61							
1129	1,0–1,2	18	10–12	0,2–0,4	15	2,5–3,5	4–7

Beschreibung: Bedingt durch die flach-laminare Gestalt der bis zu 10 cm großen Kolonien liegen von einigen Stöcken nur Querschliffe vor, so daß nicht alle für eine Artbestimmung erforderlichen Merkmale gemessen werden können. Es ist daher nicht sicher, ob die Proben 1004 und 1018 zu der hier beschriebenen Art zu stellen sind, da die Zahl der Tabulae in den Tubuli auffallend hoch ist.

Die Zuordnung zu *Heliolites porosus* wurde im wesentlichen nach den übereinstimmenden quantitativen Daten vorgenommen. Dies gilt insbesondere für die Durchmesser der Tabularien (0,9–1,5 mm) und die Zahl der Tabularien pro qcm (12–18). Ein Vergleich mit

den von H. FLÜGEL (1956: 95) zusammengestellten Abmessungen der übrigen Unterarten von *Heliolites porosus* zeigt, daß unser Material nur mit der Stammform identifiziert werden kann.

Für eine darartige Bestimmung sprechen auch die qualitativen Merkmale, insbesondere das häufige Auftreten von Septaldornen in den Tabularien und die regelmäßige Verteilung der Tabularien in einem aus im Querschnitt häufig kreisförmigen Tubuli bestehenden Reticulum.

Verbreitung der Art: Die Unterart ist weltweit verbreitet und dürfte im Mittel-Devon ihre Blütezeit gehabt haben.

Heliolites (Heliolites) cf. *Heliolites relictus* STUMM, 1954
(Abb. 7)

Zum Vergleich:

\+ 1954 *Heliolites relictus* n. sp. – STUMM, S. 224, Taf. 1, Fig. 1–2

Material: Probe 1025/26, östlichster Steinbruch südlich der Lenne, Letmathe, Schichtfläche.

Beschreibung: Es handelt sich um eine flach-scheibenförmige kleine Kolonie, die aus kreisrunden, gut begrenzten Tabularien ohne Septaldornen und aus engtabulierten Tubuli aufgebaut wird. In den Tabularien treten nur wenige Böden auf.

Abmessungen: Tabularien-∅ zwischen 1,2 und 2,5 mm, Zahl der Tabularien pro qcm 12–14, Zahl der Tabulae in den Tabularien (bezogen auf 5 mm) 6–7, ∅ der Tubuli 0,30 bis 0,40, Zahl der Tabulae in den Tubuli (bezogen auf 5 mm) 15–20, Abstand der Tabularien 3–4, Zahl der Tubuli zwischen den Tabularien 4–6.

Bemerkungen zur Bestimmung: Die Kombination von wenigen Tabulae in den Tabularien und dichtstehenden Böden in den Tubuli sowie das Fehlen von Septaldornen sprechen für einen Vergleich mit *Heliolites relictus* STUMM. Eine ähnliche Form wurde durch E. & H. FLÜGEL (1961: 396) aus dem Mittel-Devon des Anti-Taurus bekannt. Bei beiden Kolonien sind jedoch geringe morphologische Abweichungen gegeben, so daß eine Identifizierung unseres Materials mit der amerikanischen Art nicht gerechtfertigt ist.

Verbreitung der Art: *Heliolites relictus* STUMM wurde aus dem Mittel-Devon von Nevada, USA, beschrieben.

Favositidae DANA, 1846

Pachyporinae GERTH, 1921

Thamnopora STEININGER, 1831

Bei den ersten quantitativen Geländeaufnahmen wurden innerhalb der dendroiden Tabulaten zwischen „*Thamnopora*" und „*Striatopora*" (mit scharf angesetzten Kelchwänden) unterschieden. Die Schliffuntersuchungen haben gezeigt, daß auf der Schichtfläche nur die Gattung *Thamnopora* vertreten ist, wobei mindestens zwei Arten zu unterscheiden sind. Da die Arten-Trennung weitgehend nach quantitativen Merkmalen vorgenommen wird, kann nachfolgend eine Sammelbeschreibung des Materials gegeben werden:

Da in den Schliffen nur isolierte, unverzweigte Äste vorliegen, kann über die ursprüngliche Gestalt der Kolonien kaum etwas ausgesagt werden. Es fällt jedoch auf, daß in keinem

der nicht seltenen Schnitte Anzeichen für Verzweigungen festgestellt wurden. Die Durchmesser bzw. die Breite der Äste schwanken zwischen 2 und 12 mm (Tabelle 6), wobei individuelle Abweichungen zwischen 20 und 50 % möglich sind.

Die Gestalt der Kelche ist meist eckig-polygonal, die Lumina sind abgerundet. In der Anordnung der Coralliten innerhalb der Kolonie sind in unserem Material insoferne Unterschiede zu beobachten, als neben Formen mit schräg nach außen und oben verlaufenden Zellröhren auch Formen auftreten, die im Axialteil subparallele und gegen die Peripherie zu nahezu senkrecht umgebogene Zellröhren besitzen. Diese beiden Typen dürften verschiedenen Arten zuzuordnen sein.

Die Wände der Coralliten sind durch Stereoplasma-Anlagerung verdickt, wobei die Verdickung nach außen und distal deutlich zunimmt. Neben homogenen, strukturlosen Wänden wurden auch querfibröse Wände beobachtet. Wand-Poren sind nur in einigen Schnitten feststellbar, die Poren sind uniserial entwickelt.

Die Tabulae besitzen eine unterschiedliche Ausbildung. In den meisten Coralliten sind relativ dichtstehende, häufig abgebrochene und dann dornenförmig erscheinende dicke Böden zu beobachten. Seltener finden sich auch dünne, weit stehende Tabulae.

Abmessungen: In Tabelle 6 sind die Maße der guten Schnitte zusammengestellt. Es muß hierbei berücksichtigt werden, daß die Werte der Kelch- ⌀ sicher zu niedrig ausfallen, da häufig nur schräge Schnitte und keine Oberflächen gemessen wurden.

Bestimmung des Materials: Alle in Tabelle 6 erfaßten Schnitte stammen aus Proben von der Schichtfläche in Letmathe. Gleichartige Formen treten in den Profilen P und 36 in Letmathe sowie im Material aus Steltenberg und Mühlendorf auf (siehe Abb. 11).

Die sehr zahlreichen Arten von *Thamnopora* werden außer nach quantitativen Daten im allgemeinen nach der Gestalt der Kolonie und der einzelnen Äste, nach dem Umriß und der relativen Dicke der Kelche, nach der räumlichen Anordnung der Coralliten und untergeordnet auch nach der Beschaffenheit der Wände und der Querböden sowie nach der Entwicklung der Wand-Poren unterschieden.

Setzt man die Breite der Ästchen mit dem Kelch- ⌀ bzw. mit dem Durchmesser der Zellröhren in Beziehung, so lassen sich zwei Gruppen gut unterscheiden:

Tabelle 6: Maße von *Thamnopora*-Proben aus dem Schwelmer Kalk der Schichtfläche in Letmathe. Angaben in Mikron.

Schliff	Ast-Breite	Kelch- ⌀	Coralliten-Durchmesser	Wand-Dicke	Poren- ⌀	Böden-Dicke	Böden-Abstand
1067/61	2000–4500	400–600	300–400	150–300	120–140	–	100–300
1082/60	5000–10000	800–1000	600–700	200–300	selten	selten	selten
1100/60	bis 5000	600	400–500	100	selten	100	400–1000
1111/60	bis 8000	bis 1000	600–900	300–400	200	selten	selten
1112/60	4000–8000	500–600	300–500	300	100	selten	selten
1112/60a	7000–9000	500–1200	400–600	300–400	100–150	dick	200–300
1123/61	5000	300–500	200–300	150	selten	50	bis 900
1145/61	4000–5000	600–700	500–600	200–300	selten	–	200
1154/61	8000–12000	600–1000	500–700	200–400	–	dünn	200–300
1176/60	6000–7000	800–1000	500–600	bis 350	100–150	50	100–250

Art A: Auffallend breite Ästchen mit großen Kelchen (innen meist abgerundet) und polygonalen Zellröhren, die schräg nach außen und oben verlaufen. Die Wände sind durch

den Besitz von sehr deutlichen Grenzlinien zwischen verdickten Mauern benachbarter Coralliten gekennzeichnet.

Hierher gehören die Schnitte in den Schliffen 1082, 1111, 1112 und insbesondere in 1154.

Im letztgenannten Schliff sind alle Merkmale sichtbar, die bei *Thamnopora reticulata* (BLAINVILLE) auftreten (siehe LECOMPTE 1939: 111): Abb. 11.

Art B: Zarte Ästchen mit relativ kleinen Coralliten und schräg nach außen verlaufenden Zellröhren. Die Wände zeigen eine deutliche, dunkle Trennungslinie an und meist eine wohl sekundäre querfibröse Mikrostruktur.

Zu dieser Art sind die Proben 1067, 1100 und 1123 zu stellen. Diese Formen dürften auf Grund der geringen Dimensionen der Ästchen mit *Thamnopora vermicularis* (M'COY) zu identifizieren sein (siehe LECOMPTE 1939: 130 und KROPFITSCH & SCHOUPPÉ 1953: 103).

Die Bestimmung der restlichen Schnitte ist schwierig. Schnitt 1145 unterscheidet sich von *Thamnopora reticulata* durch schmälere Coralliten und dünnere Wände, der Kelch-Ø ist jedoch der gleiche. Die Zellröhren sind zudem nur schwach nach außen gebogen.

Eine zu diffizile Trennung des Materials nach Arten oder Unterarten erscheint kaum angebracht, wenn man bedenkt, daß alle in Tabelle 6 angeführten Proben von einer Schichtfläche stammen.

Verbreitung der Arten: Beide Arten wurden weltweit aus dem Zeitraum oberes Unter-Devon bis unteres Ober-Devon beschrieben.

Alveolitinae DUNCAN, 1872

Alveolites LAMARCK, 1801

(Abb. 10)

Formen der Unterfamilie Alveolitinae sind sowohl auf der Schichtfläche als auch in den Meßprofilen in Letmathe sowie in Proben aus dem Steinbruch Steltenberg häufig. Wie Schliffe und Folienabzüge zeigen, handelt es sich um flach-inkrustierte und laminare Kolonien mit Höhen von im allgemeinen unter 10 cm.

Im Gelände wurden Alveoliten und Favositen unterschieden, wobei die Gestalt der Kelch-Querschnitte als Trennungsmerkmal herangezogen wurde. Diese Unterscheidung kann nicht bestätigt werden; bei den als Favositen angesprochenen Proben handelt es sich nach Schliffbefunden um Horizontalschnitte der zentralen Koloniepartien von ramosen Alveoliten.

Die Alveoliten im Bereich der Schichtfläche verteilen sich bei insgesamt 40 Schliffproben aus dem Testfeld 53, 75 Proben aus dem Testfeld 60 und 48 Proben aus dem Testfeld 61 prozentuell in folgender Weise auf die quantitativ ausgewerteten Kleinbereiche: Testfeld 53–27,4 % aller Proben mit Alveoliten, Testfeld 60–17,6 %, Testfeld 61–12,5 %.

Bedingt durch die flach inkrustierten Kolonieformen und die davon abhängigen ungünstigen Schnittlagen sind nur in etwa der Hälfte aller Schliffe die für eine Art-Bestimmung erforderlichen Merkmale sichtbar. Nachfolgend wird eine Sammelbeschreibung der morphologischen Kriterien gegeben:

Die Gestalt der Kolonien ist im Schliff-Bereich nicht immer sicher festzulegen. Häufig sind kreisförmig umrissene Schnitte zu beobachten, die entweder auf flach-globulare Kolonien oder aber auf Querschnitte der ebenfalls nicht seltenen ramosen Stöcke zurückzuführen sind. In einigen Schliffen sind inkrustierte Kolonien zu beobachten, wobei die

Alveoliten fast immer durch eine dünne Stromatoporen-Lage *(Clathrocoilona spissa)* von der Unterlage (fast durchwegs rugose Einzelkorallen, *Acanthophyllum*) getrennt werden. Die bestimmbaren inkrustierten Kolonien besitzen kleinere Kelche und dünnere Wände als die flach auf dem Sediment aufsitzenden Stöcke oder als ramose Kolonien.

In der Gestalt der Kelche liegen nur geringe Unterscheidungsmöglichkeiten: Bei der Mehrzahl der Formen treten halbmondförmige bis gleichmäßig ovale Umrisse auf. Lediglich bei den auf Einzelkorallen inkrustierten Formen finden sich auffallend längliche Kelchquerschnitte.

Die Wand ist bei den meisten Kolonien im peripheren Abschnitt der Stöcke stark verdickt, wobei innerhalb einer Kolonie Extremwerte zwischen 100 und 400 Mikron auftreten können. Ausnahmen bilden die auf Einzelkorallen aufgewachsenen Formen, die ausgesprochen dünne Kelchwände besitzen (30–35 Mikron).

Septaldornen sind fast immer nur undeutlich zu erkennen, wobei Kolonien mit dicken Kelchwänden relativ häufig einen gut entwickelten Septaldorn zeigen. Da nur in einem Schliff mehr als 3 Septaldornen zu beobachten waren, ist anzunehmen, daß die Dornen sehr kurz sind und von sekundären Wandverdickungen umschlossen werden.

In nur drei Schliffen wurden Wand-Poren beobachtet, jedoch macht die im Längsschnitt zu beobachtende perlschnurartige Einschnürung der Wände die Existenz von Poren wahrscheinlich. Die im Längsschnitt gemessene Poren-Höhe beträgt 24 Mikron und 50 bis 100 Mikron.

Die Querböden der Coralliten sind auffallend dünn (20–30 μ), ihre Zahl (bezogen auf 10 mm) liegt zwischen 15 und 40, meist jedoch bei 30–40. Hierbei ist kein Unterschied bei verschieden geformten Kelchen zu beobachten. Der Vertikalabstand der Tabulae ist starken Schwankungen unterworfen, die zum Teil sicher auf Zerstörung der dünnen Querelemente durch Rekristallisation innerhalb der Kelchlumina zurückzuführen ist.

Abmessungen: Abb. 14 gibt einen Überblick über Wand-Dicke, Kelch-⌀ und Zahl der Böden/10 mm einiger Proben aus den oben genannten Testfeldern.

Bestimmung des Materials: Zur Arten-Trennung bei *Alveolites* werden außer den Abmessungen von den meisten Autoren die Koloniegestalt, die Kelchform, die Ausbildung der Wand und der Septaldornen sowie die Entwicklung der Wand-Poren und der Böden herangezogen.

Unter Berücksichtigung dieser Merkmale und nach Kelch-⌀ und Wand-Dicke kann das vorliegende Material drei Arten-Kreisen zugewiesen werden (siehe Abb. 14):

Art A: Auf Korallen oder Stromatoporen flach inkrustierte kleine Kolonien mit auffallend kleinen Kelchen und nicht verdickten Wänden.

Art B: Diese Form kann möglicherweise dem Arten-Kreis C angeschlossen werden, da sie eine auffallend große Reichweite der Kelch-⌀ zeigt. Da die Wände jedoch nur geringfügig verdickt sind, erfolgt eine taxonomische Trennung.

Art C (Abb. 10): Hierher ist die Mehrzahl des Materials zu stellen. Es handelt sich um verschieden große, laminar ausgebreitete Kolonien, die dem Sediment flach aufliegen. Die Kelche sind kurz und besitzen stark verdickte Wände. Bei einigen Kolonien ist eine Differenzierung in einem zentralen Bereich mit relativ schwach verdickten Wänden und in einen peripheren Abschnitt aus nach außen und oben gebogenen Coralliten mit extrem dicken Wänden zu erkennen.

Da sich alle in Abb. 14 verwerteten Proben auf einer Schichtfläche fanden, kann angenommen werden, daß es sich ± um eine Population handelt. Eine zu diffizile Arten-Tren-

nung erscheint auf Grund der nur geringen qualitativen und quantitativen Merkmale kaum angebracht. Soferne man die von LECOMPTE (1939) beschriebene große morphologische Variationsbreite der Art akzeptiert, können die als Arten C und (möglicherweise) B charakterisierten Formen mit *Alveolites suborbicularis* LAMARCK identifiziert werden. Die Art A besitzt Merkmale, die bei *Alveolites taenioformis* SCHLÜTER beschrieben wurden (siehe LECOMPTE 1933, 1939).

Verbreitung der Arten: *Alveolites suborbicularis* tritt in weiter Verbreitung im Mittel-Devon und im unteren Ober-Devon auf. *Alveolites taenioformis* findet sich im Givet des Rheinischen Schiefergebirges und im Becken von Dinant.

Auloporidae MILNE-EDWARDS & HAIME, 1851

Auloporinae MILNE-EDWARDS & HAIME, 1851

Aulopora GOLDFUSS, 1829

Nicht näher bestimmbare Vertreter dieser Gattung finden sich relativ selten auf und in Stromatoporen-Kolonien, insbesondere auf Stöcken von *Actinostroma? stellulatum* NICHOLSON. Es handelt sich um biseriale Coralliten-Reihen mit stark verdickten Kelchwänden, die im Schliff meist gelb gefärbt sind.

2.2.4 BRYOZOEN

Als sehr seltene Funde konnten in Dünnschliffen zerbrochene Bryozoenzoarien nachgewiesen werden, welche vermutlich der Gattung *Rhombopora* MEEK (Cryptostomata) zuzuordnen sind. Es handelt sich um ramose, etwa 10 mm breite Zoarien mit an der Peripherie deutlich umgebogenen schmalen Zooecien und kleinen Acanthoporen. Querelemente scheinen zu fehlen bzw. sind lediglich durch einen Querboden im Übergangsbereich zwischen der zentralen und peripheren Zoariumregion vertreten. Dieses Element erinnert an das von YANG (1964: 31) beschriebene Hemiseptum.

Quantitativ gesehen sind Bryozoen-Reste im Vergleich mit anderen Biogenen ausgesprochen selten. Im Gesamtmodalbestand nehmen Bryozoen etwa 0,5 % ein.

2.2.5 BRACHIOPODEN

Obwohl Brachiopoden-Schalen im Schliff-Bereich nicht selten zu beobachten sind, konnten im Bereich der Schichtfläche und in den quantitativ erfaßten Profilen außer – stellenweise als Schill angereicherten – Exemplaren von *Stringocephalus burtini* DEFRANCE nur wenige Brachiopoden gefunden werden. Es handelt sich um Vertreter der Atrypinae (*Spinatrypa* STAINBROOK) und der Terebratulaceen.

2.2.6 GASTROPODEN

Gastropoden gehören mit zu den nur selten beobachteten Faunenelementen. Im Bereich der gleichmäßig gebankten Kalke in den Profilen Mühlendorf und Steltenberg sowie im HEINRICH-Profil an der Westwand des Steinbruchs „Maria" in Letmathe treten jedoch in gehäufter Form Reste von zerbrochenen Gastropoden auf. Es handelt sich um auffallend kleine flach-konische Formen.

2.2.7 ECHINODERMATEN

Bei den stellenweise gehäuft auftretenden Echinodermen-Resten handelt es sich um Stielglieder und Armplatten von Crinoiden sowie um Echinoideen-Siebplatten. Selten sind

in Schliffen auch Echinoideen-Stachelschnitte zu beobachten. Versuche, durch Lösung der Kalke in gering verdünnter Essigsäure Holothurien-Reste zu gewinnen, blieben erfolglos.

2.2.8 KALKALGEN

Bestimmbare Kalkalgen sind im untersuchten Material relativ selten. Es konnten vier Arten nachgewiesen werden (E. FLÜGEL &. K. H. WOLF 1969, E. FLÜGEL &. H. HÖTZL 1971), die sich auf porostromate Algen [*Rothpletzella devonica* (MASLOV), *Girvanella ducii* WETHERED, *Girvanella wetheredi* CHAPMAN] und auf Dasycladaceen (*Vermiporella* cf. *Vermiporella myna* WRAY) verteilen.

Die Girvanellen finden sich sowohl inkrustiert auf Coelenteraten und auf Schalen-Resten als auch bohrend in Stromatoporen-Kolonien. Letztere treten in unregelmäßig eingekerbten Latilamina-Oberflächen auf, die im Schliff durch mikritreiche Partien auffallen.

Proben mit Kalkalgen stammen von der Schichtfläche in Letmathe und aus dem Steinbruch „Maria".

2.3 VERBREITUNG DER ORGANISMEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Wie Tabelle 2 zeigt, treten in der Zusammensetzung des Fossilinhaltes bei den einzelnen Lokalitäten Unterschiede auf, die sich insbesondere im Anteil der Stromatoporen und Korallen äußern. Stellt man den Faunenbestand den Mikrofazies-Typen gegenüber, so ergibt sich das in Tabelle 7 dargestellte Bild:

Demnach sind unterschiedliche Häufigkeiten der Fossilgruppen zum Teil auch von den Sedimenttypen abhängig. In Biomikriten mit häufigen, cm-großen Stromatoporen-Kolonien treten Foraminiferen, Amphiporen, Helioliten, Echinodermaten, Kalkalgen und Calcisphaeren quantitativ zurück; in Amphiporen-Biomikriten bzw. schwach ausgewaschenen Amphiporen-Biopelspariten nimmt die Häufigkeit der großwüchsigen Stromatoporen- und Tabulaten-Kolonien deutlich ab. Auffallend ist die geringe Diversität in den (in den Aufschlüssen im allgemeinen seltenen) Echinodermaten-Biospariten; außer häufigen Crinoiden-Fragmenten und Brachiopoden (meist zerbrochen) finden sich selten nur lamellare Stromatoporen, umgelagerte Thamnoporen und im Schliffbereich Calcisphaeren.

Tabelle 7: Durch Organismengruppen im Gelände typisierbare Bereiche („Faziestypen") im Schwelmer Kalk, Raum Letmathe. s = selten, v = verbreitet, h = häufig bis „gesteinsbildend". Faziestyp 1 = Amphiporen-Biomikrit mit nur sehr wenigen anderen Biogenen, FT 2 = Biomikrit mit breitem Faunenspektrum, FT 3 = Brachiopoden-Biomikrit, FT 4 = Biomikrit mit rugosen Einzelkorallen, FT 5 = Biomikrit mit Thamnoporen, FT 6 Echinodermaten-Biomikrit und Biosparit, FT 7 Biomikrit mit globularen und lamellaren Stromatoporen in Lebensstellung.

	FT 1	FT 2	FT 3	FT 4	FT 5	FT 6	FT 7
Foraminiferen	v	s	s	s	s	s	s
Stromatoporen	–	h	s	s	s	s	h
Amphiporen	h	v	s	v	v	s	s
rugose Einzelkorallen	s	v	s	h	s	–	s
Thamnoporen	s	v	s	s	h	–	s
Alveoliten	–	v	s	s	s	s	v
Helioliten	–	v	–	–	s	–	s
Brachiopoden	s	s	h	s	s	v	s
Gastropoden	s	–	–	–	s	s	–
Echinodermaten	s	s	v	s	s	h	–
Kalkalgen	–	s	–	–	–	–	s
Calcisphaeren	v	s	s	s	v	v	s

2.4 PALÖKOLOGISCHE INTERPRETATIONEN

Die nachfolgend zusammengestellten Deutungen hinsichtlich der mutmaßlichen Lebensbedingungen der festgestellten Organismen beziehen sich im wesentlichen auf die Lokalitäten Steinbruch „Maria" und östlichster Steinbruch südlich der Lenne in Letmathe.

Die Foraminiferen gestatten Aussagen über Salinitätsbedingungen und über die Beziehungen des Biotops zum offenen Meer: Die Vergesellschaftung von *Parathurammina*, *Bisphaera*, *Cribrosphaeroides* und *Archaesphaera* würde nach den Untersuchungen von PRONINA u. CHUVASHOV (1965) und TOOMEY (1965) für die Lokalität Steinbruch „Maria" schwankende Salinitätsbedingungen (normal marin mit hypersalinen Tendenzen) anzeigen, während das auffallende Zurücktreten dieser Gattungen auf der Schichtfläche für normal marine Salinität sprechen könnte. Die Häufigkeit von Gehäusen von *Parathurammina* in Proben aus dem Steinbruch „Maria" kann dahin gedeutet werden, daß der Lebensraum nicht vom offenen Meer getrennt war; hierbei wird mit TOOMEY (1965) angenommen, daß zumindestens ein Teil von *Parathurammina* eine pelagische Lebensweise hatte. Von normal-marinen Bereichen abweichende Salinitätsbedingungen sind auch im Auftreten von koloniebildenden Volvocaceen (*Eovolvox* KAZMIERCZAK 1975) ausgedrückt; allerdings wären dann für Abschnitte des HEINRICH-Profils paralakustrine Verhältnisse anzunehmen.

Die Stromatoporen besitzen im Bereich der Schichtfläche überwiegend laminare Wuchsformen. Nach den Vorstellungen von LECOMPTE (1956, 1970) und vieler anderer Autoren (KLOVAN 1964 u. a.) wäre dies als Kriterium für relativ geringe Wasser-Bewegung und für größere Wasser-Tiefen zu werten. Daß die Bedeutung der Wuchsformen bei Stromatoporen nicht überschätzt werden darf, zeigen Vergleichsuntersuchungen im Mittel-Devon des Bergischen Landes (Bücheler Schichten; Steinbruch Rothe im Schladetal bei Bergisch Gladbach; E. FLÜGEL, unveröff.): Abb. 15 gibt einen Überblick über den Anteil von laminaren (tabularen) und globularen Wuchstypen in einer aus einem kleinen, faziell einheitlichen Geländebereich. Es wird deutlich, daß bei einer statistischen Erfassung des Materials kaum von einem Überwiegen der einen oder der anderen Wuchsform gesprochen werden kann, wie dies auf Grund des Geländeeindruckes („Überwiegen der globularen Formen", Stromatoporen-Blockriff) möglich ist.

Von besonderem Interesse sind die im HEINRICH-Profil und in den Steinbrüchen Steltenberg und Mühlendorf häufigen Amphiporen: Tabelle 8 bringt eine Zusammenstellung der in den letzten Jahren veröffentlichten palökologischen Daten mitteldevonischer Amphiporen. Es wird deutlich, daß anscheinend sowohl Bindungen an bestimmte Sedimentationstypen als auch an bestimmte Ablagerungsbereiche vorhanden sind. In gehäufter Form finden sich Amphiporen insbesondere in Schelflagunen, wobei in Gebieten geringer Wasserbewegung ein Zusammenvorkommen mit Calcisphaeren und Pellets zu beobachten ist. Der in den Profilen im Raum Letmathe erkennbare rasche Wechsel zwischen Amphiporen-Kalken, Brachiopoden-Kalken und Kalken mit großen Stromatoporen-Kolonien weist auf Umweltbedingungen hin, wie sie im Bereich des instabilen Schelfes zwischen der durchschnittlichen Wellenbasis und der unteren Angriffsfläche von Sturmwellen bestehen (EMBRY u. KLOVAN 1972). Für Amphiporen-Kalke dürften sehr geringe Wassertiefen anzunehmen sein (nach READ 1973 etwa um 1 m).

Ähnliche Deutungen ergeben sich aus den Wuchsformen der tabulaten Korallen und aus dem Auftreten von *Stringocephalus* (siehe STRUVE 1963b).

Zusammenfassend können die Umweltbedingungen wie folgt charakterisiert werden: Salinität normal marin, Tendenz zur Salinitätserhöhung und Erniedrigung möglich; Wasser-Tiefe unterhalb der Wellen- bzw. Gezeiten-Fläche jedoch zum Teil sehr gering; Wasser-Bewegung relativ gering, zeitweise gerichtet, keine Turbulenzen; Substrat wechselnd zwischen Schlammböden und Kalksand-Böden (Amphiporen-Kalke u. a.).

Tabelle 8: Verbreitung von Amphiporen in devonischen Flachwasser-Karbonaten (zusammengestellt nach verschiedenen Autoren)

Raum	Alter	Lebensbereich der Amphiporen
Rheinisches Schiefergebirge	Givet und Frasne	a) in geschützten back-reef-Gebieten hinter Saum- oder Barrier-Riffen bzw. in Lagunen von Stromatoporen-Tabulaten-Atollen b) als „Rasen" in Riff-freien Schelfarealen, unterhalb der Gezeitenfläche oder im Strömungsbereich
England	Givet	in geschützten back-reef-Gebieten, zusammen mit Pelspariten
Polen	Frasne	in geschützten Gebieten des küstenfernen instabilen Schelfes
Mähren	Frasne	in geschützten back-reef- oder Lagunenbereichen
Ural	Givet	an der Innenflanke von Atoll-Ringen, hinter Algen-Biohermen
Karnische Alpen	Frasne	in Biostromen, offensichtlich transportiert
Indiana	Mitteldevon	a) in geschützten back-reef-Arealen von ausgedehnten Riffkomplexen b) in landnahen Schelfgebieten ohne Riffentwicklung
Alberta, Canada	Frasne	bevorzugt im back-reef-Areal von Saum- und Barrier-Riffen oder Atollen
W-Australien	Frasne	in back-reef-Arealen der ausgedehnten Schelflagune

2.4.1 SYNÖKOLOGIE DER ORGANISMEN EINER SCHICHTFLÄCHE

Das umfangreiche Fossilmaterial, das für paläontologische Untersuchungen aus der Schichtfläche entnommen wurde, gestattet Aussagen über das wechselseitige Verhalten der Organismen. Unter Berücksichtigung der von BÖGER (1970: 256) vorgeschlagenen Ordnung für Begriffe zur Kennzeichnung von heterotypischen Relationen können die Beziehungen zwischen den auf der Schichtfläche zu beobachtenden Organismen wie folgt beschrieben werden:

(a) Epökie: Etwa die Hälfte der in Tabelle 2 (Seite 12) angeführten Organismen siedeln auf anderen Organismen. Setzt man die Gesamtzahl der Beobachtungen über Epökie gleich 100 %, so ergibt sich für die Bedeutung der einzelnen Arten als Epöken folgende Häufigkeitsskala:

48 % *Clathrocoilona spissa*, 14 % Stromatoporen indet., 12 % *Girvanella ducii* und *Girvanella wetheredi*, 8 % *Alveolites suborbicularis*, 6 % *Heliolites porosus*, 4 % *Aulopora* sp., 4 % *Parallelopora goldfussi*, 2 % *Actinostroma? stellulatum* und 2 % *Rothpletzella devonica*.

Aus dieser Aufstellung geht hervor, daß *Clathrocoilona spissa* mit Abstand der häufigste Epöke ist. Ordnet man die Epöken nach der Vielfalt ihrer Substrate, so zeigen sich die in Tabelle 9 zusammengestellten Beziehungen:

Tabelle 9: Epöken und Substrate.

Art	Anzahl der Substrate	Substrat-Gruppen
Clathrocoilona spissa	8	Einzelkorallen, *Heliolites porosus*, *Alveolites suborbicularis*, *Thamnopora reticulata*, Girvanellen, *Stachyodes* sp., Stromatoporen indet., *Rothpletzella devonica*
Stromatoporen indet.	6	Girvanellen, *Alveolites suborbicularis*, *Actinostroma? stellulatum*, *Thamnopora reticulata*, *Stachyodes*, Brachiopoden-Schill
Girvanellen	6	*Parallelopora goldfussi*, *Acanthophyllum* sp., *Actinostroma? stellulatum*, *Alveolites suborbicularis*, *Clathrocoilona spissa*, *Heliolites porosus*
Heliolites porosus	2	*Acanthophyllum (Gripophyllum) vermiculare*, *Clathrocoilona spissa*
Parallelopora goldfussi	2	*Acanthophyllum* sp., Girvanellen
Aulopora	1	Stromatoporen indet.
Actinostroma? stellulatum	1	*Acanthophyllum* sp.
Alveolites suborbicularis	1	*Clathrocoilona spissa*
Rothpletzella devonica	1	*Clathrocoilona spissa*

Tabelle 9 zeigt, daß die inkrustierenden Formen – unabhängig von ihrer prozentuellen Häufigkeit – keine quantitative Bindung an bestimmte Substrat-Gruppen zu besitzen scheinen. Würde man annehmen, daß die Epöken alles als Substrat verwendeten, was angeboten wurde, so wäre zu folgern, daß die quantitativ häufigsten Arten auch bei der Aufzählung der Substrat-Gruppen an der Spitze liegen. Am Beispiel von *Clathrocoilona* ist jedoch zu beobachten, daß als Substrate Arten relativ häufig benützt werden, die im quantitativen Fossilbestand nur mit geringen Prozentwerten vertreten sind (etwa 30 % der als Epöken vorliegenden Funde von *Clathrocoilona spissa* treten zusammen mit Einzelkorallen auf, die im Gesamtfossilinhalt nur mit etwa 2 % ausgewiesen sind!).

Dies könnte bedeuten, daß *Clathrocoilona spissa* zwar keine Bindung an häufige Organismenreste und an großflächige Kolonien hat, daß aber eine funktionell bedingte Abhängigkeit von bestimmten Substraten gegeben war wie sie sich in der bevorzugten Wahl von Einzelkorallen (30 % der Fälle), Helioliten (15 %) und Alveoliten (15 %) ausdrückt.

Die Art des Bezuges zwischen den Partnern soll am gleichen Beispiel diskutiert werden:

Clathrocoilona spissa auf Einzelkorallen. – Hier liegt Synökie vor, da für den einen Partner (die Stromatoporen) infolge des von der Koralle zur Verfügung gestellten festen Substrates günstige Bedingungen geschaffen wurden, ohne (in der Mehrzahl der Fälle) für das Wachstum der Koralle abträglich zu sein. Dies wird auch dadurch deutlich, daß die meisten von *Clathrocoilona spissa* besiedelten Enzelkorallen als adulte Exemplare vorliegen.

Clathrocoilona spissa und Helioliten. – Hier könnte es sich um Parasitie handeln, da in einigen Proben die Tabularien der Helioliten in deutlicher Weise von den Stromatoporen überwachsen werden, so daß für die Korallen ungünstige bis letale Bedingungen geschaffen wurden. Für die Stromatoporen hingegen ergab sich wiederum der Vorzug eines festen Substrates.

Clathrocoilona spissa auf Alveoliten. – In diesem Fall scheint ebenfalls Parasitie vorzuliegen, wobei die auffallend niedrigen und oft nur aus zwei Lamellen aufgebauten Kolonien der Stromatoporen jedoch zeigen, daß für die Alveoliten vielfach nur ungünstige, aber keine letalen Verhältnisse geschaffen wurden.

Von speziellem Interesse ist das Verhalten der Girvanellen, die zusammen mit Stromatoporen und Korallen auftreten:

Betrachtet man die Grenzflächen zwischen den inkrustierenden Girvanellen und den als Substrat dienenden Organismen, so ist eine unregelmäßig höckerige Fläche zu erkennen, in deren Vertiefungen Girvanellen auftreten. Vereinzelt konnte beobachtet werden, daß die Kolonien der Stromatoporen durch Girvanellen zunächst angebohrt und aufgelockert wurden und dann erst eine gleichmäßige Inkrustierung durch Algen einsetzte. In anderen Proben wiederum treten die winzigen Röhrchen der Girvanellen in einem schwarz gefärbten Mikrit knapp über einer scharf begrenzten Oberfläche der Stromatoporen-Kolonie auf. Hier wäre an eine Mikritisierung durch die bohrende Tätigkeit der Algen zu denken (siehe KLEMENT u. TOOMEY 1967, RIDING 1975).

In beiden Beispielen handelt es sich offenbar um Parasitie, wobei jedoch Übergänge zwischen Epökie und Entökie vorhanden sind.

Es fällt auf, daß ein derartiges Auftreten von Girvanellen in einer schmalen Mikritzone über Stromatoporen (insbesondere über *Actinostroma*) bei genauer Durchsicht der Schliffe relativ häufig zu beobachten ist [Material aus dem Mittel-Devon des Bergischen Landes, aus Kantabrien (Material B. SLEUMER) und aus der marokkanischen Meseta].

(b) Entökie: Außer auf das oben beschriebene Beispiel muß auf das nicht seltene Vorkommen von halbmondförmigen, mit Sparit erfüllten Schnitten innerhalb von Stromatoporen-Stöcken (meist *Actinostroma? stellulatum* und *Parallelopora goldfussi*) hingewiesen werden. Es dürfte sich hier um Reste von Würmern handeln, wie sie in vergleichbarer Form durch PLUSQUELLE (1969) aus dem Unter-Devon der Bretagne beschrieben worden sind. Da die Lamellen der Stromatoporen an den Wandungen dieser Schnitte aufgebogen sind, dürfte ein Fall von Kommensalismus vorliegen.

(c) Parökie: Die statistische Behandlung der Fossilhäufigkeiten hat gezeigt, daß gewisse Organismen stets in der Nachbarschaft von gewissen anderen Organismen auzutreffen sind, wobei die aufeinander aufgewachsenen Organismen nicht berücksichtigt sind. Insbesondere durch Korrelationsanalysen wird deutlich, daß im Bereich der Schichtfläche *Actinostroma? stellulatum* immer mit *Clathrocoilona spissa* und mit *Parallelopora goldfussi* auftritt. Eine Diskussion dieses Befundes wird im Abschnitt 6.2 gegeben.

3. METHODEN DER STATISTISCHEN DATEN-ERFASSUNG

Im Rahmen von Fazies-Analysen können durch eine quantitative Beschreibung biogene und abiogene Merkmale zahlenmäßig erfaßt werden. Die Kenntnis der Häufigkeiten, Verteilungen und Streuungen gestattet eine genauere und objektivere Differenzierung der einzelnen Fazies-Typen. Durch eine statistische Auswertung des Zahlenmaterials ist es ferner möglich, Aussagen über die wahrscheinlichen Beziehungen zwischen den Variablen und über die in den einzelnen Fazies-Typen unterschiedlichen Faktoren zu machen, welche quantitative Gruppierungen bedingen.

Die aus der Auszählung der Fossilverteilung resultierende quantitative Beschreibung wird zusammen mit der statistischen Auswertung in Abschnitt 5 (Seite 44) behandelt. Nachfolgend wird auf einige methodische Punkte eingegangen, die insbesondere bei der Erfassung der Daten im makroskopischen Bereich zu beachten sind.

3.1 ABGRENZUNG DER BEPROBUNGSEINHEITEN

Die quantitative Beschreibung bezieht sich auf qualitativ definierte Grundeinheiten, deren Abgrenzung zunächst aufgrund von im Gelände erkennbaren Merkmalsausbildungen (z. B. sich wiederholende Organismen-Gesellschaften) erfolgt. Diese vorläufige Abgrenzung von relativ homogenen Untersuchungseinheiten nach qualitativen Merkmalen liefert lediglich Beprobungseinheiten und keine statistisch gesicherten Grundeinheiten.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die im Raum von Letmathe und Steltenberg ausgeschiedenen Beprobungseinheiten. Die Unterscheidung erfolgte nach den im Aufschluß zu beobachtenden Fossilhäufigkeiten (z. B. Überwiegen der Amphiporen). Diese Charakterisierung nach relativer Häufigkeit Organismengruppe und Diversität entspricht der bei rezenten benthonischen Organismen-Assoziationen üblichen Typisierung und Abgrenzung (A. M. ZIEGLER 1974).

Für fazielle und palökologische Studien sollten als Beprobungseinheiten Bereiche ausgewählt werden, für welche a priori annähernd gleichartige oder ähnliche Bedingungen angenommen werden können. Dies wäre – auf das geologische Material übertragen – im Idealfall die Sedimentationseinheit im Sinne von OTTO (1938), also eine unter im wesentlichen konstanten physikalischen Bedingungen entstandene Sedimentlage. WALGER (1961) hat am Beispiel der Korngrößenverteilungen in geringstmächtigen Sandlagen gezeigt, welche Schwierigkeiten sich der Erfassung einer derartigen Einheit entgegenstellen. Andererseits wäre bei palökologischen Untersuchungen – insbesondere im Hinblick auf Aussagen über Parökie – zu fordern, daß die Beprobungseinheit einen Bereich von relativ großer Homogenität und daher minimaler Varianz der Gesamtheit bzw. der Stichproben erfaßt. Bei Mißachtung der relativen Homogenität der Beprobungseinheit wird die Varianz der Merkmale in zu starkem Maße von der Proben-Größe abhängig, so daß eine brauchbare varianzanalytische Auswertung des Datenmaterials nicht mehr gewährleistet ist (siehe OTTO 1938, EHRLICH 1964, KRUMBEIN u. GRAYBILL 1965 und GRIFFITH 1967).

Grundsätzlich könnten die Merkmale und die Merkmalsausbildungen der Beprobungseinheit im Gesamtbereich erfaßt werden, also zum Beispiel im Bereich des gesamten zugänglichen und paläontologisch $\pm$ homogenen Teiles der Schichtfläche in Letmathe. Dies wäre die ‚sampled population' im Sinne von KRUMMBEIN & GRAYBILL (1965), von der auf die weitgehend nicht aufgeschlossene Grundgesamtheit (= target population) geschlossen wird. In der Regel wird man sich jedoch aus Gründen der Zeit- und Arbeitsersparnis sowie bedingt durch ungünstige Aufschlußverhältnisse auf die Bearbeitung von Stichproben beschränken. Diese liefern einen Schätzwert für die Gesamtausbildung der untersuchten Merkmale. Die Genauigkeit dieses Schätzwertes steigt mit der Zahl und dem Umfang der Stichproben bzw. mit der abnehmenden Größe der Streuungswerte. Die für eine bestimmte statistische Genauigkeit erforderliche Zahl der Stichproben kann unter Berücksichtigung der Art der Merkmalsverteilung mit Hilfe des STUDENT-t-Verfahrens ermittelt werden (siehe Abschnitt 3. 3. 1 Seite 34).

3.2 AUSWAHL DER QUANTITATIV ERFASSBAREN KOMPONENTEN

Die quantitative Erfassung der Komponenten im Gelände muß sich auf eine Unterscheidung von mit freiem Auge bzw. mit Lupenvergrößerung sichtbaren Biogenen und von „Grundmasse" oder Matrix beschränken, da eine zu diffizile Trennung etwa im Sinne von FOLK (1962) im Aufschlußbereich kaum durchführbar ist.

In den untersuchten devonischen Kalken wurden alle Komponenten < 2 mm als Grund-

masse gezählt. Über die Ansprache dieser Komponenten unterrichtet Abschnitt 2. 1 (Seite 14): nach Dünnschliffuntersuchungen handelt es sich überwiegend um Foraminiferen und Calcisphären sowie um Schalen-Reste von Brachiopoden, stellenweise auch um Crinoiden. Mitunter erscheint es sinnvoll, auch größere Biogene (⌀ bis zu 5 mm) bei der Auszählung der Grundmasse zuzurechnen. Dies gilt insbesondere für zylindrische Biogene, deren Bestimmung als *Aulopora*-Kelche, Wurm-Röhren oder Kalkalgen im Lupenbereich schwierig ist.

Als größere Komponenten wurden nur Biogene beobachtet. Pellets und Intraklaste treten auch in Schliffen im Schwelmer Kalk zurück und sind nur in einzelnen Mikrofazies-Typen häufiger. Bei der quantitativen Beschreibung wurden folgende Fossilgruppen unterschieden:

Stromatoporen, Alveoliten, Favositiden (siehe Seite 12), Helioliten, Auloporen, Thamnoporen, Amphiporen, rugose Einzelkorallen, Bryozoen, Brachiopoden, Gastropoden, nicht näher ansprechbare Schalen-Reste, Echinodermen, Algen und eine Restgruppe.

Bei Stromatoporen und Alveoliten erfolgte eine weitere Aufgliederung nach globularen und tabularen Wuchsformen. Eine derartige Unterscheidung erwies sich jedoch nur bei der Auszählung von Profilköpfen als sinnvoll, da die Wuchsformen der auf der Schichtfläche auftretenden Kolonien erst nach der Fossilaufsammlung genauer feststellbar waren.

3.3 BESTIMMUNG DER FLÄCHEN- UND VOLUMENANTEILE DER KOMPONENTEN

Zur Erfassung der Flächen- und Volumenanteile der Komponenten können auch im Aufschlußbereich die für mikroskopische Untersuchungen entwickelten Methoden verwendet werden, wobei sowohl die von DELESSE geschaffene und von ROSIVAL (1898) vereinfachte Linienmeßmethode als auch das von GLAGOLEW (1933) vorgeschlagene Punktzählverfahren brauchbar sind. Beide Methoden gehen von der Voraussetzung aus, daß sich die Flächenanteile von Komponenten im Schliff genau so verhalten wie deren Volumina. Beim Integrationsverfahren nach ROSIVAL ergeben sich die Flächenanteile bzw. die Volumengehalte einer Komponente aus der Summe der Sehnenschnitte, beim Punktzählverfahren nach GLAGOLEW aus der Summe der auf die Komponente fallenden Treffer unter einem Punkt-Netz.

Während die Linienmeßmethode in etwas abgewandelter Form auch bei paläontologischen Untersuchungen angewendet wurde (PFANNENSTIEL 1930, A. H. MÜLLER 1951), wurden die Vorteile des Punktzählverfahrens insbesondere bei der Erfassung der Fossilhäufigkeiten auf Schichtflächen noch nicht genützt. In den bisher nur wenigen Arbeiten über die Häufigkeitsverteilung fossiler benthonischer Organismen wird zumeist die absolute Individuen-Zahl als Vergleichswert verwendet (FOX 1962, JOHNSON 1962, KISSLING u. LINEBACK 1967); lediglich FOX (1968) versucht die Populationsdichte in ordovicischen Schichten durch Gebrauch einer logarithmischen Skala zu ermitteln, die auf, für die einzelnen Organismen-Gruppen unterschiedlichen, empirisch festgestellten Grenzwerten beruht.

3.3.1 PUNKTZÄHLVERFAHREN

Das Punktzählverfahren (point-counter-Verfahren) liefert Schätzwerte für die tatsächlich vorhandene Häufigkeitsverteilung. Die Genauigkeit dieses Schätzwertes (p') ist abhängig vom Prozentanteil (p) der Komponente sowie von der Gesamtpunktanzahl (n). Nach der von CHAYES (1956) gegebenen Formel für die Standardabweichung (σ) des Schätzwertes

$$\sigma = \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}}$$

liegt der tatsächliche Wert p bei einer Wahrscheinlichkeit bzw. statistischen Sicherheit von 0,68 entsprechend der GAUSS'schen Fehlerkurve, im Bereich von $p' \pm \sigma$. Diese mögliche Abweichung des Schätzwertes von p (Zählfehler) ist durch die ungleichmäßige Verteilung der Komponenten auf der Meßfläche und durch die in anderer Weise zufallsbedingte Streuung der Punkte verursacht. Bei einer statistischen Sicherheit von 0,95 beträgt der Zählfehler $\pm 2\sigma$, bei einer Sicherheit von 0,99 liegt er bei $\pm 3\sigma$. Eine graphische Darstellung des Zusammenhanges von p, n und σ findet sich bei van der PLAAS u. TOBI (1964).

Grundsätzlich ist es erforderlich, bei zwei Komponenten mit stark unterschiedlichem Flächenanteil bzw. Häufigkeiten verschieden viele Punkte auszuzählen, wenn die gleiche relative Genauigkeit der Schätzwerte angestrebt wird (siehe WILSON 1967). Bei einem Flächenanteil der Komponente A von 50 % und der Komponente B von 1 % sowie bei einer angestrebten Genauigkeit der Schätzwerte von $\pm$ 10 % (50 $\pm$ 5 und 1 $\pm$ 0,1) wären nach der oben angeführten Formel bei einer statistischen Sicherheit von 0,95 für die Komponente A 400 und für die Komponente B 39600 Punkte erforderlich.

Zum Zählfehler tritt der Stichproben-Fehler (sampling error), sobald die Beprobungseinheit nicht in ihrer Gesamtheit sondern durch Stichproben erfaßt wird; dieser Fehler ist abhängig von der Streuung des zu untersuchenden Materials und von der Anzahl der Stichproben.

Bei quantitativen palökologischen Untersuchungen kann der aus mehreren Stichproben gewonnene Mittelwert ($\bar{x}$) als Schätzwert für das „Populationsmittel" bzw. als Hinweis auf die mutmaßliche Abgrenzung von Kommunitäten dienen. Die Vertrauensgrenzen ($\bar{x} \pm l$) des Schätzwertes können bei einer geringen Stichproben-Anzahl mit Hilfe der STUDENT-t-Verteilung nach der Formel

$$l = t.s/\sqrt{N - 1}$$

errechnet werden, wobei das Populationsmittel μ bei der vorgegebenen Sicherheit im Bereich von $[(\bar{x} - l) \leqq \mu \leqq (\bar{x} + l)]$ liegt. In der obigen Formel bedeutet N die Zahl der Stichproben und s die Standardabweichung von $\bar{x}$; die t-Werte liegen für verschiedene Sicherheitsschwellen bereits tabelliert vor (z. B. MARSAL 1967).

In der Praxis erhebt sich die Frage nach dem Stichprobenumfang (der für die einzelnen Stichproben notwendigen Punktezahl), nach der Anzahl der Stichproben und nach der Größe der auszuzählenden Fläche. Während die Zahl der Stichproben durch den STUDENT-t-Test ermittelt und die notwendige Punktezahl durch Berechnung des Zählfehlers festgelegt werden kann, ist die Größe der auszuzählenden Fläche bei palökologischen Untersuchungen im Aufschlußbereich vielfach von den örtlichen Gegebenheiten abhängig (Zugänglichkeit der Schichtfläche, Auswitterung der Fossilien u. a.).

Einen wichtigen Hinweis auf die Flächengröße der Stichproben liefert die Art der Verteilung der Punkte bzw. der Punkt-Abstand. Im allgemeinen werden die Meßpunkte in Form eines quadratischen Netzwerkes angeordnet. Dies entspricht zwar nicht der Forderung nach statistischer Zufälligkeit, gestattet aber eine objektivere Erfassung des gesamten Auszählfeldes. Die Genauigkeit, mit welcher von Stichproben auf die Gesamteinheit bzw. von kleinen Test-Zählfeldern auf die Verhältnisse im Bereich der gesamten Schichtfläche geschlossen werden kann, hängt im wesentlichen von dem Verhältnis Stichprobengröße zu Komponentengröße ab. Da die Trefferverteilung nur dann dem Fehlergesetz folgt, wenn der Punkte-Abstand gleich oder größer als der Komponenten-Durchmesser ist, kann die Größe

des Stichprobenfeldes bei einer vorgegebenen Punktezahl mit Hilfe des Mindestpunktabstandes ermittelt werden.

Treten große Komponenten auf, kann man bei veränderter Einstellung des Punktenetzes den zugänglichen Bereich mehrfach auszählen, um den erforderlichen Stichprobenumfang zu erhalten. Als sehr brauchbar erwies sich bei Meßarbeiten im Gelände die Punkteanordnung, wie sie von HENNING (1957, 1958) vorgeschlagen wurde (verwendet im ZEISS-Integrationsokular I). Diese Punktverteilung — 25 von einer Kreislinie umschlossene Punkte, deren jeder von allen sechs Nachbarpunkten den gleichen Abstand hat — kann für jeden Punktabstand leicht auf Klarsichtfolien übertragen werden, die dann über das auszuzählende Feld gelegt werden.

Zusammenfassend ergibt sich für die Wahl der Proben-Größe bzw. des auszuzählenden Feldes folgender Arbeitsgang:

(1) Ermittlung der Anzahl der Stichproben: (a) Berechnung einer vorläufigen Standardabweichung (s) aus wenigen, möglichst optimal ausgewählten Anfangsproben. (b) Berechnung der Zahl der notwendigen Stichproben für eine gewünschte Genauigkeit (l) mit Hilfe des STUDENT-t-Verfahrens.

(2) Ermittlung der Punktezahl pro Stichprobe: (a) Abschätzung der erforderlichen Genauigkeit (σ) einer Stichprobe in Abhängigkeit von s. (b) Berechnung der erforderlichen Punkte-Zahl (n) nach der Formel von CHAYES (siehe Seite 34) in Abhängigkeit vom geschätzten Prozentwert p' der einzelnen Komponenten. p' ergibt sich bei der Auszählung der Anfangsproben.

(3) Ermittlung der Größe einer Stichprobe unter Berücksichtigung des Mindestpunktabstandes (= Komponenten-$\varnothing$): Bei verschieden großen Komponenten-Durchmessern wird der Punkteabstand auf den jeweils größten Wert abgestimmt. Insbesondere bei Proben mit in auffallender Weise verschieden großen Komponenten empfiehlt sich eine getrennte Auszählung mit angepaßten Punktabständen.

Der Gesamtfehler des derart gewonnenen Schätzwertes setzt sich aus dem Zähl- und Stichprobenfehler zusammen und ist abhängig von der Feldgröße, dem Punktabstand, dem Komponenten-$\varnothing$, der Zahl der Stichproben und von der Streuung der untersuchten Merkmale (siehe BAYLEY 1965, HASHOFER 1963, SOLOMON 1963).

Im Rahmen der Untersuchungen im Steinbruch von Letmathe wurden Vergleichsauszählungen mit verschiedener Meßflächengröße und unterschiedlichem Punktabstand (bei quadratischer Netzmaschen-Anordnung) durchgeführt. Abb. 16 und 17 zeigen die Beeinflussung der Streuung durch die Größe der Stichproben-Felder und durch die Anzahl der Punkte. Besonders sei auf die zum Teil beträchtlichen Streuungsbeträge bei Stromatoporen und Alveoliten in den 30 × 30 cm-Feldern hingewiesen; hier wirkt sich ein im Verhältnis zum Durchmesser der Kolonien zu geringer Punkteabstand störend aus. Die Werte gehen in diesem Fall beträchtlich über den zum Vergleich eingetragenen Zählfehler (bei einer Wahrscheinlichkeit von w = 0,95) hinaus, siehe Abb. 16a.

3.3.2 LINIENMESSMETHODE

Bei Zählarbeiten an Schichtköpfen tritt die Brauchbarkeit des Punktzählverfahrens naturgemäß zurück, da die Gefahr einer nicht beabsichtigten Zusammenfassung von qualitativ inhomogenen Bereichen innerhalb der Bank besteht. Hier empfiehlt sich die Ausmes-

sung der Anteile der einzelnen Komponenten entlang einer Linie von 1 m oder mehr Länge, wobei die Übertragung der Komponenten-Sehnenschnitte auf Klebestreifen Zeit erspart und zudem bei der Verwendung von i-Zahlen (entspricht der Häufigkeit der Sehnenabschnitte der einzelnen Komponenten) die weiteren Berechnungen in einem offenen Zahlenfeld erfolgen können. Dies ist insbesondere bei der Korrelationsberechnung wichtig, da durch Daten aus geschlossenen Zahlenfeldern eine negative Korrelation vorgetäuscht werden kann (siehe Seite 38).

Im Raum von Letmathe und Steltenberg wurden die Auszählungen von Schichtköpfen überwiegend mit Hilfe der Linienmeßmethode vorgenommen. Abb. 17 zeigt die Abweichungen der Mittelwerte im Bereich von zwei Testfeldern auf der Schichtfläche sowie im Profil P. Es wird deutlich, daß die Ergebnisse in den meisten Fällen nur bis zu etwa 10 % des jeweiligen Wertes differieren. Soferne diese Schwankungen toleriert werden können (wie zum Beispiel bei der Festlegung der durch die absolut häufigste biogene Komponente typisierbaren Kommunität), wird die Linienmeßmethode bei quantitativen Geländeaufnahmen vorzuziehen sein. Grundsätzlich liefert jedoch das Punktzählverfahren bei gleichem Zeitaufwand genauere Werte, insbesondere wenn auffallend verschieden große Fossilien gemessen werden sollen.

4. STATISTISCHE VERFAHREN ZUR DATEN-AUSWERTUNG

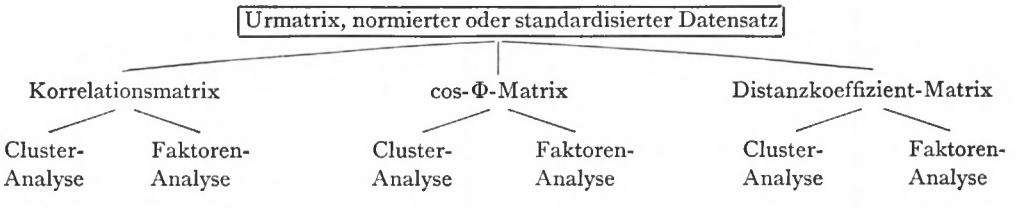
4.1 ÜBERSICHT

Das umfangreiche Zahlenmaterial, durch welches die Häufigkeit und das gemeinsame Auftreten von Fossilien objektiviert werden kann, gestattet erst nach einer Klassifizierung und Ordnung der Daten Aussagen über den Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen (Fossilkategorien) beziehungsweise zwischen den Stichproben. Da den im Gelände festgestellten Häufigkeitswerten ein System mit mehreren Veränderlichen zugrunde liegt, muß durch multivariate Verfahren ein einfacheres und übersichtlicheres Modell entwickelt werden, um Möglichkeiten für eine Interpretation von statistisch gesichertem Material zu bekommen.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die von uns verwendeten Verfahren bei der Berechnung der Ähnlichkeitsmaße und bei der Ermittlung der übergeordneten Faktoren.

Ausgangspunkt für alle Berechnungen liefert das beobachtete Datenmaterial (Fossilhäufigkeit, ausgedrückt in Prozentwerten oder in i-Zahlen), das in der Tabelle als Urmatrix bezeichnet wird. Da die Variablen teilweise in verschiedenen Meßeinheiten erfaßt wurden, ist es – insbesondere bei hierdurch bedingten hohen Varianzunterschieden – von Vorteil, die variablen Größen zu vereinheitlichen. Dies erfolgt durch Umrechnung der Urmatrizen

Tabelle 10: Übersicht über die verwendeten statistischen Verfahren



in normierte und standardisierte Werte (siehe Tabelle 11). Hierbei ergibt sich der normierte Wert (x_N) aus dem beobachteten Wert nach der Formel $x' = x - x_{min}$ und $x_N = x'/x'_{max}$ (x_{min} entspricht dem kleinsten Wert einer Variablen, x'_{max} dem größten Wert nach Abzug des kleinsten Wertes). Für die Berechnung des standardisierten Wertes x_{st} wurde die Formel $x_{st} = (x - \bar{x})/s$ verwendet, wobei $\bar{x}$ der Mittelwert einer Variablen und s die Standardabweichung ist.

Von diesen Datensätzen ausgehend wurden die Ähnlichkeitsmaße nach drei Verfahren berechnet (Korrelationskoeffizienten als Produktmomentkorrelation für geschlossene und für offene Zahlenfelder; cos-Φ-Koeffizient bzw. Koeffizient der proportionalen Ähnlichkeit; Distanzkoeffizient). Die weiterführende Klassifikation der derart gewonnenen Ähnlichkeitsmatrizen erfolgte sowohl für die Daten der Schichtfläche als auch für die in den Profilen ermittelten Werten mit Hilfe der Cluster- und der Faktoren-Analyse, wobei jeweils wiederum von Urmatrizen, normierten oder standardisierten Datensätzen ausgegangen wurde. Dies gilt sowohl für die Untersuchung der Beziehungen zwischen Variablen (R-Technik) als auch für die Festlegung der Zusammenhänge zwischen Stichproben (Q-Technik).

Die oben genannten Verfahren wurden bei geologischen und paläontologischen Untersuchungen, insbesondere im Zusammenhang mit Fazies-Analysen relativ oft verwendet. Es sei hier auf die Arbeiten von Chayes (1962), Behrens (1965) und Chayes u. Kruskal (1966) über Korrelationsberechnungen, auf die Untersuchung von Imbrie (1963; cos Φ-Koeffizient), Harbaugh (1964) sowie Parks (1966; Distanzkoeffizient) und Hohenegger (1974) verwiesen. Beispiele für Clusteranalysen finden sich bei Bonham u. Carter (1965), Purdy (1963), Michener u. Sokal (1957), Mc Cammon (1968), Mc Cammon & Wenninger (1970), Kodsi & Siehl (1971) und Joyce (1973), Faktorenanalysen wurden im Rahmen von geologischen Untersuchungen unter anderem von Imbrie (1963), Imbrie u. Purdy (1962), Imbrie u. van Andel (1964), Harbaugh u. Demirmen (1964), Toomey (1966), Klovan (1966), Fenninger (1970), Klovan & Imbrie (1971), Rolling & Straach (1973), Hötzl (1975), Mc Cammon (1975), Siehl & Thein (1975) und Sarntheim u. Walger (1973) eingesetzt.

4.2 ÄHNLICHKEITSMASSE

Nachfolgend werden die in den Geowissenschaften am häufigsten gebrauchten Ähnlichkeitsmaße diskutiert, die zur Erfassung der Variablen- bzw. Stichproben-Beziehungen herangezogen werden. Infolge des vorliegenden numerischen Datenmaterials wird auf die semiquantitativen Rang- und Vergleichsmaße (siehe z. B. Bonham-Carter 1965, Cheetham & Hazel 1969) nicht eingegangen.

Die hier verwendeten Symbole und statistischen Parameter sind bei Griffith (1967), Marsal (1967), Davis & Sampson (1972) sowie in fast allen statistischen Lehrbüchern zusammengestellt.

4.2.1 KORRELATIONSKOEFFIZIENT

Eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur statistischen Beschreibung des Zusammenhanges von zwei oder mehreren Variablen oder Proben ist die Korrelationsanalyse, bei welcher der Grad der gegenseitigen Abhängigkeit zweier Variabler durch den Korrelationskoeffizienten r angegeben wird ($r = +1$ deutet dann einen direkten, linearen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen an, $r = 0$ bedeutet das Fehlen von Beziehungen, und $r = -1$ weist auf eine lineare, aber indirekte Beziehung hin).

In der bei unseren Untersuchungen verwendeten Produktmomentkorrelation (Pearson-Bravais'sche Korrelation) ergibt sich der Korrelationskoeffizient r zwischen zwei zu ver-

gleichenden Merkmalen i und l aus der Kovarianz S_{il} und aus den Standardabweichungen s_i und s_l nach der Formel

$$r_{il} = S_{il} / s_i \cdot s_l$$

Die Berechnung der Kovarianz und der Standardabweichung kann durch Verwendung der nachfolgenden Formel erspart werden, wobei in dieser Formel x_{ij} die Größe der Variablen i in der Probe j darstellt:

$$r_{il} = \sum_{j=1}^{n} (x_{ij} - \bar{x}_i) \cdot (x_{lj} - \bar{x}_l) \Big/ \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{j=1}^{n} (x_{lj} - \bar{x}_l)^2}.$$

Sind die Beziehungen mehrerer Variabler untereinander zu berechnen, wie zum Beispiel die mögliche gegenseitige Abhängigkeit der Organismen auf der untersuchten Schichtfläche, siehe Seite 45, so ermittelt man die Korrelationskoeffizienten aller möglicher Variablen-Paare. Die so gewonnenen Werte werden am zweckmäßigsten in einer mxm-Matrix (m = Zahl der Variablen) zusammengefaßt, wobei infolge des symmetrischen Aufbaues der Matrix die Wiedergabe der Hälfte (als Dreieckmatrix, siehe Tabelle 16) genügt.

Vor einer weiteren statistischen Behandlung der Korrelationskoeffizienten-Matrizen sollte die Signifikanz der Korrelationen mit dem z-Test überprüft werden. Da die Korrelation zwischen zwei Variablen durch weitere Variable mitbestimmt werden kann., ist es notwendig, diese störenden Einflüsse durch Verfahren der partiellen Korrelationsrechnung (bei einer zusätzlichen Variablen) bzw. durch Anwendung der Faktoren-Analyse (bei mehr als vier zusätzlichen Variablen) auszuschalten. Dies erscheint insbesondere bei quantitativen palökologischen Untersuchungen notwendig, da hier im Regelfall mit der Beeinflussung der Korrelation durch mehrere Variable zu rechnen ist.

Bei der Verwendung von Prozentwerten können negative Korrelationen vorgetäuscht oder zumindestens verstärkt werden, da die Endsummen immer gleich bleiben und das Ansteigen eines Wertes automatisch die Verminderung anderer Werte zur Folge hat. Dies wird um so deutlicher, je kleiner die Zahl der berücksichtigten Variablen ist (siehe CHAYES 1960, KRUMBEIN 1962 und VISTELIUS 1961).

Vergleichsberechnungen, die an den auf der Schichtfläche in Letmathe ermittelten Daten durchgeführt wurden, zeigen, daß die Größe der aus geschlossenen bzw. offenen Zahlensystemen gewonnenen Korrelationskoeffizienten dann ohne wesentliche Unterschiede bleibt, wenn die Zahl der Variablen im geschlossenen System über acht liegt und die Einzelwerte unter 30% bleiben.

4.2.2 COS-Φ-KOEFFIZIENT

Außer dem oben skizzierten Korrelationskoeffizienten wird bei Faziesstudien vereinzelt auch der „Koeffizient der proportionalen Ähnlichkeit" verwendet (z. B. IMBRIE 1963). Diesem Koeffizienten liegt die Überlegung zugrunde, daß die Stichproben j und p als Vektoren in einem durch die Variablen definierten Raum betrachtet werden können. Die Übereinstimmung der beiden Stichproben kann dann durch den von ihnen eingeschlossenen Winkel ausgedrückt werden.

Die Vektoren werden durch ihre Koordinatenabschnitte, d. h. durch die jeweiligen Werte der Variablen in der Stichprobe, bestimmt. Bei bekannten Koordinatenabschnitten kann der von zwei Vektoren eingeschlossene Winkel nach folgender Formel berechnet werden:

$$\cos \Phi = \sum_{i=1}^{m} x_{ij} \cdot x_{ip} \Big/ \sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2 \cdot \sum_{i=1}^{m} x_{ip}^2},$$

wobei m wiederum die Zahl der Variablen ist und x_{ij} die Größe der Variablen i in der Stichprobe j.

Verwendet man für die Vergleiche von zwei Proben standardisierte Daten, so nimmt der cos-Φ-Koeffizient Werte zwischen +1 und —1 an. In diesem speziellen Fall sind die Werte des cos-Φ-Koeffizienten identisch mit den Werten der Korrelationskoeffizienten. Im Normalfall jedoch liefert der Korrelationkoeffizient andere Zahlenwerte als der Koeffizient der proportionalen Ähnlichkeit.

Der cos Φ-Koeffizient wird insbesondere im Rahmen der Q-Technik verwendet. Nach den von uns durchgeführten Vergleichsuntersuchungen erscheint der Einsatz dieses Koeffizienten auch beim Vergleich von Variablen (R-Technik) sinnvoll.

4.2.3 DISTANZKOEFFIZIENT

Auch hier gehen die Überlegungen von einem von den Variablen aufgespannten, m-dimensionalen Raummodell aus, bei welchem die Stichproben jedoch nicht als Vektoren sondern als fixierte Punkte verstanden werden. Die Lage der Stichproben ist durch ihre Koordinatenabschnitte (Werte der Variablen) bestimmt. Da die Übereinstimmung zweier Proben bei nahe beieinanderliegenden Punkten steigt, kann die Punkt-Entfernung D als Vergleichsmaß für Probenähnlichkeiten betrachtet werden. Dies geschieht nach der Formel

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - x_{ip})^2}.$$

Da die Größe der Entfernung sehr wesentlich von der Anzahl der Koordinatenabschnitte und von deren Größenunterschieden abhängt, werden häufig normierte Werte verwendet um einheitliche Distanzkoeffizienten zu erhalten:

$$DK = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{i=1}^{m} (x'_{ij} - x'_{ip})^2}$$

Bei übereinstimmender Position von zwei Stichproben hat DK den Wert 0,00, bei maximaler Abweichung den Wert + 1,00. Um in gleicher Weise wie beim Korrelationskoeffizienten und beim cos Φ-Koeffizienten durch den Wert +1 die größte Übereinstimmung und durch den Wert Null die maximale Abweichung von zwei Proben zum Ausdruck bringen zu können, hat HARBAUGH (1964) einen etwas modifizierten Distanzkoeffizienten d = 1 — DK vorgeschlagen.

Auch der Distanzkoeffizient kann sowohl bei Untersuchungen im Rahmen der Q-Technik als auch der R-Technik verwendet werden.

4.3 MULTIVARIATE VERFAHREN

Die nachfolgend beschriebenen multivariaten Verfahren dienen der Klassifizierung der Merkmale in einem hierarchischen System (Cluster-Analyse) und der Bestimmung der Abhängigkeit der Merkmalsausbildung von unabhängigen Faktoren

(Faktoren-Analyse). Auch hier wurden bei unseren Untersuchungen unterschiedliche Ausgangsdaten verwendet.

4.3.1 CLUSTER-ANALYSE

Dieses von Psychologen entwickelte Verfahren strebt eine Gruppierung von Variablen oder von Stichproben an und beruht auf der Ähnlichkeit und Übereinstimmung der zu untersuchenden Objekte. Durch schrittweises Zusammenziehen der sich jeweils am besten entsprechenden Größen wird eine hierarchische Gruppierung erreicht, die in einfacher zweidimensionaler Weise als Dendrogramm dargestellt werden kann.

Ausgangsbasis ist die Koeffizienten-Matrix eines beliebigen Ähnlichkeitsmaßes, wobei die meisten Autoren auf die Korrelationskoeffizienten-Matrix zurückgreifen. Paralleluntersuchungen mit cos-Φ- und Distanzkoefizienten zeigen jedoch, daß auch diese Ähnlichkeitsmaße in gleicher Weise geeignet sind. Das rechnerische Verfahren besteht darin, daß die beiden Variablen bzw. Stichproben, welche den größten Grad der Übereinstimmung besitzen, zu einer Gruppe zusammengezogen werden. Die Ausgangsdaten dieser beiden Variablen werden gemittelt und der Ähnlichkeitskoeffizient der übrigen Variablen mit dieser neuen Größe errechnet. Aus der derart gebildeten neuen Koeffizienten-Matrix wird wiederum der größte Wert ausgewählt und in analoger Weise verfahren, bis eine einzige Variablengruppe übrig bleibt.

Die Reduktion der Variablenanzahl kann entweder nach der oben skizzierten „pair-group"-Methode durch schrittweises Zusammenziehen von je zwei Variablen erfolgen oder nach der „variable-group"-Methode durch das gleichzeitige Zusammenziehen mehrerer Variablen, deren Ähnlichkeitskoeffizienten nahezu gleich groß sind. Hier ist es notwendig, sinnvolle Richtwerte für den Abstand der Reduktionsschritte festzusetzen.

Für die Berechnung der reduzierten Koeffizienten-Matrix werden zunächst die Grundwerte der neuen Gruppe benötigt. Diese erhält man, indem man die Werte der in jeder Gruppe vereinten Variablen mittelt.

Hierbei kann man jeweils auf die Ausgangsdaten zurückgreifen oder bei wiederholten Reduktionsschritten nur die bereits gemittelten Werte der zusammengesetzten Größe mit denen der neu hinzukommenden Variablen addieren und durch Zwei teilen. Im ersten Fall („unweighted"-Methode) wird allen Variablen einer Gruppe fortlaufend die gleiche Bedeutung beigemessen, während beim zweiten Verfahren („weighted"-Methode) der neu hinzukommenden Größe dasselbe Gewicht zukommt wie der ganzen zusammengesetzten Gruppe. Hierbei wird den zuerst in Gruppen vereinigten Variablen bei fortschreitender Reduktion ein immer geringeres Gewicht beigemessen.

In allen in unseren Untersuchungen durchgeführten Clusteranalysen wurde der „weighted-pair-group method" der Vorzug gegeben, da dies bei ökologischen Fragestellungen sinnvoller erscheint (siehe SOKAL u. MICHENER 1958). Das wiederholte Zurückgehen auf die Grundmatrix sowie das anschließende Mitteln bei Berechnung der Ähnlichkeitskoeffizienten kann bei Anwendung der von SPEARMAN (1913) entwickelten und von SOKAL u. MICHENER (1958) und BEHRENS (1965) verwendeten Formel

$$r_{xq} = \frac{R\,q}{\sqrt{2 + 2\Delta q}}$$

vermieden werden. Es bedeuten R_q die Summe der Koeffizienten zwischen der Variablen x und den beiden Variablen der Gruppe q; Δq ist der Koeffizient zwischen den beiden Variablen von q.

4.3.2 FAKTOREN-ANALYSE

Die wechselnde Zusammensetzung der Faunen sowohl im Aufschlußbereich als auch im Kleinbereich weist darauf hin, daß die für die Häufigkeitsverteilungen verantwortlichen Umweltsbedingungen in der räumlichen und zeitlichen Abfolge Änderungen unterworfen waren. Die gleichzeitige Abhängigkeit der Organismen von dem Wirksamwerden einer oder mehrerer, gemeinsam auftretender chemisch-physikalischer oder biologischer Bedingungen bewirkt den Aus- oder Abbau von faunistischen Unterschieden, wie sie mit Hilfe von Ähnlichkeitskoeffizienten erfaßt werden können. Es ist jedoch nur selten möglich, die Koeffizientenmatrix direkt auf jenes System von Faktoren zurückzuführen, welches die vielfältigen Beziehungen zwischen den Merkmalen erklären kann.

Hier kann die Faktoren-Analyse weiterhelfen. Im Rahmen dieses Verfahrens werden aus einer Vielzahl von beobachteten Variablen hypothetische Größen abgeleitet, welche die auftretenden Beziehungen zwischen den Variablen hinreichend genau reproduzieren. Unter bestimmten Voraussetzungen können diese hypothetischen Größen oder „Faktoren" im Sinne von reellen kausalen Zusammenhängen bzw. in unserem Fall von Umweltsbedingungen interpretiert werden, wobei diese Interpretation in jedem einzelnen Fall kritisch getestet und durch synökologische und sedimentologische Untersuchungen gestützt werden muß. Der Vorteil der Faktorenanalyse bei palökologischen und faziellen Studien liegt im wesentlichen darin, daß die Zahl der zu deutenden „Möglichkeiten" auf ein überschaubares Maß herabgesetzt wird und daß die unterschiedlich starke Bedeutung der Faktoren für die einzelnen Variablen bzw. Biogene gewichtet wird.

Die Faktorenanalyse geht von der Tatsache aus, daß eine Merkmalsausbildung von den verursachenden Faktoren abhängig ist, wobei ein Faktor nicht für alle Variablen dieselbe Bedeutung haben muß. Die Größe einer Variablen – oder in unserem Fall die Häufigkeit bestimmter biogener Komponenten – ist daher sowohl von dem Gewicht (Bedeutung) und von der Intensität der Faktoren abhängig. Eine bestimmte Merkmalsausbildung i einer Probe j kann demnach durch die Summe der Produkte der Gewichtszahl a_{ik} und der Intensität c_{kj} aller (f) beteiligten Faktoren bestimmt werden:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^{f} a_{ik} \cdot c_{kj}$$

Unter bestimmten Einschränkungen, z. B. der voneinander unabhängiger Faktoren (HARMAN, 1960) ist die Korrelation zweier Merkmale i und l gleich der Summe der Produkte der Gewichtszahlen (= Faktorenladungen) gleicher Faktoren.

$$r_{il} = \sum_{k=1}^{f} a_{ik} \cdot a_{lk}$$

Aufgabe der Faktorenanalyse ist es, die in der Korrelationsmatrix zum Ausdruck kommenden Beziehungen der Variablen durch wenige Faktoren zu beschreiben. Rechnerisch handelt es sich um eine Eigenwertaufgabe (z. B. ZURMÜHL, 1964), wobei die Eigenwerte und Eigenvektoren der Korrelationsmatrix zu bestimmen sind. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Rechenschritte findet man bei HARMAN (1960) und ÜBERLA (1968). In den benutzten Rechenprogramm wurden folgende Verfahren verwendet:

Schätzung der Kommunalität mittels dem multiplen Korrelationskoeffizienten, der durch zusätzliche Iterationen verbessert wurde.

Berechnung der Eigenwerte und Eigenvektoren über die Tridiagonalmatrix mit Hilfe der Householder-Transformation.

Kriterien für die Beendigung der Faktorenextraktion waren (Abb. 18): 90 bis 95% der Gesamtkommunalität, die Größe des Eigenwertes im Verhältnis zur Einheitsvarianz und der Verlauf der Summenkurve der Eigenwerte.

Varimax-Methode (KAISER, 1958) zur orthogonalen Rotation der Faktorenmatrix.

Oblimin-Verfahren (HARMAN, 1960) zur schiefwinkeligen Rotation der Faktorenmatrix.

Für die Variablen der ausgezählten Schichtflächen sind in der Tabelle 13 die unrotierte, die orthogonal rotierte und die schiefwinkelig rotierte Faktorenmatrix wiedergegeben.

4.4 EINSATZ VON RECHENANLAGEN

Der Umfang der Rechenarbeiten bei Cluster- und Faktorenanalysen macht den Einsatz von elektronischen Rechenmaschinen erforderlich. Die im Rahmen dieser Arbeit notwendigen Berechnungen wurden am Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt sowie am Rechenzentrum der Universität Karlsruhe durchgeführt.

Für die Berechnung des cos Φ- und des Distanzkoeffizienten sowie für die Ausführung der Clusteranalyse wurden Programme in FORTRAN IV geschrieben (H. HÖTZL). Für die Korrelationsrechnung sowie für die Faktorenanalyse konnten folgende Bibliotheksprogramme des Deutschen Rechenzentrums benützt werden: KOR I (Autor P. SCHNELL), PAFA (Autor P. SCHNELL) und OBLIMIN (Autor F. GEBHARDT).

4.5 BEMERKUNGEN ZUR STATISTISCHEN AUSWERTUNG VON FAZIES-DATEN

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die unterschiedliche Anwendbarkeit der in den Abschnitten 4.2 und 4.3 beschriebenen Methoden bei Fazies-Studien.

Eine Vereinheitlichung des Daten-Materials erscheint bei faziellen Untersuchungen insoferne als wünschenswert, als sich hier bei Häufigkeitsmessungen die Werte der Variablen unter Umständen nach Zehnerpotenzen unterscheiden können und hierdurch der Varianzanteil von seltenen Variablen an der Gesamtvarianz unverhältnismäßig hoch werden kann, was wiederum zu Schwierigkeiten bei der Faktorenanalyse führen kann (Verhinderung der Extraktion von mehreren Faktoren).

Bei relativ einheitlichen Meßwerten muß jedoch vor einer generellen Normierung oder Standardisierung der Datenmatrix gewarnt werden, da eine derartige vorgegebene Beeinflussung die Auswertung mit erfaßt. Durch Normierung kann es zudem zu Überbewertung eines Merkmals kommen: Geht man von dem Fall aus, daß mehrere Proben durch verschiedene Variablen zwei Fazies-Typen zugewiesen werden sollen und daß unter den Variablen ein Durchläufer vorhanden ist, dessen Zahlenwert in den Proben nur um eine Einheit schwankt, so würden durch Normierung Werte von 0 und 100 entstehen. Es entfällt damit auf die Variable ein extrem hoher Varianzanteil und das primär durch eine geringe und zufällige Streuung charakterisierte Merkmal bestimmt nun die Proben-Zuordnung zu Fazies-Typen in einer kaum sinnvollen Weise.

In der R-Technik ist die Veränderung der Ausgangsdaten bei Verwendung von Korrelationskoeffizienten überflüssig, da der Korrelationskoeffizient bei einer einheitlichen Veränderung der Variablenwerte gleichbleibt.

Es ist daher immer zu prüfen, inwieweit die mit der Veränderung der Urmatrix verbundene Varianzverschiebung tragbar ist. Soll die Varianzverschiebung möglichst niedrig gehalten werden, so wird man die Variablen durch ihren jeweils höchsten Wert dividieren.

Die Frage nach der Wahl der Ähnlichkeitsmatrizen für weitere multivariate Berechnungen erscheint uns nicht als sehr wesentlich, da die für alle Datenmatrizen durchgeführten multivariaten Vergleichsberechnungen unter Verwendung von Korrelations-, cos Φ- und Distanzkoeffizienten bezüglich der Klassifizierung der Variablen und der Stichproben eine weitgehende Übereinstimmung ergaben (siehe Tabelle 16). Unterschiede traten in der Reihung der Faktoren und der Varianzanteile auf. Zudem können Variable, die im statistischen Grenzbereich zweier Gruppen liegen, bei verschiedenen Ähnlichkeitsmatrizen verschieden zugeordnet werden.

Die Verwendung des Korrelationskoeffizienten bringt gewisse Vorteile mit sich, insbesondere bei der Interpretation eines Faktors, da die Variablen bzw. die Stichproben stärker in positive und negative Ladungsanteile differenziert werden und damit eine bessere Bewertung der statistisch ermittelten Unterschiede möglich ist.

Die meisten Autoren arbeiten, insbesondere bei weiterführenden Faktorenanalysen, mit Korrelationskoeffizienten (zum Beispiel Beal 1970, Eldredge 1968, Harbaugh u. Demirmen 1964, Klovan 1966, Lynts 1966, Parks 1967, Saager u. Esselaar 1969). Imbrie (1963) hat vorgeschlagen, den Korrelationskoeffizienten in der Q-Technik durch den cos-Φ-Koeffizienten zu ersetzen, da der Korrelationskoeffizient bei einem Vergleich der Stichproben nur bedeutungslose Ergebnisse liefere. Dies dürfte jedoch auch für den von Imbrie geschilderten Sonderfall nicht zutreffen, bei dem eine von zwei zu vergleichenden Proben nur dem Mittelwert entsprechende Einzelwerte und damit die Standardabweichung von Null hat. Eine derartige Probe hat jedoch mit der anderen Probe immer die Korrelation von Null, es ist keine lineare Abhängigkeit vorhanden. Bedingt durch die mathematische Mehrdeutigkeit des Ergebnisses von Null durch Null besitzt die Probe jedoch mit sich selbst eine Korrelation von $+1$.

Der cos-Φ-Koeffizient wird ohne Einschränkung auch von Keskin (1966) für den Vergleich von Stichproben herangezogen.

Die Verwendung der Clusteranalyse neben der Faktoren-Analyse stellt insbesondere bei der Interpretation der Faktoren und bei der Klassifizierung der Stichproben eine wertvolle Ergänzung dar. Die Methoden der R- und Q-Technik sollten stets gemeinsam angewendet werden, da sich die Ergebnisse gegenseitig bestätigen und hierdurch eine Überprüfung der Resultate möglich wird.

Bei der faktorenanalytischen Auswertung der nachfolgend beschriebenen Probenserien wird nur zum Teil auf das Ergebnis der schiefwinkeligen Rotation eingegangen, da das benützte Oblimin-Verfahren nur relativ geringfügige Abweichungen von der orthogonalen Rotation brachte. Die neuen Faktoren zeigten untereinander vereinzelt eine Korrelation von bis zu 0,3, meist jedoch lag die Korrelation unter 0,1, was einer nahezu völligen Unabhängigkeit der Faktoren gleichkommt. Im Hinblick auf den Bargmann-Test für die Signifikanz der Einfachstruktur (Überla 1968) waren die Ergebnisse der schiefwinkeligen Rotation eindeutiger, es ergab sich jedoch kaum eine Veränderung in der Zugehörigkeit der Variablen zu den einzelnen Faktoren. Daher werden in den folgenden Abschnitten im wesentlichen die besser darzustellenden orthogonalen Faktoren beschrieben.

5. ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN AUSWERTUNG

Im östlichen Steinbruch südlich der Lenne ist eine fossilreiche Schichtfläche in einer Ausdehnung von 30 × 10 m durchgehend aufgeschlossen. Die im Gelände unterscheidbaren Faunenelemente bestehen aus großen, knollen- bis fladenförmig auswitternden Stromatoporen-Kolonien mit maximalen Durchmessern zwischen 20 und 50 cm, aus Alveoliten, Thamnoporen, rugosen Einzelkorallen und vereinzelt aus Brachiopoden. Hierzu treten die in Tabelle 2 genannten Biogene. In der räumlichen Verteilung der Fossilien ist keine Regelmäßigkeit zu erkennen, wenn man davon absieht, daß Thamnoporen, rugose Einzelkorallen und Amphiporen im allgemeinen auf die Bereiche zwischen großen Stromatoporen- oder Alveoliten-Kolonien verteilt sind.

Im Profil P im Hangenden der Schichtfläche sind dünn- bis mittelgebankte, fossilreiche Kalkbänke aufgeschlossen, in welchen Stromatoporen, Alveoliten, ? Favositen (siehe Seite 12), Helioliten, Thamnoporen, Amphiporen, rugose Einzelkorallen und diverse Schalen-Reste erkennbar waren. Das untersuchte Profil ist 150 cm mächtig.

Im gleichen Steinbruch wurde im Profil 36 an der Felsrippe südlich der bearbeiteten Schichtfläche eine etwa 8 m mächtige Folge aus 36 Einzelbänken erfaßt, auf deren angewitterten Schichtköpfen die Faunenverteilung gut erkennbar war. Das Profil 36 liegt im Gesamtprofil etwa 5 m über der ausgemessenen Schichtfläche.

Durch die quantitative Erfassung des Fossilinhalts dieser Kleinbereiche ist es möglich, ein Bild von der Homogenität bzw. Inhomogenität der Faunen der Schwelmer Kalke zu entwerfen, wobei sich die diesbezüglichen Aussagen sowohl auf Daten zeitgleicher Proben (Schichtfläche) als auch auf Messungen an zeitungleichen Proben (Profil P und Profil 36) stützen. Aus den in den Profilen festgestellten Befunden kann zudem auf die Brauchbarkeit des aus den faunistischen Merkmalen der Schichtfläche abgeleiteten Modells der Organismen-Assoziation sowie auf dessen allgemeinen Wert geschlossen werden. Homogenitätsdiagramme (RIEDL 1963) ergänzen und untermauern diese Schlußfolgerungen.

Im Profil Steltenberg wurden zwei Profile quantitativ ausgewertet (Profil 28, 8 m mächtig; Profil 17, 2,20 m mächtig). Für die Erfassung der Häufigkeitsverteilung der Organismen wurden damit Profilabschnitte ausgewählt, in welchen auffallende Unterschiede in der Zusammensetzung der Faunen von Bank zu Bank zu beobachten sind. Qualitative Übersichtsaufnahmen im Gelände führten zur Trennung von sieben „Fazies-Bereichen", welche durch die relative Häufigkeit bestimmter Fossilien definiert sind (Tabelle 7). Auf Grund dieser auffallenden faunistischen Differenzierung war anzunehmen, daß die durch das Vorherrschen einer biogenen Komponente charakterisierten Bänke nach Behandlung des Daten-Materials mit Hilfe der Q-Technik jeweils einer Gruppe angehören. Daher war hier die Möglichkeit gegeben, die Brauchbarkeit der Methode zu überprüfen und an einem überschaubaren Beispiel zu zeigen, inwieweit die Gelände-Typisierung mit statistischen Gruppierungen übereinstimmt.

5.1 SCHICHTFLÄCHE IN LETMATHE

Auf der in einer Ausdehnung von etwa 30 × 10m zugänglichen Schichtfläche wurden zur quantitativen Erfassung des Faunenbestandes 6 Teilbereiche von unterschiedlicher

Größe (maximal 2 × 3 m) untersucht, wobei 11 Faunen-Elemente und die Matrix unterschieden wurden (Tabelle 11).

Die Auszählung der Teil-Bereiche erfolgte in Teil-Feldern von 30 × 30 cm Größe. In jedem Feld wurden 400 Punkte (Treffer) gezählt. Um die Meßmethoden vergleichen zu

Tabelle 11: Faunenzusammensetzung der Schichtfläche; dargestellt durch die Auszählergebnisse von 9 Testfeldern der Größe 60 × 60 cm (Ausschnitt aus einer 12 × 14 Matrix).

a) ausgezählte Prozentwerte

Testfeld Nr. / Fauna	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stromatoporen	23,2	62,4	37,2	60,9	48,0	62,4	42,8	44,5	35,7
Alveoliten	6,4	7,3	13,4	12,9	5,0	5,9	9,3	9,2	12,5
Favositen	1,5	0,0	0,1	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
Helioliten	0,0	0,0	0,3	0,0	2,1	0,0	0,3	0,5	0,0
Auloporen	0,0	0,0	0,0	0,7	4,7	0,6	1,6	1,7	0,0
Thamnoporen	7,5	4,4	6,7	3,9	4,1	3,4	3,0	6,0	9,7
Amphiporen	5,4	0,6	1,4	0,9	1,2	0,5	1,7	3,7	10,0
Rug. Einzelk.	1,1	1,1	1,0	1,1	1,4	0,6	2,7	3,5	2,5
Brachiopoden	0,4	0,4	0,1	0,6	0,2	0,2	0,4	1,0	0,5
Schalenreste	3,7	1,7	1,6	1,7	1,7	0,9	1,9	4,0	0,8
Restl. Biogene	4,5	2,4	4,3	1,3	2,7	0,7	0,9	1,2	0,3
Matrix	45,2	19,5	33,1	15,6	28,2	23,0	35,4	24,5	28,0

b) normierte Prozentwerte

Testfeld Nr. / Fauna	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stromatoporen	0,07	1,00	0,40	0,96	0,66	1,00	0,53	0,57	0,36
Alveoliten	0,26	0,36	0,97	0,92	0,12	0,21	0,55	0,65	0,87
Favositen	1,00	0,00	0,07	0,27	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
Helioliten	0,00	0,00	0,15	0,00	1,00	0,00	0,14	0,24	0,00
Auloporen	0,00	0,00	0,00	0,14	0,90	0,11	0,30	0,33	0,00
Thamnoporen	0,51	0,16	0,43	0,10	0,13	0,05	0,00	0,34	0,77
Amphiporen	0,51	0,01	0,10	0,04	0,07	0,00	0,13	0,34	0,99
Rug. Einzelk.	0,16	0,18	0,14	0,16	0,29	0,00	0,72	1,00	0,66
Brachiopoden	0,27	0,27	0,00	0,36	0,08	0,08	0,24	0,71	0,31
Schalenreste	0,84	0,32	0,29	0,32	0,32	0,10	0,36	0,90	0,08
Restl. Biogene	1,00	0,49	0,95	0,24	0,58	0,09	0,14	0,23	0,00
Matrix	1,00	0,13	0,59	0,00	0,42	0,25	0,67	0,30	0,42

c) standardisierte Prozentwerte

Testfeld Nr. / Fauna	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stromatoporen	−1,30	1,40	−0,33	1,30	0,41	1,40	0,05	0,17	−0,44
Alveoliten	−0,81	−0,51	1,40	1,24	−1,23	−0,95	0,11	0,09	1,11
Favositen	2,83	−0,65	−0,41	0,28	−0,65	0,28	−0,65	−0,65	−0,65
Helioliten	−0,49	−0,49	0,07	−0,49	3,29	−0,49	0,05	0,41	−0,49
Auloporen	−0,80	−0,80	−0,80	−0,37	1,93	−0,45	0,12	0,21	−0,80
Thamnoporen	0,13	−0,87	−0,11	−1,05	−0,98	−1,21	−1,34	−0,36	0,85
Amphiporen	0,54	−0,90	−0,65	−0,81	−0,73	−0,93	−0,57	0,05	1,94
Rug. Einzelk.	−0,80	−0,73	−0,87	−0,80	−0,37	−1,33	1,10	2,03	0,87
Brachiopoden	−0,34	−0,34	−1,25	−0,02	−0,98	−0,98	−0,45	1,16	−0,18
Schalenreste	1,32	−0,32	−0,42	−0,32	−0,32	−1,01	−0,19	1,53	−1,10
Restl. Biogene	1,89	0,27	1,74	−0,54	0,56	−1,00	−0,85	−0,58	−1,30
Matrix	1,55	−1,03	0,33	−1,34	−0,16	−0,68	0,56	−0,53	−0,18

können, wurde die Organismen-Verteilung auf der Schichtfläche zudem auch mit Hilfe von 20, je 1 m langen Meßlinien ermittelt.

Die multivariate Auswertung wurde an drei verschiedenen Datensätzen durchgeführt:

a) Prozentwerte (gewonnen nach dem Punktzählverfahren, 400 Punkte) aus 58 Feldern von 30 × 30 cm Größe.

b) Prozentwerte (gewonnen aus den Prozentwerten von je 4 benachbarten Feldern von 30 × 30 cm Größe, siehe Tabelle 11) aus 14 Feldern von 60 × 60 cm Größe.

c) i-Zahlen, gewonnen aus 20 jeweils 1 m langen Meßstreifen, die in unregelmäßigen Abständen über die Schichtfläche verteilt wurden.

Die nach der R-Technik ermittelte Gruppierung der Faunenelemente in den einzelnen Meßfeldern ist bei unterschiedlicher Größe der Ausgangsdaten und bei unterschiedlichen Meßmethoden relativ gleichartig: Die Clusteranalyse ergab eine Zusammenfassung der Organismen mit größeren und massiveren Kolonien (Alveoliten, Stromatoporen, Helioliten) sowie der inkrustierten Auloporen (meist auf Helioliten) gegenüber einer zweiten Großgruppe, in welche kleinere, überwiegend zylindrische Formen (Thamnoporen, Amphiporen u. a.) vereinigt sind, zusammen mit Brachiopoden und Schalen-Resten.

Diese beiden Großgruppen korrelieren miteinander stark negativ. Im Detail zeigt sich folgende Aufgliederung (Abb. 19) für die oben unter Punkt (b) charakterisierte Ausgangsmatrix:

Gruppe 1: a) Stromatoporen, Helioliten, Auloporen
b) Alveoliten

Gruppe 2: a) Brachiopoden, Schalen-Reste, Einzelkorallen
b) Thamnoporen, Amphiporen

Gruppe 3: Matrix, Favositen, restliche Biogene

Ein geringfügiger aber auffallender Unterschied bringt die Clusteranalyse der i-Zahlen (Ausgangsmatrix c). Hier entspricht die Gruppierung zwar der oben angeführten, jedoch sind Stromatoporen und Einzelkorallen vertauscht.

Auch die Faktorenanalyse zeigt ein relativ einheitliches Ergebnis für die drei verwendeten Datensätze:

Bei den Werten aus 60 × 60 cm-Feldern liegt der Anteil der Gesamtkommunalität mit 95 % um 10 % höher als bei Werten aus 30 × 30 cm-Feldern und bei Werten, die mit Hilfe der Linienmeßmethode gewonnen wurden. Dies zeigt eine größere Streuung der Daten bei den beiden letztgenannten Daten-Sätzen an.

Auffallender sind Unterschiede, die sich aus der Berechnung der Faktorenanalyse aus verschiedenen Ähnlichkeitsmatrizen ergeben: Bei Verwendung der Distanzkoeffizient-Matrix liegt die Common-Varianz für alle drei Datensätze bei 75 %, wovon ein Anteil von über 80 % auf den ersten Faktor entfällt. Die übrigen Faktoren liegen unter 5 % und damit wesentlich unter der absoluten Einheitsvarianz, sodaß eine Extraktion nicht mehr sinnvoll ist. Wird die Extraktion jedoch durchgeführt und die Faktorenmatrix rotiert, so ergibt sich eine überraschend gute Übereinstimmung mit den auf anderen Ähnlichkeitsmaßen aufgebauten Ergebnissen (siehe Tabelle 12).

Die Zuordnung der Faunenelemente zu einzelnen Faktoren entsprechend ihrem Varianzanteil gibt im wesentlichen die bereits durch die Clusteranalyse ermittelte Gruppierung wieder: Der Faktor A umfaßt den Großteil der Varianz der oben skizzierten Gruppe 3. Dem Faktor B sind Helioliten und Auloporen zugeordnet. Der Faktor C umfaßt die restlichen Faunenelemente, wobei nur bei einer auf der Korrelationsmatrix aufgebauten Faktorenanalyse eine weitere Aufgliederung möglich ist, die in einer hohen positiven Ladung für die Alveoliten und einer hohen negativen Ladung für Brachiopoden und Schalenreste zum Ausdruck kommt. Auch der Faktor D zeigt eine starke negative Korrelation zwischen Stromatoporen einerseits und Thamnoporen und Amphiporen andererseits.

Die enge Bindung von Brachiopoden und Schalen-Resten ist nach Schliff-Befunden darauf zurückzuführen, daß es sich bei der Mehrzahl der zerbrochenen Schalenfragmente um Brachiopodenreste handelt.

Tabelle 12: Faktorenanalyse der Faunenkomponenten (%-Werte der Schichtfläche)

FAK-ANAL. Nr. 1: Berechnung über Korrelationsmatrix
FAK-ANAL. Nr. 2: Berechnung über ausgezählte Werte und cos-Φ-Matrix
FAK-ANAL. Nr. 3: Berechnung über normierte Werte und cos-Φ-Matrix
FAK-ANAL. Nr. 4: Berechnung über normierte Werte und Distanzkoeffizientenmatrix

[1]) eh^2 = extrahierter Anteil der Kommunalität in %

FAK-ANAL. Nr.	h^2 in % der Gesamtvarianz	Zahl der extrah. Fakt.	eh^2 [1])	%-Anteil der rotierten Faktoren an eh^2				Abhängigkeit der Komponenten von den Faktoren (Zuordnung nach der größten Faktorenladung der Komponenten)			
				Fakt. 1	Fakt. 2	Fakt. 3	Fakt. 4	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1	96,9	4	79	31	17	22	30	Favositen restl. Biogene Matrix –rug. Einzelk.	Auloporen Helioliten	–Alveoliten Brachiopoden Schalenreste	Stromatoporen –Thamnoporen –Amphiporen
2	95,2	3	89	24	21	55		Favositen restl. Biogene Matrix	Auloporen Helioliten	Stromatoporen Alveoliten Thamnoporen Amphiporen rug. Einzelk. Brachiopoden Schalenreste	
3	94,1	3	85	31	24	45		Favositen restl. Biogene Matrix	Stromatoporen Auloporen Helioliten	Alveoliten Thamnoporen Amphiporen rug. Einzelk. Brachiopoden Schalenreste	
4	76,3	4	89	27	21	34	17	Favositen restl. Biogene Matrix	Auloporen Helioliten	Thamnoporen Amphiporen rug. Einzelk. Brachiopoden Schalenreste	Stromatoporen Alveoliten

Tabelle 13: Faktorenmatrizen für die Faunenelemente der Schichtfläche, berechnet aus der Korrelationsmatrix.
(Korrelation der Faktoren der schiefw. Rotation: $r_{12} = 0{,}25$, $r_{13} = 0{,}21$; alle übrigen Koeffizienten sind kleiner als 0,07)

Faunenelemente	nicht rotierte Faktorenmatrix (Hauptachsenlösung)				orthogonal rotierte Faktorenmatrix (Rotation nach VARIMAX-Krit.)				schiefwinkelig rotierte Faktorenmatrix (Rotation nach OBLIMIN-Krit.)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Stromatoporen	0,887	−0,115	0,086	−0,411	0,590	0,788	−0,073	−0,041	−0,789	−0,275	−0,127	−0,175
Alveoliten	0,161	0,075	−0,733	0,242	0,143	−0,220	−0,708	−0,238	0,064	−0,049	−0,170	−0,116
Favositen	−0,580	0,609	0,085	−0,099	−0,804	−0,114	−0,027	−0,256	−0,055	0,172	−0,014	−0,104
Helioliten	0,224	0,147	0,647	0,517	−0,113	0,166	0,068	0,845	−0,082	0,058	0,099	0,456
Auloporen	0,439	−0,216	0,384	0,628	0,343	0,016	−0,102	0,809	0,011	−0,098	0,024	0,454
Thamnoporen	−0,677	−0,406	−0,221	0,186	−0,022	−0,798	0,205	−0,169	0,125	−0,104	−0,000	−0,083
Amphiporen	−0,606	−0,271	−0,357	0,350	−0,073	−0,819	−0,044	−0,112	0,123	−0,091	−0,059	−0,066
Rug. Einzelkorallen	−0,207	−0,870	0,145	0,080	0,562	−0,502	0,502	0,086	0,198	−0,326	0,167	0,064
Brachiopoden	−0,541	−0,642	0,148	−0,276	0,199	−0,451	0,704	−0,253	0,115	−0,157	0,210	−0,133
Schalenreste	−0,723	−0,193	0,471	−0,353	−0,318	−0,241	0,853	−0,144	−0,052	0,121	0,659	−0,058
Restl. Biogene	−0,532	0,594	0,348	−0,078	−0,835	0,044	0,250	0,041	−0,123	0,237	0,108	0,062
Matrix	−0,803	0,355	0,063	0,268	−0,757	−0,509	0,107	0,052	0,004	0,188	0,035	0,660

Die nach der Q-Technik durchgeführte Korrelationsanalyse liefert einen wichtigen Hinweis auf die Homogenität oder Inhomogenität der auf der Schichtfläche festgestellten Faunenbestandes:

Aufgrund der im Gelände erkennbaren ± gleichbleibenden Verteilung der Organismen auf der Meßfläche konnte angenommen werden, daß die untersuchte Fläche eine faunistisch relativ homogene Einheit darstellt. Bei Zutreffen dieser Annahme dürfen die Abweichungen der 6 ausgewählten Testbereiche nur innerhalb der zulässigen Streuung des gesamten „Faziestyps" liegen. Es war daher nicht zu erwarten, daß durch eine Cluster- bzw. Faktorenanalyse eine scharf umrissene Gruppierung der Felder entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den Testbereichen zum Ausdruck kommt:

Dies war auch weitgehend der Fall. Lediglich die Auszählfelder des ersten Testbereiches bilden eine – von der Art der Datenaufbereitung abhängige – mehr oder weniger geschlossene, aus dem üblichen Schema herausfallende Gruppe (Abb. 20 und 21). Dieser Testbereich lag in einem 2,5 × 2 m großen Abschnitt der Schichtfläche, in welchem große Stromatoporen-Kolonien weitgehend fehlen, wodurch der Flächenanteil an Matrix und kleinen Organismen mit zylindrischen Wuchsformen steigt. Da diese Differenzierung mit der durch die R-Technik ermittelten Faunen-Gruppierung übereinstimmt (siehe oben), ist anzunehmen, daß es sich hier um einen ökologischen Kleinbereich mit vom Regelfall abweichenden Bedingungen handelt. Bei Unkenntnis der Streuungsbreite eines „Faziestyps" bzw. bei schlechteren Aufschlußverhältnissen besteht in solchen Fällen die Gefahr, daß ökologische und fazielle Einheiten in voneinander unabhängige Fazies-Typen aufgegliedert werden, wobei dies durch eine quantitative Datenauswertung zusätzlich erhärtet werden würde.

Die Annahme einer einheitlichen Zusammensetzung des Faunenbestandes wird durch die nach der Q-Technik durchgeführten Faktorenanalyse bestätigt, da die Gesamtkommunalität nahezu identisch mit der Gesamtvarianz ist. Bei Berücksichtigung der direkt beobachteten Werte erfassen die beiden ersten Faktoren bereits 98% der Gesamtkommunalität, was sicher auf den wesentlich höheren Varianzwert der Stromatoporen und der Matrix im Vergleich mit den Werten der übrigen Faunenelementen zurückgeht. Bei normierten und standardisierten Datensätzen werden diese Unterschiede ausgeglichen. Damit verteilt sich die Varianz auf mehrere Faktoren, was in den beiden unteren Diagrammen der Abb. 21 in einer stärkeren Streuung der Probenpunkte zum Ausdruck kommt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die quantitative Erfassung der Organismen-Häufigkeit auf der Schichtfläche deutliche Hinweise auf die Existenz einer homogenen ökologischen Einheit liefert. Die Definition und die Einstufung dieser Einheit im Rahmen der möglichen ökologischen Kategorien (Bestände, Assoziationen, Kommunitäten, Biozönosen etc.) kann durch eine Auswertung der qualitativen Merkmale und unter Berücksichtigung der Arten-Verteilung in den untersuchten Testbereichen erfolgen (siehe Abschnitt 6.2, Seite 62).

5.2 PROFIL P IN LETMATHE

Die Messungen erfolgten hier an Schichtköpfen. Um einen Vergleich der Punktzähl- und der Linienmeßmethode durchführen zu können, wurde eine 1,5 × 1,5 m große Fläche aufgenommen, deren Bankabschnitte eine unterschiedliche Faunenzusammensetzung erkennen ließen. Es handelt sich um einen in den Schwelmer Kalken weit verbreiteten Ablage-

rungstypus, bei welchem fossilreiche Stromatoporen-Kalke mit Brachiopodenschill-Bänken und mit Amphiporen-Bänken wechseln.

Ausgezählt wurden 16 Felder von 30 × 30 cm Größe, wobei mit 50, 100 oder 400 Meßpunkten bzw. mit 12 Meßlinien von jeweils 1 m Länge (parallel zu den Schichten) gearbeitet wurde. Die Anordnung der Meßfelder und Meßlinien ist in Abb. 23 dargestellt.

Da die Verwendung von verschiedenen Punktzahlen in den Einzelfeldern annähernd die gleichen Prozentwerte erbrachte, wurden für die Berechnung der Cluster- und Faktorenanalyse nur die Daten der 400-Punkte-Auszählung sowie die Prozentwerte und die i-Zahlen der Linienmeßmethode herangezogen.

Durch die Clusteranalyse der Korrelationskoeffizienten ergibt sich im positiven Korrelationsbereich eine Zusammenfassung der Faunenelemente nach drei Gruppen, wobei die Gruppierungen nach der Punktzähl- und der Linienmeßmethode nicht wesentlich voneinander abweichen. Lediglich bei s-parallel „eingeregelten" Organismen (Amphiporen, Thamnoporen), die zudem nur in nur wenigen Zentimeter mächtigen Bankabschnitten auftreten, zeigt die Linienmeßmethode Vorteile.

Nach dem Punktzähl-Verfahren ergibt sich folgende Gruppierung:

Gruppe 1: Matrix, Alveoliten, Amphiporen, Helioliten

Gruppe 2: Stromatoporen und Schalenreste

Gruppe 3: ?Favositen, Thamnoporen und Einzelkorallen

Die aus den Linearwerten ableitbare Gruppierung (Abb. 22) lautet:

Gruppe 1: Stromatoporen, Alveoliten und Schalenreste

Gruppe 2: a) Matrix, Einzelkorallen, ?Favositen
b) Helioliten und Amphiporen

Gruppe 3: Thamnoporen

Die zuletzt angeführten Gruppen 2 und 3 zeigen eine sehr schwache negative Korrelation. Die Gruppe 1 mit den großwüchsigen Stromatoporen-Kolonien und Alveoliten weist hingegen gegenüber der zusammengezogenen Gruppe 2 und 3 (Überwiegen von kleinzylindrischen Wuchsformen und Matrix) eine stark negative Abhängigkeit auf.

Die Zweiteilung der Faunenelemente in massive Wuchsformen und in kleine, zylindrische Wuchsformen ist auch in der Clusteranalyse aus der cos Φ-Matrix zu erkennen. Jedoch bilden hier die nur sporadisch auftretenden ?Favositiden und Helioliten eine selbständige Gruppe, die sich mit starker negativer Korrelation den beiden oben erwähnten Gruppen anschließt. Weniger übersichtlich ist die graphische Darstellung der Clusterung der Distanzkoeffizientenmatrix. Nach dem Zusammenziehen von Untergruppen treten hier zum Teil wiederum höhere Werte auf, so daß sich keine deutliche hierarchische Gruppierung ergibt. Jedoch ist das Resultat der Clusterung mit dem aus der Korrelationskoeffizientmatrix im Prinzip vergleichbar.

Die faktorenanalytische Auswertung des Fauneninhaltes zeigt bei den aus der Korrelationsmatrix errechneten Werten einen sehr hohen Anteil der Common-Varianz (90%; cos Φ-Matrix: 80%; Distanzkoeffizienten-Matrix: 60%) und eine relativ geringe Eigenvarianz der Variablen. Für die Erfassung von 95% der Common-Varianz reichen für die einzelnen Ähnlichkeitsmatrizen durchschnittlich 4–5 Faktoren aus. Zieht man hingegen die Einheitsvarianz als Kriterium heran, so sind meist nur 2–3 Faktoren zu extrahieren.

Im Normalfall vereinigt der erste Faktor den größten Faktorenanteil auf sich. Es fällt jedoch auf, daß bei den aus der cos Φ-Matrix und aus der Distanzkoeffizienten-Matrix er-

mittelten Werten der durchschnittliche Varianzanteil des ersten Faktors alleine bereits über 75% der Common-Varianz umfaßt. Die Zuordnung der einzelnen Variablen zu den ermittelten Faktoren läßt sich bei verschiedenen Ausgangsmatrizen nur bedingt miteinander vergleichen. Die Übereinstimmung der Faktoren ist innerhalb der unterschiedlichen Auszählverfahren größer als zwischen den einzelnen Ähnlichkeitsmatrizen. Die Rangfolge der Faktoren ist in parallelen Rechengängen nur in den seltensten Fällen identisch.

Die sich aus der Korrelationsmatrix ergebenden Faktoren zeigen zunächst eine Abhängigkeit der Amphiporen und Thamnoporen vom Faktor A. Bei den aus den Werten der Linienmeßmethode gewonnenen Daten weisen auch die Alveoliten eine relativ hohe negative Ladung für diesen Faktor auf. Für den Faktor B ergeben sich hohe positive Ladungen bei Stromatoporen und bei Schalenbruchstücken. Der Faktor C scheint vor allem für die Varianz der Favositen verantwortlich zu sein, während der Faktor D uneinheitlich ausgebildet und nicht vergleichbar ist.

Der wichtigste Unterschied in der Verteilung der sich aus der Korrelationskoeffizienten-Matrix bzw. der cos Φ-Matrix ergebenden Faktoren-Ladungen liegt darin, daß im ersten Fall sowohl positive als auch negative Abhängigkeit von einem Faktor aufgezeigt wird, während bei Benützung der cos Φ-Matrix lediglich eine positive Beeinflussung festgehalten wird.

Damit deutet auch die Faktorenanalyse die Differenzierung nach großen massiven und kleinen zylindrischen Wuchsformen an. Besonders hervorzuheben ist die klare Zusammengehörigkeit von Thamnoporen und Amphiporen, die negative Abhängigkeit der Matrix von den Stromatoporen sowie ein relativ großer Einfluß der nur sporadisch auftretenden Formen wie ?Favositen und Helioliten auf die Ergebnisse der Analyse.

Die Q-Technik bestätigt die durch die R-Technik erhaltenen Faunen-Gruppierungen, wobei die Gruppen durch besonders hohe Anteile von wenigen Faunen-Elementen charakterisiert sind (Abb. 23). Im clusteranalytischen Verfahren wird deutlich, daß die einzelnen Koeffizientenmatrizen bei gleichartig aufbereiteten Ausgangsmatrizen nahezu völlig übereinstimmen. Nur bei einzelnen Proben, die eine Zwischenstellung zwischen zwei Gruppen einnehmen, können verfahrensbedingte unterschiedliche Zuordnungen möglich werden.

Hingegen bewirken Veränderungen der Ausgangsmatrix in der Reihenfolge Urmatrix – normierte Matrix – standardisierte Matrix eine stärkere Aufteilung nach Untergruppen und teilweise auch eine Aufwertung der Untergruppen zu selbständigen Hauptgruppen:

Abb. 22 zeigt die Clusterung der mit Hilfe der Linienmeßmethode erfaßten Profildaten. Die Clusterung erfolgte durch die Korrelationskoeffizienten der standardisierten Werte. In der Abbildung links sind die für die einzelnen Untergruppen ausschlaggebenden Faunenelemente angeführt. Besonders sei auf die Bedeutung der nur vereinzelt auftretenden ?Favositen und Helioliten hingewiesen (im ganzen Profil wurde zum Beispiel nur ein ?Favositenstock angetroffen, der in Probe 4 mit einem Anteil von 5% in Erscheinung tritt); die Eigenständigkeit derartiger Proben ist daher als zufallsbedingt zu betrachten.

Bei Analyse der normierten Werte werden die an Alveoliten reichen Proben 8, 10 und 11 nicht mit den an Stromatoporen reichen Proben 1 und 2 vereinigt, sondern mit den übrigen Untergruppen zu einer durch hohe Grundmasse-Anteile ausgezeichneten Hauptgruppe zusammengefaßt. In der Analyse der Urmatrix wird dieser Trend noch deutlicher; hier fallen die Untergruppen weg und es stehen sich zwei durch Stromatoporen-Reichtum bzw. durch einen hohen Grundmasseanteil charakterisierte Hauptgruppen gegenüber.

In der Abb. 22 sind die durch unterschiedlich aufbereitete Ausgangswerte bedingten verschiedenen Ergebnisse der Cluster-Analyse des Profils P dargestellt.

Auch die durch die Q-Technik-Faktorenanalyse erhaltenen Gruppierungen stimmen mit den Ergebnissen der Clusteranalyse überein. Die starke Untergliederung bei der Clusterung von standardisierten Daten macht sich in der Zahl der Faktoren bemerkbar: bei standardisierten Ausgangswerten konnten bis zu 6 Faktoren extrahiert werden, bei unveränderten Ausgangswerten meist jedoch nur 2 Faktoren.

Ein Vergleich der Punkt-Zähl-Methode und der Linienmeßmethode zeigt, daß Messungen mit Hilfe eines Netzes einen lagigen Aufbau nur dann wiedergeben, wenn die Netzgröße innerhalb der Bankmächtigkeit liegt. Dies ergibt sich aus der Auswertung von im Abstand von 10 cm gezogenen Linien sowie aus der Datenerfassung in Netzreihen mit je 4 Einzelfeldern (30 × 30 cm), die über jeweils drei Linien gelegt wurden.

Zusammenfassend bringt die Auswertung der Organismen-Häufigkeit Hinweise auf die klare Steuerung bzw. Trennung von Wuchstypen durch gleichartige Umweltfaktoren sowie auf die Übertragbarkeit der bei der Auswertung der Schichtfläche gewonnenen Vorstellungen über die Faunenhomogenität.

5.3 PROFIL 36 IN LETMATHE

Im östlichen Steinbruch südlich der Lenne in Letmathe ist, südlich an die untersuchte Schichtfläche anschließend, eine bis zur Bruchsohle herabziehende Felsrippe aufgeschlossen, die sich aus 36 Kalkbänken mit unterschiedlicher Fossilführung aufbaut. Die Messungen erfolgten nach der Linearmethode, wobei 10 Faunenelemente und Grundmasse unterschieden wurden.

Eine auf der Korrelationsmatrix aufgebaute Clusteranalyse (Abb. 24) ergibt ein mit der Schichtfläche und mit dem Profil P vergleichbares Bild:

Übergeordnet findet sich eine Gliederung nach zwei miteinander sehr stark negativ korrelierende Großgruppen. In der einen Gruppe sind massive, großwüchsige Stromatoporen, Alveoliten und ?Favositiden vertreten, wobei die Stromatoporen mit den beiden übrigen Faunenelementen schwach negativ korreliert sind. In der zweiten Großgruppe sind kleine, zylindrische Wuchsformen, schalentragende Organismen und Grundmasse zusammengefaßt. Innerhalb dieser zweiten Gruppe ist durch den Gruppierungskoeffizienten 0,1 eine deutliche Untergliederung möglich (Abb. 24):

Gruppe a: Thamnoporen, Amphiporen, Einzelkorallen und restliche Biogene

Gruppe b: Echinodermen und Schalenreste

Gruppe c: Brachiopoden und Grundmasse

Die cos Φ- und Distanzkoeffizienten scheinen in diesem Fall für eine Clusteranalyse ungeeigneter, da die einzelnen Variablen mit abnehmenden Gruppierungskoeffizienten zu einer einzigen Gruppe zusammengefaßt werden.

Im Gegensatz hierzu ist bei der nach der R-Technik durchgeführten Faktoren-Analyse der erste extrahierte Faktor unabhängig von den Ausgangsmatrizen relativ einheitlich. Der Faktor ist durch sehr hohe Ladungen bei Thamnoporen, Amphiporen, Einzelkorallen und bei restlichen Biogenen charakterisiert. Bei Werten aus den cos Φ- und Distanzkoeffizientenmatrizen treten zusätzlich hohe Ladungen bei Alveoliten und bei der Grundmasse auf.

Tabelle 15: Faktorenanalyse, Profil 36, Letmathe

Besonders hervortretende Faunenelemente der Schichten					Laufende Nr. der Schichten	Schicht-Faktoren[1])						
						Faktor A Faktor B			Faktor C Faktor D			
						Berechnung der Faktorenmatrix mittels:						
						Korrelationsmatr.			cos-Φ-Matrix			Distanzkoeffizient-Matrix
St. = 50–90% Stromatop.						beob. Daten	norm. Daten	stand. Daten	beob. Daten	norm. Daten	stand. Daten	norm. Daten
st = 25–50% Stromatop.												
A = > 20% Alveoliten												
a = 10–20% Alveoliten												
Z = > 20% zyl. Organ.[2])												
z = 10–20% zyl. Organ.												
B = > 25% Brachiop.												
b = 10–25% Brachiop.												
M = > 50% Matrix												
m = 35–50% Matrix												
–	–	Z	–	m	36	A	A	C	A	A	C	A
–	a	Z	–	m	35	A	A	A	A	A	C	A
–	–	z	–	M	34	A	A	A	A	A	A	A
–	–	z	–	m	33	A	D	A	A	A	A	A
St	–	–	–	–	32	B	B	B	B	B	B	B
St	–	–	–	–	31	B	B	B	B	B	B	B
st	–	Z	–	m	30	A	A	A	A	A	A	A
St	–	z	–	–	29	B	B	B	B	B	B	B
–	A	Z	–	–	28	A	A	A	A	A	A	A
st	–	z	–	m	27	B	B	B	B	B	B	B
–	–	z	–	M	26	A	A	D	A	A	D	A
–	A	Z	–	m	25	A	A	B	A	D	B	A
–	a	–	B	m	24	C	C	C	C	C	C	C
–	–	z	b	m	23	A	A	D	A	A	D	A
St	–	–	–	–	22	B	B	B	B	B	B	B
–	–	–	b	M	21	A	C	A	A	C	A	C
st	A	–	–	–	20	B	D	D	B	D	D	B
–	–	Z	b	m	19	A	A	D	A	A	D	A
–	a	–	B	m	18	C	C	C	C	C	C	C
–	–	z	B	m	17	C	C	C	C	C	C	C
–	a	–	B	m	16	C	C	C	C	C	C	C
–	–	–	b	M	15	A	C	D	A	C	A	C
–	a	–	B	–	14	C	C	C	C	C	C	C
–	a	z	b	m	13	C	A	D	C	A	D	A
–	–	z	B	m	12	C	C	C	C	C	C	C
St	–	–	–	–	11	B	B	B	B	B	B	B
st	–	z	–	m	10	A	B	A	A	D	D	B
–	a	Z	–	m	9	A	A	C	A	A	C	A
–	a	Z	–	M	8	A	A	D	A	A	D	A
–	A	z	–	m	7	A	A	A	A	A	B	A
st	a	Z	–	m	6	A	A	A	A	A	B	A
St	a	–	–	–	5	B	B	B	B	B	D	B
st	A	z	–	–	4	B	D	D	B	D	D	A
St	–	–	–	–	3	B	B	B	B	B	B	B
st	–	–	–	m	2	B	B	A	B	B	D	B
st	a	z	–	–	1	B	A	D	B	D	D	B

[1]) rotierter Faktor mit der größten Ladungszahl für die jeweilige Schicht
[2]) Amphiporen, Thamnoporen und rugose Einzelkorallen.

Der zweite Faktor weist eine hohe positive Ladung für Stromatoporen und stark negative Werte für Brachiopoden, Echinodermen und Schalenreste auf. Der dritte Faktor bestimmt die Varianz der Brachiopoden und der Grundmasse.

Bei Benützung der Distanzkoeffizientenmatrix ergibt sich keine Übereinstimmung hinsichtlich der Werte für den zweiten und dritten Faktor.

Die Zusammenfassung der Probeeinheiten durch die Q-Technik-Analyse unterstreicht die Bedeutung der durch die R-Technik-Analyse festgestellten Faunengruppierungen. Die Clusterung der Probeeinheiten stimmt bei in verschiedener Weise aufbereiteten Daten überein. Lediglich bei Proben, die durch sehr seltene oder in bestimmten Bänken nicht auftretende Biogene gekennzeichnet sind, sind Abweichungen in der Probenanordnung zu beobachten. Abb. 24 zeigt die Clusterung der normierten Daten mit Hilfe von Korrelationskoeffizienten; demnach können bei einem Gruppierungskoeffizienten von 0,5 sechs Gruppen unterschieden werden.

Betrachtet man die durch die Q-Technik erzielten Gruppierungen der Proben bzw. der Bänke, so ergibt sich folgendes Bild:

15 Probeeinheiten der ersten Hauptgruppe sind in ihrem Fauneninhalt durch den hohen Anteil an zylindrischen Organismen und durch einen ± hohen Anteil an Grundmasse bestimmt. Das charakeristische Faunenelement der zweiten Hauptgruppe sind Brachiopoden. Durch den ebenfalls hohen Anteil an Grundmasse ist die zweite Hauptgruppe eng mit der ersten Hauptgruppe verbunden. Diesen beiden Hauptgruppen steht als dritte Hauptgruppe eine Folge von 10 Probeeinheiten (Bänken) gegenüber, deren Fauneninhalt durch einen sehr hohen Stromatoporenanteil, zum Teil auch durch häufige Alveoliten, ausgezeichnet ist.

Neben diesen drei Hauptgruppen stehen drei Gruppen, die jeweils durch eine Einzelprobe bzw. durch eine einzige Bank des Profils repräsentiert werden. Sie sind durch den relativ hohen Anteil einer einzigen Faunenkomponente charakterisiert. Für die Bank 10 sind dies Schalenreste (7,5% gegenüber einem Mittel von 0,8%), für die Bank 20 der Anteil an ?Favositiden (11%) und für die Bank 33 der Anteil an Echinodermen (23%). Da in der Faunengruppierung nach der R-Technik Echinodermen und Schalenreste auf Grund ihrer engen Korrelation in einer Untergruppe zusammengefaßt werden, liegt es nahe, die Bänke 10 und 33 als eine Einheit zu betrachten. Bei der Bank 20 ist der hohe Prozentanteil an ?Favositiden durch einen einzigen Stock bewirkt, eine ökologische Eigenständigkeit der Probeneinheit ist daher unwahrscheinlich.

Die nach der Q-Technik durchgeführte Faktorenanalyse ergibt eine vergleichbare Gruppierung, wobei bereits durch die jeweils höchste Faktorenladung der Proben eine Gliederung möglich ist (Tabelle 15). Die Verwendung von normierten und standardisierten Daten sowie von verschiedenen Ähnlichkeitsmatrizen ist hierbei für die Auswertung der Faktorenanalyse nahezu ohne Bedeutung, obwohl für vergleichbare Faktoren der Anteil an der Gesamtkommunalität erheblich schwanken kann und die nach der Rotation auf die Faktoren entfallenden Kommunalitäten nicht übereinstimmen.

Abb. 25 zeigt den engen Zusammenhang zwischen Faktorenladung und Komponenten-Anteil einer Bank: Stichproben können daher anstatt durch eine große Zahl von Variablen durch einige wenige Faktoren in übersichtlicher Weise miteinander verglichen werden. Bei einem Vergleich der Bänke im Profil 36 kann an Stelle der Prozentwerte für zylindrische Organismen (Amphiporen, Thamnoporen, Einzelkorallen) und für die Grundmasse die Ladung des Faktors A, für die Stromatoporen der Faktor B, für die Alveoliten der Faktor D und für die Brachiopoden und für die Grundmasse der Faktor C herangezogen werden.

Zusammenfassend zeigt die quantitative Untersuchung des Profils 36 die gute Übereinstimmung der mit Hilfe von R- und Q-Technik-Analysen gewonnenen Gruppierungen und damit die Möglichkeit, die ökologischen Kategorien durch Erfassung von wenigen Stichproben in statistisch gesicherter Weise zu typisieren.

5.4 PROFIL STELTENBERG, HOHENLIMBURG

Die im Steinbruch Steltenberg in zwei Profilen durchgeführten Untersuchungen sollten zeigen, inwieweit die im Gelände infolge von auffallenden Unterschieden in der Faunenzusammensetzung der einzelnen Bänke durchführbare qualitative „Typisierung" nach „Fazies-Bereichen" (siehe Tabelle 7, S. 27) durch quantitative Erfassung der Organismen-Häufigkeiten bestätigt oder erweitert werden kann.

Die beiden Testprofile wurden mit Hilfe der Linienmeßmethode untersucht.

Im Testprofil 28 sind fünf Kalkbänke aufgeschlossen, die 4 Faziesbereichen zugeordnet werden können: Die Bänke 1 und 4 sind durch dichtliegende Amphiporen und durch das sehr starke Zurücktreten aller übrigen Organismen charakterisiert (Faziesbereich 1). Die Bank 2 ist durch in Lebensstellung befindliche lamellare und globulare Stromatoporen (Faziesbereich 7), Bank 3 durch Brachiopoden und viel Grundmasse (Faziesbereich 3) gekennzeichnet. In der Bank 5 (Faziesbereich 2) ist nahezu das gesamte Organismenspektrum vertreten. Neben Stromatoporen und Alveoliten finden sich hier relativ häufig zylindrische Einzelkorallen und Thamnoporen, wobei die beiden letztgenannten Gruppen jedoch nicht so dominierend in Erscheinung treten wie in den anderen Bänken.

Die Häufigkeitsmessungen erfolgten im allgemeinen entlang von jeweils sechs bis acht aneinandergereihten Linien von 100 $\pm$ 20 cm Länge, wobei die Meßlinien in der Bankmitte lagen. Lediglich bei Bank 4 wurde nur ein Probestreifen aufgenommen, da die faunistische Übereinstimmung mit der Bank 1 eindeutig ist.

Im Testprofil 28 sollte überprüft werden, inwieweit die durch verschiedene Ausgangs- und Ähnlichkeitsmatrizen bedingten Unterschiede bei der Klassifizierung nach Gruppen mit Hilfe der Q-Technik-Analyse mit den nach den häufigsten Organismen möglichen qualitativen Gruppierungen übereinstimmen (Tabelle 16). Auf Grund der deutlichen Unterschiede im Fossilinhalt der Bänke war anzunehmen, daß die Proben aus einer Bank jeweils einer statistischen Gruppe angehören würden.

Die auf Prozentwerte und auf i-Zahlen aufgebaute Analyse führt zu Gruppierungen, die im wesentlichen der im Gelände durchgeführten Typisierung entsprechen. Die Probeeinheiten der Bänke 1 bis 3 wurden entsprechend der Bankzugehörigkeit zu drei Gruppen zusammengefaßt. Die Einzelprobe in Bank 4 wurde wie erwartet mit den Stichproben aus Bank 1 vereinigt.

Unterschiedlich war die Einstufung der faunistisch differenzierten Bank 5: Während sie bei Benützung der i-Zahlenwerte zum Teil noch geschlossen ausgeschieden wurde (insbesondere bei Berechnung durch den Distanzkoeffizienten), erfolgte bei Verwendung von Prozentwerten eine Aufsplitterung, wobei ein Teil der Stichproben dem Faziesbereich 7, ein anderer Teil dem Faziesbereich 3 zugezählt wurden.

Bei den faktorenanalytischen Verfahren macht sich die Abhängigkeit von der Varianzverteilung in auffallender Weise bemerkbar. Je nach Datenaufbereitung wurden bis zu 6 Faktoren extrahiert; bei unveränderten i-Zahlen konnte nur ein Faktor extrahiert werden. Dies ist dadurch zu erklären, daß außer den i-Zahlen der Faunenelemente der prozentuelle

Anteil der Grundmasse mit Werten von 1 bis 1000 verwendet wurde. Diese Zahlen lagen mit zwei Zehnerpotenzen höher als die Faunenelemente, so daß sich eine einseitige Varianzverteilung ergab.

Tabelle 16: Ähnlichkeitsmatrizen der Variablen aus dem Profil P 28, berechnet mit normierten i-Zahlen

1 = globulare Stromatoporen
2 = lamellare Stromatoporen
3 = Alveoliten
4 = Thamoporen
5 = Amphiporen
6 = rugose Einzelkorallen
7 = Brachiopoden
8 = Matrix

a) Korrelationsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,000							
2	0,168	1,000						
3	0,509	0,044	1,000					
4	0,030	−0,038	0,301	1,000				
5	−0,085	−0,385	−0,092	−0,165	1,000			
6	−0,138	0,062	0,241	0,600	−0,296	1,000		
7	−0,245	−0,263	0,094	−0,046	−0,237	0,048	1,000	
8	−0,368	−0,271	0,031	0,133	−0,141	0,374	0,647	1,000

b) cos-Φ-Matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,000							
2	0,490	1,000						
3	0,597	0,246	1,000					
4	0,340	0,255	0,428	1,000				
5	0,311	0,057	0,128	0,143	1,00			
6	0,266	0,352	0,384	0,702	0,080	1,000		
7	0,188	0,120	0,265	0,216	0,114	0,311	1,000	
8	0,425	0,384	0,327	0,473	0,406	0,618	0,731	1,000

c) Distanzkoeffizientenmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,000							
2	0,660	1,000						
3	0,708	0,680	1,000					
4	0,625	0,646	0,735	1,000				
5	0,618	0,603	0,679	0,638	1,000			
6	0,575	0,636	0,681	0,757	0,583	1,000		
7	0,556	0,579	0,660	0,616	0,593	0,608	1,000	
8	0,508	0,509	0,507	0,540	0,520	0,591	0,641	1,000

Die Varianzaufgliederung steigt von unveränderten Daten über normierten zu standardisierten Werten und erreicht mit der Extraktion von sechs Faktoren bei letzteren ihre größte Vielfalt. Hierbei ergibt sich bei der Faktorenanalyse der normierten Daten die deutlichste Übereinstimmung zwischen statistischer Gruppierung und qualitativ unterschiedenen „Faziesbereichen". Die vier extrahierten Faktoren geben im wesentlichen die Differenzierung der Proben entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den einzelnen Bänken wieder

(Abb. 26). Hierbei fällt die Abhängigkeit aller Stichproben des Faziesbereiches 1 vom Faktor B und des Faziesbereiches 3 vom Faktor A auf. Die beiden übrigen Faziesbereiche 7 und 2 sind dem Faktor C bzw. D zugeordnet, weisen jedoch bereits auf eine stärkere Differenzierung hin.

Diese Differenzierung wird bei Verwendung einer standardisierten Ausgangsmatrix durch Extraktion von 6 Faktoren realisiert: Der Faziesbereich 2 wird hier völlig aufgesplittert und Probeeinheiten mit häufigen Einzelkorallen als eigenständige Untergruppe eingestuft und mit Fazies 3 verbunden. Die restlichen Stichproben der Bank werden nach der relativen Häufigkeit von globularen oder lamellaren Stromatoporen mit den beiden Untergruppen der Fazies 7 zusammengezogen.

Auch die Clusteranalyse bestätigt diese Differenzierung (siehe Abb. 27): Bei Auswertung der Urmatrix bilden die stromatoporenreichen Stichproben eine geschlossene Gruppe. Diese Gruppe wird je nach Überwiegen von lamellaren oder globularen Stromatoporen bei Verwendung von normierten und standardisierten Daten aufgeteilt, wobei die Gruppe mit globularen Stromatoporen eine stärkere Bindung zu amphiporenreichen Proben aufweist.

Bei Verwendung von i-Zahlen und von Prozentwerten wird nur ein geringfügiger Unterschied durch die Aufsplitterung der sonst einheitlichen Probengruppe der Bank 1 bei Benützung von i-Zahlen deutlich: es erfolgt eine Abtrennung der an Stromatoporen reichen Proben bei gleich hohem Amphiporen-Anteil.

Das Ergebnis der Q-Technik-Analyse wird durch Vergleich der Variablen (R-Technik) bestätigt: Bei einer Clusterung der Variablen durch den Gruppierungskoeffizienten von 0,0 und bei einer Untergruppenbildung durch den Koeffizienten 0,6 erhält man folgende Gruppierung (Abb. 27):

Gruppe 1: a) Matrix und Brachiopoden
b) Einzelkorallen und Thamnoporen

Gruppe 2: a) Alveoliten und globulare Stromatoporen
b) Lamellare Stromatoporen

Gruppe 3: Amphiporen

Damit stimmen auch die Ergebnisse der R-Technik-Faktorenanalyse überein: Bei der Analyse der Korrelationsmatrix entsprechen die von den Faktoren A, B und C abhängigen Faunengruppen den oben angeführten Gruppen 1 a, 1 b und 2 a. Der Faktor D mit entgegengesetzt hohen Ladungen für tabulare Stromatoporen und Amphiporen ist somit für das Auftreten der Gruppen 2 b und 3 verantwortlich. Aus diesem Befund wird auch die in der Q-Technik-Analyse beobachtete Tendenz verständlich, daß Proben mit gehäuft vorkommenden globularen Stromatoporen – die mit Amphiporen zum Teil positiv korrelieren – mit der Gruppe 3 zusammengezogen werden, während Proben mit tabularen Stromatoporen immer als eigenständige Gruppe bestehen bleiben.

Die Trennung der genannten Faktorengruppen ist sehr scharf, da nur die zu einer Gruppe gehörenden Variablen für den betreffenden Faktor eine hohe Ladung aufweisen.

Im zweiten Testprofil (Profil 17) wurde die Faunenvielfalt durch 17 je 100 cm lange Meßlinien ermittelt, die in einem Vertikalabstand von etwa 15 cm parallel zu den Bänken gezogen wurde. Die in dem 220 cm mächtigen Profilausschnitt aufgeschlossenen Bänke gehören überwiegend dem Faziesbereich 7 an. Lediglich im tiefsten und im hangendsten Abschnitt treten Amphiporen-Lagen auf. Insgesamt wurden 7 Faunenelemente (globulare bzw. tabulare Stromatoporen, Amphiporen, Alveoliten, Thamnoporen, Einzelkorallen, Brachiopoden) und der Anteil der Grundmasse erfaßt.

Durch den Vergleich des Testprofils 2 mit dem oben beschriebenen Testprofil 1 sollte überprüft werden, in welcher Weise die Veränderung der Faunenzusammensetzung in der Vertikalen durch Auszählung an einer Linie von nur 100 cm Länge (im Vergleich zu einer Meßstrecke von mehreren Metern im Testprofil 1) statistisch beschrieben werden kann.

Auf Grund der Clusteranalyse können folgende Faunengruppen unterschieden werden (Abb. 28):

Gruppe 1: Globulare Stromatoporen, Alveoliten, Einzelkorallen sowie Brachiopoden und Grundmasse

Gruppe 2: Amphiporen und Tamnoporen

Gruppe 3: Tabulare Stromatoporen

Diese Gliederung unterscheidet sich gegenüber der des Testprofils 1 durch das Fehlen von Untergruppen. Dies erklärt sich daraus, daß die Fazies 3 und 2 im Profil 17 nicht vorhanden sind.

Die R-Technik-Faktorenanalyse bringt vergleichbare Werte, doch zeigt sich in den Faktorenladungen, daß die Gliederung der Faunenelemente nicht so scharf wie im Testprofil 28 durchführbar ist.

Die Veränderung des Faunenspektrums in der Vertikalen kann am besten bei Extraktion von 3 Faktoren interpretiert werden, da dann auch bei unterschiedlicher Datenaufbereitung die Gruppierung der Proben die gleiche ist. Die Probengruppen sind durch je eine der oben genannten Faunengruppen charakterisiert. Aus der Betrachtung der Faktorenladungen für die einzelnen Probeeinheiten (Abb. 29) geht hervor, daß die Varianz eines Faktors direkt proportional der Häufigkeit einer Faunengruppe ist. Aus Abb. 29 ist die Kongruenz in der Verteilung der Ladung des Faktors A_3 mit den Prozentwerten der Faunengruppe 1, der Ladung des Faktors B_3 mit den Prozentwerten der Faunengruppe 2, der Ladung des Faktors C_3 mit den Prozentwerten der Faunengruppe 3 ersichtlich.

Extrahiert man vier oder mehr Faktoren, so sind diese bei unveränderten, normierten und standardisierten Daten verschieden. Der Vergleich zwischen Faktorenladungen und Prozentwerten ist dann nur mehr für einzelne Faktoren möglich (zum Beispiel beim Faktor D_4, der mit der Faunengruppe 3 in Beziehung gesetzt werden kann). Die Faktoren A_4 und C_4 sind hingegen nicht durch einzelne Faunengruppen zu erklären. Dies weist auf eine zu weitgehende und für palökologische Deutungen nicht mehr sinnvolle Extraktionen hin, obwohl auf Grund der vorangegebenen Kriterien die Extraktion von mehreren Faktoren zulässig wäre.

Da die oben beschriebene Dreiteilung der Probeeinheiten auch durch die Clusteranalyse (Abb. 28) bestätigt wird, ist eine brauchbare Begrenzung der Zahl der zu extrahierenden Faktoren mit Hilfe der Clusteranalyse möglich.

Zusammenfassend zeigt die Untersuchung im Steinbruch Steltenberg, daß die im Gelände durchführbare qualitative Typisierung weitgehend mit statistischen Gruppierungen zusammenfällt und daß sich bei Verwendung von verschieden langen Meßstrecken keine gravierenden Unterschiede in den Aussagen über die Fossilhäufigkeit ergeben. Ferner wird deutlich, daß nur wenige Faktoren, die zumeist auf die Existenz einer quantitativ überwiegenden Organismengruppe zurückzuführen sind, die Faunen-Unterschiede in den einzelnen Bänken der Testprofile bedingen.

6. INTERPRETATION DER QUANTITATIVEN DATEN

Die durchgeführten statistischen Untersuchungen bringen Aussagen über die Häufigkeit der Organismen und über die statistische Organismen-Vergesellschaftung. Durch die Gesamtprozentwerte der Biogene ist ein Vergleichsmaß für die relative Siedlungsdichte der Organismen gegeben. Der Vergleich der von der Schichtfläche und aus den Profilen stammenden Daten gestattet Aussagen über die Generalisierbarkeit der festgestellten ökologischen Kategorien.

6.1 BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN FAUNISTISCHEN ELEMENTEN

Als auffallendes und bei allen Datensätzen mehr oder weniger gleich deutlich zum Ausdruck kommendes Ergebnis ist eine Gliederung der Organismen in zwei miteinander stark negativ korrelierende Großgruppen festzustellen:

Großgruppe 1: Massive globulare und laminare Wuchsformen, mehrere cm große Kolonien

Großgruppe 2: Kleine ± zylindrische Wuchsformen zusammen mit Brachiopoden und Grundmasse

Diese eindeutige Ausrichtung nach der Wuchsform und die damit verbundene negative Korrelation der Stromatoporen und Alveoliten einerseits und der Amphiporen, Thamnoporen und rugosen Einzelkorallen andererseits unterstreicht die Bedeutung von stark unterschiedlichen Lebensform-Typen für eine ökologische Interpretation. Der die Ausbildung der Form-Typen bedingenden Ursache kommt im Schwelmer Kalk die Hauptbedeutung für die verschiedenartige Organismen-Assoziation zu. Dies wird insbesondere durch die Faktorenanalyse unterstrichen, bei welcher der Hauptfaktor – insbesondere bei unrotierter Faktorenanalyse – mit dem größten Anteil an der Gesamtvarianz positive Ladungen für die Großgruppe 1 und negative Ladungen für die Großgruppe 2 aufweist.

Als weiteres wichtiges Ergebnis ist die Feststellung von sich wiederholenden Gruppierungen (Tabelle 17) zu bezeichnen.

Der dritte zu deutende Befund ist die in den einzelnen Bänken unterschiedliche Siedlungsdichte der Organismen. Die Gesamtprozentwerte der Organismen liegen durchschnittlich bei 50%, selten unter 20% und vereinzelt über 95%. Diese Werte beziehen sich nur auf Biogene größer als 2 mm.

Betrachtet man die häufig auftretenden Gruppierungen, so fällt außer der Trennung von Wuchsform-Gruppen (Großgruppe 1 und Großgruppe 2) die Existenz von mehreren Assoziationen auf, die durch gleichbleibend enge Korrelation miteinander verbunden sind. Es ist dies bei Aufsplitterung der Großgruppe 2 eine Gruppe Brachiopoden + Matrix sowie eine weitere Gruppe Thamnoporen + Amphiporen + rugosen Einzelkorallen. Die beiden letztgenannten Gruppen sind in starkem Maß von einem Faktor abhängig, der sich bei den zylindrischen Wuchsformen negativ auswirkt.

Grundsätzlich kann die in allen Datensätzen und in allen Beispielen wiederholte Gruppen-Bildung auf Faktoren zurückgeführt werden, die alle vorhandenen Organismen-Gruppen positiv oder negativ beeinflußt haben müssen. Unter den zahlreichen möglichen Ursachen bieten sich bei sessilen Benthonten in erster Linie unterschiedliche Wasserbewegung, unterschiedliche Substratbeschaffenheit und Unterschiede in

der Wassertiefe an. Unter der Voraussetzung, daß es sich beim überwiegenden Teil der faunistischen Elemente (insbesondere bei Stromatoporen und bei tabulaten Korallen) um Suspensionsfresser gehandelt hat, ist anzunehmen, daß die Wasserbewegung keine extremen Stärken annehmen konnte. Andernfalls wäre damit zu rechnen, daß angelieferte Nahrungspartikel zu rasch wiederum verschwemmt werden.

Tabelle 17: Übersicht über die aus Korrelationsanalysen und Clusterung in der R-Technik ermittelten Gruppierungen der Faunen-Elemente

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Schichtfläche	a) Stromatoporen, Helioliten, Auloporen b) Alveoliten	a) Brachiopoden, Schalen, Einzelkorallen b) Thamnoporen, Amphiporen	Matrix, ?Favositiden, restliche Biogene
Profil P	Matrix Alveoliten, Amphiporen, Helioliten	Stromatoporen, Schalenreste	?Favositiden, Thamnoporen, Einzelkorallen
Profil 36	Stromatoporen, Alveoliten, ?Favositiden	a) Thamnoporen, Amphiporen, Einzelkorallen, restliche Biogene b) Echinodermen, Schalen c) Brachiopoden, Matrix	
Profil 28, Steltenberg	a) Matrix, Brachiopoden b) Einzelkorallen	a) Alveoliten, globulare Stromatoporen b) tabulare Stromatoporen	Amphiporen
Profil 17, Steltenberg	Globulare Stromatoporen, Alveoliten, Einzelkorallen, Brachiopoden, Matrix	Amphiporen, Thamnoporen	Tabulare Stromatoporen

Es ist jedoch wahrscheinlich, daß in den Gebieten der Stromatoporen- und Korallensiedlungen mäßige bis stärkere Dauerströmungen vorhanden waren. Nur dann ist eine laufende Erneuerung des gefilterten Wassers möglich. Stärkere Strömungen erhöhen das Nahrungsangebot; dies wiederum kann sich auf die Populationsdichte der Suspensionsfresser auswirken (Jørgensen 1955). In unserem Fall ist mit Strömungen zu rechnen, deren Geschwindigkeit zwar die Sedimentation von größeren Ton- und Siltmengen verhinderte (siehe Seite 11, unlösliche Rückstände), andererseits aber keine Extremwerte annahm. Aus diesen Gründen ist kaum anzunehmen, daß die festgestellten Assoziationen allein durch starke Unterschiede in der Intensität der Wasserbewegung bedingt sind. Vielmehr wird man an ein Zusammenwirken von Bodenbeschaffenheit und Wasserbewegung (Walker 1974) denken müssen:

Wie oben ausgeführt wurde, sind Matrix und Brachiopoden-Häufigkeit von einem Faktor abhängig, der sich auf kleine zylindrische Formen wie zum Beispiel Amphiporen stark negativ auswirkt. Da die Brachiopoden, insbesondere die Stringocephalen, meist noch in Lebensstellung in einer einheitlichen mikritischen Matrix anzutreffen sind und Amphiporen zur Verankerung sehr wahrscheinlich relative Festböden benötigen, wird man den genannten Faktor mit der Festigkeit des Substrates in Verbindung bringen können.

Dies würde auch den von Walker (1974) für Schlammboden-Assoziationen und von Anderson u. Pazdersky (1974) für bioklastische Sandboden-Assoziationen gegebenen Typisierungen entsprechen.

Ein gehäuftes Auftreten von zylindrischen Lebensformtypen wie Amphiporen, Thamnoporen und rugosen Hornkorallen könnte demnach stabilere Böden und stärkere Wasserbewegung als im Bereich der Brachiopoden-Verbreitung andeuten. Hierfür würde sprechen, daß Brachiopoden (und Echinodermaten-Reste) zum Teil mit der Matrix, in anderen Profilen mit Stromatoporen korreliert sind. Die unterschiedliche Zuordnung von Brachiopoden und Echinodermaten mag zum Teil aus der nicht immer klaren systematischen Zugehörigkeit der Schalenreste (neben quantitativ stark überwiegenden Brachiopoden-Schalen finden sich vereinzelt auch Gastropoden-Gehäuse) erklärbar sein; die enge Korrelation von Brachiopoden und Stromatoporen dürfte jedoch durch stärkere Wasserbewegung bedingt sein. Für diese Deutung spricht auch die Ausbildung einer sparitischen Matrix in den Echinodermaten-Bänken, insbesondere im Profil 36.

In den Profilen 28 und 17 treten Amphiporen gehäuft auf (bis zu über 80%), im allgemeinen in geringmächtigen, etwa 10–20 cm dicken, zum Teil mergeligen Bänken. Sie bilden dort eine selbständige Gruppe, die durch hohe negative Ladungen an einen Faktor gebunden erscheint, der hohe positive Werte für lamellare Stromatoporen-Kolonien aufweist. Betrachtet man bei den Stromatoporen globulare und lamellare Lebensformtypen getrennt, so fällt auf, daß globulare Stromatoporen eng mit Alveoliten verbunden bleiben und daß diese statistische Untergruppe zum Teil stärker mit zylindrischen Formen und der Matrix (das heißt, mit der Großgruppe 2 – siehe Seite 59) korreliert als mit lamellaren Stromatoporen. Dies bedeutet jedoch für den Hauptfaktor, daß von zylindrischen über globularen zu lamellaren Lebensform-Typen eine zunehmende Intensität der Wasserbewegung vorhanden ist.

Da dieser Faktor nach der Rotation besonders hohe Ladungen für Stromatoporen und eine hohe negative Ladung für die Matrix aufweist, ist klargestellt, daß bereits durch den Vergleich der Prozentanteile lediglich dieser beiden Elemente eine relative Aussage über den Grad der Wasserbewegung gemacht werden kann; dies erscheint im Zusammenhang mit den Diskussionen über die Berechtigung des von Folk (1962) vertretenen Konzeptes der „Auswaschung" (winnowing) von Kalkschlammböden durch Wellen und Strömungen von Bedeutung.

Vom Organismeninhalt her sind die untersuchten Profile und die ausgezählte Schichtfläche als eine faunistische Einheit zu betrachten, da in den Profilen von 12 statistisch erfaßten Faunenelementen im allgemeinen 8–11 Komponenten angetroffen wurden. Innerhalb eines Untersuchungsbereiches weisen die Kalkbänke jedoch beträchtliche Unterschiede in der Organismen-Assoziation auf; dies gilt sowohl für die laterale Abfolge einzelner Bänke (wo bereits auf wenige Meter starke Schwankungen in der quantitativen Zusammensetzung der Fauna auftreten; Profil 28) als auch für die Schichtfläche. Ein Beispiel zeigt die Gefahren einer sich aus diesem raschen faunistischen Wechsel ergebenden Überinterpretation:

Auf der untersuchten Schichtfläche wurde einer der ausgezählten Testbereiche durch Q-Technik-Analyse dem durch zylindrische Lebensform-Typen charakterisierten Faziestypus zugeordnet; für diesen Typus darf ein Bereich relativ ruhiger Wasserbewegung angenommen werden. Dieser Testbereich war Teil eines etwa 3 × 2 m großen, sonst einheitlichen Feldes, das seinerseits völlig von dem, die übrige Schichtfläche bestimmenden Faziestypus mit bevorzugt globularen Stromatoporen und Tabulaten umgeben war. Die Schichtfläche weist kaum einen erkennbaren Reliefunterschied auf, man kann daher für den von den Normalverhältnissen abweichenden Faziestypus mit zylindrischen Lebensform-Typen kaum stärkere Unterschiede in der Intensität der stetig wirkenden Wasserbewegung annehmen. Vielmehr wird man vermuten müssen, daß das Auftreten der zylindrischen

Organismen (Thamnoporen, seltene Amphiporen) durch andere Umweltfaktoren, wie etwa Substratbeschaffenheit, mit gesteuert wird.

Betrachtet man jedoch die starken Schwankungen in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der Fauna in den einzelnen Bänken der Profile, so würde man hinsichtlich der maßgebenden Umweltfaktoren starke und rasch wirkende Veränderungen – zum Beispiel im Bezug auf die Intensität der Wasserbewegung und im Bezug auf die Wassertiefe – annehmen. Dies gilt insbesondere dann, wenn einzelne, qualitativ definierte Faziestypen in ein vorgegebenes Faziesmodell (zum Beispiel in ein Riff-Modell) eingeordnet werden sollen. Das oben skizzierte Beispiel im Bereich der Schichtfläche zeigt, daß es notwendig ist, zunächst Klarheit über den Zusammenhang zwischen Veränderungen der Intensitäten von Umweltfaktoren einerseits und hierdurch bedingte qualitative Faunendifferenzierungen andererseits zu gewinnen.

6.2 BEZIEHUNGEN VON QUANTITATIVEN UND QUALITATIVEN MERKMALEN

Im Bereich des instabilen Schelfes ist mit lateral und vertikal rasch wechselnden Organismen-Vergesellschaftungen zu rechnen. KREBS (1971) hat die von uns untersuchte Schwelm-Fazies als biostromales Plattform-Stadium am Beginn der Massenkalksedimentation interpretiert; die entstehende, gleichmäßig absinkende, ausgedehnte Karbonatbank weist keine morphologische Differenzierung und kein auffallendes Relief auf. Da der Sedimenttypus weitgehend ähnlich und im Bezug auf die anorganischen Komponenten nur geringfügig differenziert ist (Unterschiede deuten sich jedoch quantitativ und qualitativ im säureunlöslichen Rückstand der Karbonate an), liegen die Unterscheidungsmöglichkeiten nahezu ausschließlich im Biogengehalt:

Bei einem Vergleich der Vergesellschaftung auf der untersuchten Schichtfläche und in den Profilen im Raum Letmathe und Hohenlimburg ergaben sich folgende heteromikte Assoziationstypen, die sowohl neben- als auch übereinander auftreten:

Assoziationstyp A Lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, rugose Hornkorallen) – Amphiporen – Foraminiferen

Assoziationstyp B Lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, Amphiporen, rugose, hornförmige Einzelkorallen) – Einzelkorallen – Brachiopoden

Assoziationstyp C Lamellare Stromatoporen – globulare Stromatoporen – zylindrische Lebensformtypen (Thamnoporen, Amphiporen, rugose, hornförmige Einzelkorallen) – Echinodermaten und Brachiopoden

Alveoliten treten als Durchläufer in allen drei Assoziationstypen auf, sie finden sich jedoch nicht in den durch Amphiporen oder durch Echinodermaten sowie Brachiopoden gekennzeichneten Arealen.

Es stellt sich die Frage, inwieweit es sich bei den oben genannten Assoziationstypen um fossile Biozönosen handelt:

Im rezenten Litoralbereich charakterisiert eine oder wenige Proben als Stichprobe den Bestand, die Population oder die Fauna; Assoziationen sind in vielen Stichproben erkennbar, wenn die Bindung der Arten statistisch nachweisbar ist. Läßt sich der Kausalnexus dieser Artenbindungen feststellen, so können die ökologischen Einheiten als Biozönosen

angesprochen werden (RIEDL 1966: 420). Die oben beschriebenen Gruppen-Vergesellschaftungen können als echte Assoziationen gewertet werden, da sie statistisch untermauert sind. Die rezentzoologische Forderung nach Berücksichtigung der Arten-Bindung ist für den Assoziationstyp A (vertreten auf der Schichtfläche) erfüllt, da die statistisch erkannte Assoziation der Gruppen und Lebensformtypen systematisch bearbeitet wurde und eine, im Schwelmer Kalk offensichtlich verbreitete Kommunität festgestellt werden konnte („*Actinostroma? stellulatum* – *Clathrocoilona spissa* – Kommunität", siehe E. FLÜGEL 1974).

Eine Deutung als echte Biozönosen im Sinne von RIEDL ist jedoch kaum möglich, da hinsichtlich der Ursachen der statistisch ermittelten Gruppen- und Arten-Bindungen derzeit noch zu viele Möglichkeiten bestehen. Dies geht nicht zuletzt aus den Möglichkeiten der Interpretation der statistischen Faktoren hervor. Allerdings dürften weitere detaillierte Untersuchungen auch in dieser Richtung Hinweise erbringen, da die Dichte der herrschenden Beziehungen mit zunehmender Komplexität der ökologischen Gefüges nicht zunimmt, sondern lediglich eine Änderung der Bindungsweise in Abhängigkeit von der Kombination der unterschiedlichen Lebensformtypen zu beobachten ist (RIEDL 1966).

Zur Charakterisierung des fossilen Raumes kann die untersuchte Schwelmer Fazies als vital-pantostrate Biofazies 1. Ordnung im Sinne von W. SCHÄFER (1963) angesehen werden. Biofazies-Bereiche 2. Ordnung, welche die individuelle topographische Situation am Meeresgrund kennzeichnen, kommen in den statistisch ermittelten Gruppen-Assoziationen zum Ausdruck, da sich unsere Aufnahmen nahezu ausschließlich auf Benthonten und hier wiederum zu über 95 % auf sessile Organismen beziehen.

Methodisch vergleichbare quantitative Untersuchungen von mitteldevonischen aus überwiegend sessilen Benthonten bestehenden Assoziationen sind bisher kaum durchgeführt worden. Eine interessante Ausnahme stellt die Arbeit von KISSLING u. LINEBACK (1967) dar; unter Berücksichtigung von Kolonie-Größen, Gestalt und Orientierung wurde die Zahl der auf einer auf über 1600 m² aufgeschlossenen Schichtfläche erkennbaren Coelenteraten gezählt und die Korrelation zwischen den 10 unterscheidbaren Gruppen (Stromatoporen, massive Wuchsformen von Favositiden, ramose Favositiden, Alveoliten, Micheliniinae, Auloporen, 4 Typen rugoser Korallen) bestimmt. Die beste Korrelation zeigen Stromatoporen und Favositiden mit massiven Wuchsformen; beide Gruppen zusammen genommen weisen starke Korrelationen mit Alveoliten, Hexagonarien und weiteren Stockkorallen auf. Weitere Korrelationen bestehen zwischen rugosen Einzelkorallen und Alveoliten, rugosen Einzelkorallen und Auloporen sowie zwischen Micheliniinae und Auloporen. Obwohl die von den Autoren angenommenen Umweltbedingungen mit dem Lebensbereich der von uns untersuchten Assoziationen des Schwelmer Kalkes vergleichbar sind (Flachmeer-Bereich unterhalb der Wellenbasis, geringe gerichtete Strömungen, nicht konsolidierte Weichböden), ergeben sich kaum Übereinstimmungen in der Zusammensetzung der Coelenteraten-Assoziationen. Dies ist nicht zuletzt auf unterschiedliche Gruppen-Grundhäufigkeiten zurückzuführen (Stromatoporen im Schwelmer Kalk zwischen 20 und über 60%, am Ohio River 25,5 %; tabulate Korallen im Schwelmer Kalk zwischen etwa 8 und 20 %, am Ohio River 70,8 % (speziell Favositiden, die in den untersuchten Schwelmer Kalken fehlen)! Rugose Korallen im Schwelmer Kalk etwa 1,8 %, am Ohio River 3,7 % stockbildende Korallen); es handelt sich offenbar um einen weiteren (vierten) Assoziationstypus, der durch die Gruppen-Folge „massive Favositiden – Stromatoporen – Alveoliten – Auloporen – Hexagonarien" charakterisiert ist.

Welche Vergleichsmöglichkeiten bestehen mit näher liegenden mitteldevonischen Flachwasser-Assoziationen wie zum Beispiel mit den Verhältnissen im Eifeler Korallen-

Meer (STRUVE 1961, 1963; BIRENHEIDE 1962 a, 1963) oder im Becken von Dinant (LECOMPTE 1970) ?

Für beide Gebiete ergeben sich trotz ähnlicher paläogeographischer Position (Ablagerungen der Bank-Fazies im Bereich der Schelflagune) beim derzeitigen Kenntnisstand der Fauneninhalte nur geringe Übereinstimmungen, wenn man den von STRUVE und LECOMPTE entwickelten Modellvorstellungen folgt. Die in der „*Actinostroma ? stellulatum – Clathrocoilona spissa*"-Assoziation dominierenden Stromatoporen finden sich in der Eifel sowohl im Bereich der Stromatoporen-Bankriffe als auch im Bereich des Knollen-Block-Riffes; die auf der Schichtfläche beobachteten rugosen Einzelkorallen finden sich bevorzugt in der Zone der Rübenriffe. In Belgien tritt *Actinostroma ? stellulatum* und *Clathrocoilona spissa* in größerer Häufigkeit sowohl in der Turbulenzzone als auch in der Bewegtwasser-Zone der Bioherme sowie in der Ruhigwasser-Zone der Schelfbiostrome auf. Es scheint jedoch, daß die Vergesellschaftung dieser Arten sehr verschieden ist. Dies deutet sich auch in der gleichbleibenden Grundzusammensetzung der von uns festgestellten Assoziationstypen an; Unterschiede liegen offensichtlich in den weniger häufigen und seltenen Organismen-Gruppen begründet.

Abschließend sei die Einordnung der von uns unterschiedenen Assoziationstypen in die von ANDERSON (1970, 1974) entwickelten Modelle für paläozoische Kommunitäten diskutiert:

Nach ANDERSON finden sich in paläozoischen Flachmeeren im küstennahen bis küstenfernen Bereich zwei, parallel zu den Küstenlinien angeordnete Assoziationsmuster, die letztlich von den lokalen tektonischen Verhältnissen abhängig sind. In tektonisch stabilen bzw. nur geringfügig instabilen Gebieten mit flach absinkendem Schelfboden treten 5 Kommunitäten auf, die an bestimmte Teilbereiche des Litorals gebunden sind (Gezeiten-Zone; geschützter Bereich unterhalb der Gezeitenfläche; offener Schelf-Bereich mit regelmäßiger Einwirkung von Wellen und Strömungen; offener Schelf-Bereich nahe der Wellen-Basis mit nur gelegentlicher Wellen- oder Strömungseinwirkung; offener Schelf-Bereich unterhalb der Wellenbasis mit Bioturbation). In tektonisch aktiven Küstengebieten sind 3, mit speziellen Ablagerungsbereichen verbundene Kommunitäten erkennbar (Küsten-Zone mit Küste, Kanälen, kleinen Lagunen u. a.; offener Schelf-Bereich oberhalb der Wellenbasis; offener Schelf-Bereich unterhalb der Wellenbasis.

Die im Schwelmer Kalk auftretenden Assoziationstypen sind der *Eocoelia*-Kommunität oder der *Stricklandia*-Kommunität des erstgenannten Modellfalles zuzuordnen, wenn man die von WALKER u. LAPORTE (1970) beschriebenen benthonischen Organismen-Assoziationen berücksichtigt. Gehen wir jedoch davon aus, daß bereits heute innerhalb dieser ökologischen Einheit im Schwelmer Kalk mindestens drei heteromikte Assoziationstypen vertreten sind (neben etwa 3 monomikten Assoziationstypen), so wird deutlich, daß das Kommunitäten-Konzept in seiner derzeitigen Fassung durchaus verfeinert werden kann und daß es notwendig ist, die durch Fossilgroßgruppen charakterisierten Kommunitäten durch quantitativ definierte und qualitativ bestimmte Assoziationstypen zu ersetzen, welche die Substratabhängigkeit und unterschiedliche trophische Strukturen in sinnvoller Weise widerspiegeln.

DANK

Die Untersuchungen wurden durch Sach- und Personalbeihilfen der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (Projekt Fl 42/4, 42/9) ermöglicht. Für die Bestimmung der rugosen Korallen danken wir Herrn Dr. R. BIRENHEIDE (Senckenberg-Forschungsinstitut Frankfurt a. M.), für Anschliffuntersuchungen Herrn Prof. Dr. J. G. HADITSCH (Montanistische Hochschule Leoben). Die Rechenarbeiten wurden unter Benützung von FORTRAN- und ALGOL-Programmen im Rechenzentrum der Universität Karlsruhe und am DEUTSCHEN RECHENZENTRUM in Darmstadt durchgeführt. Für die Berechnung des cos-Φ- und des Distanzkoeffizienten sowie für die Clusteranalyse wurden Programme in FORTRAN IV geschrieben (H. HÖTZL); für die Korrelationsrechnung sowie für die Faktoren-Analyse standen Bibliotheksprogramme des Deutschen Rechenzentrums Darmstadt zur Verfügung (KOR I – Autor P. SCHNELL, PAFA – Autor P. SCHNELL, OBLIMIN – Autor F. GEBHARDT).

LITERATUR

ANDERSON, E. J. (1971): Environmental Models for Paleozoic Communities. – Lethaia, *4*, 287–302, 7 Abb., Oslo.

ANDERSON, E. J. (1974): Principles of Benthic Community Analysis. – In: GINSBURG, R. N. (Herausgeber): Principles of Benthic Community Analysis. – Sedimenta IV, Comp. Sed. Lab., Univ. Miami, 3 1.–3. 11, Miami.

ANDERSON, E. J. & PAZDERSKY, G. J. (1974): Skeletal Sand Substrates. – In: GINSBURG, R. N. (Herausgeber): Principles of Benthic Community Analysis. – Sedimenta IV, Comp. Sed. Lab., Univ. Miami, 4. 1. bis 4.10, Miami.

BAYLEY, M. B. (1965): Errors in Point-Counter Analysis. – Amer. Miner. *45*, 2, 447–449, Washington.

BEAL, A. O., Jr. (1970): Textural Differentiation within fine sand Grade. – J. Geol., *78*, 77–83, Chicago.

BEHRENS, E. W. (1965): Environment reconstruction for a part of the Glen Rose Limestone, Central Texas. – Sedimentol., *4*, 65–111, 10 Taf., 11 Abb., Amsterdam.

BIRENHEIDE, R. (1962a): Siedlungs- und Wuchsformen mitteldevonischer Korallen aus der Eifel. – Natur u. Museum, *92*, 1, 21–28, 9 Abb., Frankfurt a. M.

– (1962b): Entwicklungs- und umweltbedingte Veränderungen bei den Korallen aus dem Eifeler Devon. – Natur u. Museum, *92*, 3, 87–94, 7 Abb., Frankfurt a. M.

– (1963): Standortwechsel von Korallen aus dem Eifelmeer. – Natur u. Museum, *93*, 10, 405–409, 3 Abb., Frankfurt a. M.

BÖGER, H. (1970): Bildung und Gebrauch von Begriffen in der Paläoökologie. – Lethaia, *3*, 243–269, Oslo.

BONHAM-CARTER, G. F. (1965): A Numerical Method of Classification using qualitative and semi-quantitative data, as applied to the Facies-Analysis of Limestones. – Bull. Canadian Petrol. Geol. *13*, 4, 482–502, 3 Abb., 9 Tab., Calgary.

CHAYES, F. (1956): Petrographical Modal Analysis. – 113 S., New York (Wiley).

– (1960): On Correlation between Variables of Constant Sum. – J. Geophys. Res., *65*, 12, 4185–4193, London.

CHAYES, F. & KRUSKAL, W. (1966): An approximate statistical test for correlations between proportions. – J. Geol., *74*, 692–702, Chicago.

CHEETHAM, A. H. u. HAZEL, J. E. (1969): Binary (Presence-Absence) Similarity Coefficients. – J. Paleont., *43*, 5, 1130–1136, Tulsa.

CHEN, M. Z. (1959): Nekotorye siluriskie i devnoskie stromatoporoidei i korally iz raiona Lushana vostochnoi chasti provinzii Guichzhou. – Acta Paleont. Sinica, *7*, 285–318, Taf. 1–7, 3 Abb., Peking

CRAIG, G. u. OERTEL, G. (1966): Models of living and fossil populations of animals generated by a computer. – Nature, *210*, No. 5034, 438–439, London.

DAVIS, J. C. & SAMPSON, R. J. (1972): Statistics and data analysis in geology. – 564 S., New York-London-Sydney (Wiley).

EHRLICH, R. (1964): The Role of the Homogeneous Unit in Sampling Plans for Sediments. – J. Sed. Petrol., *34*, 2, 437–439, Tulsa.

ELDREDGE, N. (1968): Convergence between two Pennsylvanian Gastropod Species: A Multivariate Mathematical Approach. – J. Paleont., *42*, 1, 186–196, Taf. 33, 5 Abb., Tulsa.

EMBRY, A. F. & KLOVAN, J. E. (1972): Absolute Water Depth of Late Devonian Palaeoecological Zones. – Geol. Rundschau *61*, 2, 672–686, 10 Abb., Stuttgart.

FAGERSTROM, J. A. (1964): Fossil communities in paleoecology: their recognition and significance. – Geol. Soc. Amer. Bull., *75*, 1197–1216, New York.

FENNINGER, A. (1970): Faktorenanalyse nordalpiner Malmkalke. – Verh. geol. Bundesanst., *1970*, 4, 618–636, 7 Abb., 6 Tab., Wien.

FISCHBUCH, N. R. (1970): *Amphipora* and *Euryamphipora* (Stromatoporoidea) from the Devonian of Western Canada. – Paleontology, *13*, 1, 64–75, Taf. 14–17, 2 Abb., London.

FLÜGEL, E. (1974): Stromatoporen aus dem Schwelmer Kalk (Givet) des Sauerlandes (Stromatoporen aus dem deutschen Paläozoikum 1). – Paläont. Z., *48*, 3/4, 149–187, Tab. 24–27, 9 Tab., Stuttgart.

FLÜGEL, E. u. FLÜGEL, H. (1961): Stromatoporen und Korallen aus dem Mittel-Devon von Feke (Anti-Taurus). – Senck. leth., *42*, 5/6, 377–409, 4 Taf., Frankfurt a. M.

FLÜGEL, E. u. FLÜGEL-KAHLER, E. (1968): Stromatoporoidea (Hydrozoa palaeozoica). – Foss. Cat., *115/116*, 681 S., s'Gravenhage (Junk); cum lit.

FLÜGEL, E. u. HÖTZL, H. (1970): Über die Verwendung von multivarianz-analytischen Verfahren bei Fazies-Untersuchungen. – Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., *1970*, 11, 201–211, Wien.

– (1971): Foraminiferen, Calcisphaeren und Kalkalgen aus dem Schwelmer Kalk (Givet) von Letmathe im Sauerland. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., *137*, 3, 358–395, 5 Abb., 16 Tab., Stuttgart.

FLÜGEL, E. u. WOLF, K. H. (1969): „Sphaerocodien" (Algen) aus dem Devon von Deutschland, Marokko und Australien. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., *1969*, 2, 88–103, 4 Abb., 1 Tab., Stuttgart.

FLÜGEL, H. (1956): Revision der ostalpinen Heliolithina. – Mitt. Mus. Bergbau Geol. Technik, Landesmus. „Joanneum" Graz, 17, 1–101, 4 Taf., 4 Abb., Graz.

FOLK, R. (1962): Spectral Subdivision of Limestone Types. – Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol., *1*, 62–84, 1 Taf., 7 Abb., Tulsa.

FOX, W. T. (1962): Stratigraphy and palaeoecology of the Richmond group in southeastern Indiana. – Geol. Soc. Amer. Bull., *73*, 621–642, New York.

– (1968): Quantitative Paleoecological Analysis of Fossil Communities in the Richmond Group. – J. Geol., *76*, 613–640, 12 Abb., 6 Tab., Chicago.

GLAGOLEW, A. A. (1933): On the Geometrical Methods of Quantitative Mineralogical Analysis of Rocks. – Trans. Inst. Econ. Min., *59*, 1–47, Moskau.

GOGOLCZYK, W. (1956): Rodzay *Amphipora* Dewonie Polski (*Amphipora* dans le Dévonien de Pologne) – Acta Palaeont. Polonica, *1*, 3, 211–240, Taf. 1–2, 7 Abb., Warschau.

GRIFFITHS, J. C. (1967): Scientific Method in Analysis of Sediments. – 508 S., New York (McGraw Hill. Int. Ser. Earth and Planetary Sci.).

HARBAUGH, J. W. (1964): Balgol Programs for Calculation of Distance Coefficients and Correlation Coefficients Using an IBM 7090 Computer. – Spec. Distribut. Publ. State Geol. Surv. Kansas, *9*, 33 S., Lawrence.

HARBAUGH, J. W. u. DEMIRMEN, F. (1964): Application of Factor Analysis to Petrologic Variations of Americus Limestone (Lower Permian), Kansas and Oklahoma. – Spec. Distribut. Publ. State Geol. Surv. Kansas, *15*, 41 S., 15 Abb., Lawrence.

HARBAUGH, J. W. u. MERRIAM, D. F. (1968): Computer Applications in Stratigraphic Analysis. – 282 S., New York – London – Sidney (Wiley).

HARMAN, H. H. (1960): Modern factor analysis. – 569 S., Chicago (Univ. Chicago Press).

HASOFER, A. M. (1963): On the Reliability of the Point-Counter Method in Petrography. – Austral. J. Appl. Sci., *14*, 168–179, 2 Tab., Adelaide.

HEINRICH, M. (1914): Studien in den Riffkalken des rheinischen oberen Mitteldevons. – 58 S., Diss. Univ. Bonn.

HENNING, A. (1957): Das Problem der Kernmessung. Eine Zusammenfassung und Erweiterung der mikroskopischen Meßtechnik. – Mikroskopie, *12*, 174-202, 16 Abb., Wien.

– (1958): Kritische Betrachtungen zur Volumen- und Oberflächenmessung in der Mikroskopie. – ZEISS-Werkzeitschr., *6*, 78–86, 16 Abb., Oberkochen.

HÖTZL, H. (1975): Auswertung und Interpretation hydrochemischer Daten mittels der Faktorenanalyse. – Z. dt. geol. Ges., *126*, 121–134, Hannover.

HOHENEGGER, J. (1974): Über einfache Gruppierungsmethoden von Fossil-Vergesellschaftungen am Beispiel obertriadischer Foraminiferen. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., *146*, 3, 263–297, Stuttgart.

IMBRIE, J. (1963): Factor and vector analysis programs for analysing geologic data. – Technical Report no. 6, ONR Task no. 389–135, 83 S., Office of Naval Research Geography Branch.

– (1964): Factor analytic model in paleoecology. – In: NEWELL, N. u. IMBRIE, J., Approaches to paleoecology, 407–422, New York (Wiley).

IMBRIE, J. u. van ANDEL, T. H. (1964): Vector analysis of heavy-mineral data. – Geol. Soc. Amer. Bull., *75* 1131–1156, New York.

IMBRIE, J. u. PURDY, E. G. (1962): Classification of modern Bahamian carbonate sediments. – Mem. Amer. Petrol. Geol., *1*, 253–272, Tulsa.

JOHNSON, R. G. (1960): Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages. – Geol. Soc. Amer. Bull., *71*, 1075–1080, New York.

– (1964): The Community Approach to Paleoecology. – In: IMBRIE, J. u. NEWELL, D. N., Approaches to Paleoecology, 107–134, 6 Tab., New York (Wiley).

JØRGENSEN, C. BARKER (1955): Quantitative aspects of filter feeding in invertebrates. – Biol. Rev., *30*, 4, 391–454, 14 Abb.

JOYCE, A. S. (1973): Application of cluster analysis to detection of subtile variations in a granitic intrusion. Chem. Geol. *11*, 297, Amsterdam.

KAESLER, R. L. (1966): A quantitative re-evaluation of the ecology and distribution of Recent Foraminifera and Ostracoda of Todos Santos Bay, Baya California, Mexico. – Univ. Kansas Paleont. Contrib. Paper, *10*, 50 S., Lawrence.

KAISER, H. F. (1958): The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. – Psychometrica, *23*, 187–200.

KAZMIERCZAK, J. (1975): Colonial Volvocales (Chlorophyta) from the upper Devonian of Poland and their paleoenvironmental significance. – Acta Palaeont. Polon., *20*, 1, 73–85, Taf. 17–20, Warszawa.

KESKIN, C. (1966): Microfacies Study of the Pinarhisar Reef Complex. – Istanbul Univ. Fen. Fakultesi Mecmuasi, Ser. B, *31*, 3–4, 109–146, 12 Taf., 6 Abb., 6 Tab., Istanbul.

KISSLING, D. L. u. LINSBACK, J. A. (1967): Paleoecological Analysis of Corals and Stromatoporoids in a Devonian Biostrome, Falls of the Ohio, Kentucky-Indiana. – Geol. Soc. Amer. Bull., *78*, 2, 157–174, 13 Abb., 2 Tab., New York.

KLEMENT, K. W. & TOOMEY, D. F. (1967): Role of the blue-green alga *Girvanella* in skeletal grain destruction and lime-mud formation in the Lower Ordovician of west Texas. – J. Sed. Petrol., *37*, 1045–1051, Tulsa.

KLOVAN, J. E. (1964): Facies Analysis of the Redwater Reef Complex, Alberta, Canada. – Bull. Canadian Petrol. Geol., *12*, 1, 1–100, 9 Taf., 20 Abb., Calgary.

– (1966): The use of factor analysis in determining depositional envorinments from grain-size distributions. – J. Sed. Petrol., *36*, 1, 115–125, 6 Abb., 3 Tab., Tulsa.

KLOVAN, J. E. & IMBRIE, J. (1971): An algorithm and FORTRAN-IV program for large scale Q-mode factor analysis calculation of factor scores. – J. Mathem. Geology, *3*, 61–77, New York.

KODSI, M. G. & SIEHL, A. (1970): Numerische Klassifikation von Fenestella-Fragmenten aus der Bank des Auernig, (Oberkarbon; Karnische Alpen). – Verh. Geol. B.-A., *1970*, 3, 609–623, Wien.

KREBS, W. (1968): Reef development in the Devonian of the eastern Rhenish Slate Mountains, Germany. – Internat. Symposium Devonian System, Calgary 1967, Alberta Soc. Petrol. Geol., *2*, 295–306, 4 Abb., 2 Tab., Calgary.

– (1971): Die devonischen Riffe in Mitteleuropa. – Mitt. Techn. Univ. Carolo-Wilhelmina Braunschweig, *6*, 2/3, 12 S., 12 Abb., Braunschweig.

– (1974): Devonian Carbonate Complexes of Central Europe. – In: LAPORTE, L. F. (Herausgeber): Reefs in Time and Space. – Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. Publ. *18*, 155–208, 25 Abb., Tulsa.

KROPFITSCH, M. u. SCHOUPPÉ, A. v. (1953): Revision der Tabulaten aus dem Paläozoikum von Graz. Teil 1: Thamnoporen und Striatoporen. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, *83*, 90–117, 1 Taf., 1 Tab., Graz.

KRUMBEIN, W. C. (1962): Open and closed number systems in stratigraphic mapping. – Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., *46*, 12, 2229–2245, 13 Abb., 6 Tab., Tulsa.

KRUMBEIN. W. C. & GRAYBILL, F. A. (1965): An introduction to statistical models in geology. – 475 S., New York (Mc Graw Hill).

LECOMPTE, M. (1933): Les genre *Alveolites* Lamarck dans le Dévonien moyen et supérieur de l'Ardenne. – Mém. Mus. Roy. Hist. Nat. Belgique, *55*, 1–49, Taf. 3, Bruxelles.

– (1939): Les tabulés du Devonién moyen et supérieur du bord sud du bassin de Dinant. – Mus. Roy. Hist. nat. Belgique, Mém., *90*, 229 S., 23 Taf., Bruxelles.

– (1951/52): Les stromatoporoides du Dévonien moyen et supérieur du bassin de Dinant. – Inst. Roy. Sci. nat. Belgique, part 1, Mém. *116*, 1–215, Taf. 1–35; part 2, Mém. *117*, 216–359, Taf. 36–70, Bruxelles.

– (1970): Die Riffe im Devon der Ardennen und ihre Bildungsbedingungen. – Geologica Palaeontologica, *4*, 25–71, 4 Taf. 20 Abb., 3 Tab., Marburg a. d. Lahn.

LEMAITRE, D. (1934): Etudes sur la faune des Calcaires Dévonien du Bassin d'Ancenis, Calcaire de Chaudefonds et Calcaire de Chalonnes (Maine-et-Loire). – Soc. Géol. Nord., Mém., *12*, 254 S., 18 Taf., 13 Abb., Lille.

Lynts, G. W. (1966): Relationships of sediment-size distribution to ecologic factors in Buttonwood Sound, Florida Bay. – J. Sed. Petrol., *36*, 1, 66–74, Tulsa.

– (1972): Factor-Vector Analysis Models in Ecology and Paleoecology. – 24th Internat. Geol. Congr. Montreal, Sect. 7, 227–237, Montreal.

Marsal, D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. – 152 S., 40 Abb., Stuttgart (Schweizerbart).

McCammon, R. B. (1968): The dendrograph: a new tool for correlation. – Geol. Soc. Amer. Bull., *79*, 1663 bis 1670, Boulder.

McCammon, R. B. (1975): Concepts in geostatistics. – 168 S., Berlin-Heidelberg-New York (Springer Verlag).

McCammon, R. B. & Wenninger, G. (1970): The dendrograph. – Computer Contrib., *48*, 26 S., Lawrence.

Michener, C. D. u. Sokal, R. R. (1957): A quantitativ approach to a problem in classification. – Evolution, *11*, 2, 130–162.

Müller, A. H. (1951): Grundlagen der Biostratonomie. – Abh. deutsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Math. u. Allgemeine Naturwiss., *1950*, 3, 147 S., 79 Abb., Berlin.

Otto, G. H. (1938): The sedimentation unit and its use in field sampling. – J. Geol., *46*, 569–582, Chicago.

Parks, J. M. (1967): Cluster Analysis applied to multivariate geologic problems. – J. Geol. *74*, 5/2, 703–715, 5 Abb., Chicago.

Petersen, C. G. J. (1915): On the animal communities of the sea bottom in the Skagerrak, the Christiania Fjord, and the Danish Waters. – Rep. Danish Biol. Station, *23*, 3–28, Kopenhagen.

Pfannenstiel, M. (1930): Über die Einbettungslage der *Gryphaea dilatata* im Callov der Normandie und im heutigen Strandsediment. – Senckenbergiana, *12*, 2/3, 126–139, Frankfurt.

Plaas, L. van der, u. Tobi, A. C. (1964): A chart for Judging the reliability of point counting results. – Amer. J. Sci., *263*, 87–90, 1 Abb., Washington.

Plusquelle, Y. (1968): Commensaux des Tabulés et Stromatoporoides du Dévonien armoricain. – Ann. Soc. géol. Nord, *88*, 2, 47 –56, Taf. 5, 5 Abb., 1 Tab., Lille.

Pronina, T.V u. Chuvashov, B. I. (1965): Evoljushionnoe razvitie sistematika, paleoecologiya i stratigraficheskoe znanenie semeistva Parathuramminidae. – Akad. nauk SSSR, Vorprosy Mikropaleont., *9*, 71–81, 1 Abb. , Moskva.

Purdy, E. G. (1963): Recent Calcium Carbonate Facies of the Great Bahama Bank. 1. Petrography and Reaction Groups. – J. Geol., *71*, 3, 334–355, 5 Abb., 5 Taf., Chicago.

Read, J. F. (1973): Carbonate cycles, Pillara Formation (Devonian), Canning Basin, Western Australia. – Canadian Petrol. Geol. Bull., *21*, 1, 38–51, Calgary.

Remane, A. (1943): Die Bedeutung der Lebensformtypen für die Ökologie. – Biol. gen. *17*, 164–182, Leipzig.

Reyment, R. A., Herausgeber (1970): Symposium on Biometrical Methods in Paleontology. – Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, N. S., *2*, 89 S., Uppsala.

Richter, D. K. (1971): Fazies- und Diagenesehinweise durch Einschlüsse in authigenen Quarzen. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., *1971*, 10, 604–622, 7 Abb., 2 Tab., Stuttgart.

Riding, R. (1975): *Girvanella* and other algae as depth indicators. – Lethaia, *8*, 173–179, Oslo.

Riedl, R. (1963): Probleme und Methoden der Erforschung des litoralen Benthos. – Zool. Anz., *26*, Suppl., 505–567, Wien.

– (1966): Biologie der Meereshöhlen. – 636 S., 328 Abb., 16 Farbtaf., Hamburg – Berlin (Parey).

Röllig, G. & Straach, D. (1973): Zum Einsatz faktorenanalytischer Methoden in der Geologie. – Z. angew. Geol. 19, 12, 600, 1973, Berlin.

Saager, R. u. Esselaar, P. A. (1969): Factor Analysis of Geochemical Data from the Basal Reef, Orange Free State Goldfield, South Africa. – Econ. Geol., *64*, 445–451, 1 Tab., 1 Abb., Lancaster.

Sarntheim, M. u. Walger, E. (1973): Classification of Modern Marl Sediments in the Persian Gulf by Factor Analysis. – In: Purser, B. H. (1973): The Persian Gulf. Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea. – 81–89, Bibliography 463–471, 9 Abb., Berlin – Heidelberg – New York (Springer).

Schäfer, W. (1963): Biozönose und Biofazies im marinen Bereich. – Aufsätze und Reden Senckenberg. naturforsch. Ges. *11*, 1–37, 5 Abb., Frankfurt a. M.

– (1967): Biofazies-Bereiche im subfossilen Korallenriff Sarso (Rotes Meer). – Senck. leth., *48*, 2, 107–133, Taf. 1–4, 4 Abb., Frankfurt a. M.

Shaffer, B. L. (1965): A measure of community organization and ecosystem maturity in the fossil record. – J. Paleont., *39*, 2, 282–283, Menasha.

Siehl, A. & Thein, J. (1975): Stratigraphische Auswertung geochemischer Daten der Minette Luxemburgs. – Z. dt. geol. Ges., 126, 167–181, Hannover.

Sokal, R. R. u. Michener, C. D. (1958): A statistical method for evaluating systematic relationship. – Univ. Kansas Sci. Bull., *38*, 1409–1438, Lawrence.

Solomon, M. (1963): Counting and Sampling Errors in Modal Analysis by Point Counter. – J. Petrol., *4*, 3, 367–382, 2 Taf., London.

Struve, W. (1961): Das Eifeler Korallen-Meer. – Aufschluß, Sonderheft „Eifel", 81–107, 12 Abb., Heidelberg.

– (1963a): Das Korallen-Meer der Eifel vor 300 Millionen Jahren – Funde, Deutungen, Probleme. – Natur und Museum, *93*, 6, 237–276, 23 Abb., Frankfurt a. M.

– (1963b): Devonische Schaltiere aus der Bohrung Münsterland 1. – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., *11*, 343–352, 3 Taf., 3 Abb., Krefeld.

Stumm, E. C. (1954): A Devonian Species of *Heliolites* from Nevada. – Contrib. Mus. Paleont., Univ. Michigan, *11*, 223–228, Taf. 1, Ann. Arbor.

Thorson, G. (1957): Bottom communities. – In: Hedgpeth, J. W., Herausgeber: Treatise on marine ecology and paleoecology, *1*, Geol. Soc. Amer. Mem., *67*, 461–534, New York.

Toomey, D. F. (1966): Application of factor analysis to a facies study of the Leavenworth Limestone (Pennsylvanian-Virgilian) of Kansas and Environs. – Spec. Distribut. Publ., Kansas State Geol. Surv., *27*, 28 S., 13 Abb., 6 Tab., Lawrence.

– (1969): The Biota of the Pennsylvanian (Virgilian) Leavenworth Limestone, Midcontinent Region. Part I: Stratigraphy, Paleogeography, and Sediment Facies Relationships. – J. Paleont., *43*, 4, 1001–1018, Taf. 122–124, 5 Abb., Menasha.

– (1972): Distribution and Paleoecology of Upper Devonian (Frasnian) Algae and Foraminifera from Selected Areas in Western Canada and the Northern United States. – 24th Internat. Geol. Congr. Montreal, Section 7, 621–630, 2 Taf., 1 Abb., Montreal.

Überla, K. (1968): Faktorenanalyse. – 399 S., Berlin (Springer).

Vistelius, A. B. (1961): Sedimentation time trend functions and their application for correlation of sedimentary deposits. – J. Geol., *69*, 703–708, Chicago.

Walker, K. R. (1974): Mud Substrata. – In: Ginsburg, R. N. (Herausgeber): Principles of Benthic Community Analysis. – Sedimenta IV, Comp. Sed. Lab., Univ. Miami, 5.1–5.11, Miami.

Walker, K. R. & Bambach, R. K. (1974): Feeding by benthic invertebrates: Classification and terminology for paleoecological analysis. – Lethaia, *7*, 67–78, 2 Abb., 6 Tab., Oslo.

Walker, K. R. u. Laporte, L. F. (1970): Congruent Devonian communities from Ordovician and Devonian carbonates of New York. – J. Paleont. *44*, 5, 928–944, 10 Abb., Menasha.

Walger, E. (1961): Die Korngrößenverteilung von Einzellagen sandiger Sedimente und ihre genetische Bedeutung. – Geol. Rundschau, *51*, 2, 494–507, 8 Abb., Stuttgart.

Wilson, R. C. L. (1965): Dual Classification for Point-Counting Limestones. – Nature, *207*, No. 4999, 849–850, 3 Abb., London.

Wise, Sh. H. u. Hay, W. W. (1965): Ultrastructure of the Septa of Scleractinian Corals. – Geol. Soc. America, Program 1965 Annual Meetings, Kansas City, 184–185, Kansas City.

Wray, J. L. u. Playford, Ph. E. (1970): Some occurrences of Devonian Reef-Building Algae in Alberta. – Bull. Canadian Petrol. Geol., *18*, 4, 544–555, 2 Taf., 3 Abb., 3 Tab., Calgary.

Yang, (1964): Some Bryozoans from the Upper Devonian of Changyang, Western Hupeh. – Acta Paleont. Sinica, *12*, 1, 26–32, Taf. 1, Peking.

Yavorsky, V. I. (1957): Stromatoporoidea Sovetskogo Soyuza, *2*. – Trudy vses. nauchno-issled. geol. in-ta (Vsegei), nov. ser., *18*, 167 S., 43 Taf., Moskva.

Yavorsky, V. I. (1968): Die Hauptmerkmale des Faserbaus im Coenosteum-Gewebe von *Amphipora* und *Paramphipora*. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., *1968*, 9, 559–562, 3 Abb., Stuttgart.

Ziegler, A. M. & Ginsburg, R. N. (1974): Hardgrounds. – In: Ginsburg, R. N. (Herausgeber): Principles of Benthic Community Analysis. – Sedimenta IV, Comp. Sed. Lab., Univ. Miami, 6.1–6.19, Miami.

Zurmühl, R. (1964): Matrizen und ihre technische Anwendung. – 430 S., Berlin (Springer).

TAFELN

Abb. 1. Östlichster Steinbruch S der Lenne, Letmathe. Schwelmer Kalke (Givet). In der Bildmitte steilgestellte Meßfläche mit zahlreichen Stromatoporen- und Korallen-Stöcken (im Bild weiß). Höhe der Wand etwa 20 m.

Abb. 2. Ausschnitt aus der Meßfläche mit Meßnetz (Unterkante 30 cm) und (weißen) Biogenen in (dunkler) mikritischer Grundmasse. Bei den größeren Biogenen handelt es sich um Oberflächen von in situ liegenden Stromatoporen-Kolonien, bei den kleineren Biogenen meist um Thamnoporen und Einzelkorallen. Letmathe.

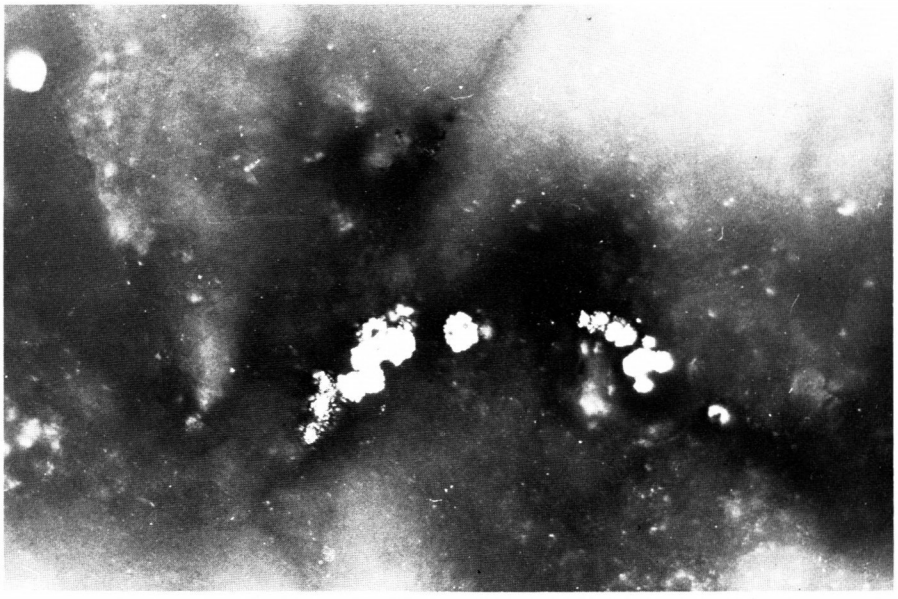
Abb. 3. Rascher Fazieswechsel im Profil-Anschnitt. Steinbruch Steltenberg, Schwelmer Kalk. Oben = im Bild links. Im oberen Teil überwiegend rugose Einzelkorallen (meist *Acanthophyllum*), darunter getrennt durch (schwarz erscheinende) Mergelfuge ein Bereich mit laminaren Stromatoporen, Thamnoporen und Einzelkorallen, im unteren Bilddrittel Alveoliten. Grundmasse mikritisch. Bild-Ausschnitt etwa 60 cm.

1

2

3

Abb. 4. Pyrit-Anreicherungen markieren die Obergrenze der im Schliffbereich als „schwarze Lage" erscheinenden Latilamina in einem Stromatoporen-Stock. Der von den Skelettelementen eingenommene Teil erscheint im Auflicht weiß. In der Bildmitte hell Pyrit, dunkel Graphitoide. Probe 16, *Actinostroma ? stellulatum*, Schichtfläche Letmathe. Auflicht-Bild H 320/4 (J. G. Haditsch), Ätzung mit 5%-iger Al-Nitrat-Lösung, Ölimmersion. x 490.



4

Abb. 5. *Acanthophyllum (Grypophyllum) vermiculare* (GOLDFUSS), Querschliff 1010, umwachsen von *Clathrocoilona spissa* (LECOMPTE) und *Alveolites* sp. Steinbruch Letmathe, Meßfläche. Schwelmer Kalk, Givet. x 8.

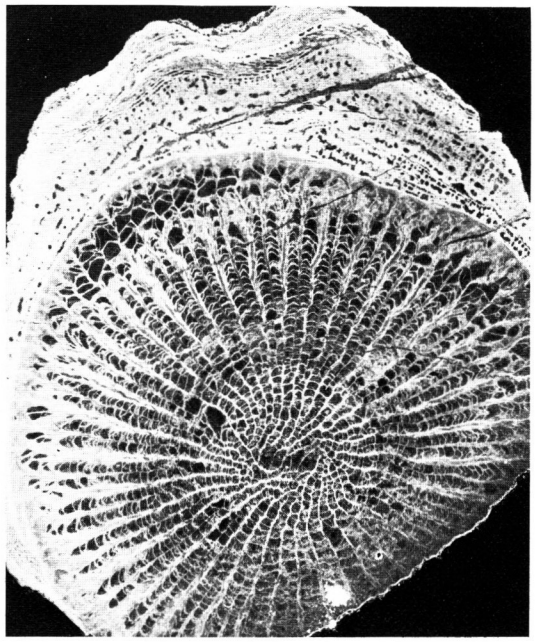
Abb. 6. *Acanthophyllum (Neostringophyllum) concavum* (WALTHER), Querschliff 1073, umwachsen von *Clathrocoilona spissa* (LECOMPTE). Steinbruch Letmathe. x 8.

Abb. 7. *Heliolites* cf. *relictus* STUMM, Längsschliff 1025. Steinbruch Letmathe. x 3.

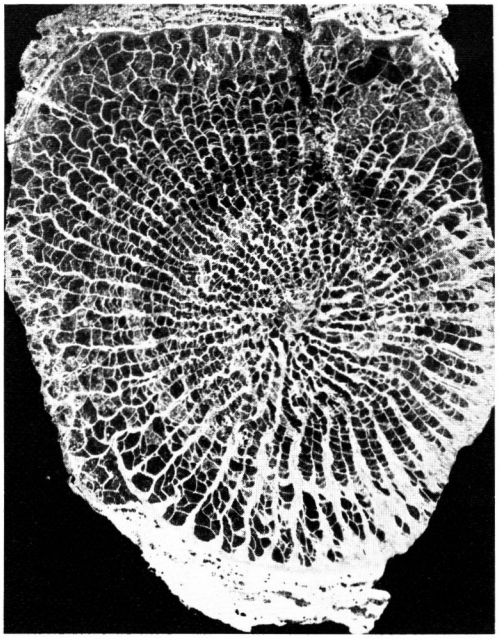
Abb. 8. *Heliolites porosus* (GOLDFUSS), Schrägschnitt 1129. Steinbruch Letmathe. x 3.

Abb. 9. *Amphipora rudis* LECOMPTE, Schliff L 10b. Steinbruch Steltenberg, Schwelmer Kalk. Feindetritische, mikritische Grundmasse mit Echinodermaten- und Brachiopodenschutt. x 4.

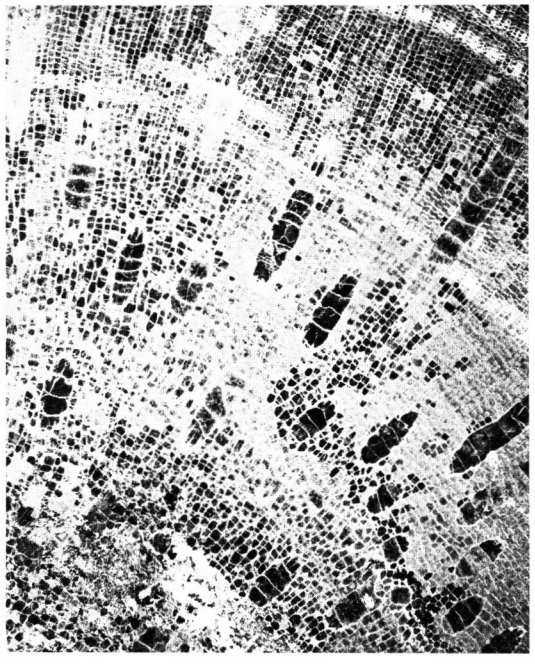
Abb. 10. *Alveolites suborbicularis* LAMARCK, Querschliff 1019. Steinbruch Letmathe. x 3,5.



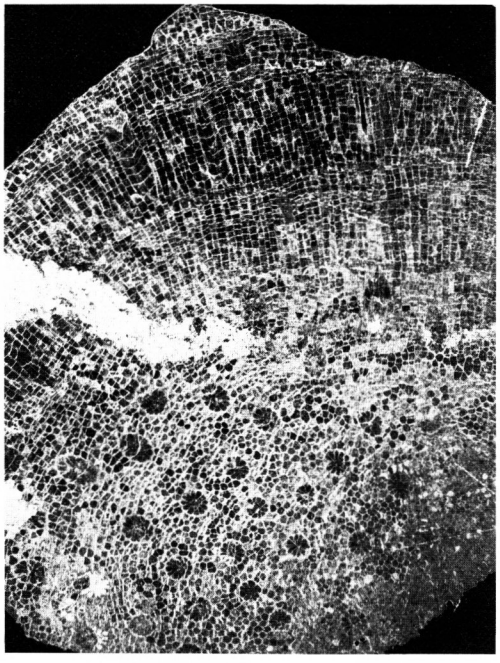
5



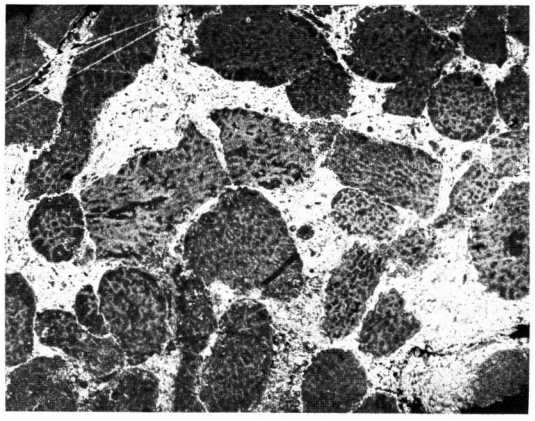
6



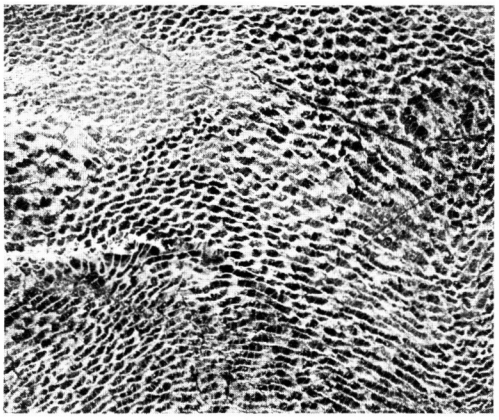
7



8



9



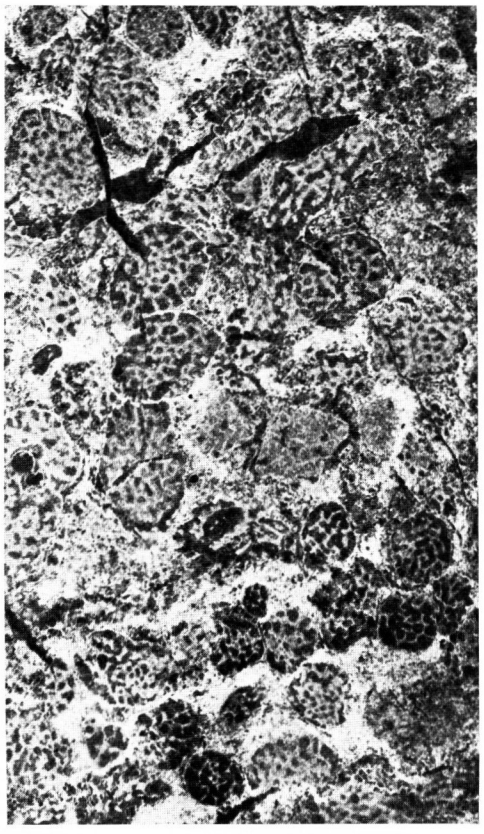
10

Abb. 11. *Actinostroma ? stellulatum* NICHOLSON, Längsschliff 1044. Steinbruch Letmathe, Meßfläche. x 6.

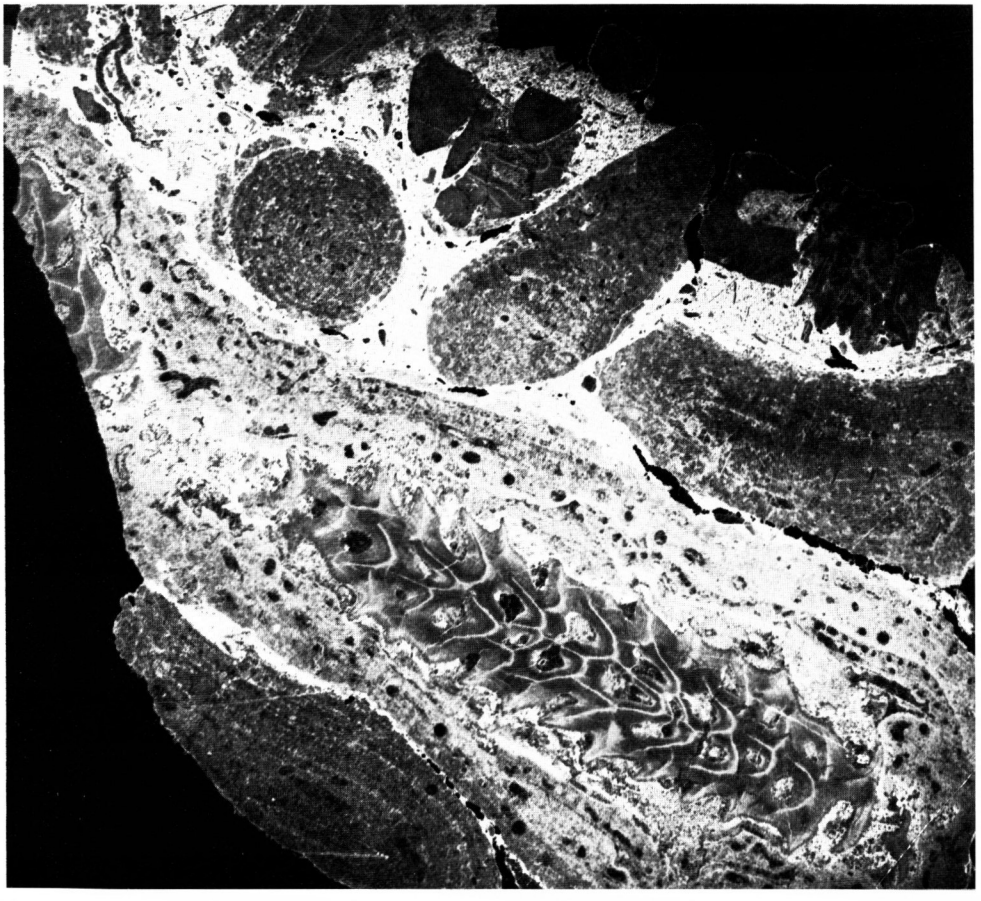
Abb. 12. *Amphipora ramosa* (PHILLIPS), Querschliff L 8. Steinbruch Mühlenberg, Hohenlimburg. Schwelmer Kalk, Givet. x 4.

Abb. 13. Biomikrit mit *Stachyodes* sp. (im Bild unten und oben) und *Thamnopora reticulata* (BLAINVILLE), umwachsen von *Clathrocoilona spissa* (LECOMPTE); feindetritisch-mikritische Grundmasse mit Echinodermaten-Fragmenten. Schliff 1063, Steinbruch Letmathe, Meßfläche. Schwelmer Kalk. x 8.

11



12



13

Abb. 14. Beziehungen zwischen Kelch-⌀ und Wand-Dicke bei einigen von der Schichtfläche im Steinbruch Letmathe stammenden Alveoliten-Kolonien. Es lassen sich 3 Gruppen unterscheiden, von denen die Gruppe A als *Alveolites taenioformis* SCHLÜTER und die Gruppen B und C als *Alveolites suborbicularis* LAMARCK zu bestimmen sind. Die Zahlen beziehen sich auf die Anzahl der Querböden/10mm.

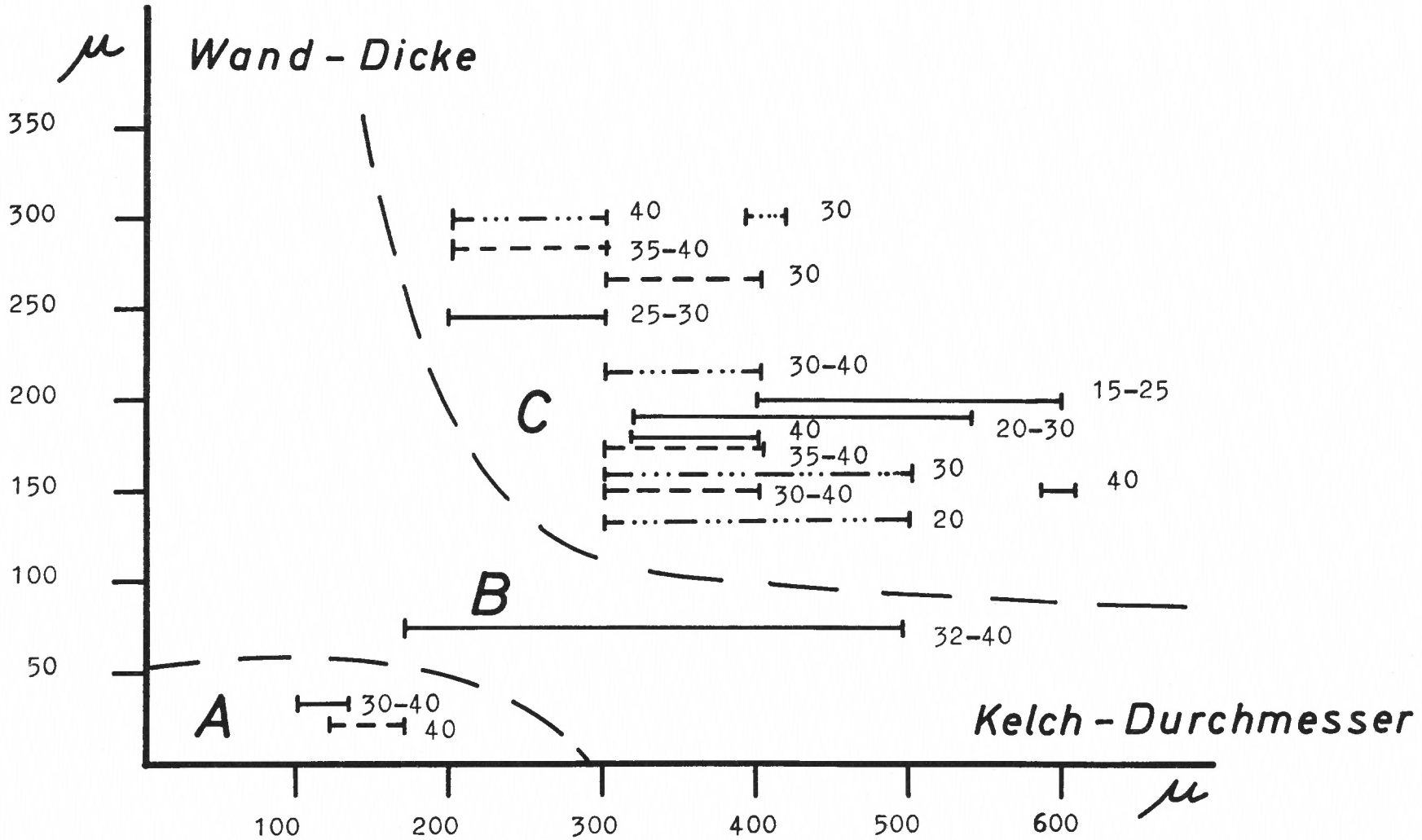


Abbildung 14

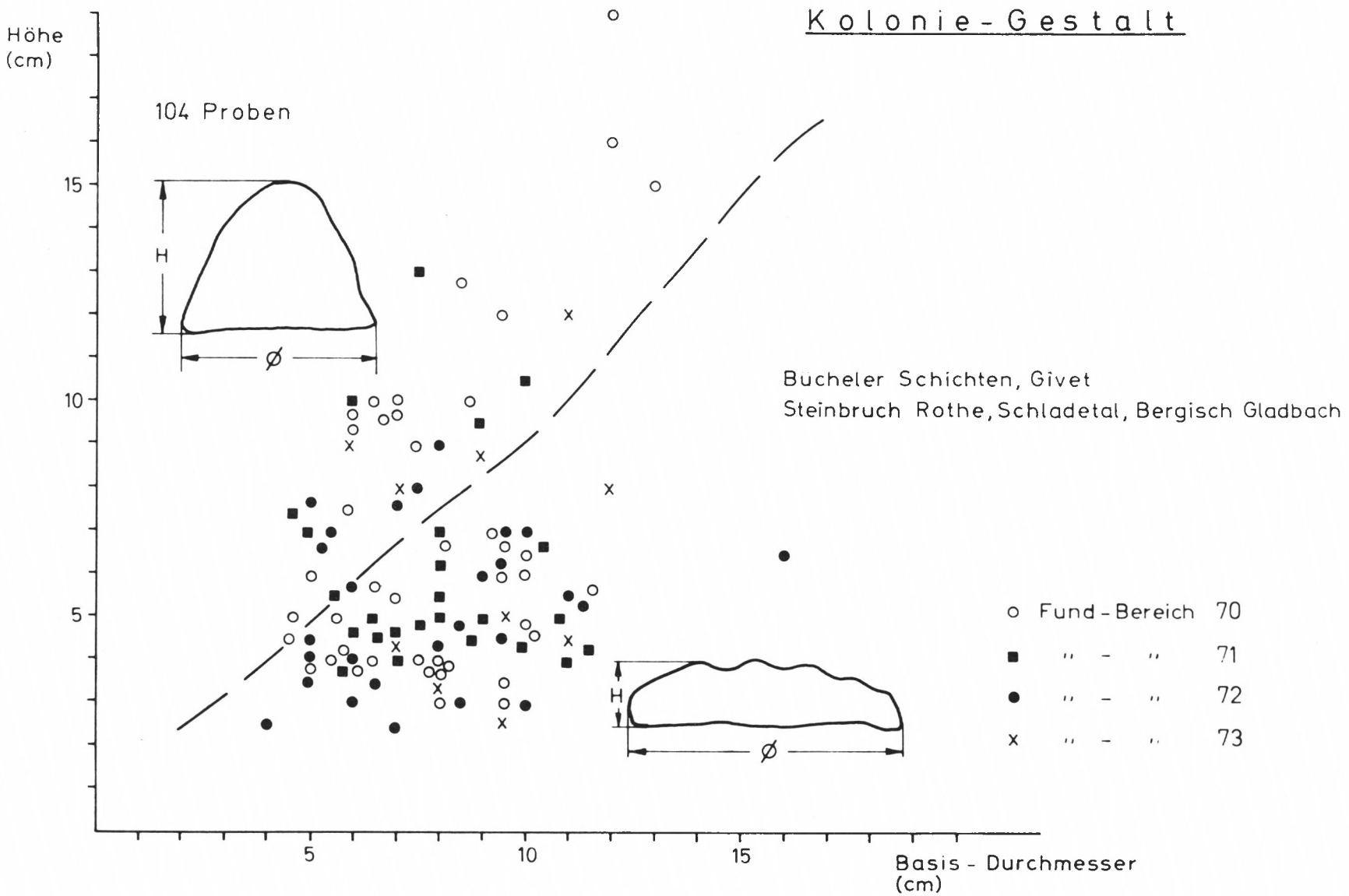


Abb. 15. Häufigkeit von Stromatoporen-„Wuchsformen". Im Gegensatz zu dem Geländeeindruck ergibt die statistische Erfassung von 100 Kolonien kaum ein Überwiegen von „globularen" oder „tabularen" Lebensformtypen. Bücheler Schichten (Givet), Steinbruch Rothe im Schladetal bei Bergisch-Gladbach.

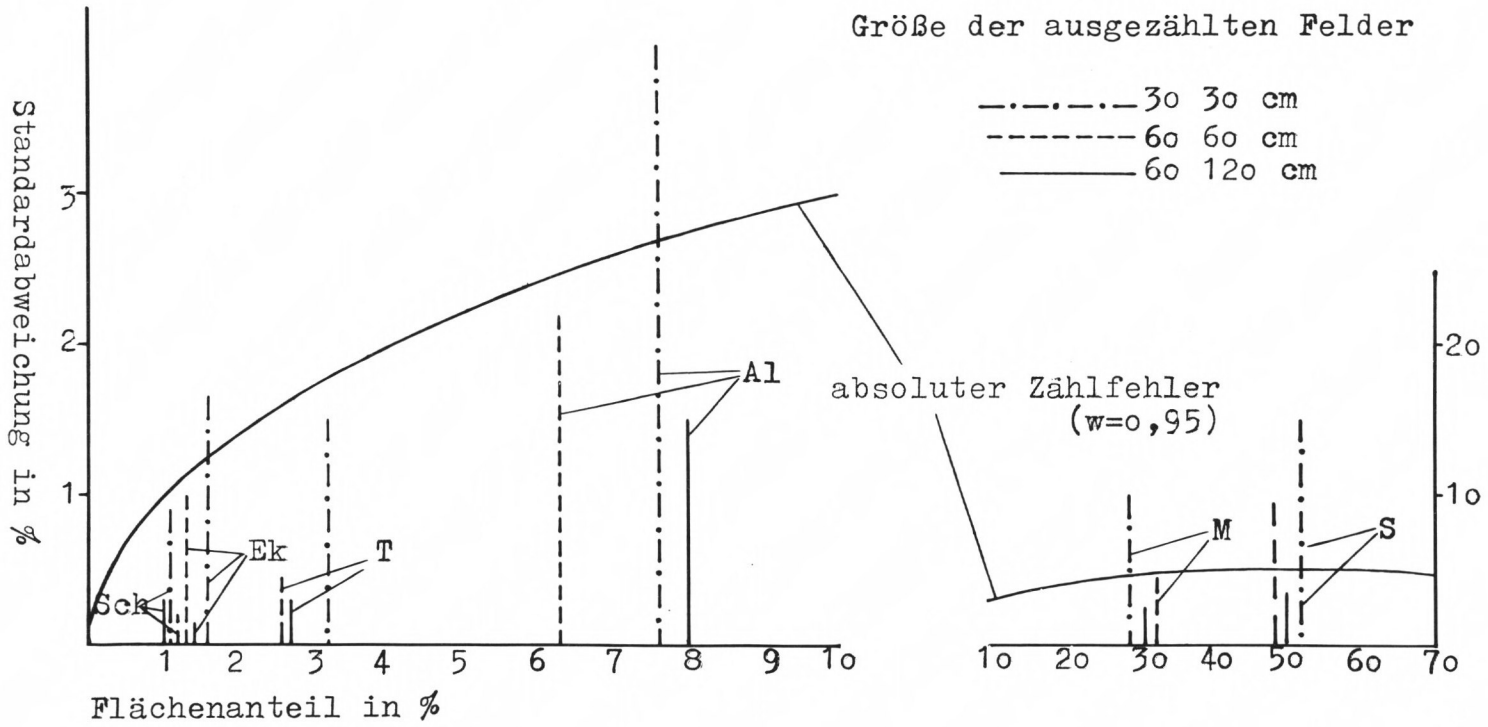


Abb. 16. a) Beeinflussung der Streuung durch die Größe der Stichproben-Felder und durch die Meßpunktezahl: Standardabweichung einiger Fossilgruppen bei verschieden großen Meßfeldern und konstanter Punktezahl (n = 400).

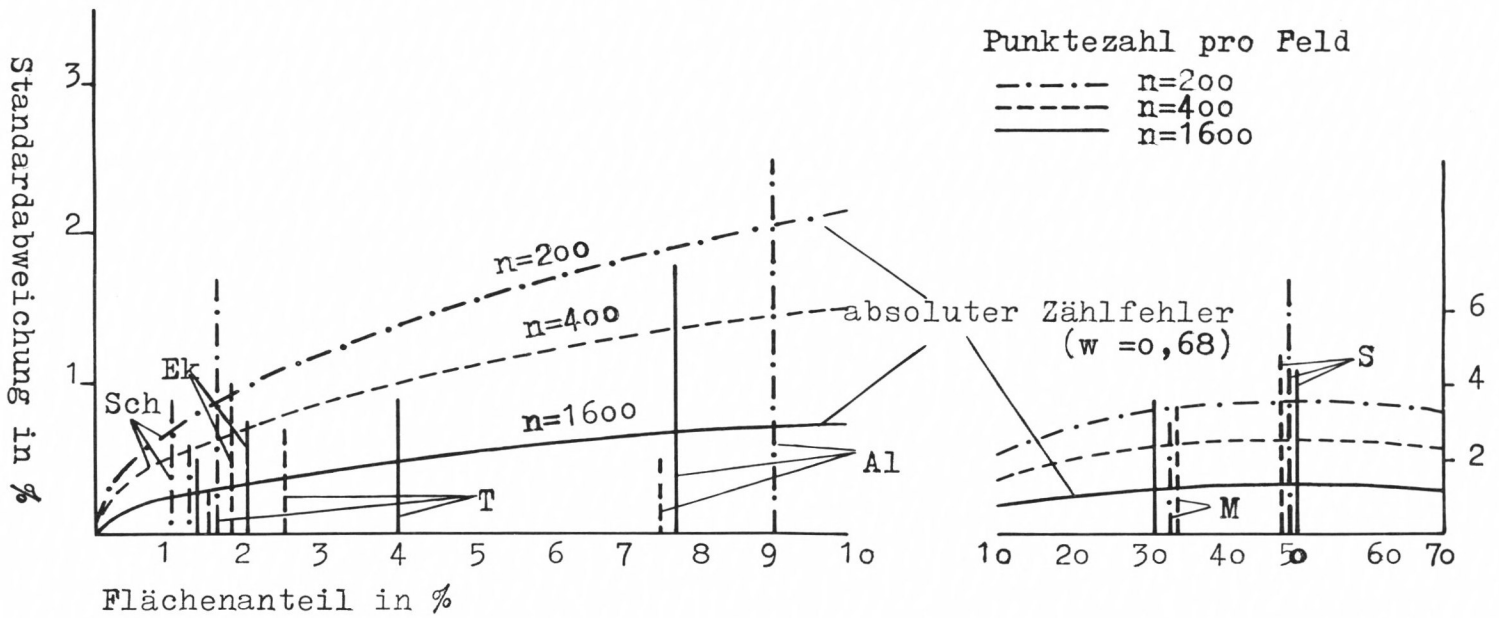


Abb. 16. b) Beeinflussung der Streuung durch die Größe der Stichproben-Felder und durch die Meßpunktezahl: Standardabweichung bei konstanter Meßfeldgröße (60 × 60 cm), aber unterschiedlicher Punktezahl. Al = Alveoliten, EK = Einzelkorallen, M = Matrix (mikritische Grundmasse mit Feinbiodetritus), S = Stromatoporen, SCH = Schalen-Reste (meist Brachiopoden), T = Thamnoporen.

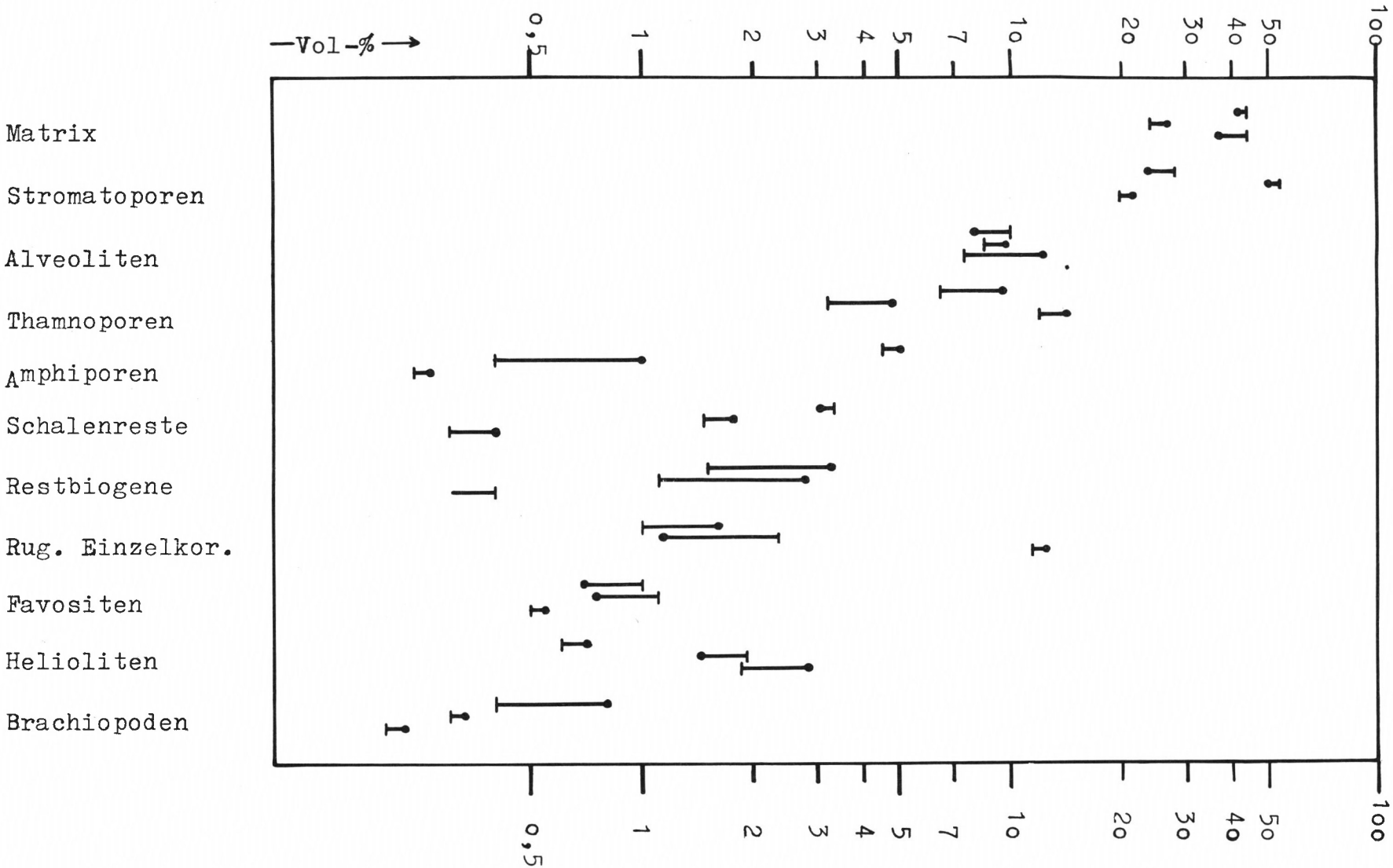


Abb. 17. Abweichungen der Mittelwerte bei Punktauszählung (angedeutet durch Punkt) und Linearmeßmethode (dargestellt durch Querstrich [–]) in 3 Testbereichen. Für jede Komponente gilt: linke Eintragung = Testfeld 2 auf der Schichtfläche in Letmathe, mittlere Eintragung = Testfeld 1 auf der Schichtfläche in Letmathe, rechte Eintragung = Profil P in Letmathe. Die Punktzählmethode liefert genauere Werte.

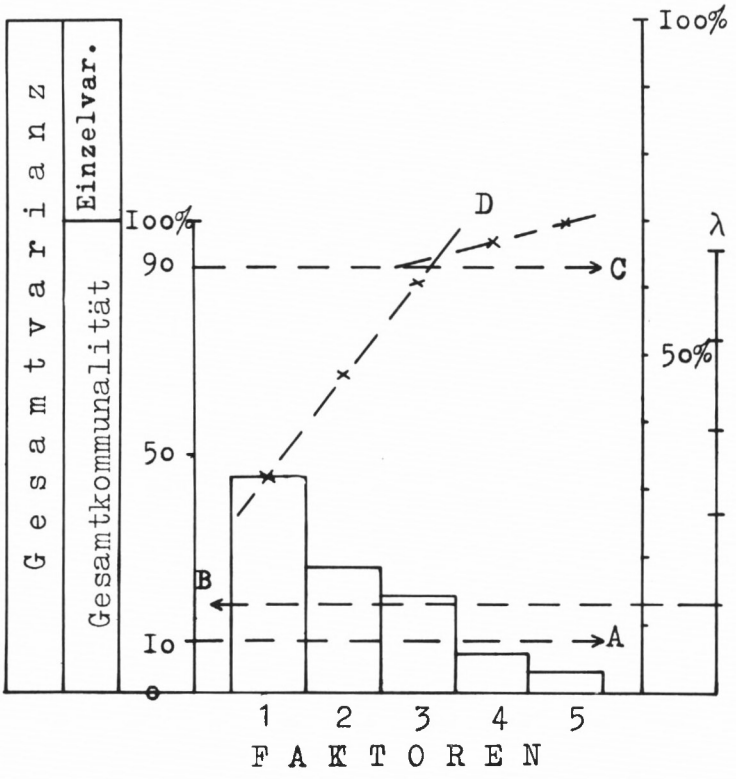


Abb. 18. Bestimmung der Zahl der zu extrahierenden Faktoren am Beispiel des Profils P im östlichsten Steinbruch S der Lenne in Letmathe.

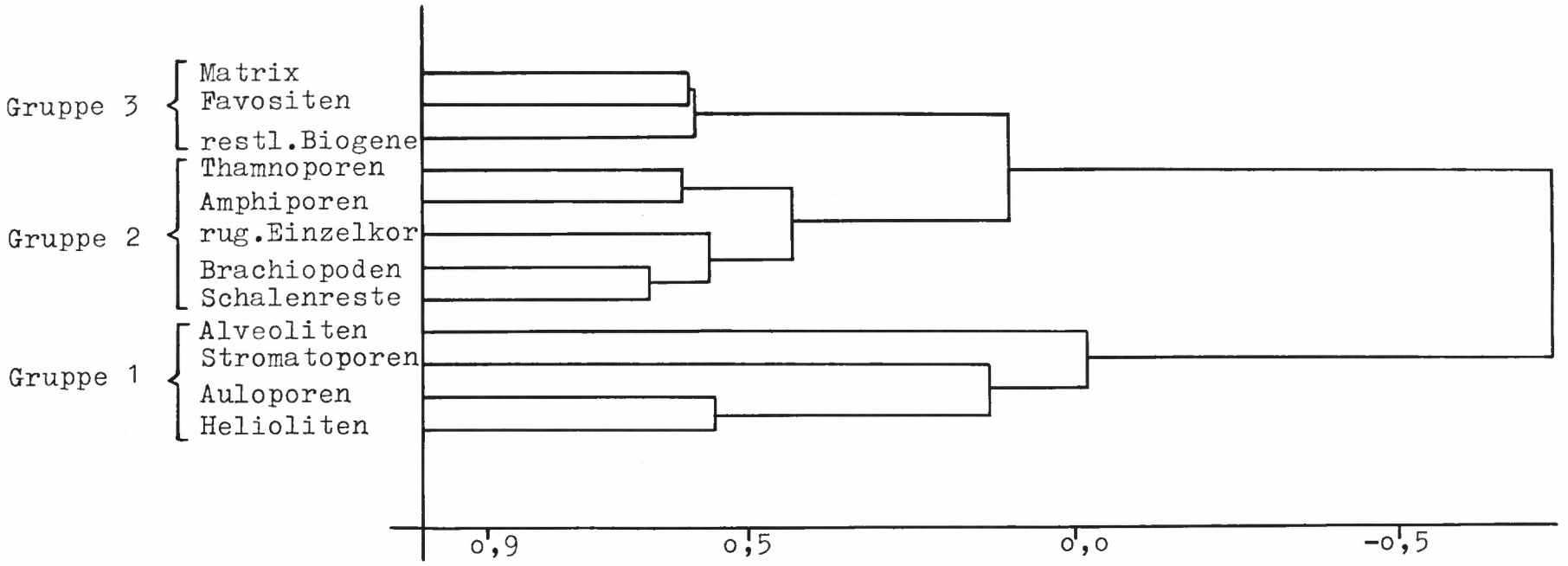


Abb. 19. Cluster-Diagramme der Faunenelemente auf der Schichtfläche in Letmathe. Berechnung aufgrund der Prozentwerte von 14 Großfeldern (60 × 60 cm) unter Verwendung der Korrelationskoeffizienten-Matrix, R-Technik.

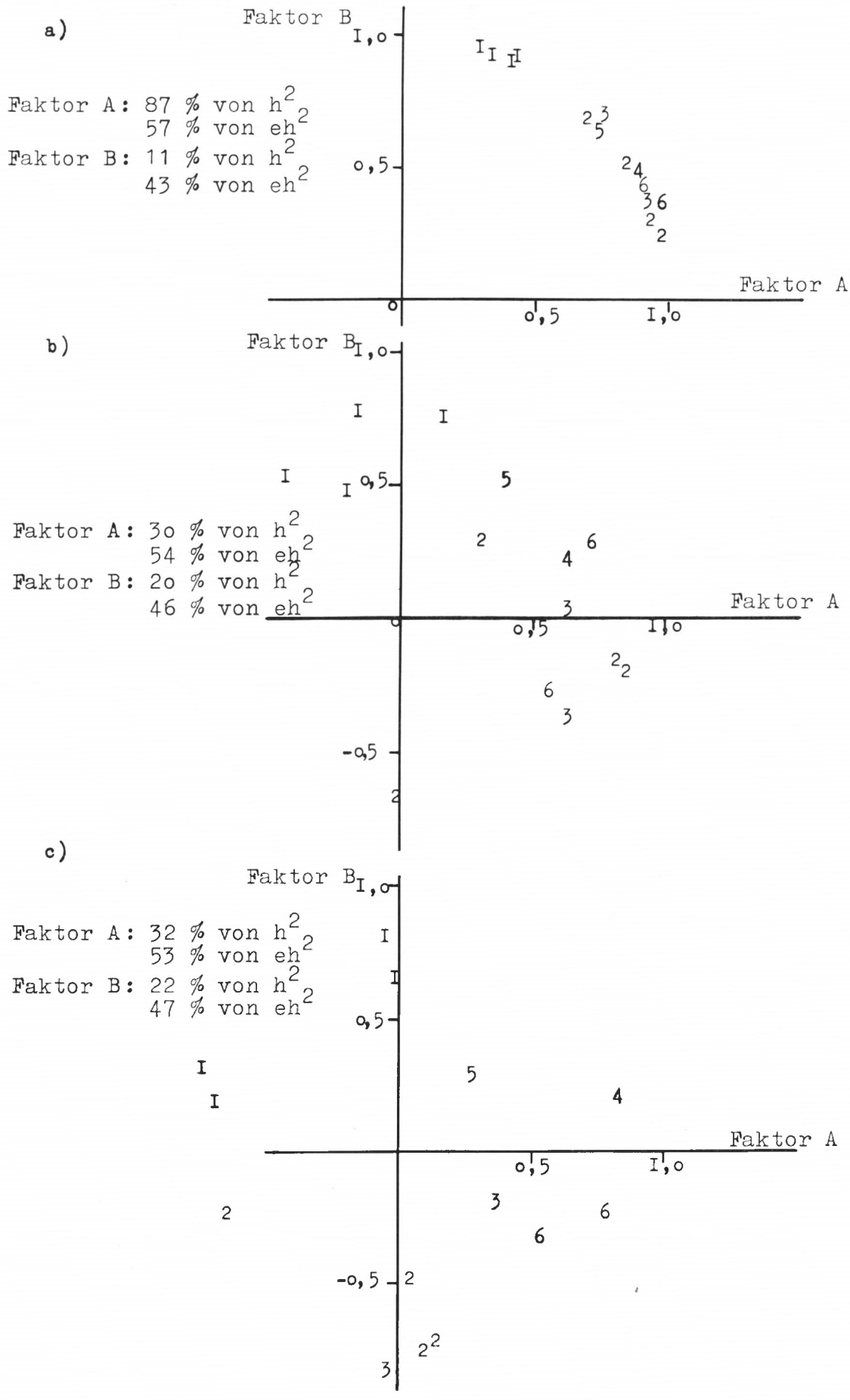


Abb. 20. Rotierte Faktorendiagramme für 14 Großfelder aus 6 Testbereichen der Schichtfläche Letmathe, Q-Technik. Vergleich der Faktorenanalyse (berechnet aus der Korrelationskoeffizienten-Matrix) bei Veränderung der Ausgangsdaten (Prozentwerte der Punktauszählung von 14 Großfeldern): a) bei unveränderten Daten, b) bei normierten Daten und c) bei standardisierten Daten.

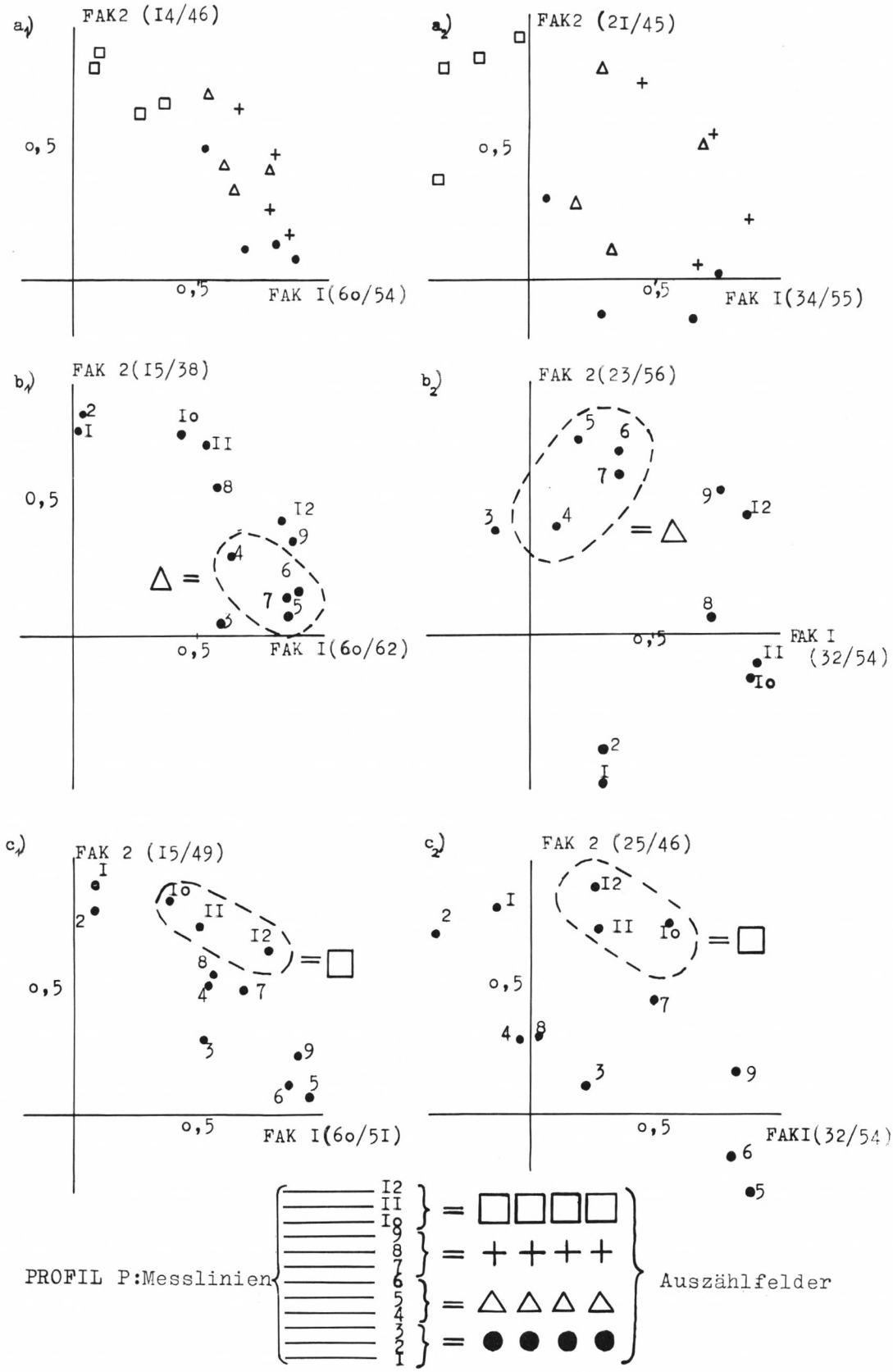


Abb. 23. Vergleich der Meßverfahren, dargestellt durch rotierte Faktorendiagramme (Q-Technik) der Auszähleinheiten im Profil P, östlichster Steinbruch S der Lenne in Letmathe. Es wurden nur 2 Faktoren extrahiert. Die Skizze an der Basis der Abbildung zeigt die Anordnung der Meßlinien bzw. der Auszählfelder (30 × 30 cm). Die Berechnung der Faktorenmatrix erfolgte in der linken Diagrammreihe unter Verwendung der cos-Φ-Koeffizienten, in der rechten Diagrammreihe mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten. Als Ausgangsdaten dienten bei a) die normierten Prozentwerte der Punktauszählung (400 Punkte pro Feld), bei b) die normierten Prozentwerte der Linearzählung und bei c) die normierten i-Zahlen der Linearauszählung. In den Diagrammen gibt die erste Zahl hinter den Faktoren den Anteil des Faktors an der Gesamtkommunalität an, die zweite Zahl den Anteil an der von den beiden Faktoren erfaßten Kommunalität.

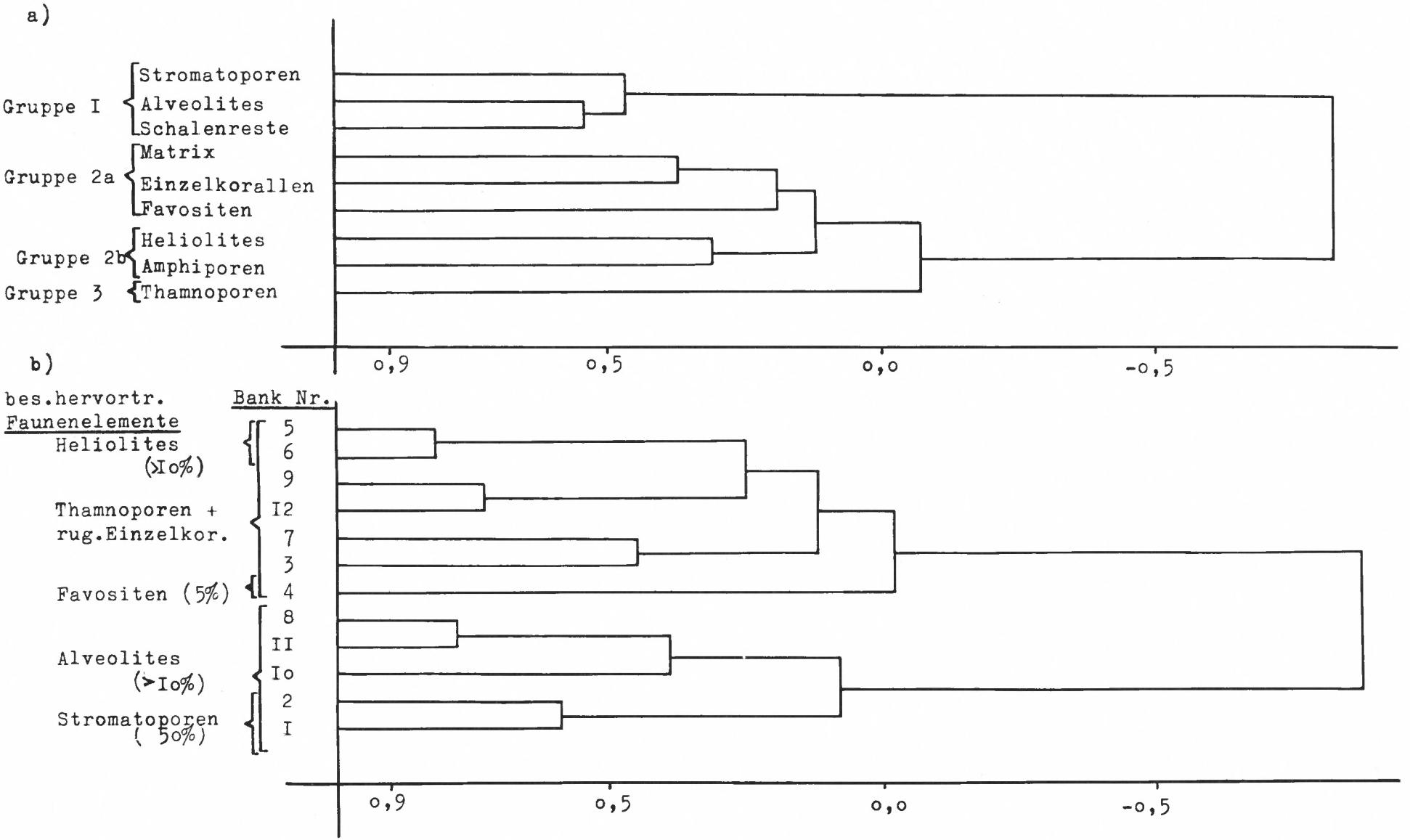
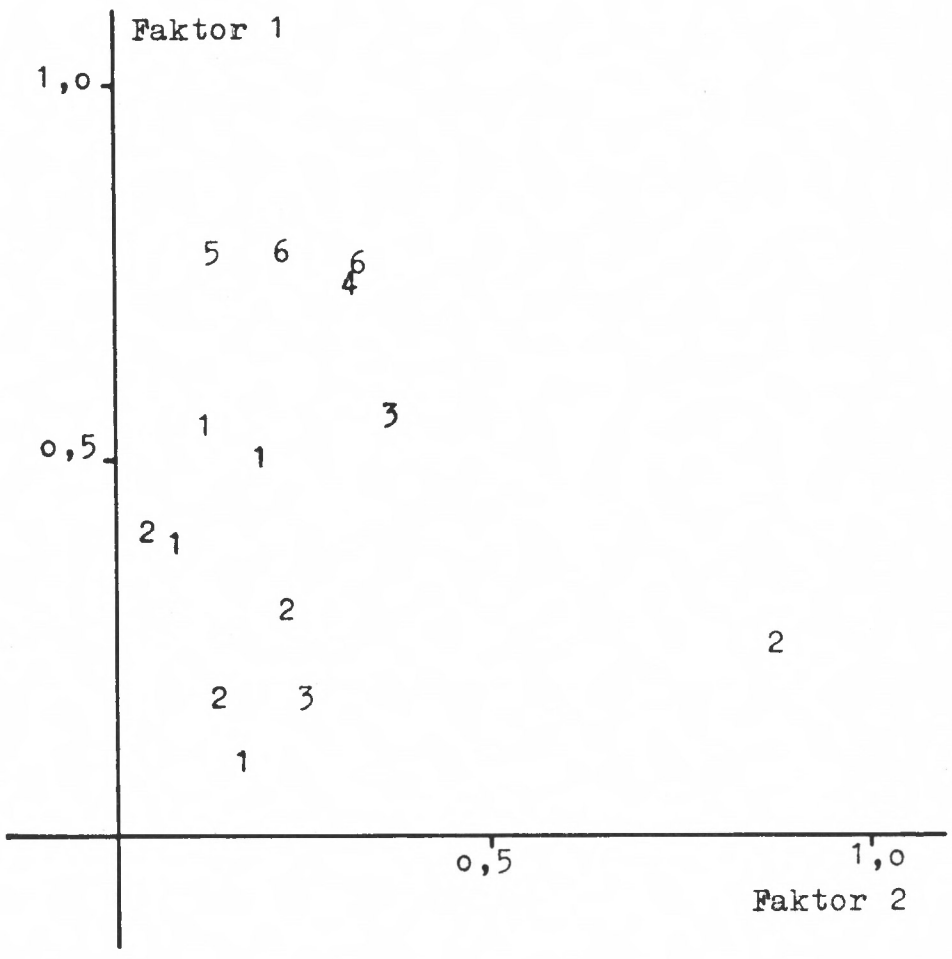
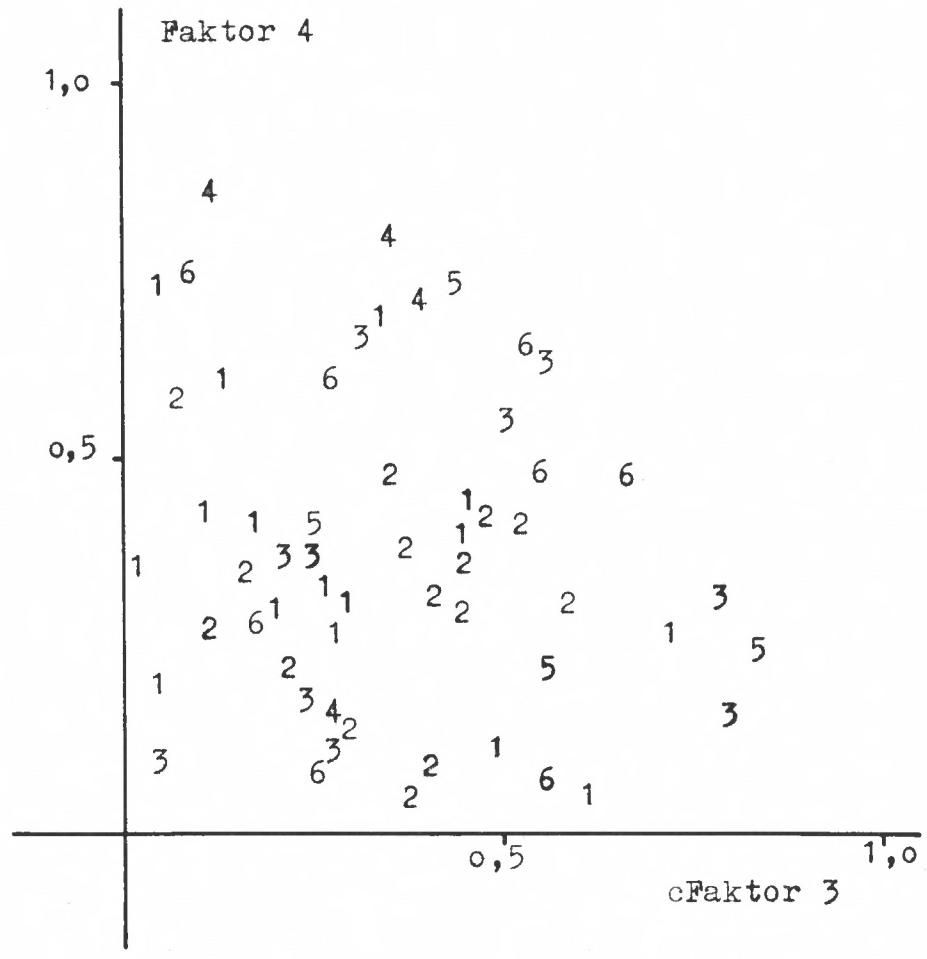
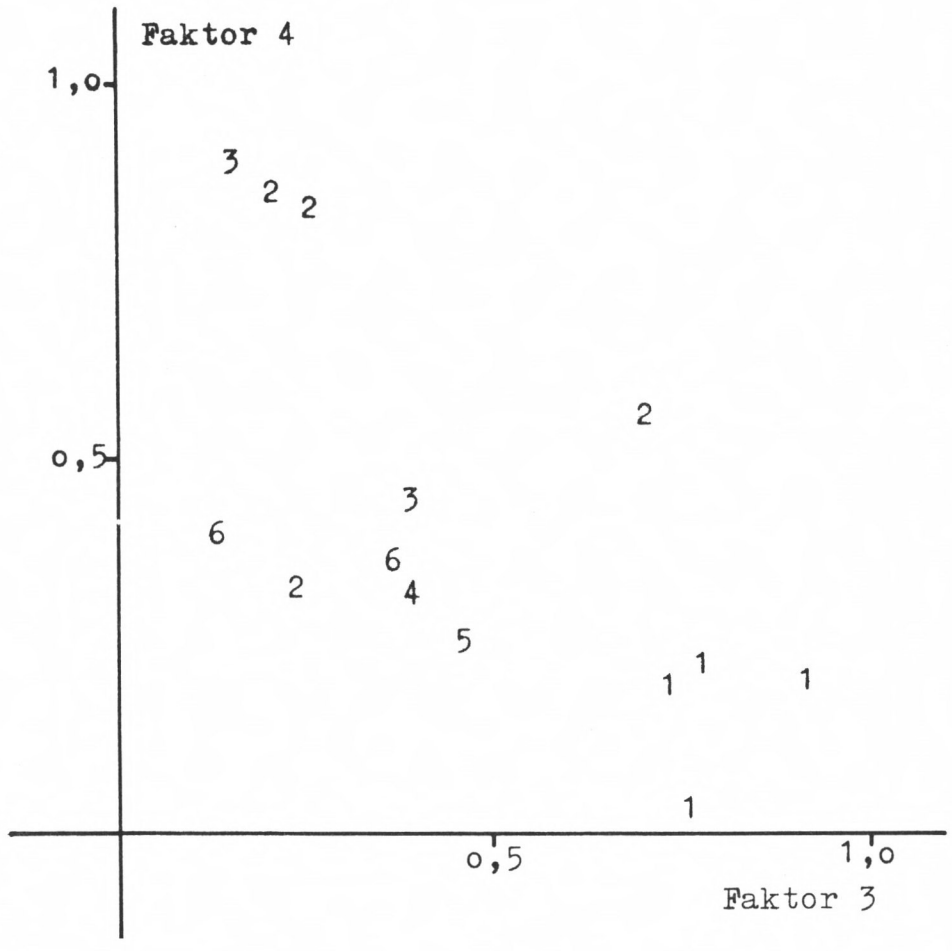


Abb. 22. Clusterdiagramm von Fauna und Bänken des Profils P, östlichster Steinbruch S der Lenne, berechnet aus der Korrelationsmatrix. Ausgangsdaten sind die standardisierten Prozentwerte der Linearauszählung. a) R-Technik, b) Q-Technik.







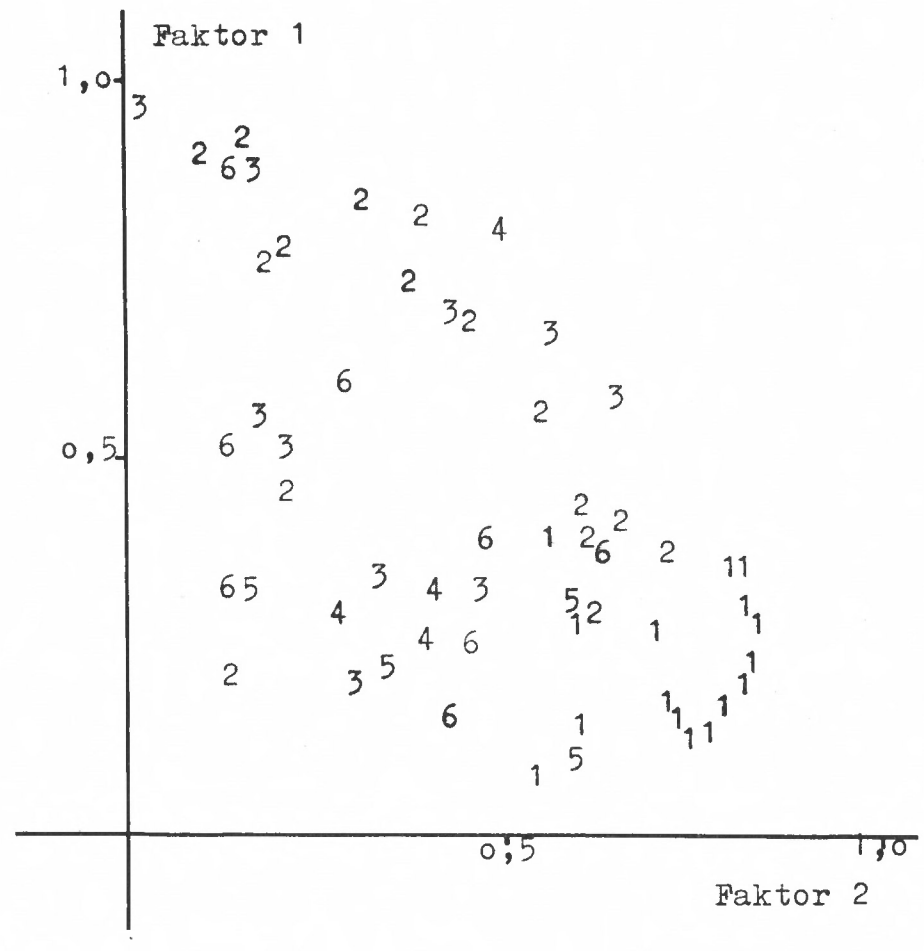


Abbildung 21

Abb. 21. Rotierte Faktorendiagramme für die Auszählfelder der Schichtfläche in Letmathe, Q-Technik. Vergleich der Abhängigkeit kleiner und großer Auszählfelder von den Faktoren. Linke Seite für 60 × 60 cm Felder, rechte Seite 30 × 30 cm Felder. Faktorenanalyse normierter Daten mit Hilfe der cos-Φ-Matrix. Anteil der 4 Faktoren an der Gesamtkummunalität in beiden Fällen 85 %. Die Zahlen 1 bis 6 beziehen sich auf die Zugehörigkeit der Proben zu den 6 Testbereichen auf der Schichtfläche.

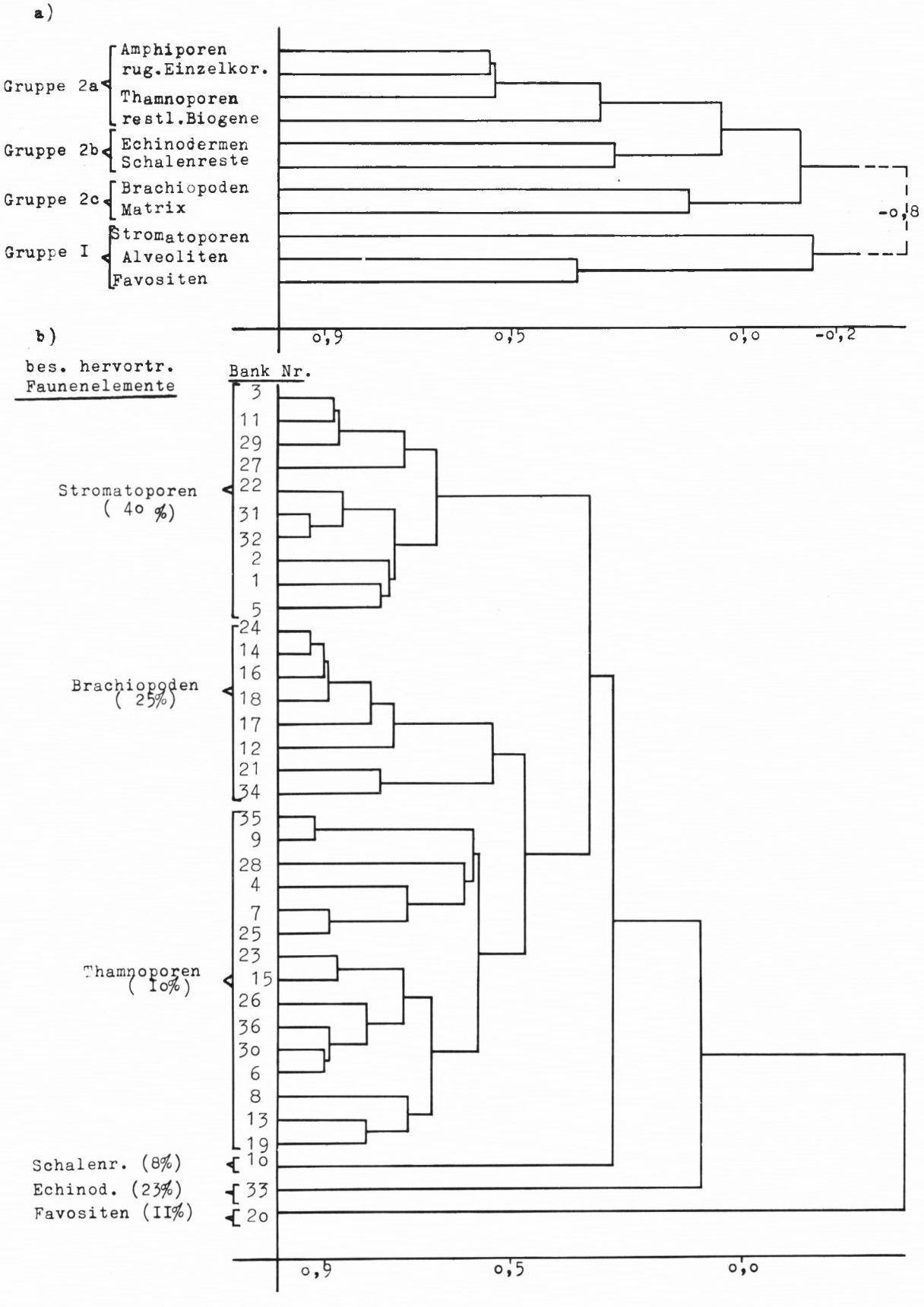


Abb. 24. Clusterdiagramm von Fauna und Bänken im Profil 36, Steinbruch Letmathe, errechnet aus den Prozentwerten unter Verwendung der Korrelationskoeffizienten. Die Auszählung der Bänke erfolgte nach der Linearzählmethode. a) R-Technik; zwei miteinander negativ korrelierte Großgruppen stehen einander gegenüber, die Lebensformtypen entsprechen (massive, großwüchsige Kolonien; zylindrische, kleine Formen, schalentragende Organismen und Matrix). b) Q-Technik; Clusterung nach 6 Gruppen, die monomikten Assoziationen (Brachiopoden; Thamnoporen) und heteromikten Assoziationen (Stromatoporen) entsprechen,

siehe Seite 54.

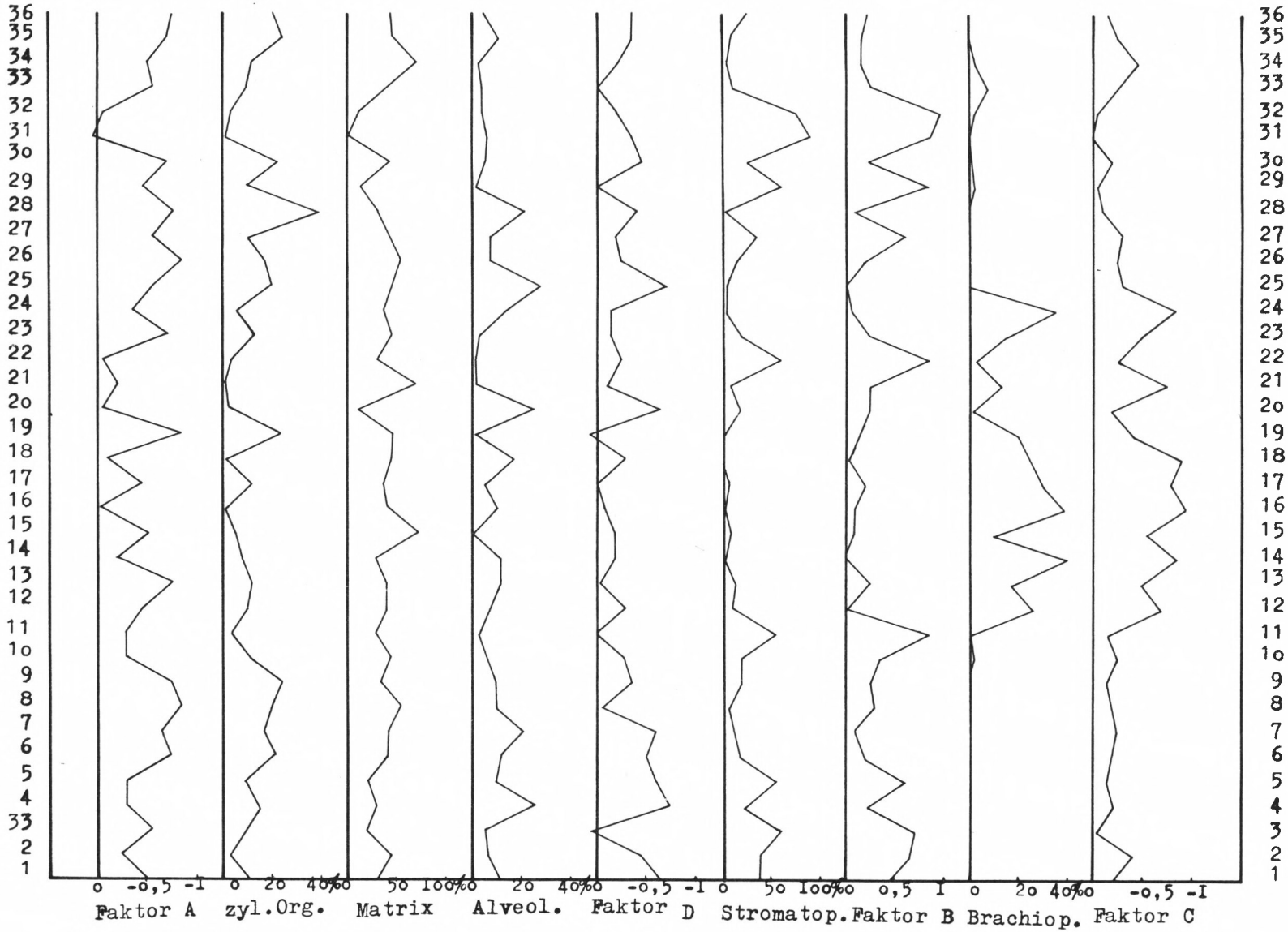


Abb. 25. Faktorenanalyse (Q-Technik) des Profils 36, Letmathe. Säulendiagramme zeigen die Verteilung der Faktorenladungen, der Faunenelemente und der Matrix. Die Kurven bringen die direkte Bindung der Faktoren an einzelne Faunenelemente in den 36 untersuchten Bänken zum Ausdruck. Faktorenanalyse unter Verwendung von normierten Daten und cos-Φ-Koeffizienten.

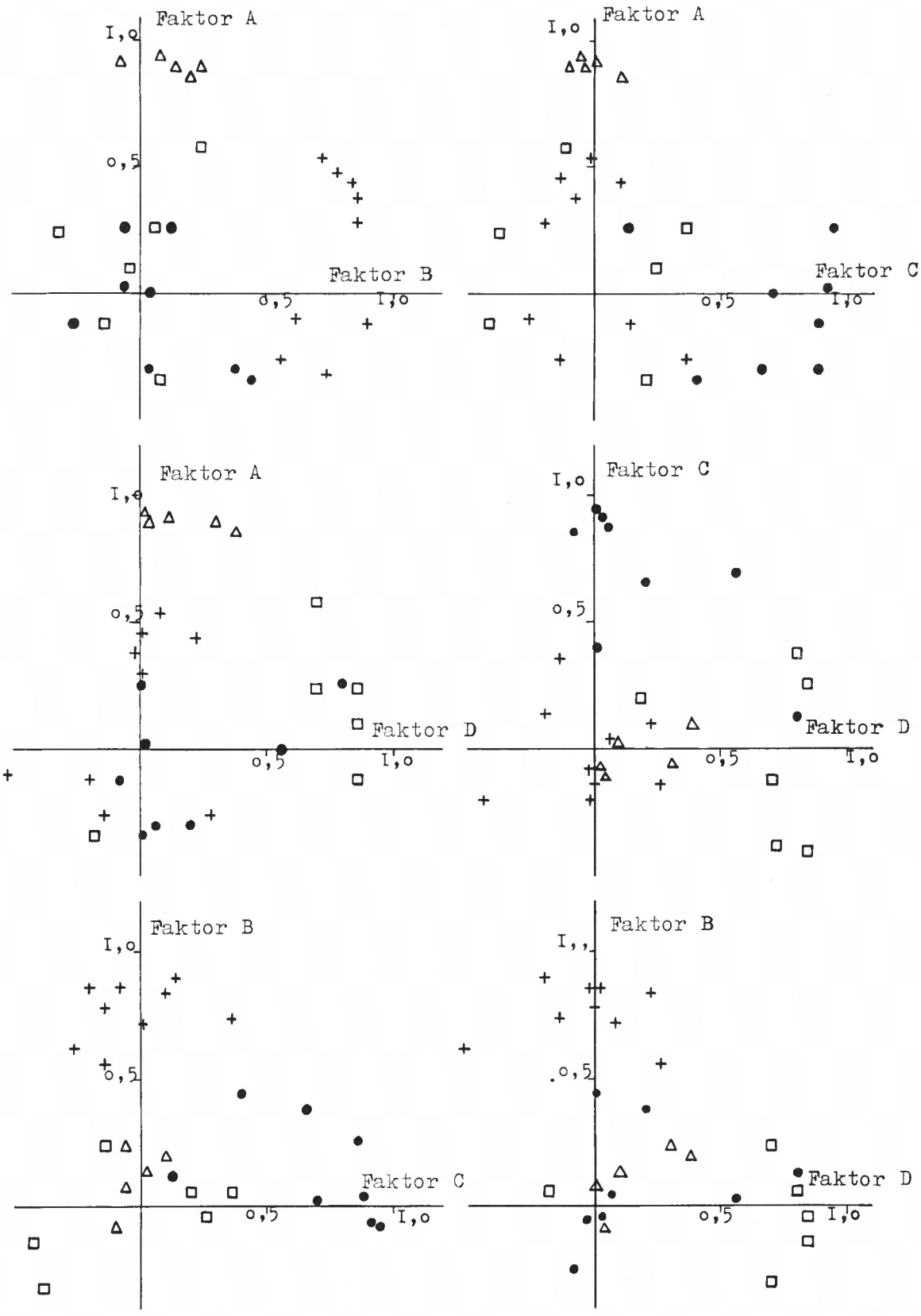


Abb. 26. Rotierte Faktorendiagramme (Korrelationskoeffizienten, normierte Daten) der Faunenelemente im Profil 28 im Steinbruch Steltenberg, Hohenlimburg. Für die Faktoren ergeben sich folgende Anteile an der Gesamtkommunalität in Prozentwerten (in Klammern ist der Anteil an eh^2 (=rotierter Anteil von h^2) angeführt): Faktor A 30 (28), Faktor B 11 (27), Faktor C 20 (23) und Faktor D 11 (21). Faziestypen (Geländeansprachen): F 1 = Biomikrit mit sehr zahlreichen Amphiporen und sehr wenigen anderen Faunenelementen; F 2 = Biomikrit reichem Faunenspektrum, bestehend aus Stromatoporen, Alveoliten, rugosen Einzelkorallen und Thamnoporen u. a.; F 3 = Brachiopoden-Biomikrit; F 7 = Mikrit mit globularen und lamellaren Stromatoporen in Lebensstellung.

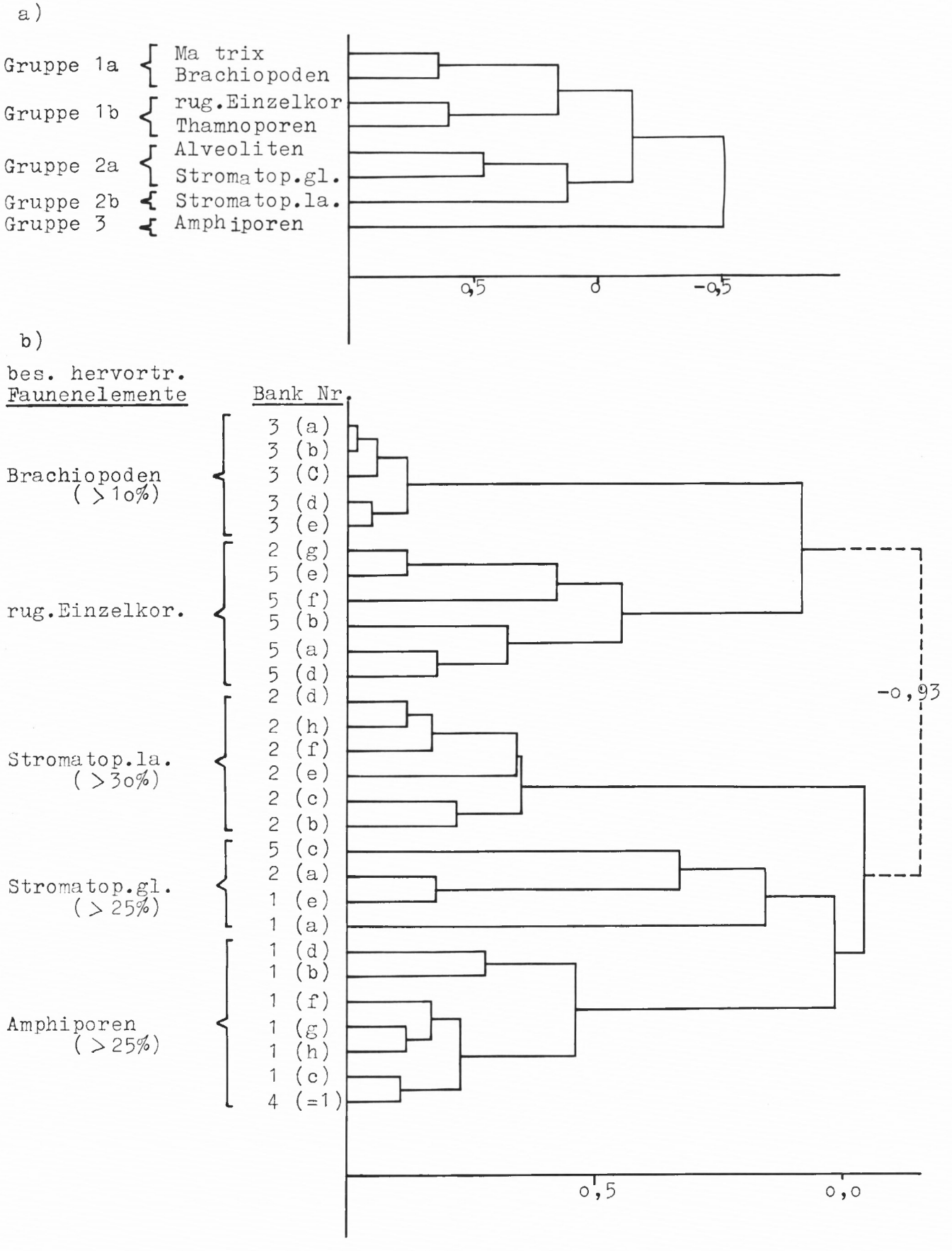


Abb. 27. Clusterdiagramme der Fauna und Schichten im Profil 28, Steinbruch Steltenberg in Hohenlimburg, berechnet aufgrund von standardisierten i-Zahlen unter Verwendung von cos Φ-Koeffizienten. a) R-Technik, b) Q-Technik.

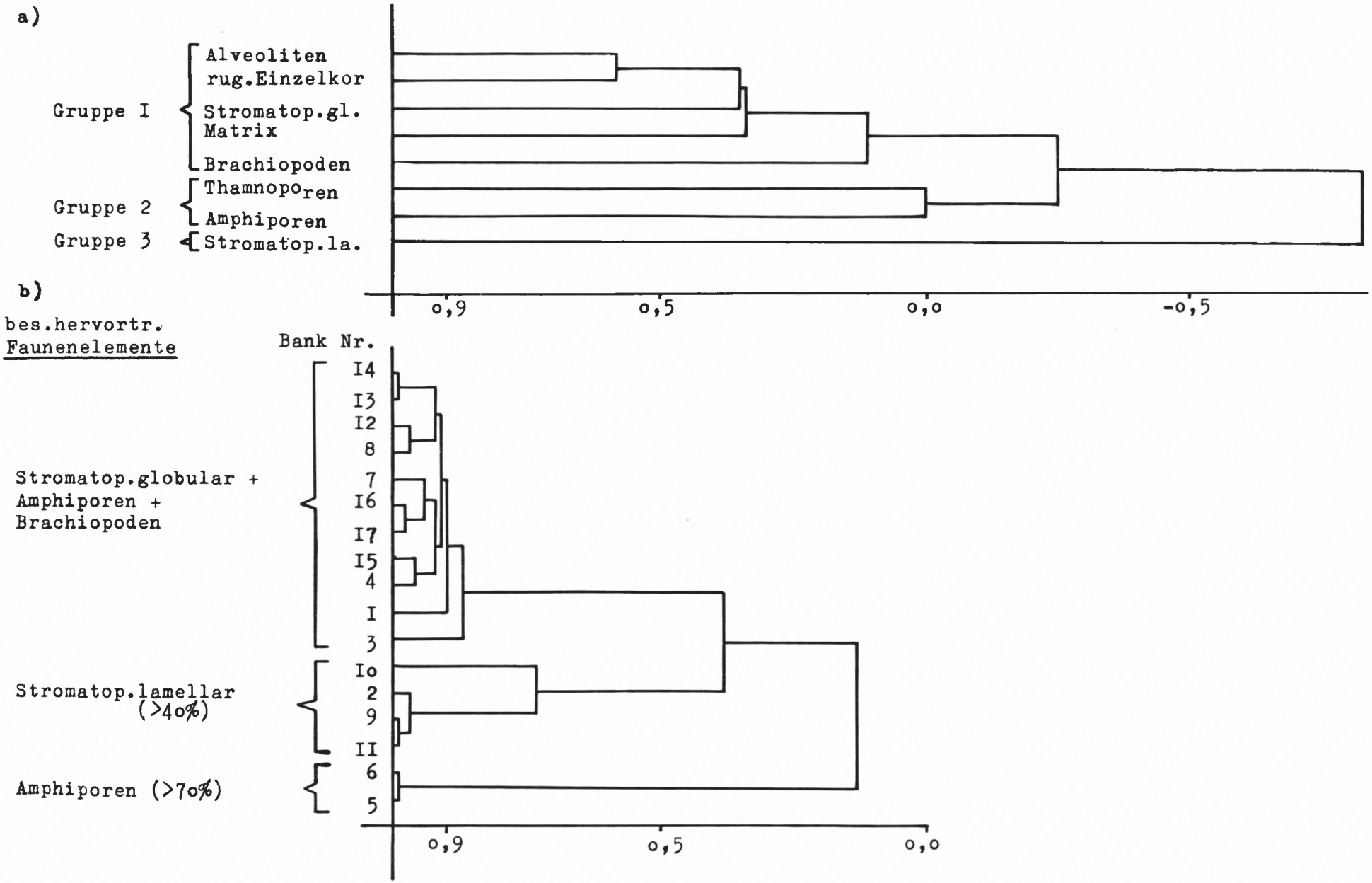


Abb. 28. Clusterdiagramme der Faunenelemente und der Bänke im Profil 17 im Steinbruch Steltenberg, Hohenlimburg. Unveränderte Urmatrix, Korrelationskoeffizienten. a) R-Technik, b) Q-Technik.

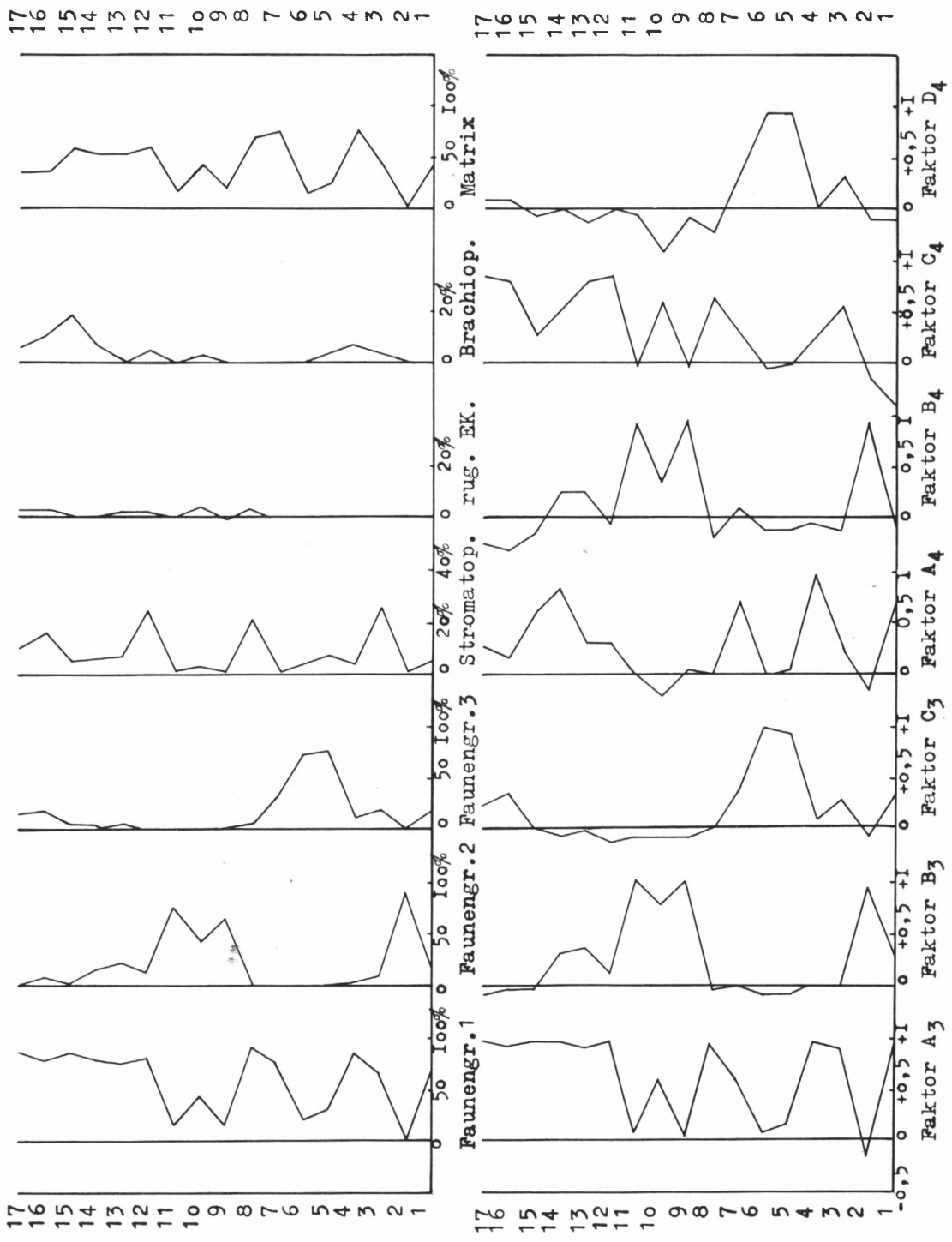


Abb. 29. Faktorenanalyse des Profils 17, Steinbruch Steltenberg, Hohenlimburg. Die Verteilungsdiagramme zeigen die Bindung der Faktorenladungen an die Prozentwerte der Faunengruppen (Faunengruppe 1 = globulare Stromatoporen, Alveoliten, rugose Einzelkorallen, Brachiopoden und Matrix); Faunengruppe 2 = Amphiporen und (sehr wenige) Thamnoporen; Faunengruppe 3 = lamellare Stromatoporen). Die Faktoren A_3, B_3 und C_3 gehen auf unveränderte Ausgangsdaten und Korrelationskoeffizienten, die Faktoren A_4, B_4, C_4 und D_4 auf normierte Ausgangsdaten und Korrelationskoeffizienten zurück. Die Faunen-Unterschiede in den einzelnen Bänken sind nur auf wenige Faktoren zurückzuführen und meist durch die für die quantitativ überwiegende Organismengruppe verantwortlichen Umweltbedingungen bedingt.