

Geologische Methoden zur Erforschung von Wegrichtungen von abgeschmolzenen Eismassen

Von

Otto Ampferer

wirklichem Mitglied der Akademie der Wissenschaften

(Mit 18 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 21. März 1946)

Innerhalb von Gebirgen ist es leicht, die Bewegungen der Gletscher festzustellen. Ganz anders liegen aber die Verhältnisse bei jenen Gletschern, welche einst aus dem Gebirge in die Vorländer und Ebenen hinausgedrungen sind. Hier bedeutet eine Richtungsbestimmung mit Hilfe von zurückgelassenen Grundmoränen und Gletscherschliffen eine Verbesserung unserer Nachforschungen über die einstigen Gletscherwege. Aber auch innerhalb der Gebirge kann man mit Hilfe von verschiedenen orientierten Geschieben noch Teilungen und Wechsel in der Stromrichtung ablesen. Ebenso lassen sich Übereinanderlagerungen von verschiedenen Fließrichtungen unter günstigen Umständen trennen. Endlich ist das Problem der Weiterbildung und Mischung der Grundmoränen an sich genauerer Beachtung wert.

In der von Dr. Kurt Hücke herausgegebenen „Zeitschrift für Geschiebeforschung“ sind von Konrad Richter zwei wichtige und leitende Arbeiten erschienen. 1932: Die Bewegungsrichtung des Inlandeises, rekonstruiert aus den Kritzen und Längsachsen der Geschiebe; 1936: Ergebnisse und Aussichten der Geschiebeforschung im Pommerschen Diluvium. Diese Arbeiten haben die Brauchbarkeit dieser Forschungsrichtung klar bewiesen.

Mein Bestreben ist es nun, mit rein geologischen Mitteln eine Übersicht der hier in Betracht kommenden Formenwelt zu liefern.

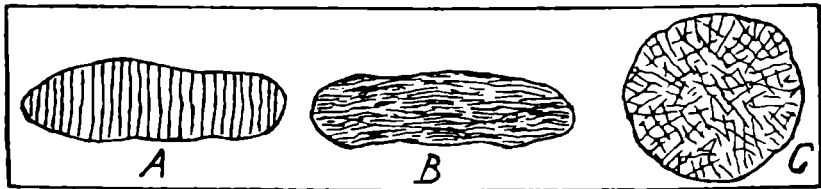


Fig. 1. Leitmodelle zur Scheidung der Häufigkeit der Geschiebetypen.

- A = längliches Geschiebe, auf dem die Kritzen senkrecht zur längsten Achse verlaufen.
 B = längliches Geschiebe mit Kritzen, die angenähert parallel zur Längsachse verlaufen.
 C = kugeliges Geschiebe mit wirr verteilten Kritzen.

Aus einer großen Erfahrung an handgeprüften Geschiebeformen aus Grundmoränen der Alpen-, Karpaten- und Balkanländer hat der Verfasser drei Leitmodelle aufgestellt, mit deren Hilfe unschwer eine Einsicht in die Häufigkeit dieser Typen gewinnbar ist. Es sind dies zwei langachsige Modelle und ein rundliches.

Die Form A kommt nicht vor, die Form B erscheint in unzählbaren Mengen und die Form C ist nicht selten. Hier hat aber das strömende Eis keine Möglichkeit, irgendeine Richtung der Kritzung auf dem kugeligen Geschiebe für längere Zeit festzuhalten. Aus dieser Modellprüfung geht mit Notwendigkeit die Einsicht hervor, daß nur Modell B jene Formgruppe ist, welche die Steuerung der langachsigen Geschiebe innerhalb der Eis- und Grundmoränenbewegung zu beherrschen vermag. Es stehen dafür vor allem die langachsigen Geschiebe zur Verfügung.

Wie das Schema Fig. 2 andeutet, liegt ein längliches Geschiebe quer in der Eisströmung. Diese Einstellung ist höchst labil und störrig. Sie wird so lange verschoben, bis der Querling endlich parallel und stabil im Stromstrich liegt.

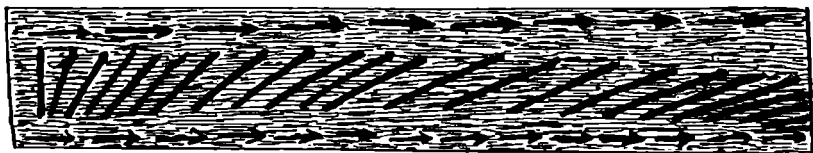
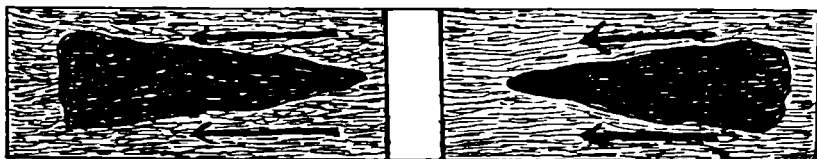


Fig. 2. Hineindrehen eines Querlings in die Achse des Treibstroms.



Gute Einstellung.

Fig. 3.

Schlechte Einstellung.

Neben der Einstellung von langachsigen Geschieben kommt aber noch eine Einstellung mit Hilfe von einseitig zugespitzten Geschieben in Betracht.

Die einseitig zugespitzten Geschiebe werden innerhalb einer Strömung deshalb gesteuert, weil das spitzige Ende viel leichter vorwärts kommt als das breitere stumpfe Ende. So entsteht eine Steuerung, welche ihre stabile Lage erst in einer parallelen Richtung mit dem Treibstrom finden kann. Auf diese Weise kommt für einseitig zugespitzte Geschiebe eine Steuerwirkung in die Richtung des Treibstromes zustande. Es ist nun von Interesse, die verschiedenen Stockwerke des Treibstromes auf ihre Wirkungsart hin kurz zu betrachten. Eine natürliche Gliederung liefert hier folgende Wirkungsbereiche:

- I. Oberfläche des Treibstromes.
- II. Inneres des Eisstromes.
- III. Inneres der Grundmoräne.
- IV. Angriffsfläche auf den Felsboden.

I. Oberfläche des Treibstromes:

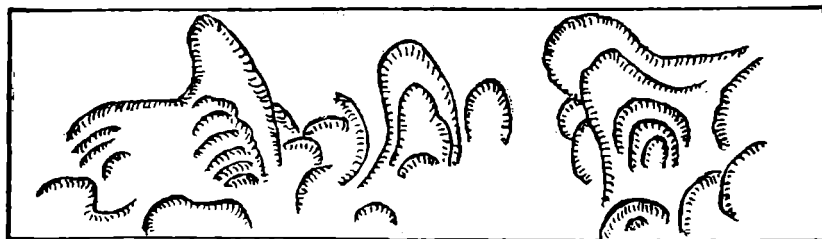


Fig. 4. Rückzugswälle der Schlußvereisung.

Die Auflagerung von Blockmoränen auf den fließenden Eisstrom kann in verschiedener Weise erfolgen. Es kann einmal von den begleitenden Felswänden kantiges Blockwerk auf das strömende Eis fallen und hier dann zu langen, locker geschütteten Moränenwällen ausgezogen werden. Diese wandernden Moränen scheiden sich endlich am Abschmelzrande aus und können dort als schön geschwungene Moränenwälle liegen bleiben, welche den Rhythmus von Vorstößen und Rückzügen getreulich aufzeichnen.

II. Inneres des Eisstromes:

Ist aber ein Gletscher reich an Klüften oder Gletschermühlen, so fallen viele Blöcke ins Innere des Gletschers und können sogar bis in die Grundmoräne oder auf den Felsboden gelangen. Das

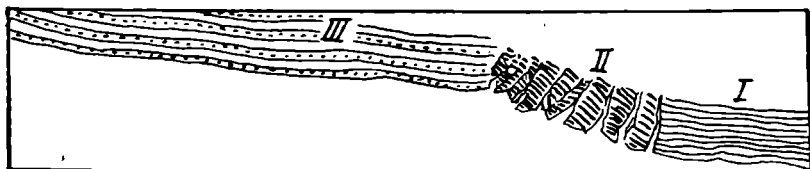


Fig. 5.

I Obere Eisordnung, *II* Eissturz, *III* Untere Eisordnung.

Schuttmaterial, welches z. B. oberhalb einer Eisbruchstufe ins Innere des Gletschers gelangte und hier bereits in eine Strömungsordnung eingebaut wurde, kann diese Ordnung aber nicht über eine neue tiefere Absturzstelle behalten. Daher muß unter dieser Absturzstelle die alte Ordnung verschwinden und eine neue dafür geschaffen werden.

III. Inneres der Grundmoräne:

Zwischen dem strömenden Eise und der Felssohle ist als ein sehr verschieden mächtiges, manchmal auch abgerissenes Band die Grundmoräne eingeschaltet. Sie ist für unsere Untersuchung von besonderer Bedeutung. Der Eisstrom verschwindet durch Schmelzung. Damit gehen auch seine eingeschlossenen Geschiebeordnungen verloren. Von den Grundmoränen bleiben dagegen

oft kleinere und größere Massen erhalten und gewähren die Möglichkeit, die mitgesteuerten Geschiebeordnungen unter guten Bedingungen noch erhalten zu finden. Innerhalb der Grundmoräne besteht aber auch die Möglichkeit, daß durch den Schub der Eismassen Abscherungen und Anschoppungen eintreten. Dadurch

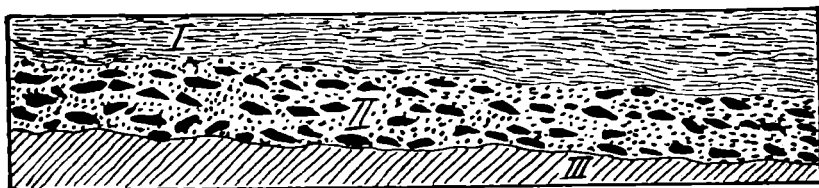


Fig. 6. Einschaltung von Grundmoräne zwischen Eis und Felssohle.
I Eis, II Grundmoräne, III Felssohle.

kann es auch zur Verlagerung von Geschieben aus dem Hauptstromstrich kommen. In diesem Falle können dann zwischen richtig eingeregelter Geschieben Inseln oder Schlieren von sekundär verstellten Geschieben zustande kommen. Bei guten Aufschlüssen

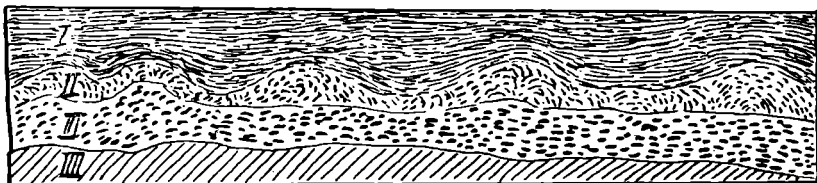


Fig. 7. Einschaltung einer Schlierenzone.
I Eisströmung, II Schlierenbildung, III Grundmoräne, IV Felssohle.

dürfte es zumeist wohl möglich sein, solche Bewegungsschlieren und Wirbel richtig zu deuten.

IV. Angriffsfläche auf den Felsboden:

Durch die Anpressung und Schiebung der Grundmoräne an die Felssohle kann z. B. in einer Kerbe der Felssohle eine Aufstellung und Umlegung von Geschieben stattfinden. Diese Umlegung ist mit einem scharfen Angriff auf die Felssohle und mit

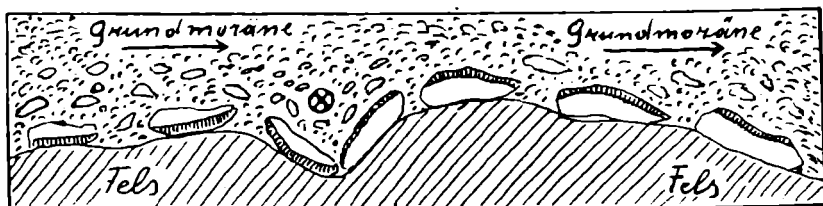


Fig. 8.

⊙ Umlegung von langen Geschieben in einer Kerbe.

einer Geschiebestauung verbunden. Wie Fig. 8 im Schema vorführt, kann es in einer Querkerbe der Felssohle zu einer vollständigen Umlegung von langachsigen oder gespitzten Geschieben kommen. Eine Längskerbe ist nicht so störend, obwohl auch in ihrem Bereiche Verzögerungen der Bewegung stattfinden können.

Wenn man die im Gebirge und im Vorland vielfach weithin offenen geschliffenen Felssohlen genauer betrachtet, so findet man nicht nur eine einzige, sondern meist mehrere einander kreuzende Schrammenrichtungen. Aus diesen Schrammenrichtungen läßt sich

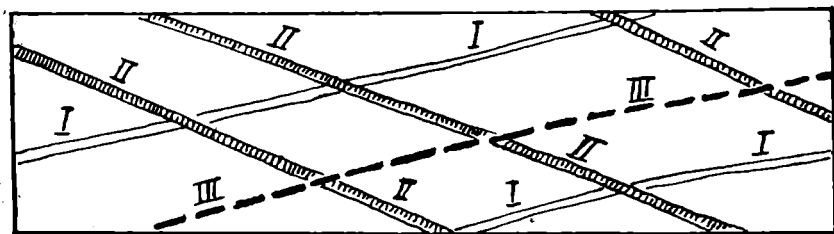


Fig. 9. Gitter von verschiedenaltigen und verschieden gerichteten Gletscherschrammen.

unschwer nach den Kreuzungsstellen eine relative Altersfolge ableiten. Es ist nun klar, daß sich von einem solchen Richtungsgitter nur eine, und zwar wahrscheinlich die allerjüngste Schrammenführung mit den Richtungsangaben der gesteuerten Geschiebe verbinden läßt. Es ist eben nur die Gravierung der Felssohlen imstande, mehrere verschiedenaltige und verschieden gerichtete Schleifrichtungen aufzubewahren. Dabei sind nur gut polierbare, fest gebundene Gesteine befähigt, solche Schrammenbilder aufzunehmen und zu bewahren.

Verfolgt man im Gebirge die Stromrinne eines Gletschers, so findet man nicht selten seitliche Felsnischen, in welche Einpressungen von Grundmoränen stattfinden können. In solchen Nischen wird unter Umständen viel Grundmoräne übereinander eingepreßt und dem normalen Stromstrich entzogen. Eine gegen-
teilige Wirkung kann sich aus einer starken Verengung des Felsbettes ergeben, wie Fig. 10 schematisch abzuleiten versucht.

Durch eine solche Verengung der Laufbahn wird nur die mittlere Geschiebetrift in ihrer Richtung nicht abgelenkt, wohl

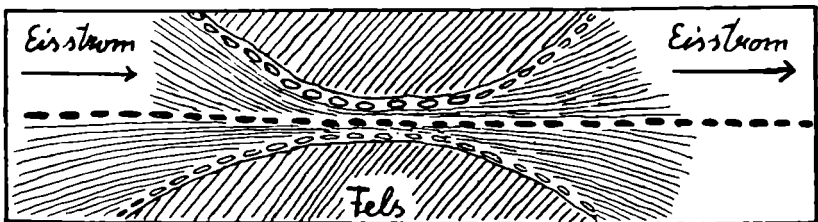


Fig. 10.

aber die seitlichen. So entsteht ein beschleunigter mittlerer Stromfaden zwischen zwei seitlichen stark gekrümmten. Die Endwirkung läßt eine Vermischung und Verdrehung der Geschiebeordnungen erwarten. Innerhalb eines Treibstromes gibt es aber noch ganz andere Transportmöglichkeiten, welche hier zu besprechen sind. Diese hängen mit eingekerbten Geschieben zusammen, wie sie in Fig. 11 abgebildet erscheinen.

A stellt ein langachsiges, tiefgekerbtes Geschiebe vor, dessen stark einseitige Kerbe nur von einer Seite her ausgeschliffen

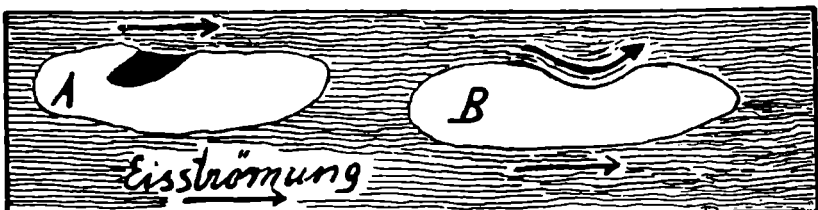


Fig. 11.

werden kann. In diese Kerbe kann nun Grundmoräne nicht nur eingepreßt, sondern eingekittet und so verschleppt werden. In der offenen Kerbenform *B* kann sich dagegen keine Einkittung halten, weil von den flachen Seiten her Ausschleifung möglich ist. Ein Geschiebe, das mit Grundmoräne haltbar plombiert ist, kann nun samt seiner Füllung weit weg von seiner Plombierstelle verschleppt werden und bei seiner Auswitterung zu irrigen Angaben führen.

Münden in das eisgefüllte Haupttal schmälere, ebenfalls von Eis erfüllte Seitentäler, so kann eine Untersuchung der Geschiebelagerungen ebenfalls zu wesentlichen Entscheidungen führen.

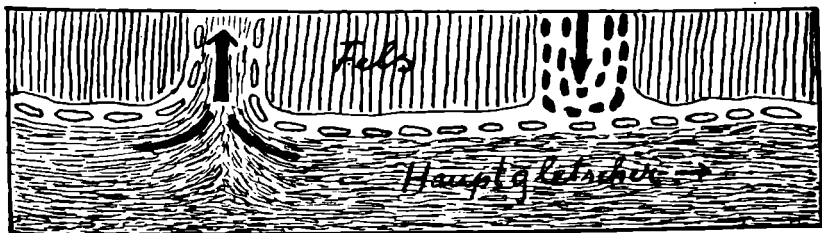


Fig. 12.

In Fig. 12 sind zwei Möglichkeiten abgebildet: einerseits, daß das Eis des Haupttales selbst in das engere Seitental eindringt, andererseits der Fall, daß das Eis des Seitentales gegen oder vielleicht sogar über die Eisströmung des Haupttales sich behauptet. Die Entscheidung mit Hilfe der Geschiebesteuerung, welche Fig. 13 erläutern soll, ist verhältnismäßig einfach.

Ist das enge Seitental von einer lokalen Eisströmung erfüllt, so wird eine lokale Geschiebesteuerung entstehen, deren Ordnungen steil gegen das Haupttal gerichtet sind. Außerdem können auch noch Gesteinsunterschiede für eine Trennung mithelfen. Wird aber das Seitental auch noch von der Strömung des eingedrungenen Hauptgletschers beherrscht, so sind die Steuerungen des Hauptgletschers zu erwarten.

Wie Fig. 13 zu erläutern versucht, stehen im Falle *A* die Geschiebesteuerungen annähernd senkrecht und im Falle *B* da-

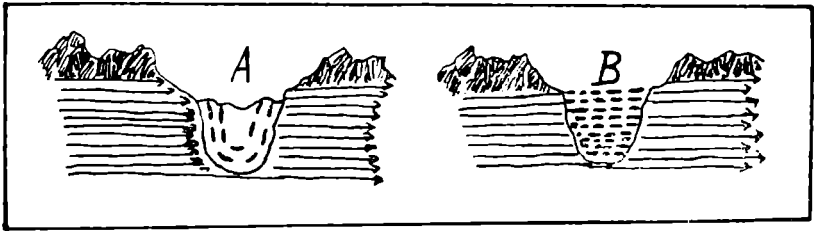


Fig. 13.

gegen angenähert horizontal. Eine Anwendung dieser Methode auf die Grundmoräne, welche im Lepsius-Stollen unter der Decke der Höttingerbreccie im Weiherburggraben im Jahre 1913 entdeckt wurde, hätte vielleicht die Frage der Unterlagerung viel rascher und sicherer zu lösen erlaubt.

Ob sich an den seit 28 Jahren der Höhlenfeuchtigkeit und dem Druck der schweren Brecciendecke ausgesetzten Wänden aus Grundmoräne noch entsprechende Messungen der Geschiebesteuern ausführen lassen, könnte wohl nur ein Versuch entscheiden. Wenn hier die Geschiebesteuerung dem Zug des Inn- gletschers entspricht, so wäre dies ein sicherer Beweis gegen die Höhleneinpressung der Moräne. Im übrigen wäre im Innern des Lepsius-Stollens die auffallende scharfe Zweiteilung der Grundmoräne auch noch ein Problem, das vielleicht mit Hilfe der Geschiebesteuerung einer Lösung zuzuführen wäre. An der chemisch recht verschiedenen Zusammensetzung der unteren gelblichen und der oberen weißlichen Abteilung der Moränenmasse könnte

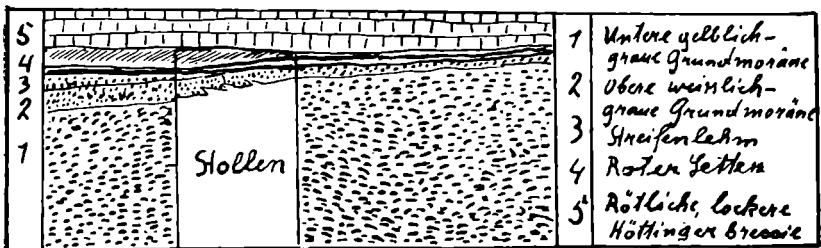


Fig. 14. Weiherburg-Probestollen.

möglicherweise eine verschiedene Geschiebesteuerung mitbeteiligt sein.

Es ist weiter festzuhalten, daß eine Reihe von Geschiebeformen gar nicht oder zum mindesten sehr selten zu finden sind.

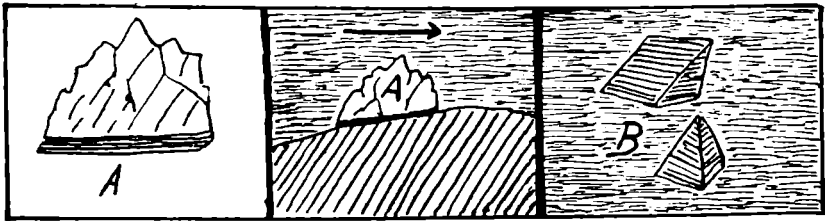


Fig. 15. Nicht vorkommende Geschiebeformen.

Zu diesen gehören einseitig abgeschliffene Formen, wie sie in Fig. 15 schematisch abgebildet erscheinen.

Das Fehlen der nur einseitig eben zugeschliffenen Form *A* ist insofern wichtig, weil man dies als einen Beweis nehmen kann, daß eine Abschleifung eines eckigen Geschiebes gleichsam



Fig. 16. Kerben- und Wulstornamente.

in Eisfassung über dem Felsboden nicht vorkommt. Eine solche Eisfassung ist offenbar nur auf ganz kurze Zeit haltbar. Ebenso kommen Zuschleiffornen, welche äußerlich Formen von Windkantern ähnlich sehen, im Inventar der Eisgeschiebe nicht vor.

Eine wichtige Rolle spielen dagegen die Ornamente der Eisgeschiebe. Bei Geschieben, die aus Geröllen hervorgegangen sind, kommen als Ornamente vor allem Kerben und Wülste in Betracht.

Es ist klar, daß sowohl Kerben als auch Wülste, falls sie senkrecht auf die Stromrichtung verlaufen, keinen Einfluß auf eine Ablenkung aus dem Stromstrich, sondern nur Verzögerungen in der Geschwindigkeit bewirken. Verlaufen aber diese Ornamente, wie in Fig. 17 abgebildet ist, schräg zur Längsachse, so kann unter günstigen Umständen eine Bahnablenkung eintreten. Für eine solche sekundäre Ablenkung dürfte wahrscheinlich ein schräger Wulst wirkungsvoller als eine schräge Kerbe sein, die durch Ausfüllung mit eingepreßter Moräne ihre Ablenkungskraft verlieren kann. Eine viel stärkere Ablenkungskraft können unter Umständen aber Geschiebe ausüben, welche aus Stücken von grobrippigen Muschelschalen entstanden sind.

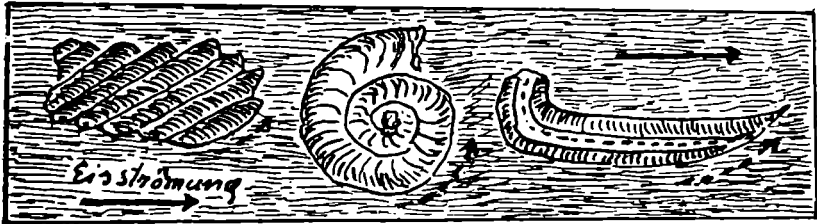


Fig. 17. Hebungen der Schalen durch Ornamentmithilfe.

Wie Fig. 17 andeuten will, sind Schalenornamente unbedingt befähigt, die Steuerrichtungen zu beeinflussen. Durch die Rippen und Windungen kann hier unter günstigen Umständen, je nach der Lage der Ornamente, ein Abdrängen aus dem Stromstrich gegen unten oder oben stattfinden.

Was nun endlich die Ausaperung von Geschieben betrifft, so ist einleuchtend, daß Geschiebe, welche aus dem Eise aus-schmelzen, ihre Steuerung verlieren. Befinden sie sich aber innerhalb der Grundmoränen, so ist in zahlreichen Fällen eine Erhaltung des Bewegungstestamentes, also gleichsam ihrer letztwilligen Anordnungen, möglich. Diese Erhaltungen werden begünstigt, wenn die ausgeaperten Grundmoränen ausgedehnt sind und sich außerdem auf flachem oder rückfälligem Felsboden befinden. Steil gelagerte Moränen können leicht ins Gleiten kommen

und dann neue sekundäre Steuerungen erhalten, welche einer sekundären Gleitung entsprechen. Bei steilen Verwitterungsanschnitten von Grundmoränen können auch von schweren Blöcken die kleineren Nachbarblöcke sekundär aus ihrer Steuerung herausgedrängt werden. Es ist also bei Entnahme der zu prüfenden Geschiebe viele Sorgfalt nötig.

Rudolf Richter hat zu seinen Messungen vor allem kleine Geschiebe von Fingernagel- bis Handgröße verwendet, weil nach seiner Erfahrung die größeren Geschiebe „turbulente Lagerungen“ zeigen. Es gibt aber hier einen Ausweg, wenn man aus der Grundmoräne Geschiebe entnimmt und auf diesen Geschieben die größten Achsen einmißt. Stimmt nun auf solchen

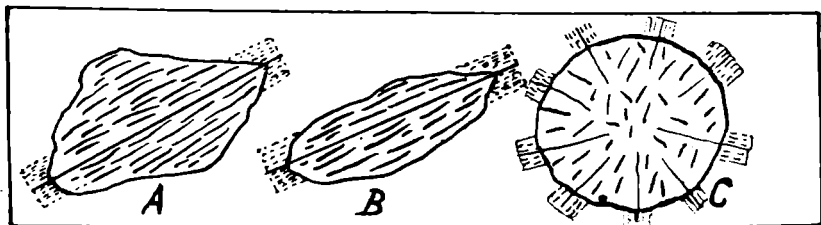


Fig. 18. Vorgezeichnete Achsenlagen.

Geschieben die Hauptrichtung der Kritzen mit der ausgemessenen längsten Achse überein, so ist dies als ein sicherer Beweis zu nehmen, daß diese Geschiebe eine verlässliche Einregelung in den Hauptstromstrich erhalten haben.

Wie die Modelle *A* und *B* zeigen, stimmt bei ihnen die Anordnung der Kritzen gut mit der voraus ausgezeichneten Achsenrichtung überein. Dagegen ist auf dem rundlichen Geschiebe beim Fehlen einer bevorzugten Achse auch nur eine wirre Kritzung zu erwarten.

Es ist nun zu fragen, was zu erwarten ist, wenn z. B. zwei ungefähr gleich lange Achsen auf einem Geschiebe vorhanden sind. In diesem Falle wird voraussichtlich die Steuerung unsicher werden und ein Hin- und Herpendeln der Kritzenanlage stattfinden können. Die Anwendung dieser Einsicht auf große Geschiebe und Blöcke führt zum Ergebnis, daß hier verschiedene, annähernd gleich lange Achsenstellungen leicht möglich sind und

damit ein mehrfaches Umspringen der Bekritzung bei großen Geschieben häufig eintreten dürfte.

Zum Schlusse sollen noch einmal kurz die Methoden der Einsteuerung vorgeführt werden, welche mit Hilfe von langachsigen oder von zugespitzten Geschieben wirksam werden können. Dabei soll nicht nur die Einsteuerung in horizontaler, sondern auch in vertikaler Richtung berücksichtigt werden.

Ins Strömungsfeld tritt ein Quergeschiebe ein. Die Querstellung ist sehr empfindlich für Strömungen, welche die Ausgangslage um 90° zu drehen versuchen, bis die Längsachse von a mit der Strömungsachse übereinstimmt. Erst diese Einsteuerung ist stabil und nicht mehr leicht zu ändern.

Auch durch einseitig zugespitzte Geschiebe tritt eine Steuerwirkung ein, welche darauf beruht, daß im Treibstrom eine Spitze leichter vordringt als ein stumpfes Ende. So wird das Geschiebe so lange gedreht, bis es mit der Spitze richtig im Treibstrom liegt.

Enthält der Treibstrom verschieden rasch fließende Zonen, so kann durch eine rascher fließende Zone ebenfalls ein Hereindreuen von langachsigen oder einseitig gespitzten Geschieben erreicht werden. Die raschere Stömung drängt die Querlinge allgemach gegen die langsamere hin.

Im Vertikalschnitt werden besonders schwere Geschiebe innerhalb des Eises durch die kombinierte Wirkung von Schwere und Eisströmung allgemach gegen die Felssohle des Eisstromes hinabgezogen. Derzeit ist noch unbekannt, welche Wegstrecke nötig ist, um Querlinge in die Achse der Strömung hineinzuziehen. Wahrscheinlich ist, daß eine solche Einbeziehung bei steilerem Gefälle schneller erfolgen dürfte.

Wunderbare Strömungsbilder kommen auf Flüssen und Strömen bei der jährlichen Eisschollentrift zustande. Hier sieht man z. B. nicht nur die Wirkung der Krümmungen auf das Voreilen und Verzögern der Schollen, sondern auch die scharfe gegenseitige Zusägung der Schollenränder sowie das Herausdrücken und Aufstellen von großen Eisplatten an den Bogenrändern. Innerhalb von Gletschern sind aber alle Verschiebungen viel langsamer als in dem freien und rasch wechselnden Eisgetriebe von Flüssen und Strömen.
