

Vortrag am 14.10.1999 17:40 – 18: 20

Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubaier Alpen

Karl Krainer und Wolfram Mostler
Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck
Innrain 52

Einleitung

Aktive Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial (Verwitterungsschutt, Moränenmaterial) und Eislinien bzw. Eiskörpern, die sich langsam hangabwärts bewegen. Die Bewegung ist vor allem auf Kriechprozesse als Folge der internen Deformation des Eises zurückzuführen, vermutlich spielt auch basales Gleiten eine gewisse Rolle. Blockgletscher zählen zu den auffallendsten und häufigsten morphologischen Erscheinungsformen des Hochgebirges. Sie sind in den Ostalpen, insbesondere in den Zentralalpen, oberhalb ca. 2500 m Seehöhe weit verbreitet. Hinsichtlich ihrer Entstehung werden sie einerseits als reine Permafrosterscheinungen betrachtet (Haeberli 1985, 1990; Barsch 1987a, 1987b, 1992, 1996), können aber auch aus zurückschmelzenden, schuttbedeckten Kargletschern entstehen (Outcalt und Benedict 1965; White 1971; Potter 1972; White 1976; Johnson und Lacasse 1988; Whalley und Martin 1992; Clark et al. 1994; Whalley et al. 1994; Humlum 1996; Ackert 1998; Potter et al. 1998; Whalley und Palmer 1998; Shroder et al. 2000).

Während aus den Westalpen, insbesondere den Schweizer Alpen, bereits zahlreiche Detailstudien über aktive Blockgletscher vorliegen (Zusammenfassungen in Haeberli 1985; Barsch 1996), sind in den Ostalpen bislang nur wenige Blockgletscher näher untersucht worden, moderne Untersuchungen fehlen weitgehend (siehe Lieb 1996).

Bedeutung aktiver Blockgletscher

In den letzten 150 Jahren haben als Folge der globalen Erwärmung die Alpengletscher ungefähr ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte ihrer Masse verloren, da die Schneegrenze um 100 m angestiegen ist (Haeberli 1996). Während die Veränderungen der Alpengletscher seit über hundert Jahren aufgezeichnet werden und daher gut bekannt sind, sind Veränderungen an aktiven Blockgletschern in diesem Zeitraum nahezu unbekannt, vor allem deshalb, weil das Eis der aktiven Blockgletscher unter einer mehr oder weniger dicken, ungefrorenen Schuttlage verborgen und daher direkten Beobachtungen und Untersuchungen nur schwer zugänglich ist.

In den zahlreichen aktiven Blockgletschern der Alpen sind derzeit noch große Schuttmassen stabilisiert, indem sie gefroren sind. Eine fortschreitende Erwärmung könnte allerdings in den periglazialen Bereichen des Hochgebirges durch das fortschreitende Abschmelzen des Eises in den aktiven Blockgletschern in Zukunft zu einer beträchtlichen Zunahme von Massenbewegungen (Murgängen, Hangrutschungen, Felsstürzen etc.) führen und dadurch Straßen, Seilbahnen, Schipisten und andere Einrichtungen im hochalpinen Raum gefährden. Beispiele aus den Schweizer Alpen (Haeberli 1990, 1995, 1996; Käab et al. 1996) und jüngst auch aus den österreichischen Alpen (Kaunertal, Stubaier Gletscher u.a.) verdeutlichen diese Problematik.

Der aktive Blockgletscher im Inneren Reichenkar

Das Innere Reichenkar liegt ca. 3 km südlich von Gries im Sulztal in den westlichen Stubaier Alpen (vgl. Abbildung 1). Dieses Kar wird von einem großen, zungenförmigen, aktiven

Blockgletscher eingenommen, der in der vorliegenden Arbeit als Reichenkar Blockgletscher bezeichnet wird.

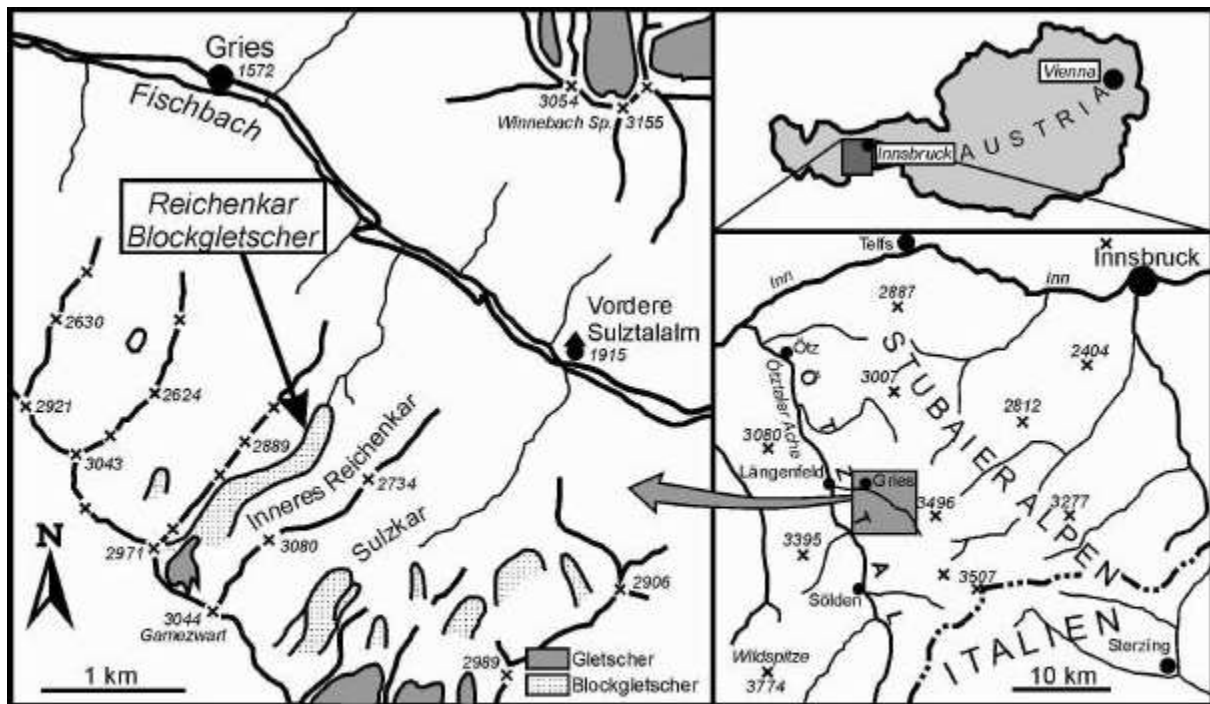


Abb. 1: Übersichtskarte mit Lage des untersuchten Blockgletschers im Inneren Reichenkar, westliche Stubai Alpen.

Im hintersten Teil des Inneren Reichenkares befindet sich ein kleiner, schutfreier Kargletscher, der in einer ungefähr 5 m tiefen Depression in den Blockgletscher übergeht. Diese Depression ist in den Sommermonaten 1999/2000 durch das starke Abschmelzen des unter einer geringmächtigen Schuttdecke vorhandenen Gletschereises, vermutlich durch Thermokarstprozesse, zusätzlich um bis zu 5 m eingesunken. In dieser Depression in ca. 2730 m Seehöhe ist deutlich zu erkennen, dass das Gletschereis unter die Schuttmassen des Blockgletschers hineinzieht. Im Sommer 2000 ist ca. 100 m nördlich der Depression durch das Einstürzen eines Schmelzwassertunnels massives Eis unter einer ca. 2 m mächtigen Schuttlage zum Vorschein gekommen, und zwar auf einer Länge von ca. 10 m und in einer Mächtigkeit bis zu 3 m. Das Eis war grobkörnig, und deutlich geschichtet, enthielt nur entlang einer horizontalen Scherfläche feinkörniges Material (Abbildung 2).



Abbildung 2: Aufschluß von massivem Gletschereis, das unter einer ca. 2 m mächtigen Schuttbedeckung freigelegt wurde. (ca. 100 m nördlich der Depression; Foto 26.8.2000)

Der Blockgletscher wird hauptsächlich aus den steilen, östlichen Karwänden mit Verwitterungsschutt versorgt. Die Schutfahnen ziehen vom Wandfuß zum Blockgletscher hinunter, biegen bei Erreichen des Blockgletschers um und bilden schließlich am Blockgletscher markante longitudinale Rücken und Vertiefungen.

Der steile mittlere Abschnitt ist durch eine unruhige Oberfläche charakterisiert, hervorgerufen durch besonders aktive Schuttloben und mehrere quer zur Fließrichtung ausgerichtete, schuttverfüllte Spalten. Der relativ flache Zungenbereich weist an der Oberfläche zahlreiche transversale Loben auf.

Der Blockgletscher ist 1400 m lang, im oberen Teil bis zu 260 m, im mittleren und unteren Teil 170 – 190 m breit und bedeckt eine Fläche von 27 ha. Die ca. 40° steile und über 30 m mächtige Stirn endet in einer Seehöhe von 2310 m und überfährt eine Almwiese. Am Fuße der Stirn entspringt eine Blockgletscherquelle, an der nahezu die gesamte Schmelzwassermenge des Blockgletschers zutage tritt.

Der Festgesteinsuntergrund im Einzugsgebiet des Blockgletschers setzt sich aus SE-NW-streichenden, steil nach Norden einfallenden, stark geklüfteten und von zahlreichen Störungen durchzogenen Amphiboliten und Eklogiten zusammen. Im Kammbereich und entlang von Störungen sind diese Gesteine infolge der Frostverwitterung stark aufgelockert, was zu einem starken Schuttanfall führt. Der Blockgletscher besteht daher ausschließlich aus Amphibolit- und Eklogitschutt (Abbildung 3 und Abbildung 10).

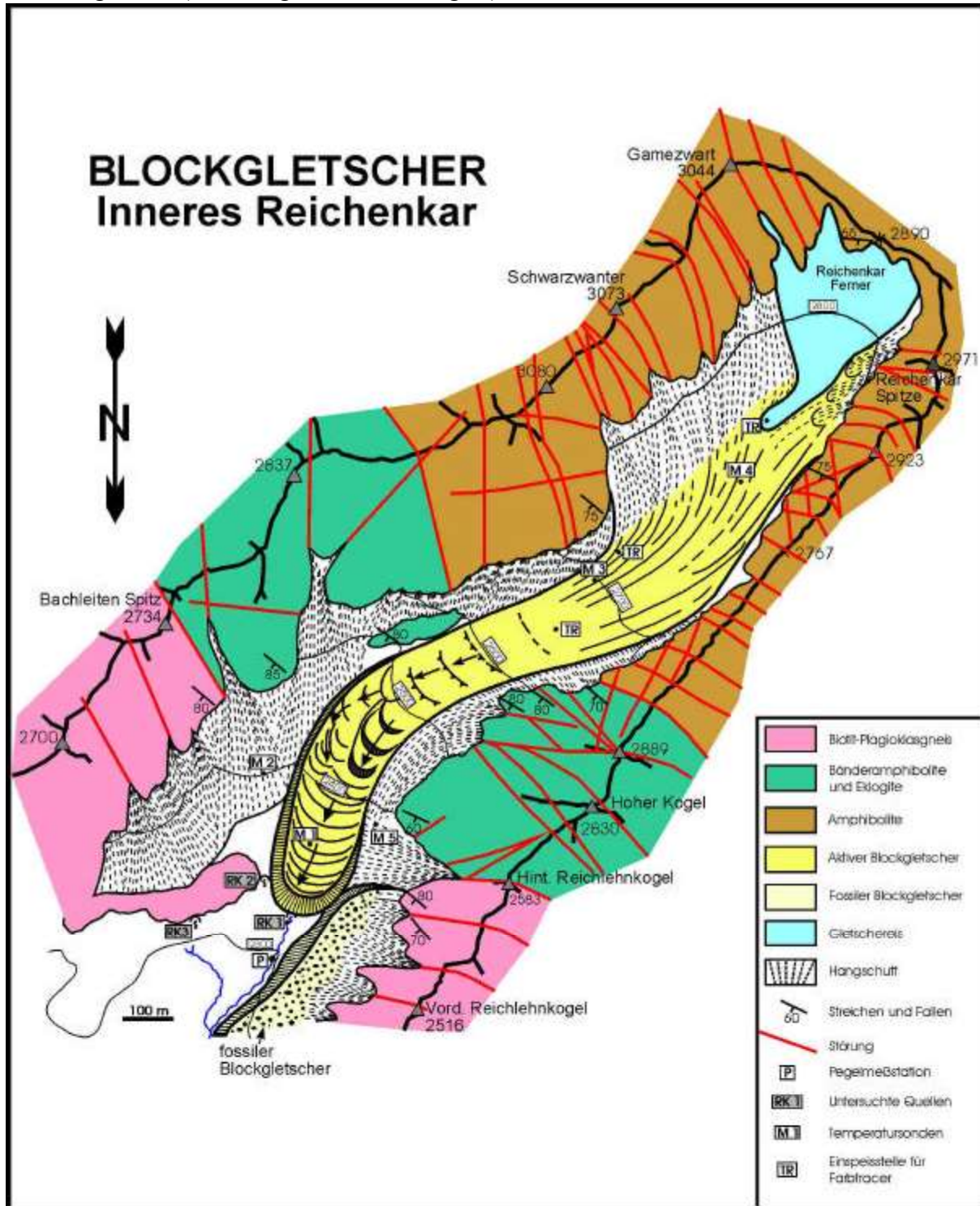


Abb. 3: Geologisch-morphologische Karte des Blockgletschers im Inneren Reichenkar

Korngrößenverteilung

Die Schuttlage aktiver Blockgletscher setzt sich häufig aus zwei Horizonten zusammen: einem grobkörnigen Horizont mit wenig bis keinem Feinanteil an der Oberfläche, unterlagert

von einer feinkörnigeren Lage mit einem höheren Feinanteil (Domaradzki 1951; Wahrhaftig und Cox 1959; Potter 1972; Giardino und Vick 1987). Bei den meisten Blockgletschern bewegt sich die Korngröße an der Oberfläche im dm-Bereich (Giardino und Vick 1987; Shroder 1987; Barsch 1996).

Am Reichenkar Blockgletscher variiert die Korngröße an der Oberfläche recht stark, besonders im flachen Zungenbereich wechseln grobkörnige Bereiche mit feinkörnigeren Bereichen, die oft einen hohen Feinanteil aufweisen.

Im Detail wurde die Korngröße an drei Stellen gemessen (Abbildung 4). Im oberen Teil auf 2700 m SH liegen die meisten Gerölle zwischen 25 und 50 cm (längster Gerölldurchmesser), die durchschnittliche Korngröße liegt bei 37 cm.

An einer sehr grobkörnigen Stelle im Zungenbereich liegt der Korndurchmesser meist zwischen 50 und 100 cm (durchschnittliche Korngröße 68 cm), an einer etwas feinkörnigeren Stelle zwischen 25 und 50 cm (durchschnittliche Korngröße 32 cm).

Eine Siebanalyse an zwei feinkörnigen Proben ergab eine Korngrößenverteilung ähnlich wie bei Grundmoränen, die Werte der Sortierung (inclusive graphic standard deviation; Folk und Ward 1957) lagen bei 3.70 und 2.89 (sehr schlecht sortiert). Ähnliche Korngrößenverteilungen berichten Barsch et al. (1979) und Haerberli (1985) vom Gruben Blockgletscher, sowie Giardino und Vick (1987).

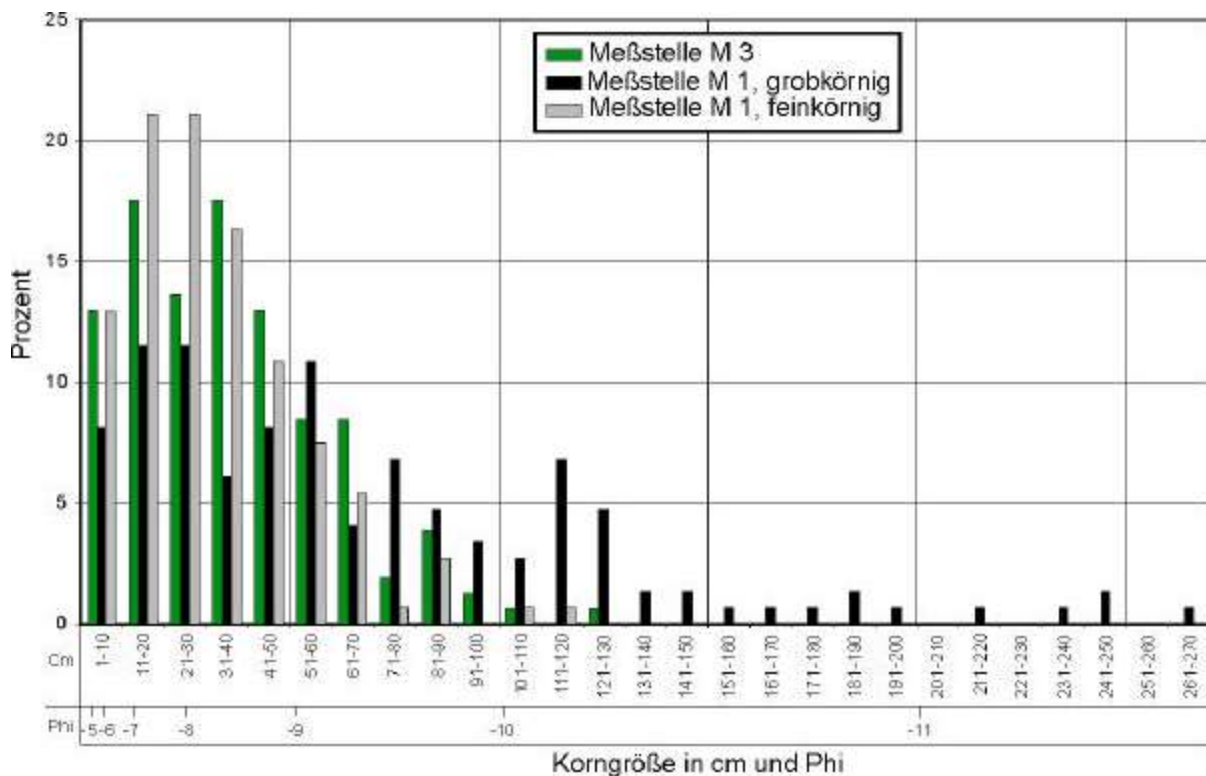


Abb. 4: Korngrößenverteilung an der Oberfläche der Schuttlage an drei verschiedenen Meßstellen.

Temperaturverhalten der Schuttlage

Die meisten Daten über das thermische Verhalten von aktiven Blockgletschern stammen von Temperaturmessungen, die in Bohrlöchern innerhalb des gefrorenen Teiles (Permafrost) durchgeführt wurden (Barsch et al. 1979; Johnson und Nickling 1979; Haerberli 1985; Vonder Mühl und Haerberli 1990; Vonder Mühl 1993; Vonder Mühl et al. 1998). Über das thermische Verhalten der ungefrorenen Schuttlage gibt es nach wie vor nur wenig Information. Temperaturdaten von der Basis der ungefrorenen Schuttlage sind in den Arbeiten von Vonder Mühl (1993) und Vonder Mühl et al. (1998) enthalten. Jüngst hat Humlum

(1997) eine ausführliche Studie über das thermische Verhalten der ungefrorenen Schuttlage an drei aktiven Blockgletschern in Grönland veröffentlicht.

Zur Untersuchung des Temperaturverhaltens wurden an folgenden drei Stellen Temperatursonden (Optic Stow Away Temperature Logger, Onset Computer Corporation) installiert:

Meßstelle M 1 im Bereich der Zunge (2340 m) in 90, 50 und 20 cm Tiefe

Meßstelle M 3 im oberen Teil (2700 m) in 100 und 150 cm Tiefe

Meßstelle M 4 im Bereich der Wurzelzone (2730 m) in 70 cm Tiefe

Die Sonden wurden Anfang Juli 1997 installiert, das Messintervall beträgt 2 Stunden, die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.

Die bisherigen Messungen haben gezeigt, dass das Temperaturverhalten der ungefrorenen Schuttlage sehr komplex ist und von mehreren Parametern bestimmt wird. Insbesondere in den Sommermonaten sind ausgeprägte saisonale und bei Schönwetter auch tägliche Schwankungen im Temperaturverlauf zu beobachten (Abbildung 5).

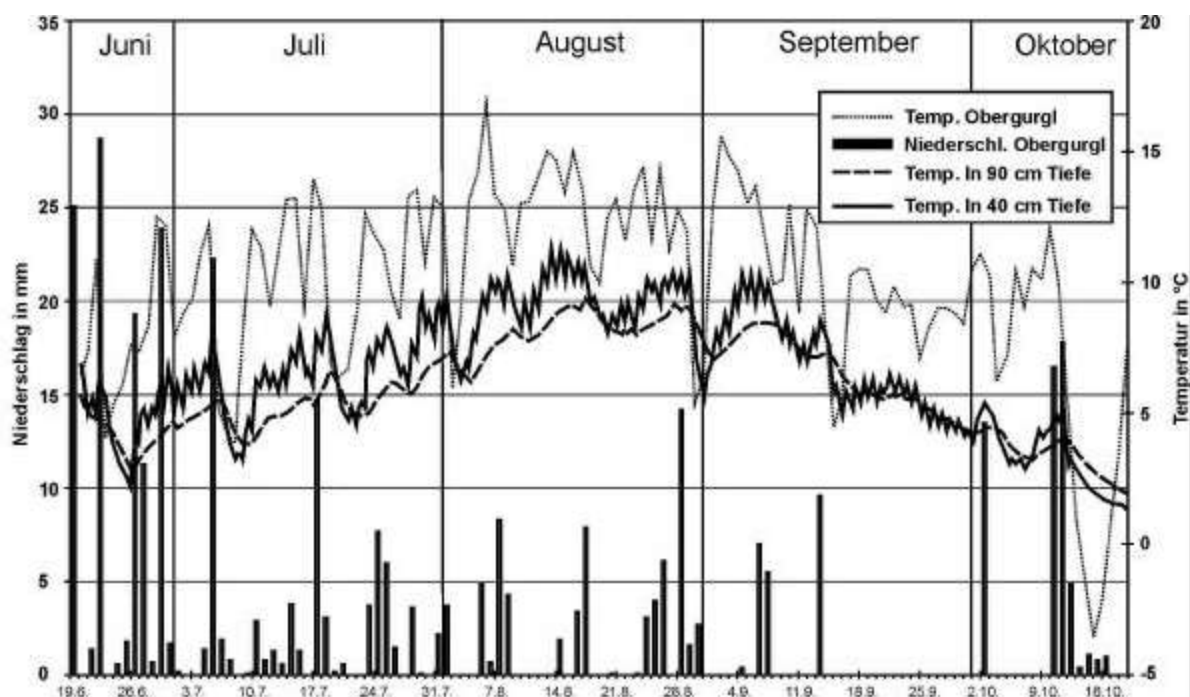


Abb. 5: Temperaturverlauf in der Schuttlage des Blockgletschers Inneres Reichenkar im Bereich der Zunge (Meßstelle M1) in 90 und 40 cm Tiefe im Sommer 1997 (Meßintervall 2 Stunden). Eingetragen sind auch Temperatur (Tagesmittel) und Niederschlag der Station Obergurgl.

An Schönwettertagen werden die geringsten Temperaturen am späten Vormittag, zwischen 10:00 und 12:00 Uhr erreicht, während die höchsten Temperaturen am späten Abend, je nach Tiefe zwischen 18:00 und 24:00 Uhr auftreten. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Temperatur sehr rasch ab, und ab einer Tiefe von 100 – 150 cm sind auch keine Tagesschwankungen mehr erkennbar.

Kaltlufteinbrüche im Sommer führen zu einer starken Temperaturabnahme in der Schuttlage, die Temperatur kann bis unter den Gefrierpunkt absinken. Häufig ist dabei eine Temperaturinversion festzustellen, in geringer Tiefe (30 – 50 cm) ist es kälter als in größerer Tiefe (100 – 150 cm). Das Temperaturminimum wird in größerer Tiefe mit einer entsprechenden Zeitverzögerung von einigen Stunden erreicht, die kalte Luft kann also nur sehr langsam in die Schuttlage eindringen.

Insgesamt zeigen die bisherigen Messungen, dass das Temperaturverhalten vor allem von folgenden Parametern bestimmt wird: (a) von der Dauer der winterlichen Schneedecke: solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist, liegen die Temperaturen in der Schuttlage unter der Schneedecke ständig knapp unter dem Gefrierpunkt. (b) bestimmend in den Sommermonaten ist vor allem der Witterungsablauf, insbesondere die Temperatur der atmosphärischen Luft, weiters die (c) Mächtigkeit der ungefrorenen Schuttlage und des darunter liegenden gefrorenen Bereiches (Eisanteil und dessen Eigenschaften), die (d) Korngröße und Korngrößenverteilung der Schuttlage (davon abhängig die Porosität und Permeabilität), (e) die Exposition (schattig, sonnenbeschienen), und (f) möglicherweise spielt auch der Wind eine gewisse Rolle. Ähnliche Ergebnisse lieferten auch Untersuchungen an aktiven Blockgletschern im Gößnitztal (Schobergruppe; Krainer & Mostler in Druck).

BTS-Messungen

Die Methode der BTS-Messungen (Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke) geht auf (Haerberli 1973)) zurück. Die BTS-Methode basiert auf der isolierenden Wirkung einer dickeren Schneedecke (0.8 – 1m), die die Schuttlage vor dem Einfluß von kurzfristigen atmosphärischen Temperaturschwankungen schützt. Daher sind an der Basis der winterlichen Schneedecke auch keine Tagesschwankungen im Temperaturgang festzustellen (Haerberli 1985). Nach Barsch (1996) bewegen sich die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke auf aktiven Blockgletschern meist zwischen -3 und -5°C . Nach Haerberli (1985) bleibt die Temperatur dabei in den Monaten Februar und März bei Schneehöhen von über 1 m sehr stabil (Abbildung 6).

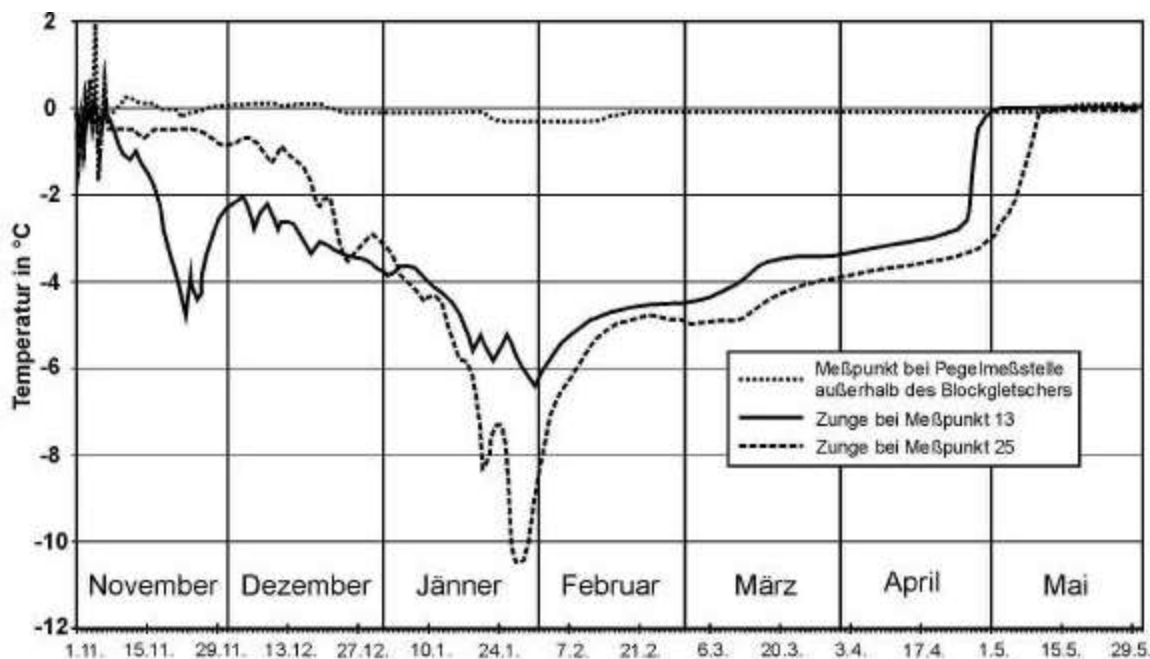


Abb. 6: Temperaturverlauf an der Basis der winterlichen Schneedecke am Blockgletscher (Zunge bei GPS-Meßpunkt 13 und 25) und außerhalb des Blockgletschers bei der Pegelmeßstelle

Außerhalb von aktiven Blockgletschern und Permafrostböden bewegt sich dagegen die Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke meist zwischen 0 und -1.5°C .

Am Blockgletscher im Reichenkar wurden an der Basis der winterlichen Schneedecke folgende Tiefstwerte erreicht:

Im Winter 1997/98 bei Punkt 13 $-4,82^{\circ}\text{C}$ am 23.3 ($-2,97^{\circ}\text{C}$ in 90 cm Tiefe am 29.3.)

Im Winter 1998/99 bei Punkt 13 $-7,46^{\circ}\text{C}$ am 2.2. ($-5,91^{\circ}\text{C}$ in 70 cm Tiefe und $-5,37^{\circ}\text{C}$ in 140 cm Tiefe am 16.2.). Im Hangschutt westlich der Zunge lagen die BTS-Werte von Dezember bis April meist zwischen -1°C und -2°C , der Tiefstwert von $-2,73^{\circ}\text{C}$ wurde im Februar erreicht. In 90 cm Tiefe sank die Temperatur von $-0,4^{\circ}\text{C}$ in Dezember auf $-1,57^{\circ}\text{C}$ Anfang März. Im Frühjahr 1999 setzte im Bereich der Zunge die Schneeschmelze Mitte Mai ein.

Im Winter 1999/00 wurde bei Punkt 25 am 27. und 28.1. ein Tiefstwert von $-10,5^{\circ}\text{C}$ und bei Punkt 4 ein Tiefstwert von $-6,4^{\circ}\text{C}$ am 31.1. erreicht.

Außerhalb der Zunge, bei der Pegelmeßstation, lagen die BTS-Werte den ganzen Winter hindurch nur knapp unter dem Gefrierpunkt, bewegten sich zwischen $-0,1$ und $-0,3^{\circ}\text{C}$. Auch östlich der Zunge, ca. 10 m vom Blockgletscher entfernt, bewegten sich die BTS-Daten den ganzen Winter hindurch um den Gefrierpunkt.

Die Schneeschmelze setzte im Frühjahr bereits Ende April ein, die Dauer der Schneedecke reichte bis Ende Mai.

Die BTS-Messungen im Reichenkar bestätigen die bisherigen Ergebnisse von anderen Blockgletschern (siehe auch Ishikawa & Hirakawa 2000 sowie Krainer & Mostler, in Druck):

- 1) Auf aktiven Blockgletschern treten an der Basis der winterlichen Schneedecke deutlich tiefere Temperaturen auf als auf permafrostfreiem Untergrund.
- 2) Die tiefsten Temperaturen treten jeweils an der Basis der Schneedecke auf, in der Schuttlage nimmt mit zunehmender Tiefe die Temperatur leicht zu.
- 3) Unterhalb einer mächtigeren Schneedecke treten keine Tageszyklen im Temperaturgang auf.
- 4) Die tiefsten Temperaturen werden je nach Witterungsablauf zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreicht, meist zwischen Ende Jänner und Ende März. Interessant ist die Feststellung am Reichenkar Blockgletscher, daß auf ein und demselben Blockgletscher die Tiefstwerte an verschiedenen Punkten zu verschiedenen Zeiten erreicht wurden.
- 5) Die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke bleiben nicht konstant (Haeberli 1985), sondern sind deutlichen Schwankungen von einigen Grad Celsius ausgesetzt. Diese Schwankungen werden vom Witterungsablauf (Kalt- und Warmlufteinbrüche) hervorgerufen (Krainer & Mostler, in Druck).

Hydrologie-Abflußverhalten

Über das Abflußverhalten aktiver Blockgletscher liegen nur wenige Daten vor (Corte 1976; Johnson 1981; Evin und Assier 1983; Gardner und Bajewsky 1987; siehe Zusammenfassungen in Haeberli 1985 und Barsch 1996).

Zur Untersuchung des Abflussverhaltens wurde im Bach ca. 70 m unterhalb der Blockgletscherquelle Ende Mai 1997 eine automatische Pegelmessstelle (Abbildung 7) errichtet (Details siehe Krainer und Mostler, in Druck).



Abbildung 7: Automatische Registrier- und Datensammlereinheit für Druck-, Leitfähigkeits- und Temperatursonden

Das Abflußverhalten des Reichenkar-Blockgletschers (Abbildung 8) ist durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert (Krainer und Mostler, in Druck).

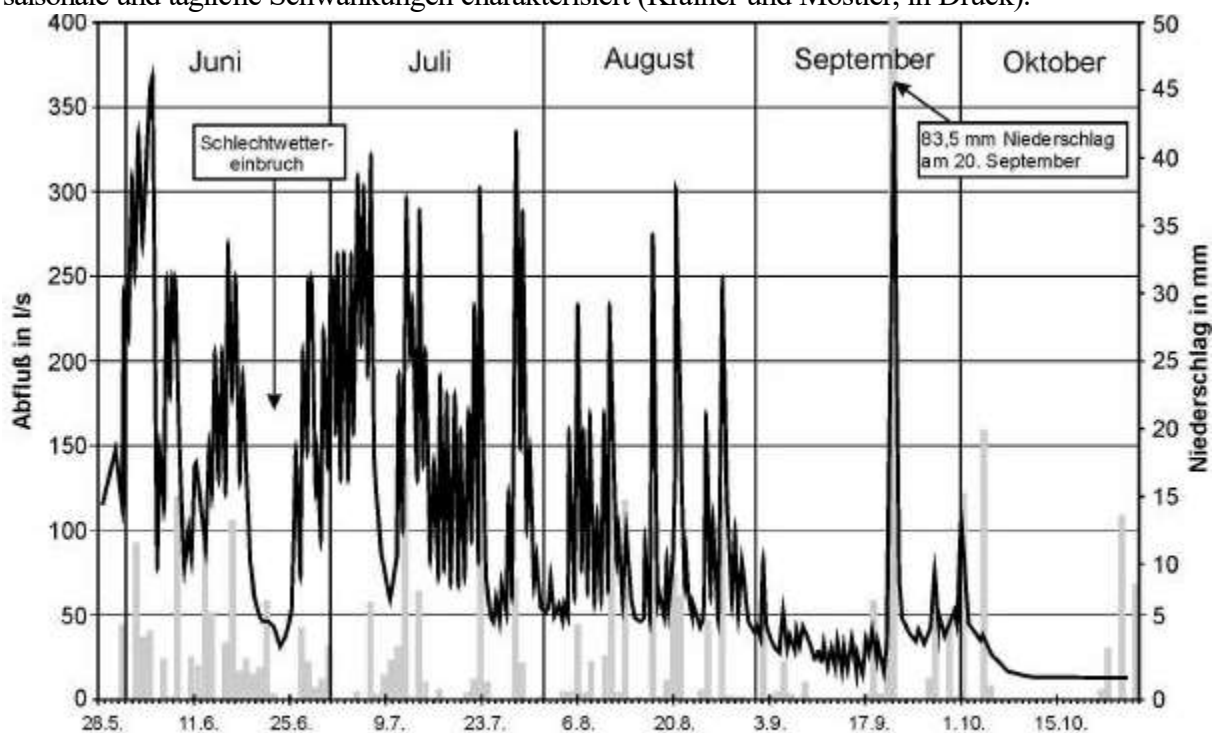


Abb. 8: Abflußganglinie bei der Pegelmeßstation (Meßintervall 30 min.) und Niederschlag der Station Obergurgl für den Zeitraum vom 28. Mai bis 29. Oktober 1999.

Mit Beginn der Schneeschmelze, die meist im Mai einsetzt, springt auch die Blockgletscherquelle an. Anfang Juni ist ein starker Anstieg im Abfluß innerhalb von wenigen Tagen von $< 50 \text{ l/s}$ auf bis zu $> 300 \text{ l/s}$ zu beobachten.

Spitzenabflüsse im Spätfrühling und Frühsommer werden durch Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse verursacht, im Spätsommer und Herbst ausschließlich durch Niederschlagsereignisse. Schlechtwettereinbrüche mit Schneefall im Sommer verursachen kurzfristig einen starken Rückgang im Abfluß.

Der Abfluß ist generell hoch, solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist. Nach Abschmelzen der Schneerücklagen des vergangenen Winters geht auch der Abfluß stark zurück, bis schließlich im Dezember die Blockgletscherquelle völlig versiegt bzw. zufriert.

An Schönwettertagen sind im Spätfrühling und Frühsommer ausgeprägte Tagesschwankungen im Abfluß zu beobachten, die im Juni und Juli bis zu 150 l/s ausmachen. Im August und September nehmen die Tagesschwankungen stark ab, gehen auf unter 50 l/s zurück.

Die geringsten Abflusswerte werden dabei jeweils zwischen 11:00 und 12:00 Uhr registriert, die Abflussspitzen gegen 22:00 Uhr.

Ein Großteil des Schmelzwassers stammt aus dem oberen Abschnitt des Blockgletschers und vom Kargletscher. Tracerversuche haben ergeben, dass das Wasser für die Strecke von der Depression bis zur Quelle (Entfernung 1400 m) $6,5$ Stunden braucht, was einer durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit von $3,54 \text{ m/min}$ entspricht. Dies erklärt die zeitliche Verzögerung von Abflussminimum und -maximum bei der Blockgletscherquelle.

Trotz starker Abflussschwankungen bleibt die Wassertemperatur der Blockgletscherquelle den ganzen Sommer hindurch konstant knapp unter 1°C , was darauf hinweist, dass die Schmelzwässer bis kurz vor dem Quellaustritt in Kontakt mit Eis fließen.

Dagegen zeigt die elektrische Leitfähigkeit an der Blockgletscherquelle deutliche Schwankungen in Abhängigkeit von der Abflussmenge. Je höher der Abfluß, umso geringer ist die Leitfähigkeit. Im Spätfrühling und Frühsommer (Mai bis Juli) liegt die Leitfähigkeit bei $20 - 40 \mu\text{S/cm}$, im August und September zwischen 40 und $70 \mu\text{S/cm}$, und im Oktober und November, bei sehr geringen Abflussmengen zwischen 70 und $100 \mu\text{S/cm}$.

Die geringen Leitfähigkeitswerte bei hohen Abflussmengen weisen darauf hin, dass es sich zum Großteil um Schmelzwasser handelt (Schnee- und Eisschmelze). Hohe Leitfähigkeitswerte während Perioden geringer Abflussraten zeigen, dass es sich beim Wasser hauptsächlich um Grund- und Bergwasser handelt (siehe Krainer & Mostler, in Druck).

Bewegungsraten

Zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens des aktiven Blockgletschers im Reichenkar wurden am Blockgletscher insgesamt 46 markierte Meßpunkte (größere Felsblöcke mit eingemeißelten und mit roter Farbe markierten Meßmarken) sowie 5 außerhalb des Blockgletschers liegende Fixpunkte mit dem Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System) eingemessen. Die erste Messung („Nullmessung“) erfolgte vom 28.-30. Juli 1997, die erste Nachmessung wurde Ende Oktober 1997 durchgeführt, wobei witterungsbedingt nur die Meßpunkte $1 - 37$ nachgemessen werden konnten (Zunge und unterer Abschnitt der Steilstufe). Die zweite Nachmessung aller Punkte erfolgte am 29. und 30. Juli 1998 (Abbildung 9).

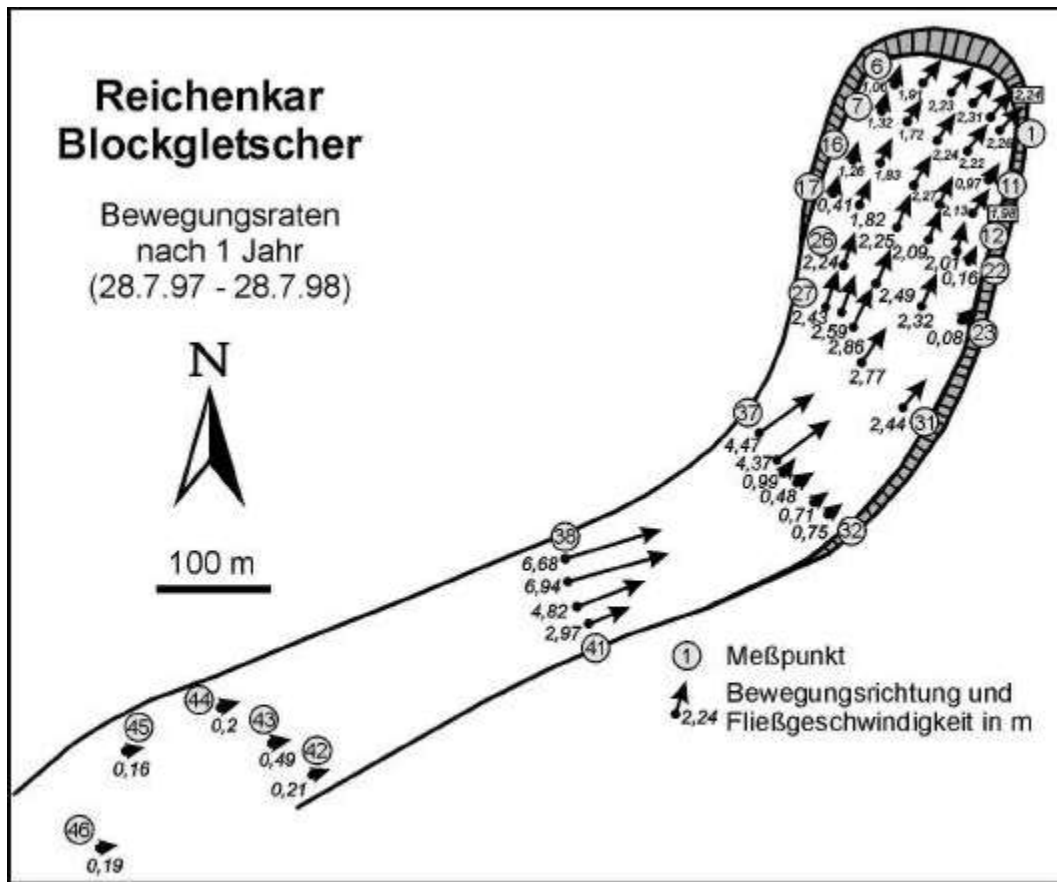


Abb. 9: Bewegungsraten nach einer Meßperiode von einem Jahr (28.7.97 - 28.7.98)

Die meisten aktiven Blockgletscher zeigen jährliche Bewegungsraten von einigen cm bis 1 m (Haerberli 1985), meist liegen sie deutlich unter 1 m (Whalley und Martin 1992). Nach Barsch (1996) liegen die Werte zwischen 1-2 cm (Minimum) und 100 – 200 cm (Maximum). Höhere Fließbewegungen sind sehr selten und meist auf spezielle topographische Verhältnisse (extrem steiles Gefälle im Stirnbereich) zurückzuführen. Die bislang höchsten Fließbewegungen wurden am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar mit 5m/Jahr gemessen (Victoris 1972).

Aus Luftbildvergleichen (Luftbilder 1954 und 1990) konnte für diesen Zeitraum von 36 Jahren für den Reichenkar-Blockgletscher ein Vorstoß der Zunge um insgesamt ca. 23 m ermittelt werden, was einer durchschnittlichen jährlichen Bewegungsrate von 0.64 m entspricht. Die GPS-Messungen ergaben eine deutlich höhere Fließgeschwindigkeit. Offensichtlich hat die Fließgeschwindigkeit in den letzten Jahren erheblich zugenommen.

Generell ergaben die Messungen hohe Bewegungsraten für die Zunge, extrem hohe Bewegungsraten für den Steilbereich und niedrige Bewegungsraten für den oberen, flachen Bereich (Chesi et al. 1999).

1. Meßperiode (3 Monate)

Von Ende Juli bis Ende Oktober 1997 (3 Monate) konnten folgende Bewegungen festgestellt werden:

Im Zungenbereich 36 – 57 cm, wobei im zentralen Bereich die höchsten Bewegungen auftreten. An den Rändern waren die Bewegungen deutlich geringer.

Am Fuß der Steilstufe lagen die Bewegungen zwischen 50 und 70 cm. Die Profilverreihe 32 – 37 zeigte folgende Ergebnisse: 32 bis 35 relativ geringe Bewegungsraten (10 – 33 cm), die

Punkte 36 und 37 dagegen sehr hohe Bewegungsraten von 104 cm (> 1 cm/Tag). Diese beiden Meßpunkte liegen auf einem sehr aktiven Lobus am Blockgletscher.

2. Meßperiode (1 Jahr)

Nach einem Jahr konnten bei fast allen Meßpunkten beträchtliche Bewegungsraten festgestellt werden. Die Bewegungsraten liegen im Zungenbereich bei 2 m (1.72 – 2.49 m), am Westrand sind sie geringer (0.41 – 1.32), am Ostrand (inaktiver Wall) sehr gering, Punkt 23 bewegte sich um 8 cm, Punkt 22 um 16 cm.

Am Fuß der Steilstufe (Meßpunkte 27 – 31) wurden Bewegungen zwischen 2.43 und 2.86 m festgestellt.

Interessant war wieder die Meßreihe 32 – 37. Die Punkte 32 – 35 zeigten relativ geringe Bewegungen von 0.48 bis 0.97 m, während Punkt 36 mit 4.37m und Punkt 37 mit 4.47m bereits sehr hohe Bewegungsraten aufweisen.

Die höchsten Bewegungsraten zeigen die beiden Punkte 38 und 39 mit 6.68 und 6.94m (fast 2 cm/Tag). Das sind die bislang höchsten Bewegungsraten, die auf einem Blockgletscher gemessen wurden.

Im oberen, wiederum flachen Abschnitt des Blockgletschers (Meßpunkte 42 – 46) sind dagegen die Bewegungsraten sehr gering (0.16 – 0.49 m).

Zusammenfassung

Der Reichenkar Blockgletscher weist eine Reihe von morphologischen Merkmalen auf, die eindeutig belegen, dass dieser Blockgletscher sich aus einem stark schuttbedeckten Kargletscher entwickelt hat (Krainer & Mostler 2000). Vor allem im Bereich der Depression, die in den letzten beiden Sommern stark eingesunken ist, ist klar zu erkennen, dass das Gletschereis unter den Blockgletscher hineinzieht. Dieses Gletschereis kam im Sommer 2000 ca. 100 m nördlich der Depression zum Vorschein. Im Sommer 1997 war auch im steilen mittleren Abschnitt massives Gletschereis aufgeschlossen.

Die Korngrößenverteilung der Schuttlage, von wesentlicher Bedeutung für das thermische Verhalten und die hydrologischen Prozesse, ist sehr unterschiedlich, zeigt aber die für Kristallgebiete typischen Werte. Die Gerölldurchmesser liegen meist im dm-Bereich.

Das Temperaturverhalten der Schuttlage ist komplex, wird vom Wettergeschehen beeinflusst, ist aber auch abhängig von der Korngrößenverteilung und Mächtigkeit der Schuttlage, vom darunter liegenden Eiskörper sowie von der Dauer und Mächtigkeit der winterlichen Schneedecke. In den Sommermonaten ist die Temperatur in den obersten 100 cm der Schuttlage gekennzeichnet durch starke saisonale Schwankungen. An Schönwettertagen sind auch deutliche Zyklen im Tagesgang zu erkennen. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Temperatur rasch ab, ab ca. 100 cm Tiefe treten auch keine Tageszyklen mehr auf.

Die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) sind am Blockgletscher deutlich tiefer (bis -10°C) als außerhalb des Blockgletschers auf permafrostfreiem Untergrund, wo die BTS im Bereich der Pegelmessstelle und unmittelbar östlich der Stirn immer um den Gefrierpunkt lag. Lediglich auf der Westseite der Stirn wurden über Hangschutt tiefere BTS gemessen, was eventuell auf Permafrost im Untergrund hinweist.

Interessant ist die Tatsache, dass auch an der Basis der winterlichen Schneedecke Temperaturschwankungen auftreten, und zwar in Abhängigkeit vom Witterungsablauf.

Das Abflußverhalten des Blockgletschers ist charakterisiert durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen (Details siehe Krainer & Mostler, in Druck). Solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist, ist der Abfluß hoch. Erst im Spätsommer und Herbst, nachdem die winterlichen Schneerücklagen mehr oder weniger vollständig abgeschmolzen sind, geht auch der Abfluß stark zurück. Ab ungefähr Mitte Dezember bis zum Beginn der Schneeschmelze weist der Blockgletscher keinen Abfluß auf. Kaltlufteinbrüche im Sommer

führen kurzfristig zu einer starken Abnahme des Abflusses, während warme Schönwettertage und sommerliche Regenfälle hohe Abflussspitzen verursachen.

Im Spätfrühling und Frühsommer ist der Großteil des Abflusses auf Schnee- und Eisschmelze und Niederschlag (Regen) zurückzuführen, während im Spätsommer und Herbst ein beträchtlicher Teil Grund- und Bergwasser darstellt. Dies kommt in der elektrischen Leitfähigkeit klar zum Ausdruck. Diese schwankt zwischen 20 und 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Spätfrühling und Frühsommer und zwischen 70 und 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Herbst. Sie ist umso niedriger, je höher der Abfluß ist.

Die Wassertemperatur bleibt dagegen die gesamte Schmelzperiode hindurch konstant knapp unter 1°C , was darauf hinweist, dass die Schmelzwässer bis in den Stirnbereich in Kontakt mit Eis im Blockgletscher dahinfließen.

Die Bewegungsraten des Blockgletschers liegen derzeit im Stirnbereich bei maximal 2.5 m/Jahr, im mittleren Steilabschnitt bewegen sich einzelne Blöcke bis zu knapp 7 m/Jahr. Diese im Stirnbereich trotz geringer Neigung beachtliche Fließgeschwindigkeit kann mit interner Deformation nicht erklärt werden, vermutlich spielt hier auch basales Gleiten eine große Rolle (Krainer & Mostler, 2000).



Abbildung 10: Ansicht auf die Stirn, den unteren und mittleren Abschnitt des Reichenkar Blockgletschers

Dank

Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise durch den Jubiläumsfonds der Oesterreichischen Nationalbank (Projekt Nr. 6139 und 7734) gefördert.

Literatur

- Ackert, R. P. (1998). "A rock glacier/debris-covered glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming." Geografiska Annaler **80**(3-4): 267-276.
- Barsch, D. (1987). The problem of the ice-cored rock glacier. Rock Glaciers. J. R. Giardino, J. F. Shroder and J. D. Vitek. London, Allen & Unwin: 45-53.
- Barsch, D. (1987). Rock glaciers: an approach to their systematics. Rock Glaciers. J. R. Giardino, J. F. Shroder and J. D. Vitek. London, Allen & Unwin: 41-44.
- Barsch, D. (1992). "Permafrost Creep and Rockglaciers." Permafrost and Periglacial Processes **3**: 175-188.
- Barsch, D. (1996). Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments. Berlin, Springer-Verlag.
- Barsch, D., H. Fierz, et al. (1979). "Shallow core drilling and bore-hole measurements in permafrost of an active rock glacier near the Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps." Arctic and Alpine Research **11**: 215-228.
- Chesi, G., K. Krainer, et al. (1999). Bewegungsmessungen am aktiven Blockgletscher Inneres Reichenkar mit der GPS-Methode. X. Internationale Geodätische Woche, Obergurgl, Obergurgl.
- Clark, D. H., M. M. Clark, et al. (1994). "Debris-Covered Glaciers in the Sierra Nevada, California, and Their Implications for Snowline Reconstructions." Quaternary Research **41**: 139-153.
- Corte, A. (1976). "The hydrological significance of rock glaciers." Journal of Glaciology **17**: 157-158.
- Domaradzki, J. (1951). "Blockströme im Kanton Graubünden." Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung des schweizerischen Nationalparks III (Neue Folge)(28): 177-235.
- Evin, M. and A. Assier (1983). "Relations hydrologiques entre glacier et glaciers rocheux: l'exemple du cirque de Marinnet (Haute-Ubaye, Alpes du Sud)." Communication, Section de Glaciologie de la Société hydrotechnique de France, Grenoble: 5pp.
- Folk, R. L. and W. C. Ward (1957). "Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters." Journal of Sedimentary Petrology **27**: 3-26.
- Gardner, J. S. and I. Bajewsky (1987). Hilda Rock Glacier stream discharge and sediment load characteristics, Sunwapta Pass area, Canadian Rocky Mountains. Rock Glaciers. J. R. Giardino, J. F. Shroder and J. D. Vitek. London, Allen & Unwin: 161-174.
- Giardino, J. R. and S. G. Vick (1987). Geologic engineering aspects of rock glaciers. Rock Glaciers. J. R. Giardino, J. F. S. Jr. and J. D. Vitek. London, Allen & Unwin: 265-287.

- Haerberli, W. (1973). "Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen." Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie **9**: 221-227.
- Haerberli, W. (1985). "Creep of mountain permafrost: Internal structure and flow of alpine rock glaciers." Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich **77**: 1-142.
- Haerberli, W. (1990). "Scientific, environmental and climatic significance of rock glaciers." Mem. Soc. Geol. It. **45**: 823-831.
- Haerberli, W. (1995). "Permafrost und Blockgletscher in den Alpen." Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich **140**(3): 113-121.
- Haerberli, W. (1996). Gletscherschwund, Permafrostdegradation und periglaziale Murgänge im hochalpinen Bereich, Birkhäuser Verlag Basel.
- Humlum, O. (1996). "Origin of Rock Glaciers: Observations from Mellemfjord, Disko Island, Central West Greenland." Permafrost and Periglacial Processes **7**: 361-380.
- Ishikawa, M. and K. Hirakawa (2000). "Mountain Permafrost Distribution Based on BTS Measurements and DC Resistivity Soundings in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, Japan." Permafrost and Periglacial Processes **11**: 109-123.
- Johnson, J. P. and W. G. Nickling (1979). "Englacial temperature and deformation of a rock glacier in the Kluane Range, Yukon Territory, Canada." Canadian Journal of Earth Sciences **16**: 2275-2283.
- Johnson, P. G. (1981). "The structure of a talus-derived rock glacier deduced from its hydrology." Canadian Journal of Earth Sciences **18**: 1422-1430.
- Johnson, P. G. and D. Lacasse (1988). "Rock glaciers of the Dalton Range, Kluane Ranges, south-west Yukon Territory, Canada." Journal of Glaciology **34**(118): 327-332.
- Käab, A., W. Haerberli, et al. (1996). "Entwicklung und Sanierung eines Thermokarstsees am Gruben-Blockgletscher (Wallis)." Forschungsberichte, Geographisches Institut Universität Freiburg, Schweiz **8**: 145-153.
- Krainer, K. and W. Mostler (2000). "Reichenkar Rock Glacier: a Glacier Derived Debris-Ice System in the Western Stubai Alps, Austria." Permafrost and Periglacial Processes **11**: 00-00.
- Lieb, G. K. (1996). "Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen." Arb. Inst. Geogr. Univ. Graz **33**: 9-125.
- Outcalt, S. I. and J. B. Benedict (1965). "Photo interpretation of two types of rock glaciers in the Colorado front range, USA." Journal of Glaciology **5**: 849-856.
- Potter, N. (1972). "Ice-Cored Rock Glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains, Wyoming." Geological Society of America Bulletin **83**: 3025-3058.

- Potter, N., E. J. Steig, et al. (1998). "Galena Creek rock glacier revisited - new observations on an old controversy." Geografiska Annaler **80**(3-4): 251-265.
- Shroder, J. F. (1987). Rock glaciers and slope failures: high plateaus and La Sal Mountains Colorado Plateau, Utah, U.S.A. Rock Glaciers. J. R. Giardino, J. F. Shroder and J. D. Vitek. London, Allen & Unwin: 193-238.
- Shroder, J. F., M. P. Bishop, et al. (2000). "Debris-covered glaciers and rock glaciers in the Nanga Parbat Himalaya, Pakistan." Geografiska Annaler **82A**(1): 17-31.
- Vietoris, L. (1972). "Über die Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars." Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie **8**: 169-188.
- VonderMühl, D. (1993). "Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins." Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich **122**: 1-222.
- VonderMühl, D. and W. Haeberli (1990). "Thermal characteristics of the permafrost within an active rock glacier (Murtél/Corvatsch, Grisons, Swiss Alps)." Journal of Glaciology **36**(123): 151-158.
- VonderMühl, D., T. Stucki, et al. (1998). Borehole temperatures in Alpine permafrost: a ten years series. 7th International Conference on Permafrost, Yellowknife.
- Wahrhaftig, C. and A. Cox (1959). "Rock glaciers in the Alaska Range." Geological Society of America Bulletin **70**: 383-436.
- Whalley, W. B. and H. E. Martin (1992). "Rock glaciers:II models and mechanisms." Progress in Physical Geography **16**(2): 127-186.
- Whalley, W. B., C. Palmer, et al. (1994). "Ice exposures in rock glaciers." Journal of Glaciology **40**(135): 427-429.
- Whalley, W. B. and C. F. Palmer (1998). "A glacial interpretation for the origin and formation of the Mariné Rock Glacier, Alpes Maritimes, France." Geografiska Annaler **80**(3-4): 221-236.
- White, S. E. (1971). "Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1961 to 1968." Arctic and Alpine Research **3**(1): 43-64.
- White, S. E. (1976). "Rock Glaciers and Block Fields, Review and New Data." Quaternary Research **6**: 77-97.