

## Kapitel 3 | Der aktive Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar

Karl Krainer

### *Zusammenfassung*

Der zungenförmige, aktive Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar ist einer der größten Blockgletscher Tirols und liegt in einem nach Nordwesten ausgerichteten Kar in den Öztaler Alpen. Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke sind deutlich tiefer als auf permafrostfreiem Untergrund neben dem Blockgletscher. Das Abflussregime des Blockgletschers ist charakterisiert durch starke saisonale und tägliche Schwankungen, die vor allem vom lokalen Wettergeschehen gesteuert werden, insbesondere von der winterlichen Schneemenge und den sommerlichen Niederschlagsereignissen. Die Wassertemperaturen der Blockgletscherquellen sind den ganzen Sommer hindurch niedrig, meist unter 1 °C. Die kurzfristigen Schwankungen in den Bewegungsraten zeigen eine deutliche Korrelation mit den Jahresmittelwerten der Lufttemperatur. Überdurchschnittliche Temperaturen hatten erhöhte Fließbewegungen zur Folge, während unterdurchschnittliche Temperaturen eine Abnahme in der Fließgeschwindigkeit verursachten. Die starke Abnahme in der Mächtigkeit des Blockgletschers im steilen Zungenbereich ist auf das verstärkte

Abschmelzen des massiven Eiskernes zurückzuführen. Morphologische Merkmale, hoher Eisgehalt und hohe Fließgeschwindigkeiten legen die Vermutung nahe, dass sich der Blockgletscher aus einem schuttbedeckten Kargletscher entwickelt hat.

In der vorliegenden Arbeit werden aktuelle Daten über den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Geologie im Einzugsgebiet, Korngrößenverteilung der Schuttlage, thermische Eigenschaften der Schuttlage, Hydrologie, Georadar-Messungen) vorgestellt sowie Alter, Entstehung und Dynamik des Blockgletschers diskutiert.

### *Abstract*

Rock glacier Hochebenkar, one of the largest rock glaciers in the Tyrolean Alps, is a tongue-shaped active rock glacier located in a small northwest facing cirque in the Ötztal Alps (Austria). During winter, the temperature at the base of the snow cover is significantly lower on the rock glacier than on permafrost-free ground adjacent to the rock glacier. Discharge of the rock glacier is characterised

by strong seasonal and diurnal variations and is strongly controlled by the local weather conditions, particularly by the amount of snow and rainfall events. Water temperature of the rock glacier springs remains constantly low, mostly below 1 °C during the entire melt season. During the last decades, changes in the velocity of the rock glacier showed a close correlation with changes in the mean annual air temperature of nearby weather stations. Above-average temperatures resulted in increased flow rates whereas below-average temperatures caused a decrease in the flow rate.

The strong decrease in thickness in the lowermost, steep part of the rock glacier was caused by increased melting of ice and indicates the presence of a massive ice core. Morphology, high ice-content and high surface flow velocities indicate that the rock glacier contains a massive ice core and probably developed from a debris-covered cirque glacier.

This chapter presents new results on the rock glacier at Äußeres Hochebenkar (geology of the catchment area, grain-size distribution of the debris layer, thermal characteristics of the debris layer, hydrology, georadar measurements). Age, formation and dynamics of this rock glacier are discussed.

## 1. Einleitung

---

In den letzten zwei Jahrzehnten hat das Interesse an der Erforschung des Permafrostes in den Alpen stark zugenommen und auch in

den österreichischen Alpen wurden zahlreiche Untersuchungen, insbesondere an Blockgletschern, durchgeführt (Zusammenfassung in Krainer et al. 2012). Untersuchungen des alpinen Permafrostes sind vor allem im Zusammenhang mit der gegenwärtigen Klimaerwärmung und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Kryosphäre von großem Interesse. In den Alpen zählen Blockgletscher zu den auffallendsten und häufigsten Formen des alpinen Permafrostes und sind auch in den Ötztaler Alpen weit verbreitet (siehe Kapitel 2 in diesem Buch).

In den österreichischen Alpen wurden erstmals von Pillewizer (1938) am Hochebenkar-Blockgletscher Bewegungsmessungen durchgeführt. Seither, also seit mehr als 75 Jahren, werden im Hochebenkar regelmäßig die Bewegungsraten des Blockgletschers gemessen (Pillewizer 1957; Vietoris 1958, 1972; Haeberli & Patzelt 1982; Kaufmann 1996, 2012; Schneider & Schneider 2001; Kaufmann & Ladstädter 2002, 2003; Ladstädter & Kaufmann 2005). Haeberli & Patzelt (1982) haben Temperaturmessungen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS), Wassertemperaturmessungen an Quellen und refraktionsseismische Untersuchungen durchgeführt.

## 2. Untersuchungsgebiet

---

Der Blockgletscher liegt im Äußeren Hochebenkar, einem nach NW ausgerichteten Kar in den Ötztaler Alpen (Abb. 1), ca.



Abb. 1: Blick auf den aktiven Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Blick Richtung Süden). Ganz rechts im Bild das Langtal mit dem Langtalferner, links im Bild das Rotmoostal und ganz links das Gaisbergtal mit dem Gaisbergferner (Foto: Jakob Abermann)



Abb. 2: Die Wurzelzone des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar mit einer Depression, in der sich der Lawinenschnee sammelt. Rechts der ältere, wenig aktive Lappen. Blick Richtung Norden

4,3 km SSW von Obergurgl im hinteren Ötztal (Tirol, Österreich) (Koordinaten: 11°00,380' O, 46°50,108' N, WGS84). Es handelt sich um einen aktiven, zungenförmigen Blockgletscher (Abb. 1), der sich von 2.840 m (Wurzelzone, Abb. 2) bis auf 2.360 m Seehöhe (Stirn) erstreckt. Er ist 1.550 m lang, bis zu 160 m breit im Bereich der Stirn, 335 m im mittleren Bereich und bis zu 470 m im oberen Bereich und bedeckt eine Fläche von 0,4 km<sup>2</sup>; die Fläche des Einzugsgebietes beträgt 1 km<sup>2</sup>. Im Osten wird der Blockgletscher vom Massiv

des Hangerers (3.021 m) und im Süden, getrennt durch die Hochebenscharte (2.895 m), vom Hochebenkamm mit der höchsten Erhebung auf 3.149 m begrenzt. Der Blockgletscher wird ausschließlich vom Hochebenkamm mit Verwitterungsschutt versorgt (Abb. 3).

Die Festgesteine im Einzugsgebiet des Blockgletschers bestehen aus Paragneis und Glimmerschiefer des Ötztal-Stubai-Kristallins (Hoinkes & Thöni 1993, Konzett et al. 2003, Tropper & Recheis 2003, Thöny et al. 2008, Tropper et al. 2012).

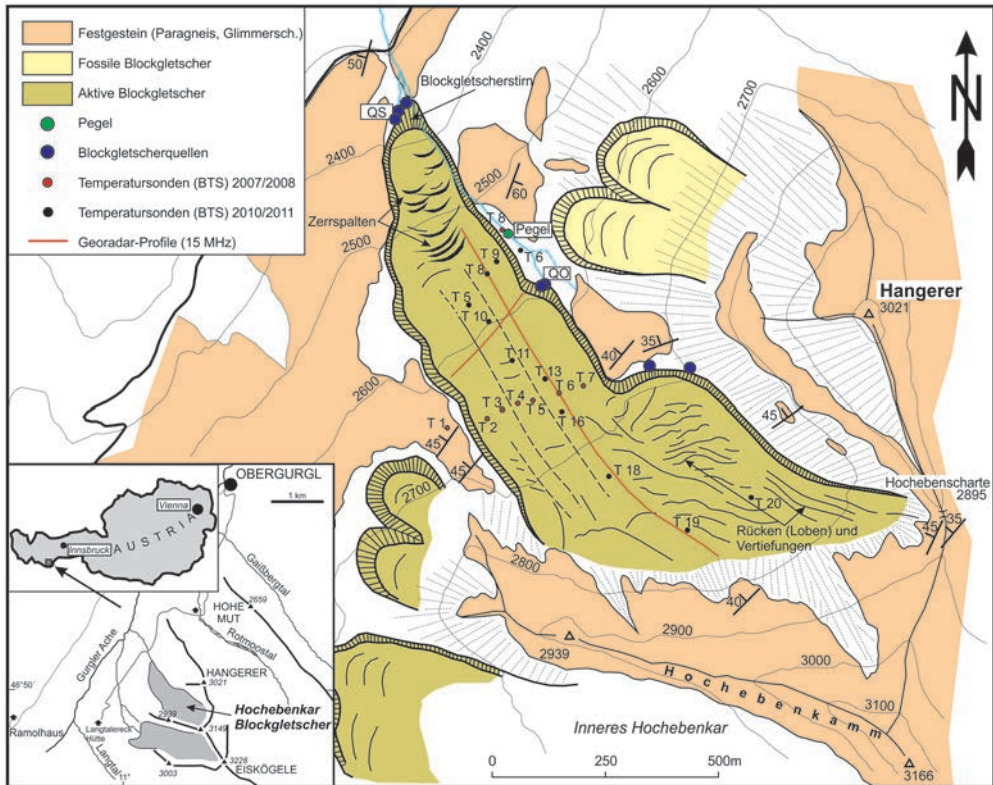


Abb. 3: Geologisch-geomorphologische Karte des Äußeren Hochebenkars mit dem großen aktiven Blockgletscher. QS: Quellen an der Stirn des Blockgletschers, QO: Quellen am Ostrand; eingezeichnet sind die Georadarprofile der 15 MHz Messung. T 1–20 = Temperatur-Messstellen

Die Gesteine bestehen hauptsächlich aus Quarz und Biotit, untergeordnet aus Muskovit, Chlorit und Feldspat in wechselnden Anteilen. Granat tritt in Form kleiner Phänokristalle auf. Akzessorische Bestandteile sind Apatit, Turmalin und opake Minerale.

Feinkörnige Gesteine (Glimmerschiefer) zeigen eine ausgeprägte Schieferung, während in grobkörnigen Gesteinen (Paragneis) die Schieferung weniger deutlich ausgeprägt ist.

Die Schieferung fällt nach WNW–NW (285–325°), lokal auch nach N und OSO ein, und zwar meist mit 40–45° (35–60°). Lokal sind klein- und großdimensionale Falten erkennbar. Am Hochebenkamm werden die Gesteine von zahlreichen steilen Störungen durchzogen. Entlang dieser Störungen sind die Gesteine stark aufgelockert und durch Frostverwitterung extrem zerlegt. Daher bilden diese Störungen rinnenförmige Einschnitte, entlang derer vor allem mit Beginn der Schneeschmelze sehr viel Verwitterungsschutt anfällt und sich auf den steilen Lawinenkegeln am Fuße der steilen Rinnen als dünne Schuttlage ansammeln kann.

### 3. Untersuchungsmethoden

#### Kartierung

Eine Detailkartierung der Festgesteine und Lockersedimente sowie der geomorphologischen Erscheinungsformen des gesamten Einzugsgebietes des Blockgletschers unter Einbe-

ziehung von Orthophotos und Laserscanaufnahmen (tiris) bildete die Grundlage für alle weiteren Untersuchungen (Abb. 3).

#### Eigenschaften der Schuttlage

Die Eigenschaften der Schuttlage, insbesondere die Korngröße, Korngrößenverteilung und Mächtigkeit sind wesentlich für die Hydrologie und das thermische Regime aktiver Blockgletscher.

Die Korngröße der oberflächlichen Schuttlage wurde an mehreren Stellen untersucht. Dabei wurde an jeder Stelle auf einer Fläche von 5 × 5 bis 10 × 10 m der längste Durchmesser von 200 Komponenten gemessen und in Korngrößenklassen unterteilt.

Die Korngrößen und Korngrößenverteilung des feinkörnigeren Materials wurden an Proben, die an der Stirn entnommen wurden, durch Siebanalyse im Labor (händische Nasssiebung) ermittelt.

#### Thermisches Verhalten der Schuttlage

In den Wintermonaten 2007/2008 und 2008/2009 sowie 2010/2011 wurden Temperaturmessungen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS-Messungen) durchgeführt. Dazu wurden Temperaturlogger verwendet. Das Messintervall betrug 2 Stunden, die Messgenauigkeit lag bei ± 0,2 °C.

Bis zu 10 Temperaturlogger wurden an der Oberfläche des Blockgletschers in ca. 2.600 bis 2.750 m Seehöhe installiert, zwei Sonden

neben dem Blockgletscher auf permafrost-freiem Untergrund. Die Messstellen sind in Abb. 3 festgehalten.

## Hydrologie

Das Abflussverhalten aktiver Blockgletscher ist durch starke saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert. Am Hochebenkar-Blockgletscher entspringt der Großteil des Schmelzwassers an Quellen im Stirnbereich. Ein kleiner Teil des Schmelzwassers (ca. 30 %) entspringt an zwei Quellen an der Ostseite des Blockgletschers auf ca. 2.575 m Seehöhe.

Ungefähr 95 m unterhalb dieser seitlichen Quellen wurde auf einer Seehöhe von 2.555 m im Mai 2007 eine Pegelstation eingerichtet, an der stündlich Pegelhöhe (Wasserstand) und Wassertemperatur aufgezeichnet werden.

Die Abflussmengen bei bestimmten Pegelhöhen wurden mit der Salzverdünnungsmethode ermittelt. Aus Abflussmessungen bei verschiedenen Pegelständen kann schließlich eine Eichkurve zur Umrechnung der Pegelhöhen in Abflussmengen konstruiert werden.

Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit einem Leitfähigkeitsmessgerät gemessen.

Im September 2008 wurde vom Amt für Hydrographie der Tiroler Landesregierung eine automatische Pegelstation unterhalb der Stirn des Blockgletschers eingerichtet, um den Gesamtabfluss des Blockgletschers und seines Einzugsgebietes zu ermitteln.

## Georadar

Georadar (GPR, Ground Penetrating Radar) zählt zu den geophysikalischen Standardmethoden zur Ermittlung von Eisdicken.

Georadar-Messungen am Hochebenkar-Blockgletscher wurden zunächst mit einem niedrigfrequenten (6,5 MHz) Monopuls-Transmitter durchgeführt (Span, Kuhn & Schneider, unpubl.), später mit dem GSSI SIR System 2000, ausgestattet mit einer multiplen Niedrigfrequenz-Antenne.

Die Profile wurden mit einer 15 MHz Antenne mit konstantem Antennenabstand gemessen (common-offset profiling). Daten wurden unter „single-fold, fixed-offset reflection profiling“ gespeichert. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger betrug 4 m, der Messabstand betrug 1 m beim Querprofil und 2 m beim Längsprofil. Die Antennen waren im rechten Winkel zur Profillinie ausgerichtet. Die besten Ergebnisse wurden im Spätwinter erzielt, als der Blockgletscher von einer dicken Schneedecke bedeckt war.

## 4. Ergebnisse

---

### Morphologie des Blockgletschers

Der Blockgletscher ist scharf begrenzt und hebt sich morphologisch deutlich von seiner Umgebung ab (Abb. 1, 3). Der Blockgletscher besteht aus einem älteren Lappen (auf der orographisch rechten Seite im oberen Teil)

und einen jüngeren Lappen, der den älteren Lappen überfahren hat und die aktive Zunge unterhalb der Karschwelle bildet (Victoris 1972).

Die Schuttlage besteht aus einer grobblockigen Lage an der Oberfläche mit unterschiedlichen Korngrößen. Die Oberfläche des Blockgletschers weist eine ausgeprägte Morphologie aus transversalen und longitudinalen Rücken und Vertiefungen auf. Im westlichen Teil der Wurzelzone ist eine Depression ausgebildet.

Die Stirn des Blockgletschers ist steil und völlig frei von Vegetation (Abb. 4). Die Flanken sind ebenfalls steil, teilweise aktiv und vegetationsfrei, teilweise inaktiv und mit etwas Vegetation bewachsen. Auch an der Oberfläche des Blockgletschers ist lokal, vor allem auf feinkörnigen Flächen im Bereich der Wurzel-

zone, eine leichte Vegetationsbedeckung vorhanden (siehe Kapitel 8 in diesem Buch).

### Schuttlage

Die oberflächliche Schuttlage besteht aus zwei Horizonten: einer sehr grobkörnigen Lage an der Oberfläche, unterlagert von einer feinkörnigen Lage mit einem relativ hohen Anteil an Feinmaterial. Die oberflächliche, grobkörnige Lage weist durchschnittliche Korngrößen von 35 cm (feinblockig), 41,5 cm und 57 cm (grobblockig) auf (Abb. 5). Die maximalen Korngrößen liegen in feinblockigen Bereichen bei 140 cm und in grobblockigen Bereichen bei über 2 m. Auf feinblockigen Flächen überwiegen Korngrößen von 11 bis



Abb. 4: Blick von der Gurgler Alm auf die steile Zunge des aktiven Blockgletschers im Äußeren Hohebenkar

20 cm, auch Korngrößen von 1 bis 10 und 21 bis 30 cm sind häufig vertreten.

Auf grobblockigen Flächen überwiegen dagegen Korngrößen von 21 bis 30 cm, auch Korngrößen von 31 bis 40 cm sind vorhanden (Abb. 5).

Unter der grobkörnigen Lage befindet sich eine Lage mit hohem Feinanteil (siltig-sandig). Diese Lage ist nur im Stirnbereich und an den Flanken erkennbar. Sie weist eine sehr schlechte Sortierung auf mit Phi-Werten von 2,96 und 3,23 (inclusive graphic standard deviation nach Folk & Ward 1957), ähnlich wie bei Grundmoränen (Abb. 6).

### Temperaturverhalten der Schuttlage

Haeberli & Patzelt (1982) haben im Februar 1975, 1976 und 1977 im Äußeren Hochebenkar eine Permafrost-Kartierung durchgeführt, indem sie an jeweils 2 Tagen die Temperatur an der Basis der Schneedecke gemessen sowie refraktionsseismische Messungen durchgeführt und die Temperatur der Blockgletscherquellen gemessen haben. Die Mittelwerte der Temperaturen an der Basis der Schneedecke lagen zwischen  $-4,8$  und  $-7$  °C, die refraktionsseismischen Daten wiesen auf einen Eisgehalt von über 50 % hin („supersaturated“). Permafrost ist nicht nur im Blockgletscher, sondern auch außerhalb des Blockgletschers verbreitet (Haeberli & Patzelt 1982).

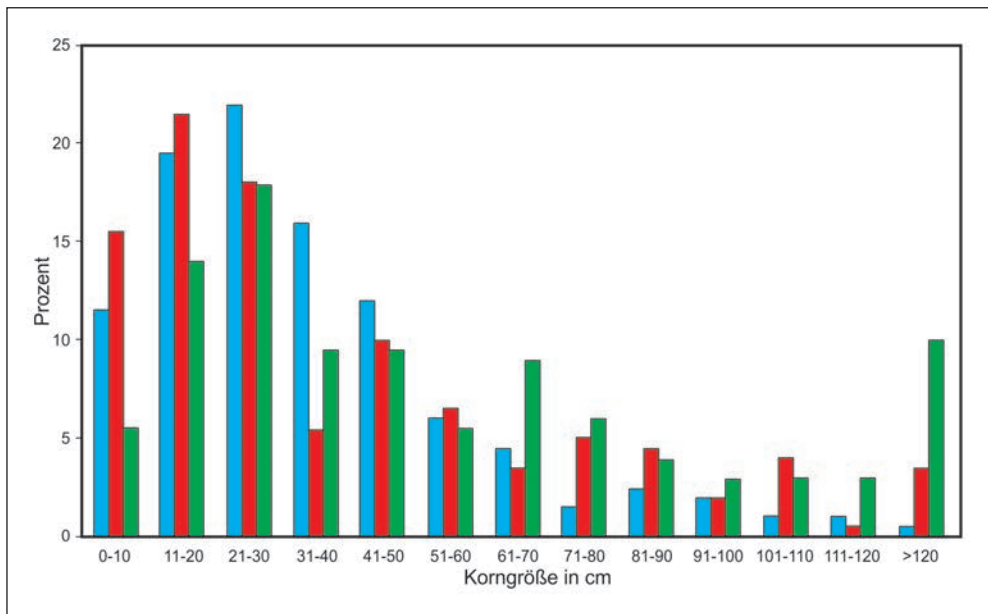


Abb. 5: Korngrößenverteilung (in %) der oberflächlichen Schuttlage auf drei verschiedenen Flächen im mittleren Bereich des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar. Blau: Fläche mit feinblockiger, oberflächlicher Schuttlage; rot bzw. grün: Flächen mit mittel- bis grobblockigen Schuttlagen



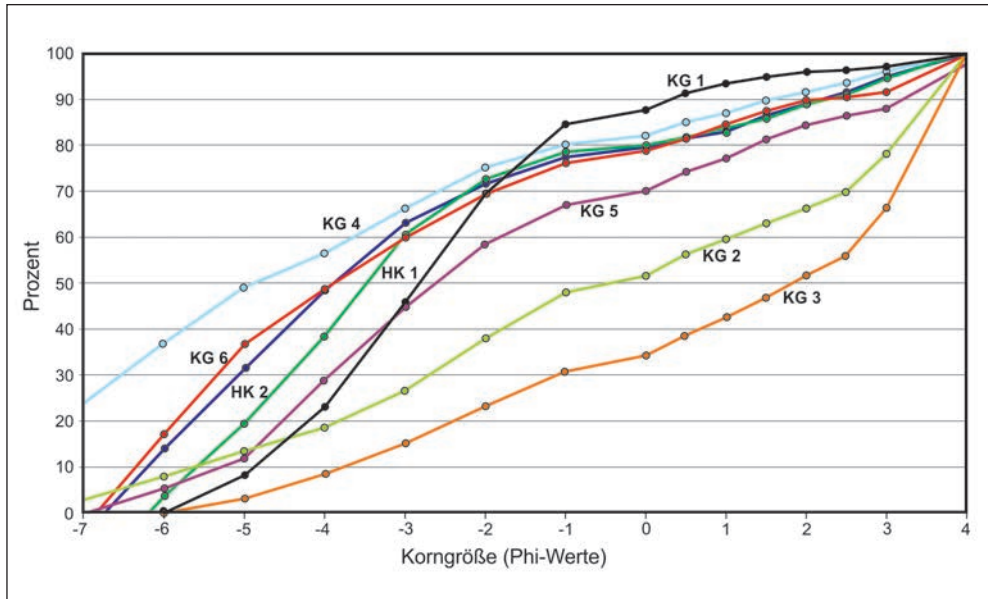


Abb. 6: Summenkurven von feinkörnigen Proben, entnommen im Stirnbereich des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (HK 1: dunkelgrün; HK 2: blau) und als Vergleich dazu Proben entnommen im Stirnbereich eines Blockgletschers im Kaunertal (Proben KG 1–6). Die Korngröße ist in Phi-Werten angegeben.

Im Winter 2007/2008 wurden an der Basis der Schneedecke folgende Temperaturen aufgezeichnet (Abb. 7): auf permafrostfreiem Untergrund neben der Pegelstation verblieb die Temperatur von November bis Mai konstant zwischen 0 und  $-1\text{ °C}$  (T 8, Position der Temperatursonden siehe Abb. 3). Dagegen wurden auf der Westseite des Blockgletschers (T 1) zwischen November und April starke Temperaturschwankungen von  $-2$  bis  $-10\text{ °C}$  gemessen. In diesem Zeitraum wurden auch tägliche Temperaturschwankungen aufgezeichnet, die darauf hinweisen, dass dieser Temperaturlogger aufgrund von Windverfrachtung nur von einer geringen oder lückenhaften Schneedecke bedeckt war. Am westlichen und östlichen Rand des Blockgletschers

(T 2 und T 7) wurden deutlich höhere Temperaturen gemessen als im Bereich dazwischen (T 3–T 6). Der Temperaturunterschied betrug ungefähr  $2\text{ °C}$  (Abb. 7). Von Dezember bis April bewegte sich die Temperatur bei T 2 zwischen  $-3$  und  $-4\text{ °C}$  und bei T 7 zwischen  $-2$  und  $-4\text{ °C}$ . An den Stellen T 3 bis T 6 waren die Temperaturen deutlich niedriger ( $-5$  bis  $-9,3\text{ °C}$ ), die Schwankungen waren gering. Ein Tagesgang im Temperaturverlauf wurde nicht beobachtet.

Die tiefsten Temperaturen wurden Anfang Jänner gemessen: Bei T 1 wurde das Minimum am 2. Jänner mit  $-9,9\text{ °C}$  erreicht. Am Blockgletscher wurde dieses Minimum mit einer Verzögerung von 2 bis 5 Tagen erreicht. An den Stellen T 1, T 7 und T 8 setzte die

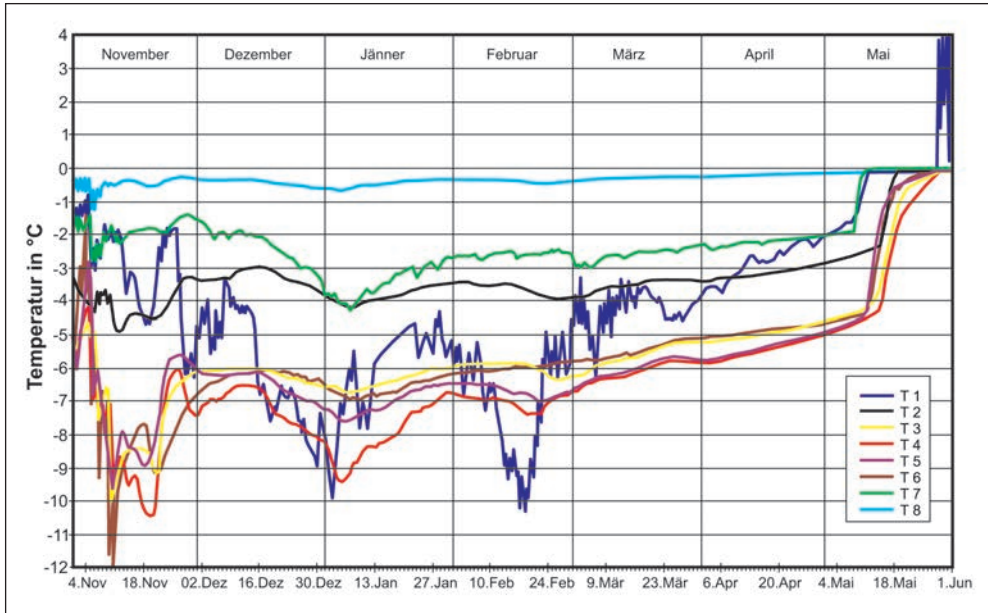


Abb. 7: Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) im Zeitraum November 2007 bis inkl. Mai 2008 (T 1 bis T 8). Die Lage der Messstellen ist in Abb. 3 ersichtlich.

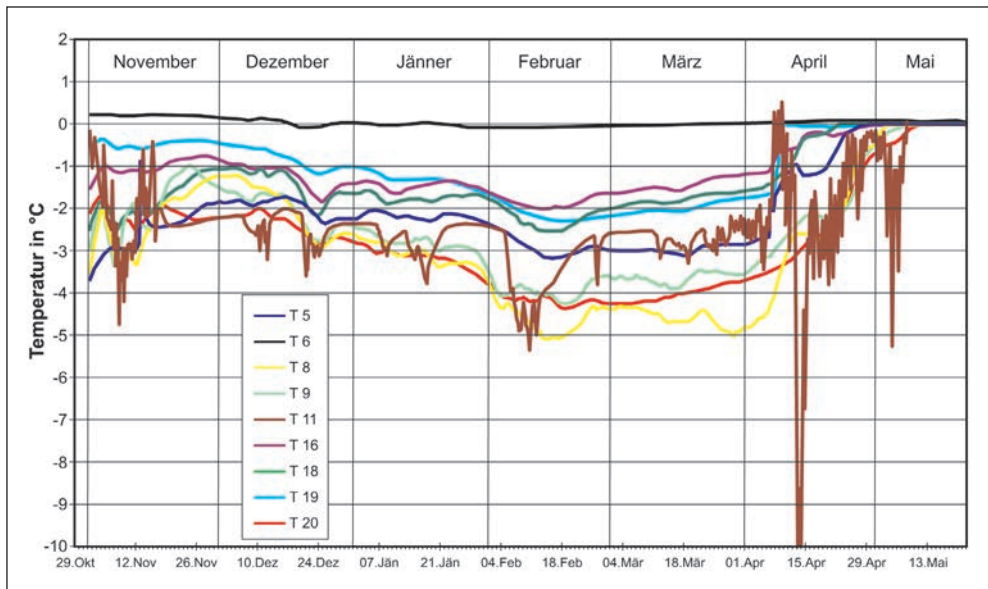


Abb. 8: Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) im Zeitraum November 2010 bis inkl. Mai 2011. Die Lage der Messstellen ist in Abb. 3 ersichtlich.

Schneesmelze am 8. Mai ein, an den Stellen T 2 bis T 6 erst am 14. Mai. Innerhalb weniger Tage stieg die Temperatur an den Stellen T 1, T 2 und T 7 von -2 auf 0 °C und an den Stellen T 3 bis T 6 von -4,5 auf 0 °C (Abb. 7). Im Winter 2010/2011 wurden folgende Temperaturen an der Basis der Schneedecke gemessen: südlich der Pegelstation auf der Ostseite des Blockgletschers auf einer Seehöhe von ca. 2.565 m (T 6, Abb. 8) lag die Temperatur immer knapp unter 0 °C. T 16, 18 und 19 waren im oberen Abschnitt des Blockgletschers installiert (Abb. 3) und zeigten für den Zeitraum Jänner bis Anfang April BTS-Werte zwischen -1 °C und -2,5 °C mit nur sehr geringen Schwankungen und fehlenden Tageszyklen (Abb. 8).

Die Temperatursonden T 5, 8, 9, 11 und 20 wiesen im selben Zeitabschnitt deutlich tiefere Temperaturen von -2 °C bis -5 °C auf. T 11 zeigte außerdem ausgeprägte Schwankungen im Temperaturverlauf, offensichtlich war die Schneedecke an dieser Stelle zu gering. Die Schneesmelze setzte im Frühjahr 2011 bereits um den 10. April ein (Abb. 8).

## Hydrologie

Ein Großteil der Schmelzwässer des Blockgletschers und seines Einzugsgebietes entspringt am Fuße der steilen Stirn in Form mehrerer Blockgletscherquellen (QS in Abb. 3). Ein geringer Teil (ca. 30 %) des Gesamtabflusses tritt an zwei Blockgletscherquellen am Ostrand des Blockgletschers auf ca. 2.575 m Seehöhe zutage, die in einem Ab-

stand von ca. 10 m austreten (QO in Abb. 3). Die westliche dieser beiden Quellen schüttet deutlich mehr Wasser. Weitere unbedeutende Quellen finden sich ebenfalls am Ostrand des Blockgletschers auf ca. 2.680 und 2.700 m Seehöhe. Die Wässer, die den Blockgletscher am Ostrand verlassen, fließen als Bach am Rand des Blockgletschers entlang, verschwinden dann im Schutt des Blockgletschers und treten am Fuße der Stirn wieder zutage, wo sie sich mit den Wässern, die an der steilen Stirn entspringen, vereinigen und in Form eines Baches den Blockgletscher verlassen.

An der Oberfläche des Blockgletschers hört man im Sommer an mehreren Stellen Wasser kanalisiert im Schutt (Eisoberfläche) fließen. Auch im Hochsommer liegt die Wassertemperatur der Blockgletscherquellen am Fuße der steilen Stirn (QS) und am Ostrand bei 2.575 m Seehöhe (QO) ständig unter 1 °C, häufig sogar unter 0,5 °C (Abb. 9). Sogar nach starken Gewitterniederschlägen mit ziemlich „warmem“ Regen, die zu kurzfristigen Abflussspitzen führen, ändert sich die Wassertemperatur an den Quellen nicht. Im Herbst nimmt die Wassertemperatur allmählich ab, bis schließlich Ende November / Anfang Dezember die Quellen völlig zufrieren und versiegen.

Die Blockgletscherquellen am Fuße der steilen Stirn weisen allerdings eine deutlich geringere elektrische Leitfähigkeit auf als die zwei Quellen am Ostrand. Die Leitfähigkeit beträgt nur 20 bis 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  während der Hauptschneesmelze im Mai und Juni, steigt auf Werte um 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im August und 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Oktober an.

Die Hauptquelle am Ostrand des Blockgletschers auf 2.575 m Seehöhe zeigt dagegen bereits während der Hauptschneesmelze im Mai und Juni hohe Werte von 100 bis 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mit einem ausgeprägten Tagesgang, wobei während der geringsten Schüttungsmenge die höchsten Werte und während der höchsten Schüttungsmengen in den späten Abendstunden die geringsten Werte gemessen wurden. Die Unterschiede zwischen Minimum und Maximum betragen 50 bis 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Im August steigt die elektrische Leitfähigkeit auf bis zu 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  an, im September und Oktober wurden Werte von über 700, zeitweise sogar über 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemessen (Abb. 9). Während Abflussspitzen gehen die Werte der elektrischen Leitfähigkeit immer stark zurück (siehe auch Nickus et al. 2014).

Generell ist der Abfluss von aktiven Blockgletschern durch starke saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert, wobei das Wasser vor allem von der Schneeschmelze und von sommerlichen Niederschlägen (Regen, auch Schneefall) stammt. Unmittelbar nach dem Einsetzen der Schneeschmelze Ende April, meist im Mai, setzt der Abfluss ein und führt bei warmem Schönwetter mit starker Schneeschmelze zu täglichen Abflussspitzen und einem ausgeprägten Tagesgang. Schlechtwetterperioden mit Kaltlufteinbrüchen führen dagegen zu einem starken Rückgang im Abfluss. Kurzfristige Abflussspitzen mit über 100 l/s werden durch sommerliche Starkniederschläge ausgelöst.

Die Abflussmengen der beiden Quellen am Ostrand werden vom Pegel erfasst, der auf ca. 2.555 m Seehöhe installiert wurde. Während

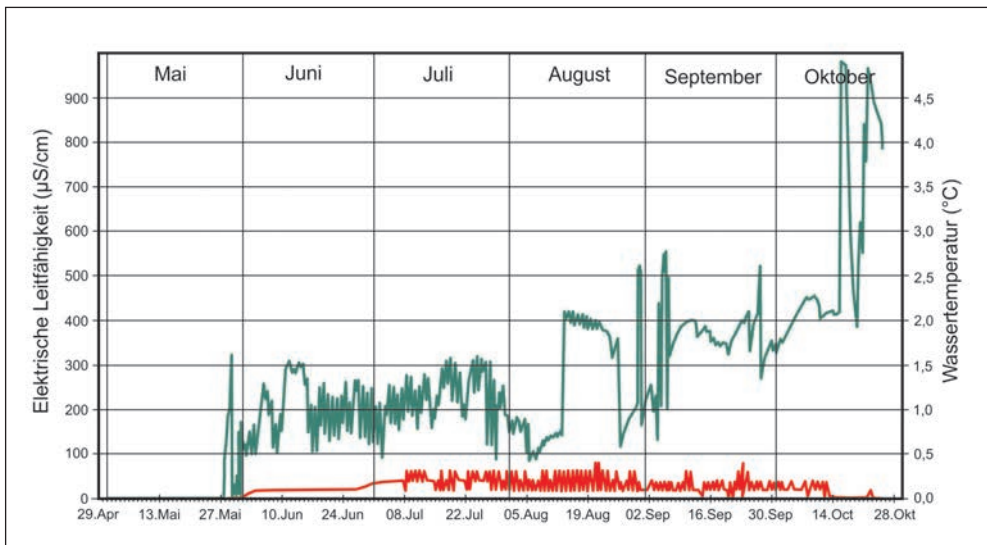


Abb. 9: Wassertemperatur (rote Linie) und elektrische Leitfähigkeit (türkise Linie) der Blockgletscherquelle am Ostrand des Blockgletschers auf 2.575 m Seehöhe für den Zeitraum Mai bis inkl. Oktober 2008 (Lage der Quelle QO: siehe Abb. 3)

der Schneeschmelze im Mai und vor allem im Juni werden die höchsten Abflüsse gemessen mit Abflussmengen bis zu über 100 l/s, selten über 200 l/s. Nach dem Ende der Schneeschmelze im Juli/August geht der Abfluss deutlich zurück auf Werte von meist unter 10 l/s, unterbrochen von einzelnen durch Niederschlagsereignisse ausgelöste Peaks (Abb. 10). Während der Hauptschneeschmelze sind vor allem an warmen Schönwettertagen ausgeprägte Tageszyklen im Abfluss zu beobachten, wobei die Abflussminima vormittags und die Abflussspitzen abends beobachtet wurden. Im Jahr 2008 setzte der Abfluss am 28. April ein (Abb. 11). Die extremen Peaks, die zwischen 8. und 11. Mai aufgezeichnet wurden, sind vermutlich auf den Rückstau des Schmelzwassers im Pegelrohr zurückzuführen, da zu diesem Zeitpunkt der Bach noch völ-

lig unter einer dicken Schneedecke verborgen war.

Der markante Rückgang des Abflusses um den 18. Mai wurde durch einen Kaltlufteinbruch verursacht. Der starke Anstieg Ende Mai, der in einer extremen Abflussspitze am 28. Mai gipfelte, wurde durch extrem warmes Wetter (Föhn mit Saharastaub) ausgelöst. Zu dieser Zeit waren sowohl der Blockgletscher als auch der Schmelzwasserbach immer noch mit einer durchschnittlich 1 m dicken Schneedecke bedeckt. Die konstant niedrige Wassertemperatur von 0,6 bis 1 °C zeigt, dass der Bach bis 18. Juni mit Schnee bedeckt war. Danach stieg die Wassertemperatur und zeigte einen deutlich ausgeprägten Tagesgang (1–4 °C). Das Abflussminimum am 18. Juni, ausgelöst durch einen Kaltlufteinbruch, wurde abgelöst von einer Periode mit hohen Abflussmengen

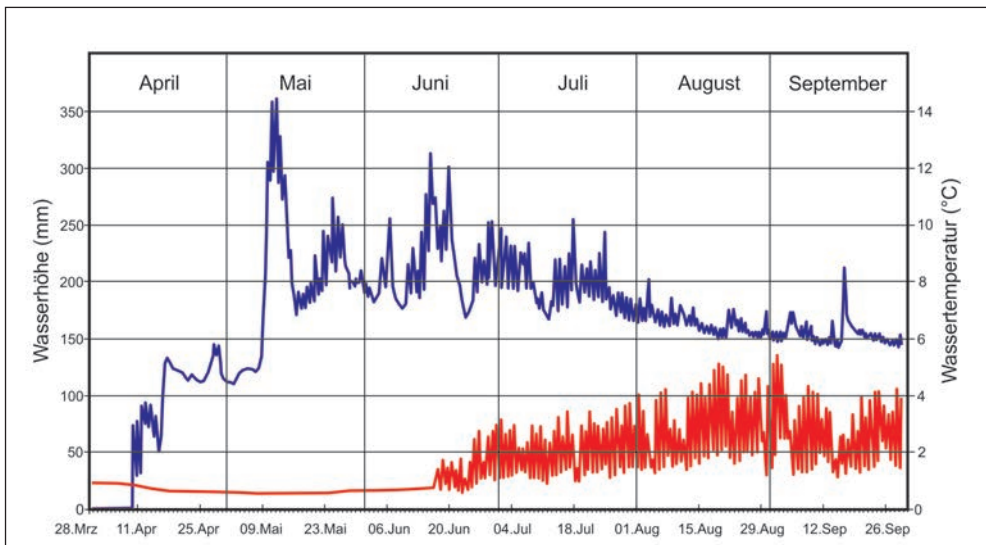


Abb. 10: Abfluss (Pegelhöhe bzw. Wasserhöhe; blaue Linie) und Wassertemperatur (rote Linie) an der Pegelmessstelle auf der Ostseite des Blockgletschers für den Zeitraum April bis inkl. September 2009. Die Lage des Pegels ist in Abb. 3 ersichtlich.

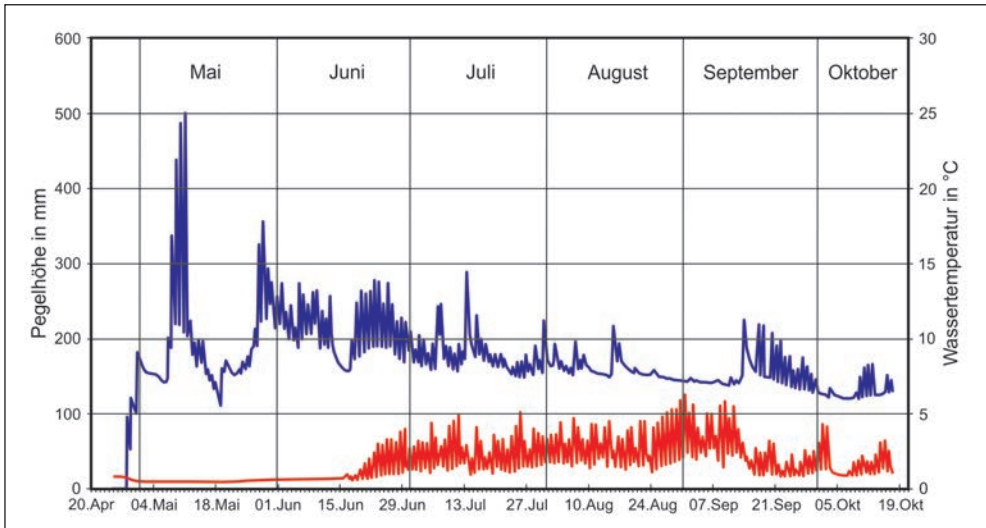


Abb. 11: Abfluss (Pegelhöhe bzw. Wasserhöhe; blaue Linie) und Wassertemperatur (rote Linie) an der Pegelmessstelle auf der Ostseite des Blockgletschers für den Zeitraum Mai bis inkl. Oktober 2008. Die Lage des Pegels ist in Abb. 3 ersichtlich.



Abb. 12: Pegelmessstelle des hydrographischen Dienstes zur Messung des Gesamtabflusses des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar

(50–80 l/s) und ausgeprägten Tagesschwankungen, die bis Ende Juni andauerte. Das Abflussminimum wurde jeweils in den Morgenstunden erreicht, die Abflussspitzen gegen 19:00 Uhr am Abend.

Von Ende Mai bis Ende Juni betrug der Abfluss meist 40–70 l/s, im Juli meist 20–50 l/s, von Anfang August bis Mitte September meist 10–30 l/s. In der zweiten Septemberhälfte stieg der Abfluss leicht an und ging dann im Oktober auf 5–50 l/s zurück.

Extreme Abflussspitzen von über 100 l/s, ausgelöst durch starke Niederschläge, wurden nur im Juli beobachtet.

Der Gesamtabfluss des Blockgletschers und seines Einzugsgebietes wird an der Pegelstation des hydrographischen Dienstes

aufgezeichnet (Abb. 12). Auch hier werden die höchsten Abflüsse während der Hauptschneesmelze im Mai/Juni während warmer Schönwettertage oder unmittelbar nach starken Regenfällen gemessen mit Abflussspitzen von bis zu über 400 l/s, selten über 700 l/s (am 2. Juli 2012). Auch hier sind ausgeprägte Tageszyklen mit Schwankungen von z.T. über 200 l/s zu beobachten. Im Juli ist generell auch beim Hauptpegel ein Rückgang im Abfluss auf Werte von meist unter 50 l/s zu beobachten, nur von einzelnen, durch Niederschlagsereignisse ausgelösten Peaks unterbrochen (Abb. 13).

Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers liegt beim Hauptpegel während der Hauptschneesmelze meist unter 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und steigt

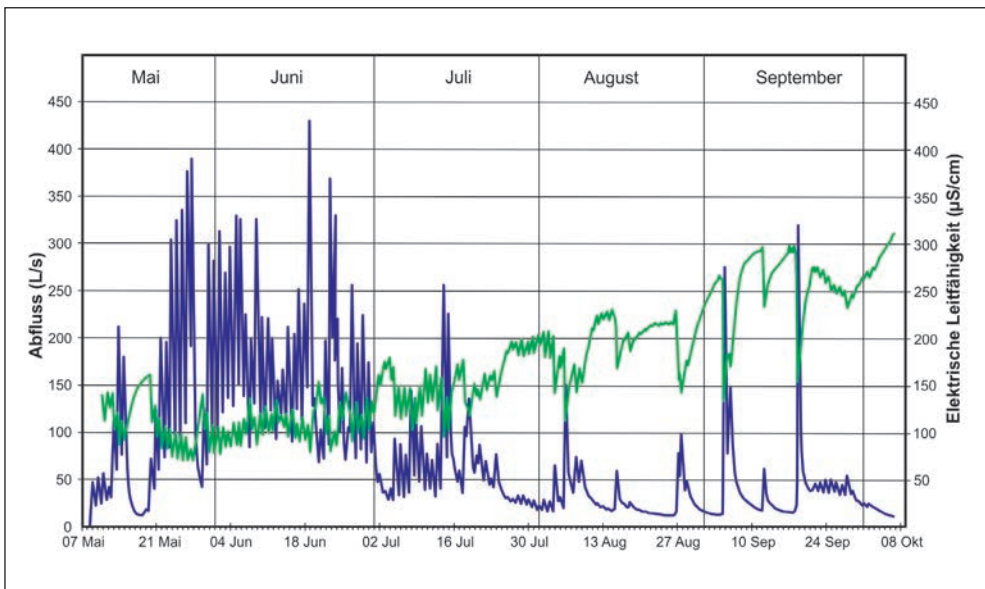


Abb. 13: Abflussganglinie (blaue Linie) und elektrische Leitfähigkeit (grüne Linie) des Gesamtabflusses (Pegel des hydrographischen Dienstes) für den Zeitraum Mai bis Anfang Oktober 2011. Die Daten wurden freundlicherweise vom hydrographischen Dienst des Landes Tirol (Dr. W. Gattermayr, Gerald Mair) zur Verfügung gestellt.

zum Herbst hin auf Werte von bis zu über 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  an (Abb. 13).

Generell sind die Werte der elektrischen Leitfähigkeit typisch für Gebiete mit metamorphen Gesteinen (Altkristallin), ähnliche Werte wurden auch bei anderen Blockgletschern in den Ötztaler Alpen und der Schobergruppe gemessen (Krainer & Mostler 2001, 2002). Die saisonalen Schwankungen sind auf die jahreszeitlich schwankenden Anteile von gering mineralisiertem Schmelzwasser aus Schnee- und Eisschmelze, sommerlichem Niederschlag und höher mineralisiertem Grundwasser zurückzuführen. Weitere Details zur Hydrologie des Blockgletschers, vor allem zur Wasserchemie der Blockgletscherquellen sind in Kapitel 6 enthalten.

## Georadar

Die ersten Georadar-Messungen mit einer Frequenz von 6,5 MHz wurden entlang der 4 Querprofile im unteren Bereich des Blockgletschers durchgeführt, an denen auch die Bewegungsmessungen ausgeführt werden (Profile 0, 1, 2 und 3, siehe Kapitel 7 in diesem Buch, Abb. 4 & 6). Die Profile 1, 2 und 3 lieferten klare Signale und deutliche Reflektoren, aus denen für das Profil 3 eine durchschnittliche Mächtigkeit von 44 m, für das Profil 2 eine Mächtigkeit von 40 m und für das Profil 1 eine Mächtigkeit von 34 m abgeleitet werden kann. Die klaren Signale weisen auch darauf hin, dass der Kern des Blockgletschers einen hohen Eisgehalt aufweist.

Georadar-Messungen mit höherer Frequenz (15 MHz-Antenne) lieferten leider keine klaren Ergebnisse (siehe Nickus et al. 2014)

## Bewegungsraten

Am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar werden Bewegungsmessungen seit 1938 durchgeführt, also seit einem Zeitraum von mehr als 75 Jahren. Damit liegt vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar die weltweit längste Messreihe betreffend Bewegungsraten vor. Die Messdaten bis 1999 haben Schneider (1999) sowie Schneider & Schneider (2001) im Detail dargestellt.

Die Messungen haben gezeigt, dass die Bewegungen des Blockgletschers auch stark von der Morphologie beeinflusst werden. Im steilen Stirnbereich sind die Bewegungsraten deutlich höher als im flacheren oberen Bereich des Blockgletschers. Durch den Vergleich der jährlichen Bewegungsraten mit den Temperaturen der Klimastationen Obergurgl und Vent konnten Schneider & Schneider (2001) zeigen, dass die kurzfristigen Schwankungen in den Bewegungsraten deutlich mit den Jahresmittelwerten der Lufttemperatur korrelieren. Überdurchschnittliche Temperaturen hatten erhöhte Fließbewegungen zur Folge, während unterdurchschnittliche Temperaturen eine Abnahme in der Fließgeschwindigkeit verursachten.

Die Fließbewegungen sind im steilen Stirnbereich im Vergleich mit anderen aktiven Blockgletschern (z.B. Krainer & Mostler 2006, Delaloye et al. 2010, Kellerer-Pirklbauer &



Kaufmann 2012) sehr hoch, die höchsten Bewegungsraten wurden in den 1960er Jahren mit bis zu 6,6 m pro Jahr gemessen. Auch ab den frühen 1990er Jahren war eine Zunahme in den Fließbewegungen zu beobachten, die ein Maximum 2004 erreichten, gefolgt von einer kurzfristigen leichten Abnahme. Seit 2007 ist wieder eine Zunahme in den Fließgeschwindigkeiten zu beobachten.

Im Zeitraum 1938 bis 1997 ist der Blockgletscher um 165 m vorgestoßen, dies entspricht einer jährlichen Bewegungsrate von 2,7 m in diesem Zeitraum (Schneider & Schneider 2001).

Im Zeitraum 1997–2010 wurden die höchsten Bewegungsraten im östlichen Teil des Blockgletschers im Profil 1 mit knapp 30 m gemessen, was eine jährliche durchschnittliche Bewegungsrate von 2,3 m ergibt. In den letzten Jahren ist die Stirn des Blockgletschers auch stark eingesunken, was auf das verstärkte Abschmelzen von Permafrosteis hinweist.

### 5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Morphologie und Korngrößenverteilung der oberflächlichen Schuttlage sind sehr ähnlich wie bei anderen Blockgletschern, die aus metamorphen Gesteinen, insbesondere Gneis und Glimmerschiefern bestehen (Krainer & Mostler 2000, 2001, 2004; Berger et al. 2004). Aufgrund der Korngrößenverteilung an der Oberfläche kann der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar als typischer „boulder

rock glacier“ sensu Ikeda & Matsuoka (2006) bezeichnet werden. Die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) sind typisch für aktive Blockgletscher und ähnlich den Temperaturen, die auf anderen aktiven Blockgletschern in den österreichischen Alpen gemessen wurden (Krainer & Mostler 2000, 2001, 2004; Berger et al. 2004). Sie belegen das Vorhandensein von Permafrosteis im Blockgletscher. Die ausgeprägten saisonalen und täglichen Schwankungen im Abfluss werden vor allem vom Wetterablauf gesteuert. Das Wasser, das an mehreren Blockgletscherquellen entspringt, stammt zum Großteil von der Schneeschmelze und von sommerlichen Niederschlagsereignissen, nur zu einem geringen Teil handelt es sich um Schmelzwasser des Permafrostes und Grundwasser (Krainer & Mostler 2002). Abflussspitzen werden durch starke Schneeschmelze an warmen, sonnigen Tagen im Frühsommer und durch intensive Regenfälle ausgelöst. Die niedrigen Temperaturen der Blockgletscherquellen, die ständig unter 1,5 °C, meist unter 1 °C liegen, deuten darauf hin, dass das Wasser im Blockgletscher in Kontakt mit dem Permafrosteis fließt (Krainer & Mostler 2002, Krainer et al. 2007). Die extrem niedrige Leitfähigkeit der Blockgletscherquellen am Fuße der steilen Stirn weist darauf hin, dass das Wasser fast ausschließlich aus Schneeschmelze und Regenfällen stammt. Die hohen Werte der elektrischen Leitfähigkeit an den Quellen auf der Ostseite des Blockgletschers sind auf einen höheren Anteil an Grundwasser mit einer wesentlich höheren Verweildauer zurückzuführen (siehe auch Nickus et al. 2014).

Die leichte Depression im Bereich der Wurzelzone und die deutliche Abnahme in der Mächtigkeit im Bereich der Stirn werden als Anzeichen für das Abschmelzen eines massiven Eiskernes gewertet. Nach Haeberli & Patzelt (1982) handelt es sich um einen an Eis übersättigten Blockgletscher mit einem Eisgehalt von mindestens 50 %. Auch die Georadar-Daten weisen auf einen hohen Eisgehalt im Permafrostkörper des Blockgletschers hin. Möglicherweise hat sich der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar aus einem schuttbedeckten Kargletscher entwickelt und besitzt einen Kern aus mehr oder weniger massivem Eis, ähnlich wie der Blockgletscher im Inneren Reichenkar (Krainer & Mostler 2000, Krainer et al. 2002, Hausmann et al. 2007). Erst im steilen Stirnbereich kommt es durch das Aufreißen von Zerrspalten zu einer Vermischung des Eises mit Schutt. Auch Pillewizer (1957) hat einen glazialen Ursprung angenommen, während Haeberli & Patzelt (1982) den Blockgletscher als reine Permafrost-Erscheinung betrachten. Basierend auf den Bewegungsraten hat Vietoris (1972) Überlegungen über das Alter des Blockgletschers angestellt. Er vermutet, dass der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar mindestens 2.000 Jahre alt ist und sich am Ende der Warmzeit zu bilden begann. Alte Karten belegen, dass das Äußere Hochebenkar während der Kleinen Eiszeit gletscherfrei war. Im Gegensatz dazu war das Innere Hochebenkar während der Kleinen Eiszeit von einem Kargletscher ausgefüllt. Das Alter eines Blockgletschers ist generell schwer zu erfassen. Radiokarbon-datierungen am Eis aus einem Bohrkern des

Lazaun-Blockgletschers im Schnalstal (Ötztaler Alpen) ergaben ein Alter von etwas mehr als 10.000 Jahren (Krainer et al. 2014). Diese Daten belegen, dass heute noch intakte Blockgletscher bis zu 10.000 Jahre alt sein können und sich nach dem Rückgang der Egesen-Gletscher (Maximum bei ca. 12.700 BP) zu bilden begannen.

Schneider & Schneider (2001) konnten zeigen, dass die periodischen Änderungen in den Fließgeschwindigkeiten mit den Änderungen im Jahresmittel der Lufttemperatur korrelieren. Höhere Fließgeschwindigkeiten wurden während wärmerer Perioden gemessen, möglicherweise verursacht durch einen höheren Anteil an Schmelzwasser und höhere Eistemperaturen. Während der kühleren Perioden wurden dagegen deutlich geringere Fließgeschwindigkeiten gemessen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es sich beim Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar um einen der größten aktiven Blockgletscher Tirols handelt, der alle typischen Merkmale eines Blockgletscher aufweist, möglicherweise mehrere tausend Jahre alt ist und sich vermutlich aus einem schuttbedeckten Kargletscher entwickelt hat, ähnlich wie von Shroder et al. (2000) beschrieben.

## Literatur

- Berger, J., Krainer, K. & Mostler, W. (2004) Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). *Quaternary Research* 62(2004): 233-242.
- Delaloye, R., Lambiel, C., and Gärtner-Roer, I. (2010) Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps. *Geographica Helvetica* 65: 135-145.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- Haerberli, W. & Patzelt, G. (1982) Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 18(2): 127-150.
- Hausmann, H., Krainer, K., Brückl, E. & Mostler, W. (2007) Internal structure and ice content of Reichenkar Rock Glacier (Stubai Alps, Austria) assessed by geophysical investigations. *Permafrost and Periglacial Processes* 18: 351-367.
- Hoinkes, G. & Thöni, M. (1993) Evolution of the Ötztal-Stubai, Scarl-Campo and Ulten Basement Units. In: Raumer, von J.F. & Neubauer, F. (eds), *Pre-Mesozoic Geology in the Alps*, Springer, Berlin: 485-494.
- Ikeda, A. & Matsuoka, N. (2006) Pebbly versus boulder rock glaciers: Morphology, structure and processes. *Geomorphology* 73: 279-296.
- Kaufmann, V. (1996) Geomorphometric monitoring of active rock glaciers in the Austrian Alps. 4<sup>th</sup> International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. Karlstad – Kiruna – Tromso, August 19-29, 1996: 97-113.
- Kaufmann, V. (2012) The evolution of rock glacier monitoring using terrestrial photogrammetry: the example of Äußeres Hochebenkar rock glacier (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 63-77.
- Kaufmann, V. & Ladstädter, R. (2002) Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hochebenkar rock glaciers (Oetztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 37: 119-140.
- Kaufmann, V. & Ladstädter, R. (2003) Quantitative analysis of rock glacier creep by means of digital photogrammetry using multi-temporal aerial photographs: two case studies in the Austrian Alps. In: Phillips, M., Springman, S.M. & Aronson, L.U. (eds), *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Permafrost*, 21-25 July 2003, Zürich, Switzerland, Vol. 1: 525-530.
- Kellerer-Pirklbauer, A. & Kaufmann, V. (2012) About the relationship between rock glacier velocity and climate parameters in central Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 94-112.
- Konzett, J., Hoinkes, G. & Tropper, P. (2003) Alpine metamorphism in the Schneeberg Complex and neighbouring units

- (immediate vicinity of Obergurgl). 5<sup>th</sup> Workshop of Alpine Geological Studies, Field Trip Guide E4, Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck 26: 21-25.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2000) Reichenkar rock glacier: a glacier derived debris-ice system in the western Stubai Alps, Austria. *Permafrost and Periglacial Processes* 11: 267-275.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2001) Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitztal (Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern, Österreich). *Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Nationalpark Hohe Tauern* 6: 139-168.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2002) Hydrology of Active Rock Glaciers: Examples from the Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 142-149.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2004) Aufbau und Entstehung des aktiven Blockgletschers im Sulzkar, westliche Stubai Alpen. *Geo.Alp* 1: 37-55.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2006) Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. *Geografiska Annaler* 88A: 267-280.
- Krainer, K., Mostler, W. & Span, N. (2002) A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the Western Stubai Alps (Austria): Evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 38: 21-34.
- Krainer, K., Mostler, W. & Spötl, C. (2007) Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. *Austrian Journal of Earth Sciences* 100: 102-112.
- Krainer, K., Kellerer-Pirklbauer, A., Kaufmann, V., Lieb, G.K., Schrott, L. & Hausmann, H. (2012) Permafrost in Austria: history and recent advances. *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 2-11.
- Krainer, K., Bressan, D., Dietre, B., Haas, J.N., Hajdas, I., Lang, K., Mair, V., Nickus, U., Reidl, D., Thies, H., Tonidandel, D. (in Druck) A 10300-year old permafrost core from the active rock glacier Lazaun, southern Ötztal Alps (South Tyrol, northern Italy). *Quaternary Research*.
- Ladstädter, R. & Kaufmann, V. (2005) Studying the movement of the Outer Hochebenkar rock glacier: Aerial vs. ground-based photogrammetric methods. 2<sup>nd</sup> European Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, *Terra Nostra* 2005 (2): 97 (abstract).
- Nickus, U., Abermann, J., Fischer, A., Krainer, K., Schneider, H., Span, N. & Thies, H. (2014) Rock glacier Äußeres Hochebenkar (Austria) – recent results of a monitoring network. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*: in press.
- Pillewizer, W. (1938) Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde* 1938 (9/19): 367-372.
- Pillewizer, W. (1957) Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen: Geo-

- morphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift) 5: 37-50.
- Schneider, B. (1999) Die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Öztaler Alpen, Tirol) seit 1938. Unveröff. Diplomarbeit, Inst. f. Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft der Univ. Innsbruck, 137 S.
- Schneider, B. & Schneider, H. (2001) Zur 60jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äusseren Hochebenkar, Öztaler Alpen, Tirol. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 37(1): 1-33.
- Shroder, J.F., Bishop, M.P., Copland, L. & Sloan, V.F. (2000) Debris-covered glaciers and rock glaciers in the Nanga Parbat Himalaya, Pakistan. Geografiska Annaler 82A: 17-31.
- Thöny, W.E., Tropper, P., Schennach, F., Krenn, E., Finger, F., Kaindl, R., Bernhard, F. & Hoinkes, G. (2008) The metamorphic evolution of migmatites from the Ötztal Complex (Tyrol, Austria) and constraints on the timing of the pre-Variscan high-T event in the Eastern Alps. Swiss Journal of Geosciences 101, Supple. 1: 111-126.
- Tropper, P. & Recheis, A. (2003) Garnet zoning as a window into the metamorphic evolution of a crystalline complex: the northern and central Austroalpine Ötztal Complex as a polymorphic example. Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft 94: 27-53.
- Tropper, P., Krenn, K., & Hoinkes, G. (2012) Mineralogie und Petrologie des austroalpinen Kristallins in der südlichen Umgebung von Obergurgl – Der Übergang vom Ötztal Komplex in den Schneeberg Komplex (Ötztal, Österreich, Passeiertal, Südtirol. In: Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (Hrsg), An der Grenze des Waldes und der menschlichen Siedlung, Alpine Forschungsstelle Obergurgl, Band 2, innsbruck university press, Innsbruck, 181-209.
- Vietoris, L. (1958) Der Blockgletscher des äußeren Hochebenkars. Gurgler Berichte 1: 41-45.
- Vietoris, L. (1972) Über die Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 8: 169-188.

## Verzeichnis des Autors

---

Karl Krainer  
Universität Innsbruck  
Institut für Geologie  
Innrain 52, 6020 Innsbruck, Österreich  
Karl.Krainer@uibk.ac.at