

# documenta

naturae

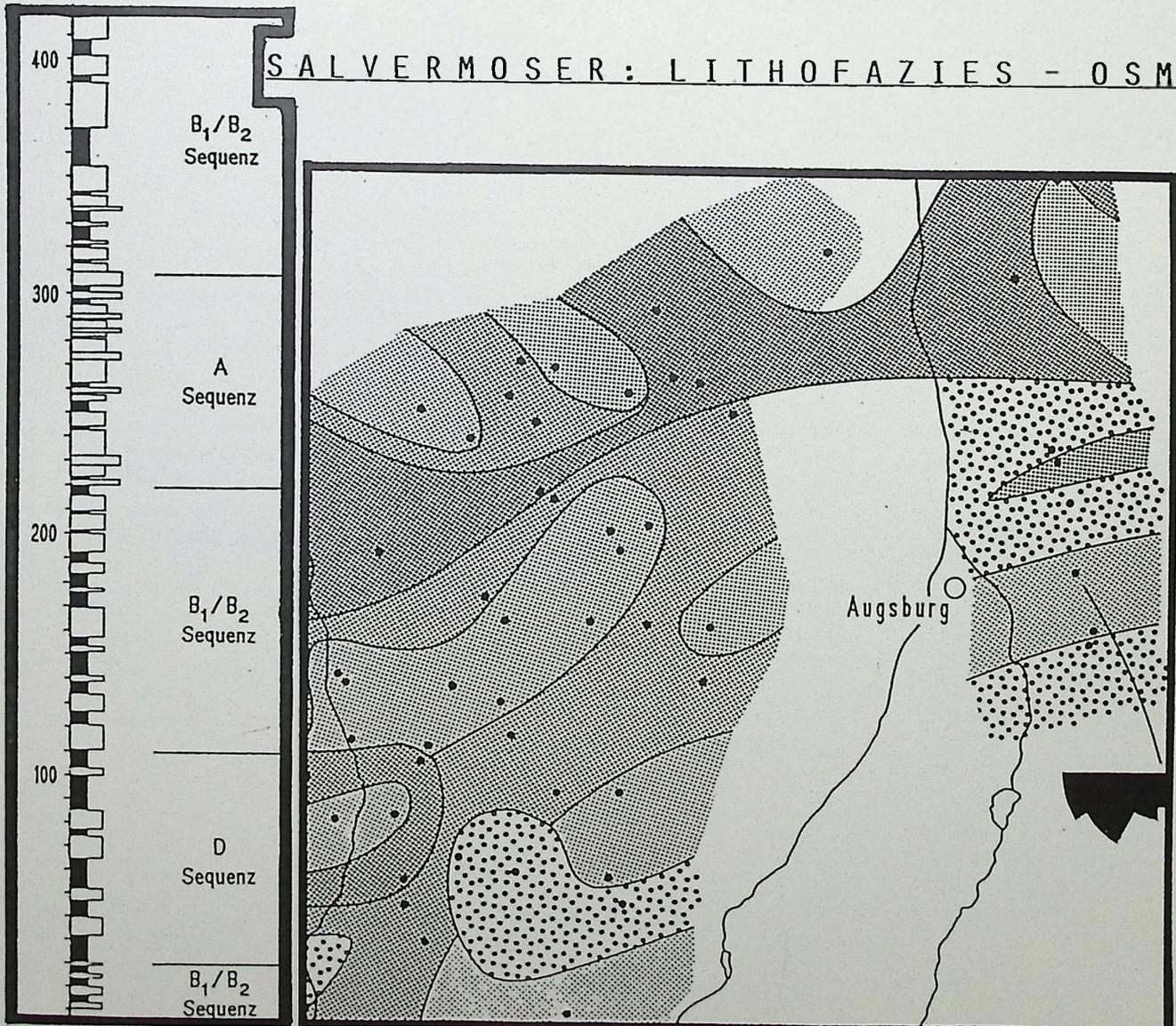
# No. 63

München 1991



216

## SALVERMOSER: LITHOFAZIES - OSM



Documenta naturae No. 63

München 1991

ISSN 0723-8428

Herausgeber

Dr. Hans-Joachim Gregor

Naturmuseum

Im Thäle 3

D-8900 Augsburg

und

Dr. Heinz J. Unger

Nußbaumstr. 13

D-8058 Altenerding

Bestellungen bei der Buchhandlung und den Herausgebern.

Die Schriftenreihe erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten Geologie, Paläontologie, Botanik, Anthropologie, Vor- und Frühgeschichte, Domestikationsforschung, Stratigraphie, Lagerstättenkunde usw.

Die Schriftenreihe ist auch Mitteilungsorgan der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe (PBA).

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich, für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

Da die Documenta naturae auf eigene Kosten gedruckt werden, bitten wir um Überweisung der Schutzgebühr auf das Konto 6410317280 bei der Bayerischen Hypotheken- und Wechselbank München (BLZ 700 200 01) - Inh. H.-J. Gregor.

Umschlagbild: H.-J. Gregor

Inhalt

Seite

Salvermoser, ST.: Lithofaziesbereiche fluviatiler Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch- Schwaben .....	1 - 34
--	--------

## Lithofaziesbereiche fluviatiler Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben

Von STEFAN SALVERMOSER \*)

Zusammenfassung .....	2
Abstract .....	2
1. Einleitung .....	3
2. Überblick über die Sedimente der OSM in Bayerisch-Schwaben .....	5
3. Methodik der Untersuchungen .....	7
3.1 Sedimentologische Geländearbeit .....	8
3.2 Clusteranalyse .....	8
3.3 Markovkettenanalyse .....	10
3.4 Korngrößenanalyse .....	11
4. Die Lithofaziesgruppen als Gliederungsprinzip der OSM im Untersuchungsgebiet .....	11
4.1 Lithofaziesgruppe A .....	12
4.2 Lithofaziesgruppe B1 .....	13
4.3 Lithofaziesgruppe B2 .....	13
4.4 Lithofaziesgruppe C .....	14
4.5 Lithofaziesgruppe D .....	14
5. Mathematisch-statistische Modelle räumlicher Verteilungsmuster der Lithofaziesgruppen .....	15
6. Ergebnisse der granulometrischen Untersuchungen .....	23
7. Schlußfolgerungen.....	28
Dank .....	30
Literatur .....	30

---

\*) Anschrift des Autors: Dipl.-Geol. Stefan Salvermoser, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-8000 München 19

## Zusammenfassung

Die fluviatilen Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben können aufgrund ihrer sedimentären Schichtungsstrukturen gegliedert werden.

Zur faziellen Aufnahme werden standardisierte Lithofaziestypen (MIALL 1985) herangezogen, mit denen der variable Internaufbau der Sedimente systematisiert und einer statistischen Bearbeitung zugänglich gemacht werden kann. Die auftretenden Standardfaziestypen werden zu übergeordneten, neu eingeführten Lithofaziesgruppen zusammengefaßt.

Die statistische Auswertung (Q-Modus Clusteranalyse, Markovkettenanalyse) zeigt, daß plausible räumliche Verteilungsmuster existieren. In horizontaler Richtung können Faziesbezirke, die fluviatilen Teilbereichen entsprechen, kartenmäßig dargestellt werden. In modellhaften Vertikalprofilen können innerhalb dieser Teilbereiche sedimentäre Zyklen festgestellt werden.

Fazielle und hydrodynamische Aussagen aufgrund der Analyse des sedimentären Gefüges werden durch granulometrische Untersuchungen gestützt.

## Abstract

The occurrence of sedimentary structures lead to a division of the fluvial deposits of the Upper Freshwater Molasse in the bavarian part of Swabia. Standard lithofacies types (MIALL 1985) form a basis to systematize the variable internal character of the sediments. The appearing standard lithofacies types were formed to new introduced lithofacies groups, that leads to further interpretations.

Statistics (Q-mode cluster analysis, Markov chain analysis) shows plausible spatial patterns of distribution. First, in a plan view, there are districts, that subdivides the fluvial deposits in the area of investigation. Second, vertical section analysis on the foundation of stati-

stics shows significant sedimentary sequences within the horizontally divided areas.

Facial and hydrodynamic results on the basis of sedimentary structure analysis is supported by granulometric studies.

## 1. Einleitung

Die Obere Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben befindet sich in neuerer Zeit wieder mehr im Interesse geologischer Forschung, wobei stratigraphische Zielsetzungen im Vordergrund stehen. Überlegungen zu den Ablagerungsbedingungen der Sedimente wurden zumeist nicht systematisch angestellt, wengleich stets mit einbezogen (DOPPLER 1989; FIEST 1989; HEISSIG 1989).

In den letzten zwei Dekaden wurden umfassende Faziesmodelle nahezu aller Sedimentationsbereiche entwickelt, wobei es insbesondere in den fluviatilen Ablagerungsräumen gelang, sehr detaillierte Modelle (z.B. SMITH & SMITH 1980; MIALI 1985) zu erstellen. So lag es nahe, die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse einer Faziesanalyse zu unterziehen, bei der neben der strukturellen Ausprägung auch die texturellen Gefügemerkmale Beachtung finden.

Es soll hier keine neue lithostratigraphische Gliederung erstellt werden. Dazu sind die Untersuchungen nicht umfangreich genug. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den lithofaziellen Aufbau der fluviatilen Sedimente zu erfassen und zu großräumigen Faziesbezirken zusammenzufassen.

Als Arbeitshypothese galt, daß in den fluviatilen Ablagerungen sedimentäre Zyklen auftreten, die in den einzelnen Aufschlüssen allerdings nur selten in ihrer idealen, vollständigen Ausprägung erhalten sind. Zudem können sich verschiedenartige Zyklen überlagern. Demzufolge wurde der Ist-Zustand eines Aufschlusses stets als zufallsverteilte Anordnung der sedimentären Merkmale (Schichtung, Korngröße) gesehen.

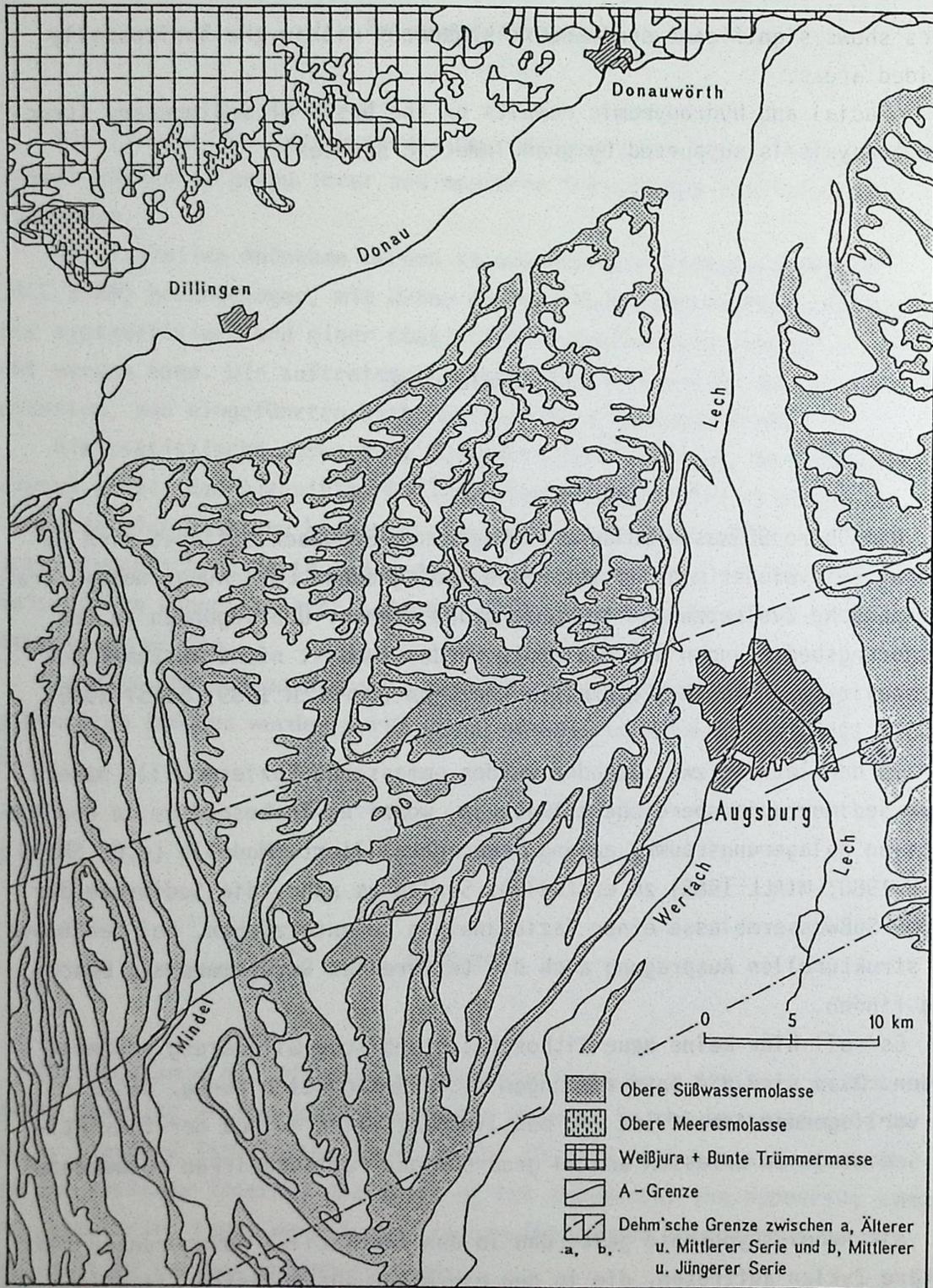


Abb 1. Geologische Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets in Bayerisch-Schwaben. Zusammengestellt nach geologischen Karten des Bayer. Geol. L.-Amts (1955, 1981).

## 2. Überblick über die Sedimente der OSM in Bayerisch-Schwaben

Die fluviatilen Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben sind petrographisch als Sande, Kiese und untergeordnet als Pelite ausgebildet. Diese lithologische Ausprägung liegt sowohl den älteren (z.B. FUCHS 1953), als auch neueren lithostratigraphischen Gliederungen zugrunde. So unterteilt DOPPLER (1989) das Schichtpaket in vier Abschnitte (Abb. 2). Danach besteht die liegende Limnische Untere Serie im wesentlichen aus feinsandig-siltigen Sedimenten. Die darüber folgende Fluviatile Untere Serie zeigt eine Kornvergrößerung hin zu Fein- bis Mittelsanden, die in der kiesigen Geröllsandserie kulminiert. Die Obere Serie bauen wiederum Fein- bis Mittelsande auf.

Nach der Lithozonengliederung im Sinne von UNGER (1983, 1989) sind die feinerklastischen Sedimente im Liegenden der Geröllsandserie Bayerisch-Schwabens zur Lithozone L2 zu stellen. Äquivalent zu diesen Sedimenten ist in Ostniederbayern der Nördliche Vollschorer anzusetzen. Die Geröllsandserie Bayerisch-Schwabens wird nach UNGER (1989) zur Lithozone L3 gestellt, die ihre Wurzeln im Südlichen Vollschorer hat. Darüber folgt schließlich die wiederum sandig-siltige Hangendserie mit der Misch- und Moldanubischen Serie in Ostniederbayern (Lithozonen L4/L5).

Die Betrachtung der petrographischen Ausbildung der in etwa äquivalenten Sedimente im östlichen Niederbayern erscheint wichtig, da der dort durch NEUMAIER et al. (1957) erarbeiteten Gliederung in Bayerisch-Schwaben aufgrund von faziesrekurrenten Bildungen und diachronen Erscheinungen keine ähnlich akzentuierte Gliederung gegenübersteht.

Wie LEMCKE et al. (1953) zeigen, sind die Sedimente im betrachteten Raum mit den ostniederbayerischen Schüttungen in der trogachsenparallelen Verlängerung zu verknüpfen, wobei sich zudem im Gebiet südwestlich von Krumbach eine radiale Schüttung aus den Alpen bemerkbar macht. Dieselben Autoren weisen auf eine lithologische Grenze mit Zeitmarkencharakter hin, der A-Grenze, welche in Bayerisch-Schwaben etwa in die Mitte der Geröllsandserie (sensu DOPPLER 1989) zu stellen ist (Abb. 2). Eine weitere lithologisch definierte Zeitmarke bilden die Brockhorizonte (z.B. AKTAS 1990), die als Auswurfmassen des Ries-Impakts zeitlich mit diesem zu korrelieren sind, und die Bentonitlagen, die, von deutlichen Umlage-

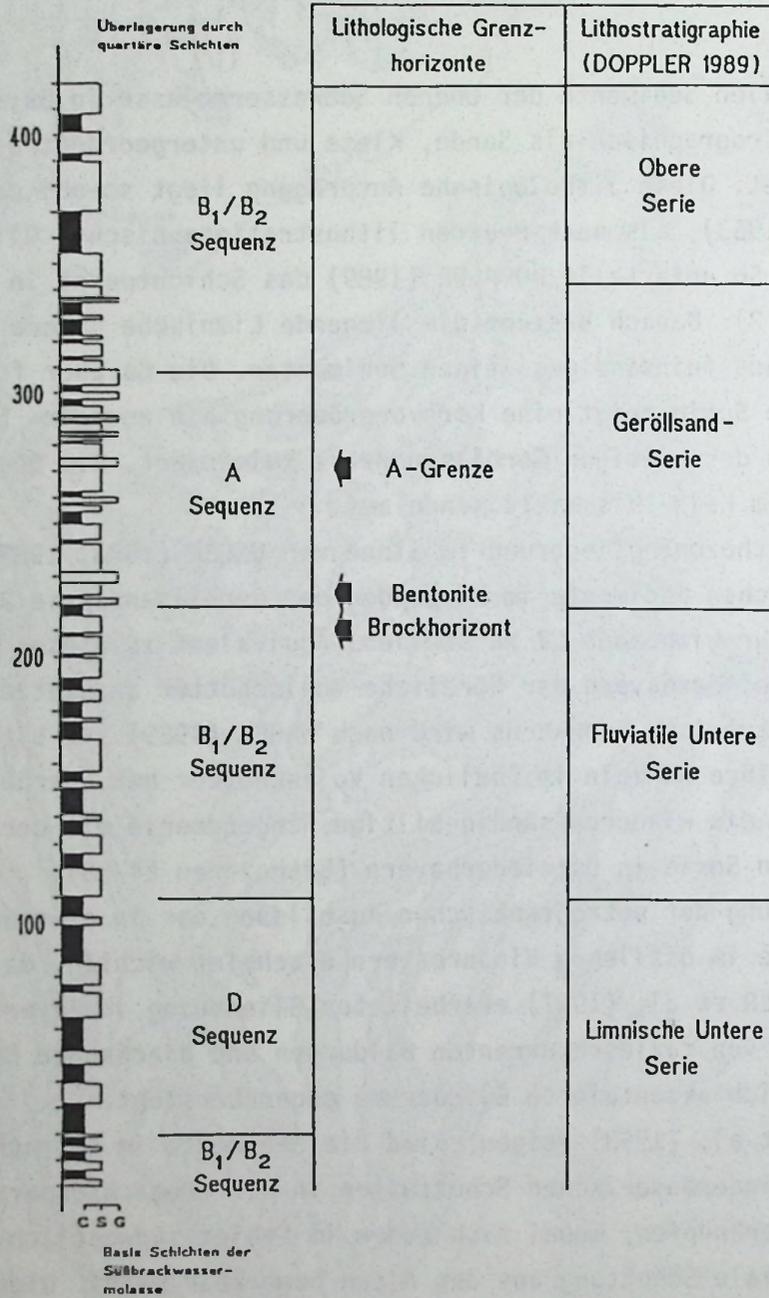


Abb. 2. Schematische Abfolge der OSM in Bayerisch-Schwaben (nach Bohrung CF 1001 Marktwald, aus LEMCKE et al. 1953) und deren Beziehung zu den Lithofaziesgruppen.

rungsprozessen betroffen, ebenfalls um 14,6 Mill. Jahren vor heute horizontierbar sind (UNGER 1981, 1989).

Die biostratigraphische Unterteilung der Oberen Süßwassermolasse erfolgt aufgrund von Großsäugerfaunen nach DEHM (1955) in eine "Ältere, Mittlere und Jüngere Serie" (Abb. 1). Weitere Untergliederungen nach Kleinsäugerfaunen (FAHLBUSCH 1964; HEISSIG 1986, 1989) und Florenvergesellschaftungen (JUNG 1968; GREGOR 1982), sowie deren lithostratigraphische Zuordnung werden ausführlich bei UNGER (1989) diskutiert.

Der stratigraphische Umfang der Sedimente der Oberen Süßwassermolasse reicht vom Karpatien bis ins Pannonien/Pontien (DOPPLER 1989; GREGOR et al. 1989; UNGER 1989). Die Ablagerungen werden in der Iller-Lech-Platte und im Bereich der Aindlinger Terrassentreppe von fluvioglazialen Schottern und Kiesen des Ältest- und Altpleistozäns überlagert (SCHÄFER 1957; LÖSCHER et al. 1978; TILLMANN et al. 1983). Gegen Süden setzen sich die tertiären Sedimente unter der pleistozänen Moränenlandschaft fort (z.B. JERZ et al. 1975). Im Norden grenzt die Obere Süßwassermolasse unter Bedeckung durch das holozäne Donaured an die Fränkische Alb. Die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse zwischen Alpennordrand und Schwäbisch-Fränkischer Alb liegen flach schüsselförmig im Molassebecken und werden nicht mehr in den alpinen Deckenbau mit einbezogen. Im Bereich von Bayerisch-Schwaben kann ein schwaches Einfallen nach Süden mit etwa 0,5% festgestellt werden (SCHÄFER 1957). Diesem Bauplan zufolge streichen im Untersuchungsgebiet nach Süden zu immer jüngere Einheiten der Oberen Süßwassermolasse aus. Die Mächtigkeit der Oberen Süßwassermolasse liegt heute um 600 m (UNGER 1989).

### 3. Methodik der Untersuchungen

Fluviatile Sedimente sind gekennzeichnet durch stark variable Transport-, Sortierungs- und Verteilungsprozesse, die zudem von einem veränderlichen Massen- und Energiedurchsatz in Zeit und Raum gesteuert werden.

Diese systeminternen Abläufe stehen in Verbindung mit äußeren Parametern wie Gefälle, Klima, Vegetation, Subsidenz des Vorlandes etc. Die systeminternen Faktoren erzeugen autozyklische Sequenzen in den Ablagerungen (BEERBOWER 1964), während durch die äußeren Parameter übergeordnete allozyklische Sequenzen entstehen.

Im betrachteten Gebiet wurden 65 Aufschlüsse mit insgesamt 490 Profilmetern aufgenommen. Ausgehend von diesem Datenmaterial wurde untersucht, ob sich die einzelnen Aufschlüsse aufgrund ihres textuellen und strukturellen Inhalts zu Faziesgruppen zusammenfassen und diese durch sinnvolle räumliche Verteilungsmuster definieren lassen. Auch war es von Interesse, welche Sedimentationsabläufe den einzelnen Faziesgruppen zugrundeliegen. Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden zum einen sedimentologische Arbeitsweisen, zum anderen mathematisch-statistische Methoden angewandt.

### 3.1 Sedimentologische Geländearbeit

Texturelle Merkmale und Schichtungsstrukturen fluviatiler Sedimente sind sehr stark davon abhängig, in welchen Teilbereichen eines Flußsystems die Ablagerung erfolgte (z.B. Stromrinne, Sandbank, Überschwemmungsebene). In modernen Ansätzen zur Faziesanalyse fluviatiler Systeme (MIALL 1977, 1985; RUST 1972) werden diese Sedimentationsbereiche durch Standardfaziestypen beschrieben, die durch Korngröße, interne Sedimentstrukturen und ihre äußere Geometrie definiert sind. Diese "Elementarbausteine" der fluviatilen Architektur und ihre Gruppierungen sind charakteristisch für bestimmte fluviatile Teilbereiche. Eine ausführliche Darstellung von 20 möglichen Standardfaziestypen findet sich bei MIALL (1985), wobei den einzelnen Typen ein System von Codebuchstaben zugeordnet wird. Bei der Bearbeitung der fluviatilen Sedimente im Untersuchungsgebiet hat sich gezeigt, daß 10 dieser Standardfaziestypen gehäuft auftreten (Tab. 1)

### 3.2 Clusteranalyse

Die Rohdaten der Aufschlüsse liegen in Form von Kompositionsdaten vor, da sich ein Aufschluß aus den Relativanteilen der einzelnen Stan-

Tab. 1. Fluviale Faziestypen der OSM in Bayerisch-Schwaben und die Interpretation des sedimentären Environments.

Standardfaziestypen	Textur und Gefüge	Faziesinterpretation
Gm	Grob- bis Feinkies, massig, grobe bis undeutliche Horizontalschichtung, eingelagerte Sandlinsen mit Schrägschichtungsstrukturen, a-Achsenimbrikation.	Longitudinale Bänke, Rinnenpflaster, basale Rinnenfüllung.
Gt	Grob- bis Feinkies, auch Pelitklasten, deutliche trogförmige Schichtung, breite muldenförmige Rinnen, Basisfläche meist erosiv.	Kleinere Rinnenfüllungen (Neben-, Seitenarme, Kiesbänke).
Gp	Grob- bis Feinkies, deutlich geschichtet, planare Schrägschichtung, teilweise Reaktivationsflächen.	Transversale oder linguoidale Kiesbänke, deltaartige Vorschüttungen über bestehende Bänke.
St	Grob- bis Mittelsand, auch feinkiesig, trogförmige Schrägschichtung mit Theta- oder Pi Sets (nach J.R.L. ALLEN 1963), konkave Basisfläche erosiv.	Sanddünen in größeren Rinnen oder auf Sandbänken.
Sp	Grob- bis Feinsand, auch feinkiesig, planare Schrägschichtung mit Alpha- oder Omikron Sets (nach J.R.L. ALLEN 1963), Einfallen der Leebblätter zwischen 15°- 35°, Reaktivationsflächen.	Transversale Sanddünen in größeren Rinnen oder auf Sandbänken.
Sr	Grob- bis Feinsand, alle Formen asymmetrischer Rippeltypen möglich, Rippelhöhe unter 5 cm.	Oberflächen von Sandbänken, Hochwasserbildungen in Rinnennähe.
Sh	Grob- bis Feinsand, auch feinkiesig, horizontal geschichtet, laminiert oder massig, auch Strömungslineation.	Sandbänke, Hochwasserabsätze in Rinnennähe.
Ss	Grob- bis Feinsand, auch kiesig, mit Pelitklasten, breite muldenförmige Erosionsformen, verschiedene Schichtungstypen	Kleinere Rinnen, Erosionsformen (z.B. Auskolkungen).
Fl	Feinsand-Silt-Ton Wechselfolge in welliger Lagerung, Rippelschichtung, Rippelhöhe unter 5 mm, Bioturbation, Durchwurzelung.	Überschwemmungsebene, Auebereich, auch Hochwasserabsätze.
Fm	Silt bis Ton, massig, Bioturbation, Durchwurzelung.	Alltarmfüllungen, Tümpel, Auebereich.

dardfaziestypen bezogen auf die Gesamtmächtigkeit, ausgedrückt in Prozentwerten einer konstanten Gesamtsumme, zusammensetzt. Es sind also m Standardfaziestypen und n Aufschlüsse in Matrixform angeordnet. Für eine statistische Bearbeitung bieten sich daher Verfahren der multivariaten Statistik an.

Die hier durchgeführte Q-Modus-Clusteranalyse hat die Aufgabe, die Aufschlüsse zu möglichst homogenen Gruppen zusammenzufassen und ihre gegenseitigen Beziehungen aufzuzeigen.

Zur Erstellung der Clusteranalyse wurde das Unterprogramm CLUSTER des SPSS/PC+ 2.0-Softwarepakets am Leibniz Rechenzentrum der Universität München benützt. Es werden hierbei hierarchische Methoden in Verbindung

mit agglomerativen Verfahren verwendet. Folgende Algorithmen führten für die zugrundeliegenden Daten zu geologisch plausiblen Ergebnissen (wobei andere Kombinationen durchgerechnet, wegen mangelnder Anpassung aber verworfen wurden): Als Skalierungsniveau der Distanzmaße diente der Cosinus der Variablen, und als Algorithmus zur Clusterbildung wurde das "Linkage"-Kriterium herangezogen (NORUSIS & SPSS INC. 1988).

### 3.3 Markovkettenanalyse

Der variable Internaufbau der Sedimente und die damit verbundene vertikale Abfolge der Standardfaziestypen ergeben eine weitere Qualität der Rohdaten. Die Übergänge der Standardfaziestypen innerhalb der Profile werden in die Form einer Matrix der beobachteten Übergangshäufigkeiten (transition count matrix) gebracht.

Da in fluviatilen Systemen von Gesetzmäßigkeiten in der Abfolge von Standardfaziestypen ausgegangen werden kann, die auf laterale oder vertikale Sedimentationsabläufe zurückgeführt werden können (MIALL 1977), kann hier eine Markovkettenanalyse angewandt werden, um eventuelle zyklische Bildungen aufzudecken.

Die "embedded Markov chain" (KRUMBEIN & DACEY 1969; LEFEVER 1990), bei der die Faziesübergänge unabhängig von ihrer vertikalen Erstreckung gezählt werden, beginnt mit den Rohdaten der Beobachtungsmatrix (transition count matrix). In einem weiteren Schritt werden die Übergangswahrscheinlichkeiten (transition probability matrix) und die zufallsverteilten Übergangswahrscheinlichkeiten (independent trials probability matrix) errechnet. Durch die Subtraktion letzterer Matrix von der Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten erhält man die Differenzenmatrix, in der positive Werte Faziesübergänge mit Wahrscheinlichkeiten über der reinen Zufallsverteilung bedeuten. Negative Werte und Werte um Null liegen unter bzw. bei der Zufallserwartung (MIALL 1973).

GINGERICH (1969) beschreibt einen Chi-Quadrat-Test, mit dem beim Vorhandensein einer Markov-Eigenschaft die Zufallsverteilung der Faziesübergänge ausgeschlossen werden kann.

### 3.4 Korngrößenanalyse

Die granulometrische Untersuchung der Sedimente erfolgte im Kies- und Sandbereich durch nasse Siebung. Es wurden Prüfsiebe nach DIN 4188 mit Maschenweiten in 1-Phi-Schritten verwendet. War der Feinanteil ( $< 4 \text{ Phi}$ ) einer Probe höher als 10%, so wurde im Anschluß an die Siebanalyse eine Sedimentationsanalyse nach CASAGRANDE durchgeführt. Zur Berechnung der granulometrischen Parameter wie arithmetisches Mittel ( $\bar{x}$ ), Standardabweichung ( $\sigma$ ) sowie der CM-Verteilung nach PASSEGA (1957, 1964) wurde das EDV-Programm SEDPAK (MALECKI 1986) verwendet. Die Berechnung der Parameter erfolgt dabei nach der Methode der "Momente" (vgl. MARSAL 1967). Die Sortierung der Sedimente wird nach FRIEDMAN (1962) aus den Werten der Standardabweichung bestimmt.

## 4. Die Lithofaziesgruppen als Gliederungsprinzip der Oberen Süßwassermolasse im Untersuchungsgebiet

Eines der wesentlichen Merkmale der Aufschlüsse im Untersuchungsgebiet sind die deutlich ausgeprägten, sedimentären Schichtungsstrukturen. Eine Systematisierung dieser vielfältigen Schichtungsstrukturen wird durch die Zuordnung der jeweiligen Schichtungsbilder zu den Standardfaziestypen erreicht. Dabei ist nicht nur die Schichtung, sondern auch die lithologische Ausprägung, d.h. die Korngröße von Bedeutung (vgl. Tab. 1). Die Zuordnung der Schichtung zu den Standardfaziestypen (Abb. 3, links) gibt einen guten Einblick in die lokalen Ablagerungsverhältnisse. Da oftmals mehrere Standardfaziestypen zu ihrer Bildung ähnliche hydrodynamische Verhältnisse voraussetzen und daher in ähnlichen Teilbereichen des fluviatilen Systems gebildet werden, können diese zu übergeordneten Gruppen, den Lithofaziesgruppen (Abb. 3, rechts) zusammengefasst werden. Die einzelnen Lithofaziesgruppen beschreiben zunächst eine Kombination (keine Abfolge) von Standardfaziestypen und ermöglichen eine weiterfüh-

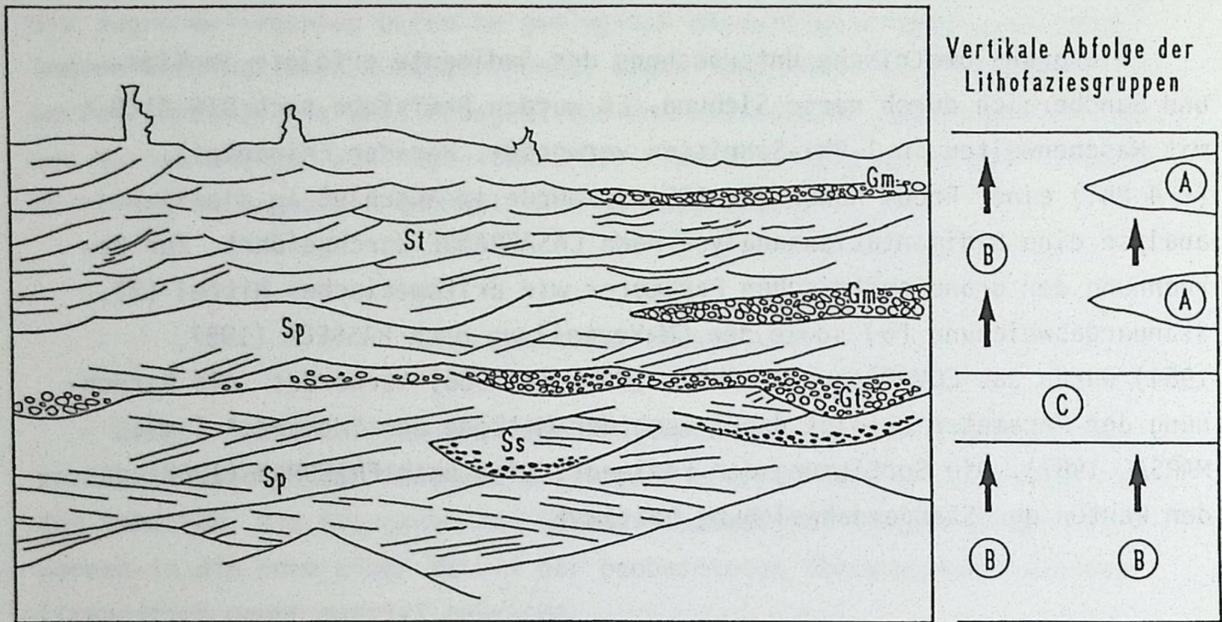


Abb. 3. Schematische Darstellung des Sandbruchs Tronetshofen mit der räumlichen Anordnung der Standardfaziestypen. Rechts: Interpretative vertikale Abfolge der Lithofaziesgruppen.

rende Interpretation hinsichtlich der Stellung einzelner Aufschlüsse innerhalb eines fluviatilen Systems (vgl. MIALL 1977). Im folgenden werden Lithofaziesgruppen beschrieben, die bei der Untersuchung unterschiedlicher, meist rezenter Flußsysteme bekannt geworden sind und für das Untersuchungsgebiet übernommen werden können (z.B. DOEGLAS 1962; WILLIAMS & RUST 1969; JACKSON 1975).

#### 4.1 Lithofaziesgruppe A (Gm) - Longitudinal bar formation

Die Lithofazies A charakterisiert longitudinale Bänke, die in Hauptfließrinnen bei plötzlich nachlassender Schleppspannung (z.B. durch Verbreiterung der Fließrinne etc.) entstehen, und die an beiden Seiten von aktiven Fließrinnen umströmt werden (RUST 1972). Diese Lithofazies wird durch das Vorherrschen von nur einem Standardfaziestyp repräsentiert. MIALL (1977) führt aus, daß die Lithofazies A in Kies-dominierten Fluß-

systemen vorherrscht. Feinerklastische Zwischenlagen sind auf Wechselagerung mit der Lithofazies D beschränkt, oder sie treten als seitliche, zumeist sandige Anlagerungen mit Schrägschichtungsgefüge an den Kanten der longitudinalen Bänke auf.

#### 4.2 Lithofaziesgruppe B1 (Sp, Sh) - Bedform generation and migration 1

Die Lithofazies B1 entsteht vorwiegend in transversalen Sandbänken bzw. in aquatischen Sanddünen der Rinnen (COLLINSON 1970). Transversale Sandbänke bilden sich nach HEIN & WALKER (1977) in denselben Fließrinnen, in denen auch die longitudinalen Bänke der Lithofazies A entstehen, nur unter verringertem Sedimentangebot und nachlassendem Wasserstrom (water discharge). COLLINSON (1970) beschreibt durchschnittliche Settdicken der planaren Schrägschichtung von 50-100 cm. Im Untersuchungsgebiet können für den Standardfaziestyp Sp entsprechende Mächtigkeiten festgestellt werden. In einzelnen Schrägschichtungssets können Reaktivierungsflächen auftreten (z.B. Aufschluß Stuhlenmühle). Die horizontal geschichteten Sande des Standardfaziestyps Sh treten in der Lithofazies B1 unter Fließbedingungen des upper flow regimes auf (HARMS & FAHNESTOCK 1965).

#### 4.3 Lithofaziesgruppe B2 (St, Sp, Sh) - Bedform generation and migration 2

Die Lithofazies B2 charakterisiert laterale Sandbänke an Gleithängen, die auch in verzweigten Flußsystemen eine bedeutende Rolle spielen (SMITH 1974). Sie ist in den untersuchten Sedimenten durch einen sehr variablen Internaufbau und einem Vorherrschen des Standardfaziestyps St gekennzeichnet. Nach JACKSON (1975) zeigen derartige Ablagerungsbereiche, die durch nicht-kohäsive Sedimente aufgebaut werden, einen komplexen Internaufbau, bei dem die typischen Sedimente der lateralen Bank (St) auf Grund ihrer geringen Erhaltungswahrscheinlichkeit von transversalen Bänken (B1) überformt werden. Daher ist die Lithofazies B2 nicht scharf abgegrenzt im fluviatilen System und kann gut mit dem Begriff der "compound bar" nach MIALL & TYLER (1990) beschrieben werden.

#### 4.4 Lithofaziesgruppe C (Gt, Ss) - Channel scour and fill

Lithofazies C entsteht in sekundären Fließbrinnen und bildet ausgeprägt erosive Basisflächen, wobei Erosion und sedimentäre Füllung zeitlich getrennte Prozesse darstellen. Ihre Entstehung kann auf Leewalzen zurückgeführt werden, die sich im strömungsabgewandten Bereich der Lithofazies B1 oder B2 aufbauen. In der sedimentären Abfolge tritt die Lithofazies C demzufolge zwischengeschaltet in anderen Lithofaziesgruppen auf. Die Lithofazies C wird auch innerhalb der Lithofazies A beobachtet, wobei hier durch die höheren Strömungsenergien erosive Rinnen mit deutlich weiterer horizontaler Erstreckung entstehen, die von einer reinen Lithofazies C zu einer Neuanlage von Seitenarmen des Flußsystems überleiten. Die im Untersuchungsgebiet auftretenden Weißjuragerölle (Reuter'sche Blöcke) innerhalb der Oberen Süßwassermolasse sind stets an die Lithofazies C gebunden.

#### 4.5 Lithofaziesgruppe D (Sh, Fm) - Low-water accretion processes

Die wesentlichen hydrodynamischen Bedingungen, welche die Ablagerungsverhältnisse der Lithofazies D kennzeichnen, sind niedrige Wasserstände in Verbindung mit geringen Fließgeschwindigkeiten. Der Standardfaziestyp Sh, der unter den hier gegebenen Verhältnissen dem lower flow regime angehört (vgl. HARMS & FAHNESTOCK 1965), bildet sich nach SMITH (1971) bei Wasserständen unter einem Zentimeter und Fließgeschwindigkeiten von weniger als 30 cm/sec. In isolierten Stillwasserbereichen mit stehendem Wasser, in denen sich feiner- und feinstklastische Partikel absetzen, entsteht der Standardfaziestyp Fm. Trotz der zum Teil sehr feinkörnigen Ausprägung von Lithofazies D sollte eine Parallelisierung mit Sedimenten der Überflutungsbereiche (flood basin deposits) vermieden werden.

## 5. Mathematisch-statistische Modelle horizontaler und vertikaler Verteilungsmuster der Lithofaziesgruppen

Mit der multivariaten (Q-Modus) Clusteranalyse wurde untersucht, welche Aufschlüsse sich nach ihrer sedimentologischen Zusammensetzung zu Gruppen zusammenfassen lassen. Dabei wird jeder Aufschluß durch die prozentualen Anteile der auftretenden Standardfaziestypen beschrieben. Hieraus ergibt sich die Definition der errechneten "Cluster": als möglichst geschlossene Aufschlußpopulationen im Hinblick auf das qualitative und quantitative Auftreten von Standardfaziestypen bzw. der übergeordneten Lithofaziesgruppen. Aus dieser Klassifikation lassen sich weitere Erkenntnisse bezüglich der lithologischen Ähnlichkeit und genetischen Verwandtschaft zwischen Sedimentabfolgen einzelner Aufschlüsse erarbeiten.

Bei der durchgeführten Clusteranalyse können vier Cluster differenziert werden (Abb. 4):

Das **Cluster 1** beinhaltet 29 Aufschlüsse mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 8 Metern. Das Cluster ist durch die Lithofaziesgruppe B2 mit dem Vorherrschen von trogförmiger Schrägschichtung (St) charakterisiert. Untergeordnet treten die Lithofaziesgruppen B1 sowie C auf. Aufgrund der bereits erläuterten, genetisch begründeten Variabilität der Sedimentationsprozesse in lateralen Sandbänken tritt die Lithofazies B2 im Cluster 1 in weiten Bereichen als "Zwischenfazies" auf. Daneben zeigt sie zwischen Dinkelscherben und etwa Horgau sowie um Mörgen eine durchaus eigenständige Verbreitung (Abb. 5). Am Aufschluß Mörgen wurde das Einfallen der großdimensionalen, planaren Schrägschichtungsblätter eingemessen. Die Daten zeigen ein Vektormean von  $185^\circ$  (südliche Richtung). Die hohe Standardabweichung der Messungen von  $\sigma=54,8$  zeigt, daß die Daten in einer Fließrinne 1. Ordnung (sensu WILLIAMS & RUST 1969) gemessen wurden.

Das **Cluster 2** umfasst 7 Aufschlüsse mit einer mittleren Mächtigkeit von 11 Metern, die hauptsächlich Kiese führen. Das häufige Auftreten der Lithofazies A ist für dieses Cluster kennzeichnend. Ebenso häufig tritt die Lithofazies B2 auf, die einzig hier den kiesigen Standardfaziestyp Gt aufweist (z.B. Aufschluß Miedering). Dessen Bildung ist nach EYNON & WALKER (1974) auf eine deltaförmige Vorschüttung über bestehende Bänke hin-

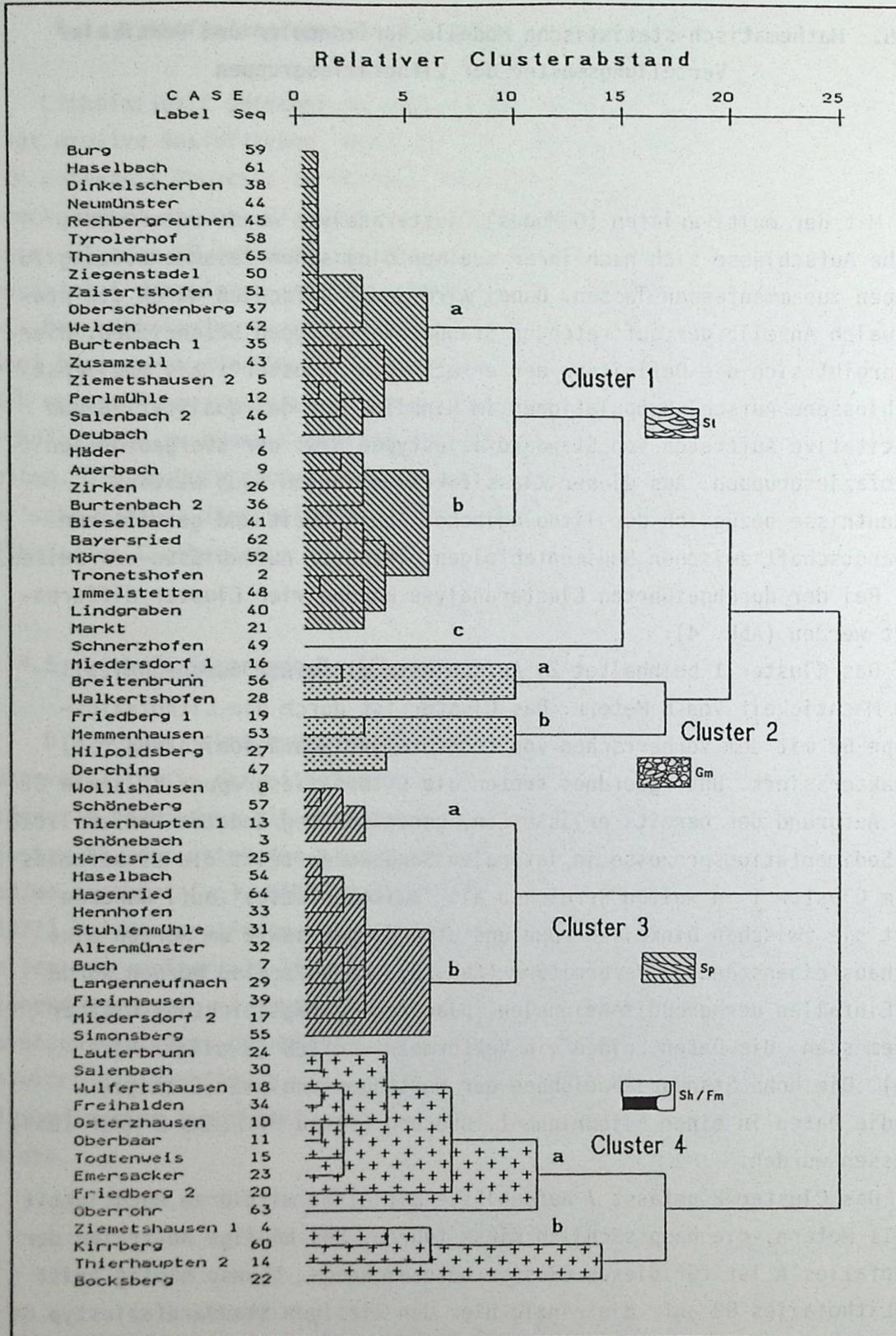


Abb. 4. Dendrogramm aller Aufschlüsse (N=65) nach dem "Linkage"-Kriterium.

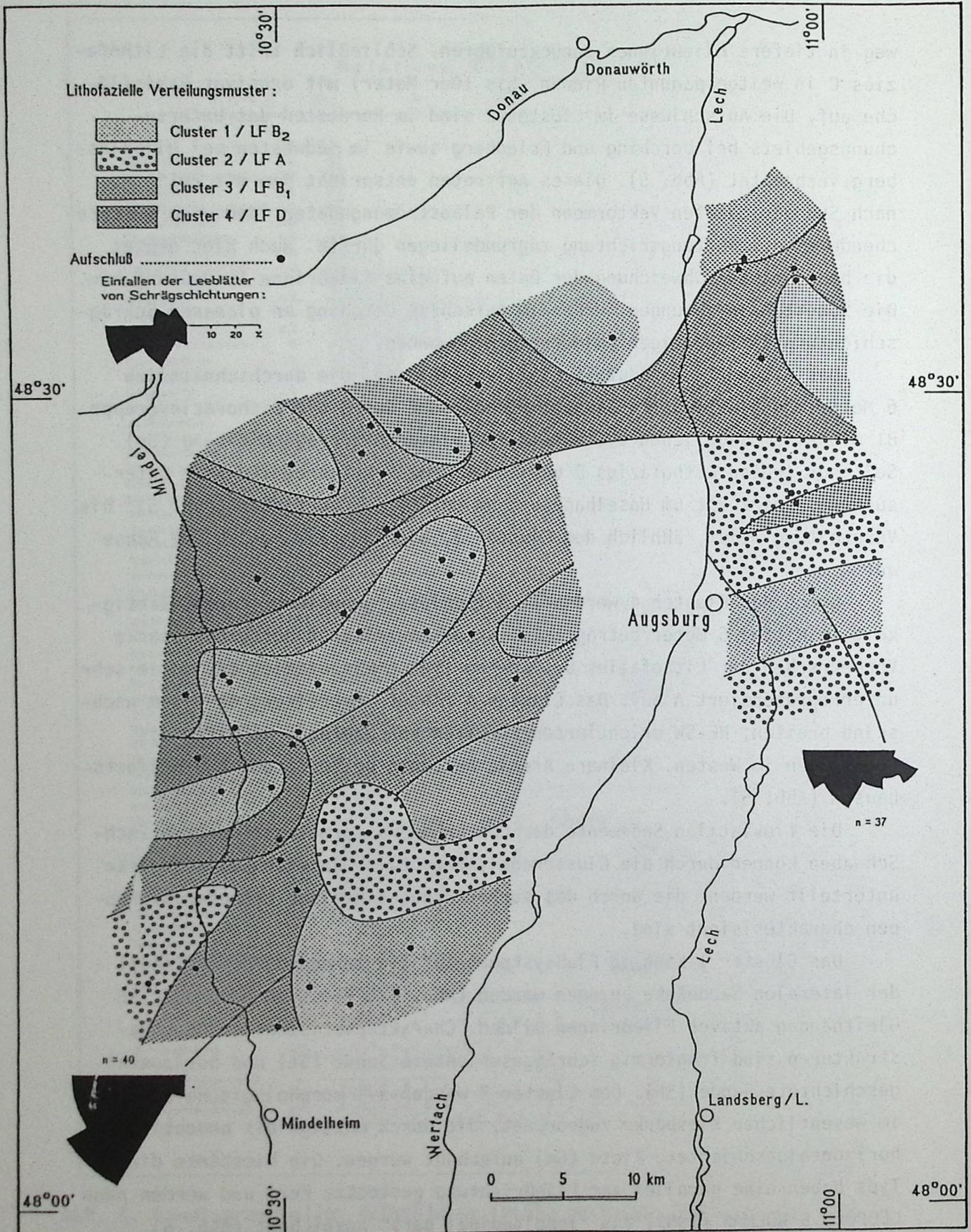
weg in tiefere Fließrinnen zurückzuführen. Schließlich tritt die Lithofazies C in weitgespannten Rinnen (bis 10er Meter) mit erosiver Basisfläche auf. Die Aufschlüsse im Cluster 2 sind im Nordosten des Untersuchungsgebiets bei Derching und Friedberg sowie im Südwesten bei Hilpoldsberg verbreitet (Abb. 5). Dieses Auftreten entspricht dem mit  $201^\circ$  nach SSW gerichteten Vektormean der Paläoströmungsdaten, dem eine entsprechende Hauptschüttungsrichtung zugrundeliegen dürfte. Auch hier deutet die hohe Standardabweichung der Daten auf eine Fließrinne 1. Ordnung hin. Die Schüttungsrichtungen wurden im Aufschluß Derching an planaren Schrägschichtungssets sandiger Ablagerungen gewonnen.

Das Cluster 3 umfasst 15 Einzelaufschlüsse, die durchschnittlich 6 Meter mächtig sind. Es wird gekennzeichnet durch die Lithofaziesgruppe B1 mit einem deutlichen Überwiegen der planaren Schrägschichtung (Sp). Seltener treten Lithofazies D und C auf. Die Hauptverbreitung im Untersuchungsgebiet ist um Haselbach und um Heretsried zu finden (Abb. 5). Die Verbreitung weist, ähnlich dem Cluster 2, eine NNE-SSW gerichtete Achse auf.

Durch das Cluster 4 werden 14 Aufschlüsse gruppiert, deren Mächtigkeit im Mittel 6 Meter beträgt. Es ist gekennzeichnet durch das Vorherrschen der Lithofazies D. Daneben treten Lithofazies B2, sowie sehr unterrepräsentiert A auf. Das Cluster 4 findet Verbreitung in einem wechselnd breiten, NE-SW orientierten Streifen von Oberbaar im Osten bis Freihalden im Westen. Kleinere Areale bestehen bei Oberrohr und Wulfertshausen (Abb. 5).

Die fluviatilen Sedimente der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben können durch die Clusteranalyse deutlich in vier Faziesbezirke unterteilt werden, die durch das Vorherrschen einzelner Lithofaziesgruppen charakterisiert sind.

Das Cluster 1 kann in Flußsystemen auf die morphologische Einheit der lateralen Sandbänke bezogen werden (Abb. 6), die sich bevorzugt an Gleithängen aktiver Fließrinnen bilden. Charakteristische Schichtungsstrukturen sind trogförmig schrägschichtete Sande (St) und horizontal geschichtete Sande (Sh). Dem Cluster 2 werden als morphologische Einheit im wesentlichen Kiesbänke zugeordnet, die durch massige bis undeutlich horizontalgeschichtete Kiese (Gm) aufgebaut werden. Die Kiesbänke dieses Typs haben eine parallel zur Fließrichtung gesteckte Form und werden nach LEOPOLD & WOLMAN (1957) als "longitudinal bars" bezeichnet (Abb. 6).



Das Cluster 3 repräsentiert sandige Rinnenablagerungen, die zur Fließrichtung eine transversale Erstreckung haben (Abb. 6). Diese Form der Flußbänke baut sich vorwiegend aus planar schräggeschichteten Sanden (Sp) auf. Dem Cluster 4 sind sandige sowie siltig-tonige Sedimente zugeordnet, die einmal als sedimentäre Altarmfüllungen (Fm, Sh) entstehen oder aber als einzelne dünne, sandige Sedimentlagen (Sh) gebildet werden, wenn bestehende Flußbänke von langsam fließendem Wasser überströmt werden.

Einzig die Lithofaziesgruppe C und deren Standardfaziestypen (Gt, Ss) treten nicht als eigenständiger Cluster auf.

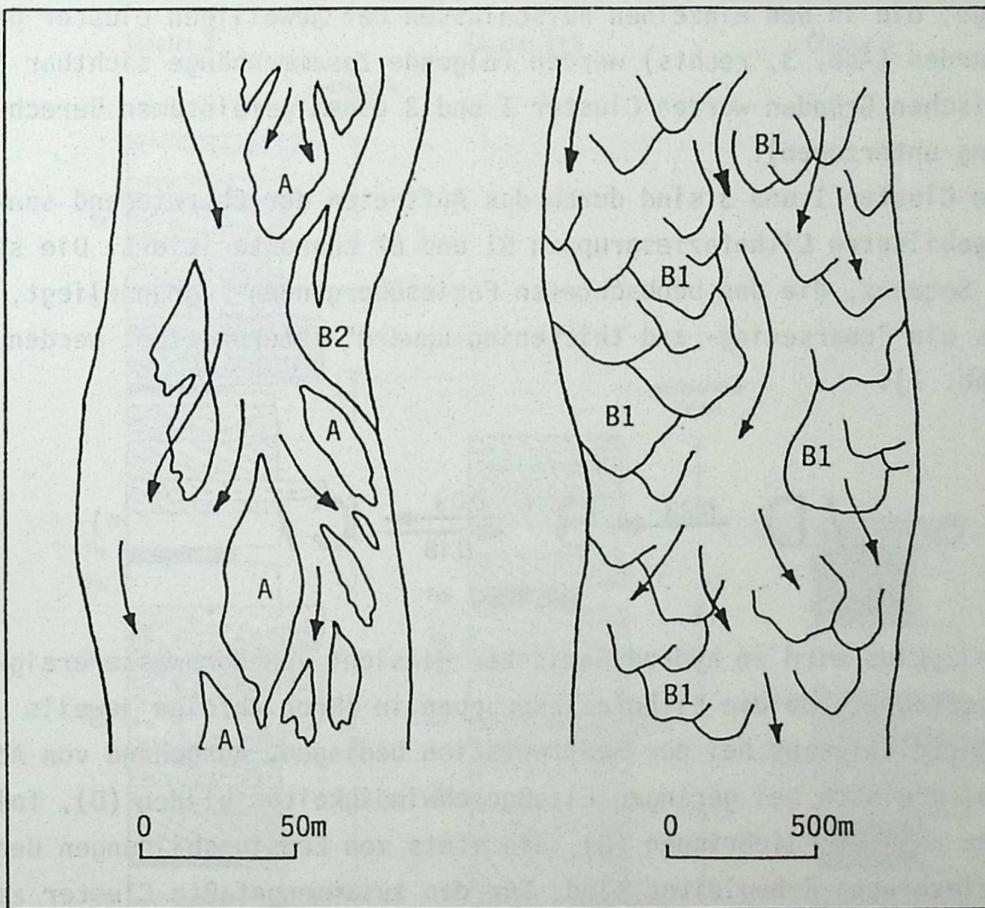


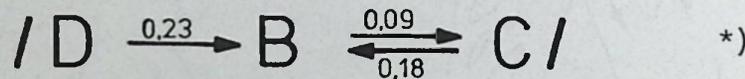
Abb. 6. Morphologie von Flußbanktypen. A: Longitudinale (Kies-)Bänke; B1: Transversale (Sand-)Bänke; B2: Laterale (Sand-)Bänke. Umgezeichnet nach MIALL (1977).

vorherige Seite - Abb. 5. Verbreitung der Lithofaziesgruppen im Untersuchungsgebiet. Die vorherrschenden Lithofaziesgruppen (LF) sind B2: trogförmige Schrägichtung (laterale Sandbank bzw. "compound bar"); A: massige bis undeutlich horizontalgeschichtete Kiese (longitudinale Bänke); B1: planare Schrägichtung (transversale Sandbänke); D: massige bis laminierte Sande und Silt-Tone (überwiegend Stillwasserbereich).

War es durch die Clusteranalyse möglich, eine horizontale Eingrenzung der Lithofaziesgruppen zu Faziesbezirken (Abb. 5) vorzunehmen, soll im weiteren deren Internaufbau untersucht werden. Es werden für jeden Faziesbezirk, der in seiner räumlichen Ausdehnung durch ein Cluster beschrieben wird, idealisierte Modelle vertikaler Sequenzen erstellt. Obwohl in einigen wenigen Aufschlüssen rhythmische sedimentäre Abfolgen zu erkennen sind, läßt sich eine vollständige Vertikalsequenz nur durch statistische Methoden ermitteln.

Durch die Anwendung der Markovkettenanalyse auf die Lithofaziesübergänge, die in den einzelnen Aufschlüssen der jeweiligen Cluster gezählt wurden (Abb. 3, rechts) werden folgende Zusammenhänge sichtbar (aus statistischen Gründen werden Cluster 1 und 3 einem gemeinsamen Berechnungsgang unterzogen):

Die Cluster 1 und 3 sind durch das Auftreten der überwiegend sandig ausgebildeten Lithofaziesgruppen B1 und B2 charakterisiert. Die sedimentäre Sequenz, die den beobachteten Faziesübergängen zugrundeliegt, kann als ein "coarsening- and thickening-upward" interpretiert werden (vgl. Abb. 7):



Der Zyklus wird in hydrodynamischer Hinsicht von Hochwasserereignissen gesteuert, da die Lithofaziesgruppen in ihrer Abfolge jeweils höhere Energieniveaus bei der Sedimentation bedingen. Ausgehend von Ablagerungen, die sich bei geringen Fließgeschwindigkeiten bilden (D), folgen Sedimente aktiver Fließbrinnen (B), die stets von Erosionsbildungen der Lithofaziesgruppe C begleitet sind. Für das zusammengefaßte Cluster zeigt der Chi-Quadrat-Test eine Vertrauensgrenze von 99,5% für die statistische Signifikanz der Berechnung.

Im Cluster 2 ist eine bemerkenswert hohe Variabilität der Standardfaziestypen und somit der Lithofaziesgruppen zu verzeichnen. Der Anteil

---

\*) Großbuchstaben entsprechen den bereits definierten Lithofaziesgruppen. Die Zahlenwerte über den Pfeilen geben die Übergangswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Markovkette an.

der Lithofaziesgruppe D war allerdings mit fünf gezählten Übergängen zu gering, um in die Berechnung mit einbezogen zu werden. Die anderen Lithofaziesgruppen zeigen folgende Beziehung (vgl. Abb. 7):

$$/ A \xrightarrow{0,31} C \xrightleftharpoons[0,20]{0,09} B / \quad *)$$

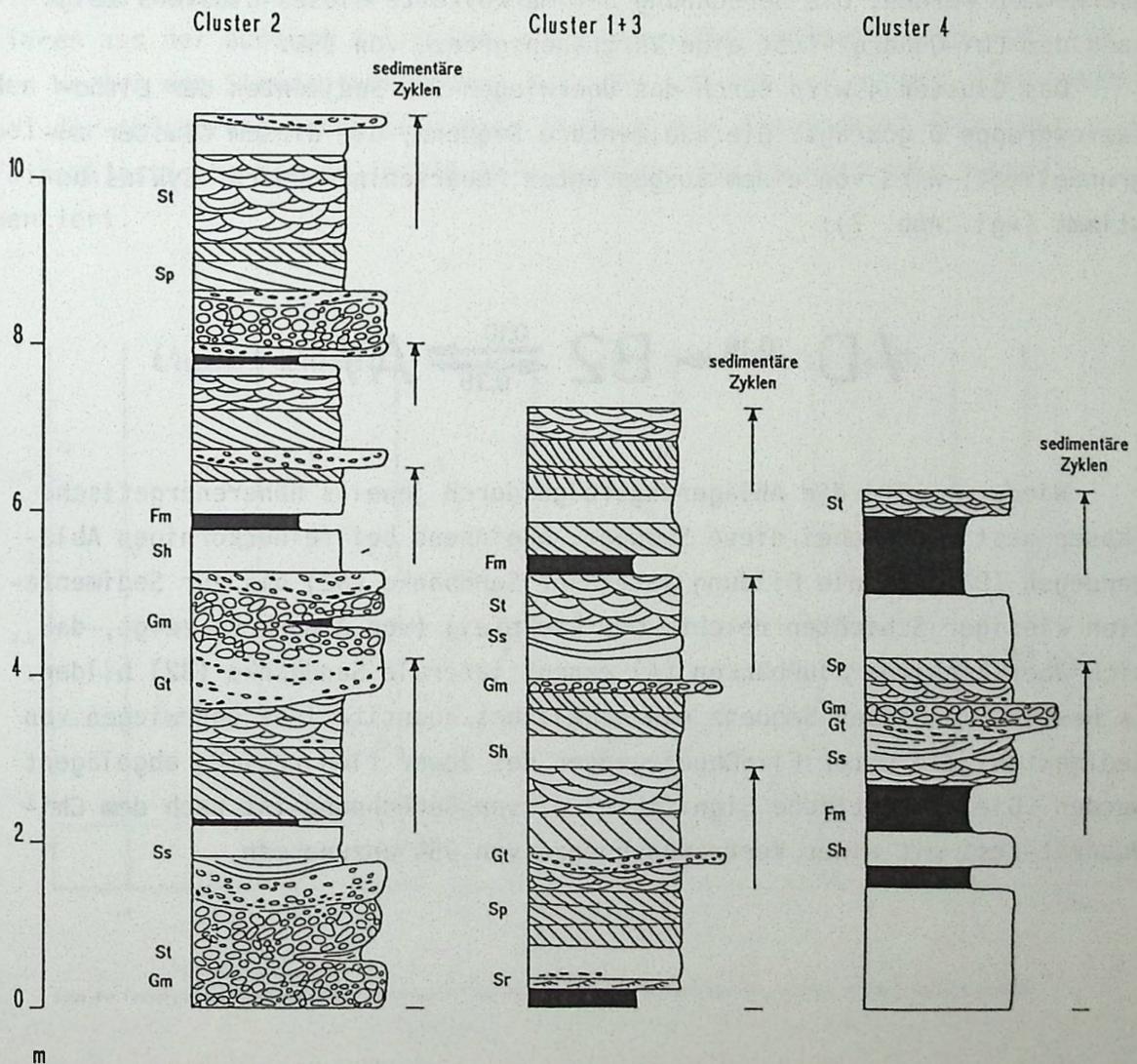
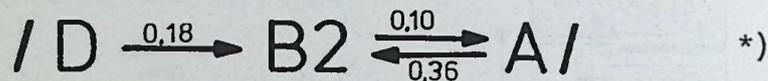


Abb. 7. Typ-Profile innerhalb der einzelnen Cluster. Die Relativanteile der Standardfaziestypen an der Gesamtmächtigkeit entsprechen den berechneten Mittelwerten.

Dieser Zyklus bildet lithologisch ein "fining-upward", wobei die Entstehung auf abnehmende Energieniveaus während der sedimentären Füllung der Rinnen bzw. Rinnensysteme zurückzuführen ist. Den kiesigen Ablagerungen (A), nach denen stets Erosionsformen (C) entstehen, folgen sandige Flußbänke (B), die wiederum Erosionsbildungen (C) nach sich ziehen (rückwärts gerichteter Pfeil von B nach A). Ruhigwassersedimente der Lithofaziesgruppe D, die derartige Sequenzen häufig abschließen (WILLIAMS & RUST 1969), können in den hier bearbeiteten Aufschlüssen beobachtet werden (z.B. Derching, Hilpoldsberg), aber nicht signifikant in das Modell übernommen werden. Die Berechnung der Markovkette dieses Clusters zeigt nach dem Chi-Quadrat-Test eine Vertrauensgrenze von 95%.

Das Cluster 4 wird durch das Überwiegen von Sedimenten der Lithofaziesgruppe D geprägt. Die sedimentäre Sequenz, die diesem Cluster zugrundeliegt, wird von einem ausgeprägten "coarsening-upward" Zyklus bestimmt (vgl. Abb. 7):

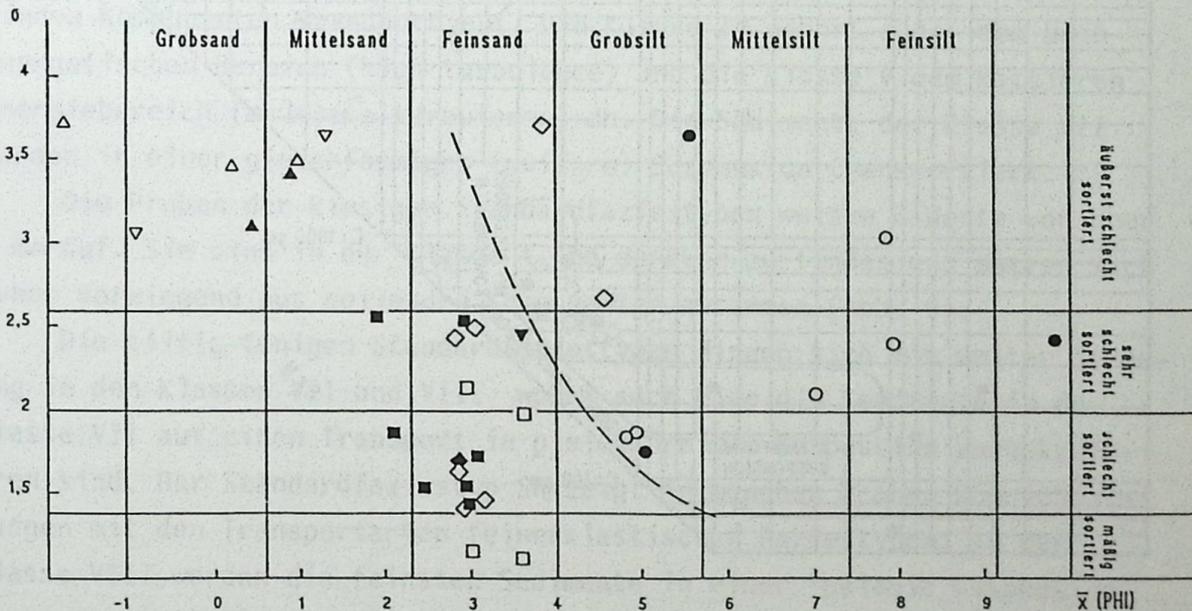


Wiederum wird die Ablagerungsfolge durch jeweils höherenergetische Phasen bestimmt, wobei diese Sequenz, beginnend bei feinerkörnigen Ablagerungen (D) über die Bildung lateraler Sandbänke (B2) bis zur Sedimentation kiesiger Schichten reicht. Der Rückpfeil (von A nach B) zeigt, daß sich über kiesigen Flußbänken (A) erneut laterale Sandbänke (B2) bilden. Es besteht in dieser Sequenz ein deutliches quantitatives Überwiegen von Sedimenten, die unter Fließbedingungen des lower flow regimes abgelagert wurden. Die statistische Signifikanz dieser Berechnung ist nach dem Chi-Quadrat-Test mit einer Vertrauensgrenze von 95% anzunehmen.

## 6. Ergebnisse der granulometrischen Untersuchungen

Von den Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 35 Proben aus allen auftretenden Standardfaziestypen entnommen und granulometrisch untersucht.

Bei den kiesigen Standardfaziestypen Gm und Gt handelt es sich nach den arithmetischen Mittelwerten von -1,5 bis 1,5 Phi vorwiegend um Grob- bis Mittelsande, aber auch um Feinkiese (Abb. 8). Diese Mittelwerte resultieren aus der äußerst schlechten Sortierung der Sedimente, die sich aus den Werten der Standardabweichung zwischen 3,0 und 3,7 ergibt. Hier wurden bei der Ablagerung neben teilweise grobkiesigen Komponenten fein- und feinstklastische Körner in die Zwischenräume des Korngerüstes einsedimentiert.



Lage der Probenpunkte: Standardfaziestyp Gm ( $\Delta$ ), Gt ( $\blacktriangle$ ), Gp ( $\nabla$ ), St ( $\square$ ), Sp ( $\blacksquare$ ), Sh ( $\diamond$ ), Ss ( $\nabla$ ), Sr ( $\blacklozenge$ ), Fm ( $\circ$ ), Fl ( $\bullet$ ).

Abb. 8. Die Parameterbeziehungen von arithmetischem Mittelwert (Mean) und der Standardabweichung. Die Sortierung der Sedimente wird nach FRIEDMAN (1962) aus den Werten der Standardabweichung bestimmt.

Die sandigen Standardfaziestypen St, Sp, Sr, (Sh) und Ss liegen zu-  
meist im Feinsandbereich mit arithmetischen Mittelwerten von 2,0 bis 3,8  
Phi. Die Sortierung ist schlecht bis mäßig (Standardabweichung von 1,0  
bis 2,6). Die Trennung der überwiegend sandigen von den siltig-tonigen  
Standardfaziestypen (gestrichelte Linie in Abb. 8) zeigt, daß die Sande  
des Schichtungstyps Sh in beiden Bereichen auftreten. Dies ist auf die  
mögliche Bildung von Sh in zwei Strömungsbedingungen (upper und lower  
flow regime) zurückzuführen.

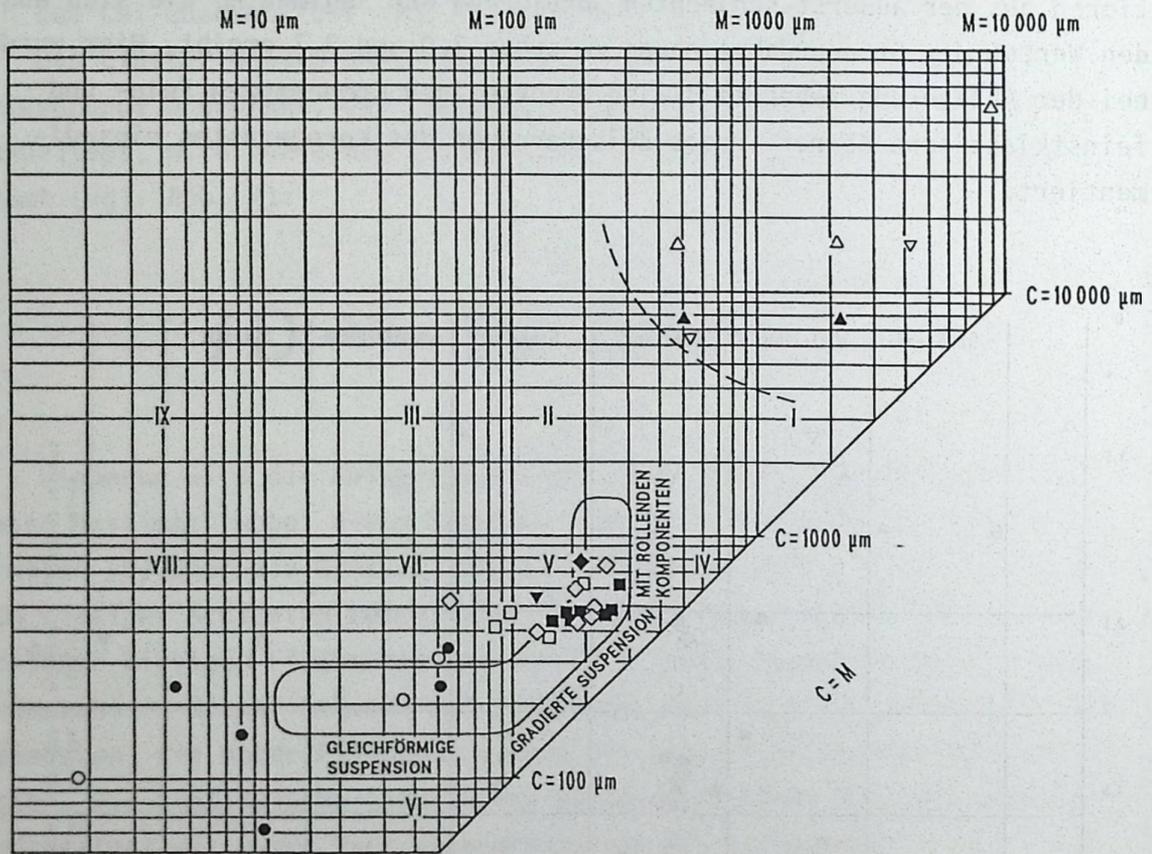


Abb. 9. Die Proben der fluviatilen Sedimente im CM-Diagramm (PASSEGA 1957, 1964). Zur Erläuterung der Symbole siehe Abb. 8.

Die siltig-tonigen Standardfaziestypen (Sh), Fm und Fl liegen nach  
ihren arithmetischen Mittelwerten mit einer sehr breiten Streuung zwi-  
schen 3,8 und 8,0 Phi im Bereich der Grobsilte bis zu den "echten" Tonen

(Abb. 8). Ebenso stark streut die Standardabweichung zwischen 1,7 und 3,7 (schlechte bis äußerst schlechte Sortierung).

Mit der Darstellung von Parametern der Kornverteilung im CM-Diagramm nach PASSEGA (1957, 1964) können die Transportarten der Sedimente näher bestimmt werden. Dabei wird der grobe 1%-Wert (C) der kumulativen Kornhäufigkeitsverteilung als Funktion des 50%-wertes (M) aufgetragen. Der Wert von C kann als minimale Größe der Schleppspannung des transportierenden Mediums angenommen werden, während M eine statistische Größe (Median) darstellt, die ein Maß für die Gesamtmenge des transportierten Materials ist. Das CM-Diagramm wird in Klassen (I bis IX) geteilt (PASSEGA & BYRAMJEE 1969), mit denen die Transportarten näher beschrieben werden können.

Die Lage der C-Werte (grober 1%-Wert) der sandigen Lithofaziestypen ist zwischen  $50 \mu\text{m}$  und  $130 \mu\text{m}$  zu finden (Abb. 9). Die M-Werte (50%-Wert) liegen im Bereich zwischen  $140 \mu\text{m}$  und  $180 \mu\text{m}$ . Sie befinden sich damit überwiegend in der Klasse IV und V, aber auch teilweise in der Klasse VII. Sedimente der Klassen IV und V sind nach PASSEGA & BYRAMJEE (1969) in gradierter Suspension mit teilweise vorhandenen, rollenden Komponenten transportiert. Die Klasse IV gehört dabei dem hochenergetischen Bereich (high turbulence) und die Klasse V dem mittleren Energiebereich (moderate turbulence) an. Die Sedimente der Klasse VII wurden in einer gleichförmigen (uniform) Suspension transportiert.

Die Proben der kiesigen Standardfaziestypen weisen C-Werte von über 6 mm auf. Sie sind in der Klasse I und darüber zu finden und setzen sich daher vorwiegend aus rollenden Komponenten zusammen (Abb. 9).

Die siltig-tonigen Standardfaziestypen finden sich mit weiter Streuung in den Klassen VII und VIII, wobei auch hier die Sedimente in der Klasse VII auf einen Transport in gleichförmiger Suspension zurückzuführen sind. Der Standardfaziestyp Sh zeigt in manchen Proben Überschneidungen mit den Transportarten feinerklastischer Faziestypen. In der Klasse VIII werden die feinsten Sedimente in einer "pelagic suspension" transportiert, die nach ROYSE (1968) in fluviatilen Ablagerungsräumen besser als "flood-basin"-Transport bezeichnet werden sollte.

Die Darstellung der Kornsummenkurven im Wahrscheinlichkeitsnetz bietet eine weitere Möglichkeit zur Faziesanalyse. Eine logarithmisch normalverteilte Summenkurve würde in diesem Netz eine einzige Gerade erzeugen. Sind in einer Häufigkeitsverteilung weitere lognormale Subpopulationen enthalten, werden diese ebenfalls als Geraden abgebildet. VISHER

(1969) bezog nun die Subpopulationen, die in Kornverteilungen von Sedimenten häufig auftreten, auf verschiedene Transportarten. Dabei bilden schwebender Transport (gleichförmige Suspension), springender Transport (gradierte Suspension) und rollender Transport (Bodenfracht) eigene Populationen mit logarithmischer Normalverteilung. Die Anzahl, der Anteil am gesamten Sediment, die Mischbereiche und die Steigung (Sortierung) dieser Populationen sind charakteristische, faziesspezifische Parameter (vgl. FAUPL & ROETZEL 1990).

Es wurden Kornsummenkurven kiesiger und sandiger Standardfazies-typen im Wahrscheinlichkeitsnetz erstellt (Abb. 10). Die Kurven von Proben mit kiesiger Lithologie (Abb. 10, a) repräsentieren den Typ Gt (Kurve 1) sowie Gm (Kurve 2). Die Kurven sind geprägt durch die hohen Anteile der Bodenfracht am Aufbau des Gesamtsediments. Dieser Anteil liegt zwischen 42% und 48% und ist gut bis mäßig sortiert. Der grobe Wendepunkt (T)

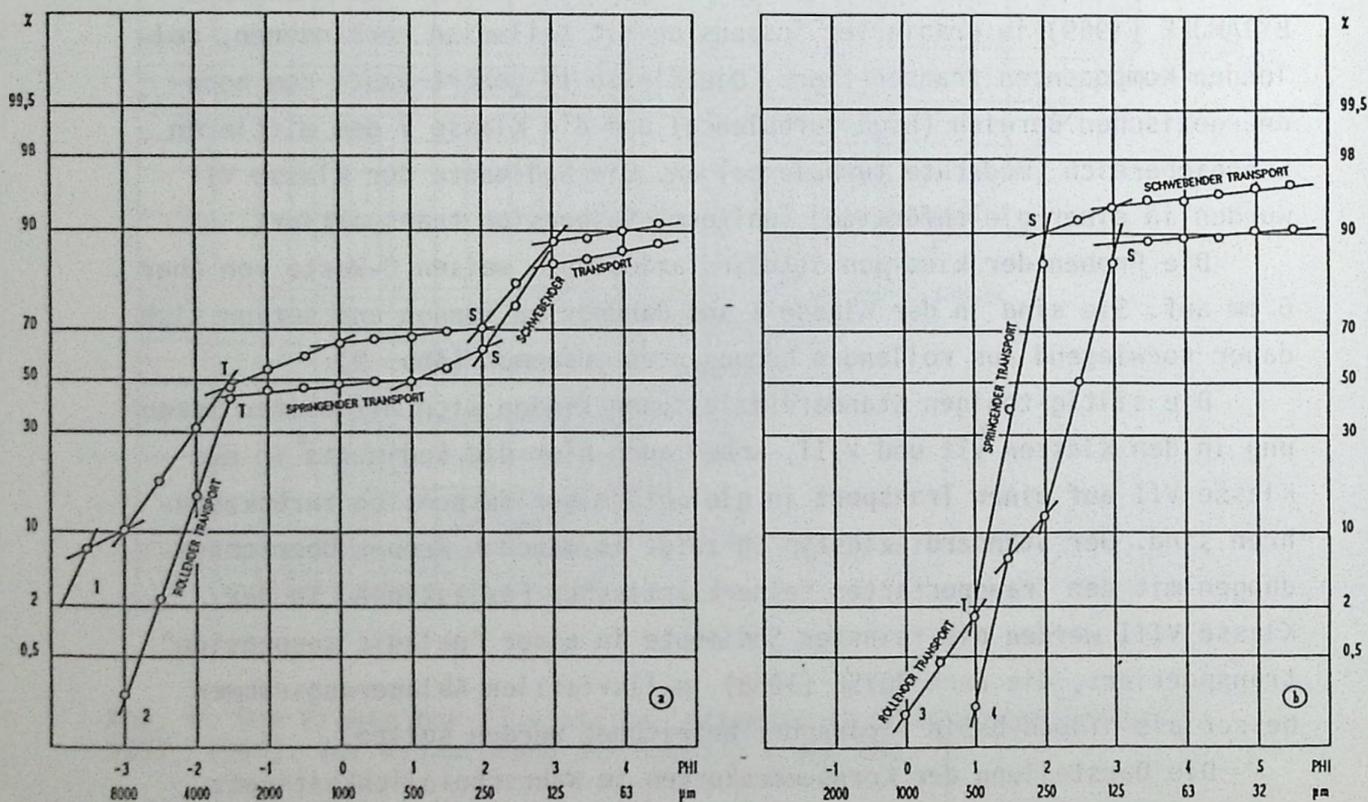


Abb. 10. Kornsummenkurven typischer Sedimentproben im Wahrscheinlichkeitsnetz. a: kiesige, b: sandige Standardfaziestypen.

liegt eng begrenzt bei  $-1,5$  Phi und trennt scharf, d.h. ohne Mischungsreich, die Bodenfracht von der springenden Population. Auch der feine Wendepunkt (S) zeigt, daß zwischen springender und schwebender Population kein Mischbereich existiert. Die springende Population ist mit 15% bis 22% am Aufbau des Gesamtsediments beteiligt. Die Anteile der etwas besser sortierten, schwebenden Population liegt zwischen 30% und 43%.

Die Form dieser Kurven zeigt deutlich die charakteristischen Merkmale von kiesigen Ablagerungen in verzweigten Flußsystemen (GLAISTER & NELSON 1974: Abb. 5B). Die starke Bimodalität der Sedimente, mit hohen Anteilen der rollenden und schwebenden Population bei gleichzeitigem Zurücktreten der springenden Population wird auf spezielle Ablagerungsmechanismen zurückgeführt: bei der Sedimentation der Bodenfracht werden die sich in Suspension befindlichen Partikel in den Kornzwischenräumen eingeschlossen. Körner der springenden Population scheinen hierfür überwiegend zu groß und werden weitertransportiert.

Die zweite Klasse von Proben (Abb. 10, b) entstammt den sandigen Ablagerungen und wurden in beiden Fällen (Kurve 3 und 4) planar schrägschichteten Sanden des Standardfaziestyps Sp entnommen. Diese Sande zeigen immer einen deutlich überwiegenden Anteil der springenden Population am Gesamtsediment. Dieser Anteil liegt bei 64% bis 90%. Ein weiteres, wesentliches Merkmal ist eine stets gute Sortierung dieser Population. Der Anteil der schwebenden Population beträgt 5% bis 8% und ist schlecht sortiert. Die Bodenfracht ist sehr variabel am Aufbau des Sediments beteiligt und weist Anteile von 0% bis 12% auf. Während bei Sedimenten, die Bodenfracht führen (Abb. 10, Kurve 3), der grobe Wendepunkt (T) die rollende von der springenden Population ohne Mischbereich trennt, zeigen die feinen Wendepunkte (S) neben einer breiten Streuung ihrer Lage (zwischen 2 Phi und 3 Phi) große Mischbereiche zwischen springender und schwebender Population.

Vergleichbare Kurven finden sich wiederum bei GLAISTER & NELSON (1974: Abb. 6A-D). Die Populationsverteilung dieser Kurven ist charakteristisch für Sandbänke in fluviatilen Ablagerungsbereichen. Wesentlich ist das Vorherrschen der gut sortierten springenden Population zusammen mit geringen Anteilen der schwebenden Population. Dieselben Autoren zeigen auch, daß die Form der Kurven von den möglichen Schichtungsstrukturen (und somit auch der Standardfaziestypen Sp, St, Sr) unbeeinflusst bleibt.

VISHER (1969: Abb. 16A-D) beschreibt ebenfalls vergleichbare Kurven

aus dem fluviatilen Ablagerungsbereich. Er weist auf den Zusammenhang zwischen einer Verschiebung der Kurven, ohne Formänderung, hin zu feineren Kornzusammensetzungen mit einer zunehmend höheren Position der Probe innerhalb der Sandbänke hin; dies ist ursächlich auf fallende Energieniveaus während der Ablagerung zurückzuführen. Diejenigen Kurven (z.B. Abb. 10, Kurve 3), die geringe Anteile der rollenden Population aufweisen, entstammen sehr basalen Bereichen einer Sandbank.

## 7. Schlußfolgerungen

In den fluviatilen Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse in Bayerisch-Schwaben können aufgrund von Schichtungsstrukturen und Korngröße verschiedene Faziesbereiche des fluviatilen Systems differenziert werden.

Die Lithofaziesgruppe A wird durch das vorwiegende Auftreten longitudinaler Kiesbänke charakterisiert. Die Kiesbänke bauen sich aus Grob- bis Feinkiesen, mit hohem Anteil an feinerkörnigem Zwischenmittel auf. Diese feinerkörnigen Partikel werden beim Transport in die Zwischenräume des kiesigen Korngerüsts eingeschlossen. Die Kiese sind massig, aber auch undeutlich horizontalgeschichtet. Bei niedrigen Wasserständen werden die longitudinalen Kiesbänke umströmt und es lagern sich seitlich Sande mit planarem Schrägschichtungsgefüge an.

Die Lithofaziesgruppe A wird in einer modellhaften Vertikalsequenz durch "fining-upward" Zyklen bestimmt.

Durch die vorwiegend kiesige Ausprägung dieser Lithofaziesgruppe ist ihre Verbreitung weitgehend mit der Geröllsandserie übereinstimmend.

Die Lithofaziesgruppe B1 repräsentiert im fluviatilen System den Typ der transversalen Sandbank. Die Fein- bis Mittelsande zeigen sowohl planar schrägschichtetes, als auch horizontal geschichtetes, bzw. massiges Sedimentgefüge. Die massigen Sande wurden nach den granulometrischen Untersuchungen in gradiertem Suspension aber auch rollend transportiert. In den Schrägschichtungssets mit Mächtigkeiten zwischen 50 und

100 cm treten Reaktivierungsflächen auf.

Die Lithofaziesgruppe B2 beschreibt laterale Sandbänke, die sich an Gleithängen aktiver Fließbrinnen bilden. Charakteristisch für diese Fazies sind trogförmig schräggeschichtete Feinsande, die überwiegend in gradierter Suspension transportiert wurden. Da in verzweigten Flußsystemen Ablagerungen an Gleithängen durch rasche Verlagerung der Fließbrinnen stets teilweise wieder erodiert werden, besitzen diese Bänke nur eine geringe Erhaltungswahrscheinlichkeit. Sie zeigen demzufolge eine starke Überprägung mit planar schräggeschichteten und horizontal geschichteten Sanden, die im wesentlichen die Lithofaziesgruppe B1 repräsentieren. Aus diesem Grund nimmt die Lithofaziesgruppe B2 in ihrer räumlichen Verbreitung eine Stellung zwischen anderen Lithofaziesgruppen ein.

Die beiden Lithofaziesgruppen B1 und B2 zeigen in einer modellhaften Vertikalsequenz einen "coarsening and thickening-upward" Zyklus.

Ihre Verbreitung entspricht weitgehend dem Verbreitungsgebiet der Fluviatilen Unteren Serie sowie der Oberen Serie (sensu DOPPLER 1989).

Die Lithofaziesgruppe C beschreibt erosive Sohlformen und deren sedimentäre Füllung. Ihre Bildung setzt stets hohe Energieniveaus voraus. Die Kiese und Sande die dieser Lithofaziesgruppe angehören, sind in muldenförmigen Erosionsformen abgelagert. Deren Auskolkung ist auf Leewalzen zurückzuführen, die sich im strömungsabgewandten Bereich von Kies- oder Sandbänken aufbauen. Aus diesem Grund tritt die Lithofaziesgruppe C nur vergesellschaftet mit anderen Lithofaziesgruppen auf und bildet keine eigenständige und weiträumig verbreitete Fazies. Dies gilt auch für das Auftreten in den Zyklusmodellen.

Die Lithofaziesgruppe D wird aus sandigen sowie siltig-tonigen Sedimenten aufgebaut. Das zugehörige morphologische Element in fluviatilen Systemen sind Altarmfüllungen, Tümpel und Auenbereiche. Dort kommen teilweise massige aber auch laminierte Silte und Tone zur Ablagerung. Sie sind stellenweise deutlich durchwurzelt. Ein weiterer Faziesraum den diese Lithofaziesgruppe umfasst, ist mehr von hydrodynamischen Bedingungen begrenzt. Dies sind niedrige Wasserstände und geringe Fließgeschwindigkeiten, die zur Ablagerung horizontal geschichteter bzw. massiger Sande bis Grobsilte führen.

Der sedimentäre Zyklus, der dieser Lithofaziesgruppe zugrundeliegt, sind "coarsening-upward" Sequenzen.

Ihre Verbreitung im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets macht eine Übereinstimmung mit der Limnischen Unteren Serie (vgl. DOPPLER 1989) wahrscheinlich.

#### Dank

Herrn Prof.Dr. W.-D. GRIMM danke ich für zahlreiche und wertvolle Hinweise sowie für sein stets reges Interesse am Thema.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. R. ROETZEL für die Einführung in die Methodik und Arbeitsweisen der modernen Sedimentologie, sowie für die Bereitstellung des EDV-Programms SEDPAK 4.

Für die Durchsicht des Manuskriptes gilt mein Dank den Herren Dres. H.J. UNGER und G. DOPPLER.

#### Literatur

AKTAS, A. (1990): Schotterpetrographie, Stratigraphie und Paläogeographie der Zusam-Platte (Bayerisch Schwaben). - Z.dt.geol.Ges., 141: 99-108, Hannover.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1954): Geologische Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1:300.000. - München (Bayer. Geol.L.-Amt).

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000. - 3. Aufl., 168 S., München (Bayer. Geol.L.-Amt).

BEERBOWER, J.R. (1964): Cyclothem and cyclic depositional mechanics

- in alluvial plain sedimentation. - Bull.geol.Surv. Kansas, 169/1: 31-42, Lawrence.
- COLLINSON, J.D. (1970): Bedforms of the Tana River. - Geogr. Ann., 52/A: 31-55, Stockholm.
- DEHM, R. (1955): Die Säugetierfaunen in der Oberen Süßwassermolasse und ihre Bedeutung für die Gliederung. - In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1:300.000: 81-88, München.
- DOEGLAS, D.J. (1962): Structure of sedimentary deposits of braided rivers. - Sedimentology, 1: 167-190, Amsterdam.
- DOPPLER, G. (1989): Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben.- Geologica Bavarica, 94: 83-133, München.
- EYNON, G. & WALKER, R.G. (1974): Facies relationships in Pleistocene outwash gravels, southern Ontario: a model for bar growth in braided rivers. - Sedimentology, 21: 43-70, Amsterdam.
- FAHLBUSCH, V. (1964): Die Cricetiden der Oberen Süßwasser-Molasse Bayerns. - Abh.Bayer.Akad.Wiss., Math.-Naturwiss.Kl., N.F., 118: 1-36, München.
- FAUPL, P. & ROETZEL, R. (1990): Die Phosphoritsande und Fossilreichen Grobsande: Gezeitenbeeinflusste Ablagerungen der Innviertler Gruppe (Ottnangien) in der oberösterreichischen Molassezone. - Jb.Geol. B.-A., 133/2: 157-180, Wien.
- FIEST, W. (1989): Lithostratigraphie und Schwermineralgehalt der Mittleren und Jüngeren Serie der Oberen Süßwassermolasse Bayerns im Übergangsbereich zwischen Ost- und Westmolasse. - Geologica Bavarica, 94: 257-279, München.
- FRIEDMAN, G.M. (1962): On sorting, sorting coefficients, and the log-normality of the grain size distribution of sandstones. - J.Geol., 70: 737-753, Chicago.
- FUCHS, B. (1953): Die obere Süßwassermolasse in Bayerisch Schwaben. - Neues Jb.Geol.u.Paläontol., Abh., 97: 283-293, Stuttgart.
- GINGERICH, P.D. (1969): Markov analysis of cyclic alluvial sediments. - J.Sediment.Petrol., 39: 330-332, Tulsa.
- GLAISTER, R.P. & NELSON, H.W. (1974): Grain size distributions, an aid in facies identification. - Bull.Canad.Petrol.Geol., 22/3: 203-240, Calgary.
- GREGOR, H.J. (1982): Die jungtertiären Floren Süddeutschlands. - 278 S.,

Stuttgart (Enke).

- GREGOR, H.J., HOTTENROTT, M., KNOBLOCH, E. & PLANDEROVA, E. (1989): Neue mega- und mikrofloristische Untersuchungen in der jungtertiären Molasse Bayerns. - *Geologica Bavarica*, 94: 281-369, München.
- HARMS, J.C. & FAHNESTOCK, R.K. (1965): Stratification, bed forms and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). In: MIDDLETON, G.V. (Hrsg.): Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. - *Soc.Econ.Paleontol.Mineral., Spec.Publ.*, 12: 84-115, Tulsa.
- HEIN, F.J. & WALKER, R.G. (1977): Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia. - *Can.J.Earth.Sci.*, 14: 562-570,
- HEISSIG, K. (1986): No effect of the Ries impact on the local mammal fauna. - *Modern Geol.*, 10: 171-179, London.
- HEISSIG, K (1989): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie der mittleren Serie der Oberen Süßwassermolasse Bayerns. - *Geologica Bavarica*, 94: 239-257, München.
- JACKSON, R.G. (1975): Hierarchical attributes and a unifying model of bed forms composed of cohesionless material and produced by shearing flow. - *Geol.Soc.Am.Bull.*, 86: 1523-1533, Boulder.
- JACKSON, R.G. (1976): Depositional model of point bars in the lower Wabash River. - *J.Sediment.Petrol.*, 46: 579-594, Tulsa.
- JERZ, H., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINIG, H. (1975): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte des Iller-Mindel Gebietes 1:100.000. - 37 S., München (Bayer.Geol.L.-Amt).
- JUNG, W. (1968): Pflanzenreste aus dem Jungtertiär Nieder- und Oberbayerns und deren lokalstratigraphische Bedeutung. - *Ber.naturwiss. Ver.Landshut*, 25: 43-61, Landshut.
- KRUMBEIN, W.C. & DACEY, M.F. (1969): Markov chains and embedded chains in geology. - *J.int.Ass.math.Geol.*, 1: 79-96, London.
- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W.v. & FÜCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. - *Beih.Geol.Jb.*, 11: 1-181, Hannover.
- LEFEVER, R.D. (1990): MARKOV: A basic program for numerical analysis of sequential data on the microcomputer. - *Computers & Geoscience*. - 16/2: 141-152, Oxford.

- LEOPOLD, L.B. & WOLMAN, M.G. (1957): River channel patterns, braided, meandering and straight. - U.S.Geol.Surv., Prof.Pap., 282-B: 39-85, Washington.
- LÖSCHER, M., MÜNZING, K. & TILLMANN, W. (1978): Zur Paläogeographie der nördlichen Iller-Lech-Platte und zur Genese ihrer Schotter im Altpleistozän. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 28: 68-82, Öhringen.
- MALECKI, G. (1986): SEDPAK - Charakterisierung von Sedimenten aufgrund der Korngrößenanalyse. - Ber.Geol.B.-A., 1, Blg.12, Wien.
- MARSAL, D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. - XII+192 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- MIALL, A.D. (1973): Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. - Sedimentology, 20: 347-364, Amsterdam.
- MIALL, A.D. (1977): A review of the braided-river depositional environment. - Earth Science Rev., 13/1977: 1-62, Amsterdam.
- MIALL, A.D. (1985): Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. - Earth Science Rev., 22/1985: 261-308, Amsterdam.
- MIALL, A.D. & TYLER, N. (1990): The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic-sediments. - Soc.Econ.Paleontol.Mineral., 1990/1: 1-102, Tulsa.
- NEUMAIER, F., BLISSENBACH, E., WITTMANN, D., GRIMM, W.D., STIEFEL, J., BATSCHE, H. & MAYR, M. (1957): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der ungefalteten Molasse Niederbayerns. - Beih.Geol.Jb., 26: 1-384, Hannover.
- NORUSIS, M.J. & SPSS INC. (1988): SPSS/PC+ advanced statistics. - A1-F6, Chicago.
- PASSEGA, R. (1957): Texture as characteristic of clastic deposits. - Bull.Am.Ass.Petrol.Geol., 41/9: 1952-1984, Tulsa.
- PASSEGA, R. (1964): Grain size representation as a geological tool. - J.Sediment.Petrol., 34/4: 830-847, Tulsa.
- PASSEGA, R. & BYRAMJEE, R. (1969): Grain-size image of clastic deposits. - Sedimentology, 13: 233-252, Amsterdam.
- ROYSE, C.F. (1968): Recognition of fluvial environments by particle size characteristics. - J.Sediment.Petrol., 38/4: 1171-1178, Tulsa.
- RUST, B.R. (1972): Structure and process in braided rivers. - Sedimentology, 18: 221-245, Amsterdam.
- SCHÄFER, I. (1957): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Augsburg

- und Umgebung 1:50.000. - 92 S., München (Bayer.Geol.L.-Amt).
- SMITH, N.D. (1971): Pseudo-planar stratification produced by very low amplitude sand waves. - *J.Sediment.Petrol.*, 41: 69-73, Tulsa.
- SMITH, N.D. (1974): Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. - *J.Geol.*, 82: 205-224, Chicago.
- SMITH, D.G. & SMITH, N.D. (1980): Sedimentation in anastomosed river systems: examples from alluvial valleys near Banff, Alberta. - *J. Sediment.Petrol.*, 50: 157-164, Tulsa.
- TILLMANN, W., BRUNNACKER, K. & LÖSCHER, M. (1983): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Aindlinger Terrassentreppe zwischen Lech und Donau 1:50.000. - *Geologica Bavarica*, 85: 1-35, München.
- UNGER, H.J. (1981): Bemerkungen zur stratigraphischen Stellung, der Lagerung und Genese der Bentonitlagerstätten in Niederbayern. - *Verh.Geol.B.-A.*, 1981/2: 193-203, Wien.
- UNGER, H.J. (1983): Versuch einer Neugliederung der Oberen Süßwassermolasse. - *Geol.Jb.*, A67: 5-35, Hannover.
- UNGER, H.J. (1989): Die Lithozonen der Oberen Süßwassermolasse Südbayerns und ihre vermutlichen zeitlichen Äquivalente gegen Westen und Osten. - *Geologica Bavarica*, 94: 195-237, München.
- VISHER, G.S. (1969): Grain size distributions and depositional processes. - *J.Sediment.Petrol.*, 39/3, 1074-1106, Tulsa.
- WILLIAMS, P.F. & RUST, B.R. (1969): The sedimentology of a braided-river. - *J.Sediment.Petrol.*, 39/2: 649-679, Tulsa.