

Lithologische Untersuchungen an den Sanden der Kirchberger-Karnerberger-Zwischenserie (Pannon C, Steirisches Becken)

Von **Wolfdietrich Skala** *), Graz

Gedruckt mit Unterstützung der Steiermärkischen Landesregierung.

Mit 1 Tafel, 12 Abbildungen und 2 Tabellen.

I. Einleitung

Die Ablagerungen des Pannon stellen nach K. KOLLMANN 1964: 482 im Steirischen Becken eine ausgedehnte, aber relativ geringmächtige oligohaline bis limnisch-fluviatile Schichtfolge dar. Sie erreichen (1964: 484) in den Muldenbereichen des Gnaser und Fürstenfeld-Fehringinger Teilbeckens eine maximale Mächtigkeit von 300 bzw. >600 m. Den Hauptteil der von K. KOLLMANN 1964 untersuchten zentralen Teile des Steirischen Beckens nimmt die Zone C des Unterpannon ein, deren (1964: 576) klimatisch gesteuerte Sedimentation sich in einer mehrfachen Wiederholung fluviatiler Schotter und feinklastischer Sande und Tone ausdrückt:

Sandige Hangendserie
Schemerlschotter
Sandige Zwischenserie
Karnerbergschotter
Sandige Zwischenserie
Kirchberger Schotter
Sandige Zwischenserie
Kapfensteiner Schotter

Mit der Bezeichnung „Kapfensteiner Schotter“ übernimmt K. KOLLMANN einen älteren, von A. WINKLER 1927: 426 geprägten Begriff. A. WINKLER-HERMADEN 1957: 132 faßt die Kapfensteiner Schotter als Absätze eines Systems von Flußläufen auf und bezieht die Quarz und Kristallin, aber auch Sandsteine und Porphyre, in Ausnahmefällen Karbonatgesteine führenden Schotter aus der SW-, NW- und N-Umrahmung des Steirischen Beckens. K. KOLLMANN 1964: 588 stellt die Schotter dagegen als flächenhaft ausgebreitete Platte dar, die, wie auch die Untersuchungen von K. NEBERT

*) Anschrift des Verfassers: Dr. Wolfdietrich Skala, Universität Graz, Institut für Geologie und Paläontologie.

1952 in der Pöllauer Bucht zeigen, in aus den Alpen kommenden Schuttfächern wurzeln.

Während die Eigenständigkeit des Kirchberger Schotterers erst von K. KOLLMANN 1960: 166 erkannt wurde, werden die Schotter des Karnerbergniveaus bereits von A. WINKLER 1927: 433—434 dargestellt und aus der W-Begrenzung des Steirischen Beckens bezogen.

Die Schemerlschotter, deren petrographische Zusammensetzung im Raum um Laßnitzhöhe von J. HANSELMAYER 1959, 1960 studiert wurde, zeigen unter anderem eine Abnahme ihrer Kalkgeröllführung in südlicher Richtung. K. KOLLMANN 1964: 597 schließt daher auf eine Schüttung der Schotter aus dem Norden.

Genauere Bearbeitungen über Herkunft und Entstehung der nach K. KOLLMANN 1964: 600 limnischen tonig-sandigen Sedimente der Zwischenserien fehlen bisher.

Die nachfolgenden Untersuchungen konzentrieren sich auf die sandig-tonige Serie zwischen Kirchberger und Karnerbergschotter. Als geologische Grundlage dazu diente die Karte der zentralen Teile des Steirischen Beckens, K. KOLLMANN 1964: Taf. 2, deren Umgrenzung der Ausdehnung des Arbeitsraumes entspricht.

II. Die Kreuzschichtung

Wie bereits A. WINKLER 1927, W. BRANDL 1931, und K. NEBERT 1951 und 1952 feststellten, zeigen die Sande des Pannon im Steirischen Becken meist eine deutlich erkennbare Kreuzschichtung.

Das Grundelement des Kreuzschichtengefüges stellt das geneigte Kreuzschichtungs-Leeblatt (cross-lamina, cross-stratum E. D. MCKEE & G. W. WEIR 1953: 382, foreset bed P. E. POTTER & F. J. PETTIJOHN 1963: 69) dar, dessen Form und Neigungswinkel von verschiedenen Faktoren (A. VAN BURKALOW 1945, A. V. JOPLING 1965 a: 778) abhängig sein kann.

Kreuzschichtungskörper (P. WURSTER 1958: 322, 1964: 24; set of cross-strata E. D. MCKEE & G. W. WEIR 1953: 382—383; cross bedded unit F. J. PETTIJOHN 1957: 165) werden aus Serien lamellenartig angeordneter Leeblätter gebildet, deren mittlere Korngröße rhythmische Schwankungen zeigen können (S. BASUMALLICK 1966). Im Aufschlußbereich sind im allgemeinen mehrere Kreuzschichtungskörper sichtbar, die voneinander durch ebene oder gekrümmte Erosionsflächen (vgl. später) getrennt werden (coset of cross-strata E. D. MCKEE & G. W. WEIR 1953: 384).

Kreuzgeschichtete Sedimente sind aus verschiedenen Ablagerungsräumen bekannt (P. E. POTTER & F. J. PETTIJOHN 1963: Tab. 1—4). Für die folgenden Untersuchungen erwies sich als wesentlich, Informationen über ihre Bildung in Flüssen zu sammeln.

Kreuzschichtungskörper entstehen aus mit der Strömung wandernden Dünen, indem Sand über den flach geneigten Luvhang herangebracht und in Lamellen an der Leeseite abgelagert wird. Strömungsphysikalische Erklärungen für die Entstehung des Dünenlängsschnittes geben F. M. EXNER 1925: 168—169, J. F. KENNEDY 1963 u. a.

Entsprechend D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON & C. F. NORDIN jr. 1965: 47 ist die Bildung von Dünen in Flußgerinnen von verschiedenen strömungsphysikalisch bedeutsamen Faktoren abhängig. Eine wirklich zufriedenstellende Theorie, mit deren Hilfe sich die Entstehung von Dünen exakt voraussagen läßt, bzw., die erlaubt, aus Dünen (Kreuzschichtungskörpern) auf die Parameter des Strömungsregimes zurückzurechnen, gibt es noch nicht (vgl. L. I. BRIGGS & G. V. MIDDLETON 1965: 16).

Dennoch ergeben sich annähernde Aussagen über die während der Bildung von Dünen herrschenden hydrodynamischen Bedingungen aus zahlreichen Laboratoriumsversuchen.

Nach D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON & M. L. ALBERTSON 1961: 73 entstehen im Strömungskanal typische Dünenkörper bei Reibungswerten von $C/g = 7,4$ bis $12,8$ ($C =$ Chézy-Koeffizient) bzw. bei einer Froude'schen Zahl von $0,38$ bis $0,60$ und somit in strömendem Wasser (lower flow regime).

Zudem ist nach D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON & C. F. NORDIN jr. 1965: Abb. 21 die Entstehung von Dünen an bestimmte Bereiche in der Beziehung

Schleppkraft : Mittlerer Falldurchmesser des Materials der Gewässersohle gebunden.

Nach J. R. L. ALLEN 1963 a: 191, Abb. 1 können Kreuzschichtungskörper vom Typus der straight, lunate und linguoid form mit ebenen, konkaven oder konvexen Leeblättern unterschieden werden (vgl. E. D. MCKEE & G. W. WEIR 1953: 388).

Die Leeblätter sind im Arbeitsgebiet fast durchwegs konkav, selten eben und zeigen somit die auch von P. WURSTER 1958, 1964 beobachtete schaufelförmige Krümmung. Der Kontakt der Leeblätter mit den unterlagernden Erosionsflächen ist im Längsschnitt durch die Kreuzschichtungskörper im allgemeinen tangential, seltener angular (Abb. 1).

Wie A. V. JOPLING 1965 a an Hand von Versuchen im Strömungskanal zeigen konnte, tritt bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten und geringeren Wassertiefen eher tangentialer, als angularer Kontakt auf.

Die untersuchten kreuzgeschichteten Sande im Pannon C des Steirischen Beckens zeigen als Kreuzschichtungsform vorwiegend den Typus der

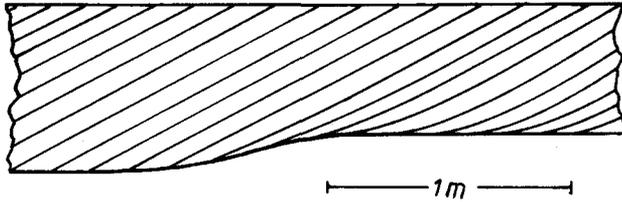


Abb. 1:

Angularer (links) und tangentialer (rechts) Basiskontakt von Kreuzschichtungsleblättern. Strömungsrichtung von rechts nach links.

trough cross-stratification (large-scale) im Sinne von J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 93. Kreuzschichtungskörper von der Art der tabular cross-stratification wurden selten beobachtet (Abb. 2).

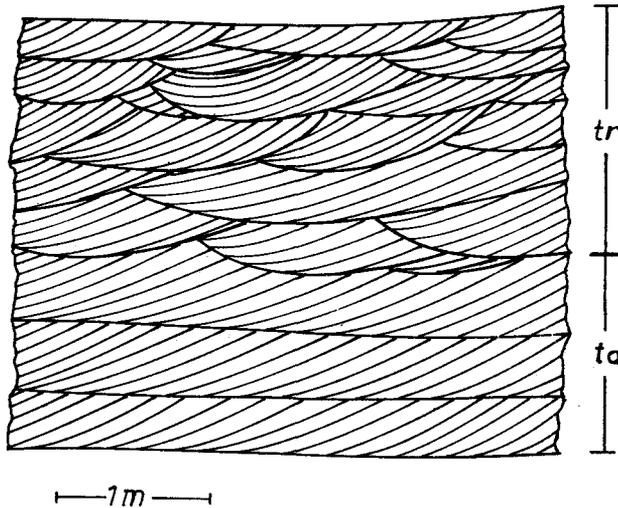


Abb. 2:

Kreuzschichtungskörper vom Typus der trough cross-stratification (tr) und tabular cross-stratification (ta). Strömungsrichtung von rechts nach links.

1) trough cross-stratification (large-scale)

(= festoon crossbedding D. E. FRAZIER & A. OSANIK 1961: 124, Pi-cross-stratification J. R. L. ALLEN 1963 b: 110—111, schaufelförmiger Typ der Schrägschichtung K. L. GAURI & J. KALTERHERBERG 1966: 128).

Das Kreuzschichtungsgefüge dieses Typus besteht aus Kreuzschichtungskörpern, die aneinander längs (meist löffelförmig) gekrümmter Erosionsflächen grenzen.

Nach den Feststellungen von J. R. L. ALLEN 1963 a: 220 entsteht diese Kreuzschichtungsform aus einander überwandernden Dünen (linguoid, lunate dunes). Dieser Vorstellung entsprechen die Annahmen P. WURSTER's 1964:25.

D. E. FRAZIER & A. OSANIK 1961: 136, J. C. HARMS, D. B. MACKENZIE & D. G. McCUBBIN 1963 und J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965 zeigen dagegen, daß sich die gebogenen Grenzflächen innerhalb der Dünenfelder aus löffelförmigen Mulden bilden, deren Längsachsen in der Strömungsrichtung des Flusses liegen. Diese länglichen Vertiefungen werden von Wirbeln ausgekolkt, die jedoch (J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 103) keinen Zusammenhang mit den an der Leeseite des Dünenprofils auftretenden Turbulenzen aufweisen. In der Folge werden die Vertiefungen durch das Material stromabwärts wandernder Dünen ausgefüllt.

Zu diesem Vorgang kommt es nach D. E. FRAZIER & A. OSANIK 1961: 135 bei etwa mittlerem Niederwasserstand.

Detailstudien am Kreuzschichtungsgefüge vom Typus der trough cross-stratification wurden nach der Methode P. WURSTER 1958: 325—326 an mehreren Aufschlüssen durchgeführt. Die Auswertung der Meßdaten erfolgte im Normalnetz (Polpunktdarstellung) und erbrachte folgendes:

1) Die linsenförmigen Kreuzschichtungskörper zeigen den durch P. WURSTER 1958 im süddeutschen Schilfsandstein ermittelten Aufbau aus schaufelförmigen Leebältern (Abb. 3). Auch mit den von P. REICHE 1938: Abb. 1, 5, 6 und P. E. POTTER & F. J. PETTIJOHN 1963: Abb. 4—3—1 im Diagramm dargestellten Kreuzschichtungskörpern stimmen sie gestaltlich überein.

2) Die Längsachsen der Kreuzschichtungskörper liegen im Aufschlußbereich meist parallel zueinander (Abb. 3). Diese Folgerung deckt sich mit der von P. WURSTER 1964: 25 getroffenen Feststellung. In einigen Aufschlüssen schien dieses Gesetz zunächst keine Gültigkeit zu haben. Die genauere Untersuchung zeigte jedoch, daß sich in diesen Fällen (meist zwei) größere Bereiche mit parallelen Längsachsen ermitteln lassen.

3) In Aufschlußwänden, die die Kreuzschichtungskörper vom Typus der trough cross-stratification parallel zu deren Längsachsen schneiden, ließ sich feststellen, daß der basale Kontakt der Kreuzschichtungsleebälter durchwegs tangential ist.

Die aus der Literatur (J. C. HARMS, D. B. MACKENZIE & D. G. McCUBBIN 1963, J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965 u. a.) bekannten Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen an rezenten Flußsedimenten lassen, auf die Ablagerungen des untersuchten Sandhorizontes im Pannon C des Steirischen Beckens angewandt, folgende Schlüsse zu:

1) Die Längsachsen der Kreuzschichtungskörper liegen parallel der lokalen Strömungsrichtung des Flusses.

2) Die meist strenge Parallelität der Längsachsen im Aufschlußbereich spricht für die Annahme einer konstanten Fließrichtung in jenem Teil des Flusses, in dem es zur Entstehung der schaufelförmigen Kreuzschichtung kommt.

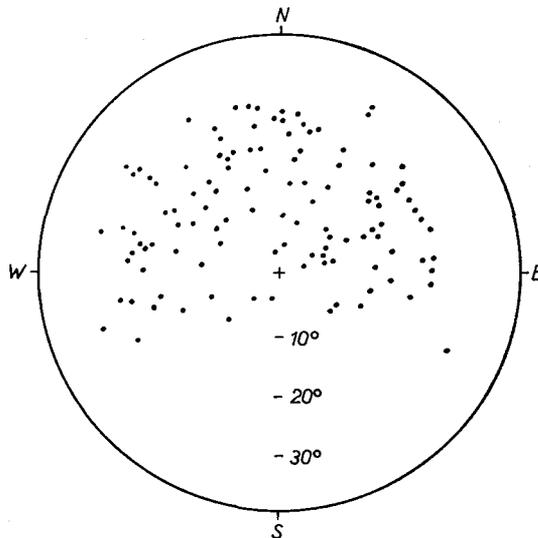


Abb. 3:
Linsenförmiger Aufbau von Kreuzschichtungskörpern

Konstanter innerer und äußerer Aufbau der Kreuzschichtungsleeblätter und Parallelität deren Längsachsen gestatteten es, die zur Zeit der Sedimentation im Aufschlußbereich herrschende lokale Fließrichtung auf einfachem Wege zu ermitteln:

Die im Aufschluß an Kreuzschichtungsleeblättern gewonnenen Meßdaten wurden im Normalnetz als Polpunkte dargestellt und mittels der von P. WURSTER 1964: 26 entwickelten „Gefüge-Maske“ ausgewertet. Dabei zeigte es sich, daß man im allgemeinen mit einer relativ geringen Anzahl von Messungen (8—12) das Auslangen findet.

Auf diesem Wege wurde an insgesamt 282 Aufschlüssen (Sandgruben, Wegböschungen etc.) in der sandigen Serie zwischen Kirchberger- und Karnerbergschotter die lokale Fließrichtung ermittelt. Die geographische Lage der Aufschlüsse ist aus Taf. 1 ersichtlich. Die eingetragenen Richtungspfeile geben die mittels der „Gefüge-Maske“ festgestellten Fließrichtungen an. Die Karte erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit der zur Ermittlung der Fließrichtung verwertbaren Aufschlüsse. Es wurde viel-

mehr getrachtet, ein möglichst gleichmäßiges Netz von Beobachtungspunkten (1—3 Aufschlüsse pro km²) für das gesamte Untersuchungsgebiet zu bilden.

Aus den in 282 Aufschlüssen festgestellten lokalen Fließrichtungen wurde nach mehreren Methoden der Mittelwert der Sedimentationsrichtung für den gesamten Sandhorizont berechnet.

Die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes nach der Methode von W. H. WOOD & R. M. WOOD 1966 erbrachte 135,1° (min mean) bzw. 131,2° (secondary mean).

Ein Chi-Quadrat-Test nach J. W. TUKEY 1954, erläutert bei P. W. HARRISON 1957 bzw. D. S. N. RAJU, C. N. RAO & B. K. SENGUPTA 1965, ergab als bevorzugte Sedimentationsrichtung 129°. Das gleiche Resultat lieferte die Berechnung des Vektormittelwertes (vector mean, P. E. POTTER & F. J. PETTIJOHN 1963: 264, F. J. PETTIJOHN, P. E. POTTER & R. SIEVER 1965: 149—150), dessen Varianz (5787) und Standardabweichung (76°) innerhalb des nach P. E. POTTER & F. J. PETTIJOHN 1963: 88—89 für fluviatile Ablagerungen charakteristischen Streuungsbereiches liegen.

Die nur wenig differierenden Ergebnisse der Mittelwertberechnungen lassen die Annahme einer Schüttung der Sande aus der NW-Umrahmung des Steirischen Beckens in südöstlicher Richtung als gerechtfertigt erscheinen.

Die 1966 (W. SKALA 1966: 231) geäußerte Ansicht findet dadurch ihre Bestätigung.

Der in der sandigen Serie zwischen Kirchberger und Karnerbergschotter bestimmte Mittelwert der Sedimentationsrichtung stimmt im Großen gesehen mit der heutigen allgemeinen Entwässerungsrichtung in diesem Raum gut überein.

Die an Kreuzschichtungsleebältern gemessenen Einfallswinkel schwanken im untersuchten Bereich zwischen 12 und 35°. Der aus ca. 3000 Messungen berechnete mittlere Einfallswinkel der Leebälter beträgt 21,5°.

Untersuchungen über die Mächtigkeit der Kreuzschichtungskörper konnten in 82 Aufschlüssen nach folgenden Gesichtspunkten durchgeführt werden:

Die maximalen Mächtigkeiten aller (meist 15—20) von einer vertikalen Hilfslinie in der Aufschlußwand durchschnittenen Kreuzschichtungskörper wurden gemessen. Bei der Wahl der Hilfslinie war zu trachten, möglichst einen für den Aufschluß extrem mächtigen und extrem geringmächtigen Schrägschichtungskörper zu erfassen (Abb. 4).

Es folgte für jeden Aufschluß die Berechnung der mittleren maximalen Mächtigkeit der Kreuzschichtungskörper. Die ermittelten Werte lassen untereinander keine Zusammenhänge erkennen.

Die Mächtigkeitsmessungen aus dem gesamten Arbeitsgebiet gelangten im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz zur Darstellung (Abb. 5). Es zeigte sich dabei, daß ihre Häufigkeitsverteilung annähernd logarithmisch normal ist. Dieses Ergebnis entspricht den auf Grund ähnlicher Untersuchungen getroffenen Feststellungen von W. SCHWARZACHER 1953: 329, B. TOHILL & M. D. PICARD 1966: 2560 u. a.

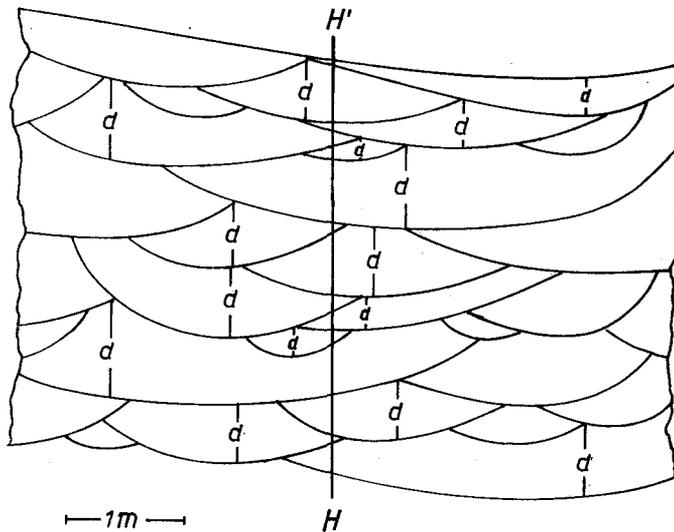


Abb. 4:

Mächtigkeitsuntersuchungen an Kreuzschichtungskörpern. H-H': Hilfslinie; d: maximale Mächtigkeit eines Kreuzschichtungskörpers. Strömungsrichtung senkrecht zur Tafelenebene.

In den Aufschlußwänden lassen sich mitunter Folgen übereinanderliegender Kreuzschichtungskörper erkennen, die eine allmähliche Mächtigkeitsabnahme vom Liegenden ins Hangende aufweisen. Eine mehrmalige rhythmische Wiederholung solcher Folgen konnte in einigen Aufschlüssen festgestellt werden (Abb. 6).

Nach den experimentellen Untersuchungen von W. SCHWARZACHER 1953: 325—326 ist die Mächtigkeit der Kreuzschichtungskörper proportional der zugeführten Sedimentmenge. Überträgt man dieses Ergebnis auf die im Arbeitsgebiet stellenweise beobachteten rhythmischen Mächtigkeitschwankungen, so gelangt man für diese Fälle zur Annahme rhythmisch gesteuerter Sedimentzufuhr. Beziehungen zwischen mittlerer Korngröße und Mächtigkeit eines Kreuzschichtungskörpers scheinen jedoch, entgegen den Feststellungen von W. SCHWARZACHER 1953: 325, nach den bisherigen Untersuchungen nicht zu bestehen.

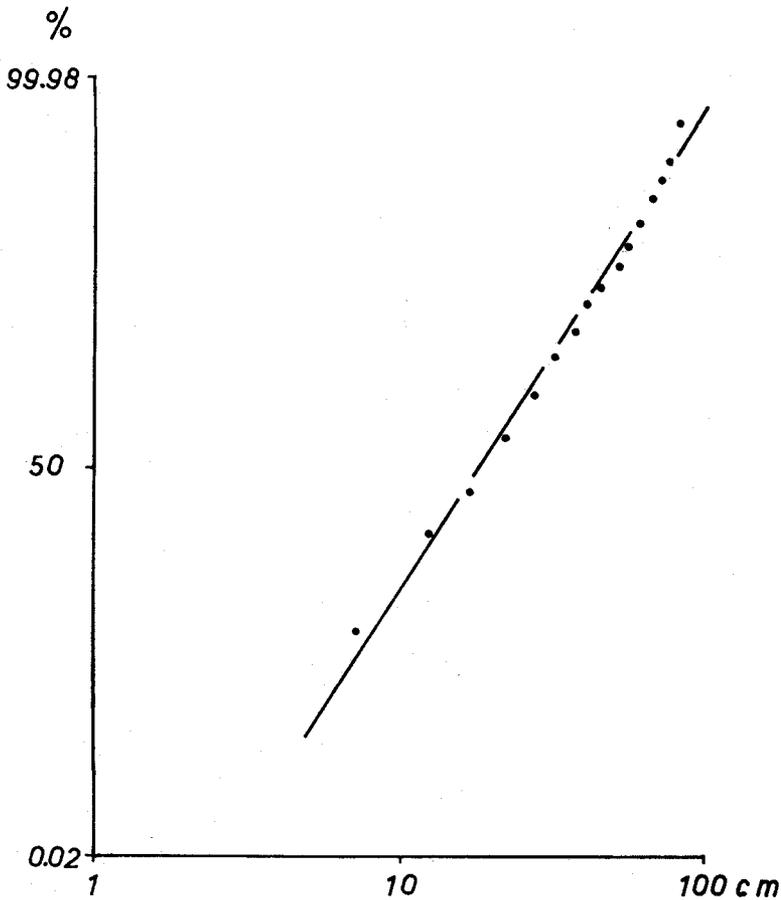


Abb. 5:

Häufigkeitsverteilung der an Kreuzschichtungskörpern gemessenen maximalen Mächtigkeiten im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz.

Mitunter konnten an Kreuzschichtungskörpern Verformungsstrukturen studiert werden:

1) Belastungsmarken (load casts, vgl. F. J. PETTIJOHN & P. E. POTTER 1964: Taf. 53 A) sind z. B. in der Sandgrube Schwarz, Aufschluß A, NW Siegersdorf bei Studenzen zu beobachten. Sie treten hier an der Sohlfläche einer Kiesbank auf, die von 10—25 cm horizontal geschichtetem Feinsand (Mittl. Korn- ϕ 3,30 Phi *) unterlagert wird (Abb. 7).

2) Das Liegende der Feinsande bilden kreuzgeschichtete Mittelsande (Mittl. Korn- ϕ 1,31 Phi). Die Leebblätter eines ca. 20—30 cm mächtigen

*) Angaben über Korngrößen in Phi-Graden

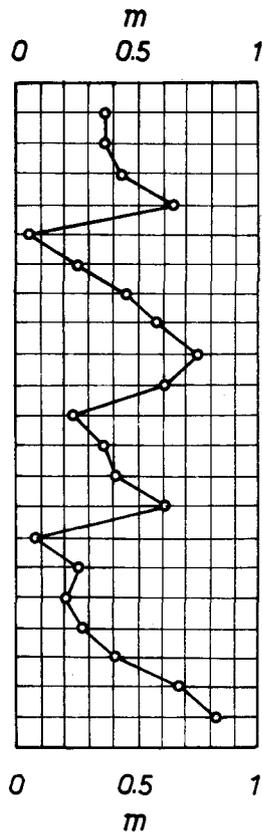


Abb. 6:

Rhythmische Mächtigkeitschwankungen von Kreuzschichtungskörpern.

Kreuzschichtungskörper, der von der Aufschlußwand parallel zu seiner Längsachse angeschnitten wird, zeigen einen stark gestörten Verlauf (Abb. 7) (convolute bedding, vgl. T. HAYASHI 1960: Abb. 7) und sind in ihren höheren Teilen zum Teil überkippt (overturned cross bedding, vgl. J. C. HARMS, D. B. MACKENZIE & D. G. McCUBBIN 1963: Taf. 4 D). Derartige Strukturen treten nach J. C. HARMS, D. B. MACKENZIE & D. G. McCUBBIN 1963: 577 in erster Linie in fluviatilen Ablagerungen auf.

Ähnliche Verformungsstrukturen sind auch in den Sandgruben Frauenberg, N Krennach, Aufschl. B; Brentakogel, Aufschl. C und Wagnerberg, NE Schloß Kornberg bei Feldbach, Aufschl. D festzustellen. In der letzteren Sandgrube zeigen die Leeblätter eines Kreuzschichtungskörpers intensive Feinfältelung (Abb. 8, vgl. D. E. FRAZIER & A. OSANIK 1961: Abb. 10).

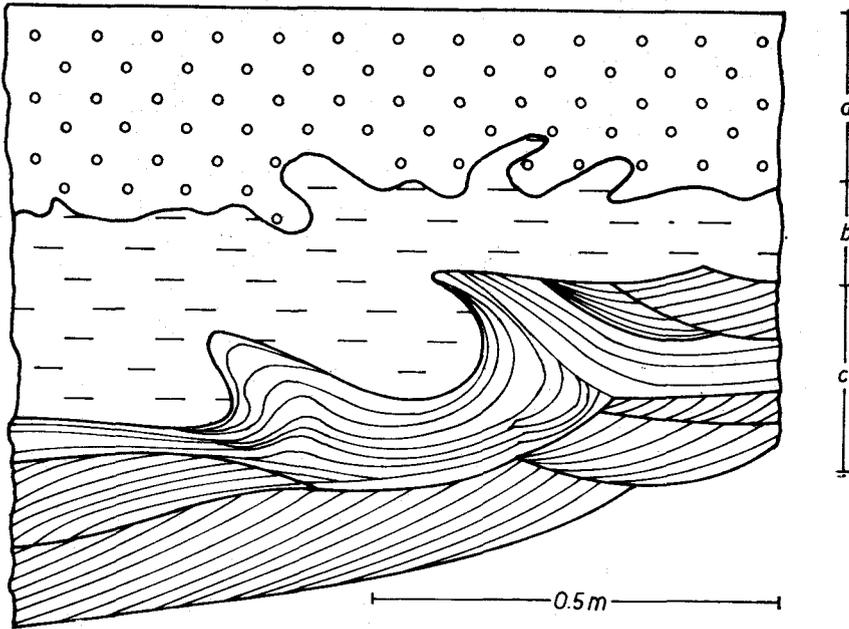


Abb. 7:

Aufschlußbild aus der Sandgrube Schwarz (Aufschluß A):
 a: Kiesbank, b: horizontal geschichtete Feinsande. Belastungsmarken an der
 Sohlfläche von a. c: Kreuzgeschichtete Sande.. Die Leeblätter eines Kreuz-
 schichtungskörpers sind in ihrem Verlauf gestört (convolute bedding).
 Strömungsrichtung von rechts nach links.

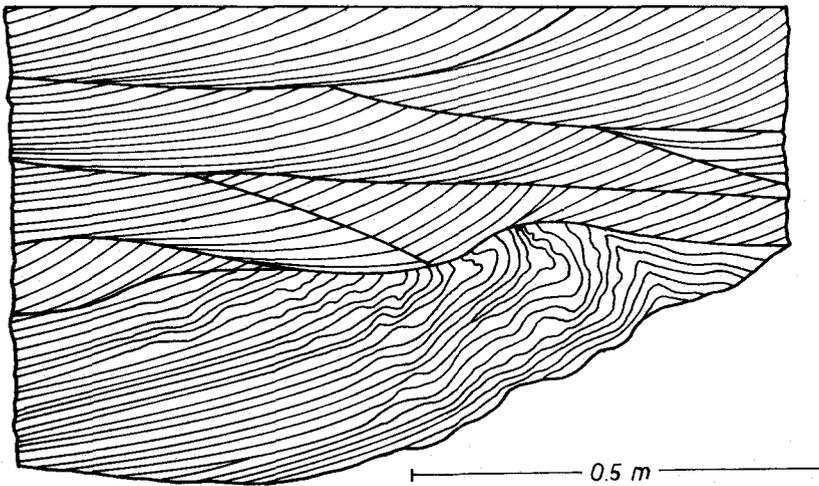


Abb. 8:

Aufschlußbild aus der Sandgrube Wagnerberg (Aufschluß D):
 Feinfältelung der Leeblätter eines Kreuzschichtungskörpers. Strömungs-
 richtung von rechts nach links.

A. WINKLER 1927: Abb. 8 bildet Sedimentstrukturen ab, die er jedoch fälschlicherweise als Rippelmarken deutet. Es handelt sich dabei offensichtlich um gestörte Schichtung vom Typus convolute bedding.

Da Strukturen vom Typus „convolute bedding“ stets an einzelne Kreuzschichtungskörper gebunden sind, während die benachbarten Schichten meist ungestört sind, ist anzunehmen, daß sie während oder nach der Sedimentation des betreffenden Kreuzschichtungskörpers entstehen (D. E. FRAZIER & A. OSANIK 1961: 135).

2) tabular cross-stratification (J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 95; tafelförmiger Typ der Schrägschichtung K. L. GAURI & J. KALTERHERBERG 1966: 128).

Das Gefüge vom Typus der tabular cross-stratification besteht aus Kreuzschichtungskörpern, die von ebenen, zueinander parallelen Erosionsflächen begrenzt werden. Nach J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 104 ist die Kreuzschichtung dieses Typs am stromabwärtigen Ende von Sandbänken an den Gleithängen von Flußbiegungen (point-bars) zu beobachten. Ihre Bildung aus stromabwärts wandernden Sanddünen mit geraden, senkrecht zur Strömung verlaufenden Kämmen beobachtet A. SUNDBORG 1956: 270—272 (transverse bars). Auch J. H. STEWART 1961: 127 und J. P. McDOWELL 1960: 1925 ziehen diese Entstehungsart in Betracht.

Tafelförmige Kreuzschichtungskörper sind im Untersuchungsgebiet sehr selten ausgebildet und nur in wenigen Aufschlüssen zu beobachten. Sie treten meist als einzelne Kreuzschichtungskörper (Alpha-, Beta-, Epsilon-cross-stratification J. R. L. ALLEN 1963 b: 101—104) innerhalb schaufelförmig kreuzgeschichteter Sande auf und bilden dann relativ grobkörnige Lagen (K. L. GAURI & J. KALTERHERBERG 1966: 128).

Der basale Kontakt der Kreuzschichtungsblätter ist tangential oder angular, die Mächtigkeit der Kreuzschichtungskörper schwankt zwischen 3 und 95 cm.

In der Sandgrube Lichtenegg, Aufschluß E, 2 km SE Schloß Erko, wurden die Korngrößenverteilungen einzelner Kreuzschichtungsblätter studiert (Abb. 9). Die Kreuzschichtungsblätter (foresets) zeigen hier durchwegs tangentialen basalen Kontakt und lassen sich über ihren basalen Krümmungsbereich (toeset) hinaus in dünne, horizontale Basisblätter (bottomset) weiterverfolgen.

Der mittlere Korndurchmesser nimmt im Kreuzschichtungsblatt bis in die Nähe des basalen Kontaktbereiches zu. Von der unmittelbaren Umbiegungsstelle (toeset) an ist entlang der bottomset-Lamelle eine allmähliche Kornverfeinerung festzustellen (Tab. 1).

Die Einfallswinkel der Leebblätter betragen im Untersuchungsgebiet 20—30°, die Dicke der einzelnen Rippelkörper schwankt zwischen 0,3 und 4,2 cm.

In ihrer Ausbildung entspricht die Rippelschichtung dem Typus 1 von R. G. WALKER 1963: 175—176, der bei stationärer Strömung und konstanter Sedimentzufuhr entsteht. Nach J. R. L. ALLEN 1963 a: 206—207, Abb. 9 D, E gilt während der Sedimentation der hier beschriebenen Rippelkörper die Beziehung $V_s = V$, in der V_s die aus der Suspension zugeführte Sedimentmenge und V das zur gleichen Zeit leeseitig abgelagerte Material darstellt.

Die Laboratoriumsuntersuchungen von D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON & M. L. ALBERTSON 1961 zeigen, daß Rippel- und Dünenkörper bei annähernd gleichen Reibungswerten in strömendem Wasser (lower flow regime) entstehen. Strömungsrippeln bilden sich nach ihren Feststellungen bei einer Froude'schen Zahl $F = 0,15 - 0,38$ und somit bei geringeren Strömungsgeschwindigkeiten, als Dünen.

In manchen Aufschlüssen ist vom Liegenden zum Hangenden eine allmähliche Kornverfeinerung festzustellen. Sie drückt sich texturell dadurch aus, daß von einer bestimmten Korngröße abwärts an die Stelle der Kreuzschichtung Rippelschichtung tritt. Korngrößenanalysen aus den Grenzbereichen zwischen Kreuz- und Rippelschichtung zeigen, daß im allgemeinen der texturelle Umschlag bei einem Korngrößenmittelwert von ca. 2,3 Phi zu erwarten ist. Nur in einem sehr engen Korngrößenbereich (2,2—2,4 Phi) treten sowohl Kreuz- als auch Rippelschichtung auf.

Innerhalb der untersuchten sandigen Folge zwischen Karnerberg- und Kircherberger Schotter treten an vielen Stellen Kies- und Schotterlagen verschiedener Mächtigkeit auf, deren Geröllzusammensetzung nicht näher untersucht wurde. Vereinzelt kommen in diesen Bänken kleine (maximaler Durchmesser bis ca. 3 cm), gut gerundete, meist plattige, ziegelrote Gerölle vor, die sich zwischen den Fingern leicht zu einer tonigen Substanz zerdrücken lassen.

Eine 2—6 cm mächtige, in der Horizontalen mit Unterbrechungen ca. 100 m weit verfolgbare Lage eines ähnlichen, ziegelroten Materials konnte anstehend in der großen Rutschung bei Schloß Benndorf, (Aufschluß F) 1,5 km westl. Hainfeld bei Fürstenfeld festgestellt werden. Sie liegt hier im Grenzbereich Pannon B—Pannon C zwischen graublauen Tonen und gelbbraunen Feinsanden.

Die röntgenographische Untersuchung *) erbrachte bezüglich des Mineralbestandes der erstgenannten Gerölle (Proben aus Aufschl. G, Sandgrube 700 m NW Radersdorf W Kirchberg/Raab; Aufschl. H, Sandgrube Mitterbachgraben, 2 km SW Paldau) und des in der Rutschung anstehenden roten Materials übereinstimmende Ergebnisse:

„In einem feinstkörnigen Gemenge treten neben Quarz Spuren von Illit auf. Die Hauptmenge des Materials erwies sich als röntgenamorphe Substanz. Die Rotfärbung stammt wahrscheinlich von Hämatit.“

Der Schluß, die roten Gerölle als Aufarbeitungsprodukte älterer Gesteine in der Art der beschriebenen Lage in der Rutschung anzusehen, liegt nahe.

Aufarbeitungserscheinungen sind im übrigen häufig zu beobachten, wenn Kiese oder kreuzgeschichtete Sande parallel geschichtete Silte oder Tone überlagern. In ersteren treten oft bis kopfgroße Ton- und Siltballen auf, die meist offensichtlich aus der direkten Unterlage stammen. Ähnliche Beobachtungen konnte bereits A. WINKLER 1927: Abb. 5 in sarmatischen Ablagerungen machen.

IV. Korngrößenanalysen

Den 282 untersuchten Aufschlüssen wurden für Siebanalysen insgesamt 304 Proben entnommen. Sie entstammten Sanden verschiedener Schichtungstypen (Kreuz-, Rippel-, Parallelschichtung) und wogen in getrocknetem Zustand 60—120 g.

Die Verteilung der Probenpunkte ist aus Taf. 1 ersichtlich.

Die Siebanalysen erfolgten mittels einer Laborsiebmaschine vom Typ HAVER & BOECKER EML unter folgenden Bedingungen: Siebnorm DIN 4188, Naßsiegung, Siebdauer 10 min., Reglerstellung 6.

Zur rechnerischen Ermittlung der für Korngrößenverteilungen charakteristischen Kennzahlen wurde vom Verfasser ein Programm in FORTRAN IV aufgestellt. Nach der Berechnung der Prozentanteile der einzelnen Korn-

*) Die röntgenographischen Untersuchungen wurden am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Graz durch Herrn Dr. H. Höller durchgeführt, dem ich an dieser Stelle für die freundliche Bekanntgabe der Ergebnisse herzlich danken möchte.

fraktionen erfolgte die Ermittlung der Korngrößenparameter nach den von J. W. PIERCE & D. I. GOOD 1966: 2 vorgeschlagenen Formeln:

$$\text{Mittl. Korndurchmesser (arithmetic mean): } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^K f(x_i) x_i$$

$$\text{Sortierung (Sigma): } s = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^K f(x_i) (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\text{Schiefe (Skewness): } SK = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^K \frac{f(x_i) (x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

$$\text{Exzess (Kurtosis): } Ku = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^K \frac{f(x_i) (x_i - \bar{x})^4}{ns^4} - 3 \right]$$

n = Gesamtgewicht der Probe
 f(X_i) = Gewicht einer einzelnen Kornklasse
 X_i = Mittelpunkt einer Kornklasse
 K = Anzahl der Kornklassen

Die Untersuchungen der an der UNIVAC 490 im Rechenzentrum Graz errechneten Werte erbrachte folgende Ergebnisse:

1) Die mittleren Korndurchmesser sind starken Schwankungen unterworfen.

2) Innerhalb kleinerer Abschnitte läßt sich mitunter eine Verbesserung der Sortierung in der mittleren Strömungsrichtung erkennen. Ob sich dieses Ergebnis verallgemeinern und auf den gesamten Arbeitsbereich übertragen läßt, konnte bisher nicht geklärt werden. Zur Lösung dieses Problems wären genauere Untersuchungen notwendig.

3) Die Kornverteilungen sind im allgemeinen durch positive Schiefe charakterisiert und sind nach H. WIESENER & A. KAUFMANN 1957: 216 als Auswaschungssedimente aufzufassen. Wie verschiedene Autoren (z. B. G. M. FRIEDMANN 1961) zeigen, weisen Flußsande meist positiv asymmetrische Verteilungskurven auf.

4) Auch die Kurtosis nimmt für die meisten Kornverteilungen positive Werte an. Hochgipfelige Verteilungen mit Ku > 2 sind zu beobachten.

5) Nach G. M. FRIEDMANN 1961: Abb. 4 lassen sich Fluß- und Strandsande auf Grund ihrer Sortierungs- und Skewness-Werte im rechtwinkligen Koordinatennetz voneinander abgrenzen. Sämtliche untersuchten Proben des Arbeitsraumes fallen in den für Flußsande charakteristischen Bereich (Abb. 11).

V. Schwermineralanalysen

Aus dem Arbeitsgebiet wurden insgesamt 92 Sandproben auf ihren Schwermineralgehalt untersucht. Die Proben sind nach Möglichkeit in regelmäßigen Abständen entnommen; ihre Verteilung über das Untersuchungsgebiet gibt Taf. 1 wieder.

1) Beschreibung des Arbeitsganges:

Zur Untersuchung gelangte die aus den beschriebenen Siebanalysen gewonnene Fraktion 125—250 Mikron. Die Abtrennung der Schwermineralien von den Leichtmineralien erfolgte in Scheidetrichtern mit Bromoform puriss. ($D = 2,81$.) Auf eine chemische Vorbehandlung konnte auf Grund des meist frischen Erhaltungszustandes der Schwermineralien verzichtet werden. Nach der Wägung*) der Schwer- und Leichtmineralfraktionen wurden Schwermineral-Dauerpräparate angefertigt. Als Einbettungsmittel fungierte Aroclor ($n = 1,66$), das (G. della VALLE 1965: 100) wegen seiner relativ hohen Lichtbrechung zur Bestimmung der Schwermineralien besser geeignet ist, als Canadabalsam. Bestimmung und Auszählung der Schwermineralien erfolgten unter dem Polarisationsmikroskop; ausgezählt wurden 500 Körner je Präparat.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, konnten in den 92 Proben folgende Schwermineralien verschiedener Häufigkeit festgestellt werden:

2) Beschreibung der Schwermineralien

Granat: Körner von unregelmäßiger Gestalt, selten isometrisch. Meist Splitter mit muscheligen Bruchflächen. Gerundete Körner sind kaum zu beobachten. Oberfläche manchmal korrodiert: Lösungserscheinungen durch Verwitterung (H. E. SCHNEIDER 1958: 378).

Farben: 1) farblos

2) rosa bis bräunlich-rosa, Übergänge nach farblos.

Olivin: Sehr selten, unregelmäßig begrenzte, gelbliche bis olivgrüne Körner.

Pyroxen: 1) Abgerundete, meist annähernd isometrische, manchmal etwas unregelmäßig begrenzte Körner. Keine erkennbaren Kristallflächen.

2) Kurzprismatische Formen mit ausgeprägten Kristallflächen.

Meist Pyroxen mit:

n_{α} hellgrün, n_{β} gelbgrün, n_{γ} olivgrün

seltener farblos bis blaßgelbgrün.

*) Für die Erlaubnis zur Benützung der Sartorius-Analysenwaage der Lehrkanzel f. Paläontologie und Historische Geologie der Universität Graz bin ich Herrn Prof. Dr. H. Flügel zu Dank verpflichtet.

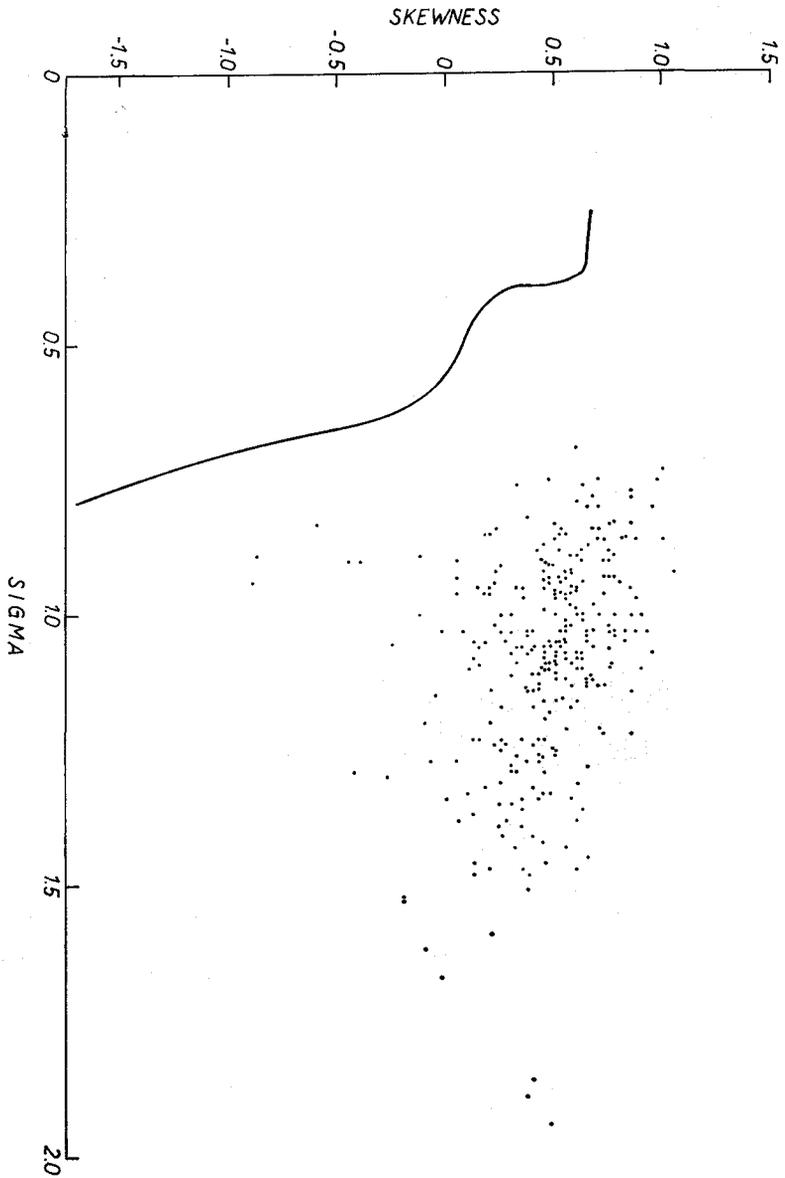


Abb. 11:

Darstellung der Sandproben auf Grund ihrer Skewness- und Sortierungs- (Sigma-) Werte. Die ausgezogene Linie stellt die von C. M. Friedman 1961 ermittelte Kurve zur Abgrenzung von Fluß- und Strandsanden dar.

Amphibol: 1) Grüne Hornblende. Bruchstücke mit ausgefranst Enden und meist deutlichen Spaltrissen nach {110}.

n_{α} hellgrün, n_{β} grün, n_{γ} blaugrün

2) Tremolit. Seltener als grüne Hornblende. Farblose, längliche Individuen mit meist feinen Spaltrissen nach {110}. Enden oft ausgefranst, aber auch Stengel mit abgerundeten Enden.

Turmalin: Meist stengelig gestreckte Prismenbruchstücke, selten unregelmäßig begrenzte oder abgerundete Körner.

1) n_e farblos bis blaßgelbbraun

n_w dunkelgraubraun bis dunkelgraugrün

2) (sehr selten)

n_e farblos

n_w orangerot bis rosa

Rutil: 1) Abgerundete bzw. unregelmäßig geformte Körner.

2) Seltener, prismatisch gestreckte Bruchstücke mit wenig gerundeten Kanten, mitunter Längsstreifung erkennbar. Manchmal knieförmige Zwillinge.

Honiggelb bis rötlichbraun, vereinzelt fast opak.

Zirkon: 1) Meist stengelig gestreckte Prismen mit Endpyramiden, Kristallgestalt gut erkennbar. Kanten nur wenig abgeschliffen.

2) Abgerundete, längliche bis isometrische Individuen. Farblos bis rosa, kein Pleochroismus.

Titanit: Hauptsächlich gut gerundete, annähernd isometrische Körner. Farblos bis blaßbraungrau oder blaßolivgrau.

Staurolith: 1) Bruchstücke mit abgerundeten Kanten, mitunter mit muscheligen Bruchflächen.

2) Individuen mit unregelmäßig treppenartig gezackten Rändern. Häufig getrübt durch feinverteilte, opake Substanz.

n_{α} , n_{β} blaßgelb, n_{γ} rötlichgelb

Disthen: Unregelmäßig begrenzte Täfelchen mit wenig abgerundeten Kanten. Ränder mitunter treppenartig gegliedert. Meist von aufeinander senkrecht stehenden Spaltrissen durchsetzt.

1) Farblos, kein erkennbarer Pleochroismus

2) Sehr selten, n_{α} farblos, n_{β} , n_{γ} blaßblau

Klinozoisit-Epidot, Zoisit: In erster Linie unregelmäßig begrenzte, vor allem randlich zersetzte, oft auch annähernd isometrische, durch opake Einschlüsse getrübt Körner (Epidot). Klinozoisit und Zoisit meist in Form stengeliger Bruchstücke. Klinozoisit zeigt häufig anomale Interferenzfarben.

Epidot: Blaßgelb bis hellgrünlichgelb

Klinozoisit, Zoisit: Farblos.

Apatit: Trüb-graue, säulig bis unregelmäßig begrenzte Kristalle. Reich an unbestimmbaren Einschlüssen. Kein Pleochroismus.

Chloritoid: Sehr selten. Isometrische Täfelchen mit annähernd sechseckigen Umrissen, Kanten abgerundet. Splitterförmige Bruchstücke.

n^{α} olivgrün, n^{β} blaugrün, n^{γ} gelbgrün

Sillimanit (?): Sehr selten, faserige Mineralaggregate, farblos-trüb, kein Pleochroismus.

Andalusit (?): Sehr selten. Kurze Prismen mit abgerundeten Kanten. Farblos bis blaßgrünlich und rosa.

Korund: Sehr selten. Abgeschliffene, gut gerundete, annähernd isometrische bis leicht längliche Körner. Purpur bis lila, kein erkennbarer Pleochroismus.

Opake Mineralien: Wurden nicht näher untersucht.

3) Ergebnisse der Schwermineralanalysen

Bisher liegen nur wenige Schwermineraluntersuchungen aus dem Pannon der Oststeiermark vor. Ein Vergleich der vorliegenden Resultate mit den Ergebnissen von G. WOLETZ 1960: A 124 und K. NEBERT 1951: 36 zeigt nur bezüglich der fast durchwegs hohen Granatführung Übereinstimmungen.

Das häufigste durchsichtige Mineral ist im Untersuchungsgebiet der Granat, der meist 20—40, im Durchschnitt 28,2 Prozent der Schwermineralfraktion ausmacht. Gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen der wechselnden Granatführung und der räumlichen Verteilung der Probenpunkte scheinen nach den bisherigen Feststellungen nicht zu bestehen.

Sehr stark schwankt die Amphibolführung der Sande. Während in den nördlichen Teilen des Arbeitsgebietes der Gehalt an Amphibolen im allgemeinen 7 bis 8 Prozent nicht übersteigt, beträgt deren Anteil an der Schwermineralfraktion in vielen Proben im Süden, speziell im Südosten, über 15 Prozent (bis 35,4 Prozent). Der Schluß auf eine generelle Zunahme der Amphibolführung in der mittleren Schüttungsrichtung liegt nahe. Er ist jedoch wegen der geringen Ausdehnung des Untersuchungsgebietes und der für solche Aussagen zu niedrigen Probenanzahl nicht zulässig. *)

Neben Granat und Amphibolen kommen zur Charakteristik der untersuchten Sande den Mineralien Staurolith, Epidot-Klinozoisit-Zoisit, Disthen, Turmalin, Zirkon und Rutil einige Bedeutung zu. Die Häufigkeit dieser Schwerminerale schwankt; eine Probe mittlerer Zusammensetzung würde 7,2 Prozent Staurolith, 4,1 Prozent Epidot-Klinozoisit-Zoisit,

*) Die Annahme K. Nebert's 1951: 13 einer generell zu erwartenden Abnahme der Hornblendeführung vom Ursprung zur Mündung eines Flusses beruht auf einer nicht gerechtfertigten Verallgemeinerung der Untersuchung von C. Burri 1930.

4,0 Prozent Disthen, 2,9 Prozent Turmalin, 2,8 Prozent Zirkon und 2,3 Prozent Rutil führen.

Die opaken Mineralien wurden nicht näher untersucht. Ihr Anteil an der Gesamt-Schwermineralfraktion beträgt im Mittel 29,9 Prozent.

VI. Ablagerungsbedingungen

Der kontinentale Charakter der Ablagerungen des Pannon C in Steirisches Becken ist aus paläontologischen Untersuchungen (siehe K. KOLLMANN 1964) bekannt. Eine Stellungnahme zu den Sedimentationsbedingungen ist jedoch auch aus dem Studium der lithologischen Verhältnisse möglich.

Wie bereits eingangs erwähnt wurde, zeigen nach K. KOLLMANN 1964 die Sedimente des Pannon C einen lithologischen Großrhythmus, der in der wiederholten Ausbildung von Schottern einerseits und sandig-tonigen Zwischenserien andererseits seinen Ausdruck findet. Als Steuerungsfaktoren kommen allozyklische Mechanismen (J. R. BEERBOWER 1964: 37—39) in Betracht.

Keineswegs einheitlich ist die Zusammensetzung der sandig-tonigen Zwischenserien. Unter den Ablagerungen der Serie zwischen Kirchberger- und Karnerbergschotter überwiegen zwar Sande und Tone, daneben treten auch häufig Schotterlagen auf.

Obwohl die Verhältnisse an vielen Stellen undeutlich sind, läßt sich mitunter die Wiederholung charakteristischer Abfolgen erkennen, die auf die Wirksamkeit rhythmischer bis pararhythmischer (A. LOMBARD 1956: 451) Vorgänge hindeuten.

Das idealisierte Modell einer Sequenz im Untersuchungsgebiet (Abb. 12), deren Mächtigkeit im allgemeinen Meter bis Zehnermeter beträgt, beginnt im Liegenden mit Schottern, die diskonform tiefere Schichten überlagern. Plattige Gerölle zeigen oft Dachziegellagerung, Silt- und Tonballen aus der Unterlage sind zu beobachten.

Gegen das Hangende folgen, oft durch einen Übergangsbereich linsiger Wechsellagerung verknüpft, kreuzgeschichtete Sande, die meist das mächtigste Glied der Sequenz bilden. Sie gehen nach oben zu in rippelgeschichtete Feinsande über, die mit horizontalgeschichteten Feinsanden und manchmal pflanzenführenden Tonen und Silten wechseln.

Die beschriebene Abfolge zeigt in ihrem Aufbau charakteristische Übereinstimmungen mit der nach J. R. BEERBOWER 1964: 35, G. S. VISHNER 1965: 46—50 und H.-E. REINECK 1967: 431—433 für fluviatile Ablagerungen typischen Sequenz.

Demnach stellen die basalen Schotter Bildungen in der Rinnensohle von Flüssen dar (channel lag deposits J. R. L. ALLEN 1965: 129). Fortschreitende seitliche Verlagerung des Flußbettes kann ihre flächenhafte Ausdehnung hervorrufen. Siebkurven der Schotter ergeben (W. SKALA 1967) bimodale Verteilungsbilder (A. SUNDBORG 1956: 194, L. ARNBORG 1957: 36).

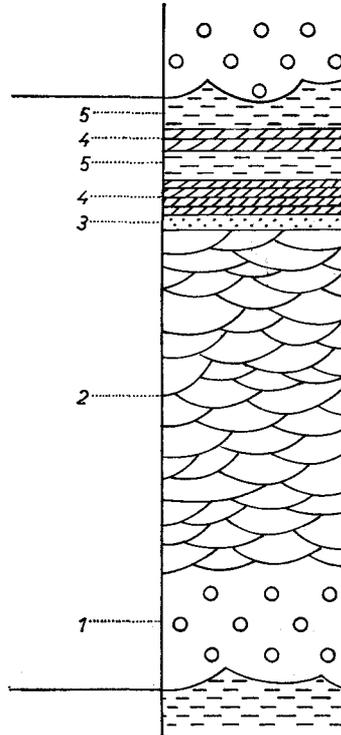


Abb. 12:

Idealisiertes Modell einer fluviatilen Sequenz im Untersuchungsgebiet.

- 1 = Basisschotter
- 2 = Kreuzgeschichtete Sande
- 3 = Horizontal geschichtete Sande
- 4 = Rippelgeschichtete Feinsande
- 5 = Parallel geschichtet Feinsande und Tone

Die Sande, die die Schotter überlagern, zeigen in erster Linie den schaufelförmigen Typus der Kreuzschichtung. Diese Feststellung steht in Einklang mit den Beobachtungen zahlreicher Autoren an rezenten Flußsedimenten.

D. E. FRAZIER & A. OSANIK untersuchen diese Kreuzschichtungsart in Gleithangablagerungen (point bar deposits) und D. J. DOEGLAS 1962 stellt ihn an Strombänken verwilderter Flüsse (braided rivers L. B. LEOPOLD &

M. G. WOLMAN 1957) fest (channel bar deposits). Nach J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965 kommt Kreuzschichtung vom Typus der trough cross stratification (large scale) in Gleithangablagerungen vor, ist jedoch auch im Flußbett selbst zu beobachten. M. MOODY-STUART 1966 charakterisiert verwilderte Flüsse u. a. durch das Vorherrschen schaufelförmiger Kreuzschichtung in den Strombank- und Bettablagerungen.

Das relativ seltene Auftreten des tafelförmigen Typus der Kreuzschichtung im Arbeitsgebiet erklärt sich in seiner lokal beschränkten Bildungsmöglichkeit: Er entsteht nach den Untersuchungen von J. H. STEWART 1961: B 127, J. C. HARMS, D. B. MACKENZIE & D. G. MCCUBBIN 1963: 576, J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 103—105, A. JOPLING 1966 u. a. am stromabwärtigen Ende von Gleithanglagen.

Im Grenzbereich zwischen kreuzgeschichteten Sanden und hangenden Tonen und rippengeschichteten Feinsanden treten manchmal dünne horizontal geschichtete Sandlagen auf. Rezente Bildungen dieser Art wurden von J. C. HARMS & R. K. FAHNESTOCK 1965: 105—106 in Form dünner Lagen an der Oberfläche von Strombänken beobachtet. Im Gegensatz zu den kreuzgeschichteten Sanden, die, wie schon erwähnt, in strömendem Wasser (lower flow regime) entstehen, kann als Strömungsregime zur Bildung dieser horizontal geschichteten Sande schießendes Wasser (upper flow regime, D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON & C. F. NORDIN jr. 1965: 40) in Betracht gezogen werden. Entsprechende Feststellungen trifft G. S. VISHNER 1965: 48. Für die Annahme der Entstehung der horizontal geschichteten Feinsande in schießendem Wasser spricht auch das Auftreten von Deformationsstrukturen (convolute bedding, vgl. S. 000) an Kreuzschichtungskörpern im unmittelbar Liegenden.

Basale Schotter, kreuzgeschichtete Sande und horizontal geschichtete Feinsande stellen nach J. R. L. ALLEN 1965 a: 127 substratum (channel) deposits dar.

Die hangenden, meist rippel- und parallelgeschichteten Feinsande bis Tone dagegen sind nach J. R. L. ALLEN 1965 a: 127 als topstratum (overbank) deposits aufzufassen. Ihre detaillierte Unterteilung (sedimentary subenvironments J. R. L. ALLEN 1965 b: 556, Tab. 1) war jedoch nicht durchführbar:

Mangelnde Aufschlußverhältnisse im Arbeitsgebiet machten die für eine weitere Klassifizierung unerläßliche räumliche Beurteilung nur beschränkt möglich. Den natürlichen Sedimentationsverhältnissen in einer fluviatilen Aufschüttungsebene entsprechend dürften an der Zusammensetzung der Feinklastika natürliche Uferdämme, Ablagerungen in Durchbruchsrinnen und reine Überschwemmungsprodukte, wie Altarmausfüllun-

gen und Trübeabsätze in den Flußauen (vgl. L. B. LEOPOLD, M. G. WOLMAN & J. P. MILLER 1964: 317) beteiligt sein.

Nach J. R. BEERBOWER 1964 bedingen autozyklische Faktoren die Entstehung der beschriebenen fluviatilen Sequenz. Diese wirken unabhängig von Veränderungen der Aufschüttungsebene von außen und ergeben sich lediglich aus Veränderungen in der Verteilung der internen gerichteten Energiegradienten.

Vollständig ausgebildete Abfolgen können im Arbeitsraum nur an wenigen Stellen beobachtet werden. In den meisten Fällen fehlen einzelne Schichtglieder, häufig die hangenden Anteile. Mächtigkeitsunterschiede entsprechender Schichtglieder in verschiedenen Sequenzen sind sehr oft zu beobachten. Dies liegt nach J. R. BEERBOWER 1964 in den örtlich stark schwankenden Sedimentations- und Erosionsverhältnissen begründet, die typisch für eine fluviatile Aufschüttungsebene sind.

Literatur

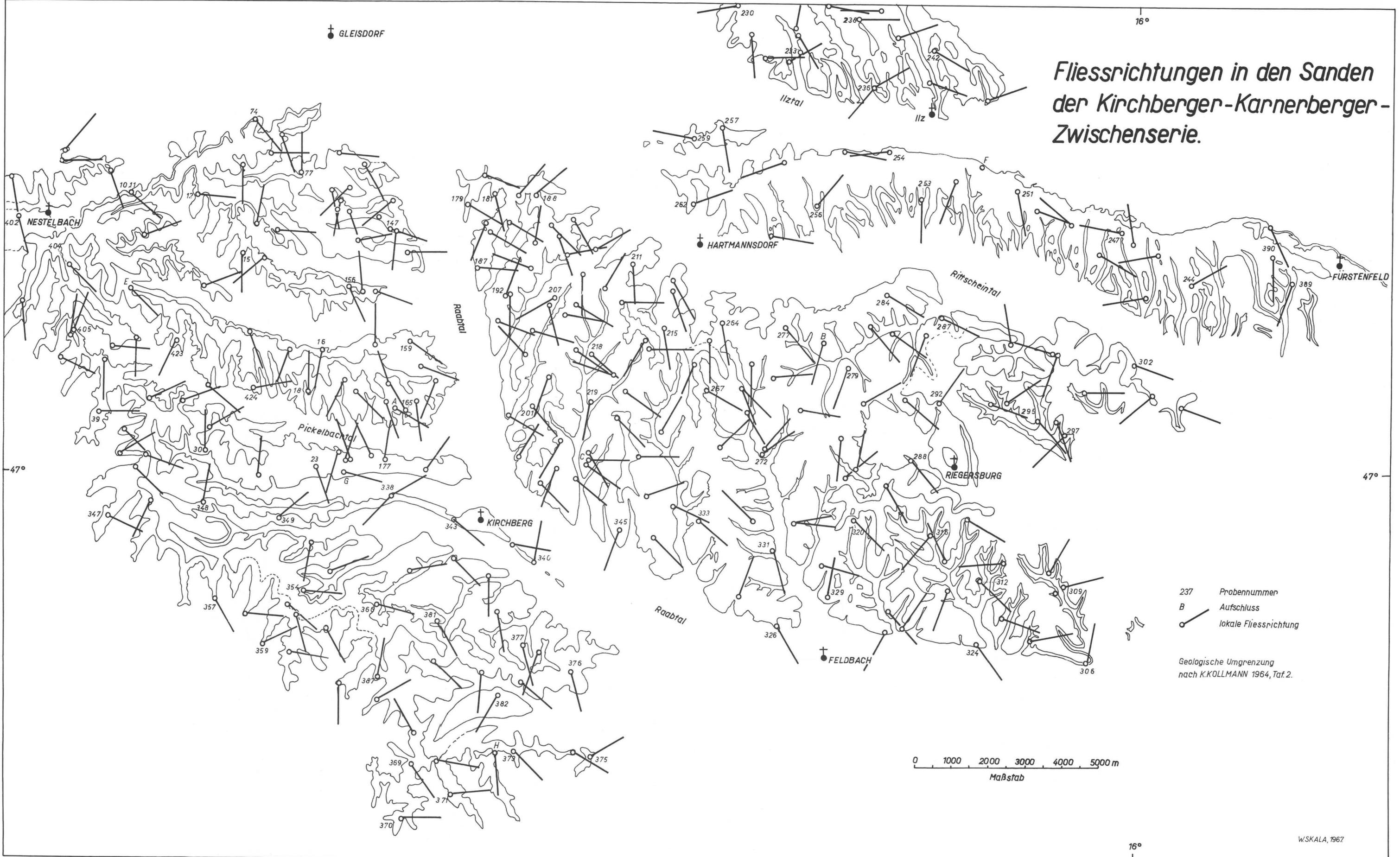
- Allen, J. R. L.: Asymmetrical ripple marks and the origin of waterlaid cosets of cross-strata. — *Lpool Manchr geol. J.*, 3, 187—236, 21 Abb., 6 Tab., Liverpool 1963 a.
- The classification of cross-stratified units. With notes on their origin. — *Sedimentology*, 2, 93—114, 4 Abb., 1 Tab., Amsterdam 1963 b.
- A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. — *Sedimentology*, 5, 89—191, 36 Abb., 4 Tab., Amsterdam 1965 a.
- Late Quaternary Niger delta, and adjacent areas: Sedimentary environments and lithofacies. — *Bull. amer. Ass. Petrol. Geol.*, 49, 547—600, 6 Taf., 29 Abb., 3 Tab., Tulsa 1965 b.
- Arnborg, L.: Erosion forms and processes on the bottom of the river Ängermanälven. — *Geografiska Annaler*, 39, 32—47, 14 Abb., Stockholm 1957.
- Basumallick, S.: Size differentiation in a cross-stratified unit. — *Sedimentology*, 6 35—68, 20 Abb., 4 Tab., Amsterdam 1966.
- Beerbower, J. R.: Cyclothems and cyclic depositional mechanics in alluvial plain sedimentation. — *Bull. geol. Surv. Kansas*, 169, vol. 1, 31—42, 3 Tab., Lawrence 1964.
- Brandl, W.: Die tertiären Ablagerungen am Saume des Hartberger Gebirgspornes. — *Jb. geol. Bundesanst.*, 81, 353—386, 1 Taf., 6 Abb., Wien 1931.
- Briggs, L. I. & Middleton, G. V.: Hydromechanical principles of sediment structure formation. — *Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral.*, 12, 5—16, 8 Abb., Tulsa 1965.
- Burkalow, van, A.: Angle of repose and angle of sliding friction: An experimental study. — *Bull. geol. Soc. Amer.*, 56, 669—708, 6 Abb., 16 Tab., New York 1945.
- Burri, C.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an alpinen Flußsand. I. Die Sande des Tessin. — *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 9 (für 1929), 205—240, 9 Abb., Zürich 1930.
- Doeglas, D. J.: The structure of sedimentary deposits of braided rivers. — *Sedimentology*, 1, 167—190, 36 Abb., 2 Tab., Amsterdam 1962.
- Exner, F. M.: Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen. — *S. B. österr. Akad. Wiss. (math. nat. Kl. Abt. IIa)*, 134, 165—203, 2 Taf., 17 Abb., Wien 1925.
- Frazier, D. E. & Osanik, A.: Point-bar deposits, Old River Locksite, Louisiana. — *Trans. Gulf Coast Ass. Geol. Soc.*, 11, 121—137, 11 Abb., 1961.
- Friedman, G. M.: Distinction between dune, beach, an river sands from their textural characteristics. — *J. sediment. Petrol.*, 31, 514—529, 8 Abb., 1 Tab., Tulsa 1961.

- Gauri, K. L. & Kalterherberg, J.: Sedimentsstrukturen aus den nieder-rheinischen Braunkohlenschichten des Miozäns. — *Sedimentology*, 6, 115—133, 14 Abb., Amsterdam 1966.
- Hanselmayer, J.: Beiträge zur Sedimentpetrographie der Grazer Umgebung XI. Petrographie der Gerölle aus den pannonischen Schottern von Laßnitzhöhe, speziell Grube Griessl. — *S. B. österr. Akad. Wiss. (math. nat. Kl. Abt. I)*, 168, 789—838, 3 Taf., Wien 1959.
- Beiträge zur Sedimentpetrographie der Grazer Umgebung XIV. Petrographie der Gerölle aus den pannonischen Schottern von Laßnitzhöhe, speziell Grube Griessl (Fortsetzung und Schluß). — *S. B. österr. Akad. Wiss. (math. nat. Kl. Abt. I)*, 169, 319—340, 2 Taf., 4 Abb., Wien 1960.
- Harms, J. C. & Fahnestock, R. K.: Stratification, bed forms and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). — *Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral.*, 12, 84—110, 6 Taf., 13 Abb., Tulsa 1965.
- MacKenzie, D. B. & McCubbin, D. G.: Stratification in modern sands of the Red River, Louisiana. — *J. Geol.*, 71, 566—580, 4 Taf., 1 Tab., Chicago 1963.
- Harrison, P. W.: New technique for three-dimensional fabric analysis of till and englacial debris containing particles from 3 to 40 mm in size. — *J. Geol.*, 65, 98—105, 1 Taf., 1 Abb., 3 Tab., Chicago 1957.
- Hayashi, T.: Miocene plastic deformation, a sedimentary structure observed along the northeast coast of Himaka-shima, Chitagun, Aichi Prefecture, Japan. — *Jap. J. Geol. Geogr.*, 31, 1—7, 1 Taf., Tokyo 1960.
- Jopling, A. V.: Hydraulic factors controlling the shape of laminae in laboratory deltas. — *J. sediment. Petrol.*, 35, 777—791, 16 Abb., Tulsa 1965 a.
- Laboratory study of the distribution of grain sizes in cross-bedded deposits. *Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral.*, 12, 53—65, 9 Abb., 7 Tab., Tulsa 1965 b.
- Some principles and techniques used in reconstructing the hydraulic parameters of a paleo-flow regime. — *J. sediment. Petrol.*, 36, 5—49, 20 Abb., 9 Tab., Tulsa 1966.
- Kennedy, J. F.: The mechanics of dunes and antidunes in erodible bed channels. — *J. fluid mechanics*, 16, 521—544, 2 Taf., 9 Abb., 2 Tab., Cambridge 1963.
- Kollmann, K.: Das Neogen der Steiermark (mit besonderer Berücksichtigung der Begrenzung und seiner Gliederung). — *Mitt. geol. Ges. Wien*, 52 (für 1959), 159—167, 1 Abb., 2 Beil., Wien 1960.
- Jungtertiär im Steirisches Becken. — *Mitt. geol. Ges. Wien*, 57, 479—632, 6 Taf., 2 Abb., Wien 1964.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G.: River channel patterns: Braided, meandering and straight. — *Prof. Pap. U. S. geol. Surv.*, 282-B, 39—85, 6 Tab., 57 Abb., Washington 1957.
- & Miller, J. P.: Fluvial processes in geomorphology. — 522 S., Freeman, San Francisco 1964.
- Lombard, A.: Géologie sédimentaire. Les séries marines. — 722 S., 180 Abb., Masson, Paris 1956.
- McDowell, J. P.: Cross-bedding formed by sand waves in Mississippi river point-bar deposits. — *Bull. geol. Soc. Amer.*, 71, 1925, New York 1960.
- McKee, E. D. & Weir, G. W.: Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. — *Bull. geol. Soc. Amer.*, 64, 381—390, 2 Abb., New York 1953.
- Moody-Stuart, M.: High- and low-sinuosity stream deposits, with examples from the Devonian of Spitsbergen. — *J. sediment. Petrol.*, 36, 1102—1117, 13 Abb., 1 Tab., Tulsa 1966.
- Nebert, K.: Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen im Jungtertiär südwestlich von Hartberg (Oststeiermark). — *Berg- u. hüttenm. Mh.*, 96, 9—14, 30—37, 50—57, 16 Abb., Wien 1951.
- Die pliozäne Schichtfolge in der Pöllauer Bucht (Oststeiermark). — *Jh. geol. Bundesanst.*, 95, 103—118, 8 Taf., 4 Abb., Wien 1952.
- Pettijohn, F. J.: Sedimentary rocks (2. Auflage). — 718 S., 38 Taf., 173 Abb., 119 Tab., Harper & Row, New York 1957.

- Pettijohn, F. J. & Potter, P. E.: Atlas and glossary of primary sedimentary structures. — 370 S., 117 Taf., Springer, Berlin 1964.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R.: Geology of sand and sandstone. — 205 S., Bloomington 1965.
- Pierce, J. W. & Good, D. I.: Fortran II program for standard-size analysis of unconsolidated sediments using an IBM 1620 computer. — Geol. Surv. Kansas, Spec. Distr. Publ., 28, 19 S., 1 Abb., 3 Tab., Lawrence 1966.
- Potter, P. E. & Pettijohn, F. J.: Paleocurrents and basin analysis. — 296 S., 30 Taf., 130 Abb., Springer, Berlin 1963.
- Raju, D. S. N., Rao, C. N. & Sengupta, B. K.: Paleocurrents in the Miocene Rajahmundry formation, Andhra Pradesh, India. — J. sediment. Petrol., 35, 758—762, 5 Abb., 1 Tab., Tulsa 1965.
- Reiche, P.: An analysis of cross-lamination. The Coconino sandstone. — J. Geol., 46, 905—932, 6 Abb., Chicago 1938.
- Reineck, H.-E.: Sedimentbewegungen in Kleinrippeln im Watt. — Senckenbergiana (Leth.), 42, 51—67, 3 Taf., 5 Abb., Frankfurt a. M. 1961.
- Parameter von Schichtung und Bioturbation. — Geol. Rdsch., 56, 420—438, 11 Abb., Stuttgart 1967.
- Schneider, H. E.: Geologisch-sedimentologische Untersuchungen im Bereich der Karbon-Perm-Grenze des Saargebietes. — Ann. Univ. Saraviensis (Scientia), 7, 350—402, 6 Taf., 3 Kart., 3 Tab., 3 Abb., Saarbrücken 1958.
- Schwarzacher, W.: Cross-bedding and grain size in the Lower Gtaceous sands of East Anglia. — Geol. Mag., 90, 322—330, 5 Abb., 2 Tab., Hertford 1953.
- Simons, D. B. & Richardson, E. V.: The effect of bed roughness on depth-discharge relations in alluvial channels. — Geol. Surv. Wat. Supp. Pap., 1498-E, 26 S., 9 Abb., Washington 1962.
- Simons, D. B., Richardson, E. V. & Albertson, M. L.: Flume studies using medium sand (0.45 mm). — Geol. Surv. Wat. Supp. Pap., 1498-A, 76 S., 28 Abb., 2 Tab., Washington 1961.
- Simons, D. B., Richardson, E. V. & Nordin, C. F., jr.: Sedimentary structures generated by flow on alluvial channels. — Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral., 12, 34—52, 2 Tab., Tulsa 1965.
- Skala, W.: Vorbericht über die Untersuchung von Sedimentationsrichtungen in den Ablagerungen des Pannon C im Steirischen Becken. — Anzeiger österr. Akad. Wiss. (math. nat. Kl. Abt. I), 229—232, 1 Abb., 1 Tab., Wien 1966.
- Kurzbericht über die Untersuchung von Fließrichtungen in den Basis-schottern des Obersarmats im Steirischen Becken. — Mitt. naturw. Ver. f. Stmk., 97, 28—31, 2 Abb., Graz 1967.
- Stewart, J. H.: Origin of cross-strata in fluvial sandstone layers in the Chinle formation (Upper Triassic) on the Colorado Plateau. — Prof. Pap. U. S. geol. Surv., 424-B, 127—129, 2 Abb., Washington 1961.
- Sundborg, A.: The river Klarälven. A study of fluvial processes. — Geografiska Annaler, 38, 125—316, 2 Taf., 60 Abb., 8 Tab., Stockholm 1956.
- Tohill, B. & Picard, M. D.: Stratigraphy and petrology of crow mountain sandstone member (Triassic), Chugwater formation, Northwestern Wyoming. — Bull. amer. Ass. Petrol. Geol., 50, 2547—2565, 18 Abb., 3 Tab., Tulsa 1966.
- Tukey, J. W.: Comments and suggestions on note 1 by Chayes, Comment no. 1A. — Earth Sciences Panel Review Group, mimeo, rept., 5 S., 1954 (non vid.).
- Valle, della, G.: Geologische Untersuchungen in der miozänen Molasse des Blasenflughgebietes (Emmental, Kt. Bern). — Mitt. naturf. Ges. Bern, N. F., 22, 87—181, 24 Abb., 2 Tab., 1 Karte, Bern 1965.
- Visher, G. S.: Use of vertical in environmental reconstruction. — Bull. amer. Ass. Petrol. Geol., 49, 41—61, 16 Abb., Tulsa 1965.
- Walker, R. G.: Distinctive types of ripple-drift cross-lamination. — Sedimentology, 2, 173—188, 7 Abb., 2 Tab., Amsterdam 1963.
- Wieseneder, H. & Kaufmann, A.: Zur Auswertung der Korngrößenanalysen von Sanden. — Erdöl-Z., 73, 214—219, 6 Abb., Wien 1957.

- Williams, G. E.: Planar cross-stratification formed by the lateral migration of shallow streams. — J. sediment. Petrol., 36, 742—746, 7 Abb., 1 Tab., Tulsa 1966.
- Winkler, A.: Über die sarmatischen und pontischen Ablagerungen im Südostteil des steirischen Beckens. — Jb. geol. Bundesanst., 77, 393—456, 16 Abb., Wien 1927.
- Winkler-Hermaden, A.: Geologisches Kräftespiel und Landformung. — 822 S., 3 Taf., 124 Abb., 10 Tab., Springer, Wien 1957.
- Wolletz, G.: Bericht über sedimentpetrographische Arbeiten im Jahr 1959. — Verh. geol. Bundesanst., A 123—A 124, Wien 1960.
- Wood, W. H. & Wood, R. M.: Arithmetic means of circular data. — J. sediment. Petrol., 36, 50—56, 3 Abb., 5 Tab., Tulsa 1966.
- Wurster, P.: Geometrie und Geologie von Kreuzschichtungskörpern. — Geol. Rdsch., 47, 322—359, 27 Abb., 3 Taf., Stuttgart 1958.
- Geologie des Schilfsandsteins. — Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, 33, 140 S., 4 Taf., 15 Karten, 57 Abb., Hamburg 1964.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 3. August 1967



Fließrichtungen in den Sanden der Kirchberger-Karnerberger-Zwischenserie.

- 237 Probennummern
- B Aufschluss
- lokale Fließrichtung

Geologische Umgrenzung nach K.KOLLMANN 1964, Taf.2.

