

# Sedimente des Gletschers. Teil II

Autor(en): **Schlüchter, Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **4 (1999)**

Heft 1

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-221505>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Sedimente des Gletschers (Teil II)

CHRISTIAN SCHLÜCHTER\*)

Keywords: glacial sediments, waterlain tills, lateral lodging, classification, Alps

### *Zusammenfassung*

Einleitend wird auf die Gletscherkonferenz von 1899 in Gletsch hingewiesen und es werden die natürlichen Randbedingungen, welche das glazialgeologische Milieu komplizieren, aufgelistet. An zwei Beispielen wird die Entwicklung der Korngrössenzusammensetzung in Profilen von Gletscherseemoränen dargestellt. Die morphologische Stabilität der Ufermoränen wird mit lateral gebildeter Grundmoräne begründet.

### *Resumé*

La Conférence Internationale à Gletsch de 1899 est brièvement mentionnée ainsi que les causes des problèmes de classification glaciogéologique. Deux exemplaires de moraines glaci-lacustres sont décrits dans le context d'une évolution granulométrique verticale. La stabilité des moraines latéraux est démontrée comme résultat de sédimentation compressive latérale du glacier.

### **1. Zur Erinnerung an die Konferenz der Internationalen Gletscher-Kommission 1899 in Gletsch**

Die Lektüre des offiziellen Berichtes über die „Gletscher-Konferenz“ (Richter 1900) und dann vor allem die ausführliche Besprechung der von der „Konferenz“ gefassten, nomenklatorischen Beschlüsse in Böhm (1901) sind äusserst lesenswert und mit einem Blick auf die heutigen Diskussionen in jeder Beziehung amüsant. War vor 100 Jahren die deutsche Sprache massgebend in diesen nomenklatorischen Fragen und wurden Übersetzungen ins Französische und Englische gesucht, so suchen wir heute nach Übersetzungen von englischen Ausdrücken in die deutsche Sprache – oder wir übernehmen jene auf vornehme Art und Weise.

An der Konferenz von 1899 war insbesondere eine Kontroverse um den Begriff „Grundmoräne“ auffallend. Wäre der Begriff „Untermoräne“ besser? Oder sollte „Grundmoräne“ für das abgelagerte Sediment und „Untermoräne“ für das im Transport befindliche, basale Sediment verwendet werden? Ich gestatte mir, diese Frage hier unbeantwortet zu lassen und auf die Ausführungen im Teil I hinzuweisen.

---

\*) Geologisches Institut der Universität Bern, Baltzerstrasse 1, 3012 Bern

## 2. Allgemeines

Im ersten Teil der Publikation Schlüchter (1997) ist versucht worden, einige Aspekte der Moränennomenklatur und der einfachsten Eigenschaften glazigener Sedimente zu skizzieren. Ebenfalls ist es darum gegangen, die Grundmoräne als direktes durch den Gletscher gebildetes Sediment kurz zu beschreiben. Sie ist als das typische Gletschersediment von zentraler sedimentgenetischer und materialtechnologischer Bedeutung sowohl für die angewandte als auch für die fundamentale Eiszeitgeologie dargestellt worden. Das Vorhandensein von Grundmoräne (= Orthomoräne) heisst: der Gletscher hat diese Stelle bedeckt und dabei ist es zur schubfliessenden Akkumulation und zur Vorbelastung der Liegendsedimente gekommen.

Weshalb sind glazialgeologische, bzw. glazialsedimentologische Klassifikationen schwierig und zum Teil kontrovers? Ich sehe folgende Gründe dafür:

- Der glazigene Sedimentationsraum ist kein einfaches Sedimentationsbecken; er ist räumlich ausserordentlich kompliziert strukturiert - „die präglaziale Landschaft ist keine Ebene“! Ebenso kompliziert sind die Zuflüsse ins „Becken“.
- Glazialgeologische Vorgänge sind an der gleichen Stelle einmal erosiv, einmal akkumulativ und zwar meistens wiederholt – wir betrachten im terrestrischen Milieu äusserst reliktsche geologische Dokumente.
- Glazialgeologische Vorgänge wechseln lateral und vertikal sehr rasch und in allen räumlichen Dimensionen: von Fall zu Fall im mm-, m- bis Dekameterbereich.
- Das Schmelzwasser ist Teil des Systems. Seine Wirksamkeit ist abhängig von den lokalen Abfluss-, bzw. Stauverhältnissen.
- Glazigene und fluvioglaziale Sedimente werden häufig umgelagert und aufgearbeitet. Dabei können Eigenschaften ganz oder teilweise „vererbt“ werden.
- Glazigene Sedimente s. str. entstehen durch direkte, mechanische Einwirkung des fliessenden Eises –, also weder durch einfache Sedimentation nach dem Stoke'schen Gesetz noch durch chemische Ausfällung.
- Milieubedingungen können äusserst kurzfristig ändern (Auftreten eines katastrophalen Schmelzwasserausbruchs, Trockenlegen eines Eisrandsees, Vorstoss-/Rückzug des Gletschers).
- Unsere aktualistischen Beobachtungen der glazialgeologischen Vorgänge beruhen im Wesentlichen auf zerfallende und zurückschmelzende Eismassen und Gletscher seit der Kleinen Eiszeit. Eine Ausnahme bilden die Vorgänge um die Vorstösse vieler Alpengletscher zwischen 1979 und 1991. Der überwiegende Teil der Gletschersedimente im Mittelland stammt aber aus der Vorstossphase zum letzten Gletschermaximum (LGM).

Nachfolgend sollen zwei Milieus diskutiert werden, die weit verbreitete Besonderheiten darstellen.

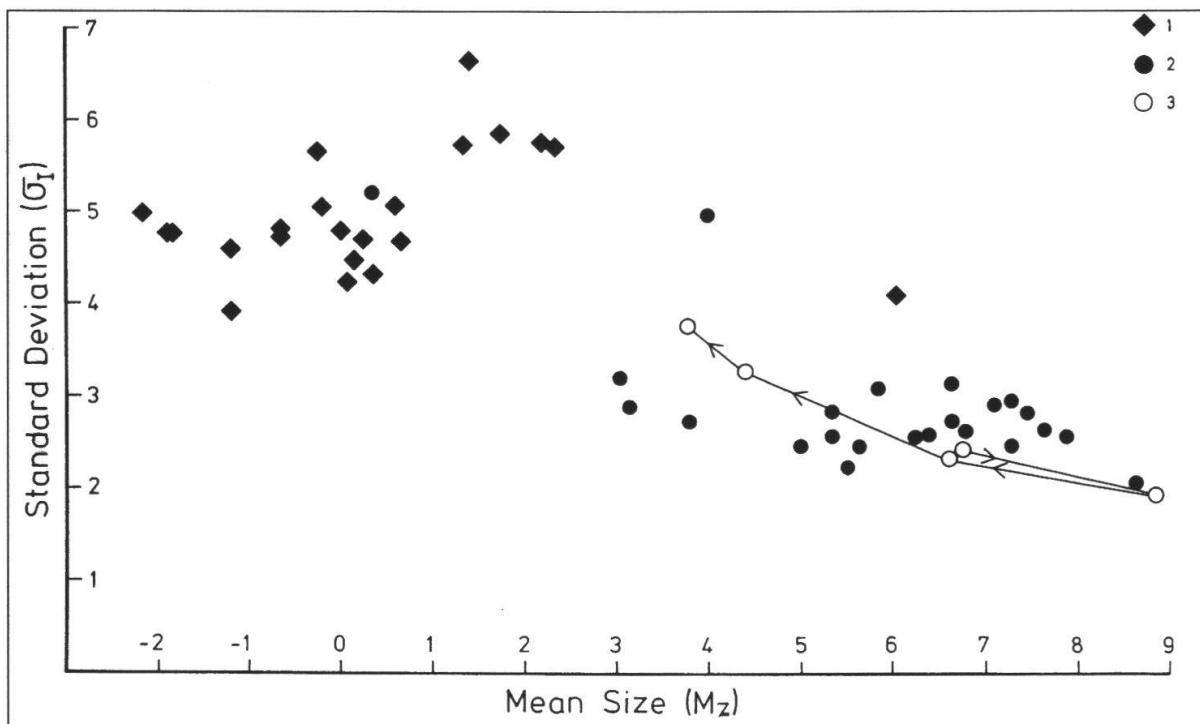
## 3. Die Sedimentfalle im direkten Eiskontakt

In den übertieften Talabschnitten des Alpenvorlandes kommen mächtige, feinkörnige Lockergesteinsfüllungen vor. Sie erreichen Mächtigkeiten bis > 100 m (im Seeländischen Trog, Kellerhals & Tröhler 1976). Sie sind als Grundwasserstauer wirksam und sie reduzieren wegen der grossen Mächtigkeiten das Volumen der Grundwasserleiter beträchtlich.

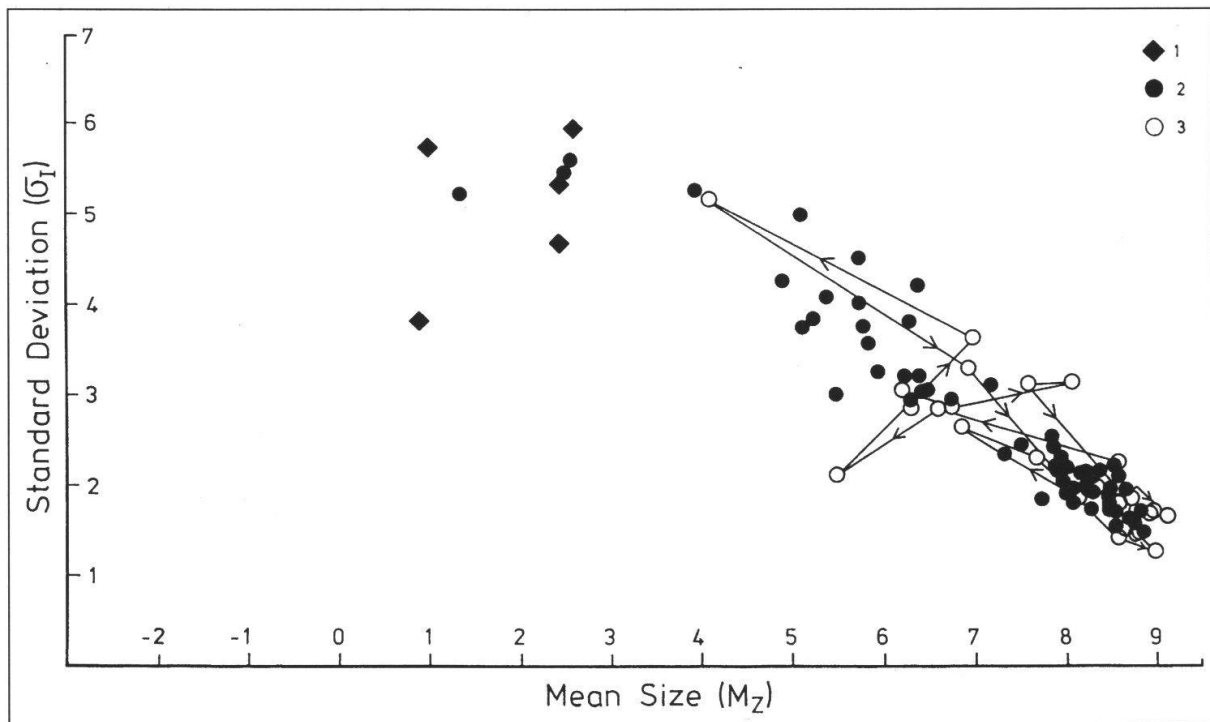
Es sind dies Sedimente, die im Teil I als *waterlain* oder *waterlaid tills* bezeichnet worden sind, was mit dem deutschen Begriff der Gletscherseemoräne (Müller, mdl. Mitteilung) am besten übersetzt werden kann. Wegen ihrer grossen, räumlichen Verbreitung im alpinen und allgemein glazigen Milieu, wollen wir im Folgenden noch einmal auf diesen Sedimenttyp zurückkommen.

Solche Abfolgen sind in der Regel weder weiter lithologisch gliederbar noch zweifelsfrei von Hangend- bzw. Liegendsedimenten abzutrennen, insbesondere wenn es sich – wie das eben der Fall ist – um Beckenfüllungen handelt. Die Bildung von Gletscherseemoräne setzt ja ein eisrandliches oder subglaziales Becken voraus, in dem je nach Lage zum Gletscher der nachweisbare, direkte Gletschereinfluss variiert. Diese Variationen sind z. B. in der vertikalen Profilentwicklung zu beobachten (was ja auch der uns meistens zugängliche Datensatz aus Bohrungen ist). Ich versuche, diese Zusammenhänge an zwei Beispielen aufzuzeigen.

Die A6 zwischen Bern und Thun durchschneidet zwei Hügellgebiete mit vielfältigem Lockergesteinsaufbau: zwischen den Anschlüssen Muri und Rubigen ist es der Talrand des Beckens von Belp mit dem Raintalwald und dann zwischen den Anschlüssen Kiesen und Thun-Nord der westliche Rand des Thungschneitgebietes. Beide Stellen sind mit gut sichtbaren und umfangreichen Stützbauwerken versehen. Die geotechnische Notwendigkeit für diese Stützbauten ist in der Geologie des Untergrundes begründet: es sind Seeton-/Grundmoränenkomplexe, die eben Gletscherseemoränen enthalten und die an diesen beiden Stellen nicht offenstehende Böschungen erlaubten. Über die profilmässige Korngrössenentwicklung ist der komplizierte fazielle Zusammenhang zwischen den glazigen Sedimenten s.str. und den Stausedimenten in beiden Fällen herzuleiten (Fig. 1, 2).



**Fig. 1:** Korngrössenzusammensetzung von Gletscherseemoränen und Grundmoränen aus dem Gebiet Raintalwald, Darstellung im Diagramm mean size/standard deviation ( $\phi$ -Skala) nach Folk & Ward (1957); 1 = Grundmoräne, 2 = Gletscherseemoränen und Seetone nicht unterschieden, 3 = Bohrung 401 A mit 5 Proben, Pfeilrichtung = Profilentwicklung von unten nach oben. Koordinaten der Bohrung 401 A = 606.290/195.150. Umgezeichnet aus Schlüchter (1977).

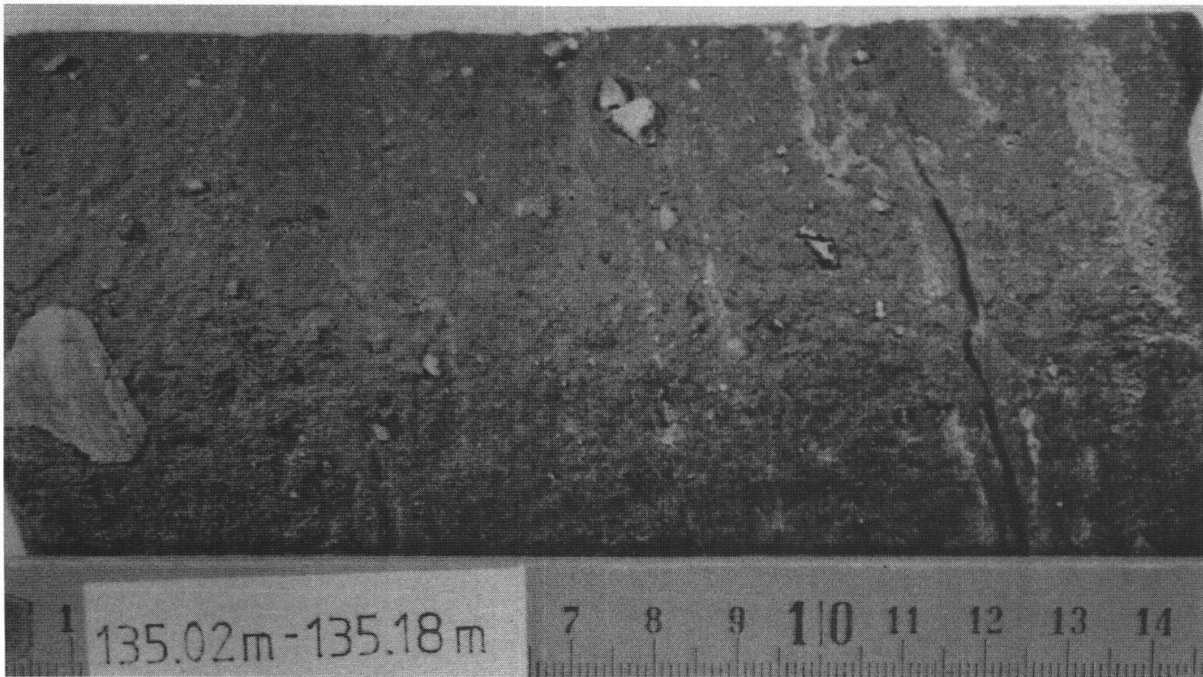


**Fig. 2:** Korngrössenzusammensetzung von Gletscherseemoränen und Grundmoränen aus dem Gebiet Thungeschneit/Räbeli, Darstellung im Diagramm mean size/standard deviation ( $\varphi$ -Skala) nach Folk & Ward (1957); 1 = Grundmoräne, 2 = Gletscherseemoränen und Seetone nicht unterschieden, 3 = Bohrung 45 mit 27 Proben, Pfeilrichtung = Profilentwicklung von unten nach oben. Koordinaten der Bohrung 45 = 611.432/182.740. Umgezeichnet aus Schlüchter (1977).

Figur 1 illustriert die Verhältnisse im Gebiet vom Raintalwald mit einer Profilentwicklung aus liegenden, fossilführenden Seetonen über eine Gletscherseemoräne in eine hangende Grundmoränendecke. Figur 2 stellt die Profilentwicklung beim Räbeli dar, mit einer umgekehrten Abfolge: über einer Gletscherseemoräne – mit Grundmoränenlagen – folgen im Hangenden (fossilführende) Seetone.

Beide Profilbeispiele zeigen allerdings, dass mit der Korngrössenanalyse allein nicht zweifelsfrei zwischen Seetonen und Gletscherseemoräne unterschieden werden kann, dass sich aber die bei der Bohraufnahme als Grundmoränen ausgeschiedenen Proben Korngrössenmässig von den beiden anderen Sedimenttypen unterscheiden. Für die Moränenklassifikation hat diese Tatsache folgende Konsequenzen: Die genetisch definierte Unterscheidung zwischen Grundmoräne und Gletscherseemoräne lässt sich sedimentologisch zeigen, z.B. in der unterschiedlichen Korngrössenzusammensetzung. Die Zuordnung einzelner Proben ist aber umstritten und wenn immer möglich sind Profilabschnitte oder längere Bohrungen, in welchen eine Profilentwicklung sichtbar ist, notwendig. Der Seetoncharakter von Gletscherseemoränen ist auch mit Figur 3 illustriert.

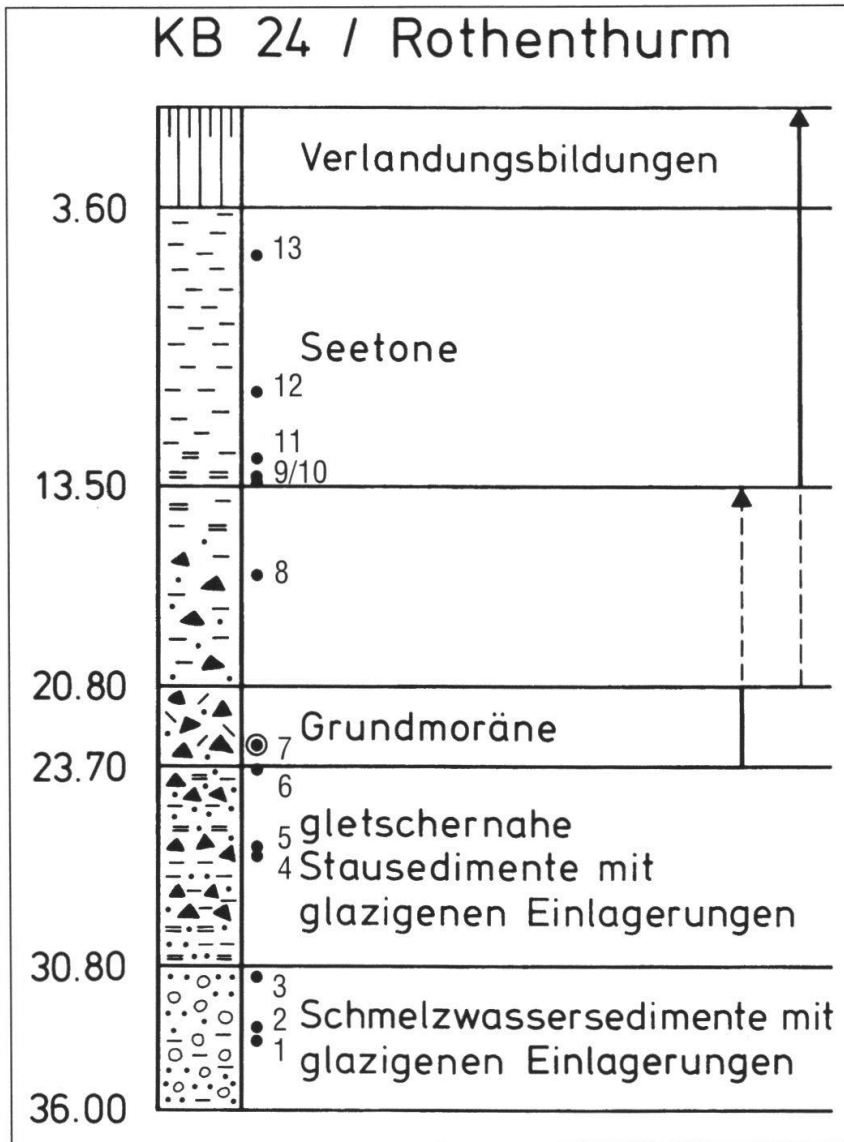
Interessant ist in diesem Zusammenhang natürlich ein Profil durch eine möglichst vollständige, intramoräne Füllung eines übertieften Beckens oder zumindest über eine Abfolge, welche die letzteiszeitliche Grundmoräne enthält. Ein solches Beispiel ist in Figur 4 dargestellt. Es handelt sich um ein Bohrprofil aus dem zentralen Teil des Beckens von Rothenthurm. Für unsere Diskussion ist hier wichtig, dass wir einen genetischen Bezugshorizont haben: die Grundmoräne zwischen 20.80 und 23.70 m Profiltiefe. Während der Ablagerung dieser Schicht lag der Gletscher an



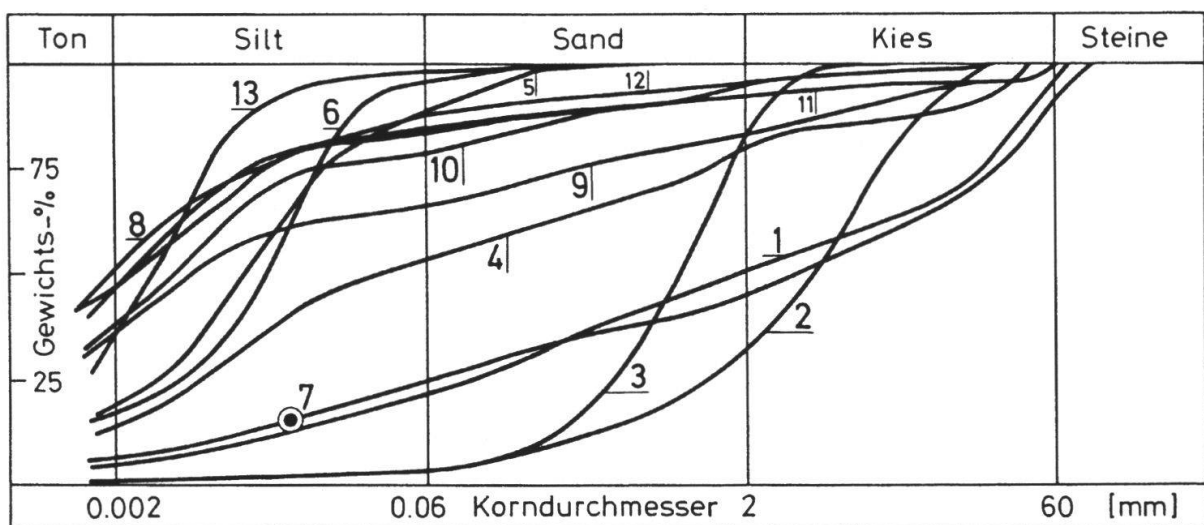
**Fig. 3:** Bohrkern von der Bohrung Thalgut, charakteristische Gletscherseemoräne mit rudimentärer Schichtung, bzw. massigen Abschnitten.

seiner Basis auf, herrschte an dieser Stelle Schubfließen und wurde durch den Gletscher direkt basal sedimentiert. Interessant ist nun aber, dass auf „beiden Seiten“ dieser Grundmoräne, also sowohl im Liegenden als auch im Hangenden Sedimente gebildet wurden, die feinkörniger als Grundmoränen sind und eine typische Korngrössenzwischenstellung einnehmen. Im Liegenden der Grundmoräne haben wir gewissermassen die (sandig-)siltige Fazies, wie sie von Dreimanis (1979) als Schlammstromfazies bezeichnet wurde. Diese Sedimente sind durch lokale Staubildung im proximalen Gletschervorfeld oder am unmittelbaren Eisrand entstanden. Die Proben 5 und 6 (Fig. 4, 5) sind typische Beispiele von eisrandlichen Staubeckensedimenten mit einem Tongehalt der über jenem der vergleichbaren Grundmoräne aber unter dem der Gletschersee-Tiefwasserfazies steht. Die Liegendsedimente der Grundmoräne müssen somit nicht subaquatische Bildungen sein im Sinne von echter Beckensedimentation. Randglaziale Schlammströme vermögen – bei hohem Grundwasserspiegel (= OKT) lokale Staubecken als Sedimentfallen zu bilden, die dann beim weiteren Vorstoss verfüllt und vom Eisrand überfahren werden.

Anders verhält es sich im Dach der Grundmoräne wo es zum Aufschwimmen des Gletschers und zur Bildung von subglazialen und eisrandlichen Seebecken kommt. Wir beobachten zwei Aspekte in der Korngrössenzusammensetzung: der plötzliche Anstieg der Feinanteile (bis 40 % Tonfraktion!) und der immer noch vorhandene „Restgehalt“ an Sand- und Kiesfraktionen der Proben 8 bis 12. Der grobkörnige Gletschereinfluss geht erst höher im Profil verloren (zwischen den Proben 12 und 13). Zusammenfassend darf hier festgehalten werden, dass mit der Bohrung KB24 im Becken von Rothenthurm eine Gletschersee-Grundmoränenabfolge und zwar von der glazigenen Schlammstromfazies im Liegenden (Proben 4, 5 und 6) über die Grundmoräne (Probe 7) in die Gletschersee-Beckenfazies hinauf (Fig. 4, 5) erbohrt worden ist.



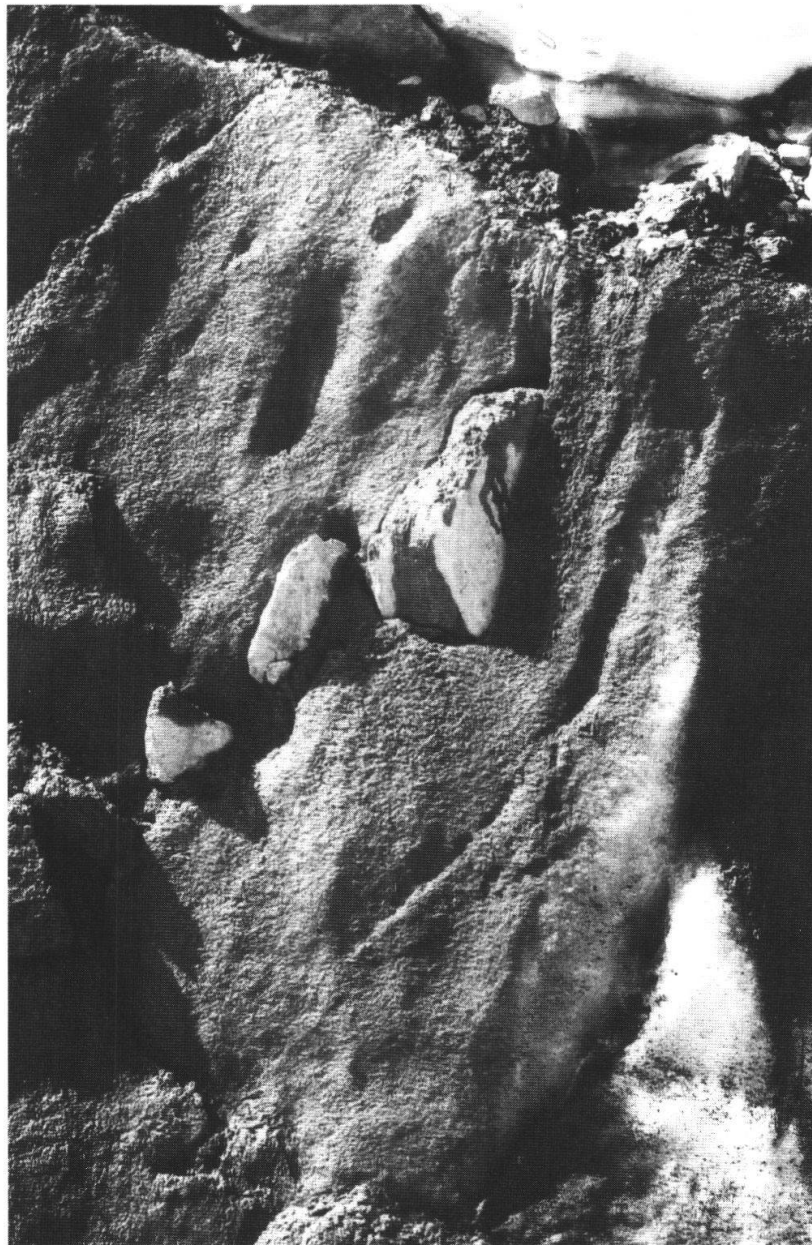
**Fig. 4:** Lithologisches Sammelprofil von KB 24 aus dem Becken von Rothenthurm mit einer Abfolge von Vorstoss-Schottern → glazigenen Schlammströmen → Grundmoräne → Gletscherseemoräne → Beckentonen mit Verlandung von unten nach oben. Die beiden Pfeile stellen sedimentgenetisch kontinuierliche Abfolgen dar; die schraffierten Pfeilbereiche entsprechen der Sedimentation in rand-, bzw. subglazialen Seen beim Eiszerfall.



**Fig. 5:** Texturelle Beispiele für eine multifazielle glazigene Beckenfüllung: Korngrössenzusammensetzung der Proben aus KB 24 im Becken von Rothenthurm/SZ. Die Probe 7 entspricht der im lithologischen Profil (Fig. 4) ausgeschiedenen Grundmoräne.

#### 4. Die Stabilität von Ufermoränen

Eines der auffälligsten Merkmale ehemals vergletschter Gebiete sind morphologisch wirksame und dauerhafte Eisrandbildungen: die sog. End-, Ufer- Seiten- oder Wallmoränen. Wir verstehen darunter langgezogene, asymmetrische Rücken mit einer erratischen Blockstreu, die den ehemaligen Eisrand markieren. Solche Gebilde bestehen ausschliesslich aus Lockergesteinen, die am, bzw. an den Eisrand geschüttet werden. Auffallend ist, dass diese Gebilde bemerkenswert stabil sind. Diese Beobachtung hat Whalley (1975:65) zur folgenden Ratlosigkeit verführt: "*It appears that nature is rather more effective than man in constructing high embankments but the crucial process may be one of time as much as the mechanics of deposition*". Bereits Portmann hat 1960 mit seinen Einregelungsmessungen von Geschiebelängsachsen auf dem Gletscher und am Eisrand festgestellt, dass beim glazigenen Sedimenttransport unterhalb der Gleichgewichtslinie eines Gletschers die laterale



**Fig. 6:**

Blick in eine randliche Querspalte am Findelengletscher. Blickrichtung = gletscherabwärts, Gletscherrand = rechts, Höhe der sichtbaren Wand ca. 4 m. Nach rechts oben aufsteigende Scherfläche mit eingeregelt, aufgeschobenen Blöcken als Beweis der lateralen Fliesskomponente an dieser Stelle.





**Fig. 7:**

Rechtsufrige Seitenmoräne am Findelengletscher mit Grundmoräne in lateraler Position, Blickrichtung = gletscheraufwärts, Einfallen der Geschiebelängsachsen und der Klüftung steil nach rechts zum Eisrand. Dieser Punkt wurde vom Gletscher während der Kleinen Eiszeit erreicht. Bildhöhe = 1.5 m.

Fliesskomponente wichtig ist. Das heisst konsequenterweise, dass es am Eisrand Bereiche von Schubfliessen gibt, die entsprechende Sedimente ermöglichen, und das bedeutet nach den Diskussionen in Teil I, dass dort Grundmoräne abgelagert werden kann. Das heisst also: Grundmoränenbildung in lateraler Position! Darf ein solches Sediment aber wegen der Lage zum Gletscher noch als Grundmoräne bezeichnet werden? Wenn wir die in Teil I vorgestellte sedimentologisch-material-technologische Definition der Grundmoräne akzeptieren, dann ergibt sich kein Problem. Es gibt ja schliesslich auch eine randliche Gletscherbasis!

Diese Frage ist noch auf eine weitere Art und Weise beantwortet worden: mit dem Wiedervorstoss der Alpengletscher zwischen 1979 und 1991 sind die geologischen Vorgänge am Rande des Findelengletschers beobachtet und registriert worden (Schlüchter 1983). Dabei zeigten sich durch Schubfliessen charakterisierte Zonen am aktiven Eisrand. An den gleichen Stellen bestehen die massiven Ufermoränen, die während des Maximums der Kleinen Eiszeit zum letzten Mal vom aktiven Eis-

rand geformt wurden massive, matrixgestützte Sedimente mit auffallend gleichmässiger Klüftung und eingeregelter Geschieben. Allerdings fallen sowohl Geschiebelängsachsen als auch die Klüfte mit 20 – 25° steil zum Gletscher hin ein: es handelt sich hier um lateral abgelagerte Grundmoräne – also ist die Antwort auf die Frage nach der Stabilität von Ufermoränen einfach: es ist der geologische Vorgang, der ein maximal verdichtetes, kohäsives Sediment produziert – das laterale Ankleistern (Fig. 6, 7) als Folge lateralen Schubfließens.

Eine genauere Kartierung der inneralpinen Ufermoränen hat gezeigt, dass volumemässig ein beträchtlicher Anteil der Sedimente als Grundmoräne ausgeschieden werden kann, je nach Fliessgeometrie des Gletschers. Im Alpenvorland sind die Verhältnisse faziell komplizierter, da dem Schmelzwasser eine grössere Bedeutung zukommt.

## 5. Zusammenfassung

Zwei Bereiche der glazigenen Sedimentation sind kurz skizziert worden. Sowohl im Falle der Gletscherseemoräne und der Schlammstromfazies als auch in den Ufermoränen (Sekundärmoränen) kommt echte Grundmoräne (Orthomoräne) vor, die auch hier sowohl genetisch als auch sedimentologisch–geotechnisch als Leithorizont ausgeschieden werden kann.

### *Literatur erzeichnis*

- BÖHM VON BÖHMERSHEIM, A. 1901: Geschichte der Moränenkunde. Abhandlungen der K.K. Geographischen Gesellschaft in Wien, III. Band, 1901, No. 4, Lechner (Wien), 334 S.
- DREIMANIS, A. 1979: The problems of waterlain tills. In: Schlüchter, Ch. (Hrsg.): *Moraines and Varves*: 167-177, Balkema (Rotterdam).
- FOLK, R.L. & WARD W.C. 1957: Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 27: 3-26.
- KELLERHALS, P. & TRÖHLER B. 1976: *Hydrogeologie Seeland*. Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung. Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kt. Bern.
- PORTMANN, J.-P. 1960: Les inclusions rocheuses dans les glaciers. *Geographica Helvetica*, Jg. 15: 1-8.
- RICHTER, E. 1900: Die Gletscherkonferenz im August 1899. *Peterm. Geogr. Mitt.*, XXVII/4: 77-81 (Gotha).
- SCHLÜCHTER, CH. 1977: Grundmoräne versus Schlammmoräne – two types of lodgement tills in the Alpine Foreland of Switzerland. *Boreas*, Vol. 6, No. 2: 181-188.
- SCHLÜCHTER, CH. 1983: The readvance of the Findelengletscher and its sedimentological implications. In: EVENSON, E.B., SCHLÜCHTER, CH. and J. RABASSA, (Eds): *Tills and related deposits*: 95-104, Balkema (Rotterdam), 454 S.
- SCHLÜCHTER, CH. 1997: Sedimente des Gletschers (Teil I). *Bull. angew. Geol.* 2/2: 99-112.
- WHALLEY, W.B. 1975: Abnormally steep slopes on moraines constructed by valley glaciers. In: *The engineering behaviour of glacial materials*. Midland Soil Mechanics and Foundation Engineering Society, Birmingham.

