

Tabelle 2:
Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2000/2001

Nr.	Gletscher	Kt.	Längen- ände- rung (m)	Nr.	Gletscher	Kt.	Längen- ände- rung (m)
Einzugsgebiet der Rhone (II)				111	Ammerten	BE	st
1	Rhone	VS	-6,1	65	Rätzli	BE	x
2	Mutt	VS	-4,75	Einzugsgebiet der Reuss (Ib)			
3	Gries	VS	-13,0	66	Tiefen	UR	-7,45
4	Fiescher	VS	-11,6	67	Sankt Anna	UR	n
5	Grosser Aletsch	VS	-47,8	68	Kehlen	UR	-25,8
6	Oberaletsch	VS	-14,42	69	Rotfirn (Nord)	UR	-18,2
7	Kaltwasser	VS	+13,1	70	Damma	UR	-6,7
10	Schwarzberg	VS	-20	71	Wallenbur	UR	-3,4
11	Allalin	VS	-95	72	Brunni	UR	n
12	Kessjen	VS	+1,5	73	Hüfi	UR	-25,6
13	Fee (Nord)	VS	-209,4	74	Griess	UR	st
14	Gorner	VS	-29,32	75	Firnelpeli (Ost)	OW	n
16	Findelen	VS	n (sn)	76	Griessen	OW	-6,3
17	Ried	VS	-32,4	Einzugsgebiet der Linth/Limmat (Ic)			
18	Lang	VS	-5,3	77	Biferten	GL	-9,0
19	Turtmann	VS	-1,4	78	Limmern	GL	-9,54
20	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	-8,5	114	Plattalva	GL	-11,64
21	Bella Tola	VS	-4,5	79	Sulz	GL	-9,3
22	Zinal	VS	-5	80	Glärnisch	GL	-2,5
23	Moming	VS	-90	81	Pizol	SG	n
24	Moiry	VS	-6	Einzugsgebiet des Rheins (Id)			
25	Ferpècle	VS	-5	82	Lavaz	GR	n
26	Mont Miné	VS	-25	83	Punteglias	GR	15,62
27	Arolla (Mont Collon)	VS	-20	84	Lenta	GR	-25
28	Tsidjiore Nouve	VS	-12	85	Vorab	GR	n
29	Cheillon	VS	-1,7	86	Paradies	GR	+4,4
30	En Darrey	VS	st	87	Suretta	GR	+103,2
31	Grand Désert	VS	-29,2	115	Scaletta	GR	+4,6
32	Mont Fort (Tortin)	VS	-10,2	88	Porchabella	GR	st
33	Tsanfleuron	VS	-30	89	Verstankla	GR	-5,25
34	Otemma	VS	-24,2	90	Silvretta	GR	n (sn)
35	Mont Duran	VS	-2,2	91	Sardona	SG	n
36	Brenay	VS	-55,7	Einzugsgebiet des Inns (V)			
37	Giétro	VS	-7,0	92	Roség	GR	-118
38	Corbassière	VS	-13,6	93	Tschierva	GR	-46,7
39	Valsorey	VS	-42	94	Morteratsch	GR	-26,4
40	Tseudet	VS	-92	95	Calderas	GR	-1,7
41	Boveyre	VS	-182	96	Tiatscha	GR	+13,2
42	Saleina	VS	-322	97	Sesvenna	GR	-8,0
43	Treint	VS	-30	98	Lischana	GR	-1,72
44	Paneyrosse	VD	-4,55	Einzugsgebiet der Adda (IV)			
45	Grand Plan Névé	VD	-5,3	99	Cambrena	GR	-82
47	Sex Rouge	VD	-1,5	100	Palü	GR	+9,5
48	Prapio	VD	x	101	Paradisino (Campo)	GR	-6,53
Einzugsgebiet der Aare (Ia)				102	Forno	GR	-21,0
50	Oberaar	BE	x	Einzugsgebiet des Tessin (III)			
51	Unteraar	BE	x	120	Corno	TI	-8,3
52	Gauli	BE	x	117	Valleggia	TI	-3,0
53	Stein	BE	-14	118	Val Torta	TI	st
54	Steinlimmi	BE	-18	103	Bresciana	TI	-14,0
55	Trift (Gadmen)	BE	-250	119	Cavagnoli	TI	-10,5
57	Oberer Grindelwald	BE	x	104	Basodino	TI	-3,0
58	Unterer Grindelwald	BE	x	161	Crosolina	TI	st
59	Eiger	BE	-4,1	105	Rosboden	VS	-1,75
60	Tschingel	BE	-5,2				
61	Gamchi	BE	-5,4				
109	Alpetli	BE	-3,8				
62	Schwarz	VS	x				
63	Lämmern	VS	-1,5				
64	Blüemlisalp	BE	-9,5				

Abkürzungen

n = nicht beobachtet
sn = eingeschnitten
x = Betrag nicht bestimmt
st = stationär

Bemerkung

Gilt die Angabe für eine mehrjährige Zeitspanne, so zeigt die hochgestellte Zahl die Anzahl der Jahre an: -11² = Schwund um 11 m in 2 Jahren

Die Wissenschaft auf den Spuren des Dauerfrosts

Mit PERMOS Permafrost erforschen

Permafrost, also ständig gefrorener Boden, reagiert sehr empfindlich auf die Klimaveränderungen unserer Tage. Ein Auftauen könnte eine erhöhte Instabilität des Bodens in höheren Lagen zur Folge haben. Deshalb sollen mit Hilfe eines langfristigen Beobachtungsnetzes Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Permafrosts gemacht werden können. Im Jahre 2000 wurde PERMOS, ein entsprechendes Forschungsprojekt der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW), genehmigt und mit einer vierjährigen Pilotphase begonnen.

Foto: Daniel Vonder Mühl



Klassisch ausgeprägter Blockgletscher im südlichen Val Muragl, Oberengadin. Unter Permafrostbedingungen bildet sich in den Hohlräumen von Geröllhaufen Eis. Dieses Schutt-Eis-Gemisch – ein lavastromähnliches Gebilde mit Rücken, Gräben usw. – kriecht um Zentimeter bis Dezimeter jährlich talwärts und wird trotz seiner Entstehung Blockgletscher genannt.

Fig. 1
Entwicklung der maximalen Tiefe der Auftauschicht im Permafrost des Blockgletschers von Murtèl/Corvatsch (GR) zwischen 1988 und 2001. Über eine so kurze Dauer ist keine Tendenz ablesbar. Die Messungen müssen über einen längeren Zeitraum erfolgen.



Fig. 3
Verteilung der BTS-Temperaturen an den Pointes de Tsavolires/Vallon de Réchy (VS) im März 2000. Temperaturen unter -2°C zeigen Permafrost an.

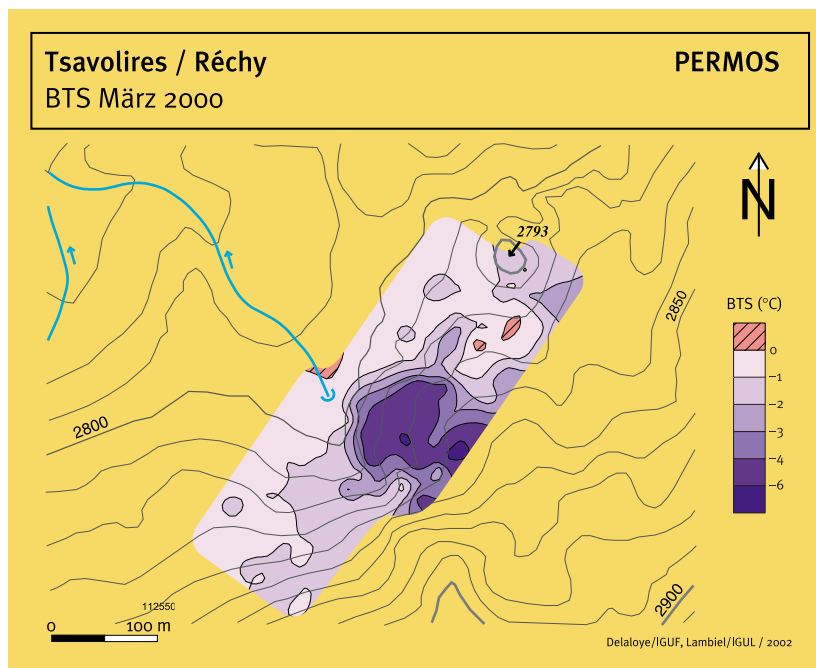
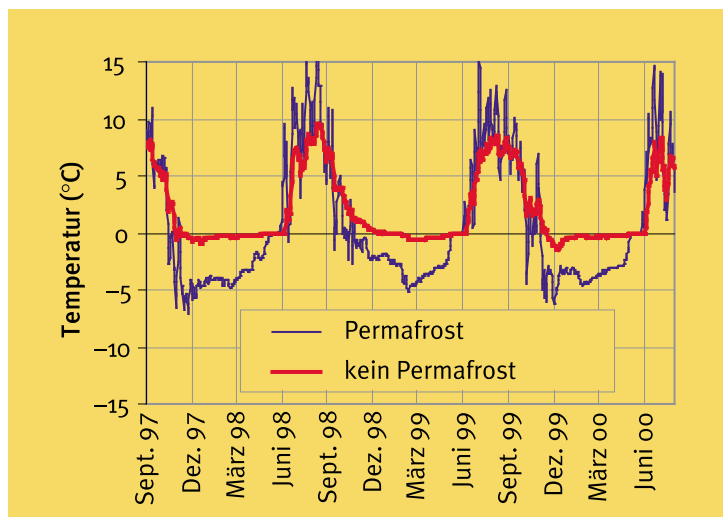


Fig. 2
Die Bodentemperatur im Winter gibt Hinweise auf das Vorkommen von Permafrost (Daten R. Delaloye, Messstelle Alpage de Mille/VS).



nen Bodens, geringere Ausdehnung der Permafrostzone – ist nicht auszuschliessen. Eine zunehmende und häufiger auftretende Geländeinstabilität in hochalpinen Regionen ist dann wahrscheinlich. Dies kann auch Folgen für den Alpinismus zeitigen wie Ändern oder Aufgeben von gewissen Routen, weil Erdrutsche und Steinschlag ein Begehen des Wegs unmöglich machen.

Das Beobachtungsnetz PERMOS

Hauptziel des Beobachtungsnetzes PERMOS (PERmafrost MONitoring in Switzerland) ist, den Zustand des Permafrosts zu dokumentieren und Veränderungen festzustellen. Entwickelt wurde das Konzept von der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW), die 1997 die Gletscherkommission ersetzte und gleichzeitig ihr Betätigungsfeld auf die ganze Kryosphäre ausdehnte. Das Projekt, bei dem zahlreiche Universitätsinstitute und Bundesstellen mitarbeiten, wird u.a. auch vom SAC finanziell unterstützt. Gegenwärtig läuft eine vierjährige Pilotphase (2000–2003), die von der Glaziologischen Kommission koordiniert und von der SANW, der Eidg. Forstdirektion und vom Bundesamt für Wasser und Geologie mitfinanziert wird. Diese erste Pha-

Permafrost ist die Bezeichnung für Boden, dessen Temperatur in der Tiefe während des ganzen Jahres nicht über 0°C steigt. Diese Böden, die sich in den Alpen hauptsächlich oberhalb der Waldgrenze befinden, tauen also nie auf. Davon ausgenommen ist eine dünne, etwa 2 bis 5 m dicke Schicht an der Oberfläche, die so genannte Auftauschicht. In polaren Regionen kann Permafrost eine Dicke von einem Kilometer erreichen, während in unseren Breitengraden die Mächtigkeit 20 bis über 500 m betragen kann. Man schätzt, dass etwa 5 bis 6% des Schweizer Bodens Permafrostböden sind, was einer Fläche entspricht, die doppelt so gross ist wie die von Gletschern bedeckte. Im Hochgebirge sind viele Gebäude auf oder in

Permafrost gebaut, so zum Beispiel die Konkordiahütten des SAC oder die Bahnstation Jungfrauoch.

Wo Permafrostbedingungen herrschen, gefriert das Wasser, das in den Boden eindringt. Deshalb findet sich mehr oder weniger Eis in Lockergesteinen (Felsbrocken, Moränen) oder in Spalten von Felswänden. Dieses Eis wirkt wie Zement und limitiert die Auswirkungen von Erosionsprozessen.

Weshalb den Permafrost beobachten?

Den Permafrost genau zu beobachten, ist heute besonders wichtig, da sich die Klimaveränderungen noch beschleunigen werden. Eine markante Veränderung des Permafrosts – stärkeres Auftauen im Sommer, dünnere Schicht des gefrore-

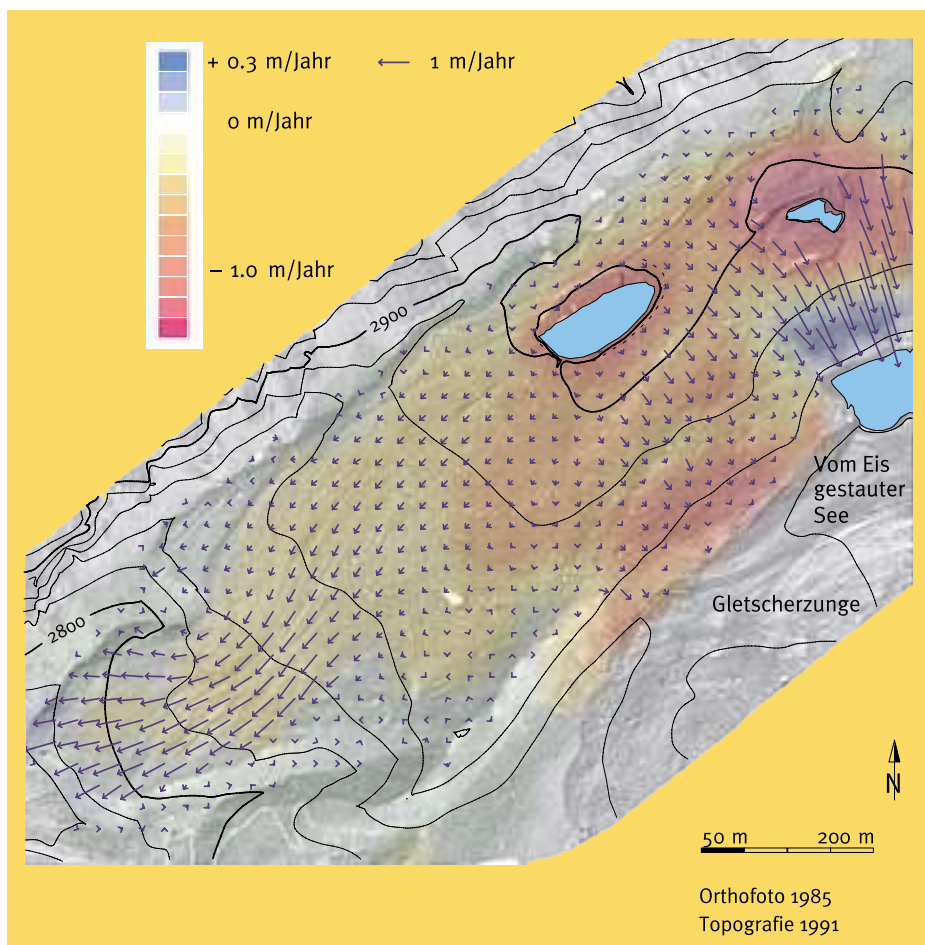


Fig. 4
Vertikale (farbig) und horizontale (Pfeile) Bewegungen, die durch fotogrammetrische Analyse auf dem Blockgletscher

von Gruben (VS) zwischen 1970 und 1995 ermittelt werden konnten (Grafik A. Kääh, Universität Zürich)

se soll die Basis bilden, um ein langfristig angelegtes Beobachtungssystem für den alpinen Permafrost auf eine solide Grundlage zu stellen, das international vernetzt ist.

Wie misst man den Permafrost?

Permafrost ist an der Oberfläche nicht sichtbar. Die beste Beobachtungsmethode, besteht darin, ein Loch zu bohren und die Temperatur zu messen. Mit Hilfe dieser Methode können die Dicke der Auftauschicht gemessen und gleichzeitig die Temperaturveränderungen des dauergefrorenen Bodens beobachtet werden. Eine Bohrung liefert aber nur punktuelle Informationen. Zudem ist aus technischen, logistischen und finanziellen Gründen nur eine begrenzte Zahl von Bohrungen möglich. Die räumliche Ausdehnung der Permafrostzonen kann aber mit verschiedenen geophysikalischen Techniken an der Oberfläche bestimmt werden.

Die für das Projekt PERMOS ausgewählte Methode besteht darin, die Temperatur der Bodenoberfläche mitten im Winter (Februar/März) zu messen. Die Methode nennt sich BTS, Bottom Temperature of the Winter Snowcover. Wenn eine Schneeschicht liegt, die dick genug ist, um als Isolierung zu wirken (über 80 cm), weist eine Temperatur von nahe 0° darauf hin, dass wahrscheinlich kein Permafrost vorliegt, während eine Temperatur von unter -3° auf ein wahrscheinliches Vorkommen schliessen lässt. Diese Messungen erfolgen durch autonome Fühler (Mini Dataloggers), die permanent im Boden installiert sind, oder mit Sonden, die man bei Feldoperationen zu gegebener Zeit durch die Schneedecke hindurchstösst.

Blockgletscher, eine besondere Form von Permafrost

Geröll und Moränen können einen hohen Anteil von eingeschlossenem Eis, manchmal bis zu 90% des Gesamtvolumens, enthalten. Dieses Material gerät ganz langsam in Bewegung und bildet einen so genannten Blockgletscher. Diese gewaltige Erd- und Steinlawine bewegt sich von einigen wenigen bis zu einigen Dutzend Zentimetern pro Jahr talwärts, also 100 bis 1000 Mal langsamer als ein Gletscher! Tausende von Jahren waren nötig, bis einige dieser Blockgletscher, von denen es mehrere Tausend gibt, gebildet waren. Allein das Blatt «Permafrost» des Hydrologischen Atlas der Schweiz vom Jahr 1999 erwähnt etwa 100 leicht erkennbare und zugängliche Blockgletscher. Die Veränderungen der Geometrie eines Blockgletschers wie Fliessgeschwindigkeit, Schrumpfung/Anschwellen sind langfristige Indikatoren für die Entwicklung des Permafrosts. Diese Veränderungen sind vor allem durch detaillierten Vergleich (Fotogrammetrie) von Luftaufnahmen erkennbar, die im Abstand von mehreren Jahren gemacht werden.

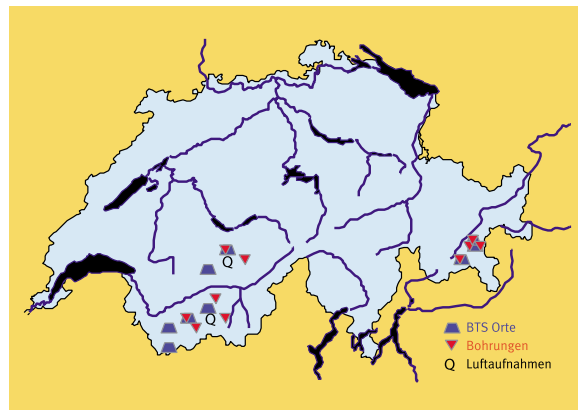


Fig. 5
Verteilung der Messstationen von PERMOS

Zusammenfassung

In der Anfangsphase von PERMOS werden ausschliesslich Gebiete beobachtet, die den Forschern bereits bekannt sind. Vorgesehen sind dabei permanentes oder punktuell Erfassen der Permafrosttemperatur in 11 Bohrungen, jährliche Messung der Ausdehnung der Permafrostzonen mit Hilfe von BTS-Messungen und Mini-Dataloggers (10 Stellen) und Aufnahme von vertikalen Luftbildern, schwarz- weiss und infrarot (2 Stellen pro Jahr), die schliesslich ermöglichen, das Verhalten von gewissen Blockgletschern und die Veränderungen in der Umwelt (Erdrutsche,

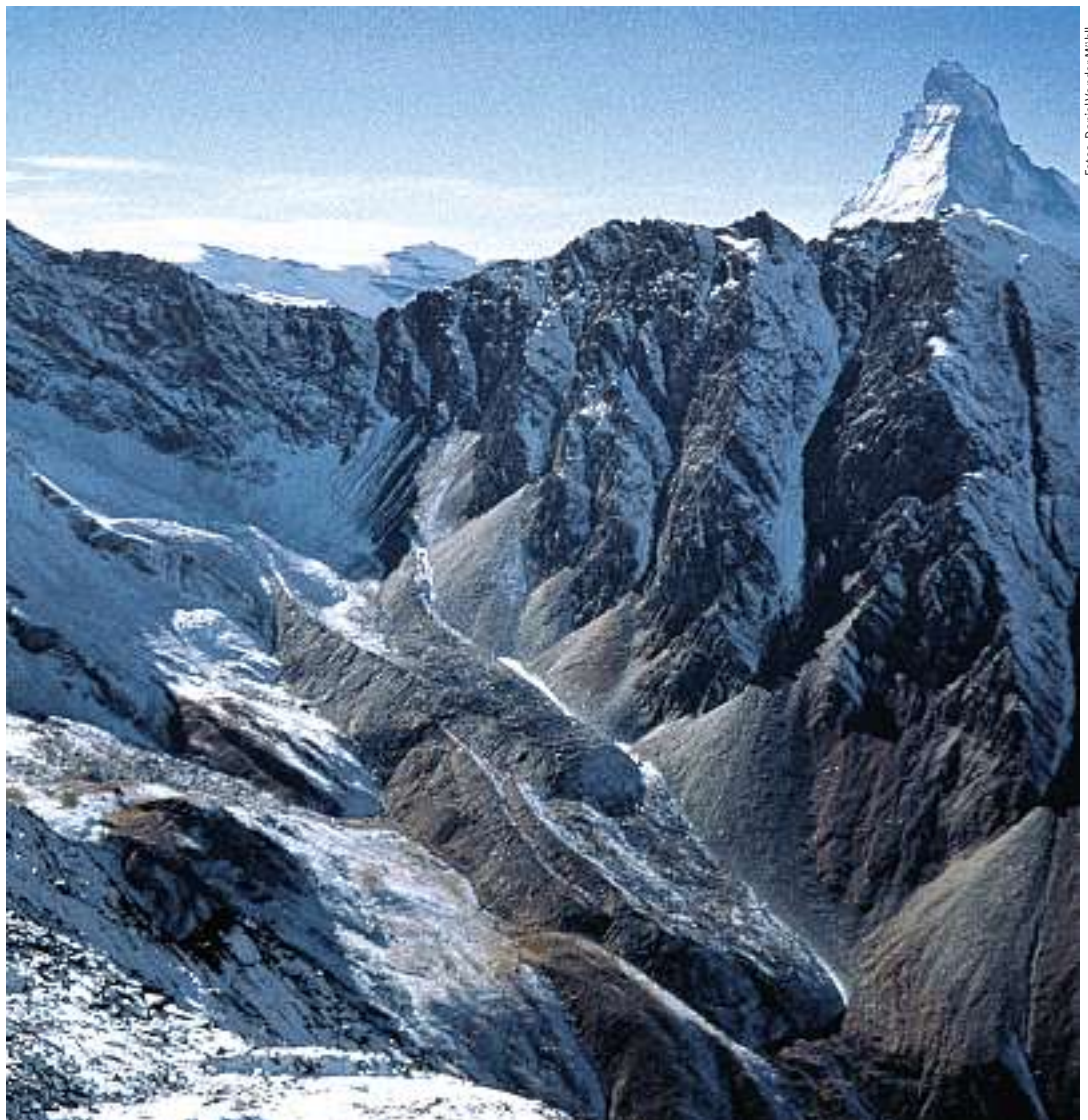
Schlammlawinen, Vegetation usw.) zu beobachten. Rund zehn Universitätsinstitute und Bundesstellen beteiligen sich heute an diesem Programm. Die ersten Ergebnisse von PERMOS werden in den *Alpen* ab Herbst 2003 alternierend mit dem Bericht über die Veränderungen der Gletscher publiziert. ▴

Reynald Delaloye, Universität Freiburg
Daniel Vonder Mühll, Universität
Basel und Zürich (ü)

Für Bohrungen in eishaltigem Permafrost mit einer Temperatur knapp unter 0 °C wird gekühlte, getrocknete Luft eingesetzt, damit der gefrorene Zustand erhalten bleibt. Die schweren Bohrgeräte müssen meistens per Helikopter ins alpine Gelände transportiert werden.



Blockgletscher Murtèl-Corvatsch im Oberengadin. Ein typisches Merkmal von Blockgletschern sind die steilen Ränder. Die grossen Blöcke fallen hinunter, lagern sich als Schürze an und werden langsam wieder überrollt. Bei inaktiven, nicht mehr kriechenden Blockgletschern kann sich Vegetation am Feinmaterialgürtel ansetzen.



Fotos: Daniel Vonder Mühll

Der Blockgletscher am Zmutt-lengtschuggen (Täschalp). Der untere Teil ist fossil, vermutlich ohne Permafrost. Er ist mehrere tausend Jahre alt. In der Mitte ist der aktive Teil des Blockgletschers, der noch Permafrost enthält. Die Vertiefung zuoberst wurde von einem Gletscher geformt, der vor hundert Jahren noch vorhanden war. Dieser Gletscher ist heute verschwunden.