AUFBAU UND DYNAMIK AUSGEWÄHLTER BLOCKGLETSCHER IN NORD- UND SÜDTIROL

Karl Krainer[1], Patrick Ausserer[1], David Bressan[1], Kathrin Lang[2], Volkmar Mair[2], Lukas Mussner[1], Ulrike Nickus[3], Veronika Schmidt[1], Eva-Maria Schiestl[1], Richard Tessadri[4], Hansjörg Thies[5], David Tonidandel[2]

[1]Institut für Geologie, Universität Innsbruck
[2]Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Autonome Provinz Bozen-Südtirol
[3]Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck
[4]Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck
[5]Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (IGF),
Österreichische Akademie der Wissenschaften, Innsbruck

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Untersuchungen, die im Rahmen des Projektes Permaqua an ausgewählten Blockgletschern in Süd- und Nordtirol durchgeführt wurden, zusammengefasst: Rossbänk (Ultental), Lazaun (Schnalstal), Sella (Dolomiten) und Napfen (Rieserferner Gruppe) in Südtirol sowie Äußeres Hochebenkar (bei Obergurgl, Ötztaler Alpen), Krummgampen (Kaunertal), Wannenkar (Windachtal) und Lechtaler Alpen. Die Untersuchungen beinhalteten eine geologisch-geomorphologische Detailkartierung, Korngrößenanalysen, Temperaturmessungen (BTS), Geophysik (Georadar-Messungen), Bewegungsmessungen mittels GPS, hydrogeologische Untersuchungen (Abfluss, elektrische Leitfähigkeit, Wasserchemie) sowie Kernbohrungen am Blockgletscher Rossbänk und Lazaun. In allen Testgebieten sind intakte, meist aktive Blockgletscher vorhanden, die sich jedoch z.T. recht deutlich unterscheiden. Die größten Unterschiede bestehen zwischen Blockgletschern in den kalkalpinen Gebieten (Sella, Lechtaler Alpen) und Kristallin, und zwar vor allem hinsichtlich Korngrößenverteilung, Oberflächenmorphologie und Hydrologie. Radiokarbondatierungen an eingewehten Pflanzenresten im Eis des Bohrkernes vom Blockgletscher Lazaun ergaben ein Alter von maximal 10.300 Jahren vor heute.

Abstract

The present paper summarizes the results of investigations which were carried out within the scientific project Permaqua on selected rock glaciers in South- and North-Tyrol: Rossbänk (Ultental), Lazaun (Schnalstal), Sella (Dolomites) and Napfen (Rieserferner Mountain Group) in South-Tyrol and Äußeres Hochebenkar (near Obergurgl, Ötztal Alps), Krummgampen (Kaunertal), Wannenkar (Windachtal) and Lechtal Alps (western Northern Calcareous Alps). The investigations included a detailed geologic-geomporphologic mapping, grain-size analyses, temperature measurements (BTS), geophysics (ground penetrating radar), measurements of the flow velocity using GPS techniques, hydrogeologic measurements (discharge, electrical conductivity, water chemistry), and core drillings on the rock glaciers Rossbänk and Lazaun. In all study areas intact rock glaciers are present which display quite significant differences. The most distinct differences exist between rock glaciers composed of carbonate rocks (Dolomites, Lechtal Alps) and metamorphic rocks, particularly concerning grain-size, surface morphology and hydrogeology. Radicarbon datings on plant remains embedded in the ice of the core drilled on rock glacier Lazaun yielded a maximum age of 10.300 years before present.

1 Einleitung

Alpiner Permafrost ist in den Alpen ab einer Seehöhe von ca. 2500 m weit verbreitet, wobei intakte (aktive und inaktive) Blockgletscher die häufigste und morphologisch auffälligste Form darstellen (GÄRTNER-ROER, 2010, BOECKLI et al., 2012). CREMONESE et al. (2011) haben erstmals ein Permafrost-Inventar für die Alpen vorgestellt. KELLERER-PIRKLBAUER et al. (2012) haben für den östlichen Teil der österreichischen Alpen, KRAINER & RIBIS (2012) für Nordtirol und STOCKER (2012) für Vorarlberg ein Blockgletscherinventar erstellt. Für Südtirol haben BOLLMANN et al. (2012) ein Blockgletscherinventar präsentiert.

KRAINER & RIBIS (2012) haben in den Gebirgsgruppen in Nordtirol über 3000 Blockgletscher erfasst, viele davon sind noch intakt und bedekken immerhin eine Fläche von 87 km^2. Diese große Zahl an intakten Blockgletschern unterstreicht deren Bedeutung als Permafrosterscheinung im Hochgebirge. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden in Nord- und Südtirol mehrere Blockgletscher im Detail untersucht (Abb. 1), um Informationen über die Zusammensetzung, den internen Aufbau, Eisgehalt, Dynamik und Entstehung zu erhalten. In dieser Arbeit werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen kurz dargestellt.

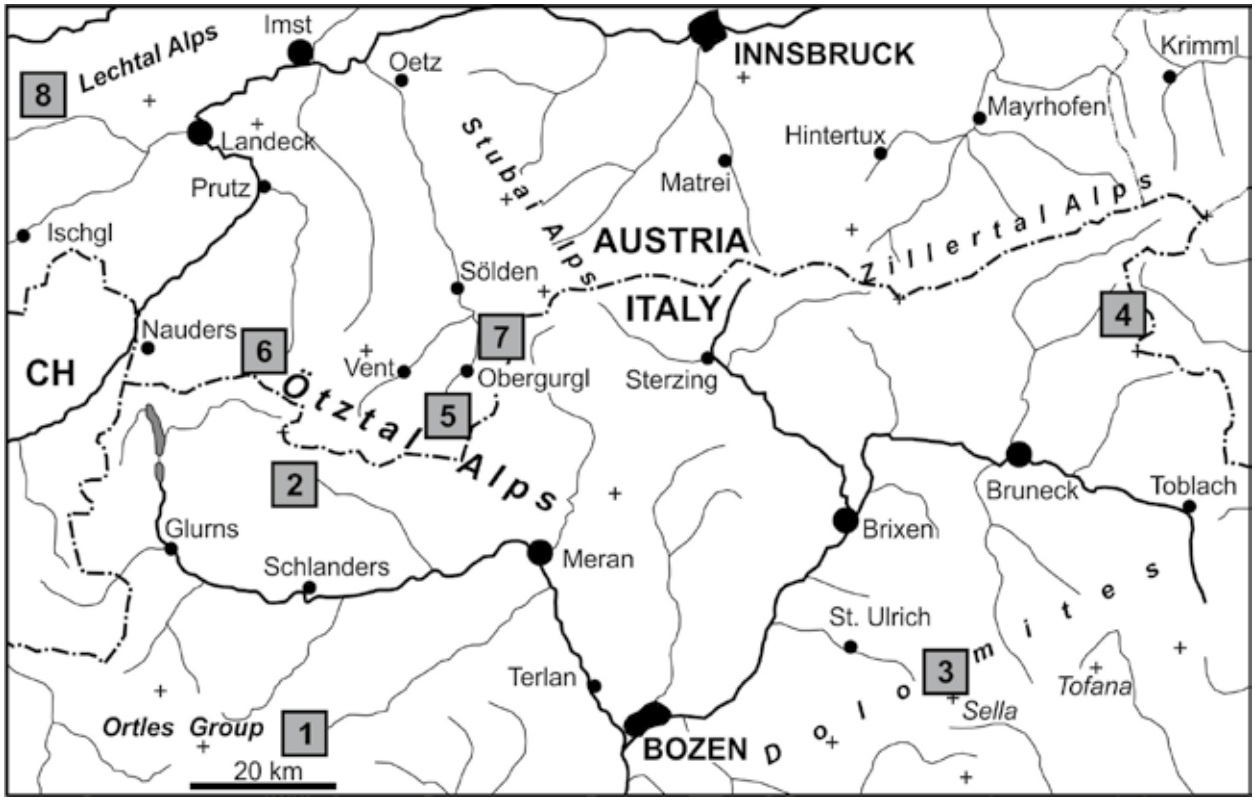


Abb. 1: Lage der untersuchten Blockgletscher in Nord- und Südtirol: 1 Rossbänk, Ultental; 2 Lazaun, Schnalstal; 3 Murfreit, Sella; 4 Napfen, Rieserfernergruppe; 5 Äußeres Hochebenkar bei Obergurgl; 6 Krummgampen im Kaunertal; 7 Wannenkar, Windachtal; 8 Lechtaler Alpen nördlich von Schnann.

2 METHODIK

2.1 Geophysikalische Erhebungen

Zur Untersuchung der Mächtigkeit und internen Strukturen einzelner Blockgletscher wurden Georadar-Messungen durchgeführt. Wir verwendeten das Ground Penetrating Radar GSSI SIR System 2000 ausgestattet mit Niedrigfrequenz-Antennen. Es wurden sowohl Längsprofile (in Fließrichtung der Blockgletscher) als auch Querprofile gemessen. Die Messungen wurden mit 35 MHz und 15 MHz-Antennen durchgeführt, und zwar bei konstantem Antennenabstand im point mode (constant-offset profiling). Die Messdaten wurden durch fixed-offset reflection profiling gewonnen. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger betrug 4-5 m, die einzelnen Messungen entlang der Profile wurden im Abstand von 1 m durchgeführt. Dabei waren die Antennen quer zur Profilrichtung orientiert. Die Messungen wurden unter folgenden Parametereinstellungen durchgeführt: 1000 ns time range, 1024 samples/scan, 16 bits/sample, und 32-fold vertical stacking. Die Daten wurden durch automatic gain control (AGC) function, bandpass-filter, migration velocity analyses, migration, time to depth conversion und elevation correction prozessiert. Beim Auftreten von air wave events (z.B. Reflexion durch steile Felswände) wurde ein F-K Filter eingesetzt um diese Signale zu unterdrücken (HAUSMANN et al., 2007, KRAINER et al., 2010).

Auf den grobblockigen Blockgletschern Napfen, Rossbänk und Lazaun wurden die Messungen im Spätwinter durchgeführt, als die Blockgletscher von einer dicken Schneedecke bedeckt waren, wodurch Oberflächenreflexionen durch die großen Blöcke vermieden wurden (Abb. 2). Auf den etwas feinkörnigeren Blockgletschern in den Dolomiten und Lechtaler Alpen wurden die Messungen im Spätherbst durchgeführt.

Abb. 2: Georadar-Messungen am Blockgletscher Rossbänk im Ultental.

2.2 Bewegungsmessungen (dGPS, Radarinterferometrie)

Die Fließbewegung wurde auf mehreren Blockgletschern mit differentiellem GPS gemessen. Dabei wurde ein Empfänger (Referenz-Station) auf einem Fixpunkt außerhalb des Blockgletschers positioniert, während mit dem zweiten Empfänger (Rover) die Messpunkte auf dem Blockgletscher mit „Real Time Kinematik" (RTK) eingemessen wurden. Vorteil der GPS-Methode: die Messungen können rasch durchgeführt werden, es ist zwischen Referenz-Station und Rover kein Sichtkontakt notwendig (nur Funkkontakt), und die Genauigkeit ist hoch, liegt im Bereich von 1 cm (siehe HOFMANN-WALLENHOF et al., 1994, EIKEN et al., 1997, LITTLE et al., 2003, LAMBIEL & DELALOYE, 2004, FONTANA, 2011)

Auf den Blockgletschern wurden Messpunkte eingerichtet, dazu wurden große Felsblöcke am Blockgletscher ausgewählt, auf denen eine Messmarke eingemeisselt und mit Farbe markiert wurde. Zusätzlich wurden außerhalb der Blockgletscher möglichst auf Festgestein Fixpunkte eingerichtet.

Rossbänk (Ultental): 35 Messpunkte entlang von 4 Profillinien am BG, 5 Fixpunkte außerhalb des BG.

Langsee (Ultental): 13 Messpunkte am BG (Stirnbereich), 6 Fixpunkte außerhalb.

Die Nullmessung auf den BG Rossbänk und Langsee erfolgte im September 2005 mittels Theodolit NIKON D-50, die Folgemessungen am 25.07.2006 und 07.07.2007.

Lazaun (Schnalstal): 53 Messpunkte entlang von 5 Profillinien im unteren Bereich des Blockgletschers, 7 Fixpunkte außerhalb. Die Nullmessung erfolgte am 26.08.2006, die Folgemessung am 10.07.2007, 23.07.2008, 15.10.2011 und 25.10.2012

Napfen (Rieserfernergruppe): 90 Messpunkte am Blockgletscher in mehreren Profillinien, 5 Fixpunkte außerhalb. Die Nullmessung erfolgte am 27.08.2006, die Folgemessung am 04.07.2007.

Sella-Nordseite (Dolomiten): 80 Messpunkte am Blockgletscher, und zwar hauptsächlich im Stirnbereich, 4 Fixpunkte außerhalb des Blockgletschers. Die Nullmessung erfolgte am 12.07.2007, die Folgemessungen am 12.09.2007, 23.07.2008 und 08.09.2008.

Am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar werden Bewegungsmessungen seit 1938 durchgeführt (Details in SCHNEIDER & SCHNEIDER, 2001, NICKUS et al., 2015, KRAINER, 2015).

Veränderungen an der Stirn einzelner Blockgletscher in den Lechtaler Alpen und Wannenkar wurden durch Luftbildvergleiche untersucht, dazu wurden Aufnahmen der Jahre 1953, 1970, 1979 sowie Orthophotos und Laserscandaten aus den Jahren 2003 und 2010 verwendet (SCHIESTL 2014, SCHMIDT, 2014).

2.3 BTS-Messungen

Einen wichtigen Hinweis auf das Vorhandensein von Eis im Untergrund (intakte Blockgletscher) liefern die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS-Temperaturen = Bottom Temperature of Winter Snowcover). Generell sind die BTS-Temperaturen auf intakten Blockgletschern deutlich niedriger als auf permafrostfreiem Untergrund (HAEBERLI 1973).

Zur Messung der BTS-Temperaturen wurden auf den Blockgletschern sowie auf permafrostfreien Stellen neben den Blockgletschern im Herbst Temperatursonden installiert. Zusätzlich wurden im Spätwinter auf den Blockgletschern Rossbänk und Lazaun mit einer BTS-Sonde an zahlreichen Stellen die Temperaturen an der Basis der Schneedecke gemessen.

Die Temperaturmessungen wurden mit „Optic Stow Away Temperature Logger" (Hohe Gaisl, Ulten und Lazaun) und „HOBO U22 Water Temp Pro v2" von Onset Computer Corporation, USA gemessen. Die Messgenauigkeit liegt bei beiden Typen bei ±0.2°C. Das Messintervall betrug 2 Stunden. Insgesamt waren 30 Optic Stow Away Temperature Logger und 10 HOBO Logger im Einsatz (jeweils 10 Temperatursonden auf und neben den Blockgletschern Hohe Gaisl, Sella, Rossbänk und Lazaun).

2.4 Hydrologie und Wasserchemie

An allen Blockgletschern wurden umfangreiche hydrologische Untersuchungen durchgeführt. Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit an den Quellen (insbesondere Blockgletscherquellen) wurden mit einem WTW

Leitfähigkeitsmessgerät gemessen. Zur Messung der Abflussmenge wurde an den Blockgletschern Lazaun, Napfen, Rossbänk und Hochebenkar knapp unterhalb der Blockgletscherquellen, im Wannenkar beim Seeabfluss im Bachgerinne Pegelmessstellen installiert (Abb. 3). In einem PVC-Rohr wurden Druckpegelsonden (Micro von LOGOTRONIC, SEBA) installiert, die automatisch die Höhe der Wassersäule im Pegelrohr (Wasserstand) und die Wassertemperatur mit einem Messintervall von 1 Stunde aufgezeichnet haben. Zusätzlich wurden bei den Blockgletschern Hochebenkar, Wannenkar und Lazaun automatisch die elektrische Leitfähigkeit an den Pegelmessstellen erfasst. Die Durchflussmenge bei verschiedenen Wasserständen wurde mit der Salzverdünnungsmethode (Messgerät QTRACE von LOGOTRONIC, ab 2014 SOMMER) gemessen. Als Tracer wurde Kochsalz verwendet, das in einem Eimer in Wasser aufgelöst und ca. 30-40 m oberhalb der Meßstelle in den Bach geleert wurde. Die Salzmenge betrug je nach Durchflussmenge 0.1 bis 1 kg pro Messung. Aus den Durchflussmengen und den entsprechenden Wasserständen wurde eine Eichkurve ermittelt, aus der Eichkurve konnten die Wasserstände in Durchflussmengen umgerechnet werden.

An den Blockgletschern der Sella und Lechtaler Alpen konnten keine Pegel installiert werden, da aufgrund der starken Klüftung fast die gesamten Schmelzwässer über Kluftsysteme unterirdisch abfließen und die Quellschüttung maximal bei wenigen l/s liegt. Am Blockgletscher an der Sella Nordseite schütten die Quellen etwas mehr, allerdings sind die Quellen Murfreit I und II aufgrund des steilen Geländes nicht zugänglich, die Quelle Culea schüttet maximal 10-20 l/s, die Einrichtung einer Pegelmessstelle war nicht möglich.

An den Quellen und dem Gletscherbach im Lazaunkar wurde aufgrund der bereits bekannten

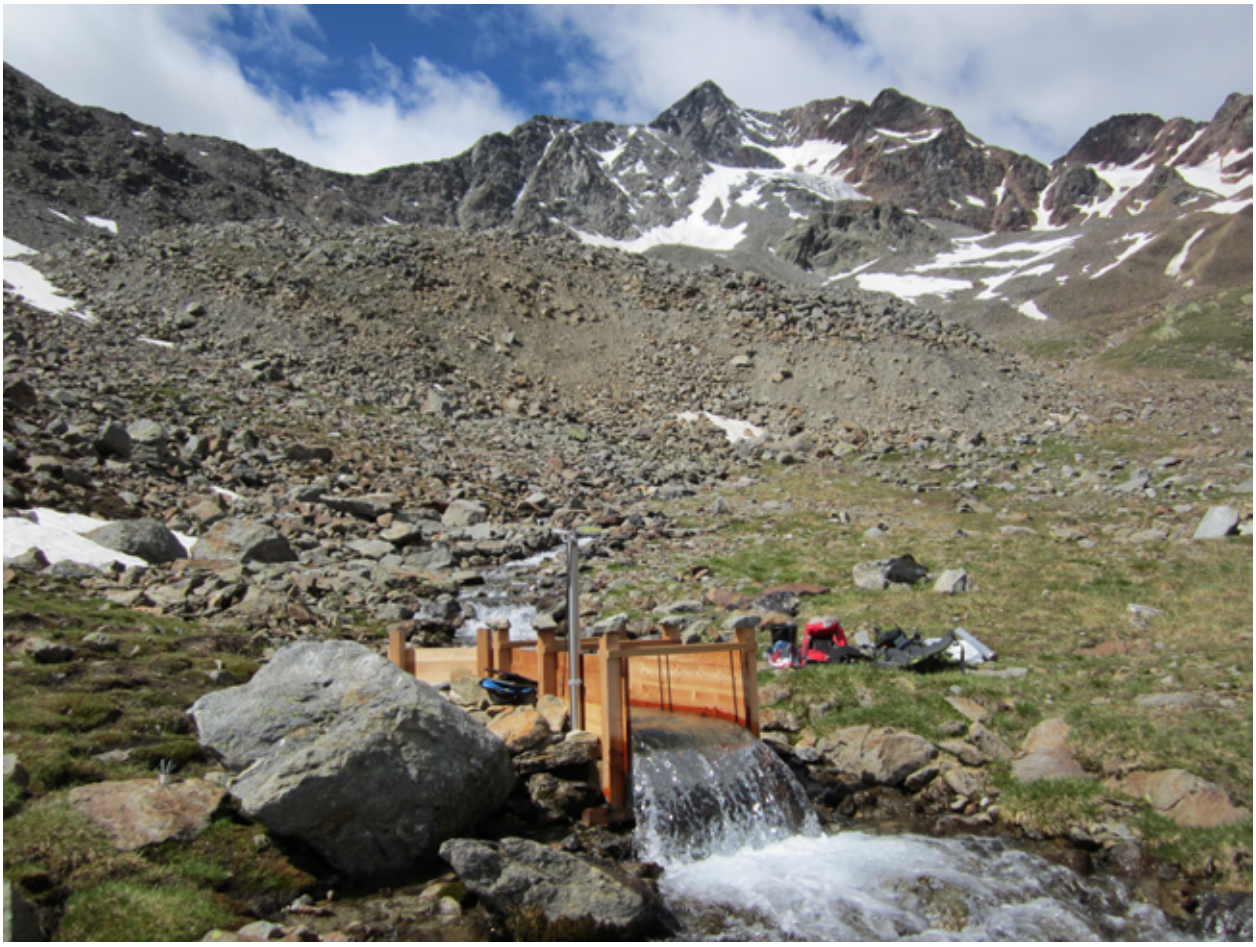


Abb. 3: Pegelmessstelle am Abfluss des Blockgeltschers Lazaun, dessen Stirn im Hintergrund zu sehen ist.

hohen Nickelkonzentration im Wasser einer gefassten Quelle neben dem Blockgletscher die chemische Zusammensetzung des Wassers (Anionen/Kationen Cl, NO_3, SO_4, Na, NH_4, K, Mg, Ca sowie die Spurenelemente Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, V, Zn) analysiert und der pH-Wert bestimmt. Dazu wurden an den Quellen und dem Gletscherbach im Lazaunkar im Laufe des Sommers (Mai bis Oktober) mehrmals Wasserproben genommen. Vergleichsweise wurden auch Wasserproben an den Blockgletscherquellen anderen Blockgletscher beprobt und analysiert. Die Spurenelemente wurden mittels ICP-OES gemessen (R. Tessadri), die Anionen/Kationen mittels Ionenchromatograph (U. Nickus).

Abb. 4: Kernbohrung am Blockgletscher Lazaun.

2.5 Kernbohrungen

Gekühlte Kernbohrungen wurden auf den Blockgletschern der Lazaunalm (Schnalstal, 2 Bohrungen), Rossbänk (Ultental) und Murfreit (Sella) durchgeführt (Abb. 4).

3. Geländeuntersuchungen in ausgewählten Gebieten

3.1 BLOCKGLETSCHER ROSSBÄNK, ULTENTAL

3.1.1 Lage

Der Blockgletscher "Rossbänk" (Abb. 5) ist einer von insgesamt 17 Blockgletschern (9 aktiv, 4 inaktiv, 4 fossil), die im hinteren Ultental im Bereich Oberweissbrunn (westlicher Talschluss des Ultentales) kartiert wurden (Abb. 1). Der gesamte Bereich liegt im Nationalpark Stilfser Joch.
Der Blockgletscher „Rossbänk" liegt in einem nach Osten ausgerichteten Kar, das von steilen Felswänden mit der Vorderen Eggenspitze (3348 m) als höchster Erhebung umrahmt wird.

3.1.2 Geologie

Die Bergkämme, die das Kar mit dem Blockgletscher "Rossbänk" umrahmen, bestehen im Wesentlichen aus granatführenden Paragneisen mit geringmächtigen Tonalitgängen. Die Paragneise gehören zur Pejo-Einheit des Ortler-Campo-Kristallins. Die Gesteine zeigen eine variszische Metamorphose in Amphibolitfazies und eine eoalpine Überprägung in Grünschieferfazies. Im Liegenden intrudierten im Perm granitische Schmelzen (Marteller Granit, 274 ± 3 Ma; MAIR & SCHUSTER, 2003). Zusätzlich werden die Gesteine von zahlreichen oligozänen Gängen (Tonalit) durchschlagen.

3.1.3 Morphologie, Korngröße

Der Blockgletscher „Rossbänk" ist 1700 m lang, 200-600 m breit, erstreckt sich von 2310 m (fossile Stirn) bis auf eine Seehöhe von 2840 m

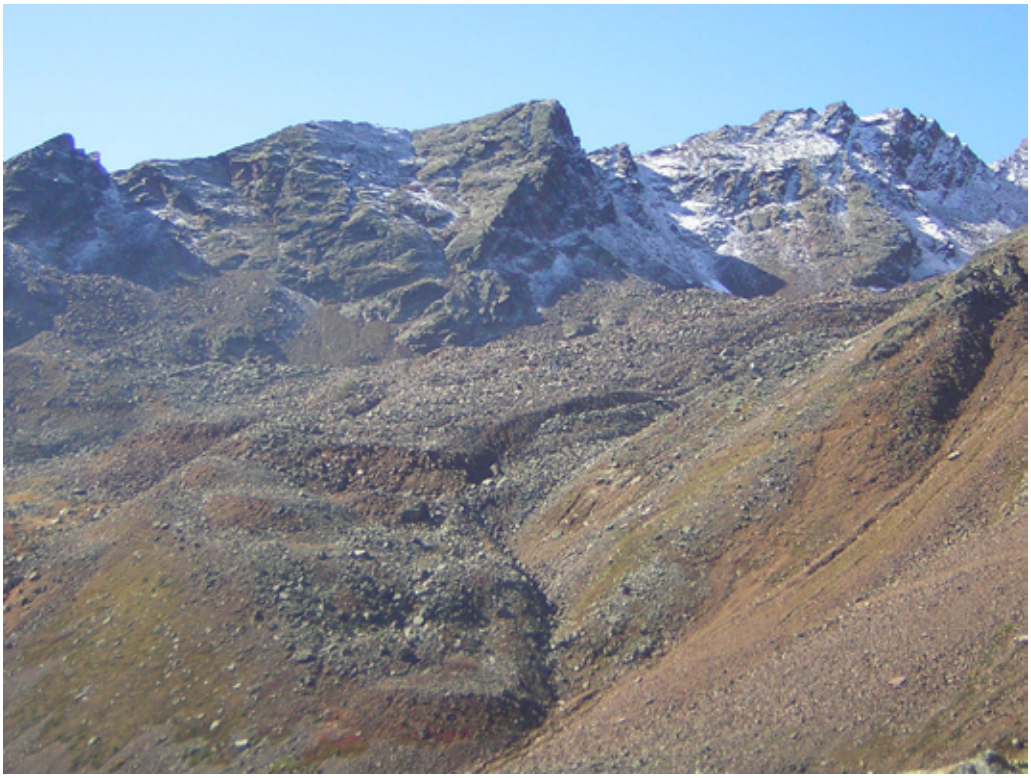


Abb. 5: Der aktive Blockgletscher „Rossbänk" im hinteren Ultental.

(Wurzelzone) und bedeckt eine Fläche von 55 ha (Abb. 6). Es ist ein komplex aufgebauter, zungenförmiger Blockgletscher. Die aktive Stirn endet auf 2470 m und überfährt 2 inaktive Zungen, die auf 2375 m enden und auf einem fossilen Blockgletscher liegen, dessen Zunge auf 2310 m Seehöhe endet. Die Neigung der Stirn sowohl des aktiven als auch des inaktiven und fossilen Blockgletschers beträgt bis zu 40°.

Der Blockgletscher wird mit Verwitterungsschutt aus der Wand der Vorderen Eggenspitze beliefert. Im Bereich der Wurzelzone sind leichte Depressionen ausgebildet, die im Sommer mit Schmelzwasser gefüllt sind.

Die Oberfläche des Blockgletschers ist sehr grobkörnig, der Durchmesser der Blöcke bewegt sich meist zwischen 0.3 und mehreren Metern, vereinzelt sind hausgroße Blöcke mit Durchmessern von über 10 m zu beobachten.

Im oberen Teil sind deutliche longitudinale Rücken und Vertiefungen ausgebildet, im mittleren und unteren Teil transversale Rücken und Vertiefungen (Loben). Die Stirn des aktiven Blockgletschers ist nicht sehr deutlich ausgebildet, weist eine maximale Neigung von 40° auf.

3.1.4 Bodentemperaturen, BTS

Im Winter 2005/2006 wurden insgesamt 7 Temperatursonden installiert: 4 am Blockgletscher Rossbänk (2 unmittelbar oberhalb der aktiven Stirn, 2 weitere ungefähr in der Mitte, einer davon auf einem Rücken, einer in einer Mulde). Eine Temperatursonde wurde am fossilen Blockgletscher positioniert.

Zwei weitere Temperatursonden wurden im Bereich des Blockgletschers Langsee installiert: einer neben dem Blockgletscher auf permafrostfreiem Untergrund, einer auf der Zunge des aktiven Blockgletschers.

Im November sanken die Temperaturen aufgrund der fehlenden Schneedecke bis auf -16°C und waren durch ausgeprägte Tagesschwankungen gekennzeichnet.

Mit dem Aufbau einer Schneedecke Anfang Dezember wurden die Temperaturschwankungen geringer, bis Ende Februar bewegten sich die BTS-Temperaturen am Blockgletscher zwischen -10°C und -7°C, Tagesschwankungen waren kaum zu beobachten. Außerhalb der Blockgletscher sank die Temperatur auf maximal -4°C. Mit Einsetzen der Schneeschmelze Anfang Mai stieg die

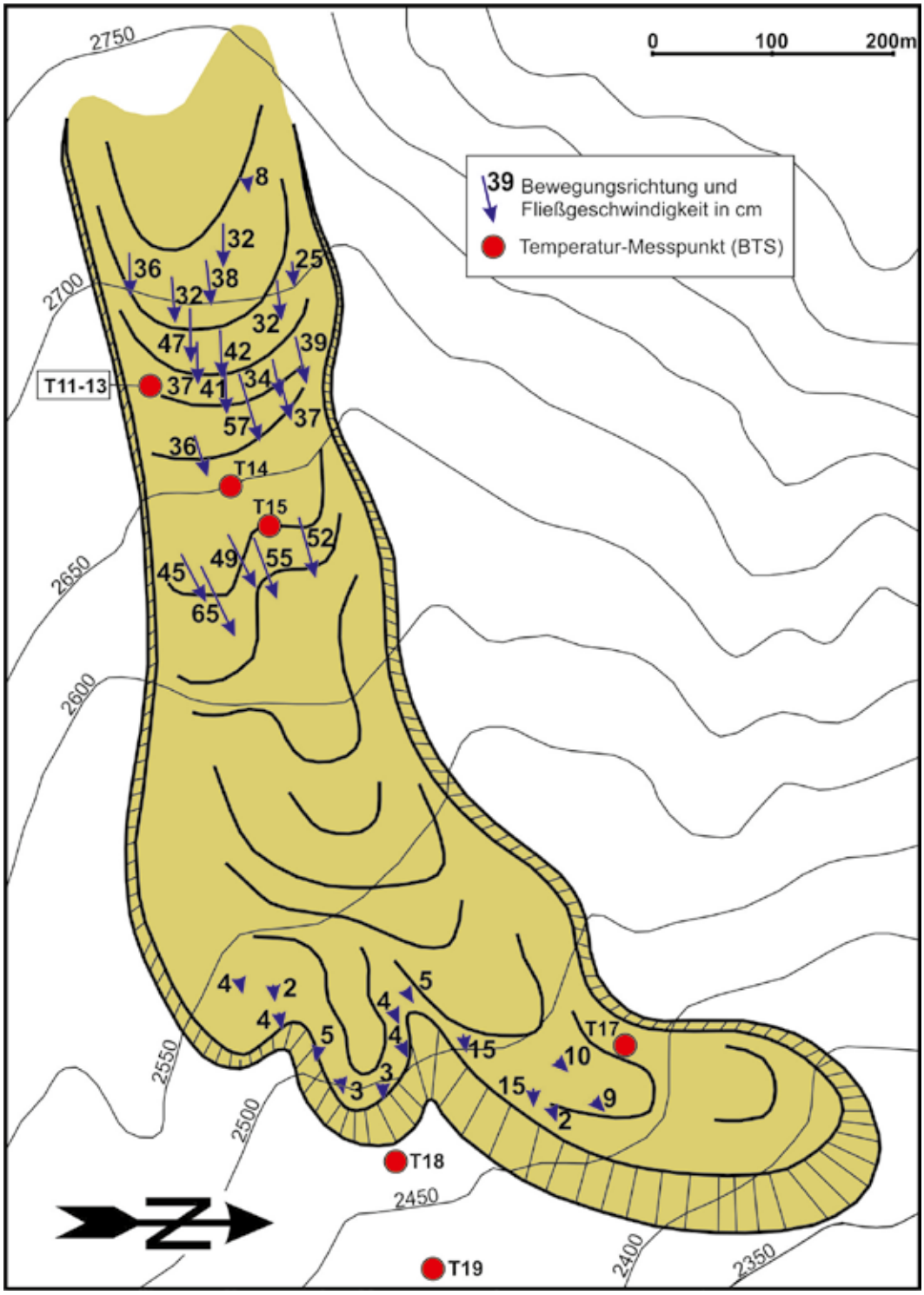


Abb. 6: Geomorphologische Karte des Blockgletschers „Rossbänk“ mit Lage der Temperatur-Messpunkte und Bewegungsmessungen.

Temperatur rasch auf 0°C an, verblieb bei diesem Wert bis der Messpunkt ausgeapert war.
Innerhalb der Schuttlage waren in 50 und 100 cm Tiefe keinerlei Tagesschwankungen zu erkennen. Die Temperaturen lagen von Ende Dezember bis Mitte April zwischen -5°C und -8°C, wobei die tiefsten Temperaturen jeweils an der Basis der Schneedecke gemessen wurden, während in 100 cm Tiefe die Temperaturen geringfügig höher waren.

Auch im Winter 2006/2007 wurden am Blockgletscher (T13, T14, T15 und T17) deutlich tiefere Temperaturen gemessen als außerhalb (T18 und T19) (Abb. 7). In 100cm (T11) und 50 cm Tiefe (T12) waren ebenso wie an der Basis der winterlichen Schneedecke keine Tagesschwankungen erkennbar. BTS-Temperaturen wurden auch am 14. März 2009 gemessen (Abb. 8).

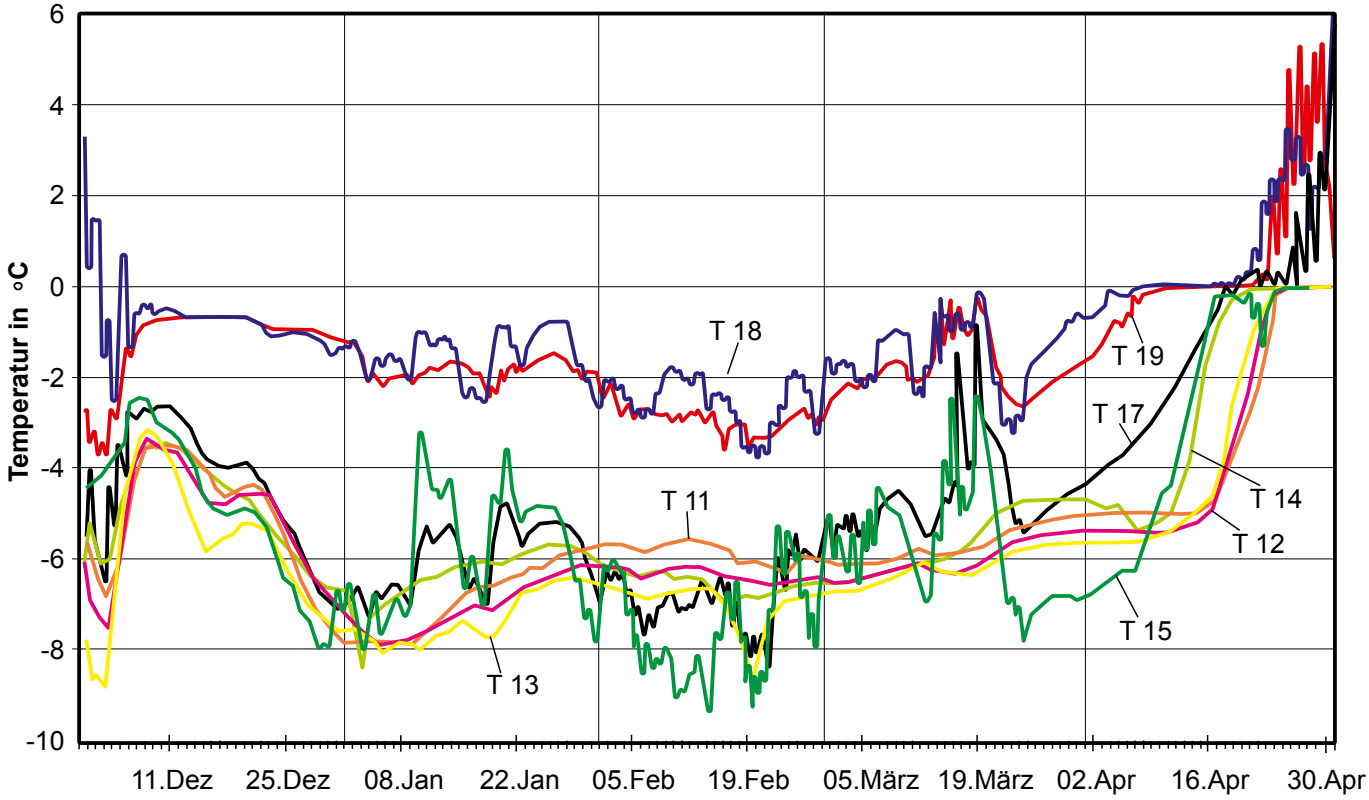


Abb. 7: BTS-Daten (Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke) im Winter 2006/2007. Die Sonden T18 und T 19 ware außerhalb des aktiven Blockgletschers positioniert, die Sonden T 14, T15, T 17 am aktiven Blockgletscher. T13 war in 100 cm Tiefe, T12 in 50 cm Tiefe und T11 an der Basis der winterlichen Schneedecke positioniert. Die Lage der Sonden ist in Abb. 6 ersichtlich.

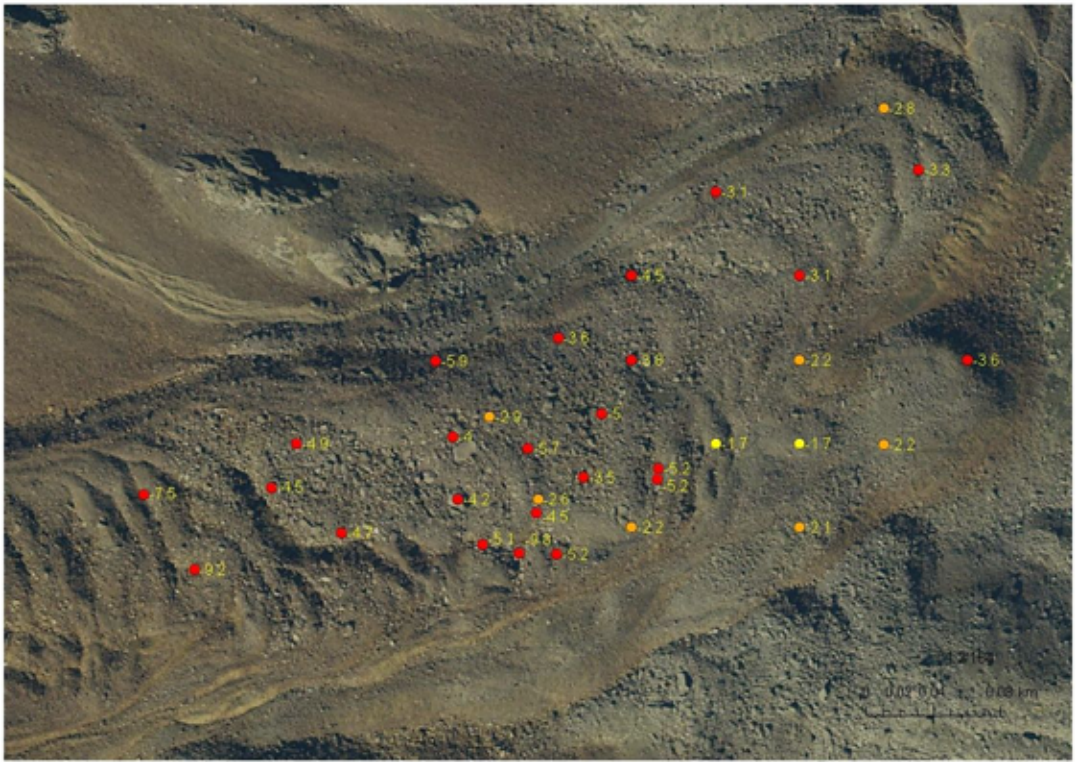


Abb. 8: BTS-Messungen am 14. März 2009 (Andreas Zischg).

3.1.5 Hydrologie

Am aktiven Blockgletscher Rossbänk wurden an der Quelle mehrmals Wassertemperaturmessungen durchgeführt. Die Wassertemperatur lag immer unter 1°C (0.4-0.7°C), was auf das Vorhandensein von Permafrost hinweist. Auch bei den Quellen der Blockgletscher Nr. 6, 8, 9 und 12 lag die Wassertemperatur meist unter 1°C, stieg auf maximal 1.8°C bei Blockgletscher Nr. 12 und max. 1.4°C bei Blockgletscher Nr. 6 (JUEN 1999, 2000). Auch bei diesen Blockgletschern ist das Vorhandensein von Permafrost sehr wahrscheinlich. Bei Blockgletscher Nr. 2 bewegten sich die Temperaturen zwischen 1.2 und 1.9°C, auch hier könnte noch etwas Eis im Blockgletscher enthalten sein. Deutlich höhere Wassertemperaturen von 2.3-5.1°C wurden an der Pegelmessstelle vor der Stirn des fossilen Blockgletschers Nr. 4 gemessen. Der Pegel wurde ca. 30 m von den Quellen entfernt eingerichtet. Die Tagesschwankungen zeigen, dass an warmen Tagen auf dieser kurzen Strecke die Wassertemperatur um bis zu über 1°C ansteigt. Im Mai betrug die Quelltemperatur (mehrere Quellaustritte) 0.2 - 0.8°C.

An den Quellen der Blockgletscher 4, 6, 8 und 12 wurde mehrmals die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Die niedrigsten Werte (86 - 130 µS/cm) wurden jeweils kurz nach Einsetzen der Schneeschmelze im Mai und Juni gemessen und stiegen bis zum Herbst auf über 300 µS/cm an. Der höchste Wert wurde mit 360 µS/cm Mitte September an der Quelle des Blockgletschers Nr. 12 gemessen.

Vor der fossilen Stirn des Blockgletschers Rossbänk war vom Mitte Mai bis Mitte Oktober 2007 ein Pegel installiert. In diesem Zeitraum war der Abfluss durch starke saisonale Schwankungen, im Mai und Juni auch durch deutliche Tagesschwankungen charakterisiert. Bedingt durch die Schneeschmelze ist der Abfluss im Mai, Juni und Juli am höchsten. Kaltlufteinbrüche führten jeweils zu einem starken Rückgang des Abflusses auf < 20l/s, während Niederschlagsereignisse kurzfristige Abflussspitzen von knapp über 100 l/s verursachten. Ein stärkeres Niederschlagsereignis führt im August zu einer extremen Abflussspitze von > 200 l/s. Ansonsten ist im August und

September ein deutlicher Rückgang im Abfluss zu beobachten, unterbrochen von einigen kleineren, niederschlagsbedingten Abflussspitzen. Im September lag der Abfluss zwischen 13 und 28 l/s, im Oktober führte ein Niederschlagsereignis nochmals zu einer Abflussspitze von ca. 60 l/s, anschließend ging der Abfluss kontinuierlich auf < 20 l/s zurück, gegen Ende November versiegen die Quellen vollständig.

3.1.6 Bewegungsmessungen

Im oberen Abschnitt nahe der Wurzelzone wurden 16 Punkte vermessen. Im Zeitraum 2005-2006 (316 Tage) wurden Horizontalbewegungen von 13-29 cm gemessen, was durchschnittlichen täglichen Bewegungsraten von 0.41-0.91 mm entspricht. Nur an einem Punkt (Z 1) war die Bewegung mit 3 cm (0.1 mm/Tag) deutlich geringer. Die höchsten Bewegungsraten wurden in der Mitte gemessen, zu den Rändern hin nahmen die Bewegungsraten ab.

Im darauffolgenden Jahr 2006-2007 (Messzeitraum 347 Tage) waren die Bewegungsraten höher, betrugen 18-32 cm was durchschnittliche tägliche Bewegungsraten von 0.52-0.92 mm ergibt. Auch am Punkt Z 1 wurde mit 5 cm (0.14 mm/Tag) ein höherer Wert gemessen als im Jahr davor.

Im mittleren Bereich des Blockgletschers betrugen die Bewegungsraten für den Zeitraum 2005-2006 (316 Tage) 18-28 cm bzw. 0.57-0.89 mm/Tag und für den Zeitraum 2006-2007 (347 Tage) 21-37 cm bzw. 0.60-1.07 mm/Tag. Auch hier waren die Bewegungsraten 2006-2007 höher als im Jahr davor.

Die geringsten Bewegungsraten wurden an den 13 Messpunkten im Stirnbereich gemessen, sie lagen im Zeitraum 2005-2006 zwischen 0 und 5 cm bzw. 0-15 mm/Tag und im darauffolgenden Jahr 2006-2007 zwischen 2 und 11 cm bzw. 0.06-0.32 mm/Tag. Auch im Stirnbereich wurden im Zeitraum 2006-2007 höhere Bewegungsraten gemessen als im Jahr davor (siehe Abb. 6).

3.1.7 Georadar und Geoelektrik

In mehreren Messkampagnen in den Jahren 2006 und 2008 wurden mehrere Längs- und Querprofile sowohl am aktiven als auch am fossilen Blockgletscher durchgeführt. Die Messungen wurden meist auf einer Schneedecke (März und April 2006, Mai 2008), im Oktober 2006 im Bereich der Stirn des aktiven Blockgletschers und am fossilen Blockgletscher ohne Schneebedeckung durchgeführt. Bei einer Eindringtiefe von ungefähr 25 m wurde der Felsuntergrund nur im Bereich der Wurzelzone in Form eines deutlichen Reflektors angetroffen. Der Reflektor verschwindet in Fließrichtung nach etwa 150 Profilmetern. Bis in eine Tiefe von ca. 20 m konnten sowohl im Längs- als auch im Querprofil immer wieder Reflektoren festgestellt werden, die allerdings schwierig zu interpretieren sind. Da der aktive Blockgletscher einen inaktiven überfährt und der inaktive Blockgletscher wiederum auf einer fossilen Zunge liegt, ist im mittleren und vor allem unteren Bereich des Blockgletschers aufgrund der großen Mächtigkeit der Felsuntergrund erst in Tiefen von mindestens 60 m zu erwarten.

Im August 2005 wurden von RIBOLINI (Universitá degli Studi di Pisa, Dipatimento di Scienze della Terra) zwei Geoelektrik-Profile gemessen (Querprofile im unteren und mittleren Abschnitt, siehe AUSSERER, 2009).

Im oberen Profil wurden oberflächennah (bis in 4 m Tiefe) unterschiedlich hohe Widerstände gemessen, dieser Bereich wird als „active layer" interpretiert. Darunter wurden bis in eine Tiefe von ca. 15 m teilweise sehr hohe Winderstände festgestellt. Diese Bereiche werden als eisreicher Schutt bzw. in den Kernzonen als massiver Eiskörper gedeutet. Bereiche mit mittleren bis hohen Widerständen werden als Schutt mit wenig Eis interpretiert, wobei das Vorhandensein von Wasser nicht ausgeschlossen werden kann.

Im unteren Profil wurden im Schuttmantel große Unterschiede im elektrischen Widerstand festgestellt. Oberflächennahe Bereiche bis 10 m Tiefe mit hohen Widerständen werden als Bereiche mit einem hohen Eisanteil im Schutt gedeutet. Dazwischenliegende Bereiche mit niedrigerem Widerstand könnten Abflusskanäle für Schmelzwasser darstellen. Ab einer Tiefe von ca. 20 m nehmen Widerstand und somit auch Eisgehalt ab (siehe AUSSERER, 2009).

3.1.8 Bohrung

Im September 2011 wurde am Blockgletscher eine Kernbohrung durchgeführt, bei der jedoch nur einen Kerngewinn von 2 m möglich war (zwischen 6 und 8 m). Dieser Kern bestand aus einem Gemenge aus Schutt und Eis. Im Eis konnten ähnlich wie beim Blockgletscher Lazaun erhöhte Konzentrationen an Ni und anderen Schwermetallen festgestellt werden, wobei die höchsten Konzentrationen in einer Lage bei 6.1 m gemessen wurden (0,41 mg/l Ni, 0,34 mg/l Zn, 0,21 mg/l Co) (Abb. 9).

3.1.9 Schlussfolgerungen

Der Blockgletscher „Rossbänk" zählt zu den größten Blockgletschern in Südtirol. Es ist ein zungenförmiger, aktiver Blockgletscher mit einer steilen Stirn und einer typischen Oberflächenmorphologie aus transversalen Rücken und Vertiefungen im unteren Bereich. Die Depression in der Wurzelzone weist auf das Abschmelzen von massiven Eis im Untergrund hin. Die Schuttlage ist ausgesprochen grobkörnig, wobei einzelne Blöcke Durchmesser von bis zu über 10 m aufweisen. Die Messdaten (BTS, Geophysik, Bewegungsmessungen) weisen den Blockgletscher eindeutig als aktiv aus. Der heute aktive Blockgletscher überfährt einen älteren, inaktiven Blockgletscher, dieser wiederum liegt auf einem noch älteren, fossilen Blockgletscher. Entsprechend wird das Kar aus sehr mächtigem Blockgletschermaterial aufgefüllt, mit dem Georadar konnte daher der Felsuntergrund nicht erfasst werden.

Im oberen Abschnitt des Blockgletschers weist die Oberflächenmorphologie auf extensives Fließen hin, während im unteren Bereich die z.T. ausgeprägten transversalen Loben kompressives Fließen anzeigen.

Die jährlichen Bewegungsraten sind typischerweise im zentralen Bereich am höchsten und nehmen zu den Rändern des Blockgletschers, auch zur Stirn hin, kontinuierlich ab.

Die BTS-Daten sind am Blockgletscher deutlich niedriger als außerhalb des Blockgletschers und weisen eindeutig auf das Vorhandensein von Eis im Untergrund hin.

Die Schmelzwässer des aktiven Blockgletschers treten erst am Fuße der Stirn des fossilen Blockgletschers zutage, wobei die auffallend niedrige Quelltemperatur (1.4°C) ebenfalls auf das Vorhandensein von Eis im Untergrund hinweist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Schmelzwasser noch eine beträchtliche Strecke durch den fossilen, eisfreien Blockgletscher fließt, bevor es an der Quelle zutage tritt.

Das Ablflussverhalten des Blockgletschers ist, ähnlich wie bei anderen Blockgletschern, charakterisiert durch deutliche saisonale und während der Schneeschmelze auch durch tägliche Schwankungen. Starkniederschläge im Sommer und Frühherbst führen zu extremen Abflußspitzen. Die elektrische Leitfähigkeit des Quellwassers ist typisch für Blockgletscher mit metamorphen Gesteinen (hpts. Paragneis), am niedrigsten während der Schneeschmelze (Verdünnungseffekt durch das Schmelzwasser) und steigt zum Herbst hin kontinuierlich an, was auf den zunehmend höheren Anteil an höher mineralisiertem Grundwasser bzw. Bergwasser zurückzuführen ist (AUSSERER, 2009).

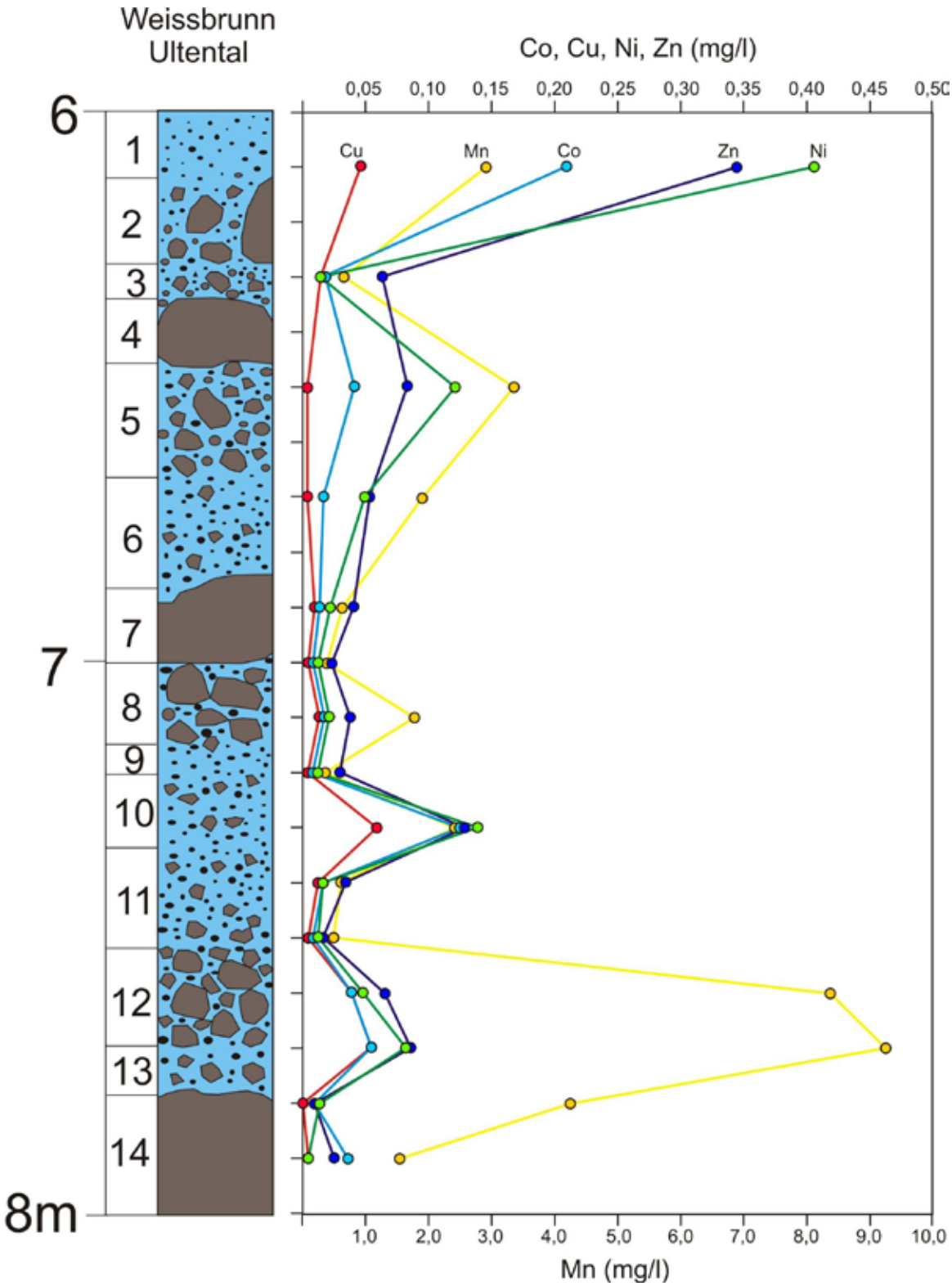


Abb. 9: Profil durch den Bohrkern vom Blockgletscher Rossbänk aus einer Tiefe zwischen 6 und 8 m mit Gehalten an Co, Cu, Mn, Ni und Zn (in mg/l).

3.2 BLOCKGLETSCHER LAZAUNKAR, SCHNALSTAL

3.2.1 Lage

Der Blockgletscher Lazaun (Abb. 10) liegt im nach Nordosten ausgerichteten Lazaunkar südwestlich von Kurzras im Schnalstal in den südlichen Ötztaler Alpen (Abb. 1). Das Lazaunkar wird im Westen vom Saldurkamm mit der Saldurspitze (3493 m) begrenzt.

Der Blockgletscher im Lazaunkar wurde im Detail von BRESSAN (2007) sowie von KRAINER et al., (2015) untersucht.

3.2.2 Geologie

Die Festgesteine im Bereich des Lazaunkares bestehen aus einer Wechselfolge von Paragneisen und Glimmerschiefern. Der Mineralbestand der Biotit-Plagioklasgneise umfasst Quarz, Plagioklas (Albit bis Oligoklas), Biotit und untergeordnet Muskovit.

Das Gestein ist stark geschiefert, glimmerreich, und verwittert rötlichbraun. Es werden zwei Typen unterschieden (je nach Auftreten von Sillimanit – TROPPER & HOINKES, 1996): mineralarmer bzw. mineralreicher (stärker porphyroblastisches Gefüge) Paragneis, wobei im Lazaunkar nur ersterer gefunden wurde. Die Glimmerschiefer enthalten Quarz, Muskovit, Biotit, Chlorit, Plagioklas, Granat, Staurolith, Andalusit und Disthen. Akzessorisch treten Zirkon, Titanit, Turmalin und Apatit. Je nach Mineralgehalt werden verschiedene Varietäten unterschieden, wobei im Untersuchungsgebiet Granatglimmerschiefer und Staurolith-Muskovitschiefer nachgewiesen werden konnten. Die Schieferung fällt generell nach SE ein.

Im Bereich des Lazaunkares können drei Störungssysteme unterschieden werden, die

Abb. 10: Der aktive Blockgletscher im Lazaunkar, Blick Richtung Westen.

beinahe senkrecht aufeinander stehen und im Paragneis blockförmigen Schutt liefern. Die N-S verlaufenden Störungen stehen meist steil (80-90°). Dominierend sind WSW-ENE verlaufende steile Störungen (70-90°). Flache Störungsflächen streuen stärker und fallen nach E bis S ein, mit einem mittleren Fallwinkel von 20-30°. Letztere Störungsflächen fallen auch mit der Hauptschieferung zusammen und schneiden diese in flachem Winkel, wobei dieser Effekt vor allem im stark geschieferten Glimmerschiefer plattige Bruchstücke liefert.

3.2.3 Morphologie

Das Lazaunkar wird im hinteren Abschnitt vom Lazaun-Blockgletscher ausgefüllt, der sich durch seine unverwitterte, hellgraue Farbe vom Moränematerial und dem bewachsenen Almboden deutlich abhebt.

Der aktive Blockgletscher Lazaun besitzt eine zungenförmige Form ist 660 m lang und bis zu 200 m breit. Der Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,12 km^2. Er zieht an der Nordflanke des Stotzgrates (Durchschnittshöhe 2830 m) entlang. Seine Wurzelzone liegt auf ungefähr 2700 m, die Stirn endet auf 2480 m. Der Blockgletscher wird aus der Felswand des westlichen Stotzgrates mit Verwitterungsschutt aus Glimmerschiefer und untergeordnet Paragneis versorgt. Diese Felswand erstreckt sich von 2750 m bis zum Grat auf 2900 m SH und ist stark aufgelockert.

Der südliche Rand des Blockgletschers zeigt nur eine schwach geneigte Böschung, begrenzt aber klar den Blockgletscher gegenüber mehreren kleinen Schuttkegeln. Die nördliche Seitenflanke ist stärker geneigt, verliert aber Richtung Wurzelzone an Höhe, bis sie in die Moränenkanzel des Gletschervorstoßes von 1850 übergeht. Die Stirn ist durch eine Depression in der Mitte in zwei Loben gespalten, die Neigung der Stirn beträgt 35-45°. Die Stirn ist ca. 29 m mächtig. Die Stirn des Blockgletschers überfährt eine alpine Rasenvegetation, am nördlichen Rand einen Murschuttfächer. Von der Wurzelzone aus bewegt sich der Blockgletscher zunächst in nordöstliche Richtung, biegt bei 2600 m SH nach Osten um und überfährt das sanft geneigte Gelände des Murkegels.

Die Oberfläche des Blockgletschers weist eine ausgeprägte Morphologie aus longitudinalen und transversalen Rücken und Vertiefungen auf. Longitudinale Rücken und Vertiefungen sind im oberen Bereich ausgebildet, während die transversalen Loben im unteren Bereich, vor allem nahe der Stirn, deutlich zu erkennen sind.

3.2.4 Korngröße

Die Oberfläche des Blockgletschers ist grobblockig und besteht aus kantigen Blöcken mit offenem Porenraum. Sand- und Siltfraktion findet sich nur untergeordnet, Tonfraktion fehlt. Feinmaterial wird offensichtlich von den oberflächennahen Bereichen durch Tauprozesse und Auswaschung in tiefere Lagen transportiert, und lässt die grobblockige, klastengestützte Schuttschicht übrig. Blockdurchmesser schwanken zwischen 0,2 und 1,5 m, vereinzelt kommen auch mehrere m große Blöcke vor. Auf feinkörnigen Bereichen dominieren Blöcke mit Korndurchmessern bis 10 cm (>35%), während Blöcke mit Durchmessern zwischen 11 und 60 cm untergeordnet und Blöcke > 60 cm selten sind. Auf grobkörnigeren Bereichen dominieren Blöcke mit Korndurchmessern bis zu 30 cm. Die Blockgröße ist abhängig von der Lithologie im Wurzelbereich und deren tektonischer Beanspruchung. Über Steinschlag und Lawinenabgänge gelangt das Lockermaterial in die Wurzelzone und somit auf die Oberfläche des Blockgletschers. Teilweise findet hier weitere Verwitterung des Materials statt, wie Grusmaterial in Spalten und Nischen von größeren Blöcken beweist.

3.2.5 Bodentemperaturen, BTS

Messperiode Winter 2005/2006

Alle Temperatursonden zeigen eine deutliche und rasche Temperaturabnahme von knapp 0°C zu Beginn der Messung am 15.11.2005 auf bis zu -15°C (TS 19 am 29.11.2005) innerhalb kurzer Zeit. Schwankungen der Lufttemperatur wirkten sich rasch und deutlich bei allen Sonden aus (z.B. 21. und 22.11.2005). Diese tiefen Werte blieben bis Anfang Dezember konstant bei den Sonden TS 19 und TS 20, während bei den restlichen Sonden eine Erwärmung auf -3 bis -5°C zu erkennen ist. Bei den Sonden TS 19 und 20 stieg die

Temperatur etwas später bis auf -10°C und blieb in den darauf folgenden Wochen konstant. Mit den ersten Schneefällen und dem Aufbau einer Schneedecke Anfang Dezember beginnt sich eine Schneedecke aufzubauen, die erst Anfang März ihre maximale Mächtigkeit von ca. 100 cm erreicht. Vom 10.12.2005 bis 18.02.2006 verlaufen Temperaturänderungen an der Basis der Schneedecke nur mit geringen Amplituden von wenigen °C, ganz im Gegensatz zur Lufttemperatur. Temperaturänderungen an der Basis der Schneedecke (BTS) sind um mehrere Tage gegenüber der Lufttemperatur außerhalb verzögert. Tagesschwankungen sind an der Basis der Schneedecke keine zu erkennen.

Mit zunehmender Schneedecke (ab ca. 80 cm) werden die Temperaturschwankungen immer schwächer, und die Temperaturen liegen zwischen -8 bis -10°C am Blockgletscher (gesamter Februar), außer die Sonde S 16, die vor dem Blockgletscher positioniert war, die im selben Zeitraum Werte um -1°C aufzeichnete.

Mit Beginn der Schneeschmelze Ende April stiegen die Werte auf dem Blockgletscher innerhalb weniger Tage auf 0°C an.

Kälteeinbrüche verursachen in der ersten Winterhälfte bis Mitte Februar größere Temperaturschwankungen in der Schuttschicht als Wärmephasen, die im Untersuchungsgebiet durch Nordstaulage und Föhnwinde verursacht werden.

Die Temperaturen blieben auf dem Blockgletscher von Beginn der Messreihe (15.11.2005) bis Anfang Mai (05.05 bis 19.05.2006) unter 0°C, während sie außerhalb des Blockgletschers diesen Wert Ende März erreichen (um den 29.03.2006). Die Temperaturen bleiben also am Blockgletscher fast um zwei Monate länger unter dem Gefrierpunkt.

Die Temperaturänderungen an der Basis der Schneedecke erfolgen zunächst rasch und verlaufen synchron mit der Lufttemperatur, nehmen jedoch dann an Amplitude ab und pendeln sich auf einen konstanten Wert ein.

Mit Beginn der Schneeschmelze steigen die Temperaturen innerhalb weniger Tage kontinuierlich bis auf 0°C. Mit dem vollständigen Abbau der Schneedecke registrieren die Sonden wieder die typischen Tagesschwankungen der Lufttemperatur.

Messperiode Lazaun BTS Winter 2006 /2007

In der Messperiode Winter 2006-2007 wurden 7 Sonden am Blockgletscher und 3 außerhalb des Blockgletschers installiert. Sonde BTS 1 wurde in einer Mulde direkt oberhalb GPS-Punkt 54 installiert, BTS 2 direkt bei Messpunkt 54. Die Sonden BTS 3-4-5 wurden in Form eines 1 m tiefen Profils ca. 30 m oberhalb GPS-Punkt 40 installiert, BTS 6 in einer Mulde über diesem Punkt und BTS 7 wiederum direkt am Punkt 40. BTS 8 wurde außerhalb des Blockgletschers, an einem nördlich gelegenen Rücken installiert, BTS 9 und 10 schließlich direkt vor der Blockgletscherstirn.

Auch hier sind zu Beginn der Messperiode die tiefsten Temperaturen gemessen worden, bis zu -12°C am Blockgletscher, und -8 bis -10°C außerhalb (um den 03.11.2006). Danach kam es wieder zu einer Schönwetterphase mit höheren Lufttemperaturen, die von den Sonden ebenfalls aufgezeichnet wurden.

Tägliche Temperaturschwankungen werden von den Sonden BTS 1, 2, 3, 8, 9 und 10 zunächst mit 2 Stunden (bis zum 09.11), später mit 4 Stunden (bis zum 14.11) Verzögerung gegenüber der Außentemperatur noch bis zum 17.11 aufgezeichnet, danach bleiben die Temperaturen außerhalb des Blockgletschers konstant bei ca. 1°C bis Anfang April (erster Schnee bei Messstation Vernagt um den 26.11.). Die Sonden BTS 4, 6, 7 und besonders 5 zeigen dagegen keine Tageszyklen, sondern nur langfristige Temperaturtrends über mehrere Tage (BTS 4 und 5 bildeten das Profil in ca. 60 und 100 cm Tiefe).

Die Temperaturen am Blockgletscher weisen noch deutliche langfristige Temperaturschwankungen zwischen 9. November (Höchstwerte um -3 bis -4°C) und 29. Dezember (Tiefstwerte um -5,5 bis -8,5°C) auf. Im Jänner 2007 treten Schwankungen zwischen -7 und -5°C auf, im Februar Schwankungen zwischen -5,5 und -8°C.

Ab März pendelten sich die Temperaturen auf dem Blockgletscher auf konstante Werte um -5,5°C ein. Um den 15. April herum kam es dann zu einer raschen Temperaturzunahme von -4°C auf 0°C zu Beginn der Schneeschmelze (14. bis 26.04), wobei einige Schneeflecken bis Juni überdauerten.

Die Temperaturen innerhalb und außerhalb des Blockgletschers blieben ungefähr gleich lang

unter 0°C (01.11.2006 -24.04.2007) im Unterschied zur Messung im Winter 2005-06.
Die Sonden im Bereich des Temperaturprofils BTS 3, 4 und 5 ermöglichten es, den Temperaturgang im Schuttmantel auch in den ersten Sommermonaten zu dokumentieren. Mit zunehmender Tiefe verringern sich die täglichen Amplituden, die dem Tagesgang der Lufttemperatur folgen. Die Sonde BTS 5 in ca. 1 m Tiefe zeigte nur noch Reaktion auf den langfristigen Temperaturgang, Tagesschwankungen fehlen völlig.
Im Winter dagegen zeigten die 3 Sonden keine Tagesrhythmen im Temperaturgang, allerdings waren die Temperaturen mit zunehmender Tiefe (100 cm) um bis zu 1,5°C wärmer (Monat Februar), am 3. November, beim schnellen Temperaturabfall sogar um 3°C . Die Beobachtung, dass mit zunehmender Tiefe die Temperaturen auf einem Blockgletscher wieder relativ steigen, wurde auch von BERGER (2002) und BERGER et al. (2004), FIGL (2004), KRAINER UND MOSTLER (2000, 2001 und 2005) und PICCOLRUAZ (2004) gemacht. Alle Sonden des Profils erreichen ab Anfang März (02.03.2007) bis Mitte April (12.04.2007) eine relativ konstante Temperatur ohne langfristige Schwankungen, aber mit langsamen Anstieg der Temperaturen von -5,2 (März) bis -7,2°C (April). Ab dem 13.04 bis einschließlich 16.04 kommt es zu einem raschen Temperaturanstieg bis auf 0°C, eine Temperatur die bis zum 23.05 konstant bleibt (Schneeschmelze).
Werden mit den durchschnittlichen BTS- Werten (-9 bis -5°C) die Auftautiefen des Permafrost abgeschätzt, nach der Formel von HAEBERLI & PATZELT (1982)„Auftautiefe = 6,59-0,69*BTS", gelangt man beim Blockgletscher Lazaun auf Werte zwischen 0,4 m (BTS -9°C) und 3,2 m (-5°C). Oberflächlich konnte zwar am gesamten Blockgletscher kein Eis gefunden werden, beim Messpunkt BTS 1 Punkt lag jedoch wahrscheinlich massives Eis dicht unter der Oberfläche (Details siehe BRESSAN, 2007).

3.2.6 Hydrologie

Das Abflussverhalten des Blockgletschers ist geprägt durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen, ähnlich wie bei anderen Blockgletschern (KRAINER und MOSTLER, 2001, 2002, KRAINER et al., 2007). Die Schneeschmelze setzt Ende April/Anfang Mai ein, hohe Abflüsse werden während der Schneeschmelze im Juni und Juli sowie unmittelbar nach stärkeren Niederschlagsereignissen gemessen. Schlechtwettereinbrüche mit kalter Witterung und Schneefall können den Abfluss im Somme stark reduzieren. An warmen und sonnigen Tagen ist der Abfluss auch von starken täglichen Schwankungen geprägt mit den geringsten Durchflusswerten um die Mittagszeit und den Abflußspitzen in den späten Abendstunden. Ab Ende Juli/Anfang August geht der Abfluss kontinuierlich zurück, nur unterbrochen von einzelnen, durch Niederschlagsereignisse ausgelösten Peaks. Von Ende November bis zum Beginn der Schneeschmelze im Frühjahr beträgt der Abfluss nur wenige Liter pro Sekunde.
Der Abfluss des Blockgletschers ist während der Schneeschmelze (Juni) am höchsten, mit Spitzen bis zu 138 l/s und nimmt über den Sommer hinweg bis Herbst kontinuierlich ab, um in den Wintermonaten ein Minimum von 9 l/s zu erreichen. Der durchschnittliche Sommerabfluss (Juli bis Oktober) liegt bei ca. 26 l/s (Abb. 11).
Im Lazaunkar wurden zwei Arten von Quellen festgestellt:
Quellen mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit und niedriger Quelltemperatur. Diese Quellen stehen in Verbindung mit Permafrost (Blockgletscherquellen) oder mit den Gletschern der Saldurspitze:
Blockgletscherquelle BG: 160 - 280 µS/cm
Blockgletscherquelle Q3: 50 - 460 µS/cm
Quellfassung QF: 155 - 230 µS/cm
Gletscherbach GB: 90 - 250 µS/cm
Daneben treten im nördlichen Bereich des Kares zwei Quellen auf, die durch eine sehr niedrige elektrische Leitfähigkeit und höhere Quelltemperaturen gekennzeichnet sind und nicht mit Permafrost oder den Gletschern in Verbindung stehen. Dies gilt auch für den Lazaunsee:
Quelle Q 1: 10 - 30 µS/cm
Quelle Q 2: 50 - 80 µS/cm
Lazaunsee: 10 - 50 µS/cm
In alle Quellen, die mit Permafrost oder den Gletschern in Verbindung stehen, wurden auch erhöhte Konzentrationen an Ni festgestellt, wobei die Werte teilweise deutlich über dem Grenzwert

für Trinkwasser liegen. Die maximalen Werte liegen für die Blockgletscherquelle bei 0,066 mg/l, für die Quelle Q 3 bei 0,175 mg/l, für die Quellfassung bei 0,069 mg/l und für den Gletscherbach bei 0,083 mg/l.

Bei der Blockgletscherquelle sind elektrische Leitfähigkeit und Ni-Konzentration während der Schneeschmelze und hohen Abflussmengen im Mai und Juni am niedrigsten und steigen mit abnehmender Schüttungsmenge zum Herbst hin an.

Die Herkunft des Nickels ist unklar. Gesteinsanalysen haben gezeigt, dass im Festgestein Nickel nicht in erhöhten Konzentrationen enthalten ist. Allerdings konnte durch die Analyse der Bohrkerne gezeigt werden, dass Ni im Permafrosteis des Blockgletschers in einzelnen Lagen sehr stark angereichert ist. Die höchsten Konzentrationen wurden in Lagen in ca. 4,5 m, 9,8 m und 12,2 m festgestellt. Das Ni in den Blockgletscherquellen wird durch verstärktes Abschmelzen des Permafrosteises freigesetzt, auch im Gletschereis ist offensichtlich Ni in erhöhten Konzentrationen enthalten.

3.2.7 Bewegungsmessungen

Aufgrund der Morphologie des Blockgletschers wurde bereits vor den GPS-Messungen vermutet, dass die Bewegungen in der Mitte und im hinteren Bereich, sowie an der nördlichen Blockgletscherstirn am größten sind. Die Messungen bestätigten im Wesentlichen diese Beobachtungen.

Die höchsten Bewegungsraten wurden an den Messpunkten von Transect 1 und die niedrigsten an den Messpunkten von Transect 5 gemessen. Die Bewegungsraten haben von 2006 bis 2012 deutlich zugenommen. Im Stirnbereich (Transect 1) wurden im Zeitraum 2006 -2007 maximale Bewegungsraten von 0,77 m gemessen (Abb. 12), im Zeitraum 2011-2012 betrug die Bewegungsrate beim Messpunkt 5 (Transect 1) 1,71 m.

Für den Zeitraum 2011-2012 lagen die durchschnittlichen täglichen Bewegungsraten bei den Messpunkten des Transects 1 zwischen 2,8 und 4,5 mm, bei den Messpunkten von Transect 5 zwischen 0,4 und 2,8 mm (siehe KRAINER et al., 2015).

Die Bereiche des Blockgletschers mit den höchsten Bewegungsraten fallen mit den

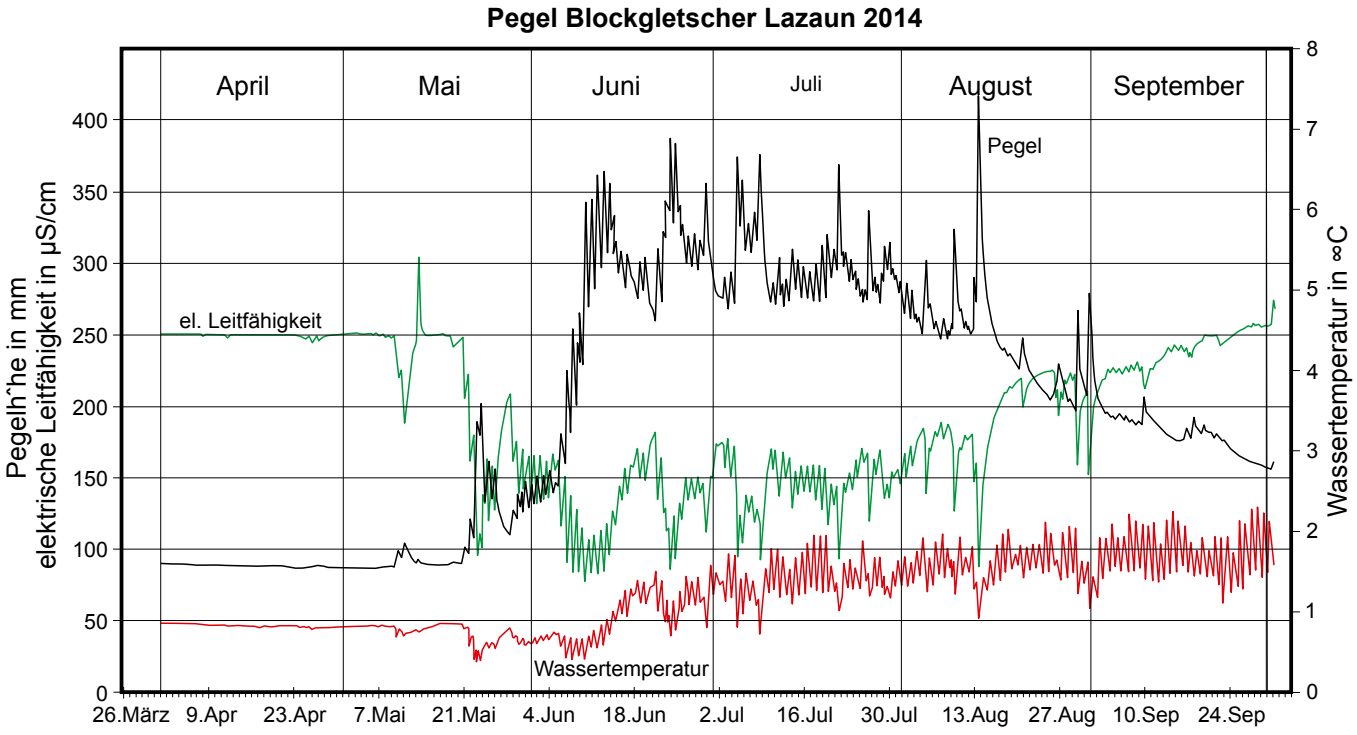


Abb. 11: Abfluss (Wasserhöhe), elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur an der Pegelmesstelle von April bis Ende September 2014.

Verflachungszonen und den ausgeprägten Querwülsten zusammen.
Gemessene Höhendifferenzen am Blockgletscher Lazaun zeigten eine Mächtigkeitsabnahme von bis zu 30 cm auf der nordöstlichen Stirn, in der Mitte geringere Werte um 20-5 cm. Mächtigkeitszunahme konnte nicht beobachtet werden. Unterschiedliche Beträge innerhalb desselben Querprofiles lassen vermuten, dass diese Werte nicht allein die Topographie des Hanges nachzeichnen (mit einer durchschnittlichen Neigung von 20°), sondern auch zu einem gewissen Anteil tatsächlich die Mächtigkeitsabnahme des Blockgletschers nachzeichnen.
Die Messpunkte mit den ausgeprägtesten Beträgen bei der vertikalen Komponente waren auch jene mit der größten horizontalen Bewegung, das Muster der Bewegung war bei beiden Komponenten ähnlich.

3.2.8 Bohrungen

Am Blockgletscher wurden im Zungenbereich zwei gekühlte Rotationsbohrungen abgeteuft,

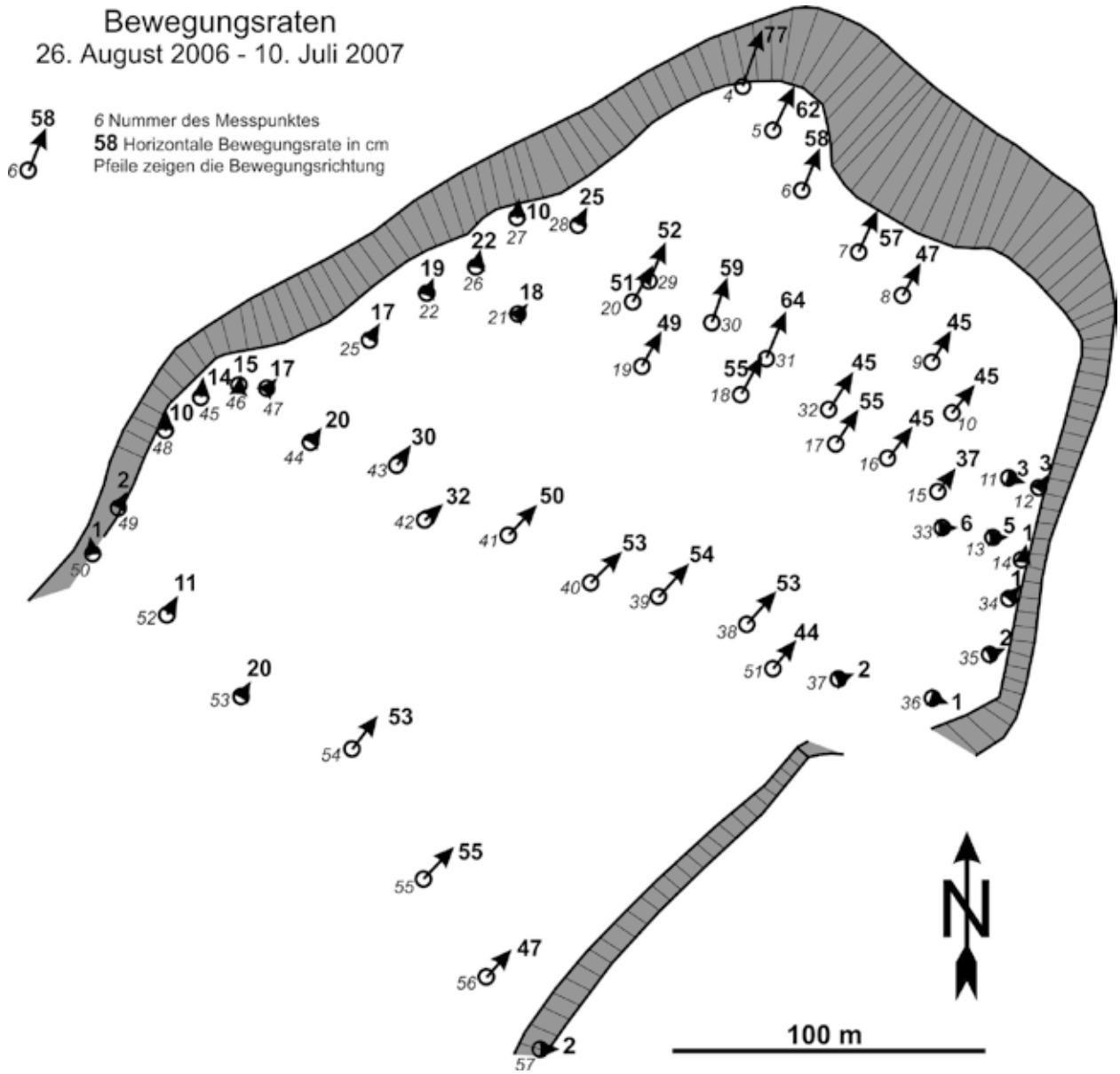


Abb. 12: Bewegungsraten (GPS-Messungen) am Blockgletscher Lazaun für den Zeitraum 26. August 2006 bis 10. Juli 2007.

der Bohrdurchmesser betrug 12,5 cm (siehe Abb. 13). Der Bohrpunkt von Bohrung Lazaun I lag ca. 240 m von der Stirn entfernt auf ca. 2580 m Seehöhe, Bohrpunkt Lazaun II lag nahe der Stirn auf ca. 2538 m Seehöhe (Details siehe KRAINER et al., 2015).

Bohrung Lazaun I lieferte einen 40 m langen Bohrkern. Die aktive, ungefrorene Schuttlage war 2.8 m mächtig, darunter folgte ein durchgehend gefrorener Kern bis in eine Tiefe von 14,70 m. Zwischen 14,70 m und 16,82 m wurde eine eisfreie Lage durchbohrt, darunter folgte bis 25 m wieder ein durchgehend gefrorener Kern. Zwischen 19,5 und 25 m war der Eisanteil hoch und das Eis zeigte eine deutliche Bänderung (Abb. 14). Von 25 bis 28 m Tiefe wurde grobblockiges Material durchbohrt, zwischen 28 m und 40 m wurde Schutt mit einem hohen Feinanteil erbohrt. Im gefrorenen Kern lag der Eisanteil zwischen 1 und 98%, der durchschnittliche Eisanteil lag bei 43%. Ein höherer Eisanteil wurde zwischen 2,8 und 14 m (48%) sowie zwischen 19,5 und 25 m (51%) festgestellt. Bei der Bohrung Lazaun II war die aktive Lage 4,5 m mächtig. Der Eisgehalt war im Vergleich zu Bohrung Lazaun I deutlich geringer. Eis wurde zwischen 4,5 und 5 m, zwischen 6,65 und 7,7 m, zwischen 9,1 und 10,5 m sowie zwischen 15,5 und 18,5 m angetroffen. Von 18,5 bis 24,5 m wurde grobblockiges Material mit wenig Feinmaterial durchbohrt, darunter folgte bis zur Endteufe von 32 m grobblockiges Material mit einem hohen Feinanteil. Der durchschnittliche Eisgehalt der gefrorenen Kernabschnitte betrug 22% (siehe KRAINER et al. 2015).

Insgesamt lieferten 11 Eisproben aus dem Kern Lazaun I und 2 Eisproben aus dem Kern Lazaun II eine genügend große Menge an Makropflanzenresten (1,1 - 9,7 mg Trockengewicht) für Radiokarbondatierungen (AMS-Methode). Aus dem Kern Lazaun I lieferten die Eisproben Alter von 2240 yr cal BP in 2,82 m Tiefe bis 8960 yr cal BP in 23,5 m Tiefe. Nach dem Altersmodell liegt das Alter des Eises an der Basis des Blockgletschers in 25 m Tiefe bei ca. 10.300 yr cal BP. Die eisfreie Lage zwischen 14,70 und 16,82 m entspricht dem Zeitraum von ca. 3740 - 4300 yr cal BP.

Im Kern Lazaun II wurden für das Eis in 7, 27 m und 9,47 m Alter von 5257 und 5873 yr cal BP gemessen (Abb. 13; Details siehe KRAINER et al., 2015).

Interessante Daten lieferten auch die Temperaturmessungen im Bohrloch. Im Jahr 2011 lag die niedrigste Temperatur im Bohrloch Lazaun I im Abschnitt zwischen 10 und 25 m zwischen -0,9°C und -0,1°C. Die höchsten Temperaturen lagen bis 10 m Tiefe > 0°C und zwischen 10 und 35 m Tiefe zwischen -0,1 und -0,4°C. Auch im Bohrloch Lazaun II wurden im Bereich des gefrorenen Kernes nie Temperaturen unter -1°C gemessen, die Temperaturen lagen immer nahe am Gefrierpunkt (Details siehe KRAINER et al. 2015).

Inklinometermessungen im Bohrloch Lazaun I zeigten einen deutlichen Scherhorizont zwischen 20 und 25 m Tiefe, also an der Basis des Blockgletschers, mit einem Deformationsbetrag von 12 cm in 36 Tagen (3,3 mm/Tag). Ein weiterer Scherhorizont wurde in 14 m Tiefe, an der Basis des oberen gefrorenen Körpers festgestellt mit Deformationsraten von 6 cm in 36 Tagen. Deformationen sind ausschließlich an diese Scherhorizonte an der Basis der beiden gefrorenen Körper gebunden, innerhalb der gefrorenen Körper wurden keine Deformationen gemessen (Details siehe KRAINER et al., 2015).

3.2.9 Schlussfolgerungen

Der aktive Blockgletscher Lazaun weist eine unverkennbare zungenförmige Form auf, mit einer steilen Stirn zwischen 30-50°. Die ausgebildete Depression an der Wurzelzone des Blockgletschers Lazaun spricht dafür, dass eine beträchtliche Eismenge (massiver Eiskern) an dieser Stelle abgeschmolzen sein muss. Die Messdaten (Bewegungsmessungen, BTS, Quelltemperatur), steile Stirn und Oberflächenmorphologie zeigen, dass es sich um einen aktiven Blockgletscher handelt, der möglicherweise im oberen Bereich einen massiven Eiskern besitzt.

Das Abflussgeschehen des Blockgletschers ist durch starke saisonale und tägliche Schwankungen gekennzeichnet, ähnlich wie es von anderen Blockgletschern bekannt ist (KRAINER und MOSTLER 2002, KRAINER et al., 2007).

Im Gegensatz zu Beobachtungen durch BERGER et al. (2004) schienen Schlechtwetterphasen am Blockgletscher Lazaun kaum den Abfluss zu beeinflussen. Ausgeprägte Tagesschwankungen des Pegels konnten bis Juni beobachtet werden. Maxima des Abflusses fanden im Juni meist in den frühen Abendstunden um ca. 20.00 Uhr statt (Höchstwert Lufttemperatur Kurzras 14.00), im Juli verschoben sie sich um einige

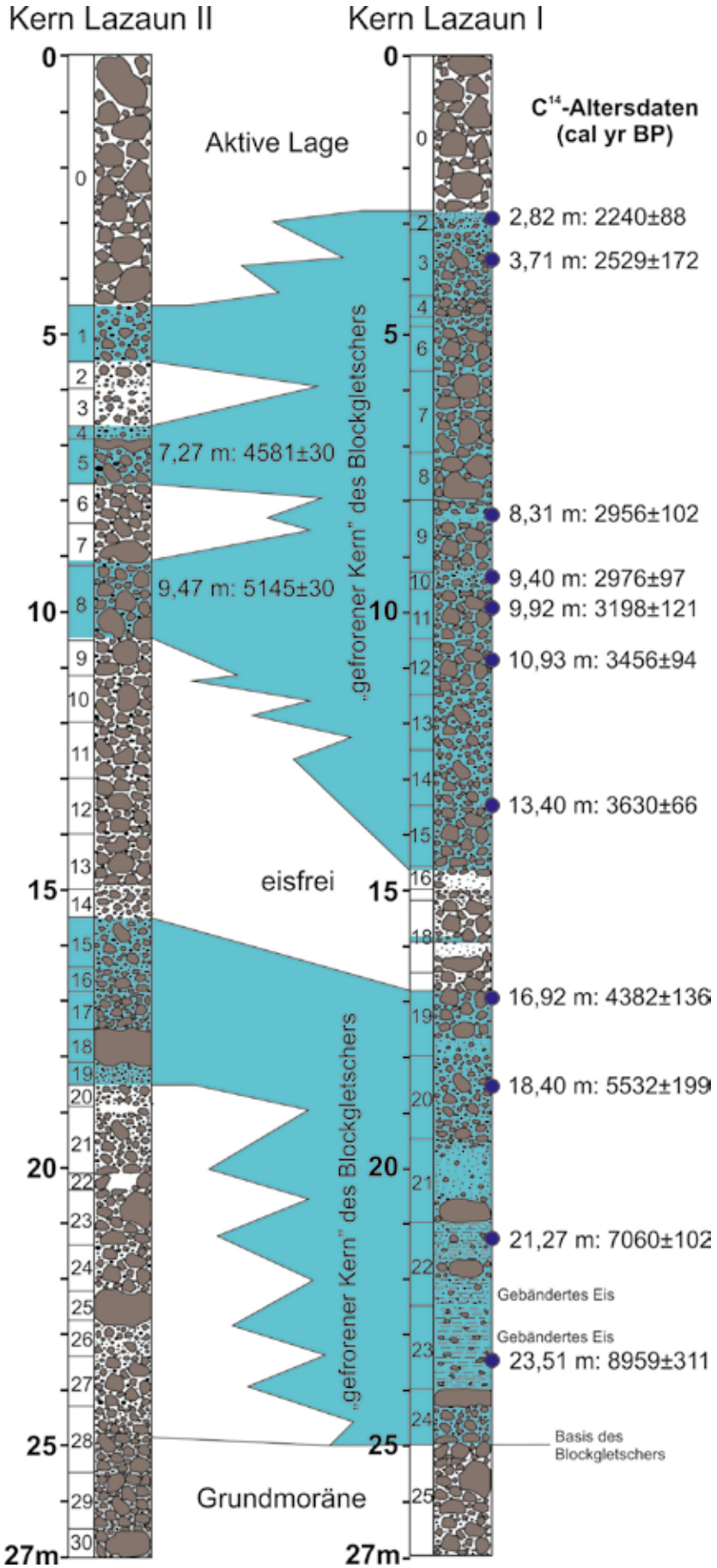


Abb. 13:
Profile der beiden Kernbohrungen (Lazaun I und II) am Blockgletscher Lazaun mit den C14-Altersdaten (nach KRAINER et al., 2015, verändert).

Abb. 14: Bohrkern bestehend aus gebändertem Eis und feinkörnigem Sediment mit einigen Steinen aus der Bohrung Lazaun I.

Stunden bis auf 23.00 Uhr (Höchstwert Temperatur 15.00 -16.00). Zwei Arten von Abfluss können unterschieden werden, Basis- und Direktabfluss (KRAINER & MOSTLER, 2002). Der Direktabfluss setzt sich hauptsächlich aus den oberflächlichen Niederschlägen zusammen, der Basisabfluss aus der Ablation des inneren Eises und aus Grundwasser. Die Leitfähigkeit ist während der Schneeschmelze am geringsten und steigt danach, um im Winter Höchstwerte zu erreichen.

Aufgrund der Hydrochemie kann ein ähnliches Abflussmodell wie von KRAINER & MOSTLER (2002) postuliert werden.

Die Bohrungen haben den hohen Eisgehalt von >40% bestätigt. Die Daten haben auch gezeigt, dass der Blockgletscher aus zwei gefrorenen Körpern besteht, die durch eine eisfreie Lage getrennt sind. Überraschende Ergebnisse lieferten die Radiokarbondatierungen an Makropflanzenresten im Permafrosteis, die für das Eis an der Basis des Blockgletschers ein Alter von ca. 10.300 Jahren ergaben. Demnach hat sich der Blockgletscher im Lazaunkar unmittelbar nach dem Rückzug des Egesen-Gletschers zu bilden begonnen und das Eis des Blockgletschers ist seither, geschützt durch die oberflächliche Schuttlage, erhalten geblieben. Derzeit ist der Blockgletscher sehr aktiv mit jährlichen Bewegungsraten von bis zu 1.7 m. Diese aktiven Phasen können in den letzten 10.000 Jahren aber nur relativ kurz gedauert haben, die meiste Zeit muss der Blockgletscher, der nur rund 660 m lang ist, inaktiv gewesen sein. Inklinometermessungen im Bohrloch haben gezeigt, dass der Blockgletscher an der Basis der beiden gefrorenen Körper einen Scherhorizont aufweist und sich somit durch basales Gleiten bewegt. Innerhalb der gefrorenen Körper konnte keine nennenswerte Deformation gemessen werden.

Trotz des hohen Alters des Eises an der Basis befindet sich die Temperatur des Eises im Bohrloch nahe am Gefrierpunkt. Dieses „warme“ Permafrosteis

ist auf die Klimaerwärmung zurückzuführen und, zusammen mit einem höheren Anteil an Schmelzwasser wohl auch verantwortlich für die derzeit hohen Bewegungsraten.
Die eisfreie Lage konnte mit ca. 4300 bis 3740 cal yr BP datiert werden und weist auf eine rund 500 Jahre lange trockene, warme Klimaphase. Eisanalysen haben gezeigt, dass das Ni, das im Wasser der Blockgletscherquelle in hohen Konzentra-tionen enthalten ist, aus dem Eis des Blockgletschers freigesetzt wird (Details siehe KRAINER et al., 2015).

3.3 BLOCKGLETSCHER MURFREIT, SELLA NORDSEITE

3.3.1 Lage

Der Blockgletscher „Murfreit" sowie ein weiterer Blockgletscher („Sas dala Luesa") liegen in der nördlichen Sellagruppe auf der sogenannten „Mittelterrasse" (Meisules), südlich des Grödner Joches bzw. westlich der Pisciadú-Hütte auf einer Seehöhe von ca. 2670 m (Abb. 1, Abb. 15a,b, siehe Karte Abb. 16).

Abb. 15a: Die ausgeprägte „Raibler Terrasse" auf der Nordseite der Sella wird fast vollständig vom Blockgletscher Murfreit eingenommen (rechte Bildhälfte).

Abb. 15b: Die ausgeprägte „Raibler Terrasse" auf der Nordseite der Sella wird fast vollständig vom Blockgletscher Murfreit eingenommen (Blick nach Osten).

3.3.2 Geologie

Die „Raibler Terrasse", auf der die Blockgletscher liegen, ist an der Nordseite der Sellagruppe am deutlichsten ausgeprägt („Mittelterrasse"). Diese Terrasse liegt im Niveau der Raibl-Gruppe, die in der Sellagruppe in Form der Pordoi-Formation aufgeschlossen ist. Die Terrasse entstand durch die stärkere Verwitterung der Gesteine der Pordoi Formation (Abb. 16).

Die Pordoi Formation wird vom Cassianer Dolomit unterlagert und von Hauptdolomit überlagert.

Der Cassianer Dolomit (Karn) setzt sich aus beigen bis hellgrauen Dolomiten zusammen, die aus kalkigen Plattformsedimenten entstanden sind. Die ursprüngliche Plattformgeometrie ist im Bereich der Sellagruppe mit 30 - 35° steilen Klinoformen an den Flanken, sowie einem massig ausgebildeten Plattformrand mit teilweise Großoolithen und horizontal geschichteten Dolomitbänken im Inneren der Plattform noch gut erkennbar (KEIM & SCHLAGER, 2001).

Die Pordoi-Formation (oberes Karn) ist an der Nordseite der Sellagruppe großteils von Schutt und Blockgletschern bedeckt und nur an wenigen Stellen aufgeschlossen. Die Abfolge erreicht eine Mächtigkeit von ca. 30 m und besteht im unteren Abschnitt aus bräunlichen, arenitischen Dolomiten, die vereinzelt Crinoidenstielglieder enthalten. Ungefähr 10 m über der Basis ist ein 5 cm dicker grünlicher Dolomitarenit eingeschaltet, der auch etwas Feldspat und Chlorit enthält, die möglicherweise vulkanischer Herkunft sind. Im oberen Abschnitt dominieren helle stromatolithische Dolomite mit LF-Gefügen. Vereinzelt sind Fossilien enthalten (u.a. die Foraminifere *Trocholina procera* und das Mikroproblematikum „Ladinosphäre", das nur aus dem Cordevol bekannt ist. Zwischen den Dolomitbänken sind teilweise dünne mergelige Lagen ausgebildet.

Die Sedimente der Pordoi-Formation werden als Ablagerungen eines flachen Meeres mit zeitweise erhöhter Salinität interpretiert (KEIM 2000, MUSSNER, 2010).

Synsedimentäre Extensionstektonik im Karn wird durch grabenartige Strukturen (am Westende des Masores de Murfreit, an der Basis des Piz Pisciadú), Abschiebungen und brecciösen Spaltenfüllungen angezeigt (MUSSNER, 2010).

Der Hauptdolomit (Nor) stellt eine zyklische Abfolge aus meterdicken Bänken mit Bivalven (v.a. Megalodonten) und Gastropoden (*Worthenia*) sowie dünnen Bänken aus Stromatolithen dar. Vereinzelt sind auch Breccien und dünne mergelige Lagen eingeschaltet. Im Einzugsgebiet der untersuchten Blockgletscher ist der Hauptdolomit stark geklüftet und wird vor allem von NNE-SSW sowie NNW-SSE bis NW-SE streichenden Störungen durchzogen. Entlang dieser Störungen ist der Hauptdolomit stark zerlegt und die Blockgletscher werden hauptsächlich von diesen Störungszonen mit Verwitterungsschutt beliefert (siehe Karte Abb. 16).

3.3.3 Morphologie

In der nördlichen Sellagruppe konnten insgesamt 10 Blockgletscher lokalisiert werden. Davon wurden vier als aktiv, fünf als inaktiv und einer als fossil eingestuft. Die Blockgletscher bedecken eine Fläche von insgesamt 53.5 ha (siehe MUSSNER, 2010).

Der Blockgletscher „Murfreit" ist der weitaus größte Blockgletscher (Abb. 17). Es ist auch gleichzeitig der aktivste Blockgletscher. Unmittelbar östlich liegt der Blockgletscher Sas dala Luesa. Beide Blockgletscher liegen auf der „Mittelterrasse" westlich der Pisciadú-Hütte.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Blockgletscher Murfreit, der im Detail untersucht wurde.

Es handelt sich um einen lappenförmigen, aktiven Blockgletscher mit einem massiven Eiskern. Der Blockgletscher ist 420 m lang und 1100 m breit und bedeckt eine Fläche von 33.6 ha. Die Stirn endet auf einer Seehöhe von 2590 m, die Wurzelzone liegt auf 2770 m. Der Blockgletscher ist nach Norden bis Nordwesten ausgerichtet und wird im Süden von einer steilen Felswand mit Gipfelhöhen von knapp 3000 m begrenzt. Diese steile Felswand besteht aus Hauptdolomit, der von zahlreichen, steil stehenden Störungen durchzogen wird. Vor allem aus diesen Störungszonen, entlang welcher der Hauptdolomit stark tektonisch zerlegt ist, wird der Blockgletscher mit Verwitterungsschutt versorgt. Aber auch neben den Störungen ist in den steilen Felswänden mitunter starke Steinschlagaktivität zu beobachten. Entsprechend besteht der Blockgletscher ausschließlich aus Hauptdolomitschutt unterschiedlicher Korngröße.

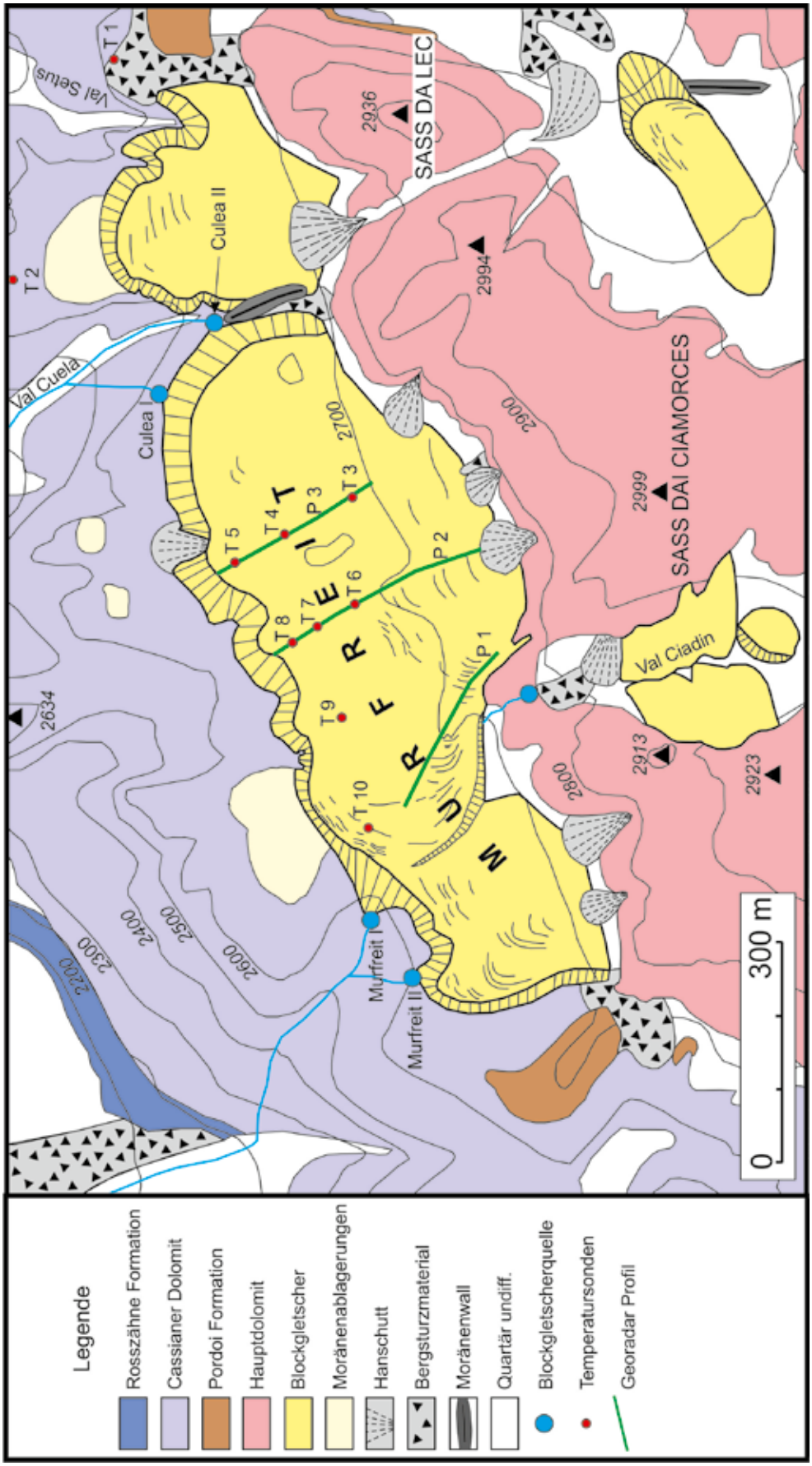


Abb. 16: Geologische Karte des Blockgletschers Murfreit auf der Nordseite der Sellagruppe

Abb. 17: Blick auf den Blockgletscher Murfreit, der fast die gesamte Terrasse einnimmt.

Die im Westabschnitt bis zu > 40° steile Stirn endet stellenweise direkt an der Abbruchkante der Terrasse (Abb. 18). Die steile Stirn und auch die Oberfläche des Blockgletschers sind frei von Vegetation. Im Bereich der Stirn ist der Blockgletscher meist um die 20 m, im westlichen Bereich bis zu 40 m mächtig.

Die Schuttlage („active layer") ist im Bereich der Wurzelzone oft nur 10 - 15 cm dick und wird zur Stirn hin zunehmend dicker, erreicht eine Mächtigkeit von mehreren Metern. Am Wandfuß, im Bereich der Wurzelzone, ist stellenweise eine deutliche Depression ausgebildet.

In den Sommermonaten ist am Blockgletscher meist ein Thermokarstsee vorhanden („Drachensee";„Lech di Dragon"), der seit 1899 durch Fotos dokumentiert ist. Dieser Thermokarstsee hat seine Form ständig verändert und ist in den letzten Jahrzehnten auch mehrmals ausgebrochen. Zeitweise (in den 50er Jahren) wurde der Drachensee von einer bis zu 25 m hohen Wand aus gebänderten Eis begrenzt. Im Jahr 2004 bedeckte der See eine Fläche von ca. 1000 m². Im Sommer 2006 hat sich westlich des Drachensees ein weiterer Thermokarstsee gebildet, der im darauf folgenden Jahr ebenfalls ausgebrochen ist und eine bis zu ca. 12 m tiefe trichterförmige Senke hinterlassen hat (Abb. 19) .

Im Bereich der Thermokarstseen ist die Schuttlage 0.8 bis 1 m dick, darunter ist bis zu > 10 m mächtiges, grobkörniges, gebändertes Gletschereis aufgeschlossen. Entlang der Bänderung (Scherflächen) sind dünne, feinkörnige Schuttlagen im Eis sichtbar, selten sind im Eis auch größere Gesteinsblöcke eingeschlossen.

An den Rändern der Thermokarstseen ist deutlich zu erkennen, dass der über dem Eiskörper liegende Schuttmantel aus zwei Lagen besteht: eine Lage mit einem hohen Feinanteil direkt über dem Eiskörper wird von einer grobblockigen Lage mit wenig, stellenweise auch fehlendem Feinanteil überlagert.

Im westlichen Teil des Blockgletschers sind an der Oberfläche deutliche transversale Loben ausgebildet.

Abb. 18:
Westlicher Teil des Blockgletschers mit der steilen Stirn, die stellenweise direkt an der Abbruchkante der Terrasse endet.

Abb. 19: Trichterförmige Senke, verursacht durch den Ausbruch eines Thermokarstsees. Unter einer dünnen Schuttdecke ist massives, gebändertes Eis erkennbar.

3.3.4 Korngröße

Die Korngröße der oberflächlichen Schuttlage wurde auf vier verschiedenen Flächen von 4 x 4 m an ca. 200 Geröllen gemessen (längster Korndurchmesser). Zusätzlich wurden im Stirnbereich aus der feinkörnigeren Lage insgesamt 5 Proben von je 3 - 5 kg für Siebanalysen entnommen.

Die oberflächliche Schuttlage ist im östlichen Bereich etwas feinkörniger als im westlichen Bereich. Generell variiert die Korngröße, grobkörnigere Bereiche wechseln mit feinkörnigeren Bereichen. Die Korngröße liegt meist < 1 m, lokal liegen am Blockgletscher auch Felsblöcke mit einem Durchmesser von bis zu mehreren Metern, die auf kleine Felssturzereignisse hinweisen.

In der oberflächlichen Schuttlage dominieren Korngrößen von 1 - 10 cm und 11 - 20 cm, auch Korngrößen von 21 - 30 cm und 31 - 40 cm sind stellenweise noch häufig vertreten. Korngrößen > 60 cm sind selten, > 100 cm sehr selten (Abb. 20). Die Korngrößen sind sehr ähnlich wie am Blockgletscher im Gletscherkar und Gaislkar (Hohe Gaisl), am Blockgletscher Murfreit sind allerdings größere Blöcke (> 60 cm) etwas häufiger vertreten.

Die Kornsummenkurven der fünf feinkörnigen Proben zeigen einen ähnlichen Verlauf und somit eine ähnliche Korngrößenverteilung, die vergleichbar sind mit den Kornsummenkurven anderer Blockgletscher. Alle Proben zeigen eine sehr schlechte Sortierung, bestehen vor allem aus Kies mit einzelnen größeren Geröllen und Grobsand. Feinsand, Silt und Ton sind mit weniger als 10 Gewichtsprozent beteiligt.

3.3.5 Bodentemperaturen, BTS

Im Winter 2007/2008 wurden am Blockgletscher Murfreit vier Temperatursonden, auf den zwei kleinen Blockgletschern im Ciadin-Tal je eine Temperatursonde, am Blockgletscher Sas dala Luesa eine Temperatursonde und vor der Stirn des Blockgletschers Murfreit, auf permafrostfreiem Boden, insgesamt drei Temperatursonden installiert.

Dieser Winter war sehr schneearm, die Schneedecke war stellenweise sehr dünn, entsprechend haben einige Temperatursonden deutliche Temperaturschwankungen an der Basis der winterlichen Schneedecke aufgezeichnet.

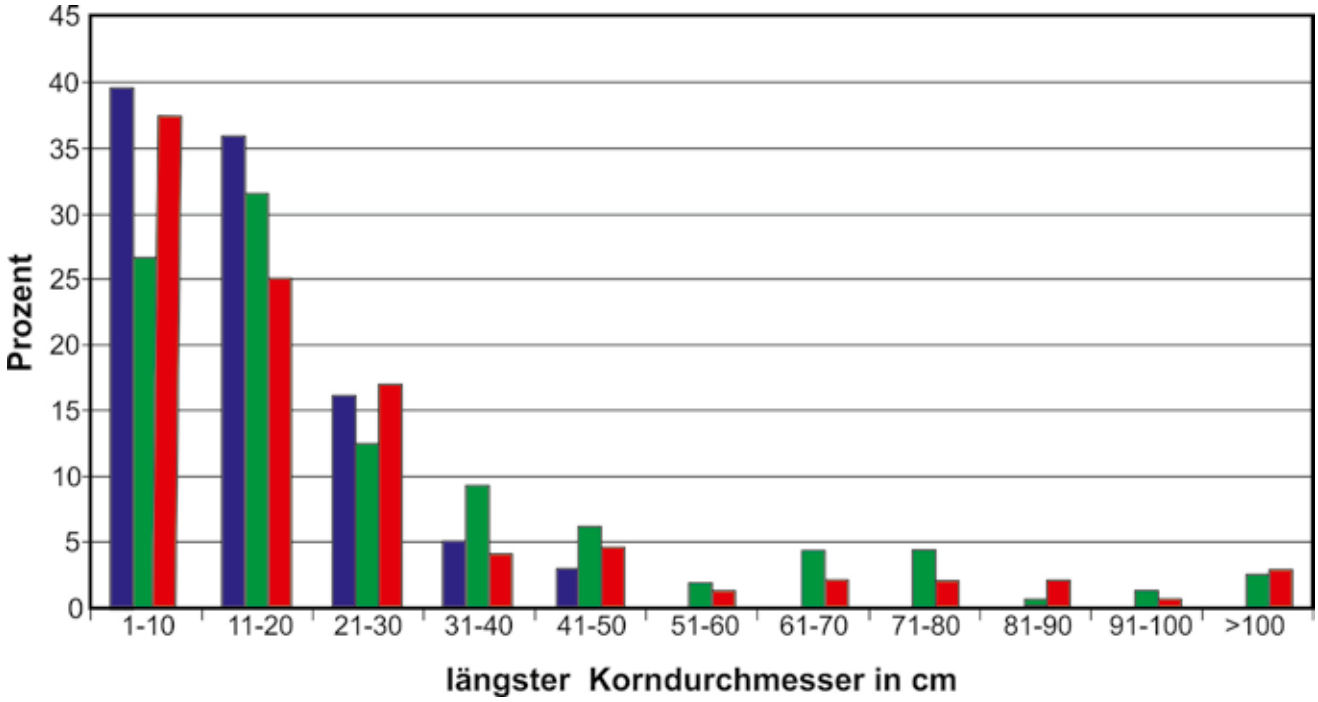


Abb. 20: Korngrößenverteilung auf drei verschiedenen Flächen (grobkörnig, mittelkörnig und feinkörnig) am Blockgletscher Murfreit. Es dominieren Korngrößen bis 20 cm.

Während eine Sonde am BG Murfreit (T 1) von Anfang Jänner bis Ende April meist nur Temperaturen zwischen -2 und -1°C aufzeichneten, bewegten sich die BTS-Temperaturen der anderen drei Sonden meist zwischen -5 und -9°C. Ähnlich tiefe Werte zeigten auch die Sonden auf den beiden Blockgletschern im Ciadin-Tal und am Blockgletscher Sas dala Luesa.

Aufgrund der geringen Schneelage lag die BTS-Temperatur auch außerhalb der Blockgletscher von Jänner bis Ende Februar meist zwischen -4 und -5°C, stieg anschließend bis Ende April auf Werte zwischen -2 und -3°C an und waren damit auch relativ tief aber doch deutlich „wärmer" als auf den Blockgletschern.

Der Winter 2008/2009 war sehr schneereich, bereits bei der Installation der Temperatursonden am 11. Oktober war die Schneedecke 30 - 60 cm dick und erreichte Anfang Dezember bereits eine Mächtigkeit von > 1 m. Entsprechend waren die Temperatursonden ab Dezember durch eine dicke Schneedecke von den Außentemperaturen gut isoliert und zeigten auch sehr konstante Temperaturen, die sich auf den Blockgletschern durchwegs zwischen -3 und -4°C bewegten. Außerhalb der Blockgletscher wurden deutlich höhere Temperaturen mit einem Temperaturminimum von -1.5°C gemessen (Abb. 21).

Die Schneeschmelze setzte in der ersten Maihälfte ein, an den einzelnen Messpunkten stieg die Temperatur innerhalb von wenigen Tagen auf 0°C und verblieb bei diesem Wert bis zum völligen Abschmelzen der Schneedecke an der Messstelle.

3.3.6 Hydrologie

Am Fuße der Stirn des Blockgletschers Murfreit entspringen mehrere Quellen: Culea und Culea II im östlichen Bereich, Murfreit I und II im westlichen Bereich. Von diesen vier Quellen ist allerdings nur die Quelle Culea leicht zugänglich, alle anderen sind nur sehr schwer oder überhaupt nicht zugänglich. Die Installation einer Pegelmessstelle war nicht möglich. An der Quelle Culea, die am östlichen Ende des Blockgletschers auf 2640 m Seehöhe entspringt, wurden regelmäßig Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit gemessen. Die Quellschüttung ist durch starke saisonale und im Frühsommer auch durch tägliche Schwankungen charakterisiert. Im Sommer liegt die Schüttung meist bei ca. 10 - 20 l/s, die höchsten Schüttungsmengen werden jeweils am frühen Nachmittag erreicht. Nach Niederschlagsereignissen sind die Schüttungsmengen kurzfristig deutlich höher. Ab Ende Juli geht der Abfluss stark zurück, auch Kaltlufteinbrüche im Sommer

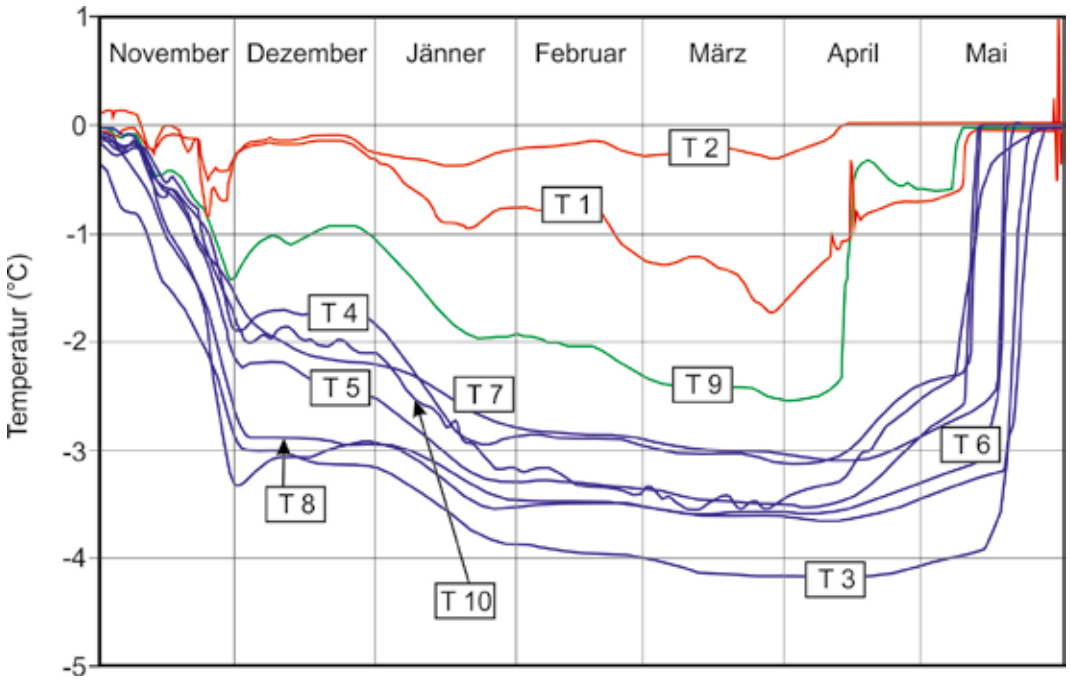


Abb. 21:
BTS-Daten vom Blockgletscher Murfreit gemessen im Winter 2008/2009. Die Messpunkte der einzelnen Sonde sind in der Karte Abb. 16 festgehalten.

führen kurzfristig zu einem starken Rückgang im Abfluss. Ab Mitte September schüttet die Quelle nur mehr ganz wenig Wasser um dann im Laufe des Novembers völlig zu versiegen.
Die Wassertemperatur an der Quelle liegt den ganzen Sommer über deutlich unter 1°C, meist um 0.3°C. Als Vergleich dazu schwankt die Wassertemperatur der Setus-Quelle, einer Kluftquelle im Setus Tal auf 2550 m Seehöhe gelegen, zwischen 2.3 und 4.9°C. Im Einzugsgebiet der Setus-Quelle befindet sich kein aktiver Blockgletscher.
Die Wassertemperatur im Drachensee ist den ganzen Sommer über auch sehr niedrig und bewegt sich zwischen 0.4 und 1.5°C.
Die elektrische Leitfähigkeit der Blockgletscherquelle ist im Frühjahr mit 82 - 100 µS/cm am niedrigsten und steigt zum Herbst hin kontinuierlich auf bis zu 162 µS/cm an. Im Drachensee liegt die elektrische Leitfähigkeit bei 83 - 99 µS/cm.
Im Vergleich zur Culea-Quelle schütten die Murfreit-Quellen etwas mehr Wasser, sind aber aufgrund der Steilheit des Geländes nicht zugänglich. Insgesamt ist der Gesamtabfluss des Blockgletschers Murfreit deutlich höher als jener der beiden aktiven Blockgletscher im Bereich der Hohen Gaisl.

3.3.7 Bewegungsmessungen

Am Blockgletscher Murfreit wurden insgesamt 80 Messpunkte für Bewegungsmessungen eingerichtet. 49 Messpunkte liegen entlang der Stirn, nur wenige m von der Stirnkante entfernt. Im westlichen Bereich des Blockgletschers wurden zusätzlich noch drei Profilreihen eingerichtet (Abb. 22).
Von September 2007 bis September 2008 lagen die Bewegungsraten im östlichen Abschnitt im Bereich der Stirn durchwegs < 5 cm, meist bei 0 cm, während im westlichen Bereich im steileren Abschnitt des Blockgletschers die jährlichen Bewegungsraten meist zwischen 5 und 10 cm, vereinzelt auch zwischen 10 und 30 cm lagen. An einem Punkt wurde eine horizontale Bewegungsrate von 49 cm gemessen (Abb. 22).
Im Zeitraum von September 2007 und Juli 2008 waren die Bewegungen im westlichen Abschnitt deutlich geringer (meist < 10 cm, z.T. < 5 cm) als im deutlich kürzeren Zeitraum von Juli 2008 bis September 2008.
Ein Vergleich der Orthophotos aus den Jahren 1953 und 2009 ergab für markante größere Felsblöcke im westlichen Stirnbereich horizontale Bewegungsraten von 3.9 bis 10.9 m, was durchschnittlichen jährlichen Bewegungsraten von 7 bis 20 cm entspricht. Diese Bewegungsraten stimmen sehr gut mit den mittels GPS gemessenen Bewegungsraten überein.
Im Zeitraum 1953 bis 2009 ist die Stirn im westlichen, aktivsten Teil des Blockgletschers um bis zu 6 m vorgestoßen.
An den Messpunkten wurden auch deutliche Vertikalbewegungen festgestellt die meist zwischen -5 und -15 cm/Jahr liegen. Fotovergleiche von 1899 und 2004 zeigen auch, dass in diesem Zeitraum die Vergletscherung im Bereich des Wandfußes stark zurückgegangen ist.
Der Vergleich absoluter Höhenangaben am Blockgletscher selbst zeigt, dass die Oberfläche des Blockgletschers in den letzten 100 Jahren sehr stark eingesunken ist. Die Höhenveränderungen zwischen 1904 und 2008 betragen für 5 ausgewählte Punkte -3 bis -20 m, was jährlichen Einsinkraten von -2.9 bis -19.6 cm entspricht. Diese Werte stimmen auch sehr gut mit den GPS-Daten überein.

3.3.8 Georadar

Am Blockgletscher Murfreit wurden insgesamt 3 Längsprofile gemessen mit einer Länge von 250, 335 und 250 m (35 MHz, 5 m Antennenabstand).
Die Messungen lieferten ähnliche Ergebnisse wie am Blockgletscher im Gletscherkar (Hohe Gaisl). Der Blockgletscher ist maximal etwa 30 m, meist um die 25 m mächtig. Im oberen Profilabschnitt treten innerhalb des Blockgletschers zahlreiche Reflektoren auf, die aufgrund der Eisaufschlüsse in diesem Bereich als Scherbahnen im massiven Eiskörper interpretiert werden. Im unteren Profilabschnitt sind dagegen keine deutlichen Reflektoren innerhalb des Blockgletschers erkennbar, hier ist der massive Eiskern offensichtlich bereits weitgehend geschmolzen. Auch der Felsuntergrund macht sich in den Profilen in Form eines deutlichen Reflektors bemerkbar (siehe KRAINER et al., 2012).

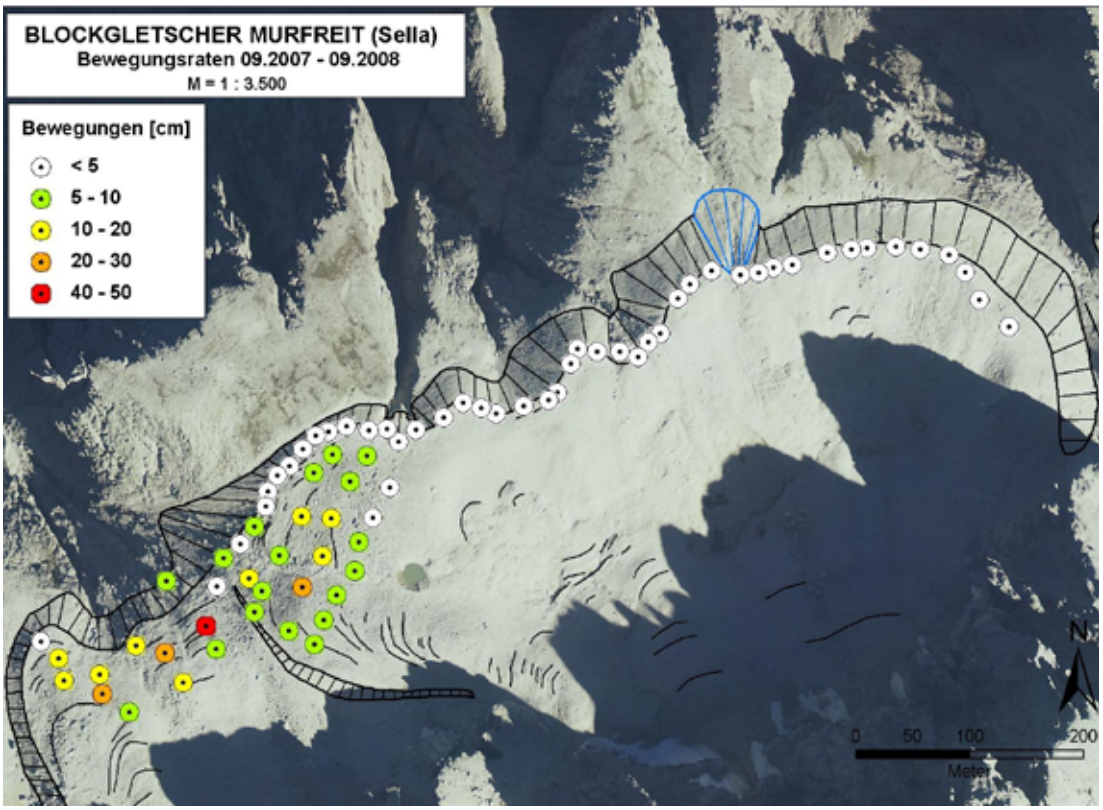


Abb. 22: Bewegungsraten am Blockgletscher Murfreit (Stirnbereich) für den Zeitraum September 2007 bis September 2008.

3.3.9 Bohrungen

Am Blockgletscher wurden zwei Kernbohrungen abgeteuft. Die Bohrung im Bereich der Wurzelzone hat unter einer dünnen Schuttlage reines Eis mit einer Mächtigkeit von ca. 40 m angetroffen und damit die Georadar-Messungen bestätigt. Die Bohrung im Stirnbereich hat dagegen nur Schutt mit einem geringen Anteil an Eis durchteuft.

3.3.10 Naturgefahren

Im extrem heißen Sommer 2003 wurden an der Nordseite der Sellagruppe durch Starkniederschläge mehrere Murschuttströme ausgelöst, die z.T. die Staatsstraße von Wolkenstein zum Grödner Joch erreicht und verschüttet haben.

Am 21. Juli hat sich um 14:00 Uhr über der Sellagruppe ein starkes Gewitter ereignet. Während des Gewitters wurde durch Niederschlagsradar eine Niederschlagsmenge von 9 - 17 mm in 24 min festgestellt. Ungefähr 20 min nach Beginn des Gewitters ist im Bereich der steilen Stirn im westlichen Abschnitt des Blockgletschers Murfreit ein Murschuttstrom ausgelöst worden, der erst im Bereich der Straße zum Grödner Joch zum Stillstand gekommen ist und diese verschüttet hat . An diesem Tag kam es noch zu weiteren Murabgängen, die die Straße zum Grödner Joch jedoch nicht erreicht haben.

Am 23. Juli 2003 ist um 04:00 Uhr morgens, ausgelöst durch die starken Niederschläge, im Bereich des Culea-Tales eine weiter Mure abgegangen, die ebenfalls die Straße zum Grödner Joch erreicht und verschüttet hat. Durch dieses Ereignis wurden ca. 500 - 600 m^3 Lockermaterial mobilisiert, ein Teil stammt von der steilen Stirn des Blockgletschers Sas dala Luesa.

Zu weiteren kleinen Murabgängen kam es auch am 24. Juli 2003, diese haben teilweise ebenfalls die Straße erreicht (siehe MUSSNER 2010).

3.3.11 Schlussfolgerungen

Der Blockgletscher Murfreit an der Nordseite der Sella zeigt eine lobate Form und für aktive Blockgletscher typische morphologische Erscheinungsformen wie steile und meist unbewachsene Stirn, steile Flanken, im westlichen Teil ausgeprägte transversale Rücken und Vertiefungen (Loben) sowie eine Depression im Wurzelbereich. Außerdem sind im Sommer an der Oberfläche ein, zeitweise auch zwei Thermokarstseen entwickelt, an deren Rändern unter einer dünnen Schuttdecke massives Eis aufgeschlossen ist. Das Eis ist ziemlich rein, grobkristallin und deutlich gebändert (Gletschereis mit Scherbahnen). Der Blockgletscher wird aus den steilen Felswänden oberhalb der Wurzelzone mit Hauptdolomitschutt beliefert. Die Korngröße der oberflächlichen Schuttlage ist ähnlich wie bei den beiden Blockgletschern im Bereich der Hohen Gaisl. Es überwiegen Gerölle mit Korndurchmessern von 1 - 10 und 11 - 20 cm, Gerölle mit Durchmessern von > 60 cm sind selten.

Die Wassertemperaturen der Blockgletscherquellen (< 1°C), BTS-Messungen und Bewegungsmessungen bestätigen, dass der Blockgletscher Eis enthält.

Im Gegensatz zu den beiden Blockgletschern Im Bereich der Hohen Gaisl fließt beim Blockgletscher Murfreit ein Großteil der Schmelzwässer oberflächlich ab, der Abfluss zeigt starke saisonale und tägliche Schwankungen.

Georadar-Messungen zeigen, dass der Blockgletscher bis zu ungefähr 30 m mächtig ist, wobei im oberen Abschnitt ähnliche Strukturen wie am Blockgletscher im Gletscherkar (Hohe Gaisl) auftreten, die auf einen massiven Eiskern mit Scherbahnen im Eis hinweisen.

Bewegungsmessungen zeigen, dass derzeit der westliche Abschnitt des Blockgletschers noch aktiv ist mit jährlichen Bewegungsraten von meist 5 - 10 cm, stellenweise bis zu 40 cm. Die Stirn des Blockgletschers ist meist um die 20 m, im westlichen, aktiven Teil bis zu 40 m mächtig. Die steile Stirn reicht lokal bis an die Abbruchkante der Terrasse (Abb. 17, 18). Dadurch konnten im Jahr 2003 Starkniederschläge auch Teile der steilen Stirn mobilisieren und damit Murgänge auslösen, die z.T. die ca. 600 Höhenmeter tiefer gelegene Straße von Wolkenstein zum Grödner Joch vermurt haben. Vor allem die immer noch aktive und entsprechend steile westliche Stirn des Blockgletschers stellt nach wie vor ein Gefahrenpotential dar, Starkniederschläge können hier jederzeit weitere Murgänge auslösen (Details in MUSSNER, 2010, KRAINER et al., 2012)).

3.4 BLOCKGLETSCHER NAPFEN BEI REIN IN TAUFERS

3.4.1 Lage

Der Blockgletscher Napfen I liegt im Napfenkar nördlich der Dreieckspitze (3029 m) südlich des Klammljochs in der Rieserferner Gruppe (Abb. 1; siehe DAMM, 1996).

3.4.2 Geologie

Die Festgesteine bestehen aus Paragneis und Glimmerschiefer.

3.4.3 Morphologie

Der Blockgletscher Napfen I ist bis zu 1140 m lang und 590 m breit und besitzt zwei Zungen. Die östliche Zunge (Abb. 23) hat ihre Wurzelzone im Bereich Graunockscharte – Graunock, die westliche Zunge (Abb. 24) am Fuße der steilen Nordwand der Dreieckspitze (siehe auch DAMM 1996). Die Stirn ist bis zu 45° geneigt, die Oberfläche des Blockgletschers ist sehr grobblockig und zeigt besonders im Stirnbereich der beiden Zungen ausgeprägte transversale Rücken und Vertiefungen (Loben). Im Wurzelbereich der westlichen Zunge befindet sich eine deutliche Depression .

Der Blockgletscher erstreckt sich von 2560 m (Fuß der Stirn) bis auf ca. 2800 m (Wurzelzone).

Am Fuße der östlichen und westlichen Stirn entspringen mehrere Blockgletscherquellen.

Über Korngrößen und Korngrößenverteilung des Blockgletschers liegen keine Daten vor.

3.4.4 Bodentemperaturen

Die am Blockgletscher Napfen durchgeführten Bodentemperaturmessungen (BTS) zeigen Werte wie sie für aktive Blockgletscher typisch sind: Die Werte lagen von Jänner bis März zwischen -3 und -8°C (DAMM & LANGER, 2006).

Abb. 23: Steile, unbewachsene Stirn des Blockgletschers Napfen. Am Fuße der Stirn entspringen mehrere Quellen.

Abb. 24: Die steile Stirn der westlichen Zunge des Blockgeltschers Napfen ist ebenfalls frei von Vegetation.

3.4.5 Hydrologie

An den beiden Blockgletscherzungen entspringen mehrere Quellen. Die elektrische Leitfähigkeit der Quellen ist am höchsten an der östlichsten Quelle (76 µS/cm am 08.06.2007, 139 µS/cm am 14.10.2008) und am niedrigsten an der Quelle der westlichen Zunge (28 µS/cm am 08.06.2007 und 77 µS/cm am 14.10.2008). An allen Quellen sind die Werte der el. Leitfähigkeit während der Schneeschmelze am niedrigsten und steigen zum Herbst hin an. Die im Herbst gemessenen Quelltemperaturen waren durchwegs unter 1°C. Nach DAMM & LANGER (2006) liegt die Quelltemperatur beim Blockgletscher Napfen konstant bei 0.1 - 1.1°C.

Am 8. Juni 2007 wurde am Bach, der den östlichen Teil des Blockgletschers entwässert, eine Pegelmessstelle eingerichtet, welche bis Anfang September in Betrieb war. An der Pegelmessstelle wurden ca. 80 % des Abflusses erfasst, die dem östlichen Teil des Blockgletschers und dessen Einzugsgebiet entspringen.

Die Abflussganglinie zeigt einen typischen Verlauf mit hohen Abflüssen während der Schneeschmelze im Mai und Juni und einem kontinuierlichen Rückgang zum Herbst. Im Mai und Juni liegt der durchschnittliche Abfluss bei ca. 70l/s. Kaltwetterphasen führen zu einem deutlichen Rückgang im Abfluss, während Niederschlagsereignisse zu Abflussspitzen von teilweise deutlich über 100 l/s führen. Im September geht der Abfluss stark zurück und erreicht im Oktober nur mehr Werte von wenigen l/s (Abb. 25).

Im Mai, Juni und Juli sind während der Schneeschmelze an Schönwettertagen auch deutliche Tageszyklen im Abfluss erkennbar. Die Abflussspitzen werden jeweils in den späten Abendstunden erreicht, während um die Mittagszeit die geringsten Abflusswerte gemessen wurden. Dies bedeutet eine Verzögerung von ca. 6-7 Stunden (maximale Schneeschmelze gegen 15 - 16 Uhr).

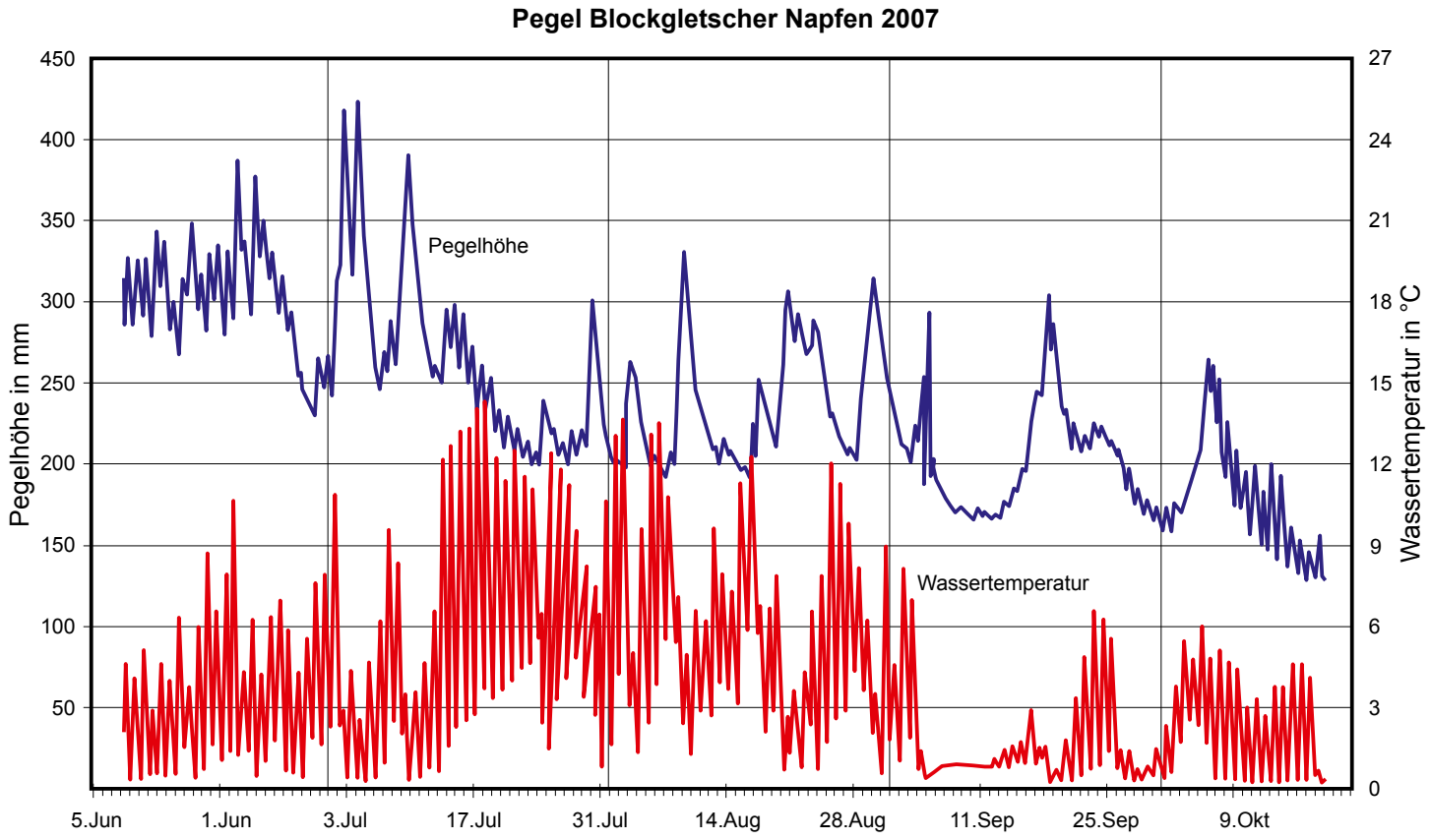


Abb. 25: Abfluss (Wasserhöhe, blaue Linie) und Wassertemperatur (rote Linie) an der Pegelmesstelle des Blockgletschers Napfen für den Zeitraum Anfang Juni bis Mitte Oktober 2007.

3.4.6 Bewegungsmessungen

Es wurde am Blockgletscher ein Messnetz aus 90 Punkten eingerichtet, davon liegen die Punkte 1 - 78 in Form von 12 Querprofilen auf der östlichen Zunge und die Punkte 79 - 90 im Stirnbereich der westlichen Zunge. Außerhalb des Blockgletschers wurden 5 Fixpunkte eingerichtet.

Die Nullmessung erfolgte am 27.08.2006, die Punkte wurden am 04.07.2007, also nach 311 Tagen nachgemessen.

Auf der westlichen Zunge wurden die höchsten Bewegungsraten im zentralen Bereich gemessen (max. 39 cm , entspricht 1,25 mm/Tag; Punkt 46), geringere Bewegungsraten waren an den Rändern zu beobachten (zwischen 18 und 26 cm bzw. 0,58 und 0.84 mm/Tag).

Im Stirnbereich lagen die Bewegungsraten zwischen 21 und 24 cm (0,67 - 0,77 mm/Tag). Auf der östlichen Zunge wurden im Stirnbereich Bewegungsraten von 16 - 36 cm (0,51 - 1,15 mm/Tag) gemessen.

Die Vertikalbewegungen (Einsinkbeträge) liegen meist < 10 cm, maximal bei 22 cm (Punkt 45).

Die Bewegungsraten sind somit recht ähnlich jenen der anderen Blockgletscher (Gletscherkar, Sella, Rossbänk), lediglich am Blockgletscher Lazaun wurden etwas höhere Bewegungsraten gemessen.

3.4.7 Georadar

Die ersten Georadar-Messungen erfolgten am 30. Oktober 2006 (ein Querprofil mit 150 m Länge und ein Längsprofil mit 385 m Länge). Das Querprofil brachte gute Ergebnisse, der Felsuntergrund und damit die Mächtigkeit des Blockgletschers konnte gut erfasst werden.

Die zweite Messung erfolgte am 4. April 2007 bei Schneebedeckung und besten Bedingungen. Es wurden zwei Längsprofile (835 und 650 m lang) und ein Querprofil (140 m lang) gemessen werden. Die Messungen brachten ebenfalls gute Ergebnisse, wurden aber im Detail noch nicht ausgewertet. Die Daten zeigen aber, dass der westliche Teil des Blockgletschers bis zu maximal 25 m, meist um die 20 m mächtig ist. Stellenweise treten innerhalb des Blockgletschers deutliche Reflektoren auf, deren Entstehung noch unklar ist (?Scherflächen im Eiskörper).

3.5 BLOCKGLETSCHER ÄUSSERES HOCHEBENKAR BEI OBERGURGL

Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar bei Obergurgl zählt zu den größten, aktivsten und am besten untersuchten Blockgletschern in den Ostalpen (siehe Zusammenfassungen in KRAINER, 2015, NICKUS et al., 2015)

3.5.1 Lage

Der Blockgletscher liegt im Äußeren Hochebenkar, einem nach NW ausgerichteten Kar in den Ötztaler Alpen ungefähr 4,3 km SSW von Obergurgl im hinteren Ötztal (Tirol, Österreich; Abb. 1). Es ist ein aktiver, zungenförmiger, Blockgletscher der sich von 2.840 m (Wurzelzone, Abb.) bis auf 2.360 m Seehöhe (Stirn) erstreckt (Abb. 26). Der Blockgletscher ist 1.550 m lang, im Stirnbereich bis zu 160 m im mittleren Bereich bis zu 335 m und im oberen Bereich bis zu 470 m breit.

Der Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,4 km^2, die Fläche des Einzugsgebietes beträgt 1 km^2.

Im Osten wird der Blockgletscher vom Massiv des Hangerer (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 Schutt des Blockgletschers stammt ausschließlich vom Hochebenkamm (Karte Abb. 27).

3.5.2 Geologie

Die Festgesteine im Einzugsgebiet des Blockgletschers setzen sich aus Paragneisen und Glimmerschiefern des Ötztal-Stubai-Kristallins zusammen (HOINKES & THÖNI, 1993, KONZETT et al., 2003, TROPPER & RECHEIS, 2003, THÖNY et al., 2008, TROPPER et al., 2012).

Glimmerschiefer zeigen eine ausgeprägte Schieferung, in den Paragneisen ist die Schieferung weniger deutlich ausgeprägt.

Die Schieferung fällt nach WNW–NW (285 - 325°), stellenweise auch nach N und ESE, 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. Zusätzlich sind die

Abb. 26: Blick von der Gurgler Alm auf die Zunge des aktiven Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar.

Gesteine geklüftet. Entlang dieser Störungen und Klüfte sind die Gesteine stark aufgelockert und durch Frostverwitterung extrem zerlegt. Vor allem die Störungen bilden rinnenförmige Einschnitte, entlang derer sehr viel Verwitterungsschutt anfällt und sich auf den steilen Lawinenkegeln am Fuße der steilen Rinnen als dünne Schuttlage ansammeln kann.

3.5.3 Morphologie des Blockgletschers

Der Blockgletscher ist scharf begrenzt und hebt sich morphologisch deutlich von seiner Umgebung ab. Die Schuttlage ist an der Oberfläche sehr grobkörnig und weist eine ausgeprägte Morphologie aus transversalen und longitudinalen Rücken und Vertiefungen auf. Im westlichen Teil der Wurzelzone ist eine Depression ausgebildet (Abb. 28).

Die Stirn des Blockgletschers ist steil und nicht bewachsen (Abb. 26). Die Flanken sind ebenfalls steil, teilweise aktiv und frei von Vegetation, teilweise inaktiv und leicht mit Vegetation bewachsen. Auch an der Oberfläche des Blockgletschers ist auf feinkörnigen Flächen im Bereich der Wurzelzone und im mittleren Abschnitt, eine leichte Vegetationsbedeckung vorhanden.

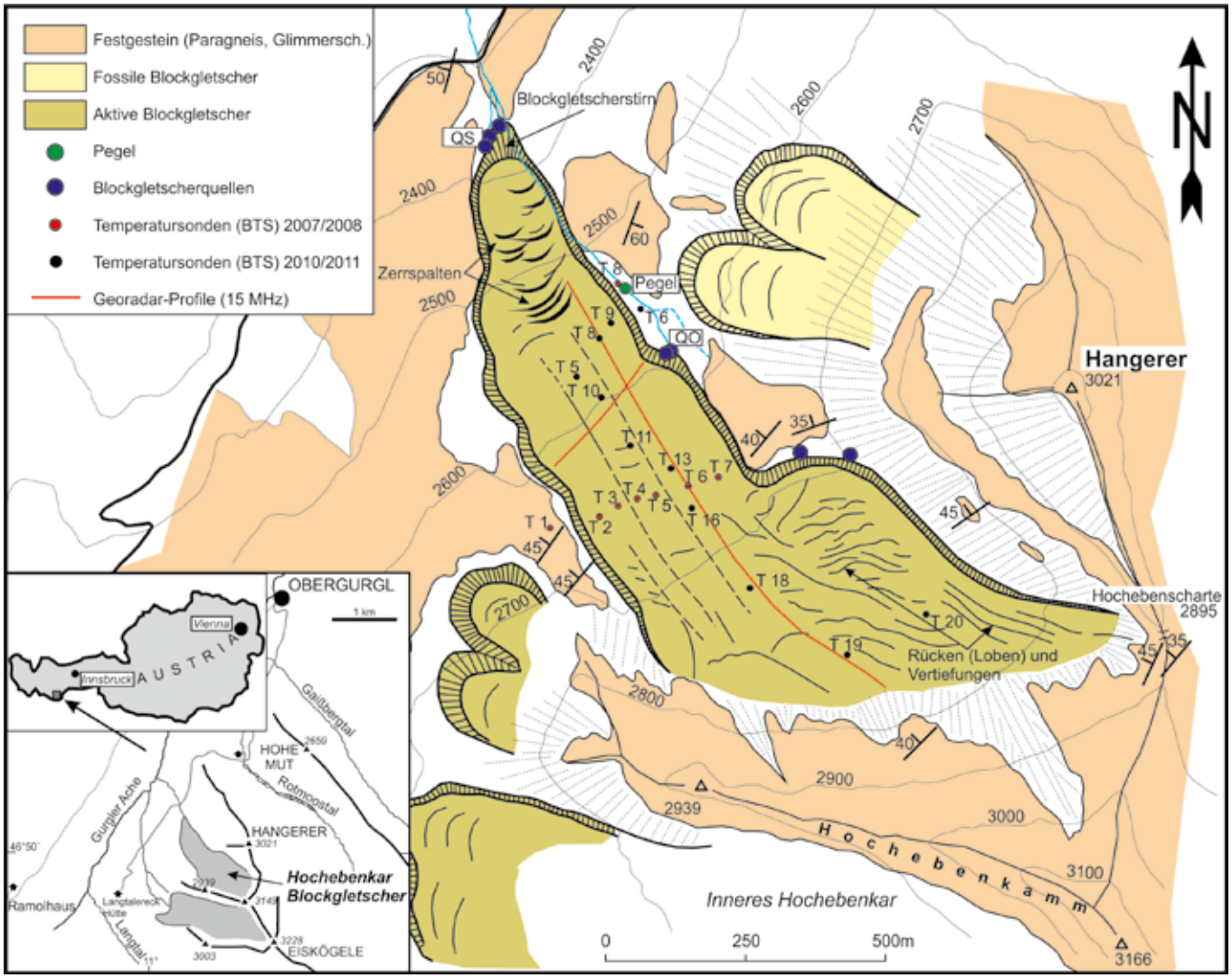


Abb. 27: Geologisch-geomorphologische Karte des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (aus Krainer 2014, 2015; NICKUS et al., 2015).

3.5.4 Schuttlage

Die oberflächliche, grobkörnige Schuttlage weist durchschnittliche Korngrößen von 35 cm (feinblockig), 41,5 cm und 57 cm (grobblockig) auf (Abb. 29). Die maximalen Korngrößen liegen auf feinblockigen Bereichen bei 140 cm und bei grobblockigen Bereichen bei über 2 m. Auf feinblockigen Flächen überwiegen Korngrößen von 11 bis 20 cm, auch Korngrößen von 1 bis 10 und 21 bis 30 cm sind häufig vertreten.

Auf grobblockigen Flächen sind dagegen Korngrößen von 21 bis 30 cm am häufigsten vertreten, auch Korngrößen von 31 bis 40 cm sind vorhanden.

Unter der grobkörnigen Lage befindet sich eine Lage mit einem höheren, siltig-sandigen Feinanteil. Diese Lage ist nur im Stirnbereich und an den Flanken aufgeschlossen. Siebanalysen ergaben eine Korngrößenverteilung mit einer sehr schlechte Sortierung mit Phi-Werten von 2,96 und 3,23 (inclusive graphic standard deviation nach Folk & Ward, 1957), ähnlich wie bei Grundmoränen (Krainer, 2014, 2015)

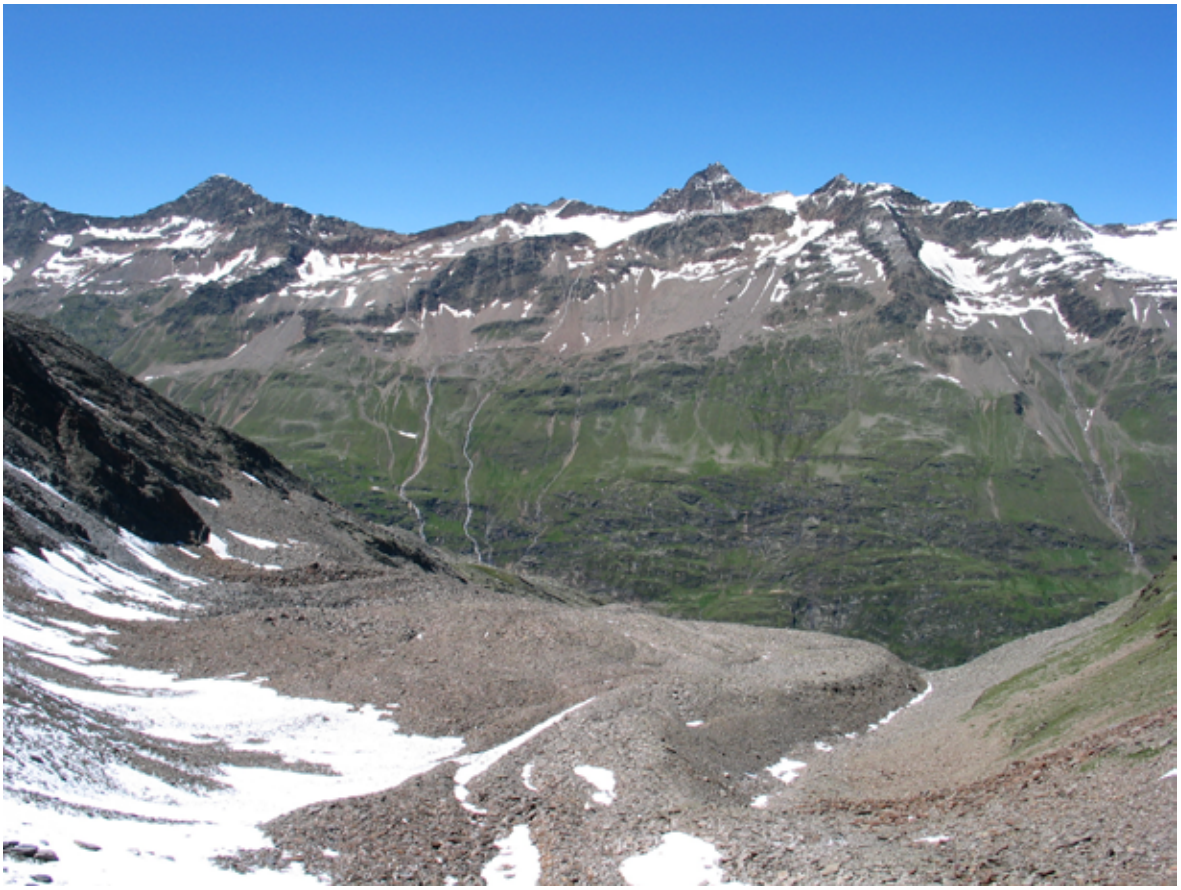


Abb. 28: Wurzelzone des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar. Die Depression (links im Bild) ist mit Lawinenschnee gefüllt.

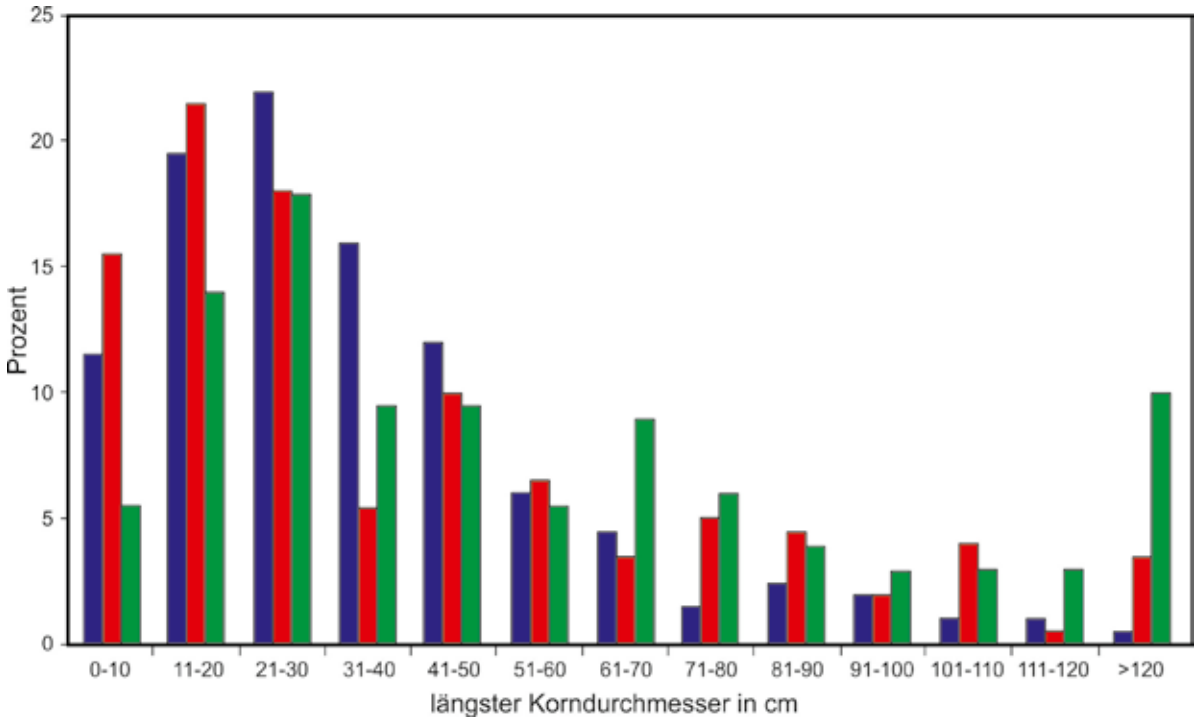


Abb. 29: Korngrößenverteilung auf drei verschiedenen Flächen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (aus KRAINER, 2014, 2015).

3.5.5 Temperaturverhalten der Schuttlage

HAEBERLI & PATZELT (1982) haben im Februar 1975, 1976 und 1977 am Blockgletscher eine Permafrost-Kartierung durchgeführt. Sie haben an jeweils 2 Tagen im Februar die Temperatur an der Basis der Schneedecke gemessen sowie refraktionsseismische Messungen durchgeführt und außerdem die Temperatur der Blockgletscherquellen gemessen. Die Mittelwerte der Temperaturen an der Basis der Schneedecke ergaben Werte zwischen -4,8 und -7°C, die refraktionsseismischen Daten weisen auf einen Eisgehalt von unter 50 % hin („supersaturated"). Nach HAEBERLI & PATZELT (1982) ist im Äußeren Hochebenkar Permafrost nicht nur im Blockgletscher sondern auch außerhalb des Blockgletschers verbreitet.

Im Winter 2007/2008 (Abb. 30) bewegte sich die Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke auf permafrostfreiem Untergrund neben der Pegelstation von November bis Mai konstant zwischen 0 und -1°C (T8). Auf der Westseite des Blockgletschers (T 1) wurden zwischen November und April starke Temperaturschwankungen von -2 bis -10°C gemessen. Tägliche Temperaturschwankungen in diesem Zeitraum weisen darauf hin, 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°C.

Von Dezember bis April bewegte sich die Temperatur bei T 2 zwischen -3 und -4°C und bei T 7 zwischen -2 und -4°C.

Die Sonden T 3 bis T 6 zeigten deutlich niedrigere Temperaturen (-5 bis -9,3°C) mit nur geringen Schwankungen. Ein Tagesgang im Temperaturverlauf wurde nicht beobachtet.

Bei Sonde T 1 wurde die tiefste Temperatur am 2. Jänner mit -9,9°C erreicht. Am Blockgletscher wurde dieses Minimum mit einer Verzögerung von 2 bis 5 Tagen erreicht.

Die Schneeschmelze setzte bei den Sonden T1, T 7 und T 8 am 8. Mai ein, bei T 2 bis T 6 erst am 14. Mai. Innerhalb weniger Tage stieg die Temperatur bei T 1, T 2 und T 7 von -2 auf 0 °C und bei T 3 bis T 6 von -4,5 auf 0°C .

Im Winter 2010/2011 (Abb. 31) wurden an der Basis der Schneedecke südlich der Pegelstation auf der Ostseite des Blockgletschers auf einer Seehöhe von ca. 2.565 m (T 6) Temperaturen knapp unter 0°C gemessen. Die Sonden T 16, 18 und 19 im oberen Abschnitt des Blockgletschers 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.

Die Sonden T 5, 8, 9 11 und 20 zeigten im selben Zeitabschnitt deutlich tiefere Temperaturen von -2°C bis -5°C. Ausgeprägte Schwankungen im Temperaturverlauf bei Sonde T11 weisen auf eine zu geringe Schneedecke an dieser Stelle. Im Frühjahr 2011 setzte die Schneeschmelze bereits um den 10. April ein. (Abb. 31)

3.5.6 Hydrologie

Ein Großteil der Schmelzwässer des Blockgletschers und seines Einzugsgebietes entspringt am Fuße der steilen Stirn in Form mehrerer Blockgletscherquellen (QS auf Karte Abb. 27). Ein geringer Teil (ca. 30%) des Gesamtabflusses tritt an zwei Blockgletscherquellen am Ostrand des Blockgletschers auf ca. 2575 m Seehöhe zutage (Abb. 32), die in einem Abstand von ca. 10 m austreten (QO auf Karte Abb. 27). 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. 33). Sogar nach starken Gewitterniederschlägen mit ziemlich „warmen" Regen, die zu kurzfristigen Abflussspitzen führen, ändert sich

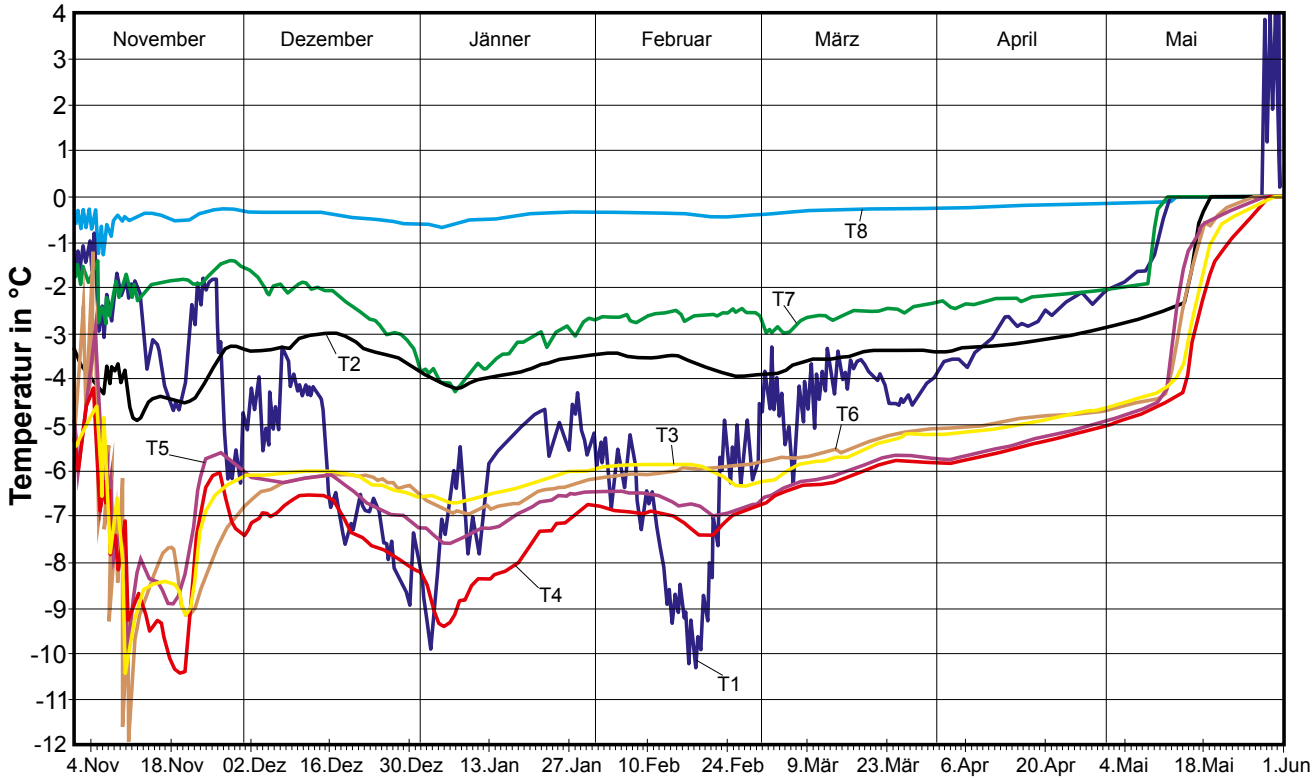


Abb. 30: Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) am Blockgletscher (T1 -T7) und neben dem Blockgletscher (T8) im Zeitraum November 2007 bis Mai 2008. Die Messpunkte der Sonden sind auf der Karte Abb. 27 dargestellt.

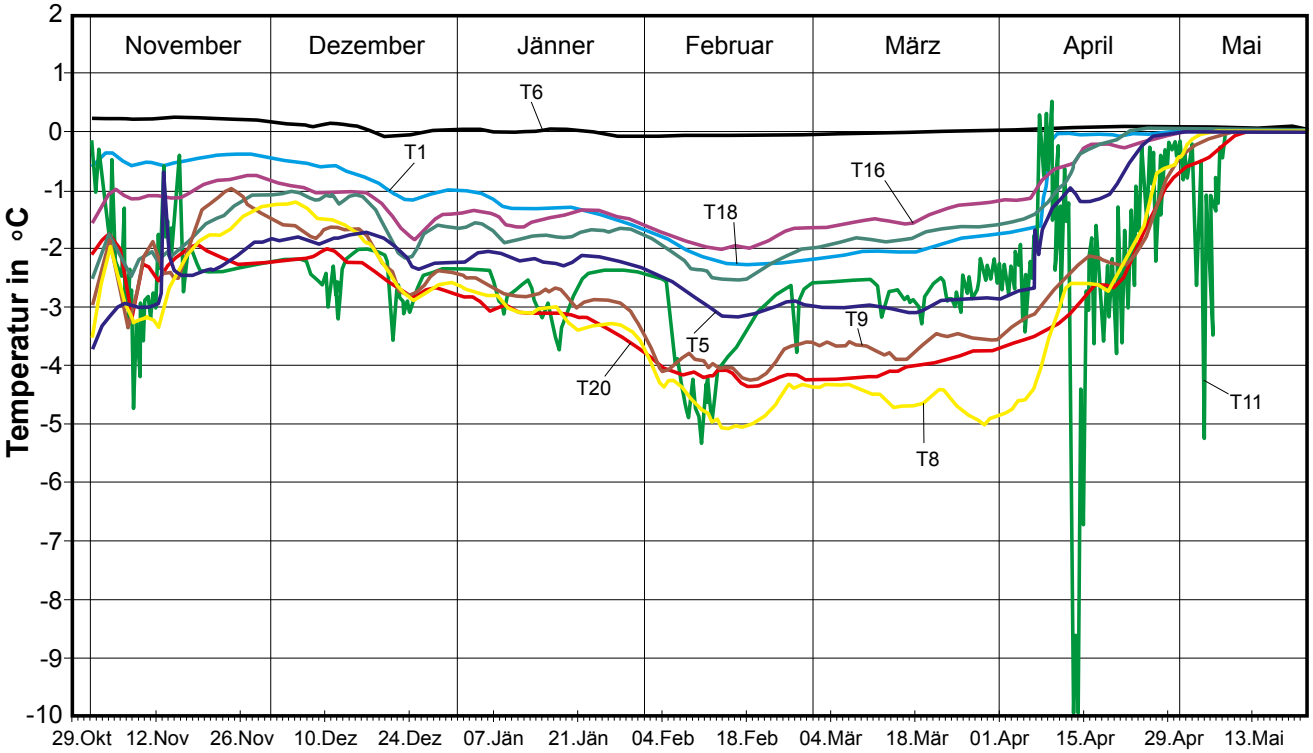


Abb. 31: Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) am Blockgletscher (T5 und T8-T20) und neben dem Blockgletscher (T6) im Zeitraum November 2010 bis Mai 2011. Die Messpunkte der Sonden sind auf der Karte Abb. 27 dargestellt.

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 µS/cm während der Hauptschneeschmelze im Mai und Juni, steigt auf Werte um 40 µS/cm im August und 60 µS/cm im Oktober an.

Die Hauptquelle am Ostrand des Blockgletschers auf 2575 m Seehöhe zeigt dagegen bereits während der Hauptschneeschmelze im Mai und Juni hohe Werte von 100 bis 300 µS/cm mit einem ausgeprägten Tagesgang, wobei während der geringsten Schüttungsmengen 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 µS/cm. Im August steigt die elektrische Leitfähigkeit auf bis zu 500 µS/cm an, im September und Oktober wurden Werte von über 700, zeitweise sogar über 900 µS/cm gemessen (Abb. 33). 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 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 (KRAINER, 2014, 2015). 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. 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 völlig 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 (extremer 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 (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 Pegelmessstation des hydrographischen Dienstes aufgezeichnet (Abb. 34). Auch hier werden die höchsten Abflüsse während der Hauptschneeschmelze 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. 35).
Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers liegt beim Hauptpegel während der Hauptschneeschmelze meist unter 150 µS/cm und steigt zum Herbst hin auf Werte von bis zu über 300 µS/cm an (Abb. 35).
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, sommerlichen Niederschlag und höher mineralisiertem Grundwasser zurückzuführen. Weitere Details zur Hydrologie des Blockgletschers, vor allem zur Wasserchemie der Blockgletscherquellen sind im Beitrag von Nickus et al. enthalten..

Abb. 32:
Blockgletscherquelle am Fuße der östlichen Stirn auf einer Seehöhe von ca. 2575 m.

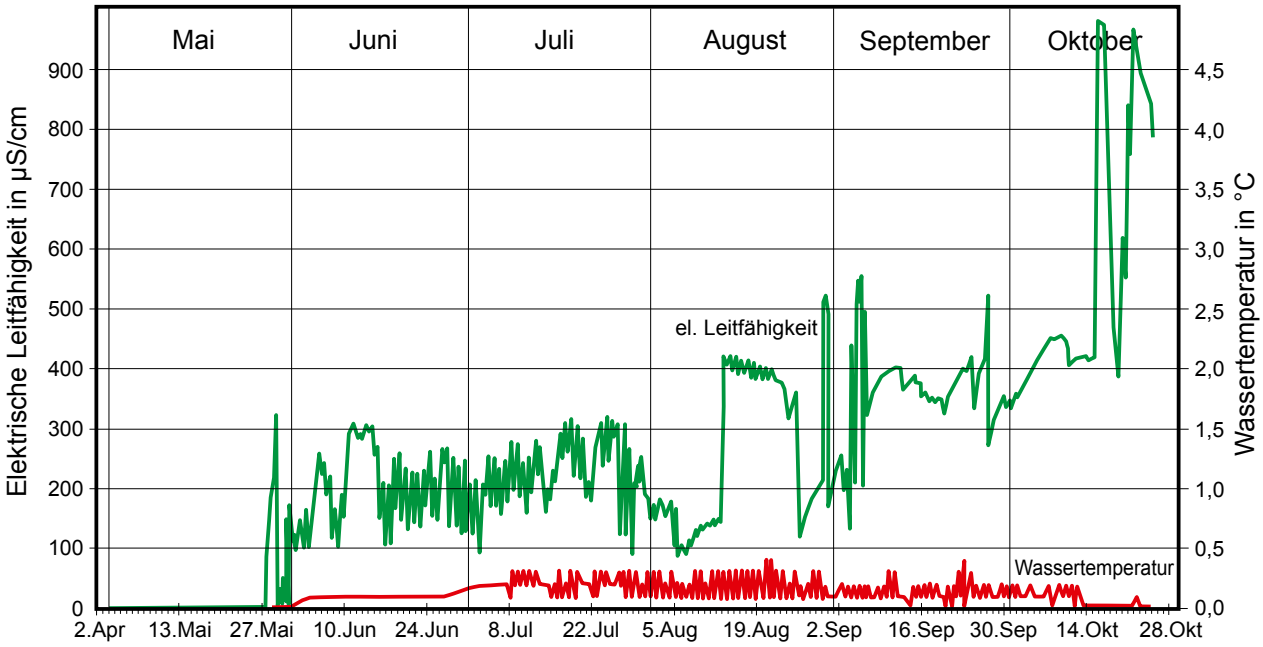


Abb. 33: Wassertemperatur (rote Linie) und elektrische Leitfähigkeit (grüne Linie) der Blockgletscherquelle auf ca. 2575m (Lage der Quelle siehe Karte Abb. 27).

Abb. 34:
Automatische Pegelstation am Abfluss des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar auf einer Seehöhe von ca. 2220 m (westlich der Gurgler Alm).

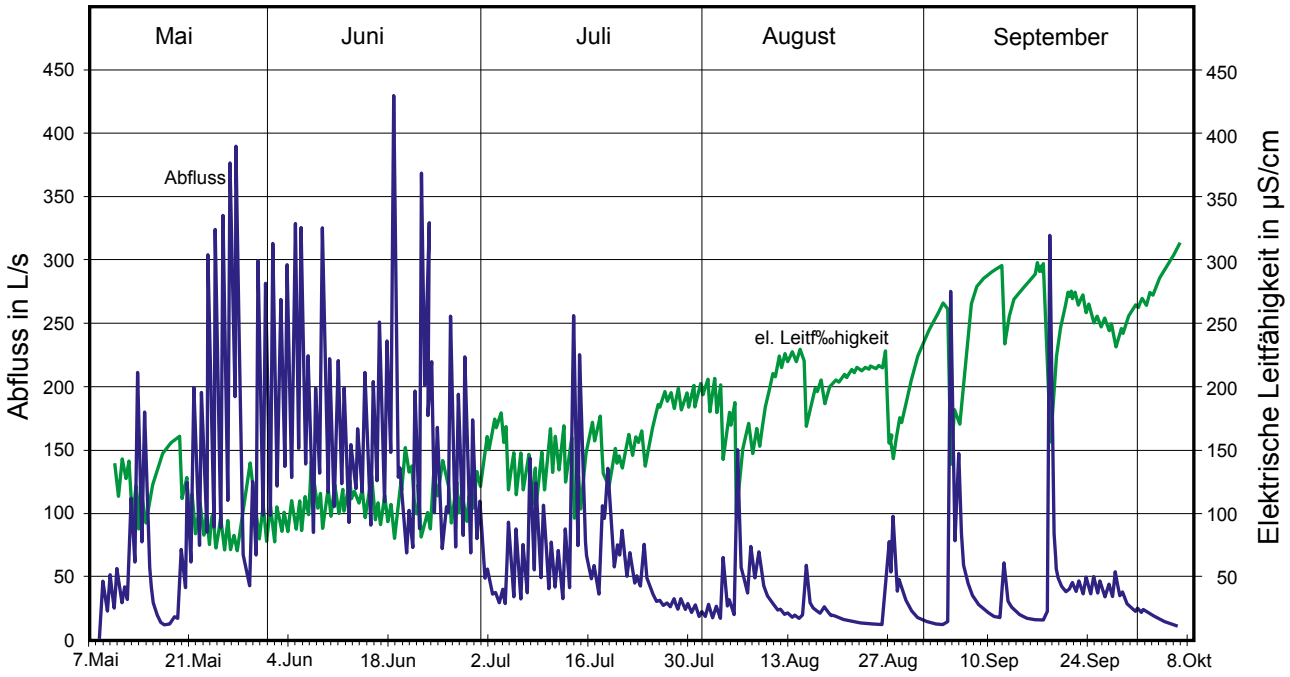


Abb. 35: Abflussganglinie des Gesamtabflusses vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (blaue Linie) und elektrische Leitfähigkeit des Wassers (grüne Linie) an der automatischen Pegelstation des Hydrographischen Dienstes für den Zeitraum Mai bis Anfang Oktober 2011 (aus KRAINER, 2014, 2015).

3.5.7 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 NICKUS et al., 2015). 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., 2015)

3.5.8 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. DELALOYE et al., 2008, 2010, KELLERER-PIRKLBAUER & KAUFMANN, 2012, KRAINER & MOSTLER, 2006) 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.

3.5.9 Diskussion und Schlussfolgerungen

Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar wurde in den letzten Jahren detailliert untersucht, die neuen Ergebnisse wurden von NICKUS et al. (2015) und KRAINER (2015) zusammengefasst. 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). Die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) sind ähnlich den Temperaturen, die auf anderen aktiven Blockgletschern in den österreichischen Alpen gemessen wurden (KRAINER & MOSTLER, 2000, 2001, 2004, BERGER et al., 2004) und belegen das Vorhandensein von Permafrosteis im Blockgletscher. Das Abflussgeschehen mit ausgeprägten saisonalen und täglichen Schwankungen wird vor allem vom Wetterablauf gesteuert. Das Wasser der Blockgletscherquellen stammt zum Großteil von der Schneeschmelze und von sommerlichen Niederschlagsereignissen, nur zu einem geringen Teil handelt es sich um Schmelzwasser des Permafrosteises 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 weisen darauf hin, dass das Wasser im Blockgletscher in Kontakt mit dem Permafrosteis fließt (KRAINER & MOSTLER, 2002, KRAINER et al., 2007). Die Blockgletscherquellen am Fuße der steilen Stirn sind durch eine extrem niedrige elektrische Leitfähigkeit charakterisiert. Dies 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 weisen auf einen höheren Anteil an Grundwasser mit einer wesentlich höheren Verweildauer (siehe auch NICKUS et al., 2015).
Die leichte Depression im Bereich der Wurzelzone und die deutliche Abnahme in der Mächtigkeit im Bereich der Stirn sind vermutlich auf das Abschmelzen eines massiven Eiskernes zurückzuführen. HAEBERLI & PATZELT (1982) interpretieren den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar als einen an Eis übersättigten Blockgletscher mit einem Eisgehalt von mindestens 50%. Vermutlich hat sich der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar aus einem schuttbedeckten Kargletscher entwickelt und besitzt einen Kern aus mehr oder weniger massiven Eis, ähnlich wie der Blockgletscher im Inneren Reichenkar (KRAINER & MOSTLER, 2000, KRAINER et al., 2002, HAUSMANN et al., 2007). Im steilen Stirnbereich kommt es durch das Aufreißen von Zerrspalten zu einer Vermischung des Eises mit Schutt. PILLEWIZER (1957) hat ebenfalls einen glazialen Ursprung angenommen. HAEBERLI & PATZELT (1982) interpretieren den Blockgletscher als reine Permafrost-Erscheinung. Basierend auf den Bewegungsraten vermutet VIETORIS (1972), dass der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar mindestens 2000 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. Radiokarbondatierungen an eingewehten Pflanzenresten im Eis des Bohrkerns vom Lazaun-Blockgletscher im Schnalstal (Ötztaler Alpen) ergaben ein Alter von etwas mehr als 10.000 Jahren (KRAINER et al., 2015). Diese Daten belegen, dass intakte Blockgletscher bis zu 10.000 Jahre altes Eis enthalten können und sich nach dem Rückgang der Egesen-Gletscher (Maximum bei ca. 12.700 BP) zu bilden begannen.

SCHNEIDER & SCHNEIDER (2001) haben gezeigt, dass die periodischen Änderungen in den Fließgeschwindigkeiten mit den Änderungen im Jahresmittel der Lufttemperatur korrelieren. Höhere Fließgeschwindigkeiten wurden während wärmerer Perioden, deutlich geringere Fließgeschwindigkeiten während kühlerer Perioden gemessen.

3.6 BLOCKGLETSCHER KRUMMGAMPEN IM KAUNERTAL

3.6.1 Lage

Der Blockgletscher Krummgampen (FA 4 im Blockgletscherinventar, KRAINER und RIBIS, 2012) liegt am Eingang des Krummgampentales auf der südlichen Talseite, einem Seitental des Kaunertales (Ötztaler Alpen; Abb. 1).

3.6.2 Geologie

Die Festgesteine im Einzugsgebiet des Blockgletschers bestehen aus Paragneisen und Glimmerschiefern des Ötztal-Stubai-Komplexes (HOINKES und THÖNI, 1993), die teilweise im dm - bis m-Bereich verfaltet sind und bräunliche Verwitterungsfarben zeigen. Unmittelbar westlich und nördlich des Blockgletschers sind in die Paragneise mächtige Bänderamphibolite eingeschaltet. Die Schieferung der Gesteine streicht im Krummgampental generell SW-NE, die Gesteine werden von zahlreichen, ebenfalls häufig SW-NE-streichenden Störungen durchzogen. Entlang dieser Störungen sind die Gesteine vor allem im Kammbereich durch Frostverwitterung stark zerlegt und aufgelockert.

3.6.3 Blockgletscher

Der Blockgletscher (FA 4) erstreckt sich von 2465 m (Stirn) bis 2700 m Seehöhe (Wurzelzone), ist 440 m lang, bis zu 150 m breit und bedeckt eine Fläche von 0,1 km^2 (Abb. 36). Der Blockgletscher ist zungenförmig, weist eine sehr grobblockige Oberfläche auf und ist nach Norden ausgerichtet. Die steile, leicht aktive Stirn hat den Krummgampenbach überfahren.

Refraktionsseismische Untersuchungen, BTS-Messungen und Quelltemperaturen weisen eindeutig auf das Vorhandensein von Permafrost-Eis im Blockgletscher hin.

Die Korngrößenverteilung ist ähnlich wie auf anderen Blockgletschern in den Ötztaler Alpen. Die oberflächliche Schuttlage ist sehr grobblockig mit Korngrößen im dm- bis m-Bereich. Siebanalysen an zwei Sedimentproben mit einem höheren Anteil an feinkörnigem Material, entnommen im Bereich der steilen Stirn, ergaben eine für Blockgletscher typische Korngrößenverteilung mit einer sehr schlechten Sortierung.

3.6.4 Hydrologie

Da der Blockgletscher den Krummgampenbach überfahren hat, fließt ein Großteil der Schmelzwässer des Blockgletschers im Schutt in den Krummgampenbach. Im nordöstlichen Bereich der Stirn liegt eine Quelle (KG 4), deren Wasser nach wenigen Metern ebenfalls in den Krummgampenbach mündet. Östlich der Zunge des Blockgletschers sind im Bereich des Talbodens zwei weitere Quellen vorhanden (KG 2 und KG 3; Abb. 37). Diese drei Quellen unterscheiden sich deutlich von allen anderen Quellen im Krummgampental und weisen folgende Merkmale auf:

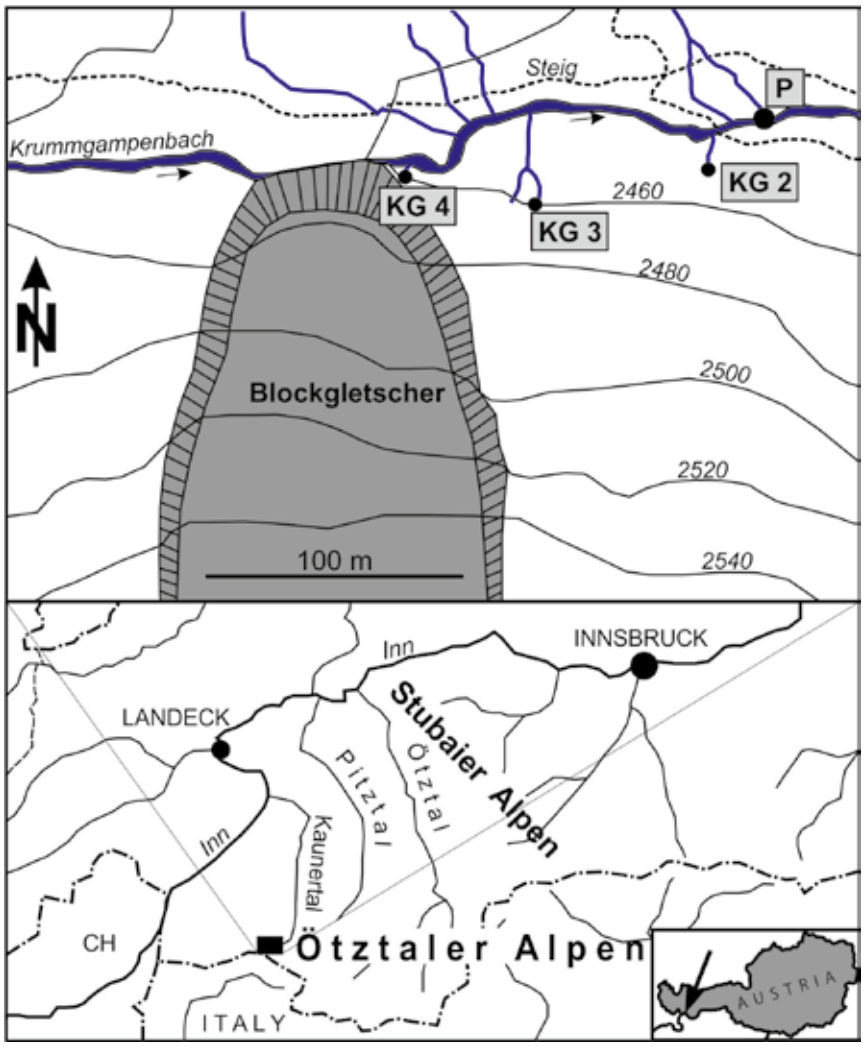
- Konstant niedrige Quelltemperatur von meist < 1.5°C (max. 1.9°C)
- Hohe elektrische Leitfähigkeit
- Hohe Konzentrationen an Ni
- Relativ geringe jahreszeitliche Schwankungen in der Quelltemperatur, der elektrischen Leitfähigkeit und der Quellschüttung.
- Die Quellschüttung liegt bei der Quelle KG 2 zwischen 1 und 2 l/s, bei den Quellen Kg 3 und 4 unter 1l/s.

Im Vergleich dazu zeigt das Wasser des Krummgampenbaches völlig andere Werte (Pegelmeßstelle, KG 1): Die Durchflussmenge liegt in den Sommermonaten meist zwischen 300 und 500 l/s mit Spitzen bis zu knapp über 2m^3/s. Die elektrische Leitfähigkeit beträgt maximal 120 µS/cm, die Wassertemperatur kann an warmen Sommertagen bis zu > 10°C betragen.

KG 1: 46 – 121 µS/cm, max. 9,9°C
KG 2: 238 – 669 µS/cm, max. 1,3°C
KG 3: 225 – 544 µS/cm, max. 1,9°C
KG 4: 211 – 558 µS/cm, max. 1,2°C

Abb. 36:
Blick auf die Zunge des leicht aktiven Blockgletschers im Krummgampental.

Abb. 37:
Zunge des leicht aktiven Blockgletschers im Krummgampental mit Lage der Quellen KG 2, 3 und 4 . P markiert die Lage der Pegelstation am Krummgampenbach.



3.6.5 Weiße Krusten

Nach der Einmündung des Wassers der Quelle KG 4 in den Krummgampenbach sind die Steine im Bach mit einer auffallenden weißlichen Kruste überzogen. Die Kruste ist bis zu 0.5 mm dick. Röntgendiffraktometeraufnahmen ergaben, dass es sich bei diesen Krusten entweder um Allophan oder Imogulit handelt, allerdings konnte eine Kristallstruktur nicht nachgewiesen werden. EDXRFA-Analysen ergaben 29 - 31% SiO_2, 52 - 66% Al_2O_3, 6 - 9% SO_3 sowie einige Prozent Na_2O-MgO-Fe_2O_3-K_2O. Außerdem wurden in den Krusten auffallend hohe Gehalte an Arsen (1000 - 5000 ppm), Kupfer (300 - 600 ppm), Uran (300 - 900 ppm) und Yttrium (100 - 400 ppm) gemessen.

Die Quelle KG 4 ist durch eine hohe elektrische Leitfähigkeit, hohe Sulfatgehalte (133 mg/l SO_4^{2-}) und Ca-Gehalte (27 mg/l Ca), durch einen sauren pH-Wert (pH 5) sowie hohe Al- und Ni-Konzentrationen gekennzeichnet. Das Quellwasser enthält > 3 mg/l Si, auch Cu und Mn sind in hohen Konzentrationen enthalten, während U, Y und Arsen im Quellwasser nicht nachgewiesen werden konnten.

Gesteinsanalysen (Schönherr, 2009) von Sedimentproben des Blockgletschers (EDXRFA-Analysen) ergaben folgende Gehalte: Ni 20 - 30 ppm, As < 1 ppm, Cu 80 - 160 ppm, U < 10 ppm, Y 40 - 80 ppm.

3.6.6 Interpretation

Refraktionsseismische Untersuchungen, BTS-Messungen und Quelltemperaturen belegen das Vorhandensein von Permafrost-Eis im Blockgletscher. Es handelt sich offensichtlich um einen leicht aktiven Eiszement-Blockgletscher.

Die Blockgletscherquelle KG4 sowie die beiden unmittelbar östlich der Zunge gelegenen Quellen KG2 und KG3 sind aufgrund ihrer konstant niedrigen Temperaturen typische Anzeiger für das Vorhandensein von Permafrost im Einzugsgebiet der Quellen.

Alle drei Quellen weisen hohe Gehalte an Schwermetallen, insbesondere Ni auf. Gesteinsanalysen zeigen, dass im Festgestein im Einzugsgebiet keine höheren Ni Gehalte vorkommen. Ein Teil des Ni könnte aus dem Pyrit freigesetzt werden. Möglicherweise wird ein Großteil des Ni aus dem Permafrost-Eis freigesetzt (ähnlich wie beim Lazaun-Blockgletscher im Schnalstal, KRAINER et al., 2015).

Die Entstehung der weißen Krusten hängt offensichtlich mit der Blockgletscherquelle KG4 zusammen. Die Ausfällung der Krusten wird vermutlich durch die plötzliche Änderung des pH Wertes des Quellwassers von sauer (pH 5) zu neutral pH 7 bei der Einmündung des Quellwassers in den Krummgampenbach ausgelöst. Y und U werden vermutlich aus dem Mineral Xenotim freigesetzt, das in den Paragneisen im Krummgampental durch Tropper stellenweise in höheren Gehalten festgestellt wurde. Cu und As stammen vermutlich aus Arsenkies und Kupferkies. Auffallend ist jedoch, dass im Quellwasser U, Y und As nicht nachgewiesen werden konnten.

3.7 BLOCKGLETSCHER WANNENKAR IM WINDACHTAL

3.7.1 Lage

Auf der Westseite des Windachtales (Abb. 1) liegen in den Karen zwischen dem Brunnenkogelhaus und dem Schrakogel (Schönkar, Goaßkar, Wannenkar, Hagelkarle und Schrakar) insgesamt 12 Blockgletscher, die meisten davon sind noch aktiv (OA 232 - OA 243 laut Blockgletscherinventar KRAINER & RIBIS, 2012).

Zwei Blockgletscher im Wannenkar wurden genauer untersucht: Blockgletscher OA 237 (Wannenkar 1, Abb. 38) und OA 238 (Wannenkar 2, Abb. 39, siehe Karte Abb. 40).

3.7.2 Geologie

Die Festgesteine im Einzugsgebiet der beiden Blockgletscher bestehen aus Glimmerschiefern und Paragneisen des Ötztal-Stubai-Kristallins. Die Schieferung fällt meist steil (60-70°) nach Norden ein, die Gesteine werden von Störungen durchzogen und sind vor allem entlang von Störungen, auch im Kammbereich als Folge der Frostverwitterung stark zerlegt und aufgelockert.

Abb. 38: Der aktive Blockgletscher Wannenkar 1 endet mit seiner steilen Stirn ca. 70 m westlich des Wannenkarsees.

Abb. 39: Der leicht aktive Blockgletscher Wannenkar 2 endet mit seiner Stirn direkt im Wannenkarsee.

3.7.3 Morphologie

Blockgletscher Wannenkar 1 hat seine Wurzelzone unterhalb des Wannenkarsattels auf 2.840 m Seehöhe, zieht in nordöstlicher Richtung in das Wannenkar und endet mit einer steilen Stirn auf 2.670 m, ca. 70 m vom Ufer des Wannenkarsees entfernt (Abb. 38, 40). Der Blockgletscher ist 765 m lang, bis zu 340 m breit und bedeckt eine Fläche von 0,235 km². Der Blockgletscher besitzt eine Depression im Bereich der Wurzelzone (kleiner Tümpel). Die Oberfläche des Blockgletschers ist durch eine markante Morphologie aus longitudinalen Rücken und Vertiefungen im oberen und mittleren Bereich sowie aus transversalen Rücken und Vertiefungen (Loben) im Stirnbereich gekennzeichnet. Die Stirn ist sehr steil und ist nicht von Vegetation bedeckt

Blockgletscher Wannenkar 2 (Abb. 39, 40) reicht vom Wandfuß an der Nordwestseite des Wannenkogels (Wurzelzone auf 2.840 m) bis zum Wannenkarsee, die Stirn endet im See (2.640 m) (Abb. 39). Der Blockgletscher ist 590 m lang, bis zu 230 m breit und bedeckt eine Fläche von 0,1 km². In der Wurzelzone ist eine leichte Depression ausgebildet, im mittleren Bereich und im Stirnbereich zeigt der Blockgletscher deutlich ausgebildete transversale Loben.

Luftbildvergleiche zeigen, dass sich die Stirn des Blockgletschers Wannenkar 1 im Zeitraum von 1971 bis 2003 um 15 m vorbewegt hat, was eine durchschnittliche Bewegungsrate von 47 cm/Jahr ergibt. Beim Blockgletscher Wannenkar 2 liegen die durchschnittlichen Bewegungsraten im Stirnbereich bei 10 cm/Jahr.

3.7.4 Korngröße

Die Schuttlage an der Oberfläche des Blockgletschers Wannenkar 1 ist grobkörnig, es dominieren Korngrößen zwischen 10 und 50 cm. Der Anteil an Klasten mit Korngröße über 50 cm und unter 10 cm ist gering, auch Blöcke mit einem Durchmesser > 100 cm sind nicht selten (Abb. 41). Am Blockgletscher Wannenkar 2 ist die Korngrößenverteilung ähnlich, es dominieren Korngrößen mit Durchmessern zwischen 10 und 40 cm. Im Stirnbereich liegen sehr viele große Blöcke, der Anteil an Blöcken mit einem Durchmesser von > 100 cm liegt über 10% (Abb. 41). Die Siebkurven der Blockgletscher Wannenkar 1 und 2 zeigen einen ähnlichen Verlauf, alle Proben weisen eine schlechte bis sehr schlechte Sortierung auf (1,96-3,6 phi).

3.7.5 BTS-Messungen

In den Wintermonaten 2011/12 und 2012/13 wurden auf beiden Blockgletschern und neben den Blockgletschern BTS-Messungen durchgeführt. Auf den Blockgletschern wurden immer deutlich tiefere Temperaturen gemessen wie neben den Blockgletschern (Abb. 42). An zwei Stellen wurden auch neben den Blockgletschern tiefe Temperaturen aufgezeichnet, die auf das Vorhandensein von Permafrosteis im Schutt hinweisen. Im Winter 2011/12 wurden am Blockgletscher Wannenkar 1 zwischen Dezember und Ende März Temperaturen von durchwegs unter -6°C gemessen, am 7. Februar wurde mit -17,8 die tiefste Temperatur erreicht. Auch im folgenden Winter wurden auf den Blockgletschern Temperaturen gemessen, die eindeutig auf das Vorhandensein von Permafrosteis hinweisen (Details in SCHMIDT, 2014).

Beim BG Wannenkar 1 sind am Fuße der Stirn während der Schneeschmelze bis zu 14 Quellen zu beobachten, die jedoch meist nur eine geringe Schüttung aufweisen und alle in den Wannenkarsee münden. Zum Herbst hin fallen einige dieser Quellen trocken. Beim BG Wannenkar 2 müssen die Quellen direkt in den See münden. Im Spätsommer sind am BG Wannenkar 2 im Bereich der Senke mehrere kleine Quellen aktiv.

3.7.6 Hydrologie

Alle Quellen sind durch eine niedrige Quelltemperatur (meist unter 1,5 °C) sowie durch eine relativ niedrige elektrische Leitfähigkeit während der Hauptschneeschmelze (Mai, Juni) charakterisiert, die jedoch zum Herbst hin stark ansteigt und Werte von über 500 µS/cm, z.T. über 1000 µS/cm erreicht (Abb. 40). Der pH-Wert liegt im sauren Bereich (4,5-4,8). Einige Quellen wurden chemisch analysiert und sind durch hohe Konzentrationen an Al, Mn, Ni, Co, auch an Ca, Mg, und SO_4 gekennzeichnet (Ni bis 1,34 mg/l; Abb. 40).

Am Abfluss des Wannenkarsees wurde ein Pegel installiert, um das Abflussverhalten genauer zu

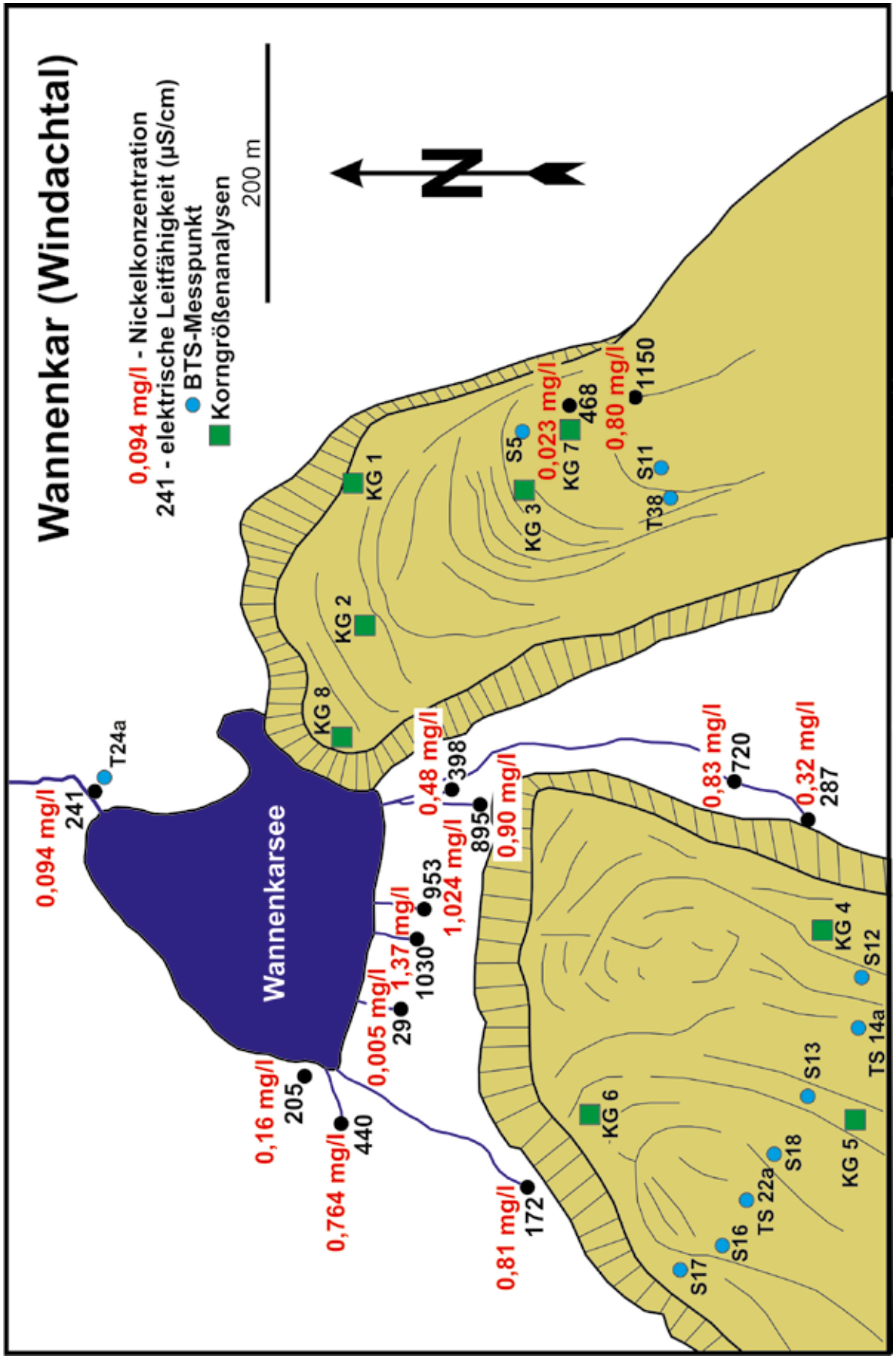


Abb. 40: Die Zungenbereiche der beiden Blockgletscher Wannenkar 1 (links) und Wannenkar 2 (rechts) mit Lage der Quellen, BTS-Messpunkte und Flächen, auf denen Korngrößenanalysen durchgeführt wurden.

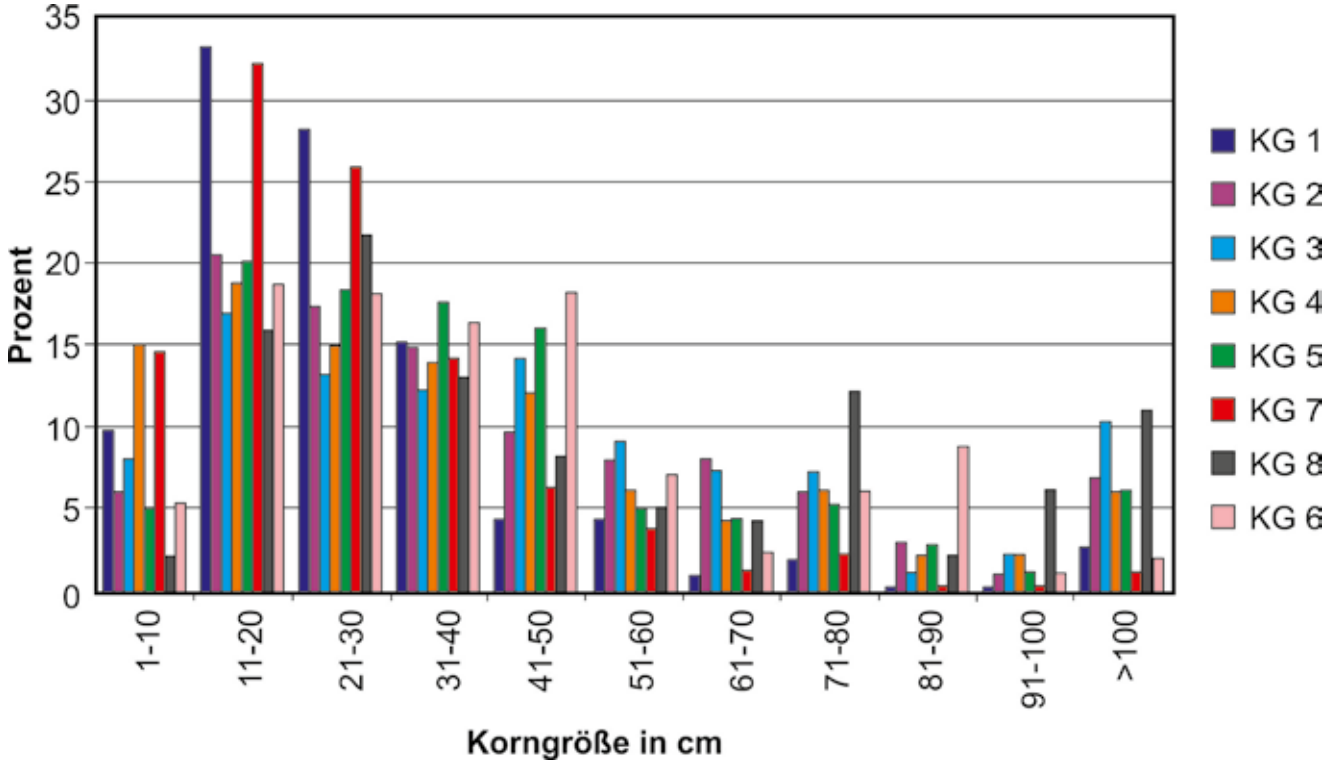


Abb. 41: Korngrößenverteilung an der Oberfläche der Schuttlage der beiden Blockgletscher Wannenkar 1 und 2. Die Position der einzelnen Messbereiche KG 1 – KG 8 ist auf der Karte Abb. 40 dargestellt.

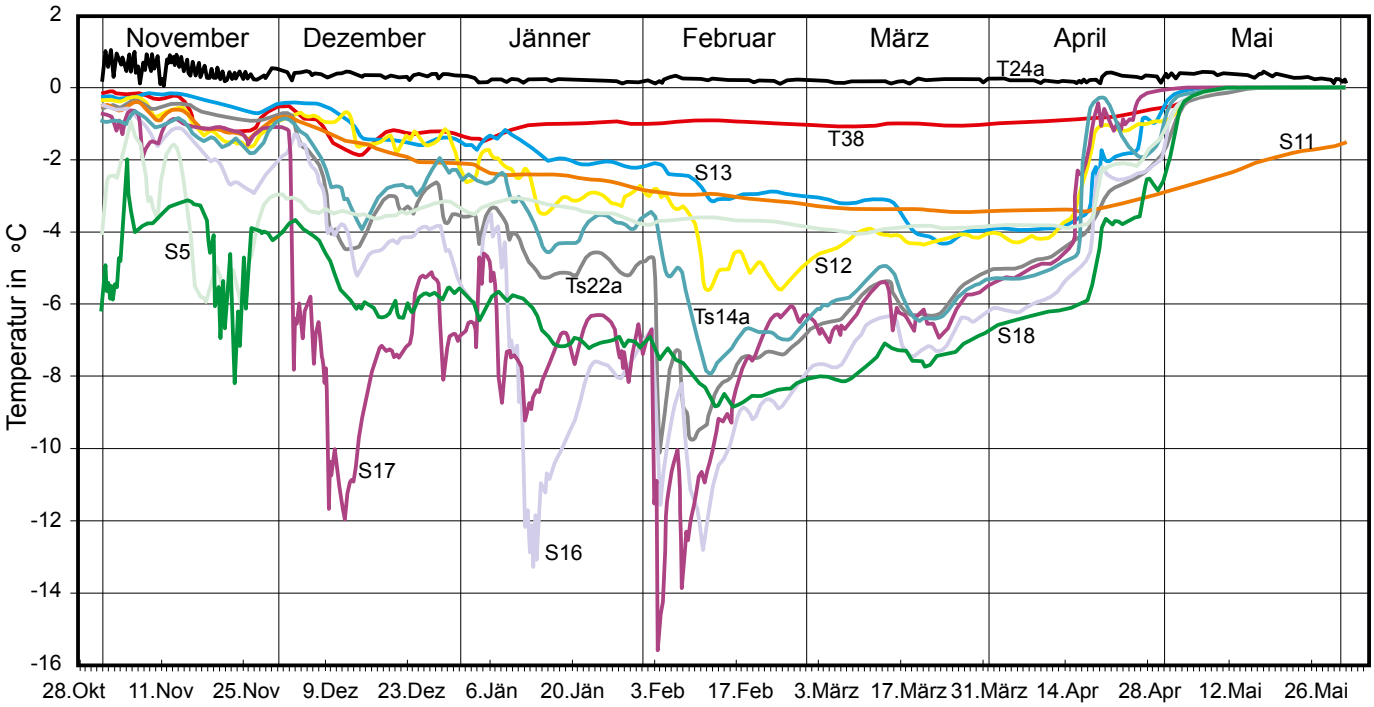


Abb. 42: Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) auf und neben den Blockgletschern Wannenkar 1 und 2 im Winter 2012/2013. Die Position der Messpunkte ist aus der Karte Abb. 40 ersichtlich.

untersuchen. Hohe Abflussmengen wurden im Juni und Juli gemessen (> 200 l/s) mit ausgeprägten Tagesschwankungen. Ab Ende Juli geht der Abfluss dann kontinuierlich zurück und erreicht im Oktober nur mehr Werte um 15-20 l/s. Die Wassertemperatur des Sees erreicht im August mit knapp 13 °C ihren höchsten Wert.

3.7.7 Schlussfolgerungen

Beide Blockgletscher im Wannenkar sind aufgrund ihrer Morphologie, BTS-Temperaturen, Quelltemperaturen und Luftbildvergleiche als aktiv einzustufen. Die Blockgletscherquellen sind durch auffallend hohe elektrische Leitfähigkeiten gekennzeichnet, die vor allem zum Herbst hin stark ansteigen. Auffallend sind auch die hohen Konzentrationen an Ni bei Quellen im Wannenkar, aber auch bei einigen Blockgletscherquellen in den benachbarten Karen (Details in SCHMIDT, 2014).

3.8 BLOCKGLETSCHER LECHTALER ALPEN

In den Nördlichen Kalkalpen (Tiroler Anteil) wurden insgesamt 212 Blockgletscher erfasst, die insgesamt eine Fläche von 10,801 km² bedecken. Die meisten Blockgletscher liegen in den Lechtaler Alpen (88), im Karwendel (66) und in den Allgäuer Alpen (38). In den anderen Gebirgsgruppen der Nördlichen Kalkalpen konnten nur wenige Blockgletscher festgestellt werden: Wilder Kaiser (8), Mieminger Kette (6), Wettersteingebirge (2), Rofan (2), Zahmer Kaiser (1) und Loferer Steinberge (1).
Von den 212 Blockgletschern wurden 7 als aktiv (leicht aktiv), 39 als inaktiv und 166 als fossil eingestuft. Die Unterscheidung zwischen aktiv-inaktiv und inaktiv-fossil ist jedoch auf den Orthofotos meist schwierig. Als aktiv wurden alle Blockgletscher eingestuft, die eine steile, unbewachsene Stirn aufweisen. Die Aktivität dieser Blockgletscher dürfte aber sehr gering sein. Fossile Blockgletscher besitzen dagegen eine abgeflachte, meist völlig von Vegetation bedeckte Stirn.
Von den 88 BG in den Lechtaler Alpen haben KRAINER und RIBIS (2012) 5 Blockgletscher als leicht aktiv, 25 als inaktiv und 58 als fossil eingestuft.

3.8.1 Lage

Um die aus den Orthophotos eingeschätzte Aktivität der Blockgletscher zu überprüfen, wurden in den zentralen Lechtaler Alpen, im Bereich der Vorderseespitze (Abb. 1), einige Blockgletscher im Rahmen einer Masterarbeit genauer untersucht (SCHIESTL, 2014).
Diese liegen (von West nach Ost) NW der Feuerspitze, im Bereich Stierlahnzug (N Vorderseespitze), nordöstlich der Vorderseespitze (Abb. 43, 44), nördlich der Samspitze und nördlich des Stierkopfes.

3.8.2 Geologischer Rahmen

Die Festgesteine im Einzugsgebiet der Blockgletscher bestehen meist ausschließlich aus Hauptdolomit, lediglich NW der Feuerspitze aus Plattenkalk, Kössener Schichten und Jura-Gesteinen, die den Gipfel der Feuerspitze aufbauen (Abb. 43).

3.8.3 Korngröße

An der Oberfläche der Schuttlage des großen Blockgletschers nördlich der Samspitze dominieren auf einer grobkörnigen Fläche Gerölle mit einem Korndurchmesser von 1 - 10 cm (38%) und 11 - 20 cm (30%), der Anteil von Geröllen 21 - 30 cm beträgt nur mehr 13%, jener von 31 - 40 cm 10%. Vereinzelt kommen auch Blöcke mit einem Durchmesser von > 1 m vor. Auf einer feinkörnigen Fläche lagen 77% aller Gerölle im Bereich 1 - 10 cm und 17% im Bereich 11 - 20 cm, Gerölle > 50 cm waren extrem selten. Siebanalysen ergaben eine typische Korngrößenverteilung mit einer sehr schlechten Sortierung ähnlich wie bei vielen anderen Blockgletschern.
Ähnlich ist auch die Korngrößenverteilung auf einem Blockgletscher im Stierlahnzug (Abb. 45). Auf einer grobkörnigen Fläche dominieren Gerölle mit 1 - 10 cm (40%), 11 - 20 cm (29%) und 21 - 30 cm (12%). Gerölle mit 31 - 40 cm Korndurchmesser sind noch mit 11% vertreten, größere Gerölle nur mehr in geringen Prozentsätzen. Gerölle > 50 cm sind selten. Auf einer feinkörnigen Fläche fielen gar 81% aller Gerölle in den Korngrößenbereich 1 - 10 cm, 14% in den Bereich 11 - 20 cm und nur 3% in den Bereich 21 - 30 cm bzw. 2% in den Bereich 31 - 40 cm. Größere Gerölle sind extrem selten.

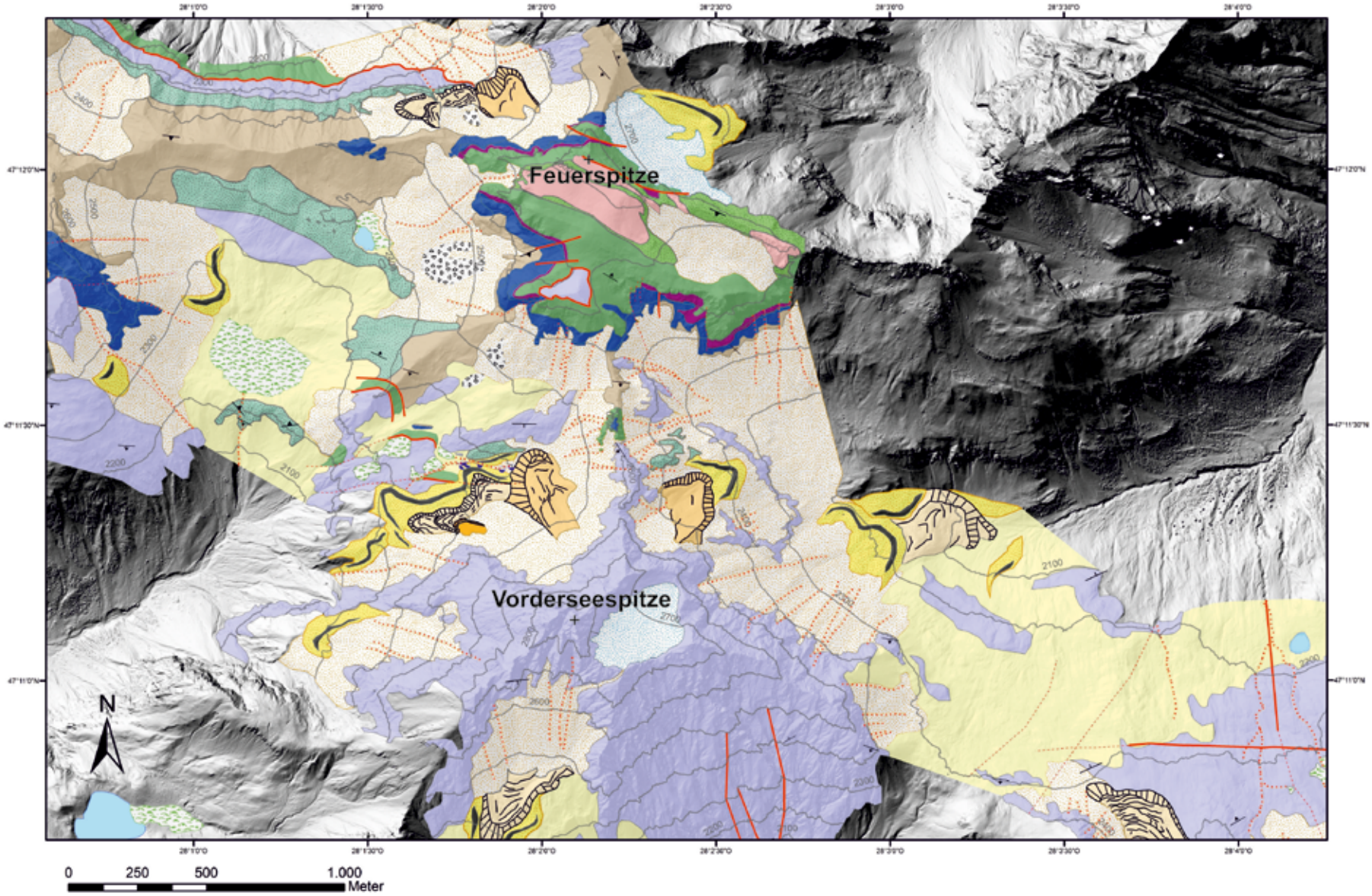


Abb. 43: Geologisch-geomorphologische Karte des Bereiches Vorderseespitze - Feuerspitze in den Lechtaler Alpen nördlich von Schnann (Festgesteine nach der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 144 Landeck).

Abb. 44: Kleiner, leicht aktiver Blockgletscher auf der Nordseite der Samspitze.

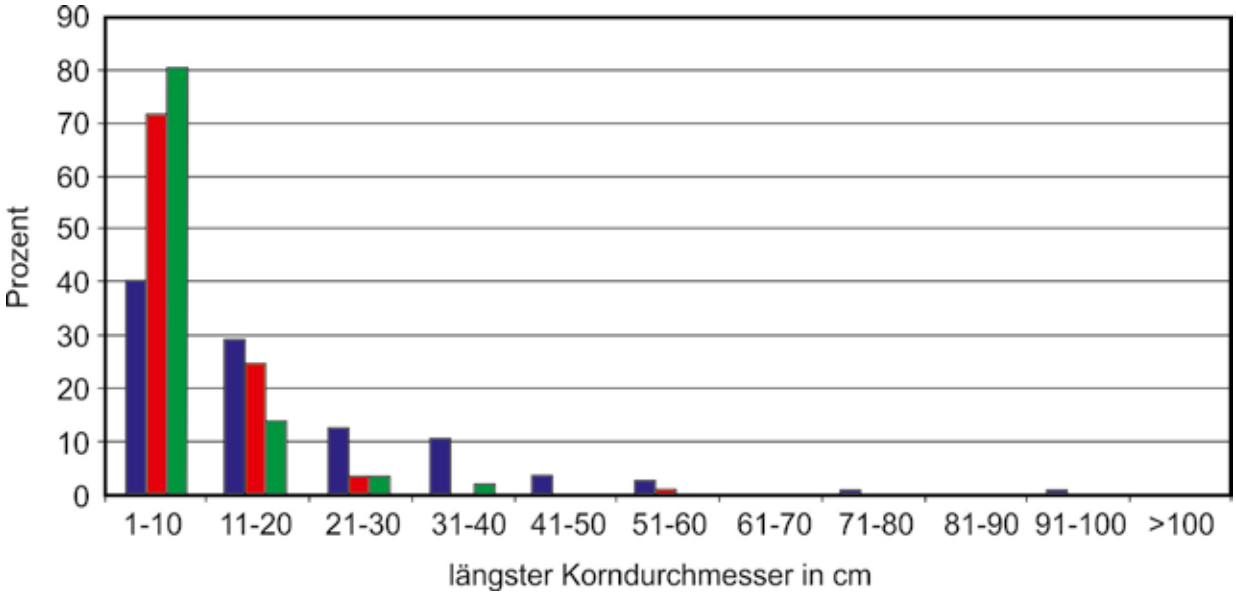


Abb. 45: Korngrößenverteilung am Blockgletscher im Stierlahnzug. Es dominieren Korngrößen bis 20 cm, Klasten > 50 cm sind sehr selten.

NW der Feuerspitze lag auf einer grobkörnigen Fläche der Anteil an Geröllen 1 - 10cm bei 51%, jener der Klasse 11 - 20 cm bei 41%, vereinzelt wurden größere Blöcke mit Durchmessern bis > 1 m festgestellt. Auf einer feinkörnigen Fläche betrug der Anteil an Geröllen der Klasse 1 - 10 cm gar 94%.

3.8.4 Oberflächenmorphologie

Die Oberflächenmorphologie in Form von transversalen und longitudinalen Loben ist nur selten deutlich ausgeprägt, meist sind Loben nicht oder nur undeutlich zu erkennen. Am deutlichsten sind transversale Loben am großen Blockgletscher nördlich der Samspitze ausgebildet. Die Stirn ist bei den fossilen Blockgletschern deutlich flacher und auch schon leicht bewachsen, während bei den zwei leicht aktiven Blockgletschern die Stirn sehr steil und frisch ausgebildet ist.

3.8.5 BTS-Messungen

Am Blockgletscher nördlich des Stierkopfes lieferte eine Temperatursonde im Winter 2011/2012 BTS-Daten, die im Zeitraum Jänner bis April zwischen -3,7 und -5°C lagen und somit lokal auf das Vorhandensein von Permafrost-Eis im Blockgletscher hinweisen.
Nördlich der Samspitze lieferten BTS-Daten am kleinen Blockgletscher Hinweise für das Vorhandensein von Permafrost-Eis. Am großen Blockgletscher waren erwartungsgemäß die BTS-Werte zu hoch, dieser Blockgletscher enthält kein Eis mehr. Auch am Blockgletscher nordöstlich der Vorderseespitze ist aufgrund der BTS-Daten das Vorhandensein von Permafrost-Eis unwahrscheinlich. Im Stierlahnzug lieferten die BTS-Messungen dagegen sowohl am großen wie auch am kleinen Blockgletscher und auch im Schutt zwischen denn Blockgletschern eindeutige Hinweise auf Permafrost-Eis im Untergrund (Abb. 46).
Nordwestlich der Feuerspitze weisen die BTS-Daten an zwei Stellen im westlichen Teil ebenfalls auf das Vorhandensein von Permafrost-Eis hin (Details in SCHIESTL 2014).

3.8.6 Hydrogeologie

Am Fuße der Stirn des Blockgletschers nördlich des Stierkopfes entspringt in den Sommermonaten eine Quelle, die allerdings nur sehr wenig Wasser schüttet (< 1l/s). Die elektrische Leitfähigkeit ist mit 80 - 170 µS/cm niedrig. Der pH-Wert liegt bei 7,82 - 7,91. Der Nitratgehalt liegt ≤ 1 mg/l, die Gehalte an Ammonium und Sulfat liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Der Gehalt an K liegt bei 0,11 - 0.13 mg/l, Mg 14,10 - 15,73 mg/l, Ca 16,99 - 19,06 mg/l. Schwermetalle sind im Wasser nicht enthalten.
Im Bereich Stierlahnzug treten im Vorfeld der Blockgletscher mehrere Quellen auf, die alle nur

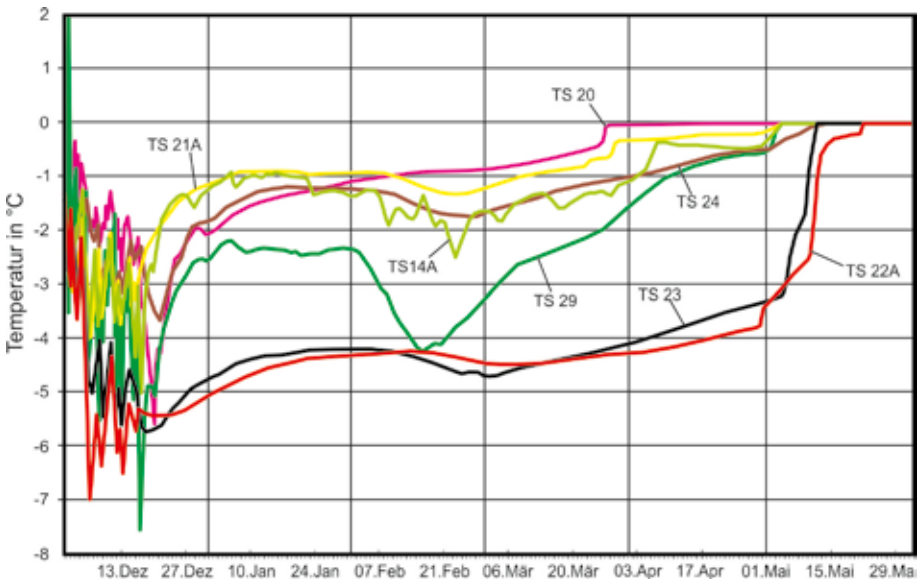


Abb. 46:
Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) im Bereich Stierlahnzug für den Winter 2011/2012. Die Temperaturen der Sonden TS 22A, TS 23 und TS 29, positioniert am großen Blockgletscher im Stierlahnzug, weisen eindeutig auf das Vorhandensein von Eis im Untergrund.

wenig Wasser führen. Bei einer Quelle wurde eine Temperatursonde installiert, die über einen Zeitraum von 2 Jahren Temperaturen zwischen 0,2 und 1,8°C aufzeichnete, was auf das Vorhandensein von Permafrost-Eis im Einzugsgebiet der Quelle hinweist. Die Temperaturen zeigen auch, dass diese Quelle offensichtlich ständig Wasser führt. Im Juli und August liegt die Wassertemperatur meist zwischen 0,6 und 1,4°C. Die elektrische Leitfähigkeit der Quellen ist auch im Stierlahnzug mit 70 - 180 µS/cm ähnlich niedrig wie beim Blockgletscher nördlich des Stierkopfes. Der pH-Wert liegt bei 7,94, Die Wasserchemie ist ebenfalls ähnlich mit hohen Ca und Mg-Gehalten, Schwermetalle konnten keine nachgewiesen werden (SCHIESTL, 2014).

3.8.7 Bewegungsmessungen

Bewegungsraten der Blockgletscher wurden photogrammetrisch über Luftbildvergleiche der letzten 60 Jahre durchgeführt. Die Untersuchungen ergaben für die Blockgletscher nördlich des Stierkopfes, nordöstlich der Vorderseespitze und nordwestlich der Feuerspitze keine Hinweise auf Aktivität. Der große Blockgletscher nördlich der Samspitze zeigt ebenfalls keine Veränderungen, während der kleine Blockgletscher seit 1953 eine markante Stirn entwickelt hat, die sich auch leicht hangabwärts bewegt.

Im Stierlahnzug zeigt der große Blockgletscher leichte Veränderungen, dieser Blockgletscher kann sich jedoch aufgrund der Morphologie im Stirnbereich nicht mehr weiter nach Norden bewegen, die Stirn des Blockgletschers könnte nur nach Westen ausweichen. Beim kleinen Blockgletscher konnten dagegen deutliche Veränderungen der Stirn beobachtet werden. In einem Zeitraum von 67 Jahren hat sich die Stirn um 3,7 - 4,6 m bewegt, was für diesen Zeitraum eine jährliche Bewegungsrate von durchschnittlich 5,5 - 6,9 cm ergibt.

3.8.8 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen konnten die von KRAINER und RIBIS (2012) aus Orthophotos durchgeführten Einschätzungen der Aktivität einzelner Blockgletscher großteils bestätigen. Einige der untersuchten Blockgletscher enthalten aufgrund der BTS-Messungen eindeutig Eis, sind demnach als intakt einzustufen, wobei zwei kleinere Blockgletscher auch noch deutliche Anzeichen von Bewegung erkennen lassen und demnach als leicht aktiv zu bezeichnen sind.

Die Korngröße ist ähnlich wie in den Dolomiten (LANG, 2006, HOLZNER, 2011, MUSSNER, 2010, KRAINER et al., 2010, 2012) deutlich feinkörniger als bei den Blockgletschern in den Altkristallingebieten (z.B. Ötztaler Alpen). Auch die Oberflächenmorphologie ist weniger deutlich ausgeprägt.

Auch die untersuchten Blockgletscher der Lechtaler Alpen sind, ähnlich wie in den Dolomiten, durch einen geringen bis fehlenden Oberflächenabfluss gekennzeichnet. Die Schmelzwässer der Blockgletscher versickern großteils über Kluftsysteme im Festgesteinsuntergrund, der großteils aus stark geklüftetem Hauptdolomit besteht (Details siehe SCHIESTL, 2014).

LITERATUR

Ausserer, P. (2009): Geologie des hintersten Ultentales unter besonderer Berücksichtigung der Blockgletscher. – Unveröff. Diplomarbeit Univ. Innsbruck, 112 S.

Berger, J. (2002): Aufbau und Dynamik aktiver Blockgletscher am Beispiel der Blockgletscher in der Inneren Ölgrube und dem Kaiserbergtal (Ötztaler Alpen / Tirol). – Diplomarbeit, Naturwiss. Fak. Univ. Innsbruck.

Berger, J., Krainer, K. & Mostler, W. (2004): Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). – Quaternary Research 62: 233-242.

Bressan, D. (2007): Aufbau und Dynamik aktiver Blockgletscher am Beispiel der Lazaunalm (Ötztaler Alpen, Südtirol). – Unveröff. Diplomarbeit Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Univ. Innsbruck, 198 Seiten.

Bosellini A. (1998): Geologie der Dolomiten. – Athesia-Verlag, Bozen, 191pp.

Cremonese, E., Gruber, S., Phillips, M., Pogliotti, P., Boeckli, L., Noetzli, J., Suter, C., Bodin, X., Crepaz, A., Kellerer-Pirklbauer, A., Lang, K., Letey, S., Mair, V., Morra di Cella, U., Ravanel, L., Scapozza, C., Seppi, R. and Zischg, A. (2011). An inventory of permafrost evidence for the European Alps. – The Cryosphere, 5, 651-657.

Damm, B. (1996): Gletscher-, Landschafts- und Klimaentwicklung in der Rieserfernergruppe (Tirol) seit dem Spätglazial. – Göttinger Geogr. Abhandlungen Bd. 104.

Damm, B. & Langer, M. (2006): Auswirkungen von Permafrostdegradation und Gletscherschwund im Naturpark Rieserferner – Ahrn. Teilstudie 1, Kartierung und Monitoring von Permafrost als Grundlage einer Gefahrenanalyse in der Rieserfernergruppe. – Unveröff. Bericht Autonome Provinz Bozen-Südtirol, 32 Seiten.

Delaloye R., Lambiel,C., and Gärtner-Roer I. (2010): Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps, Geogr. Helv., 65, 135-145.

Delaloye, R., Perruchoud, E., Avian, M., Kaufmann, V., Bodin, X., Ikeda, A., Hausmann, H., Kääb, A., Kellerer-Pirklbauer, A., Krainer, K., Lambiel, C., Mihajlovic, D., Staub, B., Roer, I. and Thibert, E., 2008: Recent Interannual Variations of Rockglaciers Creep in the European Alps. In: D.L. Kane and K.M.Hinkel (eds.), Proceedings, Ninth International Conference on Permafrost (NICOP), University of Alaska, Fairbanks, 343-348.

Eiken, T., Hagen, J.O. & Melvold, K. (1997): Kinematic GPS survey of geometry changes on Svalbard glaciers. – Annals of Glaciology 24: 157 - 163.

Figl, T. (2004): Die Quartärgeologie des hinteren Sulztales in den westlichen Stubaier Alpen (Tirol) unter besonderer Berücksichtigung der Blockgletscher. – Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Erdwissenschaftlichen Fakultät - Universität Innsbruck.

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.

Fontana, T. (2011): Bewegungsmessung von Blockgletschern mit GPS. – Diplomarbeit Fak. für Bauingenieurwissenschaften, Univ. Innsbruck, 112 Seiten.

Froitzheim, N., Conti, P. & Van Daalen, M. (1997): Late Cretaceous, synorogenic, low-angle normal faulting along the Schlinig fault (Switzerland, Italy, Austria) and its significance for the tectonics of the Eastern Alps. – Tectonophysics, 280: 267-293.

Gärtner-Roer, I., 2010. Permafrost. – In: Th. Voigt, H.-M. Füssel, I. Gärtner-Roer, Ch. Huggel, Ch. Marty and M. Zemp (eds). Impacts of climate change on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socioeconomic relevance. ETC/ACC Technical Paper 2010/13: 66-76.

Haeberli, 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.

Haeberli, W.& Patzelt, G. (1982): Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 18(2): 127-150.

Haeberli, 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.

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. DOI: 10.1002/ppp. 60.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1994): GPS Theory and Practice (2nd Ed.). – Springer-Verlag, New York.

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.

Holzner, S. (2011): Geologie des südlichen Fanesgebietes östlich von St. Kassian (Südtiroler Dolomiten) unter Berücksichtigung der Blockgletscher. – Unveröff. Diplomarbiet, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Univ. Innsbruck, 138 Seiten.

Ikeda, A. & Matsuoka, N. (2006): Pebbly versus bouldery rock glaciers: Morphology, structure and processes. – Geomorphology 73(3-4): 279-296.

Juen, I. (1999): Blockgletscheruntersuchungen im hintersten Ultental. – Diplomarbeit, Naturwiss. Fak. Univ. Innsbruck.

Juen, I. (2000): Blockgletscher im hintersten Ultental, nördliche Ortlergruppe (Südtirol). – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie. 36: 171-185.

Keim, L. (2000): Facies analysis and stratigraphic evolution of steeply flanked carbonate platforms (Triassic of the Dolomites, Carboniferous of Asturia). – PhD-Thesis, University of Innsbruck, 155pp.

Keim, L. & Schlager, W. (2001): Quantitative compositional analysis of a Triassic carbonate platform (Southern Alps, Italy). – Sed. Geol. 139: 261-283.

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.

Kellerer-Pirklbauer, A., Lieb, G.K. & Kleinferchner, H. (2012): A new rock glacier inventory of the eastern European Alps. Austrian Journal of Earth Sciences 105/2: 78-93.

Konzett, J., Hoinkes, G. & Tropper, P. (2003): Alpine metamorphism in the Schneeberg Complex and neighbouring units (immediate vicinity of Obergurgl). 5th Workshop of Alpine Geological Studies, Field Trip Guide E4, Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck 26: 21-25.

Krainer, K. (2014): Geomorphology, permafrost and Holocene climate near Obergurgl, Ötztal Alps. In: Kerschner, H., Krainer, K. and Spötl C. (eds), From the foreland to the Central Alps. Field trips to selected sites of Quaternary research in the Tyrolean and Bavarian Alps (Deuqua, 2014): 128-143, Geozon, Berlin.

Krainer, K. (2015): Der aktive Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar. In: Schallhart, N & Erschbamer B. (Hrsg), Forschung am Blockgletscher – Methoden und Ergebnisse. Alpine Research Centre Obergurgl, vol. 4: 55-75, Innsbruck university press.

Krainer, K. & Lang, K. (2007): Active rock glaciers at Hohe Gaisl (Eastern Dolomites). – Geo.Alp, Vol. 4: 127-131 (field guide Sediment 2007).

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, Natio--nalpark Hohe Tauern). – Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern 6: 139-168.

Krainer, K., Lang, K. & Hausmann, H. (2010): Active rock glaciers at Croda Rossa/Hohe Gaisl, eastern Dolomites (Alto Adige/South Tyrol, northern Italy). – Geogr.Fis.Dinam. Quat. 33 (2010): 25-36.

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(1): 21-34.

Krainer, K. & Mostler, W. (2002): Hydrology of Active Rock Glaciers: Examples from the Austrian Alps. – Arctic, Antarctic, and Alpine Research 34(2): 142-149.

Krainer, K. & Mostler, W. (2005): Aufbau und Entstehung des aktiven Blockgletschers im Sulzkar, Westliche Stubaier Alpen (Tirol). – Geo.Alp 1: 37-55.

Krainer, K. & Mostler, W. (2006): Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. – Geografiska Annaler 88A(4): 267 - 280.

Krainer, K. & Ribis, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria). – Austrian Journal of Earth Sciences 105/2: 32-47.

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., Mussner, L, Behm, M. & Hausmann, H. (2012): Multi-disciplinary investigation of an active rock glacier in the Sella Group (Dolomites; Northern Italy). – Austrian Journal of Earth SCIENCES 105/2: 48-62.

Krainer, K., Bressan, D., Dietre, B., Haas, J.N., Hajdas; I., Lang, K., Mair, V., Nickus, U., Reidl. D., Thies, H., Tonidandel, D. (2015): A 10300-year-old permafrost core from the active rock glacier Lazaun, southern Ötztal Alps (South Tyrol, northern Italy). – Quaternary Research 83: 324-335.

Lambiel C. & Delaloye, R. (2004): Contribution of real-time kinematic GPS in the study of creeping mountain permafrost: Examples from the Western Swiss Alps. – Permafrost and Periglacial Processes 15(3): 229-241.

Lang, K. (2006): Geologie des Hohe Gaisl Massives (Pragser – und Ampezzaner Dolomiten) unter besonderer Berücksichtigung der aktiven Blockgletscher. – Diplomarbeit, Naturwiss. Fak. Univ. Innsbruck.

Little, J.D., Sandall, H., Walegur, M.T. & Nelson, F.E. (2003): Application of differential global positioning systems to monitor frost heave and thaw settlement in Tundra environments. – Permafrost and Periglacial Processes, 14: 349-357.

Mair, V. & Schuster, R. (2003): New geochronological data from the austroalpine Ortler crystalline in the Martell Valley (Südtirol, Italien). – PG 46, Salzburg.

Matsuoka, S.I., Ikeda, A. & Date, T. (2005): Morphometric analysis of solifluction lobes and rock glaciers in the Swiss Alps. – Permafrost and Periglacial Processes, 16: 99-113.

Mussner, L. (2010): Die Geologie der Sella-Nordseite (Dolomiten – Südtirol) unter besonderer Berücksichtigung der Blockgletscher. – Unveröff. Diplomarbeit Univ. Innsbruck, 185 S.

Neal, A. (2004): Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. – Earth-Science Reviews 66: 261 - 330.

Nickus, U., Abermann, J., Fischer, A., Krainer, K., Schneider, H., Span, N. and Thies, H. (2015): Rock Glacier Äußeres Hochebenkar (Austria) – Recent results of a monitoring network. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 47/48: 43-62.

Piccolruaz, C. (2004): Zur Quartärgeologie des Kaunergrates im Bereich östlich des Gepatsch-Stausees in den westlichen Ötztaler Alpen. – Unveröff. Diplomarbeit Univ. Innsbruck.

Pillewizer, W. (1957): Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. – Geomorphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift), v. 5, p. 37-50.

Purtscheller, F. (1971): Ötztaler und Stubaier Alpen. – Sammlung Geologischer Führer, Bd. 53, Gebr. Borntraeger, Berlin, 128 S.

Schmidt, V. (2014): Geologische-geomorphologische Kartierung eines ausgewählten Gebietes im Windachtal (Ötztal, Tirol). – Unveröff. Masterarbeit, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Univ. Innsbruck, 175+LXX Seiten.

Schneider, B. (1999): Die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Ötztaler Alpen, Tirol) seit 1938. Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Innsbruck, 137 Seiten.

Schneider, B. & Schneider, H. (2001): Zur 60jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äusseren Hochebenkar, Ötztaler Alpen. – Tirol. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 37(1): 1-33.

Schiestl, E-M. (2014): Quartärgeologie der Lechtaler Alpen nördlich von Schnann unter besonderer Berücksichtigung der Blockgletscher. – Unveröff. Masterarbeit, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Univ. Innsbruck, 126 Seiten.

Shroder, J.F.; Bishop, M.P.; Copland, L. & Sloan, V.F. (2000): Debris-covered glaciers and rock glaciers in the Nanga Parbat Himalya, Pakistan. – Geografiska Annaler 82(A): 17 - 31.

Stocker, K. (2012): Blockgletscher in Vorarlberg und in der Verwallgruppe. – Museumsverein Jahrbuch Vorarlberger Landesmuseum 2012: 124-139.

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. (1993): Petrologische Untersuchungen an Metapeliten und Amphiboliten des westlichen Ötztal-Stubai Kristallins (Kaunertal). – Unpubl. Masters Thesis, University of Graz: 152pp.

Tropper, P. & Hoinkes, G. (1996): Geothermobarometry of Al_2SiO_5-bearing metapelites in the western Austroalpine Ötztal-basement. – Mineralogy and Petrology 58, 145-170.

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: 181-209.

Vangool, J.A.M., Kemme, M.M.J. & Schreurs, G.M.M.F. (1987): Structural Investigations along an E-W cross-section in the Southern Ötztal Alps. – In: Flügel, H.W., Faupl, P. (Hrsg.): Geodynamics of Eastern Alps. Deuticke-Verlag, Wien: 272-281.

Vietoris, L. (1972): Über die Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 8: 169-188.

Weber, M. (2003): Gletscherschwund und Klimawandel an der Zugspitze und am Vernagtferner (Ötztaler Alpen). Informationen zum Gletscherschwund – Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften: 1-10.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geo.Alp

Jahr/Year: 2016

Band/Volume: 012

Autor(en)/Author(s): Krainer Karl, Ausserer Patrick, Bressan David, Lang Kathrin, Mair Volkmar, Mussner Lukas, Nickus Ulrike, Schmidt Veronika, Schiestl Eva-Maria, Tessadri Richard, Thies Hansjörg, Tonidandel David

Artikel/Article: Aufbau und Dynamik ausgewählter Blockgletscher in Nord- und Südtirol 75-134