

Blockgletscherinventar Tirol

Karl Krainer und Markus Ribis

1 *Einleitung*

Permafrost ist in den Alpen oberhalb von ca. 2500 m Seehöhe ein weit verbreitetes Phänomen, das als „Alpiner Permafrost“ bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um „warmen“ Permafrost mit Temperaturen nahe 0°C. Daher reagiert Alpiner Permafrost auch sehr rasch auf Klimaschwankungen und andere Faktoren wie Schneedecke, Eisgehalt und Vegetation (GÄRTNER-ROER 2010).

Allerdings existieren bislang über die Verbreitung (Fläche, Mächtigkeit, Eisgehalt) des Alpinen Permafrostes in den österreichischen Alpen keine genauen Angaben. Für den östlichen Teil der österreichischen Alpen hat LIEB (1996) ein Blockgletscherinventar zusammengestellt, das aber noch keine Angaben über die Fläche der Blockgletscher enthält. LIEB (1998) schätzt, dass in Österreich ungefähr eine Fläche von 2000 km² von Permafrost betroffen ist. In der Schweiz sind es ungefähr 2100 km² oder ungefähr 5% der Landesfläche.

Beim Alpinen Permafrost können mehrere Typen unterschieden werden:

- a.) Intakte (aktive und inaktive) Blockgletscher
- b.) Permafrost in Lockersedimenten wie Schutthalden, Moränen
- c.) Permafrost im Festgestein (Spaltenfrost)

Von diesen drei Arten sind die Blockgletscher die auffallendsten und markantesten Erscheinungsformen. Blockgletscher sind morphologisch deutlich von ihrer Umgebung abgrenzbar und dadurch relativ leicht zu erfassen. Blockgletscher sind auch auf Luftbildern (Orthofotos) und Laserscannaufnahmen deutlich erkennbar.

Während Permafrost in Lockersedimenten (z.B. Schutthalden) und im Festgestein nur durch aufwendige Untersuchungsmethoden (Bodentemperaturen, geophysikalische Methoden) nachweisbar ist und die flächenhafte Verbreitung nur durch Modellierung abgeschätzt werden kann, können Blockgletscher relativ leicht erfasst und abgegrenzt werden.

Die meisten Blockgletscher in den Alpen liegen im Bereich der Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes und weisen meist Temperaturen von -2 bis 0°C auf. Daher

ist zu erwarten, dass diese Blockgletscher bereits auf sehr geringe Klimaschwankungen reagieren.

Für die Alpen wird bis zum Jahr 2100 eine Erwärmung von bis zu 4°C vorausgesagt, was zu einem verstärkten Abschmelzen des Alpinen Permafrostes und zu einer Verschiebung der Permafrost-Untergrenze in höhere Regionen führen wird. Die zu erwartenden Folgen sind eine zunehmende Destabilisierung steiler Felsflanken, verbunden mit verstärkter Steinschlag- und Felssturzaktivität sowie erhöhte Abflussmengen in Permafrost-Gebieten.

Da Blockgletscher auch zu den häufigsten Erscheinungsformen des Alpinen Permafrostes zählen, war es naheliegend, alle Blockgletscher systematisch zu erfassen. Im Rahmen des Projektes PermaNET wurde daher ein Blockgletscherinventar für Tirol erstellt, wobei zunächst in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Dienst des Landes Tirol und der Wildbach- und Lawinenverbauung ein Datenblatt erstellt wurde, nach dem alle Blockgletscher systematisch erfasst werden sollen.

Nachdem Blockgletscher in den Alpen weit verbreitet sind und die aktiven und inaktiven Blockgletscher Eis enthalten, stellen sich dabei folgende Fragen:

- a.) Wie viel Eis ist in den aktiven und inaktiven Blockgletschern gespeichert?
- b.) Spielt die Wassermenge, die von den Blockgletschern freigesetzt wird, im Abflussgeschehen des Hochgebirges eine Rolle?
- c.) Kommt es infolge der Klimaerwärmung zu einem verstärkten Abschmelzen des Permafrost-Eises der Blockgletscher und ist dies auch feststellbar?
- d.) Welche Naturgefahren sind durch das verstärkte Abschmelzen des Permafrostes zu erwarten?

2 Blockgletscher

2.1 Definition Blockgletscher

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial (Hangschutt, Moräne) und Eislinsen oder Eiskörpern, die sich deutlich von ihrer Umgebung abheben und sich langsam hangabwärts bewegen (Abb. 1, 2). Blockgletscher sind Erscheinungen des alpinen Permafrostes, können aber auch aus zurückschmelzenden, schuttbedeckten Kargletschern entstehen.

Man unterscheidet a) aktive Blockgletscher, die Eis enthalten und sich langsam hangabwärts bewegen (Abb. 1 bis 4), b) inaktive Blockgletscher, die auch noch Eis enthalten, sich aber

nicht mehr bewegen (Abb. 5, 6) und c) fossile Blockgletscher, die kein Eis mehr enthalten (Abb. 7).

Blockgletscher sind meist einige 100 m lang und 100 – 200 m breit. Einzelne Blockgletscher in den Öztaler und Stubaier Alpen erreichen eine Länge von bis zu über 1 km (siehe BARSCH 1996; HAEBERLI 1985, HAEBERLI et al. 2006).



Abbildung 1: Der Blockgletscher im Reichenkar (westliche Stubaier Alpen) zählt zu den größten und aktivsten Blockgletschern Tirols. Deutlich erkennbar ist die steile, völlig unbewachsene Stirn.



Abbildung 2: Aktiver Blockgletscher im Kaiserbergtal (Öztaler Alpen) mit deutlich erkennbarer Oberflächenmorphologie als Folge der Kriechbewegung.

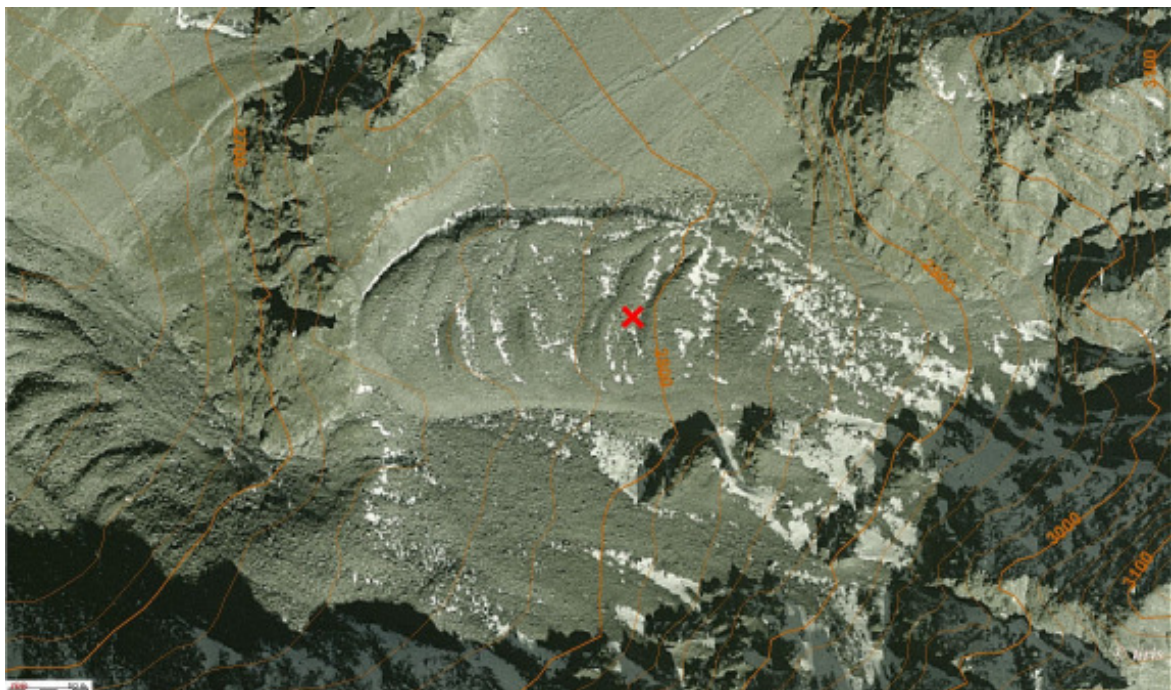
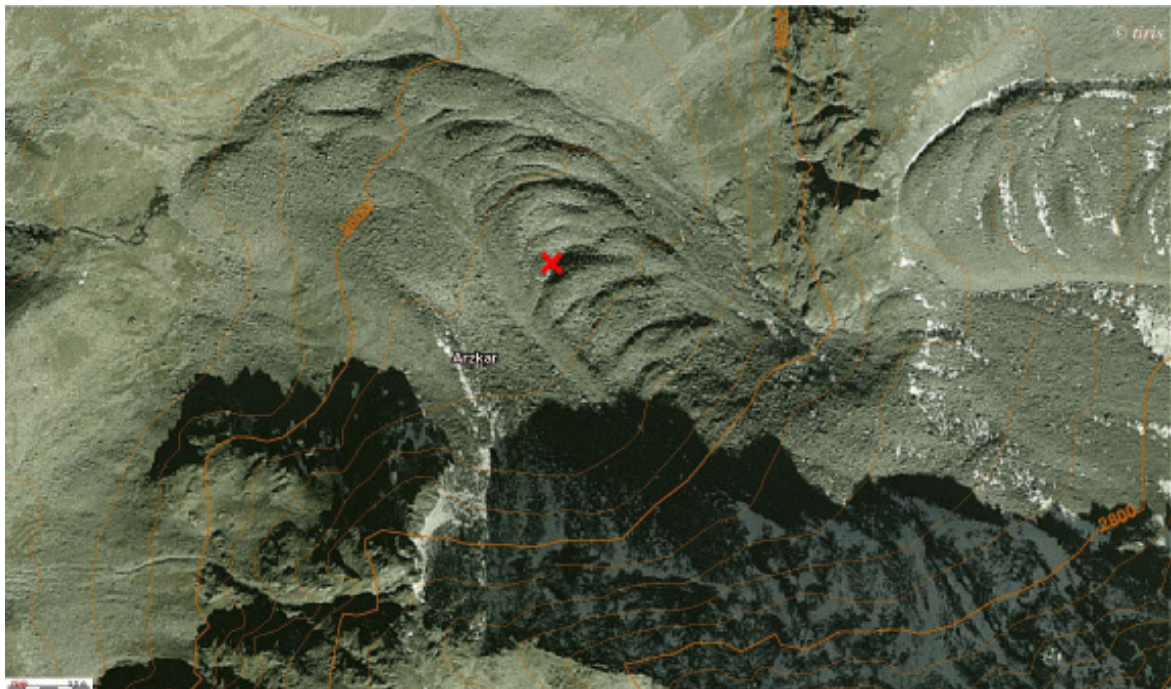


Abbildung 3, Abbildung 4: RA_BL006 und RA_BL007 – Beispiele für zwei aktive Blockgletscher im hinteren Radurschltal (Nauderer Berge/westliche Ötztaler Alpen) mit deutlich erkennbaren transversalen Loben als Folge der Kriechbewegung.

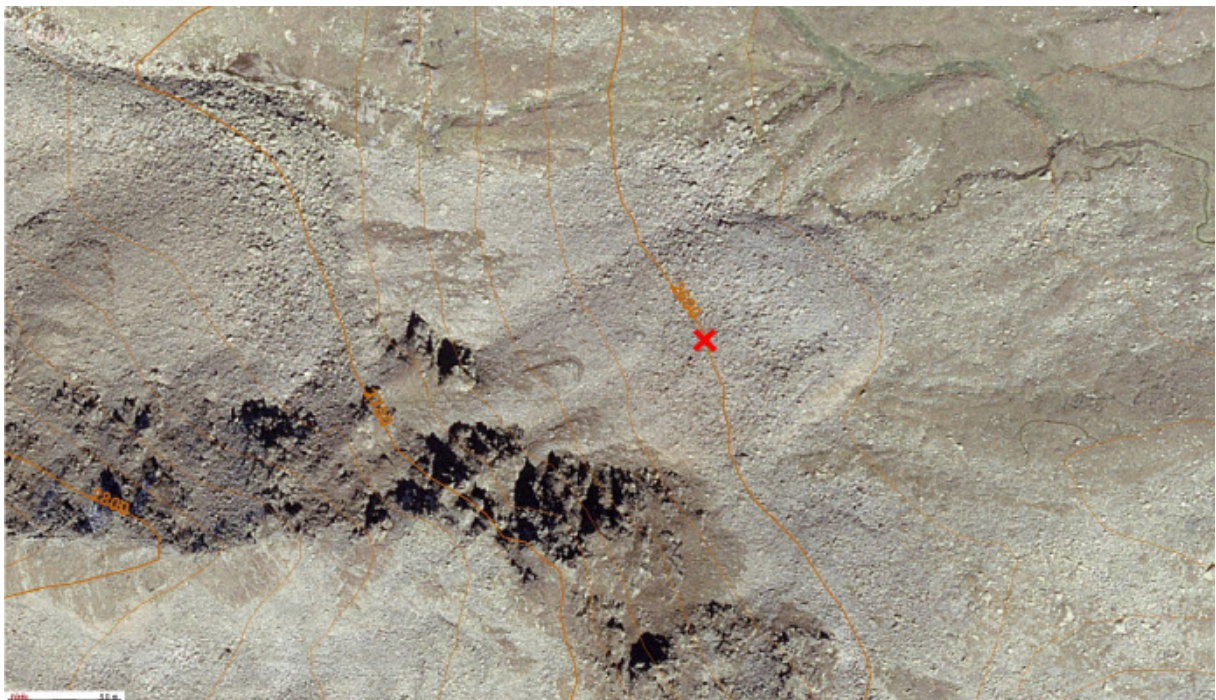
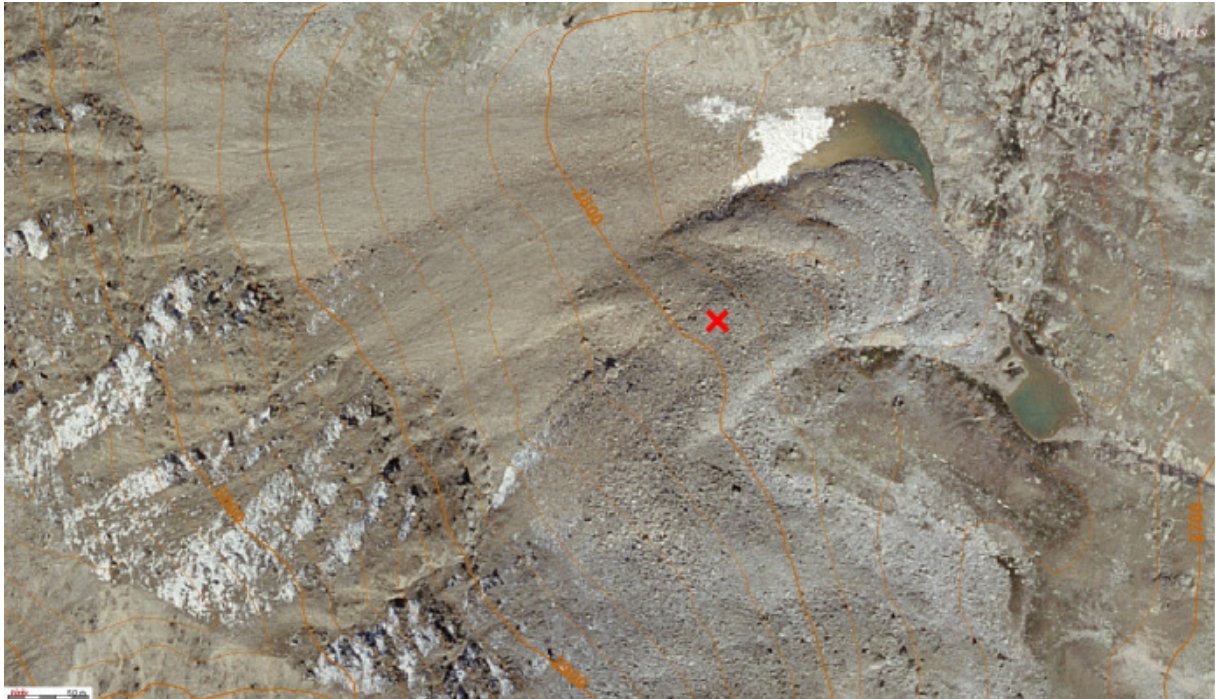


Abbildung 5, Abbildung 6: OA_BL046 und OA_BL047 – Beispiele für inaktive Blockgletscher in den Ötztaler Alpen.



Abbildung 7: OA_BL404 und OA_BL405 - Beispiele für zwei fossile Blockgletscher in den Ötztaler Alpen. Die Stirn der beiden Blockgletscher ist bereits stark bewachsen.

2.2 Morphologie

Aktive Blockgletscher zeigen typischerweise eine sehr steile Stirn aus frischem Gesteinsmaterial mit einem steilen Böschungswinkel von bis zu über 40° (Abb. 1, 2). Unter einer bis zu mehrere Meter mächtigen, grobblockigen, ungefrorenen Schuttlage (active layer) folgt der gefrorene Kern, der entweder aus einem Gemisch aus Eis und Gesteinsmaterial oder aus mehr oder weniger reinem Eis besteht. Größere Blockgletscher sind bis zu 50 m mächtig. Die ungefrorene Oberfläche besteht meist aus lockerem Blockwerk. Die Oberfläche der Blockgletscher zeigt häufig eine charakteristische Morphologie aus längs und quer verlaufenden Rücken und Vertiefungen, die durch die Kriechbewegung entstehen (Abb. 2, 3 und 4). Die Schuttlage aktiver Blockgletscher setzt sich häufig aus zwei Horizonten zusammen: einem grobkörnigen Horizont mit wenig bis keinem Feinanteil an der Oberfläche, unterlagert von einer feinkörnigeren Lage mit einem höheren Feinanteil. Bei den meisten Blockgletschern bewegt sich die Korngröße an der Oberfläche im dm-Bereich. Auf vielen Blockgletschern variiert die Korngröße an der Oberfläche recht stark, es wechseln grobkörnige Bereiche mit feinkörnigeren Bereichen, die oft einen hohen Feinanteil aufweisen.

Im Wurzelbereich ist bei größeren Blockgletschern als Folge des Abschmelzens des massiven Eiskernes mitunter eine Senke ausgebildet, in der sich im Sommer die Schmelzwässer zu einem kleinen See sammeln.

2.3 Hydrologie

Am Fuß der steilen Stirn entspringt bei vielen Blockgletschern eine Quelle. Die Wassertemperatur der Blockgletscherquellen liegt meist den ganzen Sommer hindurch konstant bei knapp unter 1 °C.

Zur Untersuchung des Abflussverhaltens wurden bei mehreren aktiven Blockgletschern knapp unterhalb der Blockgletscherquelle automatische Pegelmessstellen errichtet. Das Abflussverhalten aktiver Blockgletscher ist im Spätfrühling und in den Sommermonaten generell durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert.

Mit Beginn der Schneeschmelze, die meist Anfang Mai einsetzt, springt auch die Blockgletscherquelle an. Anfang Juni ist ein starker Anstieg im Abfluss zu beobachten (bei größeren Blockgletschern bis auf mehrere 100 l/s).

Spitzenabflüsse im Spätfrühling und Frühsommer werden durch Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse verursacht, im Spätsommer und Herbst ausschließlich durch Niederschlagsereignisse. Schlechtwettereinbrüche mit Schneefall im Sommer verursachen kurzfristig einen starken Rückgang im Abfluss. Die höchsten Abflusswerte bei aktiven Blockgletschern wurden im extrem heißen Sommer 2003 mit knapp über 1000 l/s im Kaunertal (Blockgletscher Ölgrube und Kaiserberg) gemessen.

Der Abfluss ist generell hoch, solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist. Nach Abschmelzen der Schneerücklagen des vergangenen Winters geht auch der Abfluss stark zurück, bis schließlich im Spätherbst die Blockgletscherquelle meist völlig versiegt bzw. zufriert. Dies zeigt, dass der Großteil des Abflusses von der Schneeschmelze und vom sommerlichen Niederschlag stammt und dass nur ein geringer Teil auf abschmelzendes Eis und auf Grundwasser bzw. Bergwasser zurückzuführen ist. Dies geht auch aus der Untersuchung stabiler Isotope hervor.

An Schönwettertagen sind im Spätfrühling und Frühsommer ausgeprägte Tagesschwankungen im Abfluss zu beobachten. Im August und September nehmen die Tagesschwankungen stark ab.

Die geringsten Abflusswerte werden dabei jeweils um die Mittagszeit registriert, die Abflussspitzen in den späten Abendstunden.

Tracerversuche haben ergeben, dass das Wasser im Blockgletscher mit einer durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit von meist wenigen m/min fließt. Dies erklärt die zeitliche Verzögerung von Abflussminimum und -maximum bei der Blockgletscherquelle.

Trotz starker Abflussschwankungen bleibt die Wassertemperatur der Blockgletscherquelle den ganzen Sommer hindurch konstant knapp unter 1 °C, was darauf hinweist, dass die Schmelzwässer bis kurz vor dem Quellaustritt in Kontakt mit Eis fließen (KRAINER & MOSTLER 1999, 2002; KRAINER et al. 2007).

2.4 Fließgeschwindigkeit

Die Fließgeschwindigkeit aktiver Blockgletscher liegt meist bei einigen Dezimetern pro Jahr. Einzelne Blockgletscher bewegen sich bis zu mehrere m pro Jahr. In den österreichischen Alpen wird der Hochebenkar-Blockgletscher bei Obergurgl bereits seit 1938 regelmäßig vermessen (KAUFMANN 1996, KAUFMANN & LADSTÄTTER 2002, 2003, LADSTÄTTER & KAUFMANN 2005, PILLEWIZER 1938, 1957, SCHNEIDER & SCHNEIDER 1999, VIETORIS 1958, 1972). Dieser Blockgletscher ist durch hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu über 5 m/Jahr charakterisiert. Hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu über 3 m/Jahr im flachen Zungenbereich und bis zu fast 7 m/Jahr im steilen Mittelteil zeigt derzeit auch der Reichenkar-Blockgletscher (KRAINER & MOSTLER 2006). Der Blockgletscher im Kar des Hinteren Langtalsees in der Schobergruppe bewegt sich derzeit um ca. 1 m/Jahr vor. Der spektakuläre Blockgletscher in der Inneren Ölgrube (Kaunertal) mit seiner sehr steilen und bis zu 70 m mächtigen Stirn bewegt sich derzeit mit ca. 2 m pro Jahr (KRAINER & MOSTLER 2006).

2.5 Temperaturverhalten der Schuttlage

Das Temperaturverhalten der ungefrorenen Schuttlage ist sehr komplex und wird von mehreren Parametern bestimmt. Insbesondere in den Sommermonaten sind ausgeprägte saisonale und bei Schönwetter auch tägliche Schwankungen im Temperaturverlauf zu beobachten. Kaltlufteinbrüche im Sommer führen zu einer starken Temperaturabnahme in der Schuttlage, die Temperatur kann bis unter den Gefrierpunkt absinken. Häufig ist dabei eine Temperaturinversion festzustellen, in geringer Tiefe (wenige dm) ist es kälter als in größerer Tiefe (1 – 2 m).

Das Temperaturverhalten wird vor allem von folgenden Parametern bestimmt: (a) von der Dauer der winterlichen Schneedecke: Solange der Blockgletscher von Schnee bedeckt ist, liegen die Temperaturen in der Schuttlage unter der Schneedecke permanent knapp unter

dem Gefrierpunkt. (b) Bestimmend in den Sommermonaten ist der Witterungsablauf, insbesondere die Temperatur der atmosphärischen Luft, weiters (c) die Mächtigkeit der ungefrorenen Schuttlage und des darunter liegenden gefrorenen Bereiches (Eisanteil und dessen Eigenschaften), (d) die Korngröße und Korngrößenverteilung der Schuttlage (davon abhängig die Porosität und Permeabilität), (e) die Exposition (schattig, sonnenbeschienen), und (f) möglicherweise spielt auch der Wind eine gewisse Rolle. Daten von Blockgletschern in den österreichischen Alpen sind in den Arbeiten von BERGER et al. (2004), KRAINER & MOSTLER (2000, 2001, 2004) enthalten.

2.6 BTS-Messungen

Die Methode der BTS-Messungen (Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke) basiert auf der isolierenden Wirkung einer dickeren Schneedecke (0.8 – 1m), die die Schuttlage vor dem Einfluss von kurzfristigen atmosphärischen Temperaturschwankungen schützt. Daher sind an der Basis der winterlichen Schneedecke auch keine Tagesschwankungen im Temperaturgang festzustellen. Mit BTS-Messungen kann festgestellt werden, ob im Untergrund Permafrost-Eis vorhanden ist oder nicht. An der Basis der winterlichen Schneedecke liegen die Temperaturen auf aktiven Blockgletschern zwischen Anfang Jänner und Ende März meist zwischen -3 und -5°C , oft auch darunter. Außerhalb von aktiven Blockgletschern und Permafrostböden, auf Permafrost freiem Untergrund, bewegt sich dagegen die Temperatur an der Basis der winterlichen Schneedecke meist zwischen 0 und -1.5°C (siehe KRAINER & MOSTLER 2000, 2001, 2004).

2.7 Entstehung von Blockgletschern

Über die Entstehung von Blockgletschern wurde lange heftig diskutiert. Einerseits werden Blockgletscher als reine Permafrosterscheinungen betrachtet, andererseits wird auch die Möglichkeit der Entstehung aus zurückschmelzenden, stark schuttbedeckten Kargletschern diskutiert.

Intensive Untersuchungen in den letzten Jahren haben gezeigt, dass beide Möglichkeiten in Frage kommen. Einerseits entstehen Blockgletscher durch das Gefrieren von Hangschutt und stellen damit reine Permafrosterscheinungen dar. Sie sind meist kleiner und durch eine lappenförmige Form charakterisiert. Einige Blockgletscher sind aber auch aus zurückschmelzenden, schuttbedeckten Kargletschern hervorgegangen. Diese sind meist größer und zeigen eine langgestreckte, zungenförmige Form. Ein charakteristisches Beispiel

dafür ist der eindrucksvolle Reichenkar-Blockgletscher südöstlich von Gries im Sulztal in den westlichen Stubai Alpen (siehe Abb. 1). Bei diesem 1.7 km langen, aktiven Blockgletscher ist ein kleiner Kargletscher noch erhalten, und man erkennt deutlich, dass der Kargletscher unter die Schuttmassen des Blockgletschers hineinzieht und sich unter den Schuttmassen fortsetzt (KRAINER & MOSTLER 2000, KRAINER et al. 2002, HAUSMANN et al. 2007).

3 Blockgletscher in Tirol

3.1 Datenblatt zum Blockgletscherinventar

Pro inventarisiertem Blockgletscher wurde ein Datenblatt mit folgenden Stammdaten erstellt (siehe auch Abb. 8):

Int_Nr: Interne, laufende Nummer des Blockgletschers (diese ist für die Datenbankverwaltung zwecks Abfrage notwendig)

Nummer: FA (Einzugsgebiet abgekürzt; FA = Fagge) _BL (Blockgletscher) + 3-stellige Nummer (= laufende Nummer - in Anlehnung an das Gletscherinventar)

Bezeichnung: Geographische Bezeichnung der Lokalität laut Karte (z.B. Ölgrube, Watzekar)

Datum der Aufnahme: Zeitpunkt der Ersterfassung und GIS-Digitalisierung

Nr. OPH: Nummer des Orthophotos, auf welchem die GIS-Digitalisierung erfolgte

Koordinaten: Als Koordinatenpunkt wird der Mittelpunkt des Blockgletschers angegeben, und zwar in Gauß-Krüger (RW_GK, HW_GK, Meridian) und im UTM-Netz (RW_UTM, HW_UTM)

Höhe Stirn: Angabe der Seehöhe am Fuße der Stirn des Blockgletschers

Höhe Wurzelzone: Angabe der Seehöhe der Wurzelzone des Blockgletschers

Mittlere Höhe: Angabe der mittleren Seehöhe des Blockgletschers (im Bereich des Mittelpunktes)

Maximale Länge: Distanz zwischen Stirn (Fuß der Stirn) und Wurzelzone

Maximale Breite: Distanz zwischen den beiden Rändern, gemessen an der breitesten Stelle des Blockgletschers

Fläche – km²: Fläche des Blockgletschers in km²

Fläche – lokales EZG: Fläche des lokalen Einzugsgebiets des Blockgletschers (nicht berechnet)

Exposition: Ausrichtung des Blockgletschers, angegeben in Grad (Exposition - Grad) und Himmelsrichtung (Exposition - Bezeichnung)

Relief/Morphologie: Angaben zur Oberflächenmorphologie, soweit aus den Orthophotos erkennbar (longitudinale, transversale Loben, grobblockig etc.)

Form: Angaben zur Form des Blockgletschers, unterschieden werden zungenförmig (Länge > Breite) und lappenförmig (Breite > Länge)

Entstehung: soweit aus dem Orthophoto abschätzbar, ob sich der Blockgletscher aus Hangschutt (HS) entwickelt hat (ice-cemented) oder aus einem ehemaligen, schuttbedeckten Kargletscher (ice-cored)

Zustand: Angabe über den Zustand des Blockgletschers, soweit aus dem Orthophoto abschätzbar: aktiv (frische, steile Stirn, kein Bewuchs), inaktiv (z. T. bewachsen) und fossil (starker Bewuchs, v. a. im Bereich der Stirn)

Symbol: 1 steht für aktiv, 2 für inaktiv und 3 für fossil

Gewässer-Einzugsgebiet: Hauptgewässer des Einzugsgebietes (z. B.: Fagge)

Gebirgsgruppe: Name der Gebirgsgruppe, in der der Blockgletscher liegt

Gesteine: Angabe über Fest- und Lockergesteine im Einzugsgebiet des Blockgletschers (soweit aus geologischen Karten ersichtlich): z. B. Orthogneis, Paragneis, Glimmerschiefer (Glsch), Amphibolit (Amph), Hangschutt (HS), Moräne, Grundmoräne (GM) etc.

Quellaustritt: Angabe, ob am Fuße der Stirn eine Blockgletscher-Quelle entspringt (soweit aus Geländebegehungen bekannt oder aus Orthophoto erkennbar)

Analysen vorhanden: Angabe, ob von der Blockgletscherquelle Wasseranalysen existieren oder nicht

Schwermetallkonzentration: Angabe, ob im Schmelzwasser an der Blockgletscher-Quelle Schwermetallkonzentrationen auftreten oder nicht (soweit bekannt)

Pegeldaten: Angabe, ob über den oberflächlichen Abfluss des Blockgletschers Pegeldaten existieren oder nicht

Literatur: Angabe, ob über den Blockgletscher bereits Literatur existiert oder nicht (mit Angabe des Zitates)

Bemerkungen: allfällige zusätzliche Angaben zum Blockgletscher



Blockgletscherkataster Tirol

Gesamtinventar Nordtirol/Osttirol

Int_Nr	BL0026
Nummer	FA_BL026
Bezeichnung	Kaiserberg 4
Datum der Aufnahme	2009
Nr_OPH	
RW_GK	26284
HW_GK	196890
RW_UTM	627787
HW_UTM	5196589
Meridian	28
Höhe Stirn	2560
Höhe Wurzelzone	2680
mittlere Höhe	2640
maximale Länge	350
maximale Breite	500
Fläche - km2	0,124
Fläche - lokales EZG	
Exposition - Grad	40
Exposition - Bezeichnung	NE
Relief/Morphologie	deutl. transv. Loben
Form	lappenförmig
Entstehung	ice-cored (Geophysik)
Zustand	aktiv
Symbol	1
Gewässer-Einzugsgebiet	Fagge
Gebirgsgruppe	Ötztaler Alpen
Gesteine	Orthogneis, Glsch, Amph, HS, Moräne
Quellaustritt	ja (2)
Analysen vorhanden	
Schwermetallkonzentration	
Pegeldaten	ja
Literatur	ja (Berger, Krainer & Mostler)
Bemerkungen	

Donnerstag, 04. August 2011
SEITE 26 VON 3145

Abbildung 8: Beispiel-Datenblatt Blockgletscher FA_BL026 im Einzugsgebiet der Fagge.

3.2 Ergebnisse

Insgesamt konnten im Bundesland Tirol (Nord- und Osttirol) 3145 Blockgletscher identifiziert werden, die immerhin eine Fläche von ca. 167 km² bedecken. Davon wurden 517 (ca. 45 km²) als aktiv, 915 (ca. 43 km²) als inaktiv und 1713 (ca. 77 km²) als fossil eingestuft – siehe Tabelle 1.

In Nord- und Osttirol sind Blockgletscher in allen Gebirgsgruppen anzutreffen. Die weitaus meisten Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen, die aus „Altkristallingesteinen“ (metamorphe Gesteine wie Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise und Amphibolite) aufgebaut sind, allen voran die Stubai- und Ötztaler Alpen (1200 Blockgletscher, Abb. 9), Samnaungruppe (293) und Verwallgruppe (242). Aber auch in den Nördlichen Kalkalpen konnten immerhin 212 Blockgletscher identifiziert werden, die meisten in den Lechtaler Alpen und im Karwendel. In den Tuxer Alpen sind ebenfalls zahlreiche Blockgletscher (244) zu finden, davon sind die meisten allerdings bereits als fossil einzustufen. Einige große aktive Blockgletscher beherbergt der Tuxer Hauptkamm. Die Zillertaler Alpen enthalten dagegen relativ wenige Blockgletscher (110), was offensichtlich mit dem Gesteinsuntergrund zusammenhängt (verbreitet Zentralgneis und phyllitische Gesteine der Oberen Schieferhülle). In den Kitzbüheler Alpen sind aufgrund der niedrigen Gipfelhöhen fast nur fossile Blockgletscher anzutreffen, von den 110 Blockgletschern wurden nur 2 als inaktiv eingestuft, aktive Blockgletscher fehlen.

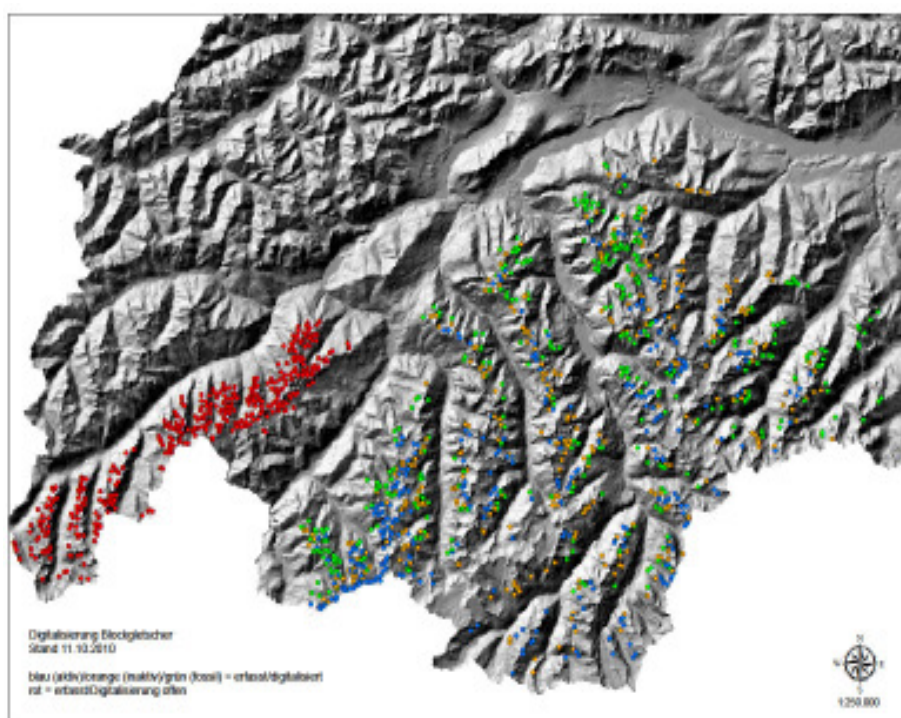


Abbildung 9: Verbreitung der Blockgletscher in den Ötztaler und Stubai-er Alpen.

Für Osttirol hat bereits LIEB (1996) ein Blockgletscherinventar erstellt, das allerdings aufgrund der damals zur Verfügung stehenden Unterlagen (Schwarz-weiß-Luftbild-Fotos der österreichischen Luftbildkarte 1:10.000) deutlich weniger Information enthält. Dieses Inventar stellte jedoch für die Erfassung der Blockgletscher eine wichtige Unterlage dar. Bis auf wenige Ausnahmen konnten alle von LIEB (1996) erfassten Blockgletscher identifiziert werden. Darüber hinaus konnten aufgrund der deutlich besseren Bildqualität in allen Gebirgsgruppen deutlich mehr Blockgletscher identifiziert werden als im Inventar von LIEB (1996) angeführt.

Insgesamt wurden in Osttirol 609 Blockgletscher erfasst, die meisten wiederum in Gebirgsgruppen, die aus Altkristallin bestehen (Abb. 10): 370 in den Deferegger Alpen (Lieb: 249) und 122 in der Schobergruppe (Lieb: 126 für die gesamte Schobergruppe einschließlich Kärntner Anteil). In der Venedigergruppe (43), Granatspitzgruppe (15) und Glocknergruppe (8) sind dagegen nur wenige Blockgletscher anzutreffen, was wiederum auf den Gesteinsuntergrund (überwiegend Zentralgneis und Gesteine der Oberen Schieferhülle) zurückzuführen ist. Auch in diesen Gebirgsgruppen hat Lieb deutlich weniger Blockgletscher identifiziert: 8 in der Venedigergruppe, 10 in der Granatspitzgruppe und 6 in der Glocknergruppe.

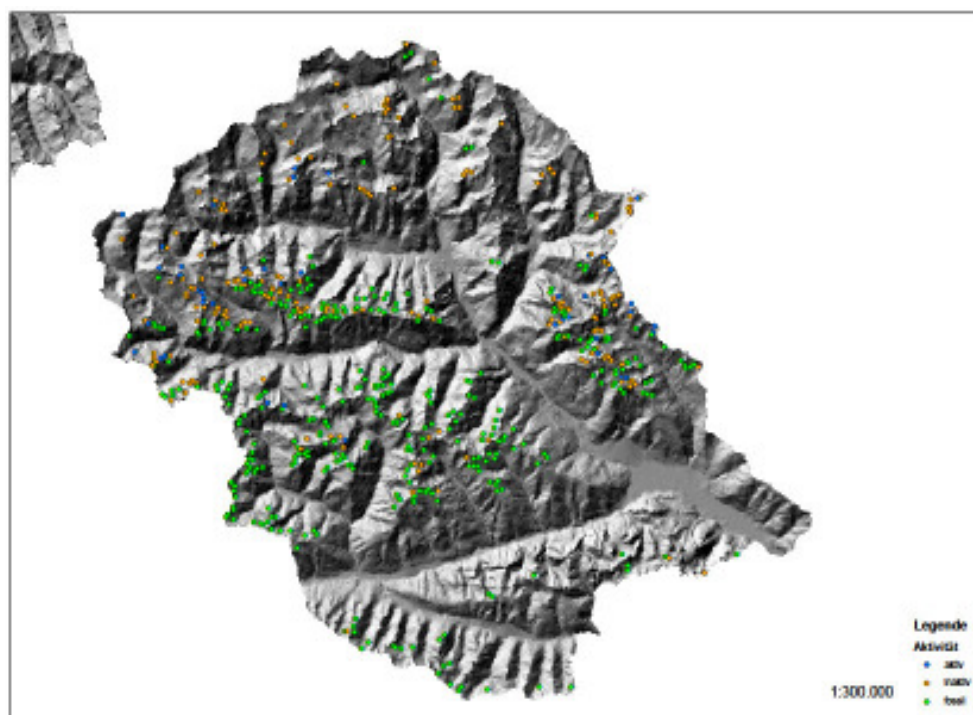


Abbildung 10: Verbreitung der Blockgletscher in Osttirol.

Die Rieserfernergruppe, die in Osttirol nur eine relativ kleine Fläche einnimmt, enthält 19 Blockgletscher. In den Lienzer Dolomiten wurden 10 (Lieb: 9) und in den Karnischen Alpen immerhin noch 22 (Lieb: 5) Blockgletscher identifiziert, wobei die meisten als fossil einzustufen sind. Einige Daten zu den Blockgletschern der Schobergruppe in Osttirol finden sich in der Arbeit von BUCHENAUER (1990). In der Lasörllinggruppe (Deferegger Alpen) hat ROLSHOVEN (1982) einige Angaben zum Permafrost zusammengestellt.

Vom Blockgletscher DEB 31 im Weißenkar (Schobergruppe) liegen Messergebnisse der Grazer Arbeitsgruppe (Lieb, Kaufmann) vor.

Tabelle 1: Verbreitung der Blockgletscher in den einzelnen Gebirgsgruppen Nord- und Osttirols

Öztaler und Stubaier Alpen	BG gesamt	Fläche [km ²]	aktive BG	Fläche [km ²]	inaktive BG	Fläche [km ²]	fossile BG	Fläche [km ²]
Gschnitztal/Obernbergtal	23	1,207	1	0,059	6	0,281	16	0,866
Stubaital	114	6,998	21	2,748	33	1,575	60	2,674
Sellrain	105	5,739	16	1,332	27	1,186	62	3,221
Hochedergruppe	29	0,731	1	0,022	9	0,148	19	0,561
Ötztal	451	30,494	135	14,157	142	8,07	174	8,267
Pitztal	147	7,742	44	3,295	51	2,11	52	2,337
Kaunertal	123	7,305	41	3,481	47	2,294	35	1,53
Nauderer Berge	205	12,927	95	7,193	35	1,378	75	4,356
Samnaungruppe	292	12,933	31	1,904	93	3,529	168	7,5
Silvrettagruppe	129	7,584	29	3,063	41	2,182	59	2,34
Verwallgruppe	242	11,808	36	2,021	89	4,528	117	5,259
Nördliche Kalkalpen	212	10,801	7	0,269	39	1,321	166	9,211
Kitzbüheler Alpen	110	3,792	0	0	2	0,081	108	3,711
Tuxer Alpen	244	11,295	14	2,191	56	2,72	174	6,384
Zillertaler Alpen	110	5,232	3	0,256	51	2,511	56	2,451
Nordtirol gesamt	2536	136,588	474	41,991	721	33,914	1341	60,668
Osttirol	BG gesamt	Fläche [km²]	aktive BG	Fläche [km²]	inaktive BG	Fläche [km²]	fossile BG	Fläche [km²]
Venedigergruppe	43	2,809	5	0,518	34	2,11	4	0,181
Granatspitzgruppe	15	1,258	0	0	9	0,605	6	0,653
Glocknergruppe	8	0,431	0	0	7	0,38	1	0,051
Schobergruppe	122	6,625	17	1,436	51	2,18	54	3,009
Deferegger Alpen	370	16,593	17	1,033	83	2,78	270	12,733
Rieserferner Gruppe	19	1,178	4	0,365	7	0,192	8	0,62
Lienzer Dolomiten	10	0,46	0	0	2	0,1	8	0,36
Karnische Alpen	22	1,299	0	0	1	0,011	21	1,288
Osttirol gesamt	609	30,653	43	3,352	194	8,166	372	18,895
Tirol gesamt	3145	167,241	517	45,343	915	42,08	1713	79,563

3.3 Blockgletscher in den Öztaler-Stubaier Alpen: einige statistische Daten

3.3.1 Höhe

Nach NE über N bis NW exponierte aktive Blockgletscher treten in Höhen zwischen 2300 und 2900 m auf, während nach SE bis SW (140 – 230°) ausgerichtete aktive Blockgletscher um 400 m höher auftreten (zwischen 2700 und 3100 m). Dies zeigt sehr deutlich den Einfluss der Exposition auf die Höhenlage der aktiven Blockgletscher (Abb. 11).

Auch bei fossilen Blockgletschern ist ein ähnlicher Trend gegeben: nach NE über N bis NW exponierte fossile Blockgletscher treten in Höhen zwischen 2000 und 2700 m auf, während nach SE über S bis SW ausgerichtete fossile Blockgletscher in Höhen 2300 und 2900 m auftreten, also um ca. 300 m höher.

Die meisten aktiven Blockgletscher finden sich in Höhen zwischen 2650 und 2950 m (mittlere Höhe).

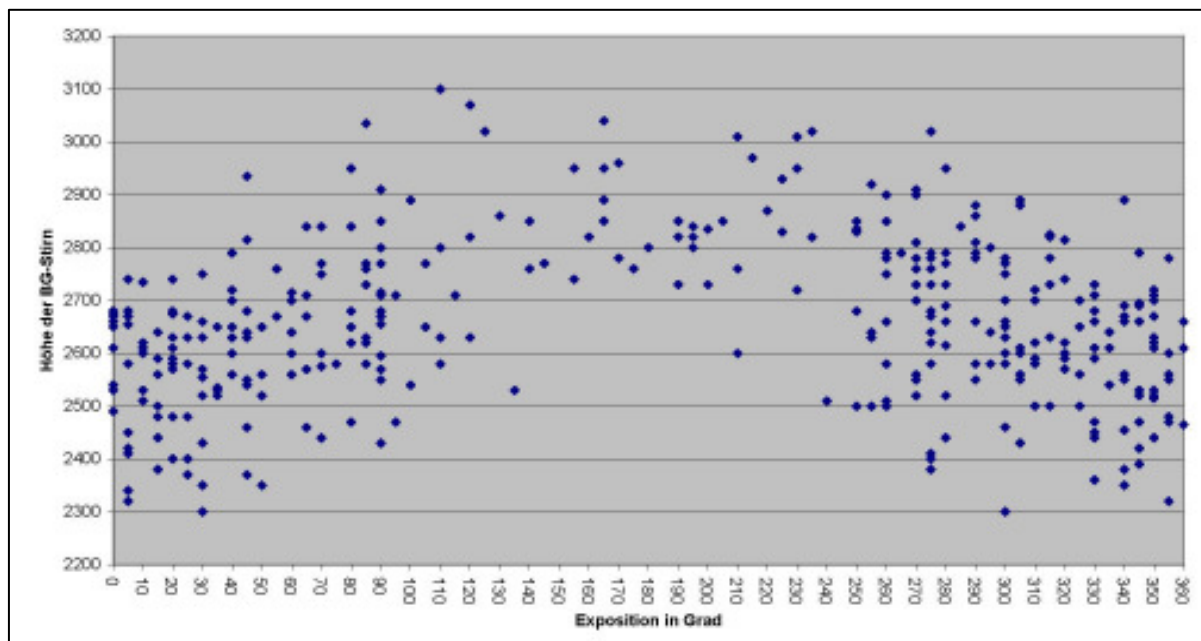


Abbildung 11: In den Öztaler und Stubaier Alpen treten nach N (NE bis NW) ausgerichtete aktive Blockgletscher in deutlich niedrigeren Höhen auf als nach S (SE bis SW) ausgerichtete Blockgletscher.

3.3.2 Exposition

Außerdem sind nach NW über N bis NE exponierte aktive Blockgletscher wesentlich häufiger als nach S (SE bis SW) exponierte Blockgletscher (Abb. 12). Bei inaktiven und fossilen

Blockgletschern ist dieser Trend weniger deutlich ausgebildet. Offensichtlich spielte in kälteren Perioden die Exposition eine geringere Rolle.

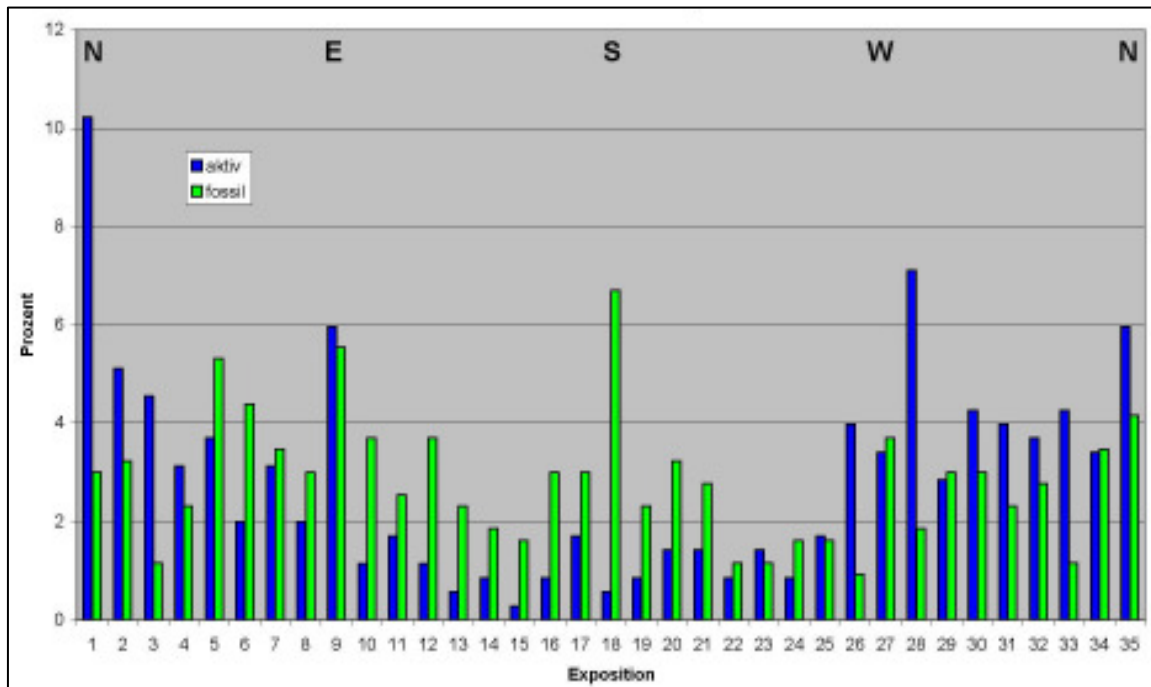


Abbildung 12: Nach N (NE bis NW) ausgerichtete aktive Blockgletscher sind in den Öztaler Alpen viel häufiger als nach S (SE bis SW) ausgerichtete Blockgletscher.

3.3.3 Form

Die weitaus meisten Blockgletscher zeigen eine zungenförmige Form, lappenförmige Blockgletscher sind weniger häufig, selten sind Blockgletscher mit komplexer Form ausgebildet.

Aktive Blockgletscher sind durchschnittlich 460 m lang (meist zwischen 100 und 600 m, max. 1700 m). Inaktive Blockgletscher sind durchschnittlich 307 m lang (meist 100 – 500 m, max. 1110 m) und fossile Blockgletscher durchschnittlich 294 m (meist zwischen 100 und 500 m, max. 1400 m).

Die Fläche aktiver Blockgletscher bewegt sich meist zwischen 0,011 und 0,07 km², recht häufig auch zwischen 0,11 und 0,2 km². Inaktive und fossile Blockgletscher bedecken meist eine Fläche zwischen 0,011 und 0,05 km².

3.3.4 Entstehung

Die überwiegende Zahl der aktiven Blockgletscher sind eiszementierte Hangschuttblockgletscher und damit „echte“ Permafrost-Erscheinungen, nur wenige, vor

allen die großen Blockgletscher, enthalten einen Eiskern und haben sich offensichtlich aus schuttbedeckten Kargletschern entwickelt. Bei einigen dieser Blockgletscher konnte der massive Eiskern nachgewiesen werden (Eisaufschlüsse, Geophysik).

3.3.5 Geologie

Die weitaus meisten Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen, die aus „Altkristallin“ bestehen (Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise, Amphibolite); dazu zählen die Verwallgruppe, ein Großteil der Samnaungruppe, die Stubai und Ötztaler Alpen sowie die Deferegger Alpen und die Schobergruppe. Deutlich weniger Blockgletscher finden sich in Gebirgsgruppen der Hohen Tauern mit Gesteinen des Tauernfensters (Zentralgneis, Schieferhülle) oder Karbonatgesteinen (Nördliche Kalkalpen, Lienzer Dolomiten).

3.3.6 Gipfelhöhen

Für das Auftreten von aktiven Blockgletschern ist eine Gipfelhöhe von mindestens 2700 m erforderlich, bei geringeren Gipfelhöhen (z.B. Kitzbüheler Alpen) fehlen aktive Blockgletscher.

3.3.7 Eisgehalt/Wassergehalt

Aus den Flächen und unter Annahme einer durchschnittlichen Mächtigkeit des gefrorenen Körpers und eines durchschnittlichen Eisgehaltes lässt sich auch das Eisvolumen der aktiven und inaktiven Blockgletscher grob abschätzen.

Auch fossile Blockgletscher sind interessante Wasserspeicher. Untersuchungen von UNTERSWEG & SCHWENDT (1995) in den östlichen Niederen Tauern zeigen, dass fossile Blockgletscher ein unerwartet hohes Potential an Wasserreserven enthalten.

4 Zusammenfassung

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial und Eislinsen oder Eiskörpern, die sich deutlich von ihrer Umgebung abheben und sich langsam hangabwärts bewegen. Blockgletscher sind die häufigste Form des alpinen Permafrostes und in den Österreichischen Alpen weit verbreitet.

Im Rahmen des Projektes PermaNET wurde zunächst ein Datenerhebungsblatt für ein Blockgletscherinventar Tirol erstellt, das unter anderem folgende Daten enthält: Nummer (nach Einzugsgebiet), geographische Bezeichnung, Koordinaten, Höhe der Stirn, Wurzelzone und mittlere Höhe, maximale Länge und Breite, Fläche, Exposition, Oberflächenmorphologie, Form, Entstehung, Zustand (aktiv, inaktiv, fossil), Gewässer-

Einzugsgebiet, Gebirgsgruppe, Festgesteine im Einzugsgebiet, Quellaustritte im Stirnbereich, Angaben über vorhandene Wasseranalysen, Pegeldaten, Literatur. In den Tiroler Alpen konnten insgesamt 3145 Blockgletscher identifiziert werden, die immerhin eine Fläche von ca. 167 km² bedecken. Davon wurden 517 als aktiv eingestuft (bedecken eine Fläche von ca. 45 km²), 915 als inaktiv (ca. 43 km²) und 1713 als fossil (ca. 77 km²).

Die Daten bilden eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der Verbreitung von Permafrost und damit in Zusammenhang stehenden hydrologischen Prozessen (verstärktes Abschmelzen von Permafrost-Eis und Auswirkungen auf das Abflussgeschehen) und Naturgefahren (Muren).

5 Literatur

BARSCH, D. (1996): Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments: Berlin, Springer-Verlag, 331 p.

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

BUCHENAUER, H.W. (1990): Gletscher- und Blockgletschergeschichte der westlichen Schobergruppe (Osttirol). – Marburger Geographische Schriften 117, 276 Seiten.

GÄRTNER-ROER, I. (2010): Permafrost. – In: Voigt, Th., Füssel, H.-M., Gärtner-Roer, I., Huggel, Ch., Marty, Ch. & Zemp, M. (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. (1985): Creep of mountain permafrost: Internal structure and flow of alpine rock glaciers. – Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 77, 142 S.

HAEBERLI, W., HALLET, B., ARENSEN, L., ELCONIN, R., HUMLUM, O., KÄÄB, A., KAUFMANN, V., LADANYI, B., MATSUOKA, N., SPRINGMAN, S. & VONDER MÜHLL, D. (2006): Permafrost Creep and Rock Glacier Dynamics. – Permafrost and Periglacial Processes 17: 189-216.

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.

KAUFMANN, V. (1996): Geomorphometric monitoring of active rock glaciers in the Austrian Alps. - 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. Karlstad - Kiruna - Tromsø, August 19-29, 1996:97-113.

KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2002): Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hohebenkar rock glaciers (Oetztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. - *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 37: 119-140.

KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2003): Quantitative analysis of rock glacier creep by means of digital photogrammetry using multi-temporal aerial photographs: two case studies in the Austrian Alps. In: Phillips, M., Springman, S.M. & Arenson, L.U. (eds), *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, 21-25 July 2003, Zürich, Switzerland, Vol. 1:525-530.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (1999): Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge. – *Geoforum Umhausen (Ötztal)*, 14.-16. Okt. 199, p. 12-13.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2000): Reichenkar Rock Glacier, a glacial derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria. - *Permafrost and Periglacial Processes*, v. 11:267-275.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2001): Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubaier Alpen. – *Geoforum Umhausen*, Bd. 1, 28-43.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2001): Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitz Tal (Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern). – *Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern* 6:139-168.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2002): The discharge of active rock glaciers: examples from the Eastern Alps (Austria). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34(2):142-149.

KRAINER, K. und MOSTLER, W. (2004): Ein aktiver Blockgletscher im Sulzkar, westliche Stubaier Alpen (Tirol). – *Geo.Alp* 1:37-55, Innsbruck.

KRAINER, K., MOSTLER, W. & SPAN, N. (2002): A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the western Stubai Alps (Austria): evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 38:21-34.

KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2006): Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. – *Geografiska Annaler* 88: 267-280.

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.

LADSTÄTTER, R. & KAUFMANN, V. (2005): Studying the movement of the Outer Hohebenkar rock glacier: Aerial vs. ground-based photogrammetric methods. - 2nd European Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, *Terra Nostra* 2005(2):97 (abstract).

LIEB, G.K. (1996): Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. – *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz*, Band 33: 9-125.

LIEB, G.K. (1998): High-Mountain Permafrost in the Austrian Alps (Europe). – PERMAFROST – 7th Conference (Proceedings) Yellowknife (Canada), Collection Nordicana No. 55: 663-668.

PILLEWIZER, W. (1938): Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. - Zeitschr. Ges. Erdkde Berlin 9/1:367-372.

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

ROLSHOVEN, M. (1982): Alpines Permafrostmilieu in der Lasöringgruppe/Nördliche Deferegger Alpen (Osttirol). – Polarforschung 52:55-64.

SCHNEIDER, R. & SCHNEIDER, H. (2001): Zur 60-jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, Öztaler Alpen, Tirol. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 37:1-33.

UNTERSWEIG, T. & SCHWENDT, A. (1995): Die Quellen der Blockgletscher in den Niederen Tauern. – Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, Band 78, 76 Seiten, Amt der steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft – Referat II – Wasserversorgung.

VIETORIS, L. (1958): Der Blockgletscher des äußeren Hochebenkars: Gurgler Berichte, v. 1, p. 41-45.

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

Anschrift der Verfasser

A.o.Univ.Prof. Dr. Karl Krainer
Universität Innsbruck
Institut für Geologie und Paläontologie
Innrain 52
A-6020 Innsbruck
karl.krainer@uibk.ac.at

Mag. Markus Ribis
Schnittlauchgasse 7a
6134 Vomp
markus.ribis@geo-zt.at