

# KORNMORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DES SANDES

Von

B. KLEB

Lehrstuhl für Mineralogie und Geologie, Technische Universität, Budapest  
(Eingegangen am 31. Januar 1970)

Vorgelegt von Prof. Dr. J. MEISEL

Sowohl für die geologische Untersuchung als auch für die praktische Qualitätsbestimmung von lockeren, trümmigen Sedimenten — Kies, Sand, Sandmehl — ist die Auswertung der Gestalt und Oberfläche der diese bildenden Gesteine, Minerale in gleicher Weise wichtig.

Die Hauptanforderungen, die aus technischer Sicht an Sande gestellt werden, sind die *Reinheit* (der Sand darf keine zur Verwitterung neigende Minerale und andere Beimengungen enthalten), die geeignete *Körnung* und *Kornform*. Während die ersten zwei Eigenschaften nach wohl ausgearbeiteten Methoden bestimmt werden, wurde die eingehende Messung von Form und Oberfläche im Körnungsbereich Sand in der Regel beiseitegelassen. Dabei werden bei der Verwendung als Zuschlagstoff durch die Qualität des Sandes die Beton- und Mörtel Eigenschaften weitgehend beeinflußt; — bei Bodenstabilisierungen und im Asphaltstraßenbau ist die Kenntnis der Form und Oberfläche sogar unentbehrlich.

Nach der in Ungarn üblichen Deutung umfaßt die Kornformuntersuchung zwei Begriffe — die Untersuchung der *geometrischen Form* und der *Oberfläche* des Korns.

Unsere Untersuchungen wurden für die Klärung des Einflusses der Materialeigenschaften an verschiedenen Mineralen des Körnungsbereichs Sand durchgeführt, die im folgenden kurz charakterisiert werden sollen.

*Quarz*: das vorherrschende, leicht erkennbare Mineral des Sandes. Wegen seines häufigen Vorkommens und seiner physikalischen Eigenschaften ist Quarz für die Untersuchung von Form und Oberfläche am besten geeignet: er spaltet sich nicht, bricht splittrig oder muschelförmig, ist spröde und widerstandsfähig, besitzt eine große Härte —, Ritzhärte 7, relative Schleifhärte 100. Wegen seiner großen Widerstandsfähigkeit bleibt Sand bei der Gesteinserosion erhalten, häuft sich im Trümmergestein in Form von Sand, Sandstein an. Die kristallinische Form, die Gestalt sind für die Entstehungsbedingungen kennzeichnend, die bei hohen Temperaturen entstandenen Varianten sind hexagonal, die sich bei niedrigen Temperaturen bildenden länglich.

*Granat*: ein Mineral von bedeutender Widerstandskraft, daher sammelt es sich im Trümmergestein an. Spaltet sich schlecht, ist von großer Härte ( $H = 6,5-7,5$ ), besitzt eine regelmäßige Kristallstruktur, daher ist die ursprüngliche Form gedrunken, isometrisch.

*Magnetit*: ein sich schlecht spaltendes Mineral von mittlerer Härte ( $H = 5-5,5$ ) und hohem spezifischem Gewicht ( $\gamma_s = 5,2 \text{ p/cm}^3$ ), mit regelmäßiger Kristallstruktur, von isometrischer Form. Es wird leicht abgerollt und häuft sich zufolge des hohen spezifischen Gewichts die Ufern entlang im Sande an.

## I. Untersuchung der geometrischen Form

Die Abmessungen regelmäßiger geometrischer Körper lassen sich einfach bestimmen und damit können Volumen und Oberfläche bereits berechnet werden. *Die den Sand bildenden Mineralkörner sind bei weitem nicht von regelmäßiger geometrischer Form*; sie sind besonders weit von der Kugelform, die sich durch eine einzige Abmessung, den Durchmesser, kennzeichnen läßt, und durch die es üblich ist, diese Körner bei hydrologischen, bodenmechanischen Berechnungen und Berechnungen der Baustoffkunde zu ersetzen.

In Ungarn ergibt sich bei diesen Berechnungen eine Fehlerquelle auch aus dem Umstand, daß statt der für die Korngrößenbestimmung der *Kiese* benutzten *Rundlochsiebe*, für die Fraktionstrennung von *Sanden* Siebe mit *quadratischem Lochquerschnitt* verwendet werden. Damit können *in der Lochdiagonale auch Körner mit einem Durchmesser über den kennzeichnenden »d«-Wert, mit  $d\sqrt{2}$  durchgehen*, u.zw. besonders im Falle, wenn das *Mineral blättrig ist*.

Während beim Sieben lediglich die Breite eine Rolle spielt, ist bei der Trennung der Korngruppen auch die Stärke des Kornes maßgebend, eine Eigenschaft, die auch für die Kennzeichnung der Korngestalt benutzt werden kann.

Bei Körnern von unregelmäßiger Form wird die Korngestalt meistens mit *durch die Messung von zwei oder drei Hauptachsen erhaltenen Dimensionszahlen* oder mit einer dimensionslosen Verhältniszahl gekennzeichnet.

Eine zahlenmäßige Kennzeichnung der Gestalt von Mineralkörnern von 0,06–2,0 mm Größe erfordert bereits eine mikroskopische Untersuchung; dadurch läßt es sich hauptsächlich erklären, daß in der Praxis ausführliche Angaben über die Korngestalt selten beansprucht werden, in der Regel werden vereinfachte Messungen unternommen.

Bei mikroskopischen Untersuchungen werden *Länge (L)* und *Breite (B)* des Kornes im Mikrometerokular gemessen, die *Stärke (S)* läßt sich lediglich durch Feinarbeit mit Hilfe eines Feineinstellers vom Nonius ablesen.

Wegen der Zeitaufwendigkeit ist auch bei geologischen Materialuntersuchungen die Messung der drei Hauptachsen lediglich aus dem amerikanischen Fachschrifttum bekannt. Von SNEED. —FOLK. (1958) und BLATT (1959) wurde die formmäßige Verteilung durch einen Quotienten aus den drei Hauptachsenwerten veranschaulicht (Abb. 1).

In Europa und auch in Ungarn hat sich die von HAGERMAN (1936) ausgearbeitete, auf der Messung von zwei Hauptachsen fußende Methode verbreitet. Während nach dem ersteren Verfahren der Sand fraktionsweise gekennzeichnet wird, wird nach dem letzteren das ursprüngliche Material gemischter Körnung durch die Messung von 100 bis 150 Körnern qualifiziert. Bei der Messung und Berechnung wird die Kornlänge mit der von der Lage des Minerals abhängigen, u. Ü. größten Breite in Zusammenhang gebracht. Es wird angenommen, daß sich das Korn zu seiner größten Querschnittsfläche parallel auf dem Objektstisch des Mikroskops einstellt. Werden die Werte der Körner in einem Diagramm aufgetragen, erhält man ein wohlumgrenztes Verteilungsfeld (Abb. 2).

Auch bei Mineralkörnern unter 2,0 mm ist es also möglich, die von ZINGG (1935), sodann von QUERVAIN (1959) vorgeschlagenen, für grobes Trümmergestein und Schotter auch in der ungarischen Norm (MSZ 1991–67) vorgeschriebenen vier Haupttypen: die *isometrischen—blättrigen—blättrig und länglichen—länglichen* Kornformen zu bestimmen, ihre Häufigkeit zu analysieren. Die Haupttypen lassen sich im binokularen Mikroskop ermitteln, nur die Trennung der blättrigen und länglichen Typen könnte Schwierigkeiten verursachen, diese kommen jedoch unter den Quarzkörnern lediglich mit einer Häufigkeit von einigen Prozenten vor.

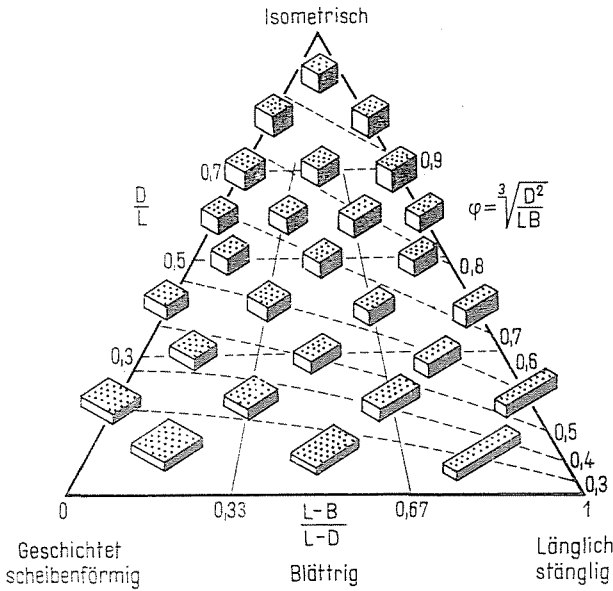


Abb. 1. Kennzeichnung der Kornform aufgrund der Messung von drei Hauptachsen (nach SNEED—FOLK, 1958)

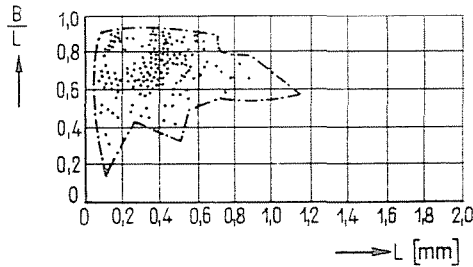


Abb. 2. Kennzeichnung der Kornform in Sand durch Messung von zwei Hauptachsen (nach HAGERMAN, 1936)

1.1. Beziehung zwischen Korngestalt und Materialeigenschaften

Im Körnungsbereich Sand fand die Untersuchung des mengenmäßig vorherrschenden und leicht erkennbaren Quarzes Verbreitung. Es ist eine Folge des Umstands, daß sich Quarz nicht spaltet und hochwiderstandsfähig ist, daß es beim Transport zerbröckelt, absplittert.

Bei der Untersuchung der optischen Orientierung von Quarzkörnern stellte WAYLAND (1939) fest, daß die Zerkleinerung, die Absplitterung am häufigsten parallel zur Kristallachse *c* erfolgen. Von INGERSON—RAMISCHEN

(1942) wurde diese Feststellung nur mit strengem Vorbehalt aufgenommen. Druck-, Zug-, Schubwiderstand der Quarzkristalle sind sehr unterschiedlich, zufolge des *anisotropen* Charakters *ändern sich diese Werte auch den Richtungen gemäß*. Die Untersuchungsergebnisse von BERDT (1919) und SMEKAL (1933) zeigten, daß Quarz zur *c*-Achse parallel gegen äußere Kraftwirkungen einen wesentlich höheren Widerstand aufweist, als senkrecht auf diese (Tafel 1).

Tafel I  
Die Prüffestigkeit des Quarzes

Festigkeit	Parallel zur <i>c</i> -Achse [kp/cm <sup>2</sup> ]	Senkrecht auf die <i>c</i> -Achse [kp/cm <sup>2</sup> ]
Druck	25 000	22 800
Zug	1 160	850
Schub	1 400	920

Durch diese Ergebnisse werden die optischen Feststellungen nicht bestätigt. Nach der zusammenfassenden Studie von SCHUMANN (1942) lassen sich auch hinsichtlich der Härte des Quarzes geringere Unterschiede in den verschiedenen Richtungen nachweisen.

Die Form des Quarzes ist in bedeutendem Maße von den Entstehungsbedingungen abhängig; diese ursprüngliche Abweichung ist zum Teil auch für die weitere Gestaltung im Laufe des Transports maßgebend.

Der aus Eruptivgesteinen stammende Quarz ist nur zum Teil eigenartiger Form, er ist vielmehr gedrunken, rundlich, und neigt damit während des Transports zur weiteren Abrollung, zur Annahme einer isometrischen Gestalt. Der aus Übergangsgebirge stammende Quarz ist zufolge des gerichteten Druckes länglich, von kammartiger Struktur, teilweise verformt, neigt zur splittrigen Zerkleinerung.

Der sich bei niedrigeren Temperaturen bildende Trumquarz ist auch von länglicherer, stänglicher Gestalt.

Diese Unterschiede bei der Entstehung spielen bei der Ausgestaltung der späteren Form im Laufe des Transports eine wesentliche Rolle; bei der Sedimentbildung ist auch in dieser Beziehung der aus Eruptiv- und Übergangsgebirge bestehende Abtragbereich bedeutend.

Im Körnungsbereich Sand ist die Form mehr von den Materialeigenschaften abhängig als bei Kiesen:\* So kommen die neben dem Quarz häufigen

\* Bei der Kies Korngröße hat man es mit keinem Material einheitlicher Zusammensetzung, einheitlicher Struktur zu tun; Kies ist das Konglomerat verschiedener abgeriebener Trümmergesteine, während der Sand ein Haufwerk gesonderter Einzelkristalle darstellt. Dabei übt auf Kies wegen seiner bedeutenden Größe der Wellengang des Flusses oder an der Küste eine starke und unterschiedlich abrundende Wirkung aus.

*Kalzite* und *Feldspate* zufolge ihrer guten Spaltungsneigung im Sand oft in flacher, blättriger Form vor. Die vorzügliche Spaltung von Glimmer ergibt ausschließlich blättrige Schuppenformen.

Der von den Schwermineralen ( $\gamma_s > 2,9 \text{ p/cm}^3$ ) untersuchte *Granat* ist zufolge seiner isometrischen Grundform auch im Trümmer gedrungener; doch läßt sich auch seine Sprödigkeit, die Neigung zur Splitterbildung nachweisen;

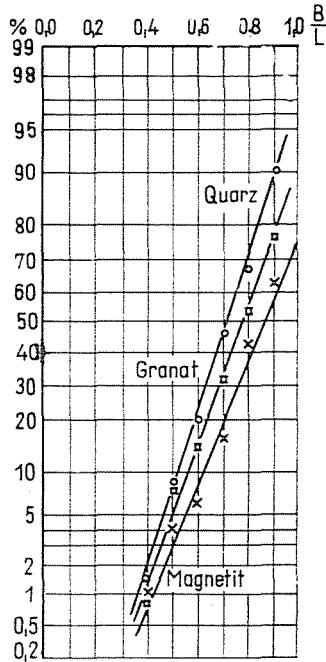


Abb. 3. Verteilung der Verhältniszahl Breite/Länge in Abhängigkeit vom Material, bei 0.1 mm Korngröße

gleichzeitig erscheint *Magnetit* zufolge seiner geringeren Härte und Abrollungsneigung auch in Trümmerform schon in wesentlich gedrungenerer Gestalt (Abb. 3).

### 1.2. Veränderung der Gestalt mit der Korngröße

Es ist bekannt, daß im Sandbereich der Abriebgrad mit feinerem Korn abnimmt, die Abbröcklung, das Absplittern der Quarzkörner wird in wachsendem Maße vorherrschend.

Werden *nicht abgeriebene Quarzkörner* untersucht, ist zweifellos mit der Verminderung der Korngröße eine bedeutende Verlängerung, Absplitterung zu beobachten. Während bei Grobsand das Verhältnis  $L : B$  gleich 1 : 1 und 2 : 1

ist, nimmt sein Wert vom Feinsand in Richtung des Sandmehls rasch zu und erreicht sogar 7 : 1 (Abb. 4).

Mit abnehmender Korngröße läßt sich jedoch *kein Absplittern von solchem Maße verallgemeinern*. Im Sand kommen nämlich in derselben Korngruppe *splittrige, halb abgerollte und rundgeschliffene Körner gleichzeitig vor*, lediglich in den Mengenverhältnissen sind in Abhängigkeit von Korngröße

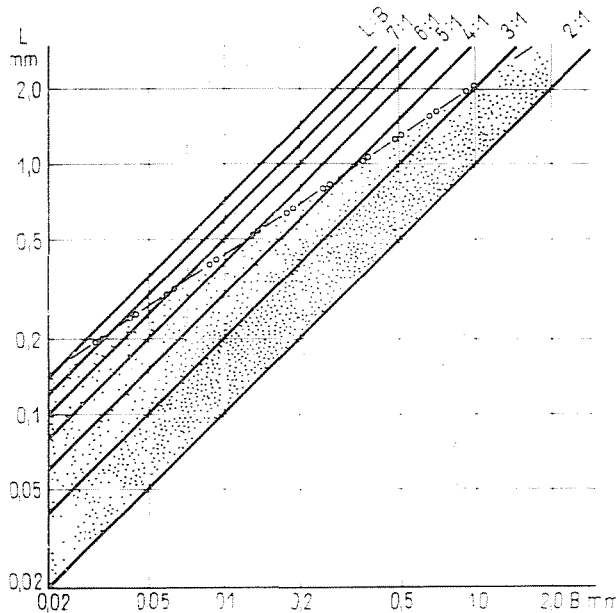


Abb. 4. Änderung mit der Korngröße des Verhältnisses Länge/ Breite bei splittrigen Quarzkörnern

bzw. Transportweise Unterschiede zu verzeichnen. Dies wird auch durch die Untersuchung der vom Wind rundgeschliffenen eolischen Quarzkörner nachgewiesen, wo das  $L : B$  Verhältnis in der Regel den Wert 2 : 1 unterschreitet. *Bei vollständigem Abrieb, bei Abrollung erfolgt mit abnehmender Korngröße lediglich eine geringfügige Verlängerung* (Abb. 5).

Die obige Feststellung wird auch durch die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der  $B/L$  Verhältniszahl von Fluß- und eolischem Sand in Abhängigkeit von der Korngröße bekräftigt. Während sich bei Wassertransport mit veränderter Korngröße beträchtliche Abweichungen ergeben, vermindert sich der Unterschied bei eolischem Sande in bedeutendem Maße zufolge der Abrollung (Abb. 6).

Werden die Formkennwerte aufgrund der aus den Messungen der drei Hauptachsen ermittelten Quotienten geprüft, so läßt sich feststellen, daß vom Grobkies bis zum Feinsand eine sukzessive Formänderung vor sich geht.

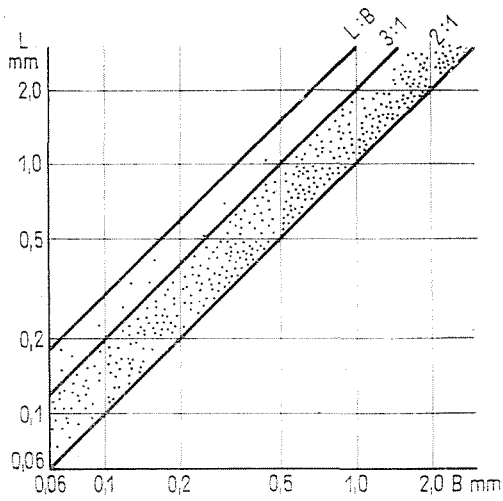


Abb. 5. Änderung mit der Korngröße des Verhältnisses Länge/ Breite bei abgerollten Quarzkörnern

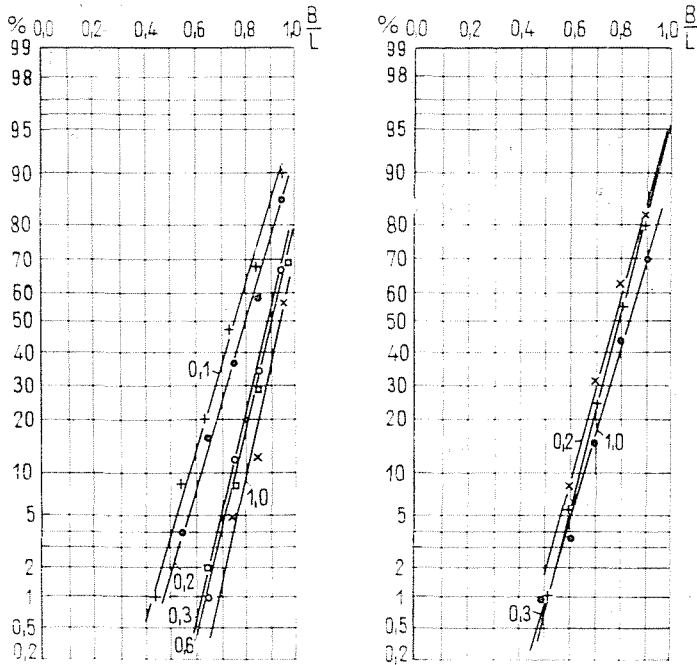


Abb. 6. Änderung mit der Korngröße der Verteilung des B/L bei Quarzkörnern.  
 1 — im Wasser transportierter Sand: — 2 eolischer Sand

Während jedoch bei *Kiesen zwischen Küsten- und Flußtransport ein wesentlicher Unterschied zu verzeichnen ist* — für Küstenkiese ist die flache, für Flußkiese die längliche Form kennzeichnend — *verschwindet der Unterschied im Falle der Sande*. Mit abnehmender Korngröße spielt der Abrieb eine immer unbedeutendere Rolle, daher kommt die Wirkung des Wellenganges an der Küste, die eine Gleitbewegung und damit flache Formen herbeiführt, nicht

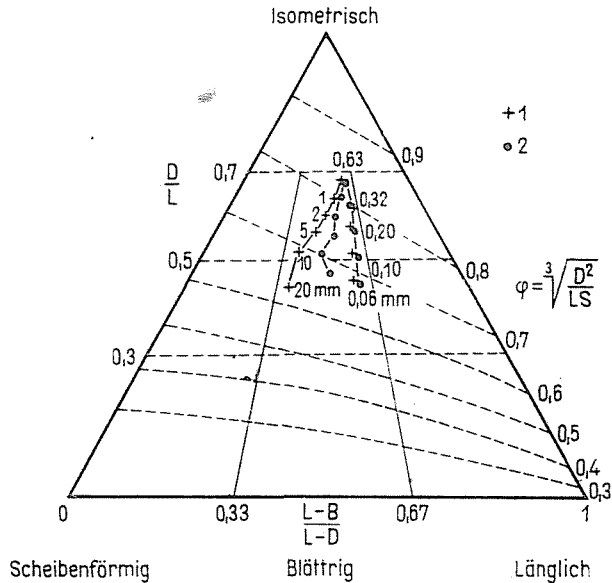


Abb. 7. Morphologische Änderungen mit der Korngröße bei Quarz. Quarztkies und Quarzsand. 1 — helvetischer Küstensand; 2 — Flußsand (Eger)

zur Geltung. Für den Sandbereich mit abnehmender Korngröße ist die Entstehung einer schwach blättrigen, sodann eher länglichen Form kennzeichnend (Abb. 7).

Durch die Untersuchung wird auch nachgewiesen, daß Quarzkörner selten in einer typisch blättrigen Form vorkommen, der Unterschied zwischen Breite und Stärke ist unwesentlich. Daher kann bei Untersuchungen für praktische Zwecke von der umständlichen Messung der drei Hauptachsen abgesehen werden.

### 1.3. Die Wirkung der Transportweise auf die Änderung der Kornform

Um die Transport- und Sedimentierungsbedingungen zu klären, wurde von uns die zu Beginn der vorliegenden Arbeit genannte Methode von HAGERMAN (1936) angewandt.

Hagerman unternahm ursprünglich seine Untersuchungen an Sanden bekannter Herkunft. Form und Lage des durch die Darstellung erhaltenen Verteilungsfelds ändern sich in Abhängigkeit von Transportart und -entfernung:



- a) *Küstensand*: konzentriertes Feld mit sich von der  $y$ -Achse entfernender linksseitiger Grenzlinie;  
 b) *Flußsand aus großer Entfernung*: senkrecht abgeplattetes Verteilungsfeld, linksseitige Grenzlinie im allgemeinen glatt, rechte Seite gezackt;  
 c) *Flußsand aus mittlerer Entfernung*: größeres Verteilungsfeld, niedrige Grenzlinie, nach rechts stark ansteigend;  
 d) *Flußsand, aus der Nähe transportiert*: untere Grenzlinie gezackt, von den kleinen Korngrößen in Richtung der größeren ansteigend;  
 e) *eolischer Sand*: auf eine geringe Fläche konzentriertes, unten abgerundetes Feld;  
 f) *gemischt*: mit Übergangscharakter, kein kennzeichnender Typ.

Aufgrund der von uns durchgeführten zahlreichen Untersuchungen ist diese Methode, durch *andere Methoden* — Schichtenlage, Kornverteilungsparameter, mineralische Zusammensetzung — *ergänzt, zur Kennzeichnung der Entstehungsbedingungen geeignet.*

Damit lassen sich auch unter den ungarischen Sanden typische Küstensande, aus größerer oder geringerer Entfernung transportierte Flußsande sowie eolische Typen nachweisen (Abb. 8). In den jungen Sedimenten ist wegen der häufigen Umlagerung eine starke Vermischung zu beobachten.

Bei der Interpretation der aus den Kornformen ermittelten Verteilungsfelder ist jedoch der Umstand vor Augen zu halten — auf den auch die Untersuchungen von KRIVÁN (1957) aufmerksam machten —, daß die *Kornform der Quarzkörner* — also die Gestaltung der Verteilungsfelder — *zum Teil eine ererbte*, aus der unterschiedlichen Entstehung des Minerals herrührende, zum Teil eine bei dem Transport und der Sedimentation *erworbene* Eigenschaft darstellt.

Die Übergangs- und Trumquarze haben sich ursprünglich unverhältnismäßig verlängert, andererseits nimmt die Länglichkeit der Körner auch von der Entstehungsart unabhängig, mit abnehmender Korngröße im Laufe der Zerkleinerung zu.

Auch bei geringem Abrieb ist im Grobsandbereich eine annähernd isometrische Kornform charakteristisch; dazu genügt das Absplittern der vorstehenden Ecken. Der Umstand allein, daß für die grobe Korngruppe die Feldgrenze plötzlich ansteigt, deutet also nicht auf einen Küsten-, Fluß- oder eolischen Transport. *Die ständige Energie des Transportmediums, die sich in der Sortierung der Kornfraktionen geltend macht, ist viel wichtiger.* Die Wirkungen des Transports aus großer Entfernung, des Wellenschlags, lassen sich an der stärkeren Sortierung abmessen; in diesem Falle ist die Kornzusammensetzung einheitlicher, das die Form kennzeichnende Feld ist kompakter.

Für derartige Vergleiche ist es jedoch zweckmäßiger, das Diagramm so zu konstruieren, daß auf der  $x$ -Achse nicht die  $L$ -, sondern die  $B$ -Werte dargestellt sind, da doch bei der Kornverteilungsuntersuchung die Sortierung nicht nach der Länge, sondern aufgrund der Breite erfolgt. Damit läßt sich feststellen, daß man bei der ursprünglichen Darstellung in Abhängigkeit von  $L$  eine wesentlich größere Streuung erhält als die tatsächliche und die bei der Darstellung in Abhängigkeit von  $B$  erhaltene.

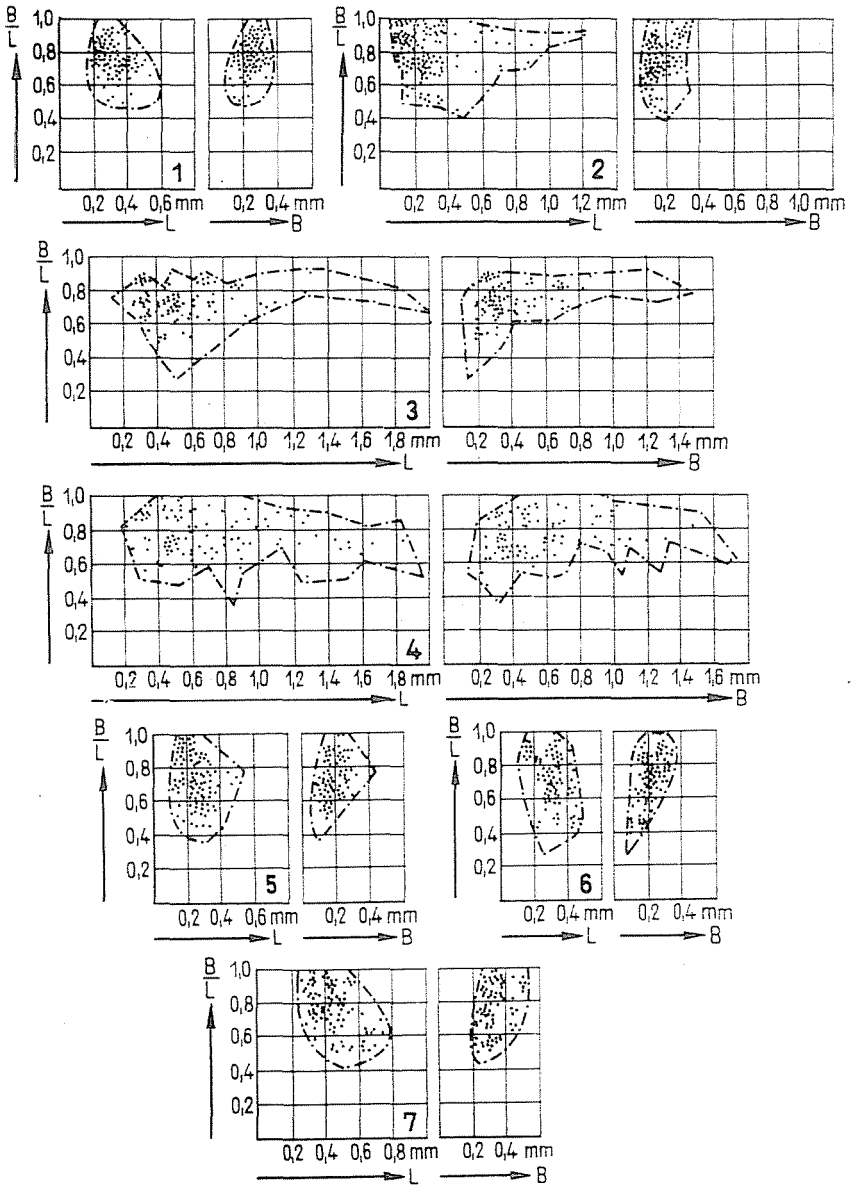


Abb. 8. Hagermansches Diagramm für verschiedenartig transportierte Sande. 1 — eolischer Sand, Ágasegyháza; 2—4 — Flußsand, Eger, Budapest, Eger; 5—7 — Küstensand, Eger, Pécs, Nesebar (Schwarzes Meer)

Auch der Umstand, daß sich das Verteilungsfeld der Küstensande von der  $y$ -Achse, also vom Feinkorn entfernt, stellt keine kornmorphologische Eigenschaft dar, sondern er ist eine Folge der durch die Wellenbewegung an der Küste entstandenen, natürlichen Abschlämmung, der stärkeren Sortierung.

Für die Praxis lassen sich aus der vorstehenden Darstellung einerseits die Kornverteilung, die Sortierung des Sandes annähernd ablesen — obwohl sich dazu die statistische Häufigkeit und anhand von einfacheren Verfahren die Korngrößenanalyse besser eignen —, anderseits der Verlängerungsgrad der Körner feststellen.

Die stänglige, längliche Kornform wird durch die Verhältniszahl  $B/L$  gekennzeichnet. Bei einer Verhältniszahl über 0,5 sind die Quarzkörner von gedrungener, isometrischer Gestalt.

In Ermangelung der Messung der dritten Hauptachse — der Stärke ( $S$ ) — wird durch diese Verhältniszahl auch teilweise die Untersuchung in Abhängigkeit von  $S/B$  und  $L/B$  ersetzt, die für Kiese der Norm (MSZ 1991—67) gemäß angewandt wird, weil die Quarzkörner fast ausschließlich in den isometrischen bzw. im Feinkorn in den länglichen Bereich fallen.

Nach den ausgeführten Kontrollprüfungen kann die formmäßige Zugehörigkeit (isometrisch, länglich) der Quarzkörner auch ohne konkrete Zahlenwerte, durch einfache Schätzung bereits mit guter Näherung angegeben werden.

## 2. Oberflächenuntersuchung der Körner

Eine charakteristische Eigenschaft der Trümmergesteine besteht darin, daß unter der Einwirkung der Sedimentbildung, des Transports, des Wellenschlags an der Küste die Kornoberfläche in gewissem Maße bearbeitet, abgerollt wird.

Aus der internationalen Fachliteratur sind zahlreiche Verfahren zur Unterscheidung von verschiedenen Stufen zwischen vollkommen splittrigen und abgerollten Körnern bekannt.

Die einzelnen Methoden lassen sich schwer vergleichen, teils weil für den Abreibungsgrad verschiedene Stufen (6—5—4—3) festgelegt wurden, teils weil unterschiedliche Korngrößen

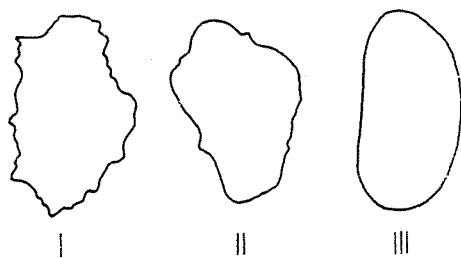


Abb. 9. Abrundungstypen in Sand (nach MIHÁLTZ—UNGÁR 1954). I — splittrig; II — Übergangsform, halb abgerundet; III — abgerollt

untersucht werden: es wurden von RUSSEL-TAYLOR (1937) die Korngruppe 0,3—0,6 mm, von CAILLEUX (1952) 0,4—1,0 mm, von MIHÁLTZ-UNGÁR (1954) 0,1—0,2 mm gewählt.

Die visuelle Trennung nach verschiedenen Abreibungstypen ist mit subjektiven Fehlern behaftet. Obwohl die in Ungarn von Miháلتz—Ungár eingeführte Methode keine so feine Trennung ermöglicht, wie die in den Ländern des Westens üblichen Verfahren, scheint sie wegen der geringeren subjektiven Fehler und der raschen Durchführung geeignet zu sein, bei der Qualitätsbestimmung von Sanden drei Kategorien zu unterscheiden (Abb. 9):

I. *vollkommen splittrig*: Korn mit wohlerhaltenen Bruchflächen, in der Regel mit unterschiedlichen Abmessungen in den verschiedenen Richtungen; im durch Wasser transportierten Sand ist diese Form vorherrschend:

II. *Übergangsform*: grob abgerollte Oberfläche, annähernd isometrische Form, hat jedoch noch keine abgeschliffene Oberfläche:

III. *Eolischer Sandtyp*: vollkommen matte, abgeschliffene Oberfläche, in der Regel von isometrischer Form, kann auch etwas länglich sein, doch ist die Oberfläche nicht mehr ungleichmäßig.

Für die Messung der drei Oberflächentypen wurde von den Verfassern die Korngröße 0,1—0,2 mm vorgeschlagen, weil diese in jeder Sandart in bedeutenden Mengen vorkommt und selbst der Verschleiß zur Geltung kommt.

Der Verschleiß, die Abrollung von Mineralkörnern werden durch eine Anzahl von Faktoren — Korngröße, spezifisches Gewicht, Härte, Neigung zur Spaltung, zurückgelegter Weg, Art des Transportmediums usw. — beeinflusst, daher stellt ihre Untersuchung eine komplexe Aufgabe dar.

### 2.1. Einfluß der Materialeigenschaften auf die Gestaltung der Kornoberfläche

Der Abrollungsgrad der Mineralkörner ist von den Materialeigenschaften, vor allem von *Spaltungsvermögen, Härte und Sprödigkeit* abhängig.

Ähnlich wie für die Untersuchung der Gestalt, ist auch für jene der Abrollung der *Quarz* am besten geeignet.

Im Laufe der Abreibung verschwinden zuerst die vorstehenden scharfen Ecken, damit erfolgt eine Veränderung in der Hauptform der Korngestalt — das Korn nimmt eine immer mehr gedrungene Gestalt an. Später wird die Oberfläche grob abgerollt, darauffolgend entsteht die abgeschliffene Oberfläche, doch ist in der Großform die gewölbte Oberfläche noch nicht vorherrschend, die erst als Folge eines weiteren Abriebs zustande kommt.

Die Übergangs- und Trumquarze neigen zufolge der länglichen Form und der kammartigen Struktur zum splittrigen Bruch, es entstehen selten isometrische Formen. Die Oberfläche der ursprünglich isometrischen Körner aus Eruptivgestein rundet sich hingegen leicht weiter ab.

*Feldspat* und *Kalzit*, die im Sande neben Quarz häufig vorkommen, runden sich trotz der guten Spaltbarkeit ab, ein Umstand, der der geringeren Härte dieser Gesteine ( $H = 6$  bzw.  $3$ ) zuzuschreiben ist. Der gleichfalls häufig vorkommende *Glimmer* ist hingegen für Abrollungsgraduntersuchungen ungeeignet, und kommt im Sande immer in Schuppenform vor.

Der von den schweren Mineralen untersuchte *Granat* wird nur in einem verhältnismäßig geringen Prozentanteil vollkommen abgerollt, dieser Wert ist

jedoch für die verschiedenen Korngrößen ziemlich beständig. Es fällt das häufige Vorkommen von splittrigen Körnern auf, das sich durch Absplittern zufolge von starker Bewegung, Anprall, mikroskopischer Ribbildung erklären läßt.

Der *Magnetit* ist von geringerer Härte, enthält also vorwiegend halb abgerollte Körner. Der voll abgerollte Typ ist hier feiner; in der Kornfraktion 0,2–0,3 mm kommt er am häufigsten vor. Das ist eine Folge der kleineren ursprünglichen Abmessungen bereits im Gestein, doch vielmehr des hohen spezifischen Gewichts. Wegen des letzteren erfolgen auch im Medium Wasser starker Anprall und damit Abrieb der Körner, andererseits ist es kennzeichnend, daß sich diese an den Ufern, in der Wellengangzone ansammeln.

## 2.2. Änderung der Kornoberfläche mit der Korngröße

Der Abreibungsgrad steht mit der Korngröße in engem Zusammenhang. Es wurde bereits bei zahlreichen früheren Untersuchungen festgestellt, daß im Körnungsbereich Sand das Grobkorn stärker abgerieben ist.

Aufgrund der Oberflächenuntersuchung von *Quarzkörnern* aus einer großen Anzahl von Sandproben läßt sich feststellen, daß sich *der stärkste Abrieb zwischen 0,4 und 2,0 mm geltend macht. Dies gilt sowohl für durch Wasser transportierten als auch für eolischen Sand. Unterschiede sind vor allem in der Häufigkeit der abgeriebenen Körner und in den feinen Oberflächeneinzelheiten zu verzeichnen.* Der eolische Sand enthält einen höheren Anteil an Körnern mit vollkommen glatt abgerollter Oberfläche. *Im Feinsand-Körnungsbereich kommt eine volle Abrollung lediglich beim eolischen Sande häufig vor, der Übergangstyp, das Korn mit grob bearbeiteter Oberfläche, kann jedoch überall in einem bedeutenden Anteil vorhanden sein (Abb. 10).*

Auch die vorgeführten, herausgegriffenen Beispiele deuten die Eigenschaft der jungen Flußsedimente Ungarns an, daß häufig Körner vorkommen, die auf eine mehr oder weniger große Entfernung eolisch transportiert wurden, und dann wieder in das Medium Wasser gelangt sind. Daher lassen sich in den Flußsanden des Landes abgerundete Körner in beträchtlicher Menge nachweisen.

Von den Mineralen mit hohem spezifischem Gewicht ist *Granat* zufolge des regelmäßigen Kristallgefüges gedrungenen, »abgerundeten« Charakters. Seine große Härte und die oft vorkommende mikroskopische Ribbildung führen dazu, daß eine volle Abrollung selten vorkommt, häufig finden sich Übergangsformen und in verhältnismäßig großer Anzahl splittrige Entwicklungen. Der Abreibungsgrad ändert sich nur geringfügig mit der Korngröße, die zwei kleineren Maxima im Grob- bzw. Feinkornbereich ergeben sich aus dem Umstand, daß im zerstörten Muttergestein Körner in verschiedenem Entwicklungsgrad vorkamen (Abb. 11).

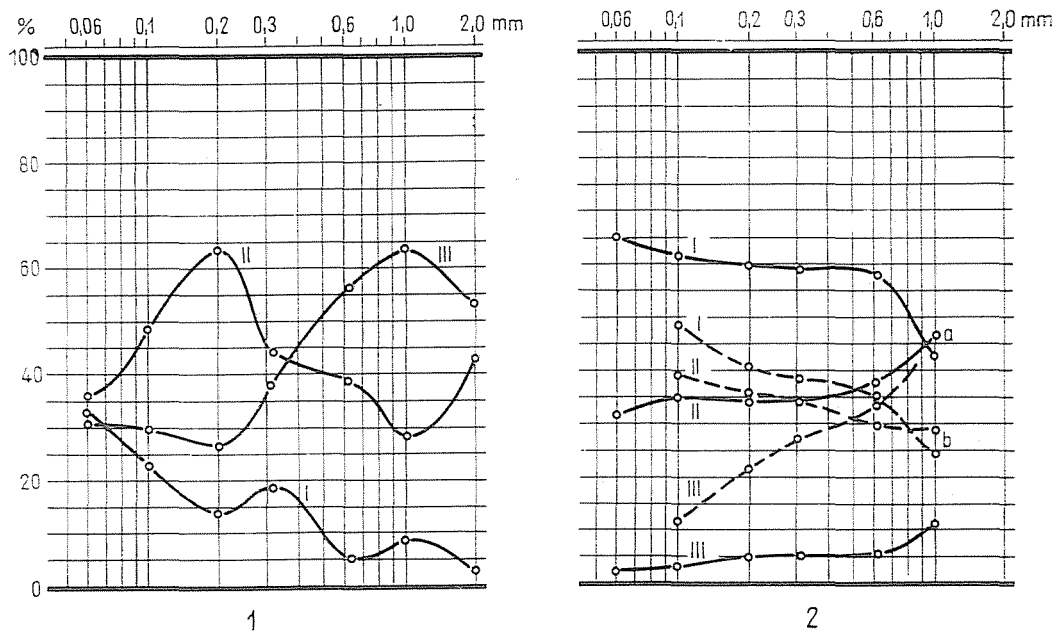


Abb. 10. Änderung mit der Korngröße der Abrollung von Quarzkörnern. 1 — eolischer Sand. Agasegyháza; 2/a — helvetischer Küstensand, Eger; 2/b — Flußsand, Eger

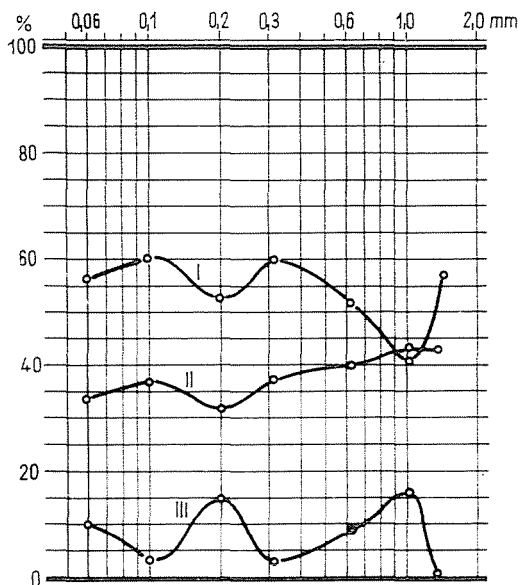


Abb. 11. Änderung mit der Korngröße der Abrollung von Granatkörnern

*Magnetit* kommt in Gesteinen in der Regel in mikroskopischer Menge vor, dazu kommt sein hohes spezifisches Gewicht, daher reichert er sich kennzeichnend in den mittleren und feinen Korngruppen an. Damit wird es einleuchtend, daß — im Gegensatz zu den übrigen Stoffen — der höchste Abrollungsgrad bei der feineren Korngröße von 0,2–0,3 mm erfolgt (Abb. 12). Wegen des sehr unterschiedlichen spezifischen Gewichts wird diese Fraktion

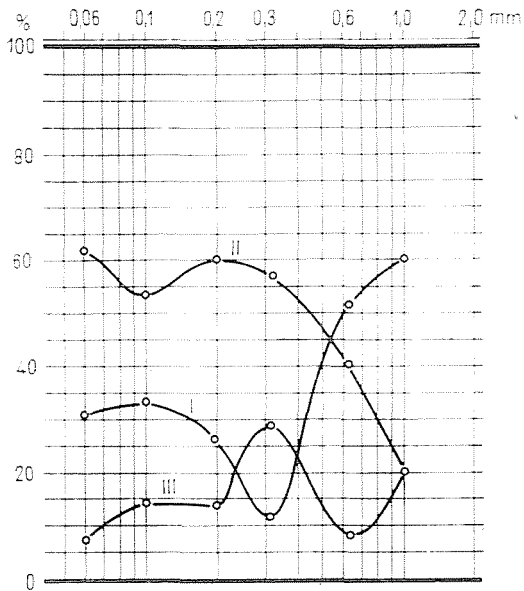


Abb. 12. Änderung mit der Korngröße der Abr ollung von Magnetitkörnern

mit den mittleren und groben Quarzkörnern zusammen transportiert und abgesetzt, wo auch maximaler Zusammenprall und maximale Abrundung zu verzeichnen sind.

Aufgrund der vorigen Ausführungen läßt sich feststellen, daß *die weniger starke Abreibung mit abnehmender Korngröße keine allgemeingültige Erscheinung ist, sondern auch von den Materialeigenschaften stark abhängt.*

### 2.3. Einfluß der Transportweise auf die Gestaltung der Kornoberfläche

Der wesentliche Unterschied in der Abrollung von durch Wasser oder durch Wind transportierten Sanden ist allgemein bekannt.

In der Luft kommen wesentlich höhere Geschwindigkeiten vor als im Wasser, es besteht eine direkte Berührung zwischen den Körnern; dies sind Erscheinungen, die eine starke Abreibung herbeiführen. Durch die geringere

Geschwindigkeit und die größere Dichte des Wassers werden Zusammenprall der Körner und Abreibungsgrad vermindert.

Nach MACKIE, W. (1923) ist der Abrieb der Mineralkörner dem spezifischen Gewicht des Korns direkt, und der Härte umgekehrt proportional. Da spezifisches Gewicht und Härte für ein jedes Mineral kennzeichnend sind, betrachtete er den Wert  $\gamma_s/H$  als den Abreibungskoeffizienten bei eolischem Transport. Bei Wassertransport ist dieser Wert gleich  $\gamma_s - 1/H$ . Damit stehen die Abreibungsgrade in den beiden Medien — von der Ausgangsgestalt unab-

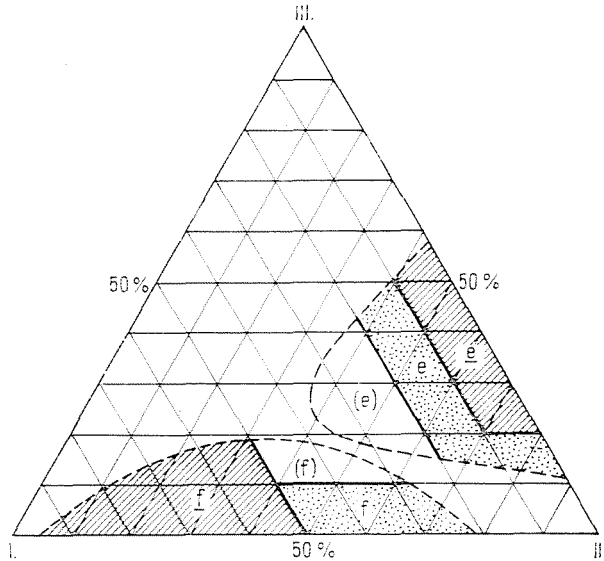


Abb. 13. Unterscheidung von Sandtypen nach der Methode von MIHÁLTZ—UNGÁR. f — starker, f — mittlerer, (f) — schwacher Flußsandcharakter; e — starker, e — mittlerer, (e) — schwacher eolischer Charakter

hängig — im Verhältnis von  $\gamma_s$ : ( $\gamma_s - 1$ ). Quarz ( $\gamma_s = 2,65 \text{ p/cm}^3$ ) wird also in Luft  $\sim 1,6$ mal stärker abgerieben als in derselben Zeit in Wasser derselben Geschwindigkeit.

Zufolge der größeren Geschwindigkeit des Windes, der unmittelbaren Berührung zwischen den Körnern, ihrer gegenseitigen Ritz- und Abschleißwirkung wird im eolischen Sande selbst die 0,1 mm Fraktion stark abgerundet.

Für die Ermittlung der Transportweise wurde von uns die Methode von Miháلتz—Ungár angewandt (Abb. 13).

Die Untersuchung wurde an Sand der von den Verfassern vorgeschlagenen Korngruppe 0,1 mm durchgeführt und des Vergleichs halber wurde auch die Qualitätsbestimmung des ursprünglichen Materials unternommen.

Die Prüfung zeigte, daß das ursprüngliche, auch grobe Fraktion enthaltende Material um etwa 10 bis 20% mehr voll abgerollte Körner enthielt als



die Fraktion 0,1 mm: eine Zunahme war dabei vorauszusehen (Abb. 14). Dieser Umstand bringt gleichzeitig mit sich, daß sich — weil bei der groben Fraktion auch im Falle von Wassertransport eine bedeutende Abreibung vorhanden ist — die Grenze zwischen den beiden Transportweisen verwischt.

Aus dem Vergleich läßt sich feststellen, daß sich für praktische Zwecke die an den ursprünglichen Materialien unternommene Untersuchung besser eignet,

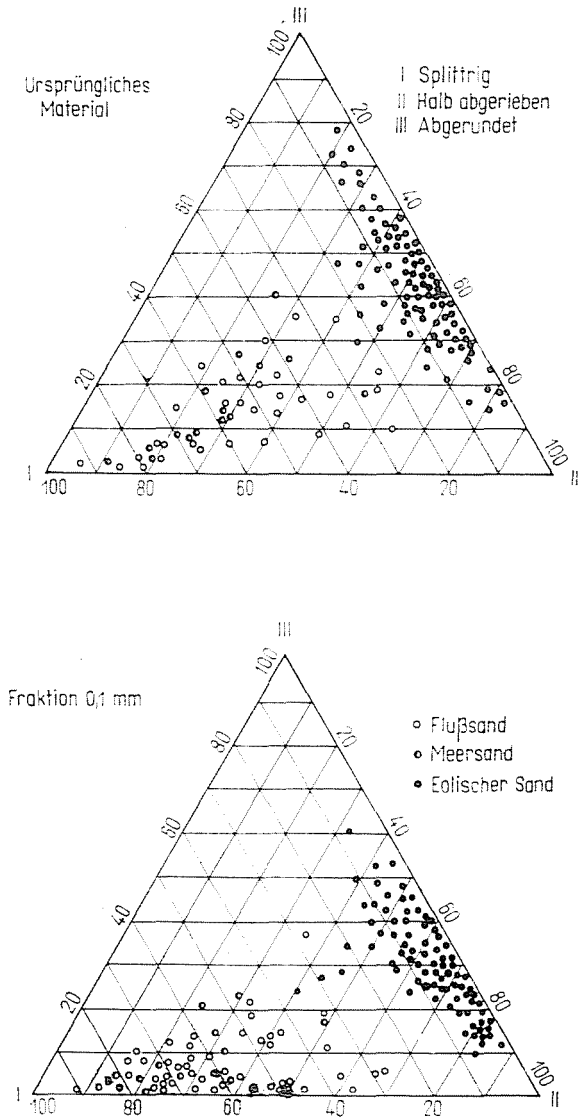


Abb. 14. Abrollungsmerkmale von Sandtypen bei ursprünglicher Korngröße und bei der Korngröße 0,1 mm

durch die die für die gesamte Probe kennzeichnende Abrollung gezeigt wird. Um die Transportweise zu ermitteln ist zweckmäßigerweise ein auf Fraktionen sortiertes Material zu untersuchen; — und das umso mehr, weil dadurch ein Vergleich verschiedener Proben ermöglicht wird.

### Schlußfolgerungen

Bei unseren Untersuchungen versuchten wir nicht irgendeine Methode vorzuführen; es wurden die für die Praxis wichtigen oder für die Klärung der Transportweise als geeignet erachteten Verfahren angewandt.

Aus den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Von den in der Sandstruktur vorherrschenden Quarzkörnern sind Übergangs- und Trumquarz ursprünglich von länglicher Form und neigen zur Splitterbildung, während für Eruptivgestein die annähernd isometrische Gestalt kennzeichnend ist.

2. Mit abnehmender Korngröße nehmen die nicht abgeriebenen Quarzkörner eine stark längliche Form an, bei Abschleißwirkung ist die Verlängerung weniger bedeutend. Bei Mineralien mit regelmäßiger Struktur (Granat, Magnetit) ist die Verlängerung unwesentlich.

3. Aus praktischer Sicht sind die Körner unter 0,1 mm von ungünstiger, splittriger Erscheinung; in diesem Körnungsbereich kommen auch zur Verwitterung neigende Minerale häufiger vor.

4. Der Abrollungsgrad der Mineralkörner stellt weitgehend eine Materialeigenschaft dar; Minerale, die stark zur Spaltung neigen (Glimmer), werden nicht abgerollt.

5. Von der Transportweise unabhängig ist bei Quarz der Korngruppe 0,4—1,0 mm der höchste Abrollungsgrad zu verzeichnen. Bei schweren Mineralien verschiebt sich dieser Vorgang dem feineren Körnungsbereich zu.

6. Zufolge der größeren Geschwindigkeit, der unmittelbaren Berührung zwischen den Körnern und des geringen spezifischen Gewichts kommt der stärkste Verschleiß in der Luft zur Geltung.

### Zusammenfassung

Die aus der Sicht der Bauindustrie an Sande gestellten Hauptforderungen sind Reinheit, geeignete Körnung und Kornform. Für die Bestimmung der ersten zwei Eigenschaften stehen wohl ausgearbeitete Methoden zur Verfügung, während eingehende Messungen der Kornform und -oberfläche bei Sanden selten durchgeführt werden, obwohl diese die Herbeiführer einer Anzahl von technischen Eigenschaften sind.

Im Aufsatz wird die ausführliche Form- und Oberflächenuntersuchung von Quarzkörnern, dem vorherrschenden Material des Sandes, in Abhängigkeit von Korngröße, Transportart und Materialeigenschaften behandelt. Des Vergleichs halber wurden auch andere im Sand vorkommende Minerale — Granat, Magnetit — untersucht.

Aufgrund der Untersuchung wird festgestellt, daß mit abnehmender Korngröße das Abspalten der Quarzkörner zunimmt und diese längliche Form annehmen, wobei auch auf die technischen Beziehungen dieses Umstands hingewiesen wird.

## Schrifttum

1. BLATT, H.: Effect of size and genetic quartz type on sphericity and form of beach sediments, Northern New Jersey. *Journ. of Sedimentary Petrology* **26**, (1959).
2. CAILLEUX, A.: Morphometrische Analyse der Geschiebe- und Sandkörner und ihre Bedeutung für die Paläoklimatologie. *Geol. Rundschau* **40**, (1952).
3. ENGELHARDT, W.: Die Unterscheidung wasser- und windsortierter Sande auf Grund der Korngrößenverteilung ihrer leichten und schweren Gemengteile. *Chemie der Erde* **12**, (1940).
4. HAGERMAN, T. H.: Granulometric studies in Northern Argentine. *Geografiska Annaler* **18**, (1936).
5. INGERSON, E.—RAMISCH, J. L.: Origin of shapes of quartz sand grains. *The Am. Mineralogist* **27**, (1942).
6. KLEB, B.: Sedimentgeologische Untersuchung der pannonischen Gebilde im südlichen Vorland des Mecsek-Gebirges.\* *Földtani Közlöny* **98**, (1968).
7. KRIVÁN, P.: Sedimentgeologische Wertung der Hagermanschen kornmorphologischen Methode.\* *Földtani Közlöny* **87**, (1957).
8. MIHÁLTZ, I.—UNGÁR, T.: Unterscheidung von Flußsand und eolischem Sand.\* *Földtani Közlöny*, **84**, (1954).
9. RUSSEL, R. D.—TAYLOR, R. E.: Roundness and shape of Mississippi River sands. *Journ. Geology* **45**, (1937).
10. SCHUMANN, H.: Zur Korngestalt der Quartz in Sanden. *Chemie der Erde* **14**, (1942).
11. SMEKAL, A.: *Handbuch der Physik*, Berlin, 1933.
12. SNEED, E. D.—FOLK, R. L.: Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: A study in particle morphogenesis. *Journ. Geology* **66**, (1958).
13. TRÖGER, W.: Über die Zulässigkeit des Schlämmverfahrens bei der quantitativen Schwermineralbestimmung in Sedimenten. *Chemie der Erde*, **12**, (1940).
14. QUERVAIN, F.: Beziehungen zwischen Gesteinbeschaffenheit, Form und Festigkeit bei Straßensplitt. *Straße und Verkehr* Jg. **45**, (1959).
15. WAYLAND, R. G.: Optical orientation in elongate clastic quartz. *Am. Journ. Science* **237**, (1939).
16. ZINGG, T. H.: Beitrag zur Schotteranalyse. *Schweizerische Min. und Petr. Mitteil.* **15**, (1935).

Dr. Béla KLEB, Budapest XI., Sztocezek u. 2—4. Ungarn

\* In ungarischer Sprache.