

**ZUR SITUMETRIE GROBKLASTISCHER SEDIMENTE
UND IHRER INTERPRETATION –**

**mit einem Programm zur Darstellung situmetrischer Daten
und zur Ermittlung der Transportrichtung unter
Berücksichtigung nachträglicher Verstellungen**

Thomas SCHNEIDER, Augsburg (Konzeption und Text)
und Gerd PEYKE, Berlin (Programm)*

mit 3 Abb. im Text

INHALT

1.	Vorbemerkungen – Methoden der Situmetrie	256
2.	Die zu berücksichtigenden situmetrischen Parameter	257
	2.1 Die Längsachseneinregelung beeinflussende Faktoren	257
	2.2 Querachseneinregelung und Imbrikation	261
3.	Situmetrische Auswertungen mit Hilfe des Programms "SITUMET" ..	263
	3.1 Die Darstellung der Raumlage von Geröllen mit Hilfe von "SITUMET"	263
	3.2 Die Berücksichtigung tektonischer Verstellungen mit Hilfe von "SITUMET"	266
4.	Abschließende Bemerkungen	267
5.	Summary	269
6.	Literaturverzeichnis	269

* Univ.-Ass. Dr. Thomas Schneider, Lehrstuhl für Didaktik der Geographie, Universität Augsburg,
D-86135 Augsburg, Universitätsstraße 10 und Univ.-Prof. Dr. Gerd Peyke, Geographisches Insti-
tut der Humboldt-Universität zu Berlin, D-10099 Berlin, Unter den Linden 6

1. Vorbemerkungen – Methoden der Situmetrie

Kaum ein anderes Gebiet weist derart intensive Berührungspunkte zwischen Geologie und Geomorphologie auf wie die Sedimentologie. Für den Geomorphologen dient sedimentologisches Arbeiten vor allem zur Eruiierung paläogeographischer Verhältnisse (z.B. HENNINGSEN 1969); die Ausdeutung von Sedimenten und ihren Eigenschaften soll die Rekonstruktion der morphologischen wie klimatischen Bedingungen zur Zeit ihrer Ablagerung ermöglichen und insgesamt ein Bild der Paläoökologie des betreffenden Raumes vermitteln.

Im Gegensatz zu einer Vielzahl spezieller Methoden, wie beispielsweise Schwermineralbestimmungen oder röntgenologischen Untersuchungen, welche mehr oder weniger aufwendige Laborinstallationen erfordern (MÜLLER 1964), kommen als geomorphologische Feldmethoden vor allem *morphometrische* sowie *situmetrische* Aufnahmen in Betracht. Während erstere sich mit der Form, der Zurundung und der Größe klastischer Komponenten befassen (übersichtsmäßig bei KÖSTER 1964, LESER 1977), richten letztere ihr Augenmerk auf die Lage der Komponenten im Raum (übersichtsmäßig bei STÄBLEIN 1970), und hierbei insbesondere auf den Verlauf ihrer Längsachsen (a) sowie der kurzen Achsen (b und c) – vgl. Abb. 1. Ebenso wie für die Formerfassung von Komponenten von einfachsten visuellen Vergleichstafeln (REICHELT 1961) bis hin zu hochkomplizierten feinmechanischen und automatisierten Laborgeräten (BEHRENS 1977) eine Fülle verschiedenster Methoden ausgearbeitet wurde, steht auch für deren *Lageerfassung* ein großes Spektrum von Möglichkeiten zur Verfügung. Diese lassen sich drei Kategorien zuordnen:

1. Spezielle Apparaturen für die genaue Erfassung der Raumlage der Komponenten (z.B. KRUMBEIN 1939 – mit späterer exakter Erfassung im Labor über "Goniometer", vgl. KRUMBEIN & PETTIJOHN 1938, KARLSTROM 1952; "Axiometer", vgl. SCHMALL & BENNETT 1961; kombinierter "Geröllmeßkompaß", vgl. KALTERHERBERG 1956).
2. Handmessungen mittels Kompaß und Gefällemesser (Klinometer).
3. Für die Geländearbeit am Aufschluß entwickelte Einregelungstafeln (z.B. POSER & HÖVERMANN 1952, FURRER 1965, BACHMANN 1966), wobei jedoch hierdurch nur die Richtung der jeweiligen Längsachsen erfaßt und somit lediglich zweidimensionale Angaben gemacht werden können.

Der hierbei vorgenommenen Reihung entspricht auch eine abnehmende Exaktheit der jeweiligen Meßergebnisse. Die somit gewonnenen Werte schlagen sich, eine statistisch signifikante Zahl n eingemessener Komponenten vorausgesetzt, in charakteristischen Verteilungsmustern der Achseneinregelung (sowie, bei 1 und 2, auch des Einfallens) je nach vorherrschendem Ablagerungsmilieu nieder. Recht

leicht läßt sich auf dieser Grundlage, ganz abgesehen von den morphometrischen Merkmalen, fluviales Material etwa von glazial oder solifluidal transportiertem (schlechtere Einregelung bei letzteren!) unterscheiden.

Im Zentrum des Interesses steht jedoch die Eruiierung der *Verlaufsrichtung* bzw. der *Herkunft* des ablagernden Mediums (Paläogerinne o.ä.). Allerdings ergibt sich aus den bisher veröffentlichten Ergebnissen für fluviale Sedimente ein durchaus vielgestalttes Bild – zum einen weisen die Arbeiten ein deutliches Einregelungsmaximum der Komponenten-Längsachsen parallel zur (rekonstruierten oder bekannten) Strömungsrichtung des transportierenden Gewässers nach, zum anderen finden sich ausgeprägte Maxima eher quer zur vorherrschenden Fließrichtung (vgl. Abb. 2b), in beiden Fällen oft auch mit jeweiligen Sekundärmaxima quer zur vorherrschenden Haupteinregelung ("bimodale Einregelung"). Diese unterschiedlichen Ausprägungen sind als Folge individuell verschiedener Ablagerungsbedingungen zu sehen.

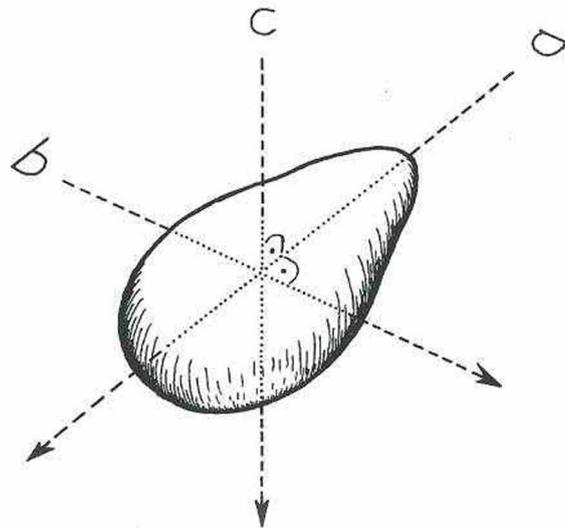


Abb. 1: Längsachse (a), Querachse (b) und 'Normale' (c) eines Gerölls

2. Die zu berücksichtigenden situmetrischen Parameter

2.1 Die Längsachseneinregelung beeinflussende Faktoren

Auf die Ausrichtung der Geröll-Längsachsen bei fluvialen Ablagerungen können im einzelnen folgende Parameter Einfluß haben:

Im allgemeinen betonen die meisten einschlägigen Arbeiten eine Korrelation zwischen den *Abflußverhältnissen* (Heftigkeit) und der Längsachseneinregelung ("A-axis orientation patterns could be used to infer the magnitude of ancient stream velocities" – RUST 1972, S. 387). Meist wird eine recht einfache Differenzierung vorgenommen, wonach eine Lage parallel zur Strömungsrichtung sich bei heftigem Abfluß, eine solche quer zur Fließrichtung eher bei ruhigen "Flachlandflüssen" (LESER 1977, S. 227, PETTIJOHN 1975, S. 69) einstelle. Insbesondere die erstere Beziehung wird durch viele Einzelarbeiten bestätigt (z.B. KRUMBEIN 1940, S. 653, JOHANNSSON 1976, S. 290, vgl. auch HARMS et al. 1982), doch finden sich auch vereinzelt entgegengesetzte Ergebnisse (z.B. KÜRSTEN 1960).

Es scheint jedoch so, als ob weniger die absolute Fließgeschwindigkeit des transportierenden Mediums Wasser eine entscheidende Rolle spielt, da diese eher Einfluß auf die Größe der transportierten Gerölle nimmt, als vielmehr Regelmäßigkeit bzw. Unregelmäßigkeit des Abflusses – letztere beispielsweise durch starke Walzen- und Wirbelbildung bzw. rasches Einsetzen sowie Nachlassen kräftigen Abflusses, wie sie etwa in Wildbächen oder Gerinnen der Trockengebiete mit stoßweisem periodischem oder episodischem Abfluß vorkommen. Die Beziehungen können insgesamt noch nicht als ganz geklärt angesehen werden.

Entscheidend sind sicher die *hydraulischen Verhältnisse* zum Zeitpunkt der Ablagerung eines Gerölls. Gleichmäßiges Fließen ist wohl eher einer rollenden Bewegung länglicher Komponenten um ihre Längsachse bei recht ausgeglichenen Flußbettsohlen förderlich, in welcher Position sie bei langsamem Nachlassen der Schleppkraft schließlich auch zu liegen kommen, während schlagartiges Ansteigen der Schleppkraft Gerölle eher in eine Lage parallel zu diesen Strömungen reißt und sie bei unvermitteltem Nachlassen dieser Kräfte in dieser Situation beläßt. Das gleiche ist auch für durch Walzen hochgerissene Gerölle anzunehmen. Insofern ist also in Gerinnen mit schießendem sowie stoßweisem Abfluß eher mit bewegungsparalleler Anordnung der Komponenten zu rechnen; gegenteilige Beobachtungen entstammen Verhältnissen, welche wohl nicht ohne weiteres auf andere Gerinne übertragbar sind (z.B. murartige Schichtfluten bei KÜRSTEN 1960), oder auch oft Hochwasserkiesbänken, welche zwar von stärkerer, aber nicht unbedingt ungleichmäßiger Wasserführung zeugen (SCHIEMENZ 1960, S. 15).¹⁾

In engem Zusammenhang damit steht natürlich auch das *Gefälle* – zum einen das des gesamten Gerinnes, wodurch die Abflußart wesentlich bestimmt wird, zum anderen das des Gerinnebetts am jeweiligen Ablagerungsort, welches ja gerade

1) Die Angaben bei HENNINGSSEN, wonach querverrichtete Anordnung Kennzeichen "...vor allem von Flüssen bzw. Bächen mit periodischer Wasserführung ... oder Hochwasserbänken", und strömungsparallele "...mehr für Flüsse mit gleichmäßiger Wasserführung" (1969, S. 39) typisch sei, beruht leider gerade auf einer kleinen Auswahl eher untypischer Literaturbeispiele.

bei Gebirgsbächen mit unregelmäßigen Gerinnebetten kleinräumig stark variieren kann. SENGUPTA (1966, S. 362 ff.) stellte fest, daß mit stärkerem Gefälle die Neigung zu strömungsparalleler Ausrichtung zunahm; in Kreuzschichtungskörpern beobachtete er eher Quereinregelung in den "topsets" und "bottomsets", Längseinregelung in den steileren "foresets".

Wie eingangs erwähnt, zeigen viele Sedimentkörper auch eine Kombination von Quer- und Paralleleinregelung mit deutlicher Ausbildung zweier rechtwinklig zueinander verlaufender Maxima. Solche Ablagerungen geben offensichtlich eine *Übergangsform* zwischen normalem, eher laminarem Abfluß mit rollendem Komponententransport und somit transversaler Ablagerung einerseits, und schießendem Transport mit Walzenbildung und eher longitudinaler Ablagerung andererseits wieder (KALTERHERBERG 1956, S. 35 ff., SCHIEMENZ 1960, S. 13 ff.). Solche Ergebnisse können aber auch die Folge einer Probenentnahme im Schichtgrenzbereich von Kreuzschichtungskörpern sein (vgl. oben).

Eine Abweichung von den oben angeführten festgestellten Regelmäßigkeiten stellen wiederum Gewässer mit sehr langsamer Fließgeschwindigkeit dar. Ihre *Schleppkraft* reicht in der Regel nicht aus, um gröbere Komponenten an ihrem Grund in Bewegung zu halten, da die Reibung am Untergrund zu groß ist; die Komponenten können jedoch, auch wenn sie zunächst transversal abgelagert wurden (so beobachtet von JOHANNSON 1976, S. 210), mit der Längsachse um ihren Schwerpunkt in Strömungsrichtung gedreht werden, wodurch sie den geringsten Widerstand bieten. Solche Verhältnisse lassen sich vor allem bei klastischen Körpern rekonstruieren, bei welchen vereinzelte gröbere Komponenten einem Gerinnebett aus feinerem Material auflagern.

Selbstverständlich spielt hier noch mehr als bei anderen Abflußarten die *Form* der Komponenten eine Rolle – je stengeligere sie sind, desto eher wird sich – wohlge-merkt bei ruhigem Abfluß – eine solche Einregelung einstellen. Allerdings wird das Drehen in Stromrichtung am leichtesten bei "keulenförmigen" Geröllen (SCHIEMENZ 1960, S. 16) vor sich gehen, da aufgrund deren exzentrischen Schwerpunkts ihr leichteres, längeres Ende schon bei geringer Schleppkraft um den Auflagepunkt stromab gedreht werden kann. Es ist verständlich, daß die statistische Deutlichkeit der Einregelung mit der Unregelmäßigkeit der verwendeten Komponenten abnimmt ("An irregularly shaped pebble has a more complex relation to the transporting medium than either a rod or disk-like fragment" – POTTER & PETTJOHN 1977, S. 37).

Zu beachten ist auch, daß die Lage des *Sedimentationsorts* im Flußbettquerschnitt unterschiedliche Ergebnisse erbringen kann. So stellte SCHIEMENZ (1960, S. 15) an einem Beispiel eine Zunahme der längs eingeregelter Komponenten gegen die Ränder des Flußbetts hin fest; genauere Zusammenhänge zwischen fluvialem Transport und Schwerkrafteinwirkung am Rand von Gerinnebetten werden bei

JOHANSSON (1976, S. 249 ff.) erörtert. Im Bereich stationärer schief- oder vertikal-achsiger Walzen kann das Bild darüber hinaus völlig von dem des restlichen Flußbetts abweichen.

Die meisten dieser Aussagen gehen unausgesprochen von einer mehr oder weniger ungestörten Beweglichkeit des einzelnen Gerölls aus. In Wirklichkeit ist jedoch neben dem Untergrund die *Gerölldichte* (bzw. nach der Ablagerung die *"Packungsdichte"*) ein Faktor, welcher die oben angegebenen Befunde stark modifizieren kann. Generell ist davon auszugehen, daß mit zunehmender Packungsdichte die einzelnen Komponenten sich gegenseitig immer mehr in der freien Einnahme einer strömungs- oder transportgünstigen Position stören. So stellte RUST (1972) ein sehr deutliches Maximum der transversalen Einregelung fest, wenn die einzelnen Gerölle isoliert voneinander einem Flußbettgrund aus feineren Sedimenten auflagerten (" $< 50\%$ of sample area covered by pebbles" – S. 386), während mit zunehmender Packungsdichte sich immer deutlicher ein sekundäres und schließlich gar dominantes Maximum in Fließrichtung herauschälte; die Komponenten scheinen also in ersterem Fall in der Einregelung ihres rollenden Transports abgelagert und nicht nachfolgend in die strömungsgünstigste Position gedreht worden zu sein (vgl. oben). Dazu kommen die mit der *Rauheit* des *Gerinnebetts* wachsenden adhäsiven Reibungskräfte (JOHANSSON 1976, S. 210), welche neben Form, Gewicht und Kohäsion der Komponenten den Hebe- und Schleppkräften der Strömung entgegenwirken.

Zunehmende *Viskosität* des Mediums hat offensichtlich ähnliche Auswirkungen. FISCHER (1966, S. 6) stellte für Murschutt ein Überwiegen der Längsachseineinregelung enthaltener Steine in Bewegungsrichtung des Murstroms fest, LINDHOLM (1987, S. 61) bringt bewegungsparallele Einregelung in Zusammenhang mit Suspensionsströmen ("...conglomerates associated with turbidite sequences"); es ergibt sich somit eine Annäherung an Grundmoränenmaterial, allerdings mit noch deutlicherem Maximum.

Unterschiede in der Einregelung können sich auch je nach der *Größe* der für die Untersuchung herangezogenen Komponenten ergeben. Generell schälen sich dabei zwei Gesetzmäßigkeiten heraus: Zum einen ergibt sich eine umso deutlichere Einregelung, je einheitlicher die der Messung zugrundeliegende Korngröße ist ("...kann sich in gutsortierten Konglomeraten das Maximum durch gegenseitige Beeinflussung der Gerölle aufspalten" – nach BRINKMANN 1955, in: FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970, S. 64), zum anderen gibt es Befunde, nach denen die Deutlichkeit der Einregelung mit kleiner werdenden Korngrößen abnimmt (RUST 1972, S. 386 f.). Die Gründe hierfür sind vielfältig; sie haben damit zu tun, daß bei schlechter Sortierung kleinere Gerölle durch größere, stationäre, in ihrer Bewegung gehemmt und in eine andere Richtung gedreht werden, aber auch damit, daß kleinere Komponenten bereits eher vom Flußbett abgehoben werden als große und somit, da sie weniger rollend bewegt werden, bevorzugt zu longitudinaler

Einregelung neigen. JOHANSSON (1965, S. 39 f.) ermittelte bei Geröllen < 2 cm eine bevorzugte Längsachseneinregelung in, bei größeren eher quer zur Fließrichtung. Andererseits ist davon auszugehen, daß bei niedrigeren Fließgeschwindigkeiten kleinere Gerölle bereits rollend bewegt werden, während größere lediglich in die strömungsgünstigste Position, also in Längsrichtung, gedreht werden – wodurch sich gerade ein entgegengesetztes Bild ergeben kann!

Bei guter Sortierung lassen sich die Unterschiede in der Deutlichkeit der Maxima zwischen feiner- und gröberklastischen Ablagerungen auch damit erklären, daß die Stromrichtung des transportierenden Gerinnes bei letzteren klarer definiert war ("reduced flow sinuosity with increased stream power" – MIALL 1984, S. 257).

2.2 Querachseneinregelung und Imbrikation

Die vorgehenden Ausführungen zeigen, daß die Bestimmung der Transport- und Herkunftsrichtung von Klastika allein auf der Grundlage von Längsachseneinregelungsmessungen mit größeren Unsicherheiten behaftet sein kann. Sie sind für sich allein "...nur bedingt brauchbar zur Rekonstruktion der ehemaligen Strömungsrichtung" (HENNINGSEN 1969, S.41). Bisweilen sind die Ergebnisse, insbesondere bei Vorliegen aufgespaltener Maxima (Längs- und Querausrichtung), zwei- oder gar mehrdeutig; etwa gleichgroße Maxima in Längs- und Querrichtung könnten sogar vier mögliche Transportrichtungen zulassen!

Um aus den zur Disposition stehenden Möglichkeiten die richtige auswählen zu können, ist die Berücksichtigung weiterer Charakteristika des Sedimentkörpers vonnöten, mit deren Hilfe den individuellen, die Lage und Einregelung der einzelnen Komponenten bestimmenden Faktoren Rechnung getragen werden kann. Ein sehr sicherer Hinweis wäre beispielsweise dann gegeben, wenn bei einem deutlichen Anteil keulenförmiger Komponenten deren schlankere Seiten alle bevorzugt in eine Richtung wiesen, und diese somit die strömungsabgewandte Seite angäbe. Wertvolle Hinweise können auch anhand von eingeschalteten feinklastischen Lagen mit an die Fließrichtung gebundenen Strömungs- und Belastungsmarken gewonnen werden, bzw. auch dann, wenn bei größeren enthaltenen Komponenten die strömungsabgewandte "Lee"-Seite durch eine Häufung deutlich feineren, im Strömungsschatten fahnenartig abgelagerten Materials ersichtlich ist. Bei in feineres Material eingebetteten größeren Komponenten können unter Umständen noch Spuren luvseitiger Auskolkung der Unterlage erkannt werden ("scouring cavities" – JOHANSSON 1976, S. 222 f.).

Der am häufigsten zu erwartende und auch in der Regel bereits makroskopisch gut auszumachende Hinweis ist jedoch die in vielen Fällen gegebene *Imbrikation*, d.h. die Neigung der flachen Seiten der Gerölle gegen eine vorherrschende Richtung unter sich überlappender, dachziegelartiger Anlagerung der Einzelkomponenten aneinander. Sie kann als deutlichstes und am einfachsten unmittelbar im

Gelände erkennbares Kriterium für die Erschließung der Transportrichtung klastischer Sedimente angesehen werden – von JOHANSSON wird sie sogar als einziges wirklich zuverlässig aussagefähiges Kriterium herausgestrichen (1965, S. 38). Imbrikation kann sowohl bei longitudinaler als auch transversaler Einregelung der Komponenten beobachtet werden, ist bei letzterer jedoch deutlich häufiger.

In der Regel sind dabei bei fluvialen Ablagerungen die Flachseiten der Gerölle leicht gegen die Fließrichtung geneigt, wobei die in den einschlägigen Arbeiten festgestellten Mittelwerte sich zwischen 10° und 30° Neigung bewegen (plattere Gerölle nehmen offensichtlich eher kleinere Winkel ein) und nur in Ausnahmefällen auch einmal 40° und darüber (letzteres beispielsweise bei KÜRSTEN 1960) erreichen können. Für gleichgeartete Fließstrecken und Ablagerungsverhältnisse sind diese Werte meist recht einheitlich ("...in river deposits the inclination was notably uniform." – PETTJOHN 1975, S.68). Allerdings ergeben sich Unterschiede zwischen longitudinal und transversal eingeregelten Geröllen – "Pebbles with their long axis parallel to the flow have a gentler dip than those transverse to the flow" (JOHANSSON 1976, S. 246). Diese Art der Geröllausrichtung stellt offensichtlich den stabilsten Ruhezustand der Komponenten gegenüber den Strömungskräften (Schub-, Zug- und Hebewirkung) des fließenden Wassers dar.

In einigen Fällen konnte auch eine in Fließrichtung des Gewässers einfallende Neigung, zum Teil sogar mit Imbrikationsgefüge, beobachtet werden; dieser Anlagerungstyp stellt jedoch die Ausnahme dar und ist mit besonderen Bedingungen in Verbindung zu bringen. Das von KALTERHERBERG an einigen Beispielen festgestellte Phänomen, daß die Komponenten "...mit abnehmender Packungsdichte aus der luvseitig geneigten Lage in die Horizontallage und weiter in eine leeseitige Neigung drehen" (1956, S. 42), kann sicher nicht verallgemeinert werden, doch scheint ein Einfallen in Strömungsrichtung tatsächlich vor allem dann aufzutreten, wenn Komponenten isoliert in eine feinerklastische Matrix eingebettet sind. Zu erklären ist dies damit, daß die oberste Schicht des feinklastischen Materials bereits durch geringe Strömung bewegt werden kann, während das Geröll noch nicht bzw. nur langsam schleifend transportiert wird; ersteres wird somit an der Luv-Unterseite des Gerölls angeschwemmt und schiebt sich keilförmig unter dieses, so daß es zu der leeseitigen Lageverdrehung kommt, in welcher Position das Geröll schließlich ganz in die Matrix eingebettet wird. Hierdurch wird auch verständlich, warum gerade bei kleineren Geröllen solch leegerichtetes Einfallen beobachtet werden konnte (HENNINGSEN 1969, S.41). Schon bei gering erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten stellt sich jedoch normalerweise bald die bereits oben dargestellte Situation mit luvseitiger Auskolkung und somit auch luvgerichtetes Einfallen ein.

Völlig flachlagernde, d.h. vertikalen c-Achsen-Verlauf aufweisende Komponenten sind erwartungsgemäß in fluvialen Sedimenten kaum anzutreffen. Punktuell konnte vom Verfasser auch in gröberen und dichtgepackten Klastika immer

wieder eine Häufung leeseitigen Einfallens ausgemacht werden, doch treten solche Fälle nur örtlich begrenzt auf und sind offensichtlich an spezielle hydraulische Bedingungen zum Zeitpunkt der Ablagerung geknüpft (beispielsweise den Einfluß von Grundwalzen). Entsprechendes ist auch zu erwarten bei Sedimenten, welche sehr rasch abgelagert und überdeckt wurden und somit nicht mehr durch die Strömung in die stabilste Position gedreht werden konnten – Bedingungen, wie sie aber auch zum Fehlen jeglicher deutlicher Einregelung und Imbrikation führen können.

Allerdings können Beobachtungen einer offensichtlichen Leeseitenneigung der Gerölle auch die Folge des Nichterkennens von Kreuz- oder Schrägschichtung im Aufschluß sein (POTTER & PETTIJOHN 1977, S. 39 und 42)!

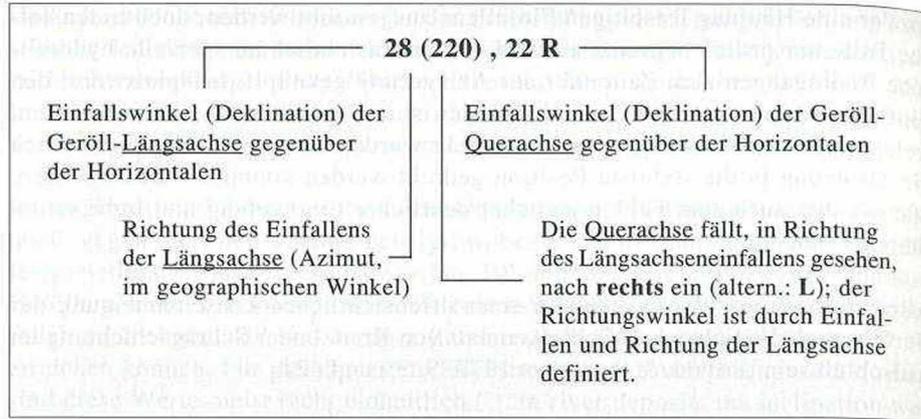
Generell ist festzuhalten, daß die (normale, luvseitige) Imbrikation mit der Packungsdichte, mit der Größe der beteiligten Komponenten und ihrer Einheitlichkeit, sowie mit der Kraft, aber auch der Gleichmäßigkeit der Strömungsverhältnisse an Deutlichkeit zunimmt; dies bedeutet auch ein Steilerwerden des luvseitigen Einfallens. Sie ist naturgemäß an das Vorhandensein von Geröllen mit deutlichen Flachseiten gebunden und zeigt somit auch starke Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen im Liefergebiet (z.B. plattige Kalke!).

3. Situmetrische Auswertungen mit Hilfe des Programms "SITUMET"

3.1 Die Darstellung der Raumlage von Geröllen mit Hilfe von "SITUMET"

Während mit Hilfe von Einregelungstafeln gewonnene Werte in der Regel mit sogenannten "Sitogrammen" (SCHIEMENZ 1960, S. 14, STÄBLEIN 1970, S. 71 ff.) auf relativ einfache Art wiedergegeben werden, ermöglichen genauere Einregelungsmessungen eine komplexere Wiedergabe der Geröll-Raumlage. Dies geschieht zweckmäßigerweise mit Hilfe von Kreisnetzdarstellungen, welche wiederum auf vollständigen Azimutalprojektionen beruhen (vgl. Abb. 2). Dabei werden die das Geröll morphoskopisch und situmetrisch definierenden Achsen a und b bzw. c (vgl. Abb. 1) verlängert und die gedachten Durchstoßpunkte dieser verlängerten Achsen durch eine gedachte Kugeloberfläche (untere Halbkugel) dargestellt. Meist wird hierfür eine flächentreue oder winkeltreue, seltener auch eine stereographische Projektion gewählt.

Im vorliegenden Fall wurde das Programm "SITUMET" zur direkten Umsetzung von Einregelungswerten in die graphische Darstellung verwendet, welches zu diesem Zweck von G. PEYKE erstellt wurde. Mit Hilfe tragbarer und netzunabhängiger Kleinrechner kann die Dateneingabe direkt vor Ort erfolgen. Die Daten werden im Gelände mit Hilfe von Kompaß und Klinometer (Geologenkompaß) ermittelt und zweckmäßigerweise auf folgende Art notiert (Beispiel):



Verwendet werden also die Längsachse a sowie die Querachse b jedes Gerölls; diese beiden sind im Gelände unmittelbar zu entnehmen und auch leichter gedanklich vorstellbar als die auf der durch a und b gebildeten Ebene lotrecht stehenden Polarachse c, welche bisher meist neben a zur Darstellung herangezogen wurde (vgl. KRUMBEIN 1939). Die Eingabe der Azimutwerte für die Längsachse erfolgt dabei aus Gründen der Meß- und Darstellungszweckmäßigkeit auf 5° genau, d.h. auf den geographischen Winkeln 0°, 5°, 10°, 15° usw.

Die Daten werden nach Programmstart und Angabe des Aufschlußkennncodes auf Abfrage hin eingegeben, wobei der Rechner den aus Azimut und Einfallen der Längsachse und dem Einfallen der Querachse zu ermittelnden Azimut der letzteren selbständig errechnet. Auf Befehl werden schließlich die Durchstoßpunkte der a- und b-Achsen sämtlicher eingegebener Komponenten auf der Kreisnetzdarstellung wiedergegeben, wobei die Längsachsen durch schwarze und die Querachsen durch graue bzw. farbige Punkte gekennzeichnet sind (vgl. Abb. 2). Sollten mehrere Werte auf den gleichen Punkt fallen, so werden diese nach dem kartographischen Prinzip der Verdrängung gleichmäßig um den ersten herum verteilt. Zum Zweck der leichteren Darstellbarkeit und Ablesbarkeit der Einfallswinkel wurde hier ein *abstandstreuer* Azimutalentwurf zugrundegelegt. Die Zahlen der zugrundegelegten eingemessenen Komponenten wird bei jeder Darstellung mitangezeigt. Mit den Kreisnetzdiagrammen wird auf Wunsch eine *Verteilungsrose* erstellt, welche die Summe der in die jeweilige Richtung geneigten Längs- (schwarz) und Querachsen (grau bzw. farbig), zweckmäßigerweise zusammengefaßt zu 22,5°-Schritten, wiedergibt.

Ebenso können die *Mittelwerte* aller Längs- (a') und Querachsenlagen (b') sowie Normalen (c') abgerufen werden (vgl. Abb. 3), und zwar für jedes einzelne Diagramm wie auch für eine zu definierende Anzahl verschiedener Aufschlüsse (vgl. hierzu die Bemerkungen am Ende von 4.).

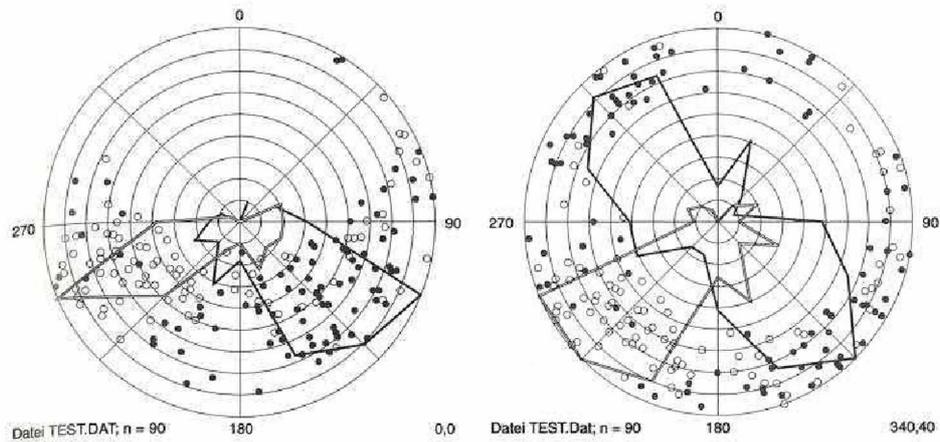


Abb. 2: Beispiele für die Kreisnetzdiagramm-Ausgabe sitimetrischer Daten nebst jeweiliger Verteilungsrose – vgl. Text, 3.1 und 3.2. (Punkte: Längsachsenwerte, Ringe: Querachsenwerte)

a) gemessene Werte; b) nach Rückkipung um 40° in Richtung 340°

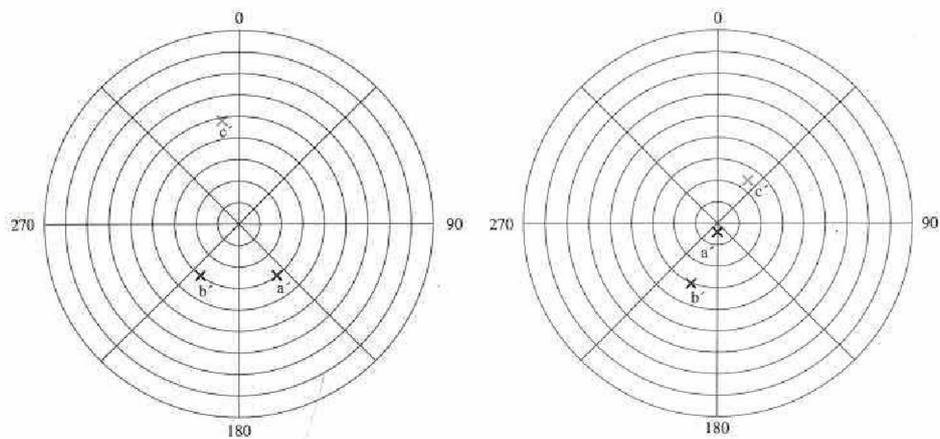


Abb. 3: Mittelwerte der Durchstoßpunkte für Längs- (a') und Querachsen (b') sowie "Normalen" (c')

a) aus 2a; b) aus 2b

3.2 Die Berücksichtigung tektonischer Verstellungen mit Hilfe von "SITUMET"

Während zum Beispiel quartäre Schotter normalerweise ungestört vorliegen und somit unmittelbar die Lageverhältnisse zur Zeit ihrer Ablagerung wiedergeben, zeigen viele Aufschlüsse grobklastische Sedimente auch in gestörter und gegenüber ihrer Ablagerungssituation verkippter Lage.²⁾

In solchen Fällen ergeben situmetrische Aufnahmen ein falsches Bild und können selbstverständlich so nicht als Grundlage für die Eruierung der Transportrichtung des entsprechenden Paläogerinnes herangezogen werden – es sei denn, sie liegen in bereinigter, d.h. "rückgekippter" Form vor. Diesem Zweck dient der zweite Teil des Programms SITUMET. Es ermöglicht die Rückkipfung der eingegebenen Lagewerte nach beliebigen Richtungen und Winkeln. Auf Abfrage hin wird der gewünschte Azimut und der Winkel der Rückkipfung eingegeben (Beispiel: Eine vermutete Verkippung des Sedimentkörpers gegenüber seiner ursprünglichen Lage um 25° gegen 160° wird durch die Eingabe von "340, 25" rückgerechnet und ausgeglichen). Der Rechner erstellt sodann die daraus sich ergebenden neuen Kreisnetzdarstellungen (vgl. Abb. 2b), wiederum auf 5°-Schritte gerundet. Beim vorliegenden Beispiel ergibt sich somit unter zugrundegelegter Quereinregelung der Komponenten ein Transport aus SW.

Die Beträge, um die jeweils rückgekippt werden muß, sind allerdings nicht ohne weiteres zu erhalten, sondern vielmehr indirekt zu erschließen. Zunächst sind bei der Geländearbeit sämtliche Hinweise zu notieren, welche neben möglichen Transport-Grobrichtungen (z.B. Imbrikation, Belastungsmarken, u.ä. – vgl. oben) Anhaltspunkte auf die Schichtenlagerung geben können; hierzu gehören der Verlauf von Schichtgrenzen bei Wechsellagerungen und Gradierungsfolgen, eingeschaltete feinerklastische Lagen oder Linsen, u.ä. Ferner ist nach Anhaltspunkten zu suchen, ob die ursprüngliche Transport- und Ablagerungsebene \pm horizontal war oder aber (wie bei Kreuzschichtungskörpern) bereits eine bestimmte Neigung aufgewiesen haben kann. Die Werte für die natürlichen Schüttungswinkel von Schrägschichtungskörpern bewegen sich meist zwischen 10° und 30° (LESER 1977, S. 239). Diese Frage ist nur unter genauer Betrachtung der Geröll- und insbesondere Schichtungcharakteristika zu lösen; insbesondere bei Vorliegen größerer Aufschlüsse mit mehr als nur einer Wandrichtung lassen sich jedoch entsprechende Hinweise meist recht gut entnehmen.

Größere Schotter und Konglomerate sind allerdings, soweit sie eine Schichtung erkennen lassen, in der Regel "...horizontal geschichtet, entsprechend ihrer Ablage-

2) Als Beispiel sei auf die gefaltete Molasse am Alpenrand (SCHIEMENZ 1960) bzw. das inneralpine Tertiär mit zum Teil völlig ungeklärten Herkunftsrichtungen (SCHNEIDER 1988) verwiesen.

rung im oberen Strömungsregime" (FÜCHTBAUER 1988, S. 82). Dennoch kommen sie bisweilen auch als "große planare Schrägschichtungskörper" (ibid.) vor; hier ist Sorge zu tragen, daß die die "foresets" in der Regel im Liegenden und Hangenden begrenzenden/horizontalen Schichten ("topsets" und "bottomsets") als Bezugsflächen herangezogen werden.

Wo ein solcher Sachverhalt nicht ganz klar und der Wert der nötigen Rückkipfung im Gelände nicht ganz eindeutig zu ermitteln ist, können mehrere Möglichkeiten "durchgespielt" werden. Die jeweils mitdargestellte *Verteilungsrose* gibt dann bei statistisch genügend großer Zahl n der zugrundeliegenden Gerölle zusätzliche Entscheidungshilfen – bei richtig gewählter Rückkipfung muß sich eine annähernde Symmetrie der Längsachsen- (bei Einregelung quer zur Transportrichtung) oder Querachsenverteilung (bei Einregelung längs zur Transportrichtung) ergeben (vgl. Abb. 2b). Eine zusätzliche Hilfe kann der jeweilige Mittelwert sein. Bei Längseinregelung müßte der Mittelwert der Querachsen, bei Quereinregelung derjenige der Längsachsen in der Nähe des Kreisnetzzentrums zu liegen kommen.

4. Abschließende Bemerkungen

Die direkte Umsetzung im Gelände gewonnener situmetrischer Daten in die graphische Darstellung sowie die einfache Durchführung horizontalachsiger Rotationen mit Hilfe des Programms "SITUMET" erleichtert und verkürzt aufwendige geomorphologisch-sedimentologische Auswertungsarbeiten. Grundlage guter Ergebnisse sind jedoch auch hierbei entsprechend sorgfältig durchgeführte Aufschlußarbeiten. Der Entnahmebereich der Probegerölle ist bei vertikal freiliegenden Aufschlüssen so zu wählen, daß alle Komponenten, welche in eine Diagrammdarstellung einfließen, einer einheitlichen Schicht angehören, um Fehler durch eventuelle Transportrichtungsunterschiede zwischen einzelnen Schichten zu vermeiden.

Die für stichhaltige Aussagen notwendige Zahl der eingemessenen Gerölle variiert mit dem Grad eindeutiger Einregelung; so können, zumindest unter ungestörten Verhältnissen, bei sehr deutlicher Einregelung und Imbrikation bereits einmal 50 Gerölle ausreichende Hinweise liefern, während im Normalfall, besonders bei breiterer Streuung, mindestens 75, eher aber 100 Individuen als für signifikante Aussagen erforderlich erachtet werden. Natürlich hängt die Zahl der eingemessenen Gerölle auch sehr stark von der Art des Sedimentkörpers ab; während bei lockerem Schottermaterial recht schnell auch eine große Zahl von Messungen durchgeführt werden kann, setzt in älteren Klastika harte konglomeratische Verbackung der Gewinnung einer wünschenswert großen Menge von Daten oft Grenzen, obwohl sie – beispielsweise im inneralpinen Tertiär (vgl. Fußnote 2) – gerade bei diesen wünschenswert wäre. In solchen Fällen kann es hilfreich sein,

wenn schon länger freiliegende Aufschlüsse aufgesucht werden, bei denen die Verwitterung in oberflächennahen Partien bereits zur Lockerung der Matrix geführt hat.

Die eingemessenen Gerölle sollten dabei bestimmte Kriterien erfüllen; sie müssen deutlich erkennbare Längsachsen sowie Plattseiten aufweisen, um entsprechend sichere Messungen zu erlauben. Es zeigt sich, daß solche etwa bei einem Verhältnis von $a:b < 2$ und von $b:c < 2$ mit den im Gelände zur Verfügung stehenden Mitteln Schwierigkeiten bereiten; als absolute Untergrenze kann jeweils ein Verhältnis von etwa $1 : 1,5$ gelten.

Insbesondere bei schlecht sortierten Klastika ist es nötig, sich auf ein bestimmtes Korngrößenspektrum zu beschränken. Dies stellt keine Subjektivierung der Ergebnisse dar; vielmehr hat sich ja gezeigt (vgl. 2.1), daß je nach Geröllform und -größe mit etwas differenziertem Einregelungsverhalten zu rechnen ist, die Berücksichtigung eines sehr breiten Spektrums somit diffusere Werte erbringen könnte. Generell gültige Angaben sind nicht zu machen, doch sollte eine möglichst repräsentative Größenklasse zu den Messungen herangezogen werden, sehr kleine und überdurchschnittlich große Komponenten sind auszuschließen.

Von der Größe und insbesondere der Gestalt der Komponenten hängt aber auch die Genauigkeit der Messungen ab; je deutlicher ausgeprägt die Längsachsen und je flacher das Geröll, desto genauer kann mit den im Gelände zur Verfügung stehenden Mitteln seine Raumlage eingemessen werden. Daß dabei eine Genauigkeit auf Grad nicht zu erreichen ist, ist trivial – entsprechend werden auch die Azimutwerte in den Kreisdiagrammen auf 5° gerundet; bei den Deklinationswerten wird jedoch auf Gradbasis vorgegangen, um auch sehr geringe Neigungen zum Ausdruck bringen zu können. Es ist davon auszugehen, daß die bei diesem Vorgehen unvermeidlichen kleinen Meßungenauigkeiten bei der Geländearbeit sich gegenseitig in etwa aufheben.

Aussagen über die Fließrichtung von Paläogerinnen können selbstverständlich nicht nur auf den Ergebnissen eines einzigen Aufschlusses aufgebaut werden – zu groß ist dabei die Gefahr, auf unrepräsentative Verhältnisse zu stoßen (Lateralbereiche, Anostomosierstrecken, Kolke, usw.); die Streubreite der Ergebnisse bei mehreren benachbarten Aufschlüssen kommt etwa bei BYRNE (1963) zum Ausdruck. Sie müssen vielmehr auf einer Zusammenschau der Befunde von mehreren Stellen eines Sedimentkörpers beruhen, deren Mittelwert dann erst zu vorsichtigen Aussagen herangezogen werden kann.

Die in diesen Fällen notwendige Verarbeitung einer riesigen Zahl von Gerölldaten sowie ihre Umsetzung in graphische Darstellungen kann durch die Anwendung von SITUMET sehr erleichtert werden. Eine Erweiterung des Programms auf der Grundlage möglichst breiter praktischer Erfahrungen ist ins Auge gefaßt.

Dank

Besonderer Dank für wertvolle Tips und Hilfe gebührt Herrn StD W. ADLER, Königsbrunn, sowie Herrn Prof. Dr. U. WIECZOREK, Augsburg.

5. Summary

Thomas Schneider and Gerd Peyke: Situmetric Measurements of Coarse Clastic Sediments and Their Interpretation – With a Computer Program for Data Presentation and Assessment of Flow Direction in Tectonically Tilted Material

The paper first discusses factors influencing the orientation of coarse clastic sediments, determined by the three axes a, b and c (cf. fig. 1). Transverse or longitudinal orientation and angle of dip – either upstream or downstream – are explained as a result of flow conditions and characteristics of the components.

A computer program is presented which facilitates handling large amounts of situmetric data. It offers easy recording of data, quick graphic output of situmetric diagrams as well as correction for tectonic tilt (cf. figs. 2 and 3).

6. Literaturverzeichnis

- ALLEN J.R.L. (1982), *Sedimentary Structures, their Character and Physical Basis*, I+II. 2 Bde. (= Develop. in Sedimentology, 30A+B). Amsterdam.
- ALLEN J.R.L. (1985), *Principles of Physical Sedimentology*. London.
- BACHMANN F. (1966), *Fossile Strukturböden und Eiskeile auf jungpleistozänen Schotterflächen im nordostschweizerischen Mittelland*. Zürich.
- BEHRENS M. (1977), *Zur Stereometrie von Geröllen*. In: *Mitt. d. Geol.-Paläontol. Inst. d. Univ. Hamburg*, 47, S. 1-124.
- BENDER F. (Hrsg.) (1981), *Angewandte Geowissenschaften*, Bd. I. Stuttgart.
- BENTZ A. (Hrsg.) (1961), *Lehrbuch der Angewandten Geologie*, Bd. I: *Allgemeine Methoden*. Stuttgart.
- BRINKMANN R. (1955), *Gerichtete Gefüge in klastischen Sedimenten*. In: *Geol. Rundschau*, 43, S. 562-568.
- BYRNE J.V. (1963), *Variations in fluvial gravel imbrication*. In: *Journ. of Sedimentary Petrology*, 33, S. 467-469.
- CAILLEUX A. (1963-5), *Initiation à l'étude des sables et galets*. 3 Bde. Paris.
- CARVER R.E. (Hrsg.) (1971), *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York.
- COLLINSON J.D., THOMPSON D.B. (1982), *Sedimentary Structures*. London.
- DOUGLAS D.J. (1962), *The structure of sedimentary deposits of braided rivers*. In: *Sedimentology*, 1, S. 167-190.

- EINSELE G. (1960), Schrägschichtung im Raumbild und einfache Bestimmung der Schüt-
tungsrichtung. In: Neues Jahrb. f. Geol. u. Paläontologie, Monatshefte, S. 546-559.
- FISCHER K. (1966), Zur Anwendung der morphometrischen Schotteranalyse bei Untersu-
chungen in Alpentälern. In: Zeitschr. f. Geomorph., N.F., 10, S. 1-10.
- FÜCHTBAUER H. (Hrsg.) (1988), Sedimente und Sedimentgesteine (= Sediment-Petrologie,
II). Stuttgart.
- FÜCHTBAUER H., MÜLLER G. (1970), Sedimente und Sedimentgesteine (= Sediment-Petro-
logie, II). Stuttgart.
- FURRER G. (1965), Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen. Habilitationsschrift,
Philosophische Fakultät II, Univ. Zürich.
- FURRER G., BACHMANN F. (1968), Die Situmetrie (Einregelungsmessung) als morphologi-
sche Untersuchungsmethode. In: Geographica Helvetica, 23, S. 1-14.
- GWINNER M.P. (1965), Geometrische Grundlagen der Geometrie. Stuttgart.
- HARMS J.C. et al. (1982), Structures and Sequences in Clastic Rocks Lecture (= Short
Course, 9). Tulsa (Okl.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.
- HENNINGSSEN D. (1969), Paläogeographische Ausdeutung vorzeitlicher Ablagerungen. Mann-
heim.
- HEYER E. et al. (1968), Arbeitsmethoden in der Physischen Geographie. Berlin.
- JOHANSSON C.E. (1963), Orientation of pebbles in running water: A laboratory study. In:
Geografiska Annaler, 45, S. 85-112.
- JOHANSSON C.E. (1965), Orientation of pebbles in running water. In: Geologiska Förenin-
gens: Stockholm Förhandlingar, 87, S. 3-61.
- JOHANSSON C.E. (1976), Structural studies of frictional sediments. In: Geografiska Anna-
ler, 58 A, S. 201-300.
- KALTERHERBERG J. (1956), Über Anlagerungsgefüge in grobklastischen Sedimenten. In:
Neues Jahrb. f. Geol. u. Paläontol., Abh., 104, S. 30-57.
- KARLSTROM Th.N.V. (1952), Improved equipment and techniques for orientation studies of
large particles in sediments. In: Journ. of Geology, 60, S. 489-493.
- KÖSTER E. (1964), Granulometrische und morphometrische Meßmethoden an Mineralkör-
nern, Steinen und sonstigen Stoffen. Stuttgart.
- KRUMBEIN W.C. (1939), Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits. In:
Journ. of Geology, 47, S. 673-708.
- KRUMBEIN W.C. (1940), Flood gravel of San Gabriel Canyon. In: Bulletin of the Geol.
Society of America, 51, S. 639-676.
- KRUMBEIN W.C., PETTIJOHN F.J. (1938), Manual of Sedimentary Petrography. New York.
- KÜRSTEN M. (1960), Zur Frage der Geröllorientierung in Flußläufen. In: Geol. Rundschau,
49, S. 498-501.
- LESER H. (1977), Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. Berlin.
- LIBORIUSSEN J. (1975), A study of gravel fabric. In: Sedimentary Geology, 14, S. 235-251.
- LINDHOLM R.C. (1979), Utilization of programmable calculators in sedimentology. In:
Journ. of Sedimentary Petrology, 49, S. 615-620.
- LINDHOLM R.C. (1987), A Practical Approach to Sedimentology. London.
- MIALL A.D. (1984), Principles of Sedimentary Basin Analysis. Berlin.
- MÜLLER G. (1964), Methoden der Sediment-Untersuchung (= Sediment-Petrologie, I).
Stuttgart.
- PARKS J.M. (1970), Computerized trigonometric method for rotation of structurally tilted
sedimentary directional features. In: Bulletin of the Geol. Society of America, 81,
S. 537-540.

- PARKS J.M. (1974), Paleocurrent analysis of sedimentary crossbed data with graphic output using three integrated computer programs. In: *Mathematical Geology*, 6, S. 353-372.
- PETTIJOHN F.J. (1975), *Sedimentary Rocks*. New York.
- PINCUS H.J. (1956), Some vector and arithmetic operations on two-dimensional orientation variates, with application to graphical data. In: *Journ. of Geology*, 64, S. 533-557.
- POSER H., HÖVERMANN J. (1952), Beiträge zur morphometrischen und morphologischen Schotteranalyse. In: *Abh. d. Braunschweigischen Wiss. Ges.*, 4, S. 12-36.
- POTTER P.E., PETTIJOHN F.J. (1977), *Paleocurrents and Basin Analysis*. New York.
- RAMSAY J.G. (1961), The effects of folding upon the orientation of sedimentary structures. In: *Journ. of Geology*, 69, S. 84-100.
- REICHEL T. G. (1961), Über Schotterformen und Rundungsanalyse als Feldmethode. In: *Petermanns Mitt.*, 105, S. 15-24.
- RUST B.R. (1972), Pebble orientation in fluvial sediments. In: *Journ. of Sedimentary Petrology*, 42, S. 384-388.
- SCHEIDEGGER A.E. (1965), On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes, and similar sedimentological data. In: *U.S. Geol. Survey Professional Papers*, 525 C, S. 164-167.
- SCHIEMENZ S. (1960), Fazies und Paläogeographie der subalpinen Molasse zwischen Bodensee und Isar. In: *Beihefte z. Geol. Jahrb.*, 38.
- SCHMALL H.R., BENNETT R.H. (1961), Axiometer – a mechanical device for locating and measuring pebble and cobble axes for macrofabric studies. In: *Journ. of Sedimentary Petrology*, 31, S. 617-622.
- SCHNEIDER Th. (1988), Die geomorphologische Entwicklung des Lungau im Jungtertiär (= *Augsburger Geogr. Hefte*, 7).
- SEDIMENTARY PETROLOGY SEMINAR (1964), Gravel fabric in Wolf Run. In: *Sedimentology*, 4, S. 273-283.
- SENGUPTA S. (1966), Studies on orientation and imbrication of pebbles with respect to cross-stratification. In: *Journ. of Sedimentary Petrology*, 36, S. 362-369.
- STÄBLEIN G. (1970), Grobsediment-Analyse als Arbeitsmethode der Genetischen Geomorphologie. In: *Würzburger Geogr. Arb.*, 27.
- WHITE W.S. (1952), Imbrication and initial dip in a Keweenawan conglomerate bed. In: *Journ. of Sedimentary Petrology*, 22, S. 189-199.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [137](#)

Autor(en)/Author(s): Schneider Thomas, Peyke Gerd

Artikel/Article: [Zur Situmetrie grobklastischer Sedimente und ihrer Interpretation- mit einem Programm zur Darstellung situmetrischer Daten und zur Ermittlung der Transportrichtung unter Berücksichtigung nachträglicher Verstellungen 255-271](#)