

Ein Beitrag zur Analytik sandiger Sedimente — dargestellt am Beispiel eines Profiles durch die Westflanke des Oststeirischen Beckens

Von Georg WALACH *

Mit 8 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Einleitung

1. Untersuchungsmethodik
 2. Anwendung der Korngrößenanalyse zur Gliederung und Deutung fossiler Sedimentationsräume
 - 2.1. Gliederung klastischer Schichtfolgen
 - 2.2. Deutung des Ablagerungsmilieus
 3. Die untersuchte Schichtfolge
 - 3.1. Gliederung in Sedimentationseinheiten
 - 3.2. Ablagerungsmilieu
 - 3.3. Sedimentationsablauf
 4. Schlußbetrachtungen und Danksagung
- Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Ausgehend von Korngrößenanalysen sandiger Sedimente wird eine statistische Methode zur Gliederung und Deutung klastischer Schichtfolgen entwickelt.

Die Methode wird an Hand eines Profiles durch die jungtertiäre Schichtfolge an der Westflanke des Oststeirischen Beckens dargestellt, dessen Stratigraphie durch die Arbeiten von K. KOLLMANN (1960, 1964) sehr genau bekannt ist, sodaß gute Vergleichsmöglichkeiten existieren. Das Ergebnis zeigt eine vollkommene Übereinstimmung der bio- und lithostratigraphischen Gliederung und bringt zusätzlich eine Reihe von Informationen über die Dynamik des Sedimentationsprozesses der betrachteten Schichtfolge.

Einleitung

Die Gliederung und Korrelation klastischer Schichtfolgen ist ein Problem, das in der Regel mit Hilfe der Paläontologie gelöst wird. Wenn aber stratigraphisch wertlose oder fehlende Fossilien eine Lösung des Problems auf paläontologischem Wege verhindern, müssen physikalische, chemische und mineralogisch-petrographische Methoden zur stratigraphischen Gliederung herangezogen werden (BRIX, 1960).

* Anschrift des Verfassers: Dipl.Ing. Dr. mont. Georg WALACH
Institut für Erdölgeologie und Angewandte Geophysik
Montanuniversität Leoben

Eines der wichtigsten Merkmale klastischer Sedimente ist ihre Korngrößenverteilung, weil sie im direkten Zusammenhang mit jenen physikalischen Kräften steht, die während des Sedimentationsprozesses wirksam waren. Es ist daher anzunehmen, daß typische Differenzierungen zwischen verschiedenen Sedimentpaketen einer Schichtfolge auch in der Korngrößenverteilung und den aus ihr ableitbaren Kennzahlen zum Ausdruck kommen.

In der vorliegenden Arbeit soll auf Grund dieser Annahme eine Methodik entwickelt werden, die eine statistisch gesicherte Gliederung einer klastischen Schichtfolge in einzelne Sedimentationseinheiten gestattet und schließlich auch Informationen über das Ablagerungsmilieu jeder Einheit liefert.

1. Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungen stützen sich im wesentlichen auf Siebanalysen von etwa 350 Proben, die entlang eines etwa 15 km langen und 2 km breiten, W—E verlaufenden Profiles durch die jungtertiäre Schichtfolge an der Westflanke des Oststeirischen Beckens entnommen wurden. Das Profil beginnt etwa 4 km

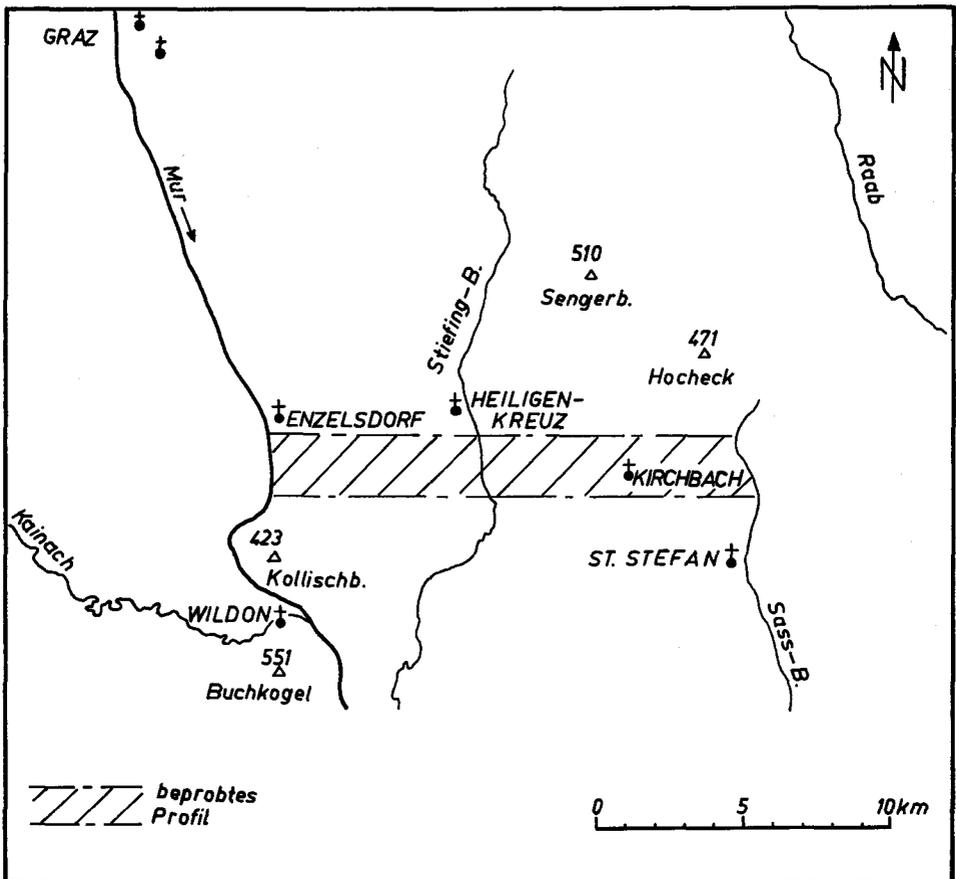


Abbildung 1: Lageplan des beprobten Profiles

N von Wildon im Gebiet des sogenannten „Jungfernsprunges“ bei Mellach (Grenze Badener Serie / Sarmat) und endet bei Kirchbach (Unterpannon B). Es ist in Abb. 1 dargestellt.

Die Siebanalyse erfolgte mittels einer Laborsiebmaschine vom Typ RETAC 3 D unter folgenden Bedingungen: Siebnorm DIN 4188, Siebklassenbreite $0,33^\circ \phi$, Siebdauer 12 min, Exzenterauslage 60 %, Trockensiebung; bei Proben mit hohem Feinkornanteil wurden zur Kontrolle auch Naßsiebungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Siebanalyse wurden als Kornsummenkurven im Wahrscheinlichkeitsnetz (SCHLEICHER — SCHÜLL 298 1/2, A 3) dargestellt. Die Abszissenskalierung erfolgte in Wentworth-Graden ($^\circ\phi$).

Nach KRUMBEIN (1936) ist

$$^\circ\phi = -\log_2 \frac{x}{x_0} \text{ (mm)} = -1/\lg 2 (\lg (x/x_0)) \quad (1)$$

Für die Berechnung der statistischen Parameter Mittelwert, Sortierung (Standardabweichung), Schiefe und Kurtosis wurden nach theoretischen Untersuchungen (WALACH, 1974) die auf Quantilmaßen beruhenden Näherungsformeln nach FOLK — WARD (1958) gewählt. Die Formeln sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Statistische Parameter, Näherungsformeln nach FOLK — WARD (1958)

Parameter	Symbol	Formel	
Mittelwert	M_z	$(\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)/3$	(2)
Sortierung	s_1	$(\phi 16 - \phi 84)/4 + (\phi 5 - \phi 95)/6,6$	(3)
Schiefe	Sk_1	$(\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50)/2 (\phi 16 - \phi 84) +$ $+ (\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50)/2 (\phi 5 - \phi 95)$	(4)
Kurtosis	K_G	$(\phi 5 - \phi 95)/2,44 (\phi 25 - \phi 75)$	(5)
Normierte Kurtosis	K'_G	$K_G/(K_G + 1)$	(6)

Die Benennung der Sedimente folgt einem Vorschlag von FÜCHT — BAUER (1969, p. 8), wobei die Korngrößenklassifikation nach DIN 4022 und die verbale Sortierungsskala nach FOLK — WARD (1958) zur Anwendung kommen.

Alle Berechnungen wurden auf einem programmgesteuerten Kleincomputer Olivetti Typ „PROGRAMMA 101“ durchgeführt, der sich wegen seiner einfachen Handhabung und Programmierbarkeit als sehr geeignet erwies.

2. Anwendung der Korngrößenanalyse zur Gliederung und Deutung fossiler Sedimentationsräume

Die Charakterisierung klastischer Sedimente durch Korngrößenverteilungen und die daraus ableitbaren Quantilmaße und statistischen Parameter gestattet es, mit Hilfe graphischer und rechnerischer Auswertemethoden Einblicke in den Sedimentationsprozeß zu gewinnen. Grundsätzlich können aus Korngrößenverteilungen folgende Aussagen abgeleitet werden:

- a) Stratigraphische Aussagen
Gliederung klastischer Schichtfolgen
Korrelation verschiedener Profile eines Sedimentationsraumes.
- b) Fazielle Aussagen
Bestimmung von Transportmedium (Wind, strömendes Wasser, Suspensionsströme) und Transportvorgang (Schweben, Springen, Rollen); Deutung des Ablagerungsmilieus (Dünen-, Strand-, Strombettlagerungen etc.).

2.1. Gliederung klastischer Schichtfolgen

Das stratigraphische Problem der Gliederung klastischer Schichtfolgen in Sedimentationseinheiten kann mit Hilfe der nachstehenden Modellvorstellung statistisch gelöst werden:

Jede Sedimentationseinheit stellt ein Kollektiv dar, das unter annähernd konstanten Bedingungen abgelagert wurde. Eine Änderung der Sedimentationsbedingungen ist gleichbedeutend mit der Bildung eines neuen Kollektivs. In der Untersuchung wird jedes Kollektiv durch eine oder mehrere Stichproben, bestehend aus n Einzelproben, repräsentiert. Jede Änderung der Sedimentationsbedingungen hat aber auch Änderungen der statistischen Parameter zur Folge, sodaß nun die Möglichkeit besteht, die Unterschiede zwischen den Parametern zweier durch Stichproben repräsentierter Kollektive zu erfassen und eine statistisch gesicherte Abgrenzung der beiden Kollektive vorzunehmen.

Dazu gilt es zunächst, eine Unterteilung der in stratigraphischer Reihenfolge vorliegenden Korngrößenverteilungen bzw. statistischen Parameter in einzelne Kollektive vorzunehmen.

Dies kann nun einfach durch qualitativen Vergleich der Kornsummenkurven erfolgen, wie das z. B. von SINDOWSKI (1957) vorgeschlagen wird, und auch in der vorliegenden Arbeit in Verbindung mit megaskopischen Aufschlußbefunden zu guten Ergebnissen führte. Bessere Ergebnisse liefert jedoch eine quantitative Methode, die von einfachen trendanalytischen Überlegungen ausgeht.

Die theoretischen Grundlagen der Trendanalyse mit geologischen Anwendungsbeispielen werden von MILLER und KAHN (1962, pp. 346—364) ausführlich dargestellt. KRUMBEIN und GRAYBILL (1965, p. 348) geben zahlreiche Literaturhinweise zur Theorie und Praxis der Analyse von Zeitreihen.

Da die Datenreihen der statistischen Parameter stratigraphisch geordnet vorliegen, ist es zulässig, die Gesamtheit aller Werte eines bestimmten statistischen Parameters als Zeitreihe aufzufassen. Nun interessiert aber nicht der Trend, sondern bestimmte zyklische Bewegungen der Datenreihe. Diese können durch vorsichtiges Glätten mittels gleitender Mittelwerte der Ordnung N isoliert werden.

Die gleitenden Mittelwerte M sind durch

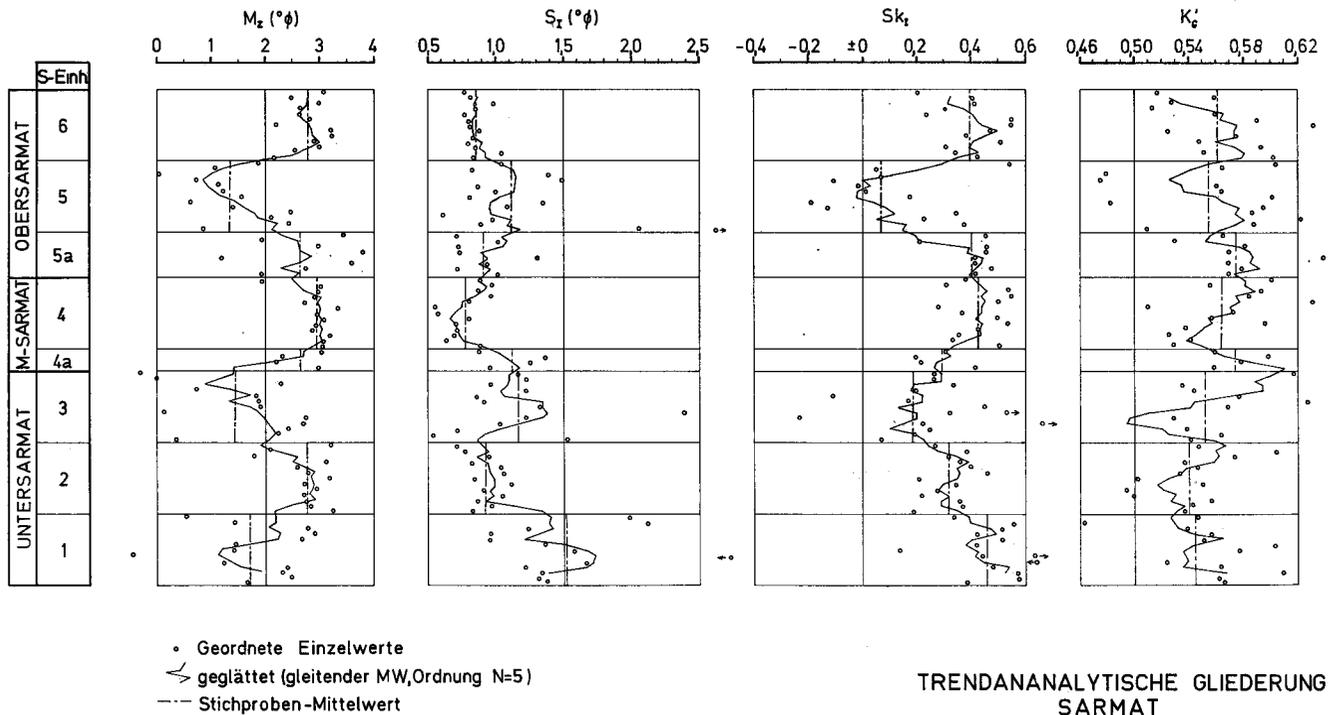
$$M_k = (y_k + y_{k+1} + \dots + y_{N+k-1})/N \quad (7)$$

$$k = 1, 2 \dots (n - N + 1); n = \text{Anzahl der Proben}$$

definiert. So lauten z. B. die beiden ersten gleitenden Mittelwerte für $N = 5$

$$M_1 = (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5) / 5$$

$$M_2 = (y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6) / 5$$



TRENDANALYTISCHE GLIEDERUNG
SARMAT

Abb. 2

Abbildung 2: Trendanalytische Gliederung des Sarmats mittels gleitender Mittelwerte (Ordnung N=5)

Bei richtiger Wahl der Ordnung N der Glättungsformel treten in den Datenreihen deutlich erkennbare Zyklen hervor. Die Sicherheit der Abgrenzung wird aber durch den Umstand noch erhöht, daß stets mehrere Kenngrößen zur Verfügung stehen. Werden die Diagramme der 4 Kenngrößen Mittelwert, Sortierung, Schiefe und Kurtosis nebeneinander dargestellt, so ergibt sich ein eindeutiger korrelativer Zusammenhang zwischen den einzelnen Zyklen der 4 Zeitreihen, wie dies z. B. aus Abb. 2 zu ersehen ist. In Verbindung mit den megaskopischen Aufschlußbefunden ergibt sich meist schon in diesem Stadium der Untersuchung eine eindeutige Abgrenzung der einzelnen Sedimentationseinheiten.

Die getroffene Gliederung gilt es nun statistisch zu sichern, d. h. festzustellen, ob sich die einzelnen Stichproben voneinander signifikant unterscheiden oder die Unterschiede zwischen den Stichproben durch Zufälligkeiten hervorgerufen werden.

Zu diesem Zwecke werden jeweils zwei statistische Parameter in einem Koordinatensystem dargestellt. Durch getrennte Mittelwertbildung wird der Schwerpunkt jeder Stichprobe bestimmt. Mit Hilfe der STUDENT-t-Verteilung lassen sich für annähernd normalverteilte Kollektive zu jedem Stichproben-Mittelwert die Vertrauensgrenzen für ein bestimmtes Signifikanzniveau (95 oder 99 %) festlegen, sodaß nun jede Stichprobe im Koordinatensystem durch ihren Schwerpunkt und ein Vertrauensrechteck charakterisiert wird. Überlappt sich das Vertrauensrechteck mit dem einer benachbarten Stichprobe, so besteht der Verdacht, daß beide Stichproben dem selben Kollektiv angehören. Nur wenn keine Überlappung zwischen den Vertrauensrechtecken zweier Stichproben besteht, kann mit der angenommenen statistischen Sicherheit gesagt werden, daß die Stichprobe verschiedenen Kollektiven angehören.

2.2. Deutung des Ablagerungsmilieus

Die Beantwortung der Frage nach dem Ablagerungsmilieu einer bestimmten Sedimentationseinheit stellt meist ein wesentlich komplexeres Problem dar und ist wohl nur in Ausnahmefällen durch Interpretation der Korngrößenverteilung allein eindeutig zu beantworten (HENNIGSEN, 1969). Die Korngrößenanalyse liefert aber fast immer wichtige Informationen, die in Verbindung mit anderen sedimentologischen Beobachtungen wie Kornrundung, Schichtungstyp, Mineralienbestand etc. eine Bestimmung des Ablagerungsmilieus erlauben.

Von zahlreichen Autoren wurden Methoden publiziert, die meist an rezenten bzw. subrezentem Sedimenten Korrelationen zwischen der Korngrößenverteilung und dem Ablagerungsmilieu aufzeigen.

SINDOWSKI (1957) vergleicht die Form der Kornsummenkurven und gibt rein qualitativ typische Kurvenformen verschiedener Sedimentationsbereiche (äolischer, limnischer, ästuariner, litoraler, mariner Bereich) an. MASON-FOLK (1958) sowie MOIOLA-WEISER (1968) unterscheiden Strand- und Dünen-sande bzw. Strand-Dünen- und Flußsande an Hand von graphischen Darstellungen verschiedener, auf Quantilmaßen beruhender, statistischer Parameter. Auch DOEGLAS (1968) entwickelte ein ähnliches, auf 3 bzw. 5 Quantilmaßen beruhendes System, das sich besonders für die Bearbeitung großer Datenkollektive mittels Computers eignet. FRIEDMAN (1961, 1967) und KOLDIJK (1968) setzen die statistischen Momentkoeffizienten zueinander in Beziehung und unterscheiden zwischen Strand-, Dünen- und Flußsanden.

Bei der Übertragung dieser Methoden auf fossile Sedimente ist jedoch äußerste Vorsicht geboten, weil verschiedene postsedimentäre Vorgänge das Bild der Korngrößenverteilung stark verändern können.

Solche Einflüsse sind zum Beispiel Anreicherungen der Feinfraktion durch Ausfällungen, Verwitterungserscheinungen (Feldspäte!) und mechanische Beanspruchung, aber auch Kornvergrößerungen durch authigenes Kornwachstum und Mineralneubildungen. Da diese Vorgänge unabhängig vom ursprünglichen Ablagerungsmilieu und mit wechselnder Intensität verlaufen können, ist eine Reproduzierbarkeit des Initialzustandes nur selten gegeben.

Wie die Praxis lehrt, wird in Lockersedimenten vor allem der pelitische Ast der Kornverteilung stark verändert, während das „mittlere Verhalten“ und meist auch die Grobfraktion nur geringfügig beeinflusst werden. Eine Untersuchungsmethode, die diese Erkenntnisse berücksichtigt, ist daher für die Reproduktion des Initialzustandes besser geeignet als jene, die dem gesamten Korngrößenbereich gleiches Gewicht beimessen.

Die von PASSEGA (1957, 1964) entwickelte Methode der Darstellung sieb-analytischer Daten in sogenannten „CM-Diagrammen“ berücksichtigt diese Veränderungen. Im CM-Diagramm definieren die beiden Lageparameter C und M einen Punkt. Dabei ist C ein Näherungswert für den maximalen Korndurchmesser einer Probe (Quantil ϕ 99), während M der Median (ϕ 50) ist. Werden mehrere Punkte einer Sedimentationseinheit, in der Regel 15—30, in ein CM-Diagramm eingetragen, so bedecken sie ein Feld, das für die Strömungs- bzw. Energieverhältnisse während des Ablagerungsprozesses charakteristisch ist.

Eine Gegenüberstellung der Methoden nach SINDOWSKI, MASON-FOLK, MOIOLA-WEISER und FRIEDMANN mit den CM-Diagrammen (WALACH, 1972) hat diese Überlegungen voll bestätigt, denn nur mit den CM-Diagrammen konnten eindeutige Ergebnisse erzielt werden.

3. Die untersuchte Schichtfolge

Die im Abschnitt 2 theoretisch formulierte Methode soll nun an einem praktischen Beispiel demonstriert werden.

Für die Wahl des Profiles waren vor allem zwei Faktoren maßgebend. Zum ersten wird die Westflanke des Oststeirischen Beckens vorwiegend von sandigen Schichten aufgebaut, die hinreichend dicht beprobt werden können. Zum zweiten ist durch die Arbeiten von K. KOLLMANN (1960, 1964) eine sehr genaue paläontologische Gliederung der Schichtfolge gegeben, die eine Kontrolle der erzielten Ergebnisse ermöglicht.

Als kartographische Grundlagen dienten die geologische Karte der zentralen Teile des Steirischen Beckens von K. KOLLMANN (1964, Taf. 2) und die Blätter 190 (Leibnitz) und 191 (Kirchbach) der Österreichischen Karte 1:50.000.

Eine ausführliche Beschreibung aller beprobten Aufschlüsse findet man bei WALACH (1972).

3.1. Gliederung in Sedimentationseinheiten

In Abbildung 2 sind die Gliederungsdiagramme für die statistischen Parameter M_z , Sk_1 , S_1 und K'_G graphisch dargestellt. Wie der Abbildung 2 zu entnehmen ist, treten bei Glättung der Einzelwerte (Kreise) durch gleitende Mittelwerte der Ordnung 5 zyklische Bewegungen der Datenreihen hervor, die zwischen den Diagrammen der Parameter M_z , S_1 und Sk_1 gut korrelierbar sind. Nur die normierte Kurtosis K'_G ergibt ein schlecht interpretierbares Bild, was wohl mit der besonderen Empfindlichkeit der Kurtosis gegenüber post-sedimentären Veränderungen der Korngrößenverteilung und auch gegenüber Analysefehlern zu erklären ist.

In den ersten drei Diagrammen können eindeutig 6 Hauptzyklen unterschieden werden. Zwei weitere Zyklen können wohl abgegrenzt, wegen des zu kleinen Stichprobenumfangs aber nicht statistisch gesichert werden.

Werden nun die so festgelegten Stichproben — sie repräsentieren die gesuchten Sedimentationseinheiten — in der beschriebenen Weise einem t-Test unterworfen, dann erhält man die in Tabelle 2 zusammengefaßten Daten, die in Abbildung 3 graphisch dargestellt sind.

Tabelle 2: Datenliste zur statistischen Absicherung der Sedimentationseinheiten 1 bis 6 durch Signifikanztests (t-Test, Signifikanzniveau 95 %)

Einh.	Stichprobenmittelwerte M,			Vertrauensgrenzen L		
	$M(M_z)$	$\pm L(M_z)$	$M(S_1)$	$\pm L(S_1)$	$M(Sk_1)$	$\pm L(Sk_1)$
1	1,729	0,613	1,520	0,307	0,463	0,080
2	2,786	0,265	0,916	0,078	0,324	0,052
3	1,440	0,682	1,158	0,277	0,190	0,113
4a	2,650	—	1,370	—	0,295	—
4	2,951	0,208	0,773	0,086	0,432	0,060
5a	2,642	—	0,910	—	0,400	—
5	1,357	0,449	1,108	0,231	0,068	0,173
6	2,786	0,212	0,852	0,051	0,393	0,069

Die deutlichen Abstände der Vertrauensgrenzen benachbarter Sedimentationseinheiten in Abbildung 3 beweisen mit einer statistischen Sicherheit von 95 %, daß es sich tatsächlich um voneinander unabhängige Sedimentationsphasen handelt. Die schwache Überschneidung im Feld $S_1 - Sk_1$ der Einheiten 2 und 3 läßt sich mit dem allmählichen Übergang zwischen diesen beiden Sedimentationseinheiten erklären.

3.2. Ablagerungsmilieu

Bei der Deutung des Ablagerungsmilieus der Sedimentationseinheiten 1 bis 6 ergibt sich aus den geologischen Aufschlußbefunden und dem Vergleich der Kornsummenkurven insofern schon eine Einschränkung, als aus dem gesamten, vom Profil erschlossenen Gebiet, keine Hinweise auf Ablagerungen des äolischen Bereiches existieren und auch das Vorhandensein von Tiefseesedimenten ausgeschlossen werden kann. Damit ist aber auch gesagt, daß die Schichtfolge nur Sedimente des limnisch-fluviatilen und des Flachseebereiches umfassen kann.

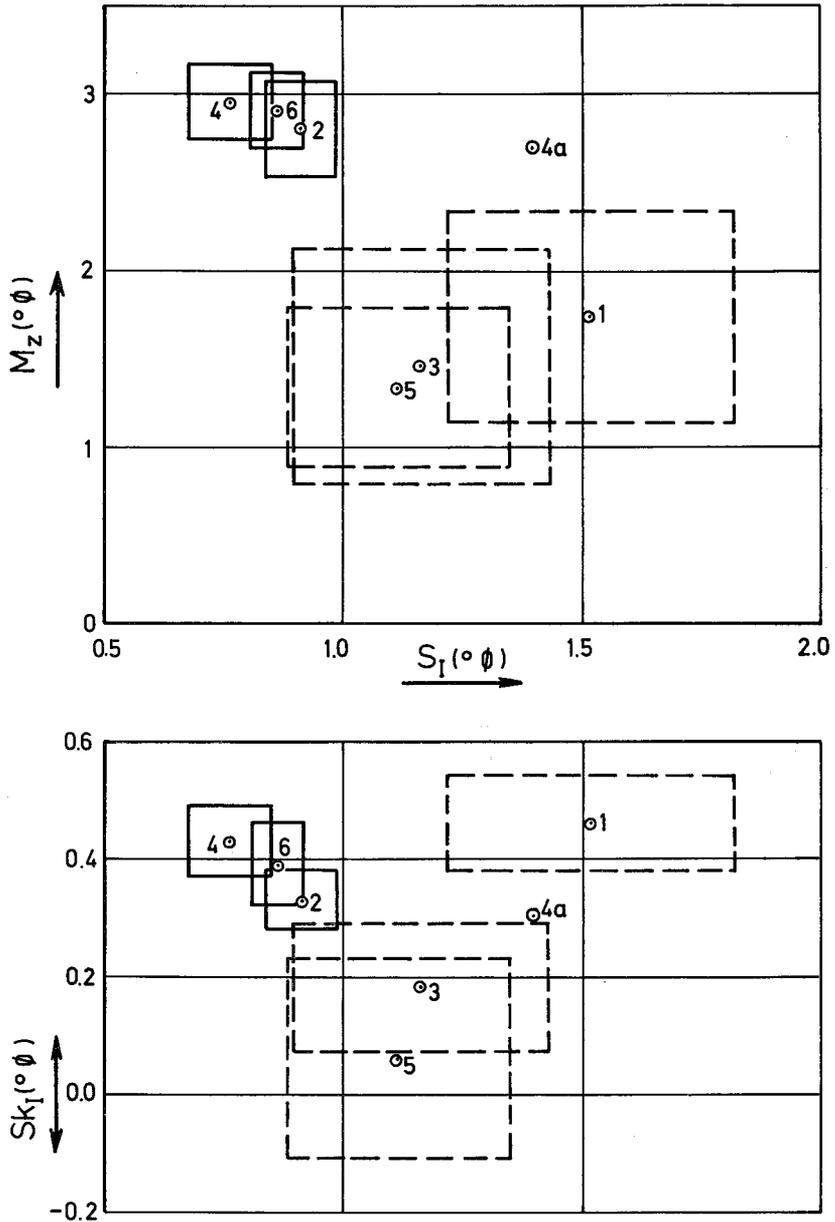


Abb. 3

Abbildung 3: Statistische Absicherung der Sedimentationseinheiten 1—6

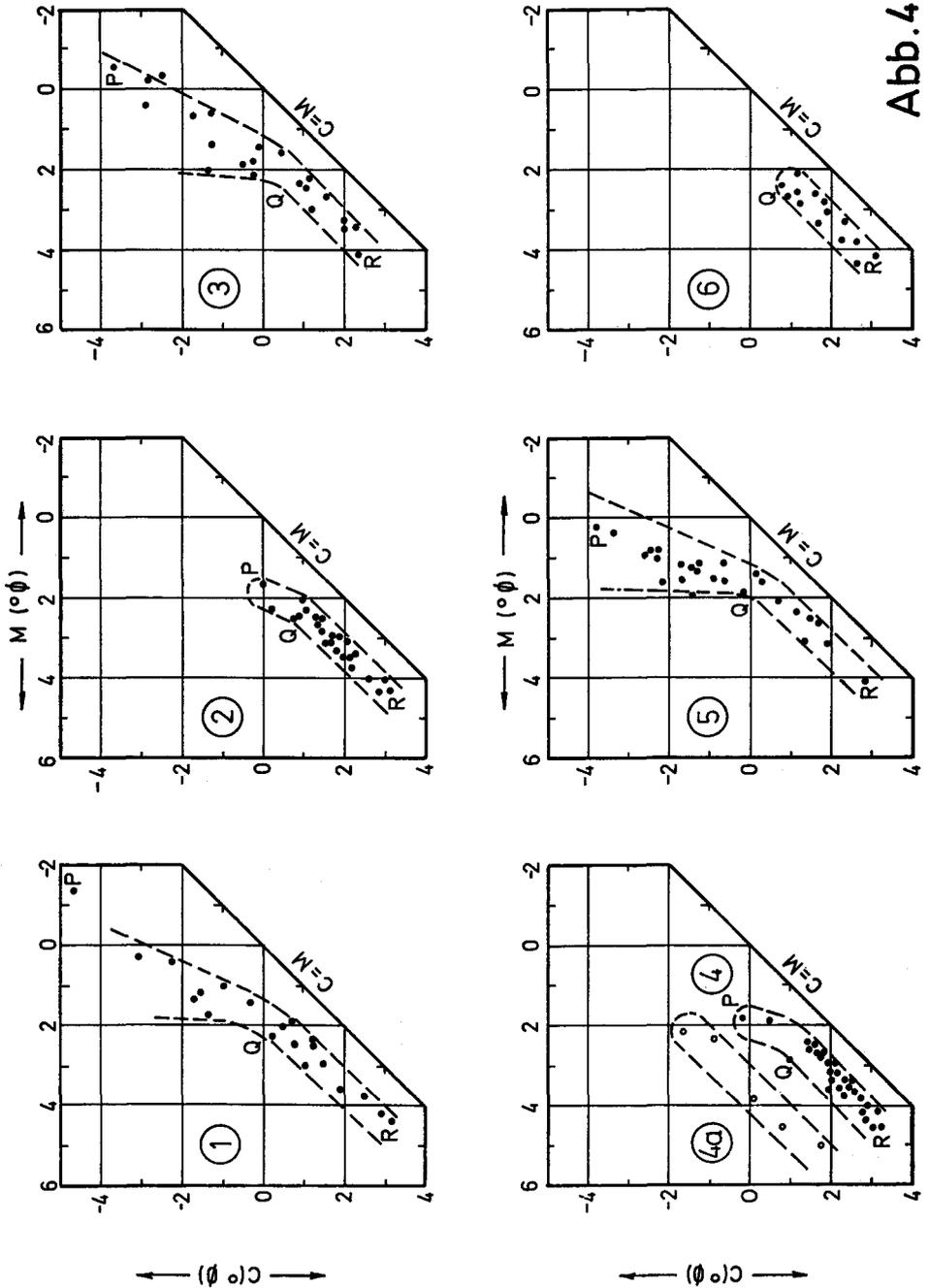


Abb. 4

Abbildung 4: CM-Diagramme der Sedimentationseinheiten 1—6

Die Sedimentationseinheit 1 ist im CM-Diagramm der Abbildung 4 durch die Teile RQ und QP der theoretischen Darstellung nach PASSEGA (1957) vertreten. Während die Punkte des Liegendpaketes dieser Einheit mehr im Bereich des Teiles QP konzentriert sind und daher den Sedimenttransport durch Rollen charakterisieren, wandern die Punkte des Hangendpaketes immer mehr in den Teil RQ, der dem Transport durch Springen entspricht. Es wird dadurch die Abnahme der Strömungsenergie angezeigt. Die Punkte der Sedimentationseinheit 2 bedecken fast ausschließlich den Teil RQ, wonach hier nur mehr Sandtransport durch Springen stattfindet. Die Geschlossenheit der Punktwolke und ihr geringer Abstand zur Linie $C=M$ weisen auf ruhige Sedimentation bei nahezu konstanter, geringer Strömungsenergie hin. Das Diagramm der Sedimentationseinheit 3 zeigt eine neuerliche Zunahme der Strömungsenergie, die aber starken Schwankungen unterworfen war und ihr Maximum in den höchsten Partien dieser Einheit erreichte, da die Punkte der Proben aus dem Hangenden nahe dem Punkt P konzentriert sind. Die nur durch wenige Punkte vertretene Einheit 4a nimmt eine Sonderstellung ein. Ihre Punktwolke zeigt große Ähnlichkeit mit dem von BULL (1962) entworfenen Feld für Schlammströme arider Gebiete. Dagegen weist das Feld RQ der Sedimentationseinheit 4 in seiner Geschlossenheit bei geringstem Abstand von der Linie $C=M$ auf äußerst energiearme, gleichförmige, vermutlich sogar zeitweise stagnierende Strömungsverhältnisse hin. Die Punktwolke der Sedimentationseinheit 5 konzentriert sich hingegen auf das Feld QP. Das deutet auf ein energiereiches, aber gleichförmiges Strömungsmilieu hin. Die Einheit 6 schließlich ist weder nur durch Punkte des Feldes RQ vertreten und charakterisiert ein gleichförmiges, energiearmes Strömungsmilieu.

Diese Darstellung der Energieverhältnisse während der Sedimentation wird im folgenden bei der Betrachtung des Ablagerungsprozesses der Schichtfolge weiter interpretiert.

3.3. Sedimentationsablauf

Das untersuchte Profil beginnt im Gebiet des Murberges im Hangenden des nach K. KOLLMANN (1964, p. 558) wahrscheinlich der Bulimina-Bolivina-Zone des Tortonons zuzuordnenden höchsten Nulliporenkalkbandes, welches sich vom Schloß Weißenegg etwa 2 km nach Norden verfolgen läßt, bis es am Hangfuß des Murberges unter die Quartärbedeckung eintaucht.

Die Sedimentationseinheit 1 wird in ihren untersten Teilen vorwiegend von meist kreuzgeschichteten, mittelmäßig bis schlecht sortierten Grobsanden und Feinschottern mit einzelnen gut gerundeten Quarzgeröllen bis 30 mm Durchmesser (Abb. 5a) und einem plattig brechenden, grobkörnigen Sandstein mit stark eisenschüssigem Bindemittel, der etwa mit 5° E einfällt, aufgebaut. Diese Sedimente weisen in Zusammenhang mit dem ausgeprägten Erosionsrelief des liegenden Nulliporenkalkbandes auf eine Verlandungsphase hin. Nach K. KOLLMANN (1964, p. 540) existiert auch eine Schichtlücke, da im Bereich des Murberges die obertortone Rotalia-Cibicides-Zone fehlt, die wenige Kilometer östlich gegen die Beckenachse zu von Schußbohrungen der RAG angefahren wurde.

Gegen das Hangende der Sedimentationseinheit 1 ist eine allmähliche Verfeinerung der Sedimente und ein Zurücktreten der durch Schotterlagen charak-

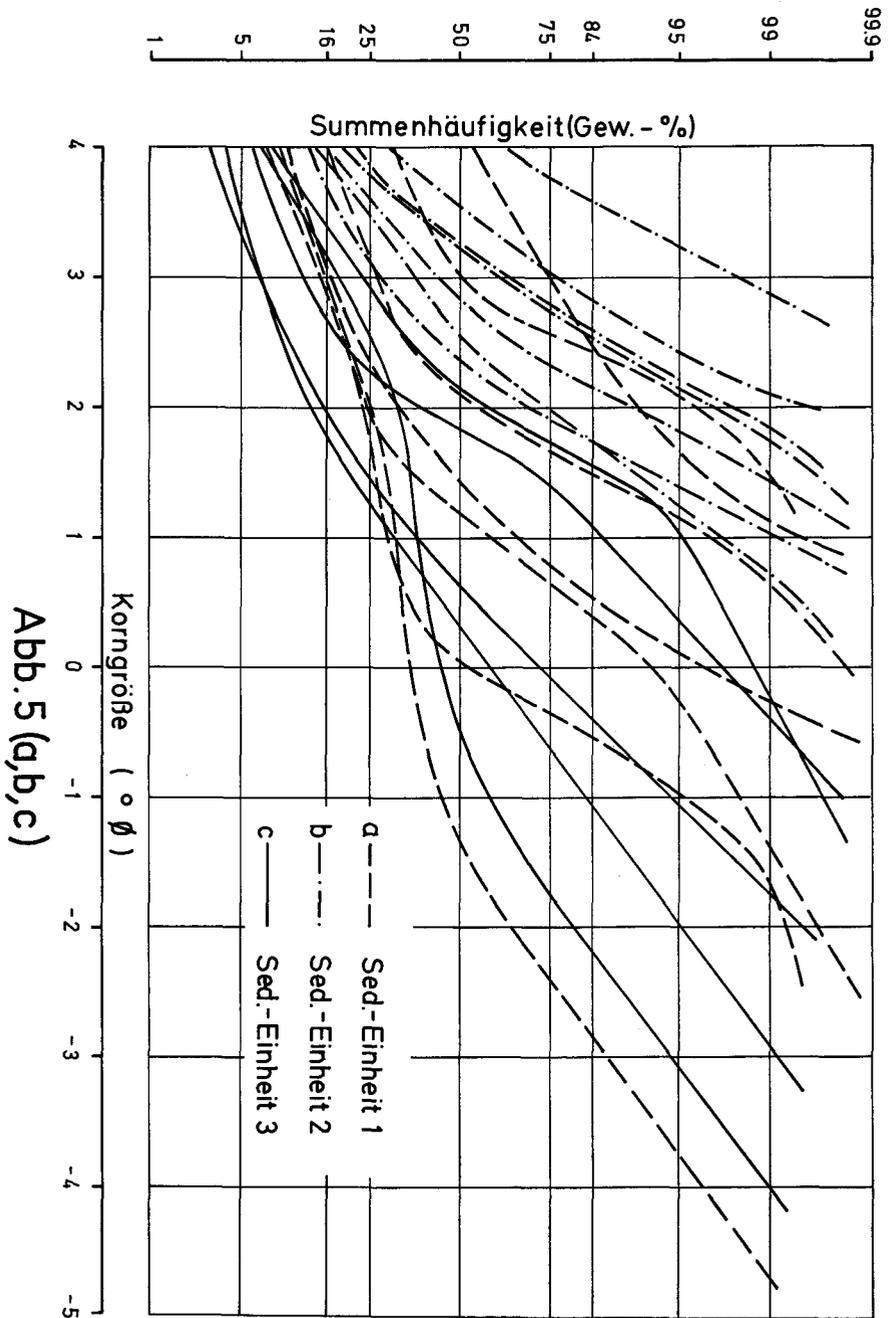


Abb. 5 (a,b,c)

Abbildung 5: Kornsummenkurven des Untersarmats (Sed.-E. 1, 2, 3)

terisierten terrestrischen Einflüsse zu beobachten, bis dann im Bereich der nahezu 100 m mächtigen Sedimentationseinheit 2, deren schönsten Aufschluß der sogenannte Jungfersprung bei Mellach darstellt, nur mehr parallelgeschichtete, mittelmäßig gut bis mittelmäßig sortierte Fein- und Mittelsande

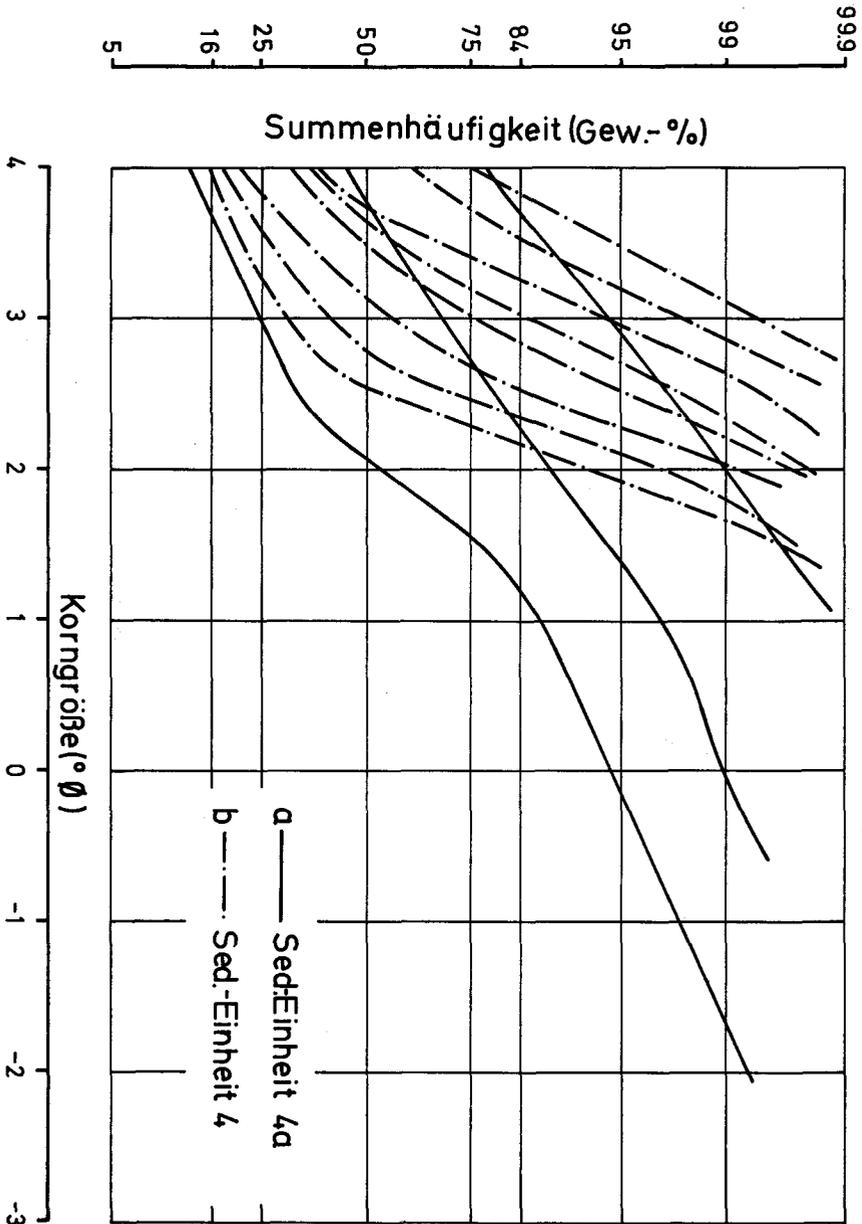


Abb. 6(a,b)

Abbildung 6: Kornsummenkurven des Mittelsarmats (Sed.-E. 4a, 4)

(Abb. 5b) sowie meist schluffige Tonhorizonte auftreten.

Dieser Sedimentationsablauf entspricht einer Ingressionsphase, in deren Folge das Meer neuerlich über die „Mittelsteirische Schwelle“ vorgestoßen ist, und der wahrscheinlich auch die sarmatischen Ablagerungen am westlichen Grundgebirgsrand bei Thal/Waldhof zuzuordnen sind. Die Ablagerungen der Einheit 2 gehören somit einer Flachmeerphase mit gleichförmigen, energiearmen Sedimentationsbedingungen an.

Im Bereich der Sedimentationseinheit 3, die das Profil im Gebiet Krottendorf — St. Ulrich berührt, sind vom Liegenden zum Hangenden immer stärker werdende terrestrische Einflüsse zu beobachten. Zwar werden auch hier noch mittelmäßig sortierte Fein- und Mittelsande abgelagert, doch treten an ihre Stelle immer häufiger schlecht sortierte Grobsande und Feinschotter (Abb. 5c), bis dann im höchsten Niveau dieser Einheit nur mehr schlecht sortierte Feinschotter abgelagert werden. Diese und die in der Sedimentationseinheit 4a erfaßten, am Fuße des Turningberges aufgeschlossenen, sehr schlecht sortierten tonig-schluffigen Feinsande mit reichlich Grobkorneinstreuung bis 5 mm Durchmesser (Abb. 6a), die nach dem CM-Diagramm (Abb. 4) als Schlammströme zu deuten sind, kennzeichnen eine neuerliche lokale Verlandungsphase.

In der Folge kommt es wiederum zu einem Anstieg des Wasserspiegels, denn die Ablagerungen der etwa 150 m mächtigen Sedimentationseinheit 4, eine Wechsellagerung von teilweise pflanzenführenden Tonen und gut bis mittelmäßig gut sortierten, schluffigen Feinsanden (Abb. 6b), weisen auf eine Phase ruhiger Sedimentation bei nahezu konstanter, zeitweise sogar stagnierender Strömungsenergie in einem zunehmend verbrackten Flachseebereich hin.

Im Hangenden der Sedimentationseinheit 4 quert das Profil das Stiefingtal, wodurch sich sehr ungünstige Aufschlußverhältnisse (Schotterterrassen) ergeben. Die in der Sedimentationseinheit 5a zusammengefaßten, wenigen sicheren Aufschlüsse ergeben ein sehr uneinheitliches Bild, da sowohl schlecht sortierte Feinschotter als auch Feinsande, Schluffe und Tone auftreten (Abb. 7a), wobei nach dem Hangenden zu schluffige Feinsande und fossilführende Tone dominieren.

Die vom Osthang des Stiefingtales bis westlich von Kittenbach in zahlreichen Aufschlüssen anstehende Sedimentationseinheit 5 besteht vorwiegend aus schlecht sortierten Grobsanden und kreuzgeschichteten Feinschottern (Abb. 7b). Schluffe und Tone treten deutlich zurück. Messungen an Kreuzschichtungskörpern ergaben eine Einschüttung aus W bis NW. Gleichförmigkeit der Sedimente, Fossilarmut und die aus dem CM-Diagramm (Abb. 4) ablesbare hohe Strömungsenergie charakterisieren eine flächenhafte Einschüttung bei limnischem Milieu. Der Annahme stark mäandrierender Flußläufe von WINKLER-HERMADEN (1957) widerspricht vor allem die Gleichförmigkeit der Sedimente. Ein Test, bei dem die 60 Einzelproben der Einheit 5 in 4 Teilkollektive unterteilt wurden, ergab eine sehr geringe Variation des mittleren Korndurchmessers M_z (1,2 bis 1,0 $^\circ\phi$ = etwa 0,4—0,5 mm).

Das letzte Glied der untersuchten Schichtfolge bilden gut bis mittelmäßig gut sortierte Feinsande der Einheit 6 (Abb. 7c), die als besonderes Charakteristikum bis zu einige mm^2 große Muskowitschgruppen führen. Die Ablagerung dieser Sedimente ist wahrscheinlich im Zusammenhang mit dem von K. KOLLMANN (1964, p. 574) beschriebenen Anstieg des Wasserspiegels an der Wende Sarmat — Pannon zu sehen.

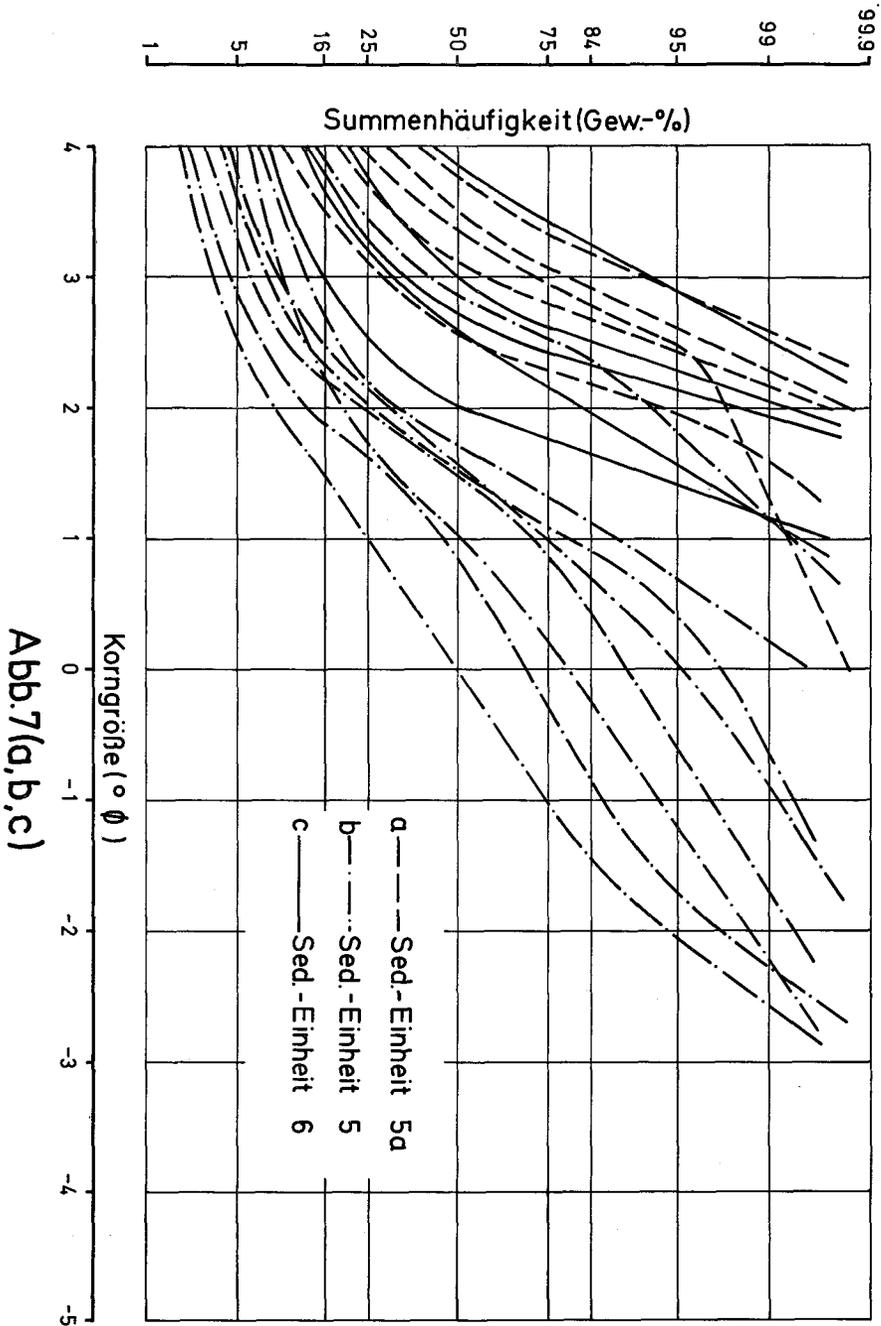


Abbildung 7: Kornsummenkurven des Obersarmats (Sed.-E. 5a, 5, 6)

GLIEDERUNG NACH K. KOLLMANN (1962, Tafel 3)		GLIEDERUNG IN SEDIMENTATIONSEINHEITEN		
W-RAND GNASER BECKEN	ZENTRALES S UND E GNASER BECKEN	EINHEIT	LITHOLOGIE, SEDIM. - ABLAUF	MW DER PARAMETER $M_2, S_1, Sk_1, (\varphi)$
GLEISDORFER SCHICHTEN MIT LIMNISCHEM OSTRAKODEN	TON, SAND, FEINSCHOTTER, KOHLE	6	FEINSANDE, SCHLUFFE, TONE ANSTIEG DES WASSERSPIEGELS	2,8, 0,8, 0,4
		5	GROBSANDE U. FEINSCHOTTER DOMINIEREND (KREUZGESCHICHTET) (LIMNISCHE)	1,3, 1,1, 0,1
FOSSILE SCHICHTEN VON SPILLERHOF BEI RAABA	TON, TONMERGEL, SAND OOLITH, KALKSANDSTEIN REICHE MAKRO- UND MIKROFAUNA	5a	FEINSANDE, GUT GESCHICHTET FOSSILFÜHRENDE TONE ? SANDE, TONE, SCHLUFFE	(2,6), (0,9), (0,4)
		4	SCHLUFFIGE FEINSANDE UND PFLANZENFÜHRENDE TONE, VEREINZELT KALKKONCRETIONEN	3,0, 0,7, 0,4
? ?	TON, TONMERGEL MIT ARMER FAUNA CARINITHISCHER SCHOTTER (KALKGERÖLLE)	4a	TONIG - SCHLUFFIGE FEINSANDE MIT GROBKORN BIS 5 mm (SCHLAMMSTRÖME) VERLANDUNGS PHASE	2,7, 1,4, 0,3
		3	GROBSANDE UND FEINSCHOTTER (TEILWEISE KREUZSCHICHTUNG ANGEDEUTET)	1,4, 1,2, 0,2
TONE, GUT GESCHICHTET FOSSILARM	ELPHIDIUM HAUERINUM (d'ORB.)	2	TONE, SCHLUFFE, FEIN - MITTEL- SANDE, PARALLELGESCHICHTET	2,8, 0,9, 0,4
		1	GROBSANDE, FEINSCHOTTER, KREUZ- GESCHICHTET, SANDSTEIN (Fe-BINDEM.) VERLANDUNGS PHASE	1,7, 1,5, 0,5
HAUPTSÄCHLICH TONMERGEL GUT GESCHICHTET MIT SAND- UND SANDSTEINLAGEN				
TONMERGEL MIT SAND- UND SCHOTTER- LAGEN, KOHLESCHNITZEN (MURBERG)	ELPHIDIUM REGINUM (d'ORB.)	ELPHIDIUM REGINUM UND CYTHERIDEA HUNGARICA FAUNA		
		BULMINA BOLIVINA- ZONE (MT)		
HÖCHSTES NULLPorenkalk- BAND W UND E DER MUR		Tabell e 3		

Tabell e 3

Versucht man nun, die beschriebene Abfolge von Sedimentationseinheiten in die paläontologische Gliederung nach K. KOLLMANN (1964) einzuordnen, so fügt sich diese widerspruchlos in das vorgegebene Schema ein (Tabelle 3).

Dabei repräsentieren die Einheiten 2 und 3 die Zone des *Elphidium reginum*, die Einheiten 1 und 4a sowie Teile der Einheit 3 je eine Verlandungsphase im Liegenden und Hangenden. Die Einheit 4 wiederum entspricht der Zone des *Elphidium hauerinum*.

Bedingt durch die beschriebenen schlechten Aufschlußverhältnisse an der Westflanke des Stiefingtales läßt sich die Sedimentationseinheit 5a nicht eindeutig zuordnen, sie muß aber die tieferen Teile der Zone des *Nonion granosum* umfassen, da die Einheiten 5 und 6 ganz sicher ein Äquivalent der von FLÜGEL und MAURIN (1958) benannten Gleisdorfer Schichten, also des Hangendpaketes der Zone des *Nonion granosum*, darstellen. Auch der von K. KOLLMANN (1964, p. 574) postulierte Anstieg des Wasserspiegels an der Wende Sarmat—Pannon kommt in den vorwiegend feinklastischen Sedimenten der Einheit 6 deutlich zum Ausdruck.

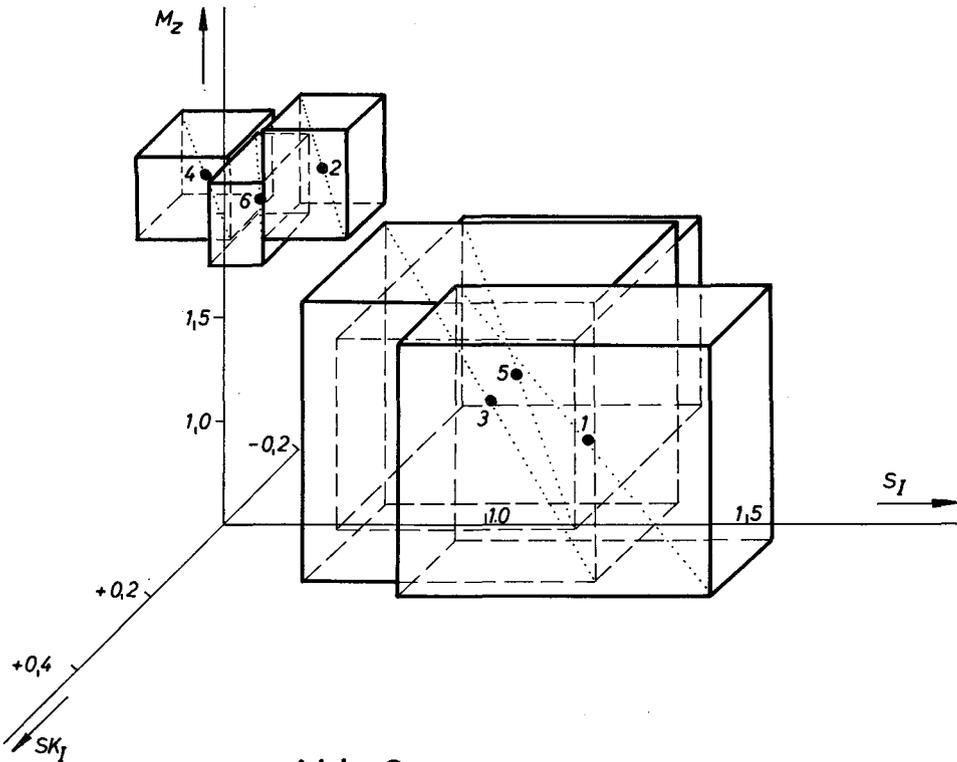


Abb. 8

Abbildung 8: Räumliche Darstellung der Vertrauensgrenzen für M_z , S_1 und Sk_1 der Sedimentationseinheiten 1—6

Zum Abschluß soll noch an Hand der Abbildung 8 auf eine sicherlich interessante Tatsache hingewiesen werden. Stellt man für jede Sedimentationseinheit die Mittelwerte der statistischen Parameter M_z , S_1 und Sk_1 mit ihren Konfidenzintervallen als räumliche Gebilde in einem kartesischen Koordinaten-

system dar, so erkennt man, daß die Ablagerungen des Sarmats an der Westflanke des Oststeirischen Beckens in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Einer Phase mit vorwiegend grobklastischer Sedimentation folgt immer eine Phase, in der feinklastische Sedimente vorherrschen. Dies erweckt den Anschein, daß die von K. KOLLMANN (1964, p. 576) für das Unterpannon C angenommene klimatische Steuerung des Sedimentationsvorganges auch schon für die Ablagerungen des Sarmats Gültigkeit gehabt haben dürfte.

4. Schlußbetrachtungen und Danksagung

Die in dieser Arbeit entwickelte Methodik zur Gliederung und Deutung klastischer Schichtfolgen wurde zwar an einem Oberflächenprofil entwickelt und dargestellt, doch läßt sie sich ohne Schwierigkeiten auf ein Bohrprofil übertragen.

Nun werden aber in der Erdölexploration Korngrößenanalysen sehr häufig angewendet, doch erschöpft sich die Aussage sehr oft in der Berechnung der TRASK'schen Kenngrößen für Mittelwert, Sortierung und Schiefe, deren Interpretation nur sehr allgemeine Hinweise liefern kann. Die Korngrößenanalyse besitzt aber einen wesentlich höheren Aussagewert und stellt im Rahmen der beschriebenen Methodik ein geeignetes Mittel zur Gliederung und Deutung fossilärmer Schichtfolgen dar.

Es ist mir eine angenehme Aufgabe, Herrn em. o. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Otmar Michael FRIEDRICH für das umfassende Entgegenkommen meinen Dank auszusprechen. Ebenso gilt mein Dank Herrn a.o. Prof. Dr. phil. Johann Georg HADITSCH für die zahlreichen Ratschläge und Diskussionen, die zur Erarbeitung der Problematik dieser Arbeit beigetragen haben.

Literaturverzeichnis

- BRIX, F., 1960: Chemische und physikalische Hilfsmittel zur stratigraphischen Gliederung fossilärmer Schichten mit Beispielen aus der Molassezone bei Tulln — Erdölzeitschrift, **76**, 249—265.
- BULL, W. B., 1962: Relation of textural (CM) patterns to depositional environment of alluvial-fan deposits — J. Sed. Petr., **32**, 211—216.
- DOEGLAS, D. J., 1968: Grain-size indices, classification and environment — Sedimentology, **10**, 83—100.
- FLUGEL, H. u. MAURIN, V., 1958: Geologische Karte des Weizer Berglandes, 1 : 25 000, Geol. B.A.
- FOLK, R. L. u. WARD, W. C., 1958: Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters — J. Sed. Petr., **27**, 3—26.
- FRIEDMAN, G. M., 1961: Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics — J. Sed. Petr., **31**, 514—529.
- FRIEDMAN, G. M., 1967: Dynamic processes and statistical parameters compared for sitze frequency distribution of beach and river sands — J. Sed. Petr., **37**, 327—354.
- FUCHTBAUER, H. u. MÜLLER, G., 1969: Sedimente und Sedimentgesteine — Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- HENNINGSSEN, D., 1969: Paläogeographische Ausdeutung vorzeitlicher Ablagerungen — BI Hochschulskripten, Bd. 839/839a.

- KOLDIJK, W. S., 1968: On environment-sensitive grain size parameters — *Sedimentology*, **10**, 57—69.
- KOLLMANN, K., 1960: Das Neogen der Steiermark — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **52**, 159—167.
- KOLLMANN, K., 1964: Jungtertiär im Steirischen Becken — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **57**, 479—632.
- KREYSZIG, E., 1965: Statistische Methoden und ihre Anwendungen — Vanderhoeck u. Ruprecht, Göttingen.
- KRUMBEIN, W. C., 1936: Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments — *J. Sed. Petr.*, **8**, 84—90.
- KRUMBEIN, W. C. u. GRAYBILL, F. A., 1965: An introduction to statistical models in geology — Mc Graw Hill, New York.
- MASON, C. C. u. FOLK, R. L., 1958: Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas — *J. Sed. Petr.*, **28**, 211—226.
- MILLER, R. L. u. KAHN, J. S., 1962: Statistical Analysis in the geological Sciences — Wiley, New York.
- MOIOLA, R. J. u. WEISER, D., 1968: Textural parameters: an evaluation — *J. Sed. Petr.*, **38**, 45—53.
- PASSEGA, R., 1957: Texture as a characteristics of clastics deposition — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **41**, 1952—1984.
- PASSEGA, R., 1964: Grain size representation by CM-patterns as a geological tool — *J. Sed. Petr.*, **34**, 830—847.
- SINDOWSKI, K. H., 1957: Die synoptische Methode des Kornkurvenvergleichs zur Ausdeutung fossiler Sedimentationsräume — *Geol. Jb.*, **71**, 517—526.
- WALACH, G., 1972: Ein Beitrag zur Analytik sandiger Sedimente. — Dargestellt am Beispiel eines Profiles durch die jungtertiäre Schichtfolge an der Westflanke des Oststeirischen Beckens. Unveröff. Diss., Mont. Hochschule, Leoben.
- WALACH, G., 1974: Kritische Betrachtungen zur mathematischen Behandlung von Korngrößenverteilungen. — *Archiv f. Lagerstättenforschung in den Ostalpen*; Sonderband 2, Festschrift O. M. FRIEDRICH, 265—286.
- WINKLER-HERMADEN, A. v., 1957: Geologisches Kräftespiel und Landformung — Springer-Verlag, Wien.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 18. Juni 1974;
angenommen II/76 (R. Janoschek, W. Medwenitsch)