Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 62 (1969)

Heft: 1

Artikel: Mineralogisch-Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flussbettsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins

Autor: Hahn, Christoph

Kapitel: Granulometrie

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163700

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zum Abschluss dieses Abschnitts sollen kurz die kristallinen Gesteinsserien der penninischen und der ostalpinen Decken sowie der Zentralmassive erwähnt werden.

Alle penninischen Decken enthalten einen Granitgneiskern, der von einer polymetamorph vergneisten älteren Hülle sedimentogenen Ursprungs umgeben ist. Letztere enthält vielfach Amphibolite.

Die unterostalpinen Decken werden im Kern von Graniten und Dioriten aufgebaut. Der altmetamorphe Rahmen setzt sich aus Para- und Orthogneisen mit eingelagerten Amphiboliten zusammen. Das Kristallin der oberostalpinen Silvrettaschubmasse enthält keine wenig oder nicht metamorphe Eruptiva. Die jüngsten Bildungen sind Orthogneise, wesentlich älter sind Ortho- und Paraamphibolite, die im Silvrettakristallin in aussergewöhnlicher Menge auftreten. Weit verbreitet sind Mischgneise und hochmetamorphe Paragneise.

Die Zentralmassive sind polyorogene prätriasische Gesteinskörper. Gotthard- und Aarmassiv weisen beide eine ähnliche zonare Gliederung im Bau auf. Das östliche Gotthardmassiv gliedert sich in zwei Komplexe. Der ältere Komplex besteht aus Para- und Orthogneisen, darin liegen diskordant die jüngeren Eruptivgesteinsstöcke, die als herzynische Granit- bis Granodioritstöcke beschrieben werden. Das südöstliche Aarmassiv setzt sich zusammen aus Granitgneisen sowie kristallinen Schiefern und Gneisen sedimentogenen Ursprungs. Darin liegen diskordant die jüngeren herzynischen Intrusivstöcke in Form paralleler Granitbatholiten. Innerhalb und am Rand des Aargranits treten ältere Magmatite auf, die basischer sind als der Hauptgranit (Syenite, Monzonite und Diorite). Innerhalb der Zentralmassive lässt sich eine starke Zunahme des Metamorphosegrades von Nord nach Süd beobachten. Im Aarmassiv ist die alpidi-Überprägung noch geringfügig, und zwar von epizonalem Charakter, während sie im Gotthardmassiv, besonders am Südrand, schon mesozonal und ausgeprägt konstruktiv ist.

Probenahme

Die in dieser Arbeit untersuchten Proben aus dem Einzugsbereich des Alpenrheins wurden auf zwei Fahrten im August und Oktober 1964 aufgesammelt. In unregelmässigen Abständen, bedingt durch die örtlichen Geländeverhältnisse, wurden an 193 Punkten insgesamt 226 Proben im ganzen Flussystem entnommen. In Fig. 1 sind alle Probenstellen eingezeichnet.

Bei der Probenahme wurde darauf geachtet, dass nur jüngst sedimentierte Flussbettsande aufgesammelt wurden. Die entnommenen Proben sind ausschliesslich Durchschnittsproben.

GRANULOMETRIE

Methodik

Die Bestimmung der Korngrössenverteilung der einzelnen Proben erfolgte in einem Siebsatz nach DIN 4188. Verwendung fand hierbei eine elektrische Laborsiebmaschine EML der Firma Haver u. Boeker, Oelde/Westf., die nach dem Prinzip der Wurfsiebung arbeitet.

Die Bestimmung der Korngrössenverteilung im Bereich <0,04 mm wurde mit einem Sedimentometer der Firma Evans Electroselenium Ltd. durchgeführt.

Die Ergebnisse der Sieb- und Sedimentometeranalysen ergeben lückenlose Korngrössenverteilungen vom Kies- bis zum Tonbereich.

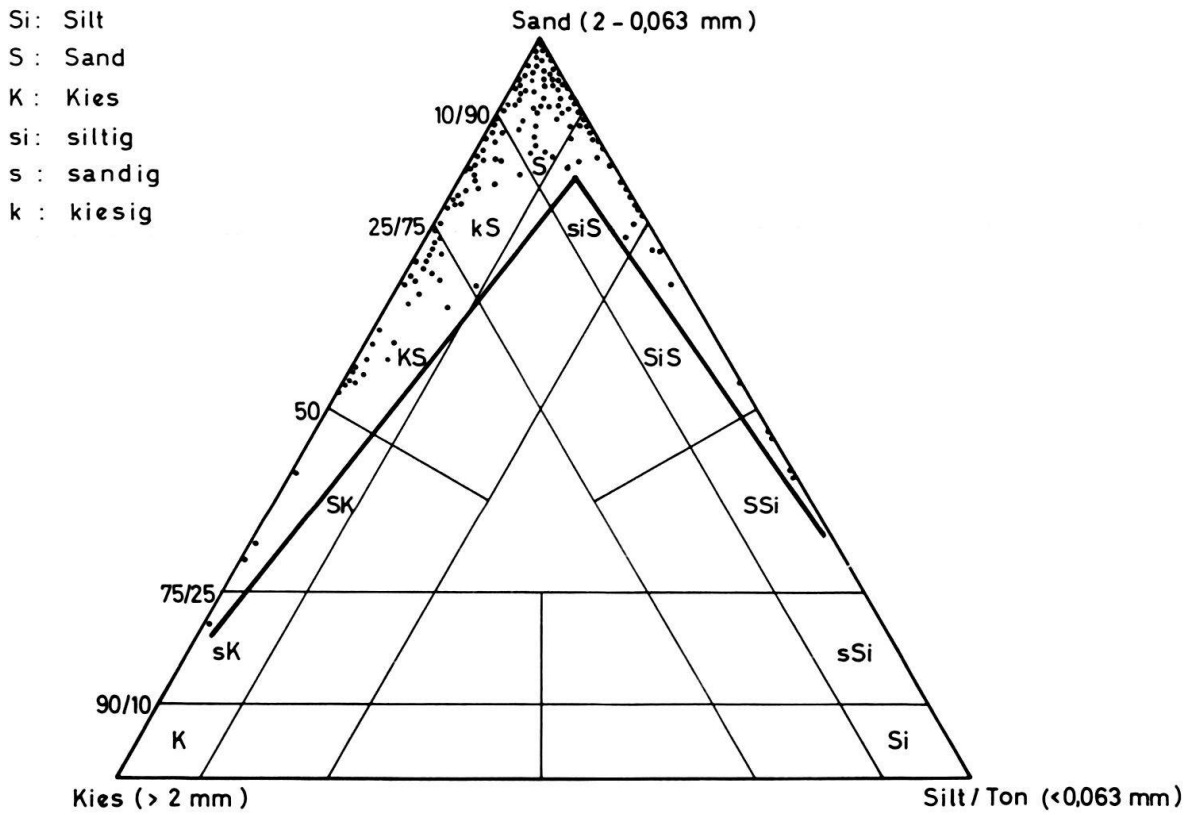

Fig. 2 Stoffdreieck Kies – Sand – Silt.

Ergebnisse

Das Verhältnis Kies: Sand: Silt

Eine erste Aussage über die Zusammensetzung der einzelnen Proben lässt sich aus dem prozentualen Gewichtsanteil des Kies-, Sand- und Silt/Ton-Bereiches machen, wobei unter Kies, Sand und Silt/Ton die Korngrössenbereiche >2 mm ($<-1\Phi$)[1]), 2–0,06 mm (-1–4Φ) und <0,06 mm ($>4\Phi$) verstanden werden. Für die Bezeichnung und den Vergleich mehrerer Sedimente eignet sich ein Stoffdreieck mit Eckpunkten Kies, Sand und Silt/Ton. Fig. 2 zeigt die Verteilung der vorliegenden Proben in diesem Stoffdreieck und gibt die Benennung von Mischsedimenten aus Kies, Sand und Silt/Ton.

Es zeigt sich, dass alle Proben nahe der Sand-Silt- und der Sand-Kies-Linie liegen. Sie enthalten stets weniger als 10 Gew. % der jeweiligen dritten Komponente.

[1]) Φ=griech. Phi ist der negative Logarithmus zur Basis 2 der Korngrössenmessung in mm (KRUMBEIN, 1934). Bei dieser Korngrössenskala hat die Korngrösse 1 mm den Φ-Wert 0, kleinere Korngrössen haben positive, grössere negative Φ-Werte.

Folgende Sedimenttypen treten bei den untersuchten Proben auf: Sand (S), siltiger Sand (siS), Siltsand (SiS), Sandsilt (SSi), kiesiger Sand (kS), Kiessand (KS), Sandkies (SK) und sandiger Kies (sK).

Eine Häufung der Punkte im Sandbereich ist offensichtlich. Es finden sich aber auch etliche Proben in den Bereichen siltiger Sand, kiesiger Sand und Kiessand. Der maximale Kiesanteil ist 79,07 Gew. % (Probe 186), der höchste Siltgehalt 62,59 Gew. % (Probe 68 B). Der maximale Tongehalt (<0,002 mm) beträgt 6,17 Gew. % (Probe 38) bei einem Siltanteil von 58,17 Gew. %. In den meisten Proben ist der Tongehalt aber wesentlich geringer, so dass fortan nur noch vom Siltanteil der Proben gesprochen wird, der immer einen geringen Tonanteil einschliesst.

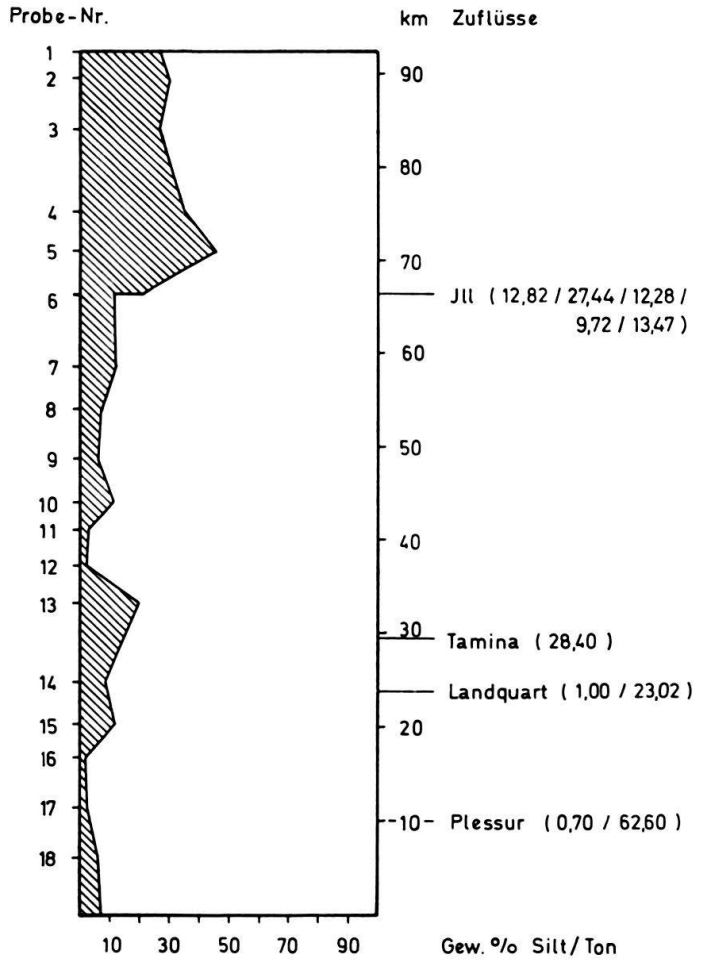

Fig. 3 Siltanteil im Rheinsediment.

Fig. 3 zeigt, wie mit zunehmendem Transportweg und abnehmendem Gefälle der Siltanteil im Rheinsediment ansteigt. Proben aus dem Oberlauf weisen Siltgehalte von 5–15 Gew. % auf, Proben aus dem Unterlauf nach Einfluss der Ill enthalten höhere Siltanteile von 25–35 Gew. % bei einem Tonanteil von <3 Gew. %. Die Ill beeinflusst die Flussbettsande des Rheins in starkem Masse, wie sich auch aus den übrigen Untersuchungen ergibt.

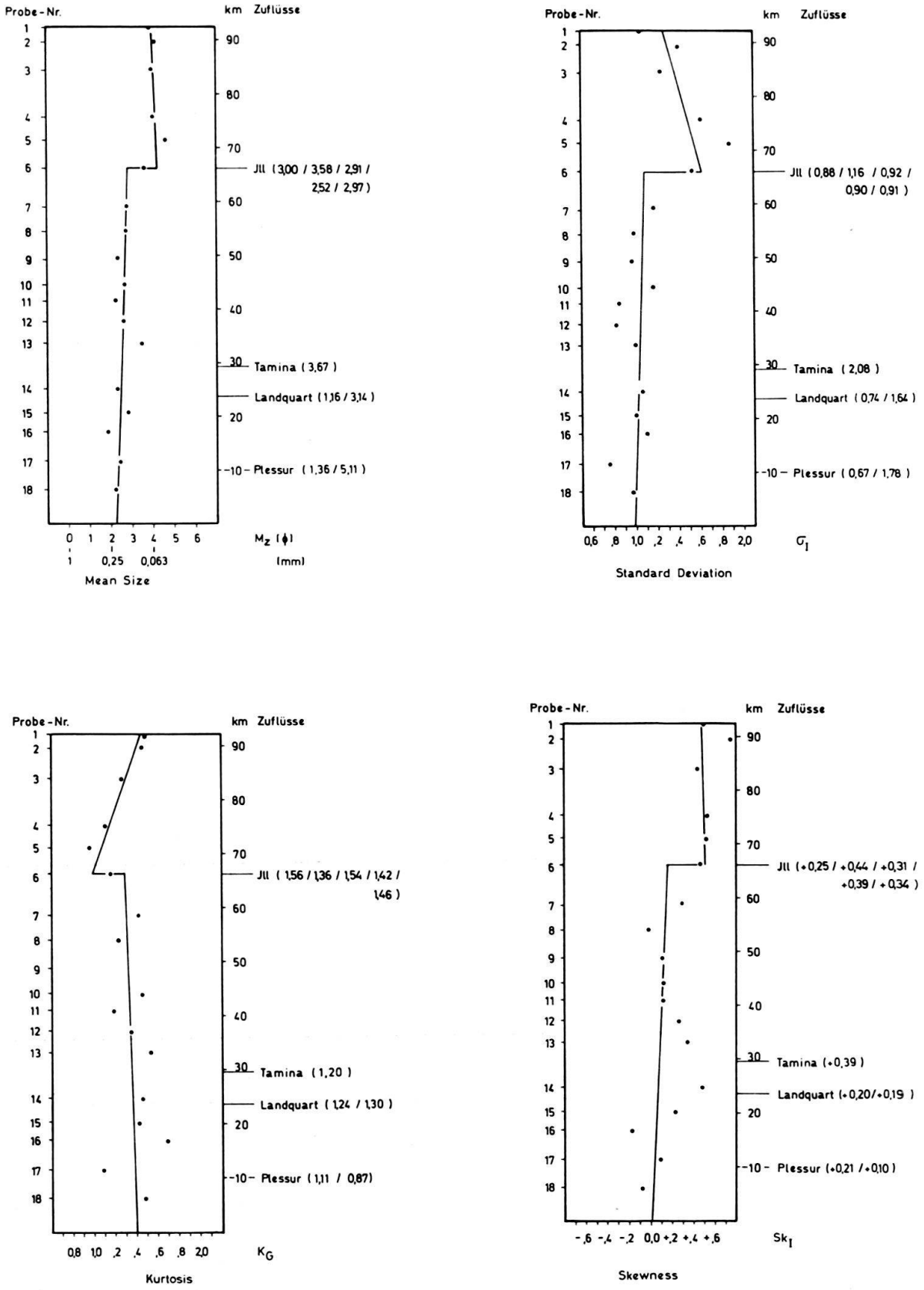

Fig. 4 Korngrössenparameter in Rheinsedimenten.

Korngrössenparameter

Aus den Ergebnissen der mechanischen Analysen wurden die Kornsummenkurven aufgezeichnet. Hierzu wurde ein Formblatt mit logarithmisch geteilter Abszisse (in Φ-Einheiten) und einer nach dem Gauss-Integral geteilten Ordinate verwendet. Die Summenlinie einer Gausschen Normalverteilung erscheint in diesem Netz als Gerade. Die Korngrössenverteilung eines natürlichen Sediments nähert sich einer Gausschen Verteilung. Verschiedene Autoren (FRIEDMAN, 1962 u.a.) diskutieren dieses Problem und weisen darauf hin, dass die meisten Sedimente keine normale Verteilung aufweisen. Eine bestimmte Art der Abweichung von der Normalität lässt eine Aussage über die Art des Ablagerungsraumes zu (Zusammenfassung bei FOLK, 1966).

Um die Summenlinien einer grösseren Anzahl von Proben miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig, kennzeichnende Parameter aus den Summenlinien abzuleiten. Im folgenden werden die Parameter verwendet, die FOLK and WARD (1957) für Korngrössengemische vorgeschlagen haben. Sie basieren auf der Geometrie der Normalkurve. Die einzelnen Parameter sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Es sind dies mean size M_Z, inclusive graphic standard deviation σ_I, inclusive graphic skewness Sk_I und graphic kurtosis K_G. Die zur Bestimmung dieser Parameter nötigen Percentilmasse werden graphisch den Summenlinien entnommen.

Tabelle 4 Parameter nach FOLK and WARD (1957). (Φ 5 bzw. Φ 16 usw. geben diejenigen Korngrösse an, bei der 5 bzw. 16% des Korngemisches kleiner als diese Korngrösse ist.)

$$M_Z = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3}$$

$$\sigma_I = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6{,}6}$$

$$Sk_I = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2\Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2\Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 5)}$$

$$K_G = \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{2{,}44(\Phi 75 - \Phi 25)}$$

Mean size

Der Parameter für die mittlere Korngrösse ist M_Z. Er variiert für die vorliegenden Flussande zwischen 5,27Φ (Probe 38) und $-1{,}61\Phi$ (Probe 186). Wie in Tabelle 5 zu ersehen ist, liegen die mittleren Durchmesser der meisten Proben zwischen 4Φ und -1Φ.

In Fig. 4 ist die mittlere Korngrösse M_Z der Proben aus dem Rhein entlang des Flussverlaufes aufgetragen. Es lässt sich deutlich eine leichte Abnahme der mittleren Korngrösse ersehen, die wohl weniger durch Abrasion des Materials als durch nachlassendes Gefälle bedingt ist. Mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit gelangen feinere Sedimente zum Absatz. Im Oberlauf des Rheins beträgt der mittlere Durchmesser etwa 2–3Φ, im unteren Teil nach Zufluss der Ill zwischen 3–5Φ. Die Ill ist in-

Tabelle 5 Statistische Auswertung der einzelnen Parameter.

			% aller Proben
Mean size M_Z (Φ)	< −1,01		2,2
	−1,00 – −0,01		12,0
	0,00 – 0,99		20,3
	1,00 – 1,99		21,2
	2,00 – 2,99		28,0
	3,00 – 3,99		10,6
	4,00 – 4,99		3,9
	>5,00		1,8
	Einteilung nach FOLK and WARD (1957)		
Standard deviation σ_I	< 0,35	very well sorted (vws)	0,4
	0,36 – 0,50	well sorted (ws)	1,3
	0,51 – 0,71	moderately well sorted (mws)	4,0
	0,72 – 1,00	moderately sorted (ms)	25,7
	1,01 – 2,00	poorly sorted (ps)	64,6
	2,01 – 4,00	very poorly sorted (vps)	4,0
Skewness Sk_I	−1,00 – −0,30	very negatively skewed (vns)	2,2
	−0,29 – −0,10	negatively skewed (ns)	14,6
	−0,09 – 0,09	nearly symmetrical (nsy)	30,5
	−0,10 – 0,29	positively skewed (ps)	34,1
	−0,30 – −1,00	very positively skewed (vps)	18,6
Kurtosis K_G	< 0,67	very platykurtic (vpk)	0,9
	0,68 – 0,90	platykurtic (pk)	11,5
	0,91 – 1,11	mesokurtic (mk)	34,5
	1,12 – 1,50	leptokurtic (lk)	43,4
	1,51 – 3,00	very leptokurtic (vlk)	9,7

folge ihrer höheren Strömungsgeschwindigkeit reich an Trübstoffen, die im Rhein zur Ablagerung gelangen. Die Abnahme des mittleren Durchmessers in den Rheinsanden geht parallel der Änderung des Siltanteiles (Fig. 3).

Die mittlere Korngrösse der Flussbettsande, die im Bodensee zur Ablagerung gelangen, liegt um 3,5–4,0Φ.

Standard deviation

Standard deviation σ_I ist ein Parameter für die Breite einer Kornverteilung und damit für die Sortierung eines Gemisches. Dieser Parameter ist für asymmetrische Verteilungen besonders geeignet, denn er berücksichtigt auch die Sortierung in den Randbereichen der Summenlinien.

Mit $\sigma_I = 0{,}32$ (Probe 72 A) und $\sigma_I = 2{,}64$ (Probe 42) sind die Extremwerte gekennzeichnet. Eine statistische Auswertung aller Proben bezüglich ihres Sortierungskoeffizienten ist in Tabelle 5 ersichtlich. Diese Tabelle zeigt auch die von FOLK and WARD (1957) angegebenen Sortierungsgrade. Danach sind über 90% aller Proben mässig bis schlecht sortiert.

In einer genetischen Sortierungsklassifikation gibt FRIEDMAN (1962) den Bereich für Flussandsortierungen ($M_Z > 1\Phi$) mit $\sigma_I = 0{,}35$–$1{,}40$ an. Für gröbere Flussande ($M_Z < 1\Phi$) liegt σ_I zwischen 0,80 und 2,00.
Die Sortierungen der vorliegenden Proben bestätigen diese Bereiche, die unteren Grenzen bei FRIEDMAN liegen jedoch etwas niedriger als unsere Werte. Als mittlerer Wert für die Sortierung der Flussbettsande des Alpenrheins ergibt sich ein Bereich von $\sigma_I = 0{,}70$–$1{,}80$.

In Fig. 4 sind die Sortierungswerte der Proben aus dem Rhein längs des Flusslaufes aufgetragen. Stromabwärts lässt sich eine leichte Abnahme der Sortierungswerte erkennen. Proben des Oberlaufes weisen Werte von $\sigma_I < 1{,}10$ auf, während Proben im Unterlauf – nach Zufluss der Ill – höhere Werte aufzeigen. Diese Verschlechterung der Sortierung stromabwärts ist auf die Abnahme des mittleren Durchmessers zurückzuführen. Wie FOLK and WARD (1957) nachwiesen, sind nicht nur σ_I sondern auch Sk_I und K_G korngrössenabhängig.

Den Bodensee erreichen im wesentlichen schlecht sortierte Sedimente mit $\sigma_I = 1{,}20$–$1{,}40$.

Skewness

Dieser Parameter ist ein Mass für die Symmetrie der Summenlinie eines Korngrössengemisches. Er markiert die Lage des mittleren Durchmessers M_Z hinsichtlich des Medians. Negative Werte für Sk_I besagen, dass M_Z auf der gröberen Seite des Medians zu finden ist. Positive Werte zeigen an, dass M_Z auf der feineren Seite des Medians liegt. Die Normalskurve hat den Wert $Sk_I = 0{,}00$. Die theoretischen Maxima sind $Sk_I = -1{,}00$ und $+1{,}00$.

Die Skewness-Werte der untersuchten Proben variieren zwischen $Sk_I = -0{,}89$ (Probe 136) und $Sk_I = +0{,}76$ (Probe 2). Eine statistische Auswertung der Symmetriekoeffizienten aller Proben ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Aus den Untersuchungen von FRIEDMAN (1961) geht hervor, dass Flussande meist positive Sk_I-Werte aufweisen, während Strandsande grösstenteils negative Sk_I-Werte haben. Die Asymmetrie einer Kornverteilung lässt also eine Aussage über die Art des Ablagerungsraumes zu.

Von den vorliegenden Proben weisen fast 70% Kornverteilungen mit positiven Sk_I-Werten auf, welche die Untersuchungen von FRIEDMAN zumindest teilweise bestätigen.

In Fig. 4 ist der Verlauf der Sk_I-Werte rheinabwärts aufgezeichnet. Mit zunehmendem Siltanteil im Sediment (Fig. 3) nehmen die positiven Werte zu. Grund hierfür ist die Korngrössenabhängigkeit des Skewness-Parameters.

Die den Bodensee erreichenden Flussande mit 25–35 Gew. % Siltanteil weisen Sk_I-Werte von $+0{,}30$–$+0{,}50$ auf.

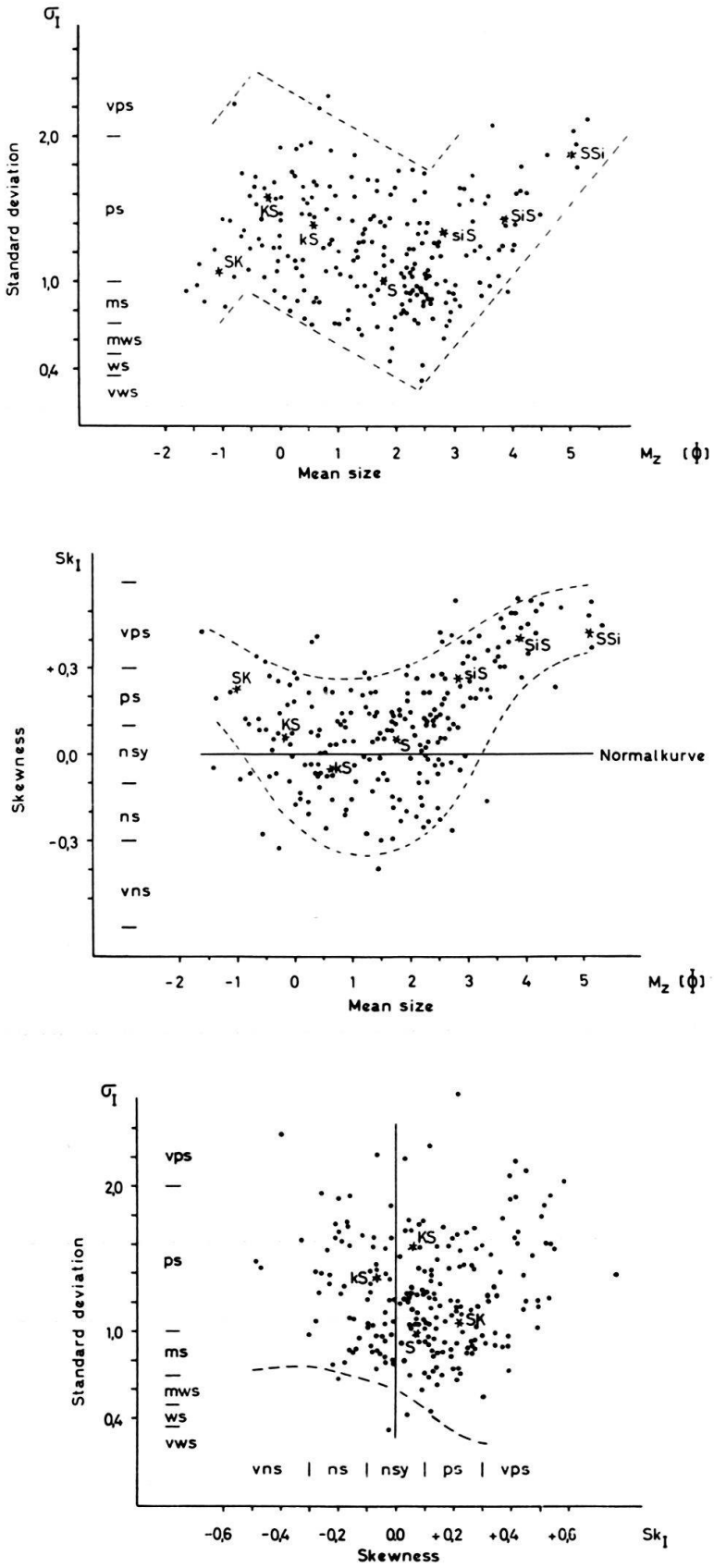

Fig. 5 Beziehungen zwischen den Parametern.

Kurtosis

Kurtosis gibt das Verhältnis von Sortierung in den Randbereichen zu Sortierung im zentralen Teil einer Kornverteilung an. Dieser Parameter ist wie der Skewness-Parameter ein Mass für die Abweichung einer Kornverteilung von der Normalität. Die Normalkurve hat den Wert $K_G = 1$. Die theoretische untere Grenze liegt bei $K_G = 0{,}41$, die obere nach FOLK and WARD (1957) erfahrungsgemäss bei etwa 5,00. Ein Wert $K_G > 1$ zeigt an, dass eine Verteilung im zentralen Bereich besser sortiert ist als in den Randbereichen. Wird $K_G < 1$, so ist die Sortierung in den Randbereichen besser als im zentralen Teil.

Extremwerte sind $K_G = 0{,}66$ (Probe 15 B und Probe 31) und $K_G = 2{,}59$ (Probe 7 B). Eine statistische Aufteilung nach den von FOLK and WARD (1957) gegebenen Grenzen geht aus Tabelle 5 hervor. Es ergibt sich, dass fast 80 % aller Proben Kurtosiswerte > 1 aufweisen.

In Fig. 4 ist der Verlauf der K_G-Werte rheinabwärts aufgetragen. Das Verhalten des Kurtosisparameters steht in engem Zusammenhang mit dem Siltanteil im Rheinsediment.

Die im Bodensee zur Ablagerung gelangenden Flussbettsande weisen Kurtosiswerte von $K_G = 1{,}20$–$1{,}40$ auf.

Beziehungen zwischen den Parametern

Obwohl die vier Korngrössenparameter in der Theorie geometrisch unabhängig voneinander sind, zeigen sich doch Beziehungen zwischen den einzelnen Massen, wie FOLK and WARD (1957) nachgewiesen haben. In Tabelle 6 sind die errechneten mittleren Parameterwerte für die verschiedenen Sedimenttypen zusammengefasst. Daraus geht hervor, dass sich mit abnehmender Korngrösse die Sortierungs-, Symmetrie- und Kurtosisparameter in charakteristischer Weise ändern. Diese Änderungen entsprechen ganz den Angaben von FOLK and WARD.

Tabelle 6 Mittlere Parameterwerte der verschiedenen Sedimenttypen.

	sK	SK	KS	kS	S	siS	SiS	SSi
M_Z (Φ)	−1,61	−1,03	−0,21	0,58	1,78	2,81	3,85	5,01
σ_I	0,92	1,06	1,58	1,39	1,01	1,34	1,41	1,87
Sk_I	+0,43	+0,22	+0,06	−0,07	+0,06	+0,23	+0,40	+0,41
K_G	1,17	1,08	0,97	1,04	1,17	1,46	1,25	0,78

Im weiteren wurden die einzelnen Werte von M_Z, σ_I, Sk_I und K_G in Diagrammen gegeneinander aufgetragen. Aus diesen Diagrammen sind die wichtigsten drei in Fig. 5 zusammengefasst. Die Abhängigkeit von Standard deviation σ_I und Skewness Sk_I von der mittleren Korngrösse M_Z ist trotz weiter Streuungen gut ersichtlich. Im dritten Diagramm sind Standard deviation- und Skewness-Werte gegeneinander aufgetragen. σ_I und Sk_I haben sich als ablagerungskritisch erwiesen. Dieses Diagramm

und andere wurden von FRIEDMAN (1967) dazu benutzt, Flussbett- und Strandsande auf Grund ihrer unterschiedlichen Werte zu trennen. Die Trennungslinie von FRIEDMAN ist in dieses Diagramm eingetragen. Es zeigt sich, dass diese Linie die untersuchten Flussbettsande sehr gut begrenzt. Das Feld von Strandsanden liegt jenseits dieser Linie.

TONMINERALANTEIL DER SEDIMENTE

Methodik

In siltreichen Proben wurden die teilweise recht geringen Tonfraktionen (<0,002 mm) in Atterbergzylindern abgeschlämmt. Ein Teil der gewonnenen Fraktion wurde zur röntgenographischen Untersuchung in Texturpräparate mit einem bei MÜLLER (1964b) beschriebenen Zentrifugeneinsatz in einer Laborzentrifuge weiterverarbeitet.

Die anschliessenden röntgenographischen Untersuchungen wurden mit einem registrierenden Zählrohrgoniometer der Firma Philips ausgeführt.

Im Bereich hoher d-Werte waren in allen Texturpräparaten drei starke Reflexe zu finden:

a) starker Reflex bei d = 14 Å
b) sehr starker Reflex bei d = 10 Å
c) sehr starker Reflex bei d = 7 Å

Anschliessend wurden dieselben Präparate auf quellfähige Tonminerale mit Äthylenglykol untersucht. Es ergab sich, dass keine Probe quellfähige Tonminerale enthält.

Der 14 Å-Reflex ergibt sich aus der Anwesenheit von Chloriten. Bei d = 4,7 Å wurde ein mittlerer Reflex als Chlorit (003) bestimmt. An texturfreien Präparaten trat Chlorit (060) mit d = 1,54 Å auf.

Der sehr starke 10 Å-Reflex ergibt sich aus der Anwesenheit von glimmerähnlichen Tonmineralen. Die (060)-Reflexe an texturfreien Präparaten lassen erkennen, dass sowohl trioktaedrische Tonglimmer (Biotit – Ledikit) als auch dioktaedrische (Muskovit-Illit) auftreten. Mengenmässig sind die trioktaedrischen Tonglimmer weniger häufig als die dioktaedrischen.

An texturfreien Präparaten konnte der (060)-Reflex von Kaolinit nicht ermittelt werden. Dasselbe Ergebnis erbrachte «transmission»-Aufnahmen an Texturpräparaten.

Nach der Methode von ANDREW, JACKSON and WADA (1969) wurde dann versucht, vielleicht vorhandene geringe Mengen von Kaolinit neben Chlorit nachzuweisen. Kaolinit erfährt beim Zerreiben mit Kaliumacetat (CH_3COOK) eine Gitterdehnung längs der c-Achse auf 14 Å. Anschliessendes Waschen des Tones in NH_4NO_3-Lösung verändert den Basalabstand des Kaolinitkomplexes auf 11,6 Å. Die Chlorite werden bei dieser Behandlung nicht verändert. Auch diese Untersuchungsmethode ergab an einigen Tonen des Rheins keinen Hinweis für das Vorhandensein von Kaolinit.

Im folgenden soll versucht werden, zu einer genaueren Identifizierung der Chlorite zu kommen, soweit dies bei den vorliegenden Chloritmischungen möglich ist.