

Kapitel 2 | Blockgletscher in den Ötztaler und Stubaier Alpen: Eine Übersicht

Karl Krainer

Zusammenfassung

Mehr als ein Drittel aller in Tirol identifizierten Blockgletscher (1.202 von insgesamt 3.145) liegt in den Stubaier und Ötztaler Alpen, davon 421 im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache. Etwa 58 % aller Blockgletscher in den Stubaier und Ötztaler Alpen enthalten noch Eis und sind damit als intakt (aktiv und inaktiv) einzustufen, im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache sind es sogar 66 %, die als intakt zu bezeichnen sind. Die mittlere Höhe der Stirn der aktiven Blockgletscher im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache liegt bei 2.704 m, jene der inaktiven bei 2.633 m und der fossilen Blockgletscher bei 2.415 m. Nach Norden (NW bis NO) ausgerichtete Blockgletscher sind wesentlich häufiger als solche, die in eine südliche Richtung exponiert sind (SO bis SW). Bei aktiven Blockgletschern ist auch ein deutlicher Höhenunterschied zwischen nord- und südexponierten Blockgletschern erkennbar. Nordexponierte Blockgletscher liegen um bis zu 400 Höhenmeter niedriger als südexponierte Blockgletscher. Einige größere aktive Blockgletscher (Reichenkar, Sulzkar, Hochebenkar, Ölgrube und Kaiserbergtal) wurden in den letzten Jahren im Detail un-

tersucht. Alle zeigen ähnliche morphologische und hydrologische Merkmale, ähnliche Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke sowie einen ähnlichen internen Aufbau: eine ungefrorene, durchschnittlich 5 m mächtige Schuttlage an der Oberfläche, einen 19–31 m mächtigen Permafrostkörper, der von einer ungefrorenen, feinkörnigen Sedimentlage mit einer Mächtigkeit von bis zu 15 m unterlagert wird. Darunter folgt der Festgesteinsuntergrund. Diese Blockgletscher weisen teilweise auch beachtliche jährliche Fließgeschwindigkeiten von bis zu 3 m auf.

Abstract

More than one third of all identified rock glaciers in Tyrol (1,202 out of 3,145) are located in the Stubai and Ötztal Alps. In the catchment area of the Ötztal Ache 421 rock glaciers were identified. Approximately 58 % of all rock glaciers in the Stubai and Ötztal Alps still contain ice and are therefore classified as intact (active and inactive). In the catchment area of the Ötztal Ache, 66 % of all rock glaciers are identified as intact. The mean eleva-

tion of the front of the active rock glaciers in the catchment area of the Ötztal Ache is at 2,704 m, that of inactive at 2,633 m and of fossil rock glaciers at 2,415 m. Rock glaciers exposed towards a northern direction (NW to NE) are significantly more abundant than those exposed towards a southern direction (SE to SW). A significant difference in elevation is observed between north- and south-exposed active rock glaciers. North-facing rock glaciers occur at elevations which are up to 400 m lower than that of south-facing ones. Some larger active rock glaciers (Reichenkar, Sulzkar, Hochebenkar, Ölgrube, and Kaiserbergtal) were studied in detail in recent years. They show similar morphological and hydrological characteristics, similar temperatures at the base of the winter snow cover as well as a similar internal structure. They are composed of an unfrozen, on average 5 m thick debris layer on the surface, underlain by a 19–31 m thick permafrost body and an unfrozen fine-grained sediment layer with a thickness of up to 15 m between the permafrost body and the bedrock. Some of these rock glaciers are characterised by considerably high annual flow rates of up to 3 m.

1. Einleitung

Alpiner Permafrost ist in den Alpen weit verbreitet, wobei Blockgletscher die häufigste und auffallendste Form darstellen (Gärtner-Roer 2010, Boeckli et al. 2012). In den letzten

beiden Jahrzehnten konnte der Kenntnisstand über die Verbreitung des Permafrostes in den Alpen bedeutend erweitert werden. Für den östlichen Teil der Ostalpen hat Lieb (1986, 1991, 1996) erstmals ein Blockgletscherinventar zusammengestellt, das zuletzt komplett überarbeitet und neu präsentiert wurde (Lieb et al. 2010, Kellerer-Pirklbauer et al. 2012). Inzwischen wurden auch alle Blockgletscher von Nordtirol (Krainer & Ribis 2012), Vorarlberg (Stocker 2012) und Südtirol (Bollmann et al. 2012) inventarmäßig erfasst. Insgesamt konnten in den österreichischen Alpen mehr als 4.500 Blockgletscher festgestellt werden. Die meisten Blockgletscher in Österreich liegen in den Zentralalpen, insbesondere in jenen Gebirgsgruppen, die aus Altkristallin-gesteinen (Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise, Amphibolite) aufgebaut sind. Die vorliegende Arbeit bietet einen Überblick über die Verbreitung der Blockgletscher in den Ötztaler Alpen, insbesondere im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache.

2. Blockgletscher in den Ötztaler und Stubai Alpen

Allein in den Ötztaler und Stubai Alpen wurden 1.202 Blockgletscher identifiziert, das ist mehr als ein Drittel (38 %) aller Blockgletscher Tirols. Damit sind die Ötztaler Alpen nicht nur die am stärksten vergletscherte Gebirgsgruppe in Österreich, sondern weisen auch die mit Abstand höchste Dichte an

Blockgletschern auf. Von den 1.202 Blockgletschern, die immerhin eine Fläche von 73,5 km² bedecken, wurden 352 als aktiv, 345 als inaktiv und 505 als fossil (reliktisch) eingestuft (Krainer & Ribis 2012).

Blockgletscher im Einzugsgebiet der Öztaler Ache

Im Ötztal, im Einzugsgebiet der Öztaler Ache, wurden 421 Blockgletscher festgestellt, die insgesamt eine Fläche von 30,5 km² bedecken (Abb. 1). Davon wurden 135 als aktiv, 142 als inaktiv und 174 als fossil (reliktisch) eingestuft. Die Unterscheidung zwischen aktiven und inaktiven bzw. inaktiven und fossilen Blockgletschern ist jedoch auf den Orthofotos meist schwierig (siehe Krainer & Ribis 2012). Als aktiv wurden alle Blockgletscher eingestuft, die eine steile, unbewachsene Stirn aufweisen. Fossile Blockgletscher besitzen dagegen eine abgeflachte, meist völlig von Vegetation bedeckte Stirn (Krainer & Ribis 2012). Im Einzugsgebiet der Gurgler Ache wurden 68 Blockgletscher identifiziert, davon wurden 29 als aktiv, 24 als inaktiv und 15 als fossil eingestuft (Abb. 2, Tab. 1).

Aktive Blockgletscher

Die 135 aktiven Blockgletscher bedecken eine Fläche von 14,2 km². Die mittlere Höhe der Stirn liegt auf 2.704 m. Die niedrigste Stirn liegt auf 2.300 m, die höchste auf 3.100 m, die mittlere Höhe liegt bei 2.781 m und die

mittlere Höhe der Wurzelzone bei 2.809 m. Die Länge bewegt sich zwischen 70 und 1.650 m. Die mittlere Länge beträgt 472 m. Die Breite schwankt zwischen 70 und 980 m, die mittlere Breite beträgt 226 m. Die Fläche schwankt zwischen 0,005 und 0,59 km², die mittlere Fläche beträgt 0,105 km².

Von den 135 Blockgletschern besitzen 11 ziemlich sicher und weitere 19 vermutlich einen massiven Eiskern. Ein Blockgletscher hat sich vermutlich aus einer Moräne entwickelt, vier aus Hangschutt und Moräne, die restlichen 100 wurden als Hangschutt-Blockgletscher eingestuft. Bis auf 10 (lappenförmig) sind alle Blockgletscher zungenförmig.

Inaktive Blockgletscher

Die 142 inaktiven Blockgletscher bedecken eine Fläche von 8,1 km². Die mittlere Höhe der Stirn liegt auf 2.633 m. Die niedrigste Stirn reicht bis auf 2.260 m, die höchste Stirn wurde auf 3.240 m gemessen, die mittlere Höhe liegt bei 2.694 m. Die mittlere Höhe der Wurzelzone der inaktiven Blockgletscher liegt nur unwesentlich niedriger als jene der aktiven Blockgletscher, sie liegt bei 2.765 m. Die Länge bewegt sich zwischen 90 und 1.070 m. Die mittlere Länge beträgt 324 m. Die Breite schwankt zwischen 50 und 900 m, die mittlere Breite beträgt 186 m. Die Fläche schwankt zwischen 0,005 und 0,736 km², die mittlere Fläche beträgt 0,057 km².

Von den 142 inaktiven Blockgletschern besitzen vermutlich drei einen massiven Eiskern. Aus Moränen haben sich ziemlich sicher sechs

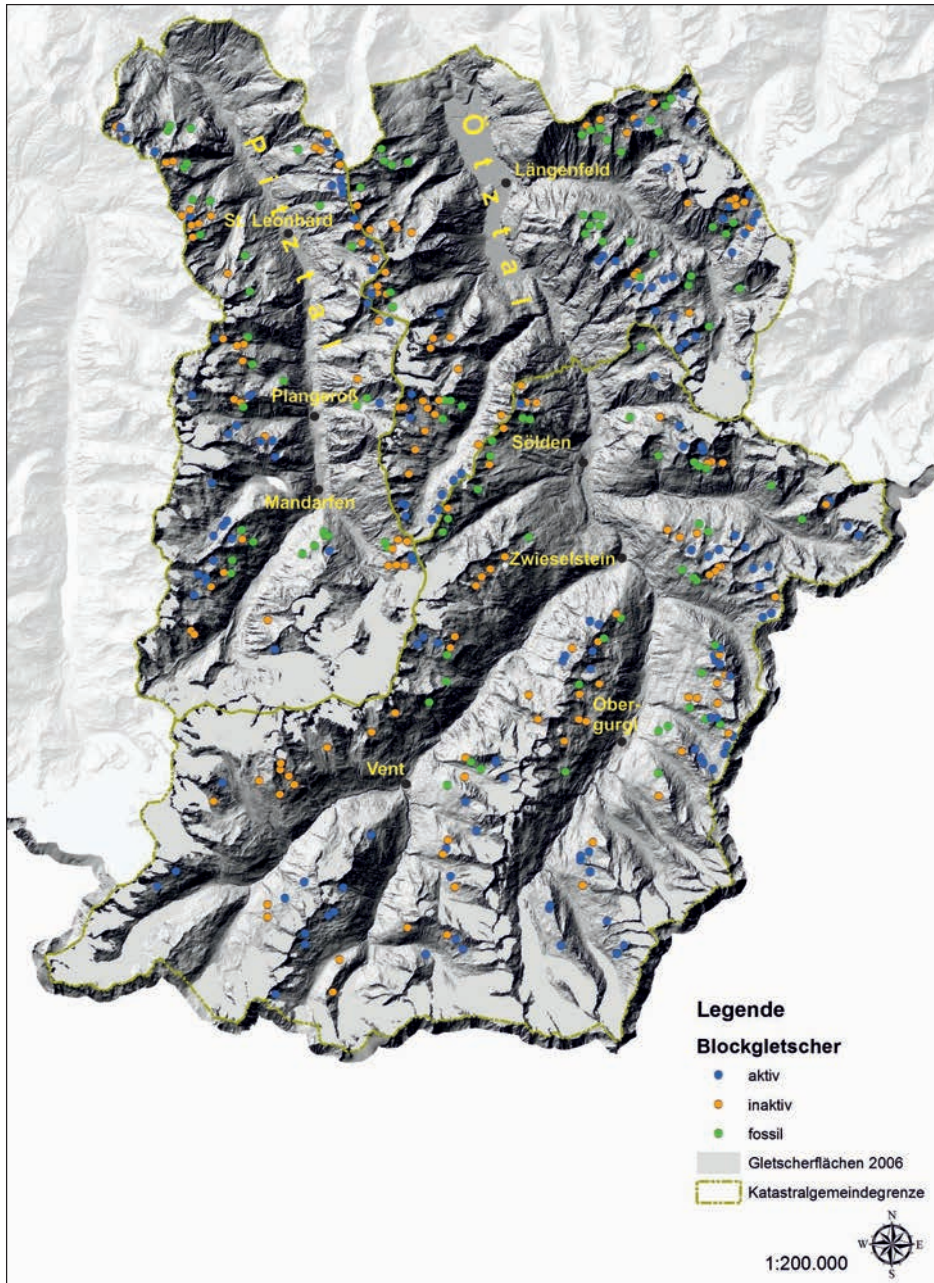


Abb. 1: Verbreitung der Blockgletscher im Einzugsgebiet des Ötztals (Ötztaler Ache) und Pitztals (Pitze), innerhalb der Katastralgemeindegrenzen von St. Leonhard im Pitztal, Sölden und Längenfeld (zusammengestellt von Markus Ribis)

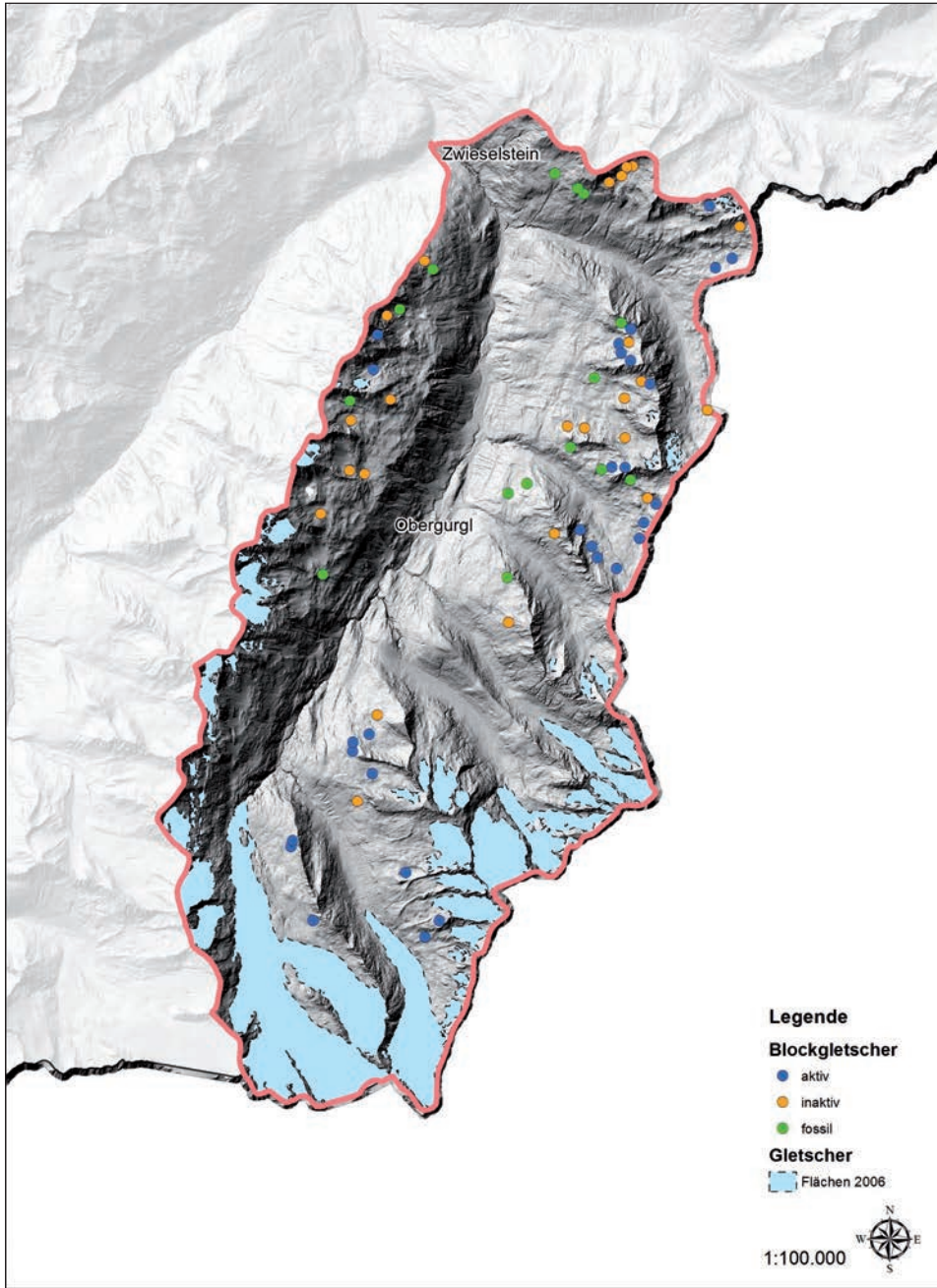


Abb. 2: Verbreitung der Blockgletscher im Einzugsgebiet der Gurgler Ache (zusammengestellt von Markus Ribis)

Tab. 1: Anzahl der Blockgletscher im Einzugsgebiet des Ötztals, gegliedert nach dem Einzugsgebiet der einzelnen Seitenbäche und nach dem Status der Blockgletscher (aktiv, inaktiv, fossil), inklusive Informationen zu Lage und Größe der Blockgletscher mit Durchschnittswerten und Spannweite

Gurgler Ache (68)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (29)	2798 (2660-2940)	2731 (2360-2910)	2874 (2740-3040)	427 (90-1620)	211 (70-590)	2,796 (0,005-0,578)
inaktiv (24)	2733 (2470-2900)	2652 (2410-2800)	2799 (2540-3010)	347 (95-980)	191 (50-615)	1,48 (0,008-0,335)
fossil (15)	2600 (2330-2820)	2544 (2280-2755)	2653 (2400-2920)	222 (95-550)	198 (85-630)	0,518 (0,009-0,096)
Venter Ache (65)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (29)	2914 (2540-3150)	2840 (2450-3100)	2994 (2640-3230)	417 (110-1100)	187 (70-475)	2,259 (0,008-0,285)
inaktiv (30)	2871 (2610-3270)	2803 (2510-3240)	2735 (2680-3300)	302 (110-740)	193 (50-610)	1,595 (0,006-0,157)
fossil (6)	2708 (2550-2770)	2657 (2490-2700)	2762 (2590-2840)	217 (160-330)	161 (85-340)	0,178 (0,023-0,037)
Windache (27)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (12)	2797 (2720-2930)	2710 (2540-2850)	2902 (2800-3100)	566 (180-1310)	250 (95-595)	1,821 (0,018-0,590)
inaktiv (7)	2700 (2530-2850)	2636 (2470-2800)	2777 (2590-2940)	321 (100-525)	196 (75-580)	0,42 (0,009-0,211)
fossil (8)	2604 (2430-2730)	2541 (2340-2700)	2671 (2450-2780)	294 (85-1025)	261 (75-610)	0,587 (0,007-0,333)
Fischbach (69)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (29)	2718 (2530-3080)	2627 (2300-3020)	2820 (2610-3140)	601 (190-1650)	289 (110-980)	4,36 (0,02-0,544)
inaktiv (14)	2670 (2520-2830)	2612 (2480-2780)	2743 (2540-2920)	378 (110-750)	229 (125-415)	1,012 (0,013-0,113)
fossil (26)	2465 (2170-2730)	2410 (2120-2720)	2510 (2200-2750)	263 (75-630)	236 (60-870)	1,401 (0,011-0,227)

Kapitel 2 | Blockgletscher in den Öztaler und Stubai Alpen: Eine Übersicht

Polles Bach (27)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (10)	2808 (2680-2970)	2749 (2630-2850)	2889 (2750-3080)	371 (135-740)	198 (100-410)	0,692 (0,015-0,223)
inaktiv (13)	2722 (2410-2870)	2673 (2360-2870)	2793 (2440-3060)	247 (90-830)	160 (55-330)	0,454 (0,005-0,083)
fossil (4)	2602 (2430-2710)	2517 (2360-2670)	2650 (2500-2740)	231 (130-370)	320 (65-520)	0,232 (0,009-0,086)
Horlachbach (69)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (8)	2665 (2510-2900)	2591 (2440-2870)	2750 (2600-2930)	429 (70-865)	217 (100-400)	0,73 (0,012-0,282)
inaktiv (16)	2576 (2300-2830)	2510 (2260-2790)	2650 (2340-2880)	383 (125-1070)	191 (70-900)	1,481 (0,009-0,736)
fossil (45)	2452 (2130-2710)	2399 (2100-2670)	2510 (2200-2800)	283 (100-780)	135 (50-340)	1,687 (0,006-0,191)
Nederbach (48)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (8)	2610 (2510-2790)	2535 (2380-2710)	2706 (2590-2880)	416 (175-850)	209 (105-350)	0,685 (0,018-0,232)
inaktiv (11)	2517 (2380-2650)	2468 (2340-2610)	2595 (2430-2720)	265 (90-500)	145 (55-440)	0,419 (0,09-0,130)
fossil (29)	2305 (2050-2570)	2255 (1970-2555)	2360 (2080-2660)	300 (80-990)	229 (90-570)	1,581 (0,013-0,293)
Öztaler Ache (78)						
	Höhe					
	mittl. Höhe	Hohe Stirn	Wurzelzone	Länge (m)	Breite (m)	Fläche (km ²)
aktiv (10)	2711 (2550-2960)	2624 (2470-2890)	2795 (2660-3020)	459 (170-1020)	220 (115-420)	0,812 (0,019-0,230)
inaktiv (27)	2612 (2400-2870)	2555 (2370-2780)	2680 (2460-2970)	316 (155-570)	174 (75-615)	1,209 (0,011-0,144)
fossil (41)	2486 (2160-2760)	2432 (2000-2610)	2545 (2230-2900)	316 (65-1005)	166 (40-600)	2,082 (0,003-0,443)

Blockgletscher und vermutlich auch zwei weitere entwickelt. Insgesamt drei Blockgletscher haben sich aus Hangschutt und Moräne entwickelt. 128 Blockgletscher wurden als eiszeitliche Hangschuttblockgletscher eingestuft. 33 Blockgletscher sind lappenförmig, 107 sind zungenförmig, ein Blockgletscher besitzt zwei Zungen, ein weiterer ist als komplex zu bezeichnen.

Fossile (reliktische) Blockgletscher

Die 174 fossilen Blockgletscher bedecken eine Fläche von 8,3 km². Die mittlere Höhe der Stirn liegt deutlich niedriger als jene der aktiven und inaktiven Blockgletscher, nämlich auf 2.415 m. Bei einem Blockgletscher reicht die Stirn bis auf eine Seehöhe von 1.970 m herab. Die höchstgelegene Stirn eines fossilen Blockgletschers wurde auf 2.755 m festgestellt. Entsprechend liegen auch die mittlere Höhe mit 2.469 m und die mittlere Höhe der Wurzelzone mit 2.525 m deutlich niedriger als bei aktiven und inaktiven Blockgletschern. Die Länge bewegt sich zwischen 65 und 1.025 m. Die mittlere Länge beträgt 282 m. Die Breite schwankt zwischen 40 und 870 m, die mittlere Breite beträgt 190 m. Die Fläche schwankt zwischen 0,003 und 0,443 km², die mittlere Fläche beträgt 0,047 km².

Von den 174 fossilen Blockgletschern besaßen vermutlich zwei einen Eiskern, drei haben sich aus Moränen, drei weitere möglicherweise aus Moränen entwickelt. Insgesamt 166 sind als eiszeitlich (meist typische „Hangschutt-Blockgletscher“) einzustufen. 43 Blockglet-

scher sind lappenförmig, 129 zungenförmig, einer komplex und einer besitzt zwei Zungen. Die Auswertung der Inventardaten zeigt, dass die mittlere Höhe der inaktiven Blockgletscher im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache knapp 100 m tiefer liegt als jene der aktiven Blockgletscher. Fossile Blockgletscher liegen deutlich tiefer, nämlich durchschnittlich 225 m unter der mittleren Höhe der inaktiven Blockgletscher.

Die Höhenlage der Blockgletscher ist auch stark abhängig von der Exposition. Nach Norden, Nordwesten und Nordosten ausgerichtete Blockgletscher liegen deutlich tiefer als nach Süden, Südosten und Südwesten ausgerichtete Blockgletscher. Dieser Unterschied ist bei den aktiven Blockgletschern am deutlichsten ausgeprägt, der Höhenunterschied beträgt bis zu 400 m. Bei den fossilen Blockgletschern ist dieser Unterschied nicht so deutlich ausgeprägt.

3. Detailuntersuchungen an aktiven Blockgletschern

Von den aktiven Blockgletschern wurden im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache folgende im Detail untersucht: Äußeres Hochebenkar (Victoris 1972, Haeblerli & Patzelt 1982, Schneider & Schneider 2001, Kaufmann & Ladstädter 2002, Ladstädter & Kaufmann 2005, Kaufmann 2012) und Inneres Reichenkar (Krainer & Mostler 2000a, 2000b, 2002, 2006; Krainer et al. 2002, 2007; Hausmann et

al. 2007), Sulzkar (Krainer & Mostler 2004), Bereich Rosskar – Schrankar (Figl 2004) und Windachtal (Schmidt 2014).

Der aktive Blockgletscher im Inneren Reichenkar

Das Innere Reichenkar liegt ca. 3 km südlich von Gries im Sulztal in den westlichen Stubaier Alpen. Dieses Kar wird von einem großen, zungenförmigen, aktiven Blockgletscher eingenommen, der als Reichenkar-Blockgletscher bezeichnet wird (Abb. 3).

Der Blockgletscher wird hauptsächlich aus den steilen, östlichen Karwänden mit Ver-

witterungsschutt versorgt. Die Schuttfahnen ziehen vom Wandfuß zum Blockgletscher hinunter, biegen bei Erreichen des Blockgletschers um und bilden schließlich am Blockgletscher markante longitudinale Rücken und Vertiefungen.

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

Der Blockgletscher ist 1.400 m lang, im oberen Teil bis zu 260 m, im mittleren und unteren Teil 170–190 m breit und bedeckt eine



Abb. 3: Der aktive Blockgletscher im Inneren Reichenkar (westliche Stubaier Alpen) (2006)

Fläche von 0,27 km². Die ca. 40° steile und über 30 m mächtige Stirn endet in einer Seehöhe von 2.310 m und überfährt eine Alm- wiese (Abb. 4). Am Fuße der Stirn entspringt eine Blockgletscherquelle, an der nahezu die gesamte Schmelzwassermenge des Blockglet- schers zutage tritt.

Der Festgesteinsuntergrund im Einzugsgebiet des Blockgletschers setzt sich aus SO–NW- streichenden, steil nach Norden einfallenden, stark geklüfteten und von zahlreichen Störungen durchzogenen Amphiboliten und Eklogi- ten zusammen. Im Kammbereich und entlang von Störungen sind diese Gesteine infolge der Frostverwitterung stark aufgelockert, was zu einem starken Schuttanfall führt. Der Block-

gletscher besteht daher ausschließlich aus Am- phibolit- und Eklogitschutt.

Der Reichenkar-Blockgletscher weist eine Reihe von morphologischen Merkmalen auf, die eindeutig belegen, dass dieser Blockglet- scher sich aus einem stark schuttbedeckten Kargletscher entwickelt hat. Vor allem im Bereich der Depression, die in den Sommern 2012 und 2013 stark eingesunken ist, ist klar zu erkennen, dass das Gletschereis unter den Blockgletscher hineinzieht. Dieses Gletscher- eis kam im Sommer 2000 ca. 100 m nördlich der Depression zum Vorschein. Im Sommer 1997 war auch im steilen mittleren Abschnitt massives Gletschereis aufgeschlossen.

Die Korngrößenverteilung der Schuttlage,



Abb. 4: Die steile Stirn des aktiven Blockgletschers im Inneren Reichenkar (2012)

von wesentlicher Bedeutung für das thermische Verhalten und die hydrologischen Prozesse, ist sehr unterschiedlich, zeigt aber die für Kristallgebiete typischen Werte. Die Gerölldurchmesser liegen meist im dm-Bereich. Die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke (BTS) sind am Blockgletscher deutlich tiefer (bis $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) als außerhalb des Blockgletschers auf permafrostfreiem Untergrund, wo die BTS im Bereich der Pegelmessstelle und unmittelbar östlich der Stirn immer um den Gefrierpunkt lag. Lediglich auf der Westseite der Stirn wurden über Hangschutt tiefere BTS gemessen, was eventuell auf Permafrost im Untergrund hinweist. Das Abflussverhalten des Blockgletschers ist charakterisiert durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen. Solange der Blockgletscher während der Abschmelzperiode von Schnee bedeckt ist, ist der Abfluss hoch. Erst im Spätsommer und Herbst, nachdem die winterlichen Schneerücklagen mehr oder weniger vollständig abgeschmolzen sind, geht auch der Abfluss stark zurück. Ab etwa Mitte Dezember bis zum Beginn der Schneeschmelze weist der Blockgletscher keinen Abfluss auf. Kaltlufteinbrüche im Sommer führen kurzfristig zu einer starken Abnahme des Abflusses, während warme Schönwettertage und sommerliche Regenfälle hohe Abflussspitzen verursachen.

Im Spätfrühling und Frühsommer ist der Großteil des Abflusses auf Schnee- und Eisschmelze und Niederschlag (Regen) zurückzuführen, während im Spätsommer und Herbst ein beträchtlicher Teil Grund- und Bergwasser darstellt. Dies kommt in der elektrischen Leit-

fähigkeit klar zum Ausdruck. Diese schwankt zwischen 20 und 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Spätfrühling und Frühsommer und zwischen 70 und 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Herbst. Sie ist umso niedriger, je höher der Abfluss ist.

Die Wassertemperatur bleibt dagegen die gesamte Schmelzperiode hindurch konstant knapp unter $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, was darauf hinweist, dass die Schmelzwässer bis in den Stirnbereich in Kontakt mit Eis im Blockgletscher fließen.

Die Bewegungsraten des Blockgletschers lagen zwischen 2000 und 2006 im Stirnbereich bei maximal 2,5 m/Jahr, im mittleren Steilabschnitt bewegten sich einzelne Blöcke bis zu knapp 7 m/Jahr. Diese im Stirnbereich trotz geringer Neigung beachtliche Fließgeschwindigkeit kann mit interner Deformation nicht erklärt werden, vermutlich spielt hier auch basales Gleiten eine große Rolle. Die oberflächliche Schuttlage ist im unteren Abschnitt des Blockgletschers 1–12 m mächtig, der darunterliegende Permafrostkörper besitzt eine durchschnittliche Mächtigkeit von 25 m. Zwischen Permafrostkörper und Festgesteinsuntergrund befindet sich noch eine ungefrorene, feinkörnige Sedimentlage mit einer Mächtigkeit von 3–12 m. Der Eisgehalt des Permafrostkörpers liegt bei 45–60 % (Details in Krainer & Mostler 2000a, 2000b, 2002, 2006; Krainer et al. 2002, 2007; Hausmann et al. 2007).

Der aktive Blockgletscher im Sulzkar

Der Sulzkar-Blockgletscher ist einer der größeren von ungefähr 20 aktiven Blockglet-

schern im Einzugsgebiet des Sulztales in den westlichen Stubaiern (Tirol).

Der Blockgletscher liegt im Sulzkar, 4 km SSO von Gries im Sulztal. Das Sulzkar ist ein knapp 2,5 km langes, glazial überprägtes, nach Nordosten ausgerichtetes Seitental, das in Form eines Hängetales in das Sulztal mündet.

Der Festgesteinsuntergrund im Bereich des Sulzkares ist aus metamorphen Gesteinen des Öztaler-Stubaiern Altkristallinkomplexes (Glimmerschiefer, Biotit-Plagioklasgneis, Bänderamphibolit, Amphibolit und Eklogit) aufgebaut. Alle Gesteine sind durch die zahlreichen Störungen stark zerlegt, am stärksten die Paragneise zwischen Gamezwart und Sulzkarscharte. Vor allem die Gratbereiche sind durch die zusätzlich wirksame Frostverwitterung durchwegs stark aufgelockert. Entsprechend groß ist der Schuttanfall.

Der Sulzkar Blockgletscher ist ein aktiver, zungenförmiger Blockgletscher mit einer typischen Morphologie (Abb. 5). Der Blockgletscher entspringt in einem Kar, das früher von einem kleinen Kargletscher eingenommen wurde (auf älteren Karten noch verzeichnet). Dieser Kargletscher ist inzwischen bis auf ein kleines Eis-/Firnfeld abgeschmolzen. Allerdings befindet sich im Bereich der Depression unter einer geringmächtigen Schuttbedeckung massives Gletschereis.

Der höchste Punkt des Blockgletschers liegt auf ca. 2.720 m, die aktive Zunge auf 2.540 m. Die Zunge weist eine steile Stirn mit einer Neigung von 40 bis 41° auf und ist frisch (d.h. in Bewegung). Im Bereich der Stirn ist der Blockgletscher ca. 25–30 m mächtig. Es sind zwei Zungen ausgebildet: eine westliche

Hauptzunge (stärker aktiv) und eine kleinere, östliche Zunge.

Die Oberfläche des Blockgletschers weist eine ausgeprägte Morphologie auf: longitudinale Rücken und Vertiefungen im mittleren und oberen Abschnitt, sowie transversale Loben im unteren Abschnitt.

Die Länge des Blockgletschers beträgt 750 m, die maximale Breite 260 m. Die Neigung des Blockgletschers ist relativ gering, sie liegt bei ca. 10°. Die Gratbereiche im Einzugsgebiet überragen den Blockgletscher um 200 bis 300 m im Osten, Südosten und Süden, und um 400 bis 500 m im Westen.



Abb. 5: Der aktive Blockgletscher im Sulzkar (westliche Stubaiern Alpen) mit seiner ausgeprägten, durch die Fließbewegung entstandenen Oberflächenmorphologie (1998)

Am Fuße der Felswand konnte im Bereich der Wurzelzone an 2 Stellen unter einer dünnen Schuttdecke massives Eis (Reste des Kargletschers) festgestellt werden. Dieses Eis zieht offensichtlich unter der Schuttdecke bis unter die aktive Lage des Blockgletschers.

Der Blockgletscher ist nach N bis NNO ausgerichtet. Er überfährt einen fossilen Blockgletscher, dessen Zunge in 2.380 m liegt. Der fossile Blockgletscher ist stark von Vegetation bewachsen und zeigt stellenweise eine typische Toteislandschaft als Folge des Abschmelzens von massivem Eis. Auf der SO-Seite wird der fossile Blockgletscher randlich von Hangschutt überdeckt.

An der Stirn des fossilen Blockgletschers entspringt eine Blockgletscherquelle, die sowohl vom aktiven Blockgletscher als auch von den Schmelzwässern des Muschenkar Ferners gespeist wird (Details in Krainer & Mostler 2004).

Blockgletscher Wannenkar / Windachtal

Auf der Westseite des Windachtales 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. Zwei Blockgletscher im Wannenkar wurden genauer untersucht: Blockgletscher Wannenkar 1 und Wannenkar 2.

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 dort, aber auch im Kammbereich als Folge der Frostverwitterung stark zerlegt und aufgelockert.

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. Der Blockgletscher ist 765 m lang, bis zu 340 m breit und bedeckt eine Fläche von 0,235 km². Er 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 nicht von Vegetation bedeckt.

Blockgletscher Wannenkar 2 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. 6). 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 Bewegungs-



Abb. 6: Der leicht aktive Blockgletscher im Wannenkarsee (Windachtal, westliche Stubai Alpen), der mit seiner Stirn im Wannenkarsee endet. (2013)

rate von 47 cm/Jahr ergibt. Beim Blockgletscher Wannenkarsee 2 liegen die durchschnittlichen Bewegungsraten im Stirnbereich bei 10 cm/Jahr.

Die Schuttlage an der Oberfläche des Blockgletschers Wannenkarsee 1 ist grobkörnig, es dominieren Korngrößen zwischen 10 und 50 cm. Der Anteil an Klassen mit Korngröße über 50 cm und unter 10 cm ist gering, auch Blöcke mit einem Durchmesser > 100 cm sind nicht selten. Am Blockgletscher Wannenkarsee 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 %. Die Siebkurven der Blockgletscher Wannenkarsee 1 und 2 zeigen einen ähnlichen Verlauf, alle Proben weisen eine schlechte bis sehr schlechte Sortierung auf (1,96–3,6 phi). 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 als neben den Blockgletschern. 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 Wannekar 1 zwischen Dezember und Ende März Temperaturen von durchwegs unter $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen, am 7. Februar wurde mit $-17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 Wannekar 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 Wannekarsee münden. Zum Herbst hin fallen einige dieser Quellen trocken. Bei Wannekar 2 müssen die Quellen direkt in den See münden. Im Spätsommer sind hier im Bereich der Senke mehrere kleine Quellen aktiv. Alle Quellen sind durch eine niedrige Quelltemperatur (meist unter $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) sowie durch eine relativ niedrige elektrische Leitfähigkeit während der Hauptschneeschmelze (Mai, Juni) charakterisiert, die jedoch zum Herbst hin stark ansteigt und Werte von über $500\text{ }\mu\text{S/cm}$, z.T. über $1000\text{ }\mu\text{S/cm}$ erreicht. Der pH-Wert liegt im sauren Bereich ($4,5\text{--}4,8$). Einige Quellen wurden chemisch analysiert und sind durch hohe Konzentrationen an Aluminium, Mangan, Nickel, Cobalt, auch an Calcium, Magnesium und Schwefelsäure gekennzeichnet (Nickel bis $1,34\text{ mg/l}$). Am Abfluss des Wannekarsees wurde ein Pegel installiert, um das Abflussverhalten genauer zu untersuchen. Hohe Abflussmengen wurden im Juni und Juli gemessen ($> 200\text{ l/s}$) mit ausgeprägten Tagesschwankungen. Ab Ende Juli geht der Abfluss dann

kontinuierlich zurück und erreicht im Oktober nur mehr Werte um $15\text{--}20\text{ l/s}$. Die Wassertemperatur des Sees erreicht im August mit knapp $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ihren höchsten Wert.

Beide Blockgletscher im Wannekar 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 Nickel bei Quellen im Wannekar, aber auch bei einigen Blockgletscherquellen in den benachbarten Karen (Details in Schmidt 2014).

Der aktive Blockgletscher in der Inneren Ölgrube

Dieser Blockgletscher liegt in einem kleinen Seitental auf der Ostseite des Kaunertales bzw. an der Westseite des Kaunergrates in den westlichen Öztaler Alpen (Abb. 7, 8). Gesteine im Einzugsgebiet sind Paragneise, Glimmerschiefer und Orthogneise des Öztal-Stubai-Kristallins. Der Blockgletscher setzt sich aus zwei aneinandergrenzenden Zungen zusammen, beide Zungen sind bis zu 250 m breit und bis zu 880 m lang und bedecken eine Fläche von $0,15\text{ km}^2$. Die bis zu 70 m mächtige und imposante Stirn ist $40\text{--}45^{\circ}$ steil und endet auf einer Seehöhe von ca. 2.380 m . Auf der Oberfläche sind ausgeprägte transversale Loben entwickelt. Die Korngröße der oberflächlichen Schuttlage liegt meist zwischen 20



Abb. 7: Der aktive Blockgletscher in der Inneren Ölgrube (Kaunertal) (2007)

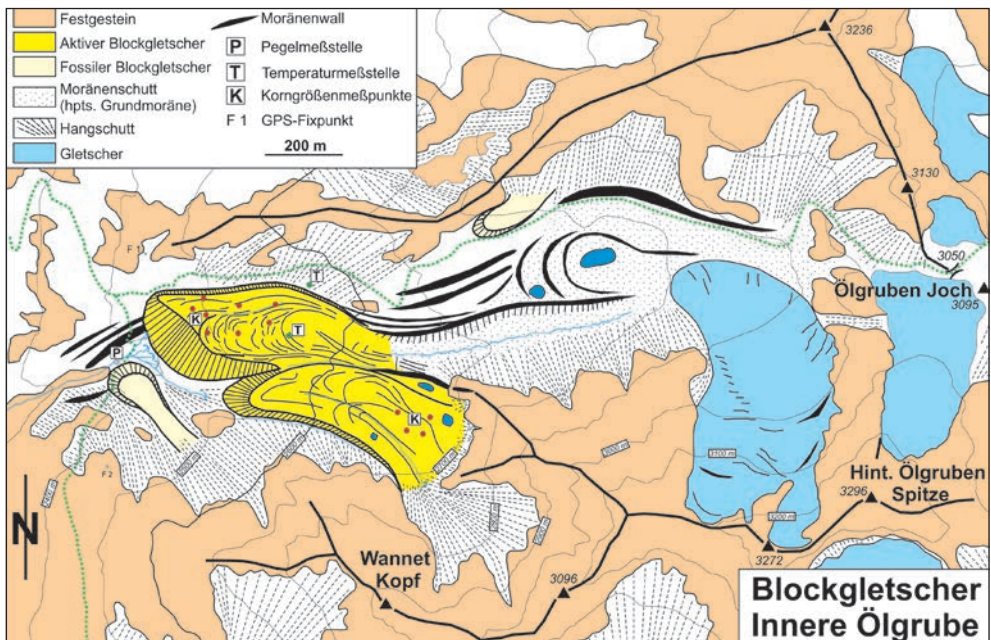


Abb. 8: Geologisch-geomorphologische Karte des aktiven Blockgletschers in der Inneren Ölgrube (Kaunertal)

und 40 cm, aber auch Blöcke mit Durchmessern von bis zu mehreren Metern sind nicht selten. Am Fuße der steilen Stirn entspringen mehrere Blockgletscherquellen. An diesem Blockgletscher hat Finsterwalder (1928) bereits 1923 und 1924 Bewegungsmessungen durchgeführt und jährliche Bewegungsraten von bis zu 0,5 m gemessen. Pillewizer (1957) hat diese Messungen fortgeführt und für den Zeitraum 1938 bis 1957 entlang eines Profils im unteren Bereich jährliche Bewegungsraten bis 0,5 m und im oberen Bereich bis 0,75 m festgestellt.

In den Jahren 1999 bis 2007 wurde dieser Blockgletscher schließlich im Detail kartiert und untersucht (Berger 2002; Krainer & Mostler 2002, 2006; Berger et al. 2004; Krainer et al. 2007; Hausmann et al. 2012). BTS-Daten und Quelltemperaturen ($< 1,5\text{ °C}$) sowie die inzwischen deutlich höheren jährlichen Bewegungsraten von bis zu 2,5 m im Stirnbereich weisen eindeutig auf das Vorhandensein von Eis hin. Das Abflussverhalten ist, ähnlich wie bei anderen aktiven Blockgletschern, durch ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen charakterisiert. Die elektrische Leitfähigkeit der Blockgletscherquellen ist sehr niedrig, liegt während hoher Abflussraten im Mai und Juni meist zwischen 25 und 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und steigt zum Herbst hin auf Werte von 110 bis 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ an.

Durch umfangreiche geophysikalische Untersuchungen (Georadar, Refraktionsseismik und Gravimetrie) konnten Mächtigkeit und interne Struktur des Blockgletschers sehr gut herausgearbeitet werden (Hausmann et al. 2012). Demnach ist die ungefrorene Schutt-

lage an der Oberfläche 4,6 bis 5,3 m dick, der darunter liegende Permafrostkörper 25 bis 31 m mächtig. Zwischen dem Permafrostkörper und dem Festgesteinsuntergrund befindet sich noch eine 10 bis 15 m mächtige, ungefrorene Schuttlage (ähnlich einer Grundmoräne). Der Eisanteil im Permafrostkörper liegt zwischen 43 und 61 % (Details in Hausmann et al. 2012). Nach Berger et al. (2004) haben sich die beiden Blockgletscherzungen aus einem schuttbedeckten Kargletscher der Kleinen Eiszeit, also seit ca. 1850, entwickelt.

Der aktive Blockgletscher im Kaiserbergtal

Der aktive Blockgletscher liegt im hinteren Kaiserbergtal, einem nach Osten gerichteten Seitental des Kaurntales (Glockturmkamm). Der Blockgletscher ist lappenförmig ausgebildet, bis zu 550 m breit und 350 bis 400 m lang (Abb. 9, 10). Die Stirn ist sehr steil ($41\text{--}45^\circ$) und endet auf einer Seehöhe von 2.585 m. Der Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,15 km^2 . Auf der Oberfläche des Blockgletschers sind als Folge der Fließbewegungen charakteristische Rücken und Vertiefungen ausgebildet. Die Schuttlage setzt sich vor allem aus Orthogneis, untergeordnet aus Paragneis, Glimmerschiefer und Amphibolit zusammen. Auch dieser Blockgletscher wurde in den Jahren 1999 bis 2007 im Detail kartiert und untersucht, und zwar hinsichtlich Zusammensetzung (Korngrößenverteilung der Schuttlage), Temperaturen an der Basis der Schuttlage, Hydrologie und Fließbewe-

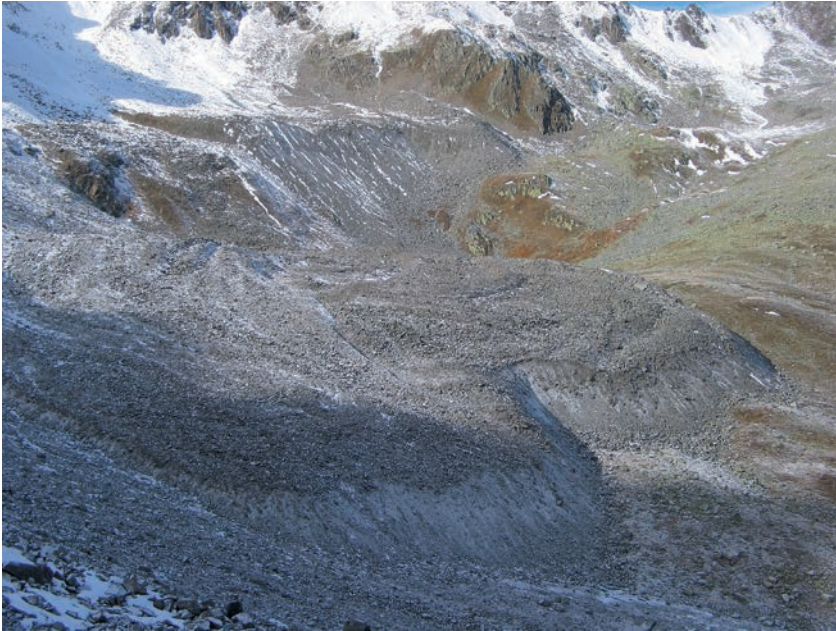


Abb. 9: Der aktive Blockgletscher im Kaiserbergtal (Glockturmkamm, Kaunertal) (2010)

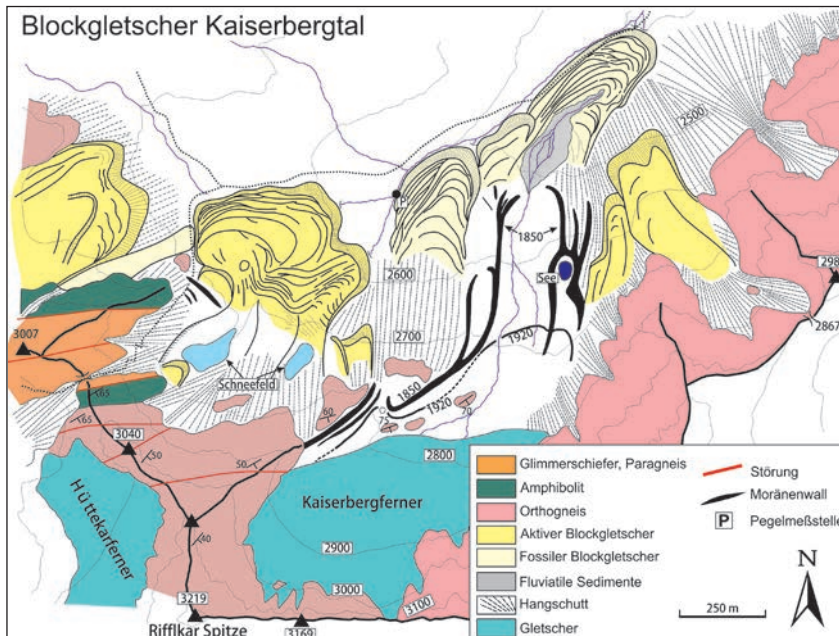


Abb. 10: Geologisch-geomorphologische Karte der Blockgletscher im hinteren Kaiserbergtal

gungen. Mächtigkeit, interne Strukturen und Eisgehalt wurden mit geophysikalischen Methoden (Georadar, Refraktionsseismik und Gravimetrie) erfasst.

Die Korngrößenverteilung ist ähnlich wie bei anderen Blockgletschern, die überwiegend aus Orthogneisen bestehen. Auch die Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke und die Hydrologie (Abflussverhalten, Quelltemperaturen) sind ähnlich wie bei anderen aktiven Blockgletschern. Die elektrische Leitfähigkeit ist ähnlich wie beim Blockgletscher in der Ölgrube sehr gering. Im etwas steileren, östlichen Stirnbereich wurden im Zeitbereich 2002–2004 jährliche Bewegungsraten von bis zu 2 m gemessen. Die Schuttlage ist 5,4–8 m mächtig, für den darunterliegenden Permafrostkörper wurden Mächtigkeiten zwischen 19 und 21 m ermittelt. Ähnlich wie beim Blockgletscher in der Inneren Ölgrube befindet sich auch bei diesem Blockgletscher zwischen dem Permafrostkörper und dem Festgesteinsuntergrund eine ungefrorene Sedimentlage mit einer Mächtigkeit von 10 bis 15 m. Der Eisgehalt des Permafrostkörpers liegt im randlichen Bereich zwischen 15 und 27 %, im zentralen Bereich ist der Eisanteil jedoch wesentlich höher und beträgt bis zu 72 % (Details siehe Berger 2002; Krainer & Mostler 2002, 2006; Krainer et al. 2007; Hausmann et al. 2012).

Literatur

- Berger, J. (2002) Aufbau und Dynamik aktiver Blockgletscher am Beispiel der Blockgletscher in der Inneren Ölgrube und dem Kaiserbergtal (Ötztaler Alpen/Tirol). Unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geologische Wissenschaften, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 129 S.
- Berger, J., Krainer, K. & Mostler, W. (2004) Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). *Quaternary Research* 62: 233-242.
- Boeckli, L., Brenning, A., Gruber, S., & Noetzli, J. (2012) A statistical approach to modelling permafrost distribution in the European Alps or similar mountain ranges. *The Cryosphere* 6: 125-140.
- Bollmann, E., Rieg, L., Spross, M., Sailer, R., Bucher, K., Maukisch, M., Monreal, M., Zischg, A., Mair, V., Lang, K., & Stötter, J. (2012) Blockgletscherkataster Südtirol – Erstellung und Analyse. *Innsbrucker Geographische Studien*, 39, Permafrost in Südtirol: 147-171.
- Figl, T. (2004) Die Quartärgeologie des hinteren Sulztales in den westlichen Stubaiyer Alpen (Tirol) unter besonderer Berücksichtigung der Blockgletscher. Unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geologie und Paläontologie. Univ. Innsbruck, 127 S.
- Finstlerwalder, S. (1928) Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. *Zeitschrift für Gletscherkunde* 16: 20-41.

- 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, 2010.
- Haerberli, W. & Patzelt, G. (1982) Permafrost-kartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 18:127-150.
- Hausmann, H., Krainer, K., Brückl, E. & Mostler, W. (2007) Internal structure and ice content of Reichenkar rock glacier (Stubai Alps, Austria) assessed by geophysical investigations. *Permafrost and Periglacial Processes* 18: 351-367.
- Hausmann, H., Krainer, K., Brückl, E. & Ullrich, C. (2012) Internal structure, ice content and dynamics of Ölgrube and Kaiserberg rock glaciers (Ötztal Alps, Austria) determined from geophysical surveys. *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 12-31.
- Kaufmann, V. (2012) The evolution of rock glacier monitoring using terrestrial photogrammetry: the example of Äußeres Hochebenkar rock glacier (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 63-77.
- Kaufmann, V. & Ladstädter, R. (2002) Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hochebenkar rock glaciers (Oetztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 37: 119-140.
- Kellerer-Pirklbauer, A., Lieb, G.K. & Kleinfelchner, H. (2012) A new rock glacier inventory of the eastern European Alps. *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 78-93.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2000a) 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. (2000b) Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubai Alpen. *Geoforum Umhausen*, Band 1: 28-43.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2002) Hydrology of active rock glaciers: Examples from the Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 142-149.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2004) Ein aktiver Blockgletscher im Sulzkar, westliche Stubai Alpen (Tirol). *Geo.Alp* 1: 37-55, Innsbruck.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2006) Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. *Geografiska Annaler* 88A: 267-280.
- Krainer, K., Mostler, W. & Span, N. (2002) A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the western Stubai Alps (Austria): evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. *Zeit-*

- schrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 38: 21-34.
- Krainer, K., Mostler, W. & Spötl, C. (2007) Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. *Austrian Journal of Earth Sciences* 100: 102-112.
- Krainer, K. & Ribis, M. (2012) A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria), *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 32-47.
- Ladstädter, 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. (1986) Die Blockgletscher der östlichen Schobergruppe (Hohe Tauern, Kärnten). *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz* 27: 123-132.
- Lieb, G. K. (1991) Die horizontale und vertikale Verteilung der Blockgletscher in den Hohen Tauern (Österreich). *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge* 35(3): 345-365.
- Lieb, G. K. (1996) Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz* 33: 9-125.
- Lieb, G. K., Kellerer-Pirklbauer, A. & Kleinfurchnner, H. (2010) Rock glacier inventory of Central and Eastern Austria elaborated within the PermaNET project. Department of Geography and Regional Science, University of Graz, Digital Media (Inventory Version Nr. 2: January 2012).
- Pillewizer, W. (1957) Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. *Geomorphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift)* 5: 37-50.
- Schmidt, W. (2014) Geologisch-geomorphologische Kartierung eines ausgewählten Gebietes im Windachtal (Ötztal/Tirol). Unveröff. Masterarbeit, Institut für Geologie, Universität Innsbruck, 169 Seiten + Anhang.
- Schneider, R. & Schneider, H. (2001) Zur 60-jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hohebenkar, Ötztaler Alpen, *Tirol. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 37: 1-33.
- Stocker, K. (2012) Blockgletscher in Vorarlberg und in der Verwallgruppe. *Museumverein Jahrbuch Vorarlberger Landesmuseum* 2012: 124-139.
- Vietoris, L. (1972) Über die Blockgletscher des Äußeren Hohebenkares. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 8: 169-188.

K. Krainer

Verzeichnis des Autors

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