



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
Main Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2010

Schnee, Gletscher und Permafrost 2008/2009: Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

Paul, F ; Kammer, K ; Bauder, A ; Delaloye, R ; Marty, C ; Noetzli, Jeannette

Abstract: Die Gletscher ziehen sich weiterhin zurück, ihre Masseänderungen waren regional sehr unterschiedlich, die Dauer und Mächtigkeit der Schneedecke war zumeist überdurchschnittlich, und der Permafrost erwärmte sich stark. So lauten die Resultate der Kryosphärenbeobachtung für den Zeitraum 2008/09. Sie sind die Folge von intensivem Schneefall im Winter und Frühling sowie einem überdurchschnittlich warmen Sommer.

Other titles: Neige, glaciers et pergélisol en 2008/2009: rapport sur la cryosphère dans les Alpes suisses

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-38422>

Journal Article

Originally published at:

Paul, F; Kammer, K; Bauder, A; Delaloye, R; Marty, C; Noetzli, Jeannette (2010). Schnee, Gletscher und Permafrost 2008/2009: Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen. *Die Alpen = Les Alpes*, 2010(8):42-48.

Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

Schnee, Gletscher und Permafrost 2008/09

Die Gletscher ziehen sich weiterhin zurück, ihre Masseänderungen waren regional sehr unterschiedlich, die Dauer und Mächtigkeit der Schneedecke war zumeist überdurchschnittlich, und der Permafrost erwärmte sich stark. So lauten die Resultate der Kryosphärenbeobachtung für den Zeitraum 2008/09. Sie sind die Folge von intensivem Schneefall im Winter und Frühling sowie einem überdurchschnittlich warmen Sommer.

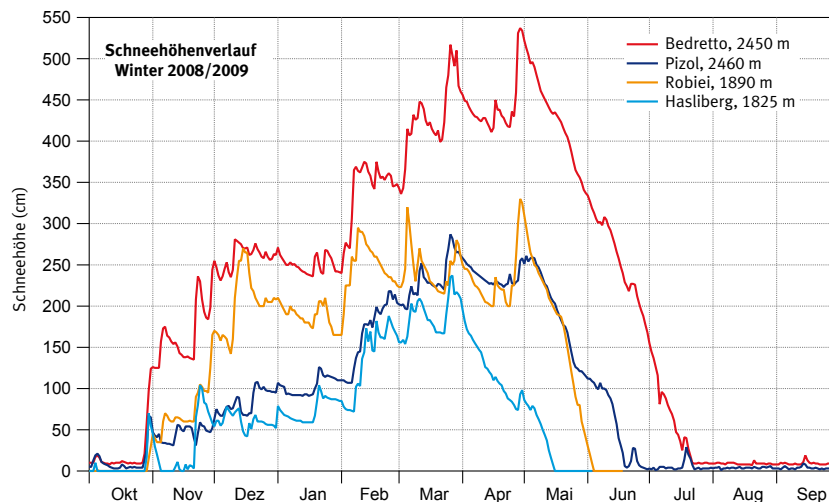
Witterungsverlauf und Entwicklung der Schneedecke

Bereits Ende Oktober 2008 sorgte ein heftiger Wintereinbruch beidseits der Alpen für Schnee bis in tiefe Lagen. Im Gebirge wurde dadurch die Sommerwärme nachhaltig im Boden einge-

Abb. 1: Schneehöhenverlauf im Winter 2008/09 an je zwei Stationen der Alpennord- und Alpensüdseite. Alle Stationen zeigen das frühe Einschneien Ende Oktober 2008 und das

intensive Abschmelzen in den Sommermonaten. Die beiden südlichen Stationen zeigen, bedingt durch die häufigen Südstaulagen, mehrere markante Schneehöhenanstiege. Die Ausaperung war im Süden an der auf

2450 m gelegenen Station Bedretto um einen Monat später als auf der gleich hoch gelegenen Station Pizol auf der Alpennordseite.



schlossen. Nicht nur im Mittelland waren die Schneemengen ausserordentlich (z.B. 20 cm in Zürich); selbst in der Zentralschweiz wurden Neuschneehöhen von rund 50 Zentimetern gemessen. Auch danach kam es beidseits der Alpen immer wieder zu Schneefällen bis in tiefe Lagen. Aus meteorologischer Sicht speziell war die Häufung von Südstaulagen im November und Dezember 2008. Dadurch erreichten die Schneehöhen Ende Dezember im Oberwallis, am Alpensüdhang und im Engadin sowie in Mittelbünden das Eineinhalb- bis Zweifache der sonst üblichen Werte.

Die ersten zwei Wochen des Jahres 2009 waren sonnig und ohne Nieder-

schläge. Anschliessend regnete es im Norden teilweise bis etwa 1600 Meter hinauf, im Nordwesten sogar bis über 2000 Meter. Dies war zwischen November und Ende März allerdings der einzige ausgeprägte Wärmeeinbruch des sonst gegenüber dem langjährigen Mittel leicht zu kalten Winters 2008/09. Am 8. Februar, nach einer erneuten intensiven Südstaulage mit Dreitagessummen von mehr als einem Meter Neuschnee am zentralen Alpensüdhang, wurde dort und im Oberengadin an einigen Stationen bereits die maximale Schneehöhe des Winters erreicht (Abb. 1). Auch im

Schneehöhe im April 2009

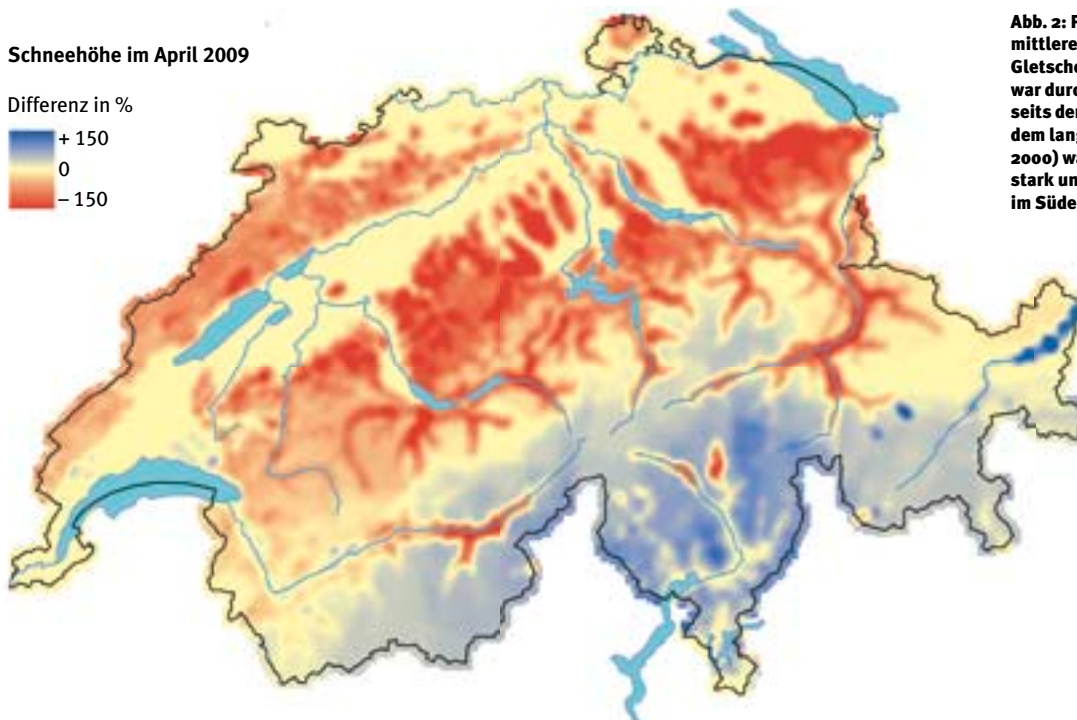
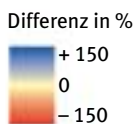


Abb. 2: Prozentuale Abweichung der mittleren Schneehöhe. Die für die Gletscher wichtige Aprilschneehöhe war durch grosse Unterschiede beidseits der Alpen geprägt. Gegenüber dem langjährigen Durchschnitt (1971-2000) war sie im Norden zum Teil stark unterdurchschnittlich (rot) und im Süden überdurchschnittlich (blau).

Schneetage

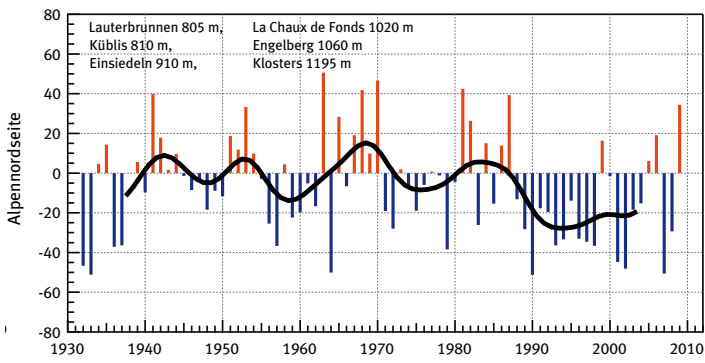
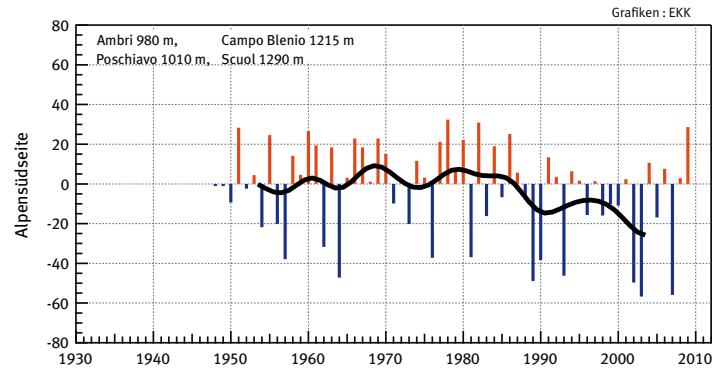


Abb. 3 : Abweichung der Schneetage von Dezember 2008 bis März 2009 in mittleren Höhenlagen. Der Winter 2008/09 (letzter roter Balken) war sowohl auf der Alpennordseite

(links) wie auch auf der Alpensüdseite (rechts) der schneereichste Winter in den letzten 20 Jahren. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Anzahl Schneetage (Tage mit einer Schneehöhe ≥ 30 cm) gegenüber dem



langjährigen Mittel (1961–1990). Die dicke durchgezogene Linie repräsentiert das gleitende Mittel über zehn Jahre.

März fielen beidseits der Alpen überdurchschnittliche Neuschneemengen.

Auf der Alpensüdseite gab es im April nochmals drei grosse Schneefälle, wobei allein in den letzten vier Tagen des Monats im Saastal und in den oberen Maggiatälern etwa zwei Meter Neuschnee fiel. So lag Ende Mai in den höheren Lagen des Alpenhauptkamms und südlich

davon noch überdurchschnittlich viel Schnee für diese Jahreszeit (Abb. 2). Dieses Polster sorgte dafür, dass die Gletscher im südalpinen Bereich lange vor der Sonnenstrahlung geschützt blieben und weniger Eis schmelzen konnte.

Auf der Alpennordseite sorgten die sehr warmen Monate April und Mai hingegen für eine intensive Schneeschmelze

(Abb. 1). Der überdurchschnittlich warme Sommer 2009 (drittwärmster Sommer seit Messbeginn 1864) mit nur gerade drei ausgeprägten Kaltluftvorstössen und fehlenden Schneefällen liess die Schneedecke bis August auch auf den Gletschern wegschmelzen und erlaubte so eine intensive Eisschmelze. Für die

Foto: Robert Bösch

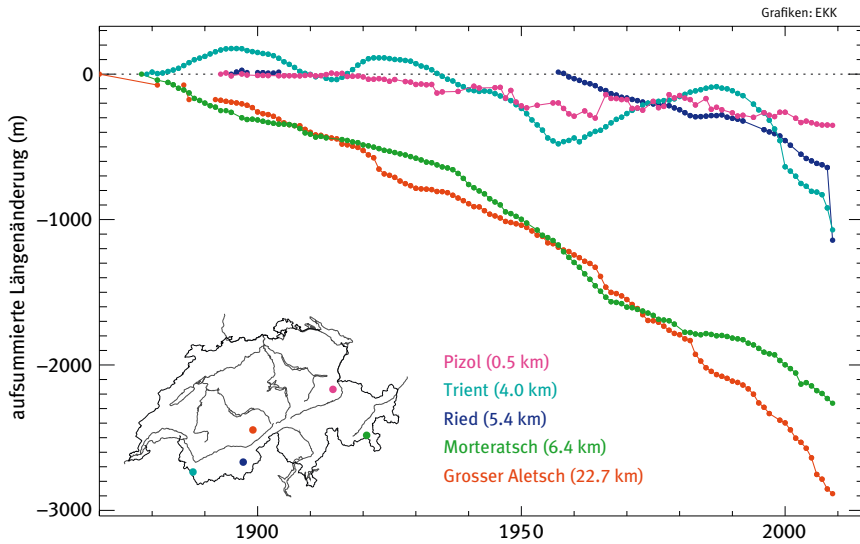


Blick auf den eingeschnittenen Grimselstausee im Berner Oberland. Im Hintergrund das Finsteraarhorn.

Der Riedgletscher auf einer historischen Aufnahme von 1978.



Foto: Archiv VAW



Grafiken: EKK

Abb. 4: Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in Metern). Dargestellt sind fünf ausgewählte Gletscher des Messnetzes mit unterschiedlichem Reaktions- und Anpassungsverhalten in Bezug auf das Klima.

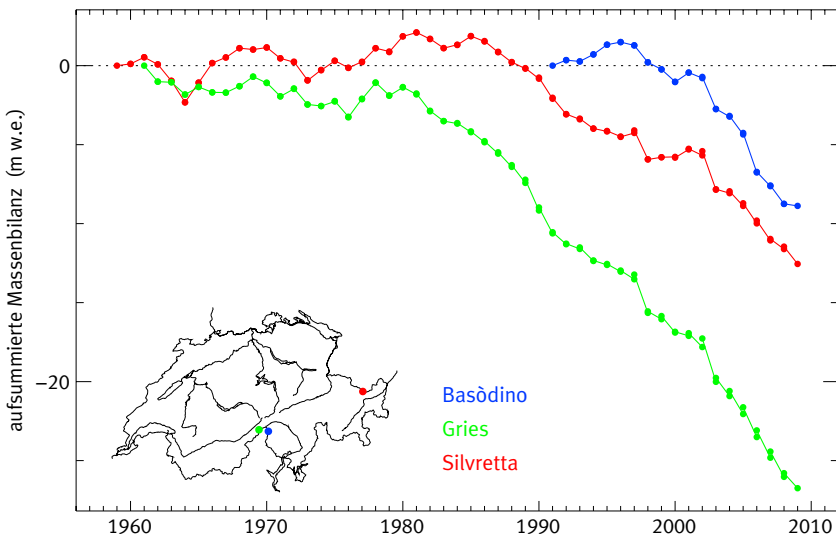


Abb. 5: Massenbilanz der Gletscher Basòdino, Gries und Silvretta. Dargestellt ist die aufsummierte mittlere jährliche Massenbilanz (in Meter Wasseräquivalent).

Gletscher dauerte die Schmelzsaison bis Ende Oktober an, was als ausserordentlich lange gilt. Das rasche Ausapern im Frühling kombiniert mit den hohen Sommertemperaturen führte auch zu einer starken Erwärmung des Bodens.

Das frühe Einschneien und die grosse Anzahl von Tagen mit Schneebedeckung auch in den Städten waren charakteristisch für den Winter 2008/09 (Abb. 3). Betrachtet man die lange Zeitspanne mit Schneebedeckung aufgrund des Ausbleibens von sonst häufigen Tauperioden, kann man trotz fehlenden Rekordschneefällen vom schneereichsten Winter seit fast 20 Jahren sprechen (Abb. 3). Allerdings war der Jahresniederschlag 2008/09 mit -7% leicht unter dem langjährigen Mittelwert (Abb. 6b), während die Sommertemperaturen (Mai bis Sep-

Und derselbe Gletscher
30 Jahre später.



Foto: Françoise Funk-Salamif

tember 2009) um +2,2 °C zu hoch waren (Abb. 6a).

Gletschermessungen

Die Massenbilanz sowie die Längenänderung sind wichtige Grössen für die Beschreibung des Verhaltens von Gletschern (Abb. 4 und 5). Während die Massenbilanz als Resultat von Schneezuwachs (Akkumulation) und Eisabtrag (Schmelze) in direkter Beziehung zu den Witterungsbedingungen des Berichtsjahres steht, ist die Längenänderung eine verzögerte Reaktion auf eher langfristige Klimaänderungen.

Der oben beschriebene Witterungsverlauf sorgte dafür, dass auf der Alpenordseite am Ende der Schmelzsaison ähnlich deutliche Massenverluste zu ver-

Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2008/09

Gletscher	Kanton	Längenänderung in Meter	Gletscher	Kanton	Längenänderung in Meter
Einzugsgebiet der Rhone			Einzugsgebiet der Reuss		
Allalin	VS	-3,7	Brunni	UR	-5,4 ⁶
Arolla (Mont Collon)	VS	-68 ²	Damma	UR	n
Boveyre	VS	-22	Firnalpeli (Ost)	OW	-7,4
Breney	VS	-32,4	Griess	UR	-2,5
Cheillon	VS	x	Griessen	OW	-11,2 ²
Corbassière	VS	-100,7	Hüfi	UR	-9
En Darrey	VS	x	Kehlen	UR	-24,2
Fee (Nord)	VS	-13,5	Rotfirn (Nord)	UR	-12,0
Ferpècle	VS	-13 ²	Sankt Anna	UR	-6,0
Fiescher	VS	-10,7	Tiefen	UR	-15,7
Findelen	VS	-1,1	Wallenbur	UR	-8,7
Giétro	VS	-48,4	Einzugsgebiet der Linth/Limmat		
Gorner	VS	-6	Biferten	GL	-3,5
Grand Désert	VS	x	Glärnisch	GL	-12,6
Grand Plan Névé	VD	-3,4	Limmern	GL	-4
Gries	VS	-16,3	Plattalva	GL	-21,2
Grosser Aletsch	VS	-32,6	Sulz	GL	-7,6
Hohlaub	VS	-4,0	Einzugsgebiet des Rheins		
Kaltwasser	VS	-5,7	Lavaz	GR	n
Kessjen	VS	-7,4	Lenta	GR	-13,3
Lang	VS	-12,5	Paradies	GR	+1,9
Moiry	VS	n	Pizol	SG	-2,3
Moming	VS	x	Porchabella	GR	-16,5
Mont Durand	VS	-53 ²	Punteglias	GR	n
Mont Fort (Tortin)	VS	x	Sardona	SG	-2,1
Mont Miné	VS	-32 ²	Scaletta	GR	-6,3
Mutt	VS	-21,8	Silvretta	GR	-6,8
Oberaletsch	VS	x	Suretta	GR	+0,4
Otemma	VS	-51,2	Verstankla	GR	-10,3
Paneyrosse	VD	-5,4	Vorab	GR	-13,8
Prapio	VD	-6,1	Einzugsgebiet des Inns		
Rhone	VS	-4,1	Calderas	GR	-120,8
Ried	VS	-500	Lischana	GR	-2,5
Saleina	VS	-15,5	Morteratsch	GR	-32,8
Schwarzberg	VS	-17,0	Roseg	GR	-31,5
Seewjinen	VS	-2,4	Sesvenna	GR	-4,9
Sex Rouge	VD	-4,2 ²	Tiatscha	GR	+1,4
Trient	VS	-151	Tschierva	GR	-24,8
Tsanfleuron	VS	-103,5	Einzugsgebiet der Adda		
Tseudet	VS	-11,3	Cambrena	GR	n
Tsidjore Nouve	VS	-26 ²	Forno	GR	-23,8
Valsorey	VS	-28	Palü	GR	n
Zinal	VS	-33,8 ²	Paradisino (Campo)	GR	n
Einzugsgebiet der Aare			Einzugsgebiet des Tessins		
Alpetli (Kanderfirn)	BE	-28,4	Basòdino	TI	-2,7
Ammerten	BE	-0,1	Bresciana	TI	-2,7
Blüemlisalp	BE	-19	Cavagnoli	TI	-4,5
Dungel	BE	-3,4	Corno	TI	-1,3
Eiger	BE	x	Croslina	TI	-0,5
Gamchi	BE	-7,5	Rossboden	VS	x
Gauli	BE	-100	Valleggia	TI	-0,8
Gelten	BE	-16,1	Val Torta	TI	0
Lämmern	VS	-11,7			
Oberer Grindelwald	BE	x			
Schwarz	VS	x			
Stein	BE	-28			
Steinlimmi	BE	-19			
Trift (Gadmen)	BE	-63,1			
Tschingel	BE	-3,3			
Unterer Grindelwald	BE	x			

Abkürzungen
n = nicht beobachtet
x = Betrag nicht bestimmt

Bemerkung
Gilt die Angabe für eine mehrjährige Zeitspanne, so zeigt die hochgestellte Zahl die Anzahl der Jahre an. Beispiel: Zinal -33,8² = Schwund um 33,8 m in zwei Jahren

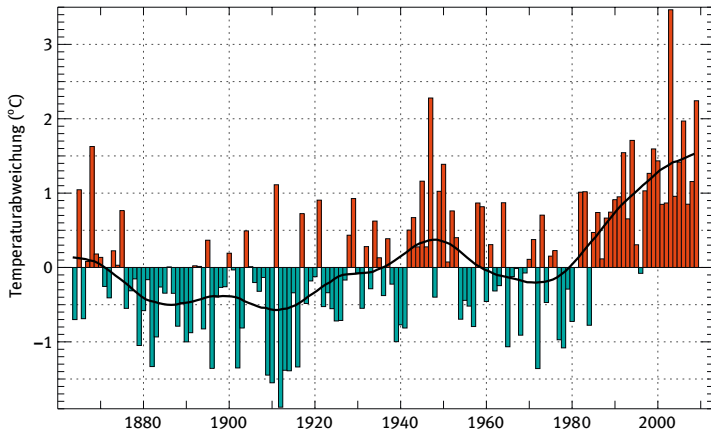


Abb. 6a: Entwicklung der Sommer-temperaturen. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Sommer-temperatur in °C gegenüber dem langjährigen Mittelwert (1961–1990 = 0 °C). Die schwarze Linie zeigt die Gesamttendenz an.

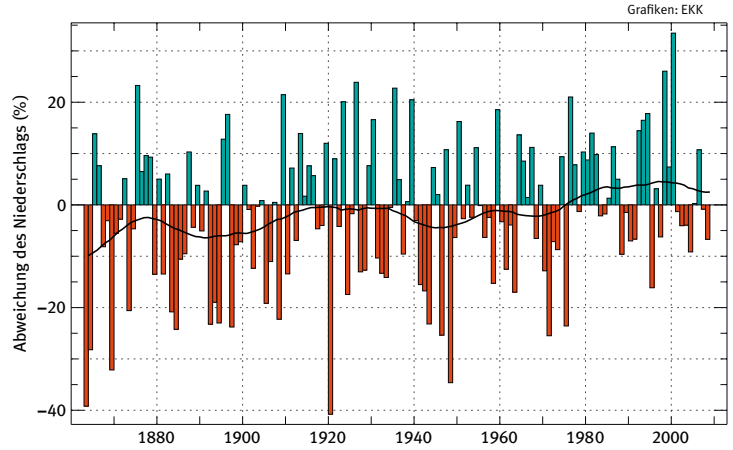


Abb. 6b: Entwicklung des Jahresniederschlags. Dargestellt ist die prozentuale Abweichung der jährlichen Niederschläge gegenüber dem langjährigen Mittelwert (1961–1990 = 0%). Die schwarze Linie zeigt die Gesamttendenz.

zeichnen waren wie in den vergangenen Jahren, während auf der Alpensüdseite auch Massengewinne beobachtet wurden. Beispielsweise hatte die Schneedecke auf dem Basòdino- und dem Griesgletscher Anfang Mai noch eine mittlere Mächtigkeit von gut fünf Metern. Umgerechnet in Meter Wasseräquivalent ergaben sich Ende September für die vermessenen Gletscher die folgenden Werte für die Massenbilanz: Pizol –1,46 Meter, Silvretta –1,10 Meter, Rhone –0,35 Meter, Gries –0,95 Meter, Findelen –0,04 Meter und Basòdino +0,13 Meter.

Die Längenänderungsmessungen an den Gletschern ergeben für das Berichtsjahr folgendes Bild (vgl. auch die Tabelle zu den Längenänderungen): Von 92 ausgewerteten Gletschern befanden sich 84 im Rückzug, zwei sind geringfügig vorgestossen, und sechs sind unverändert geblieben. Die meisten Längenänderungen liegen zwischen –1 und –25 Metern. Lokale Besonderheiten haben auch weit aus extremere Rückzüge bewirkt: Zum Beispiel wurde der Glacier du Trient (VS) um 151 Meter kürzer. Dabei hat sich das Gletscherende aufgrund des zu geringen Eisnachschiebs sukzessive ausgedünnt und ist in eine steile Stufe zurückgewichen, wo es nun leicht zu grossen Längenverlusten kommen kann. Am Riedgletscher im Mattertal (VS) (siehe Bilder Seite 45) und beim Rossbodengletscher am Simplon (VS) befindet sich das neue Gletscherende um einen halben bzw. mehr als einen Kilometer hinter dem Zungenende des Vorjahres. In beiden Fällen hat sich der Gletscher in ei-

nem steilen und damit dünnen Bereich aufgetrennt. Die flachen und schuttbedeckten Zungen haben dadurch den Kontakt zu den Nährgebieten verloren und werden wegschmelzen. Die Bildung von abgelöstem und oftmals schuttbedecktem Toteis wurde in den letzten Jahren auch an anderen Gletschern beobachtet.

Einen Eisabbruch gab es am Feegletscher oberhalb von Saas-Fee. Dieser gliedert sich in verschiedene Zungenlappen. Einer davon liegt in steilem Gelände und hat wegen des starken Rückzuges der vergangenen Jahre die Abstützung allmählich verloren, sodass er seit 2003 zunehmend instabil wurde. Zwischen dem 15. und 20. September 2009 sind rund 200 000 Kubikmeter Eis in mehreren Portionen ohne Schadenfolgen abgebrochen.

Neu sind im Schweizerischen Gletschermessnetz auch die Eistemperaturmessungen am Colle Gnifetti integriert. Aus Forschungsprojekten liegen über die letzten 30 Jahre Daten aus fünf Temperaturprofilen im Eis vor. Die seit den 1990er-Jahren beobachtete Erhöhung der Lufttemperatur ist in den Bohrlochprofilen gut erkennbar: Zwischen 1982 und 1991 blieb die Eistemperatur unverändert bei circa –14 °C. Von 1991 bis 2000 stieg die Temperatur um circa +0,5 °C an, und seit dem Jahr 2000 stieg sie nochmals um mehr als +1 °C an. Dieser Anstieg zeigt eine hohe Sensitivität kalter Firn- und Eisgebiete auf klimatische Änderungen an.

Der Schottensee (2376 m) am Flüelapass zwischen der Landschaft Davos und dem Unterengadin. Im Juli 2009 (Bild unten) schneite es weit hinter. Dennoch aperte es auf der Alpennordseite rasch (mitte und rechts) aus.



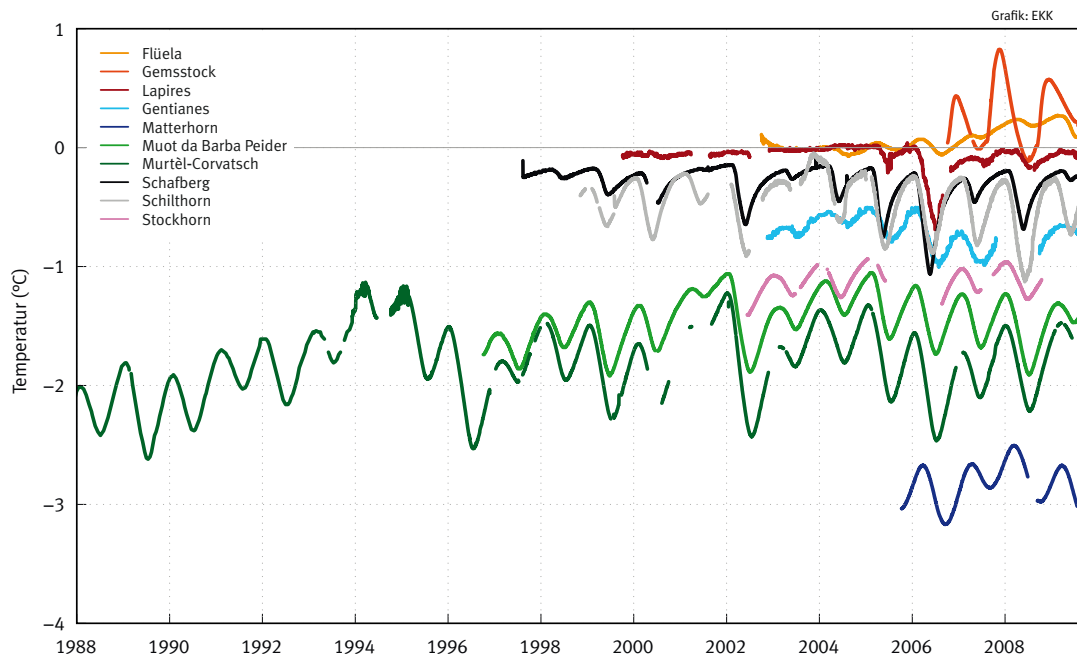


Abb. 7: Temperaturen in den Permafrostböden gemessen in einer Tiefe von circa zehn Metern in zehn Bohrlöchern des PERMOS-Netzwerks. Eine klare Tendenz kann man aus zwei Gründen nicht erkennen: Seit Beginn der Messungen vor etwa zehn Jahren waren die Temperaturen ähnlich hoch, und für die Beobachtung eines längerfristigen Trends ist die Messdauer noch zu kurz.

Permafrostnetzwerk

Die Verhältnisse im Permafrost werden für das hydrologische Jahr 2008/09 als sehr warm eingestuft. Sie sind nach dem Rekordjahr 2003 die wärmsten, die im Rahmen des Schweizer Netzwerks zur Permafrostbeobachtung (PERMOS) in den letzten zehn Jahren gemessen wurden. Die oben beschriebenen Witterungsverhältnisse mit frühem Einschneien, einer dicken Winterschneedecke und überdurchschnittlich hohen Sommertemperaturen waren sehr ungünstig für den Permafrost.

Im Permafrost spiegelt die Mächtigkeit der sommerlichen Auftauschicht die jährlichen Witterungsverhältnisse am besten wider, ähnlich der Massenbilanz bei den Gletschern. Diese war an einigen

Messstandorten bis zu 50% grösser als in den letzten fünf Jahren und ist damit an vielen Standorten die grösste Auftautiefe seit den im Sommer 2003 gemessenen Rekordwerten (Abb. 8). Ähnlich sind die Bohrlochtemperaturen an den bisher ausgelesenen Standorten in einer Tiefe von etwa zehn Metern leicht höher (im Bereich von 0,2 °C) als in den fünf Jahren zuvor (Abb. 7).

Mittels wiederholter Geoelektrikmessungen im Boden können Änderungen in der Bodenbeschaffenheit bestimmt werden. Bei fast allen vermessenen Standorten wurde im Sommer 2009 eine deutliche Abnahme des elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen. Dies ist eine Folge der höheren Permafrosttemperaturen und deutet auf eine Zunahme des Wassergehalts bzw. auf

eine Eisabnahme in den oberen zehn Metern hin. Ähnlich wie bei den Ereignissen 2003 wird es wahrscheinlich einige Jahre dauern, bis sich wieder «normale» Verhältnisse einstellen.

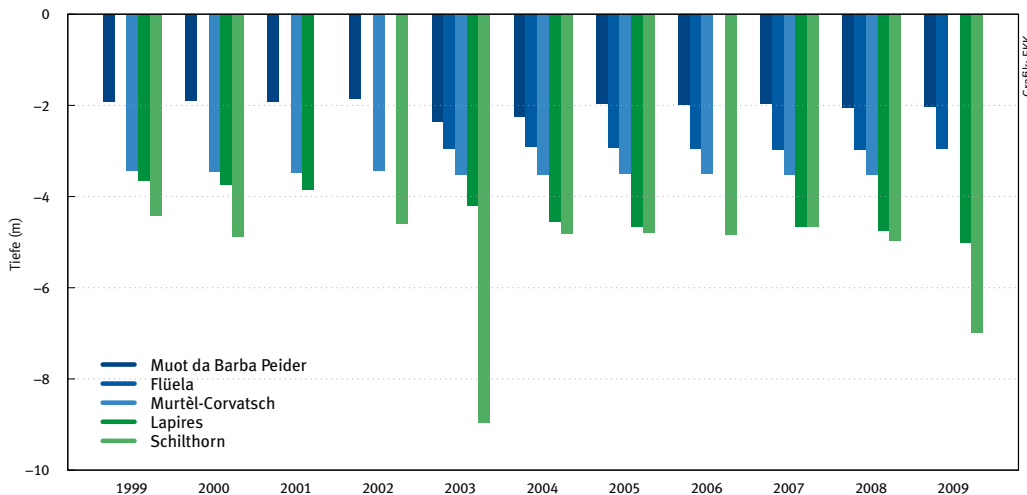
Die Kriechgeschwindigkeiten im Permafrost, die an mehreren Blockgletschern gemessen werden, haben nach den sehr hohen Werten als Folge des Sommers 2003 und nach der anschließenden Abnahme seit 2007 wieder zugenommen und sind im Berichtsjahr weiter angestiegen. Dies hängt vermutlich mit den höheren Oberflächentemperaturen und der dadurch veränderten Wasserverfügbarkeit im Inneren der Blockgletscher zusammen. Gesamthaft zeigen die oben beschriebenen Messungen eine leichte Zunahme der Perma-



Fotos: Marcia Phillips



Photo: Archiv PERMOS



Grafik: EKK

Permafrostmessstelle am Corvatsch oberhalb von St. Moritz. Der Sommer 2009 war nach 2003 der wärmste seit Beginn der Messungen.

Abb. 8: Auftautiefen von fünf Bohrlöchern in den Alpen. Die unterschiedlichen Tiefen und Änderungen sind abhängig vom unterschiedlichen Eisgehalt im Untergrund.

frosttemperaturen im Vergleich zu den letzten fünf Jahren. Die Rekordwerte vom Sommer 2003 wurden im hydrologischen Jahr 2008/09 allerdings nicht erreicht, und die besonders hohen Temperaturen wurden dieses Mal auch nicht flächendeckend beobachtet. ▽

F. Paul, K. Kammer, A. Bauder, R. Delaloye, Ch. Marty, J. Nötzli

Weitere Auskünfte erteilen:

Gletscher: Andreas Bauder, GLAMOS, VAW, ETH Zürich, bauder@vaw.baug.ethz.ch, Tel. 044 632 41 12
Schnee: Christoph Marty, SLF, marty@slf.ch, Tel. 081 417 01 68
Permafrost: Jeannette Nötzli, PERMOS, Universität Zürich, info@permos.ch, Tel. 044 635 52 24

Kryosphärenmessnetze Schweiz (www.cryosphere.ch)

Die Kryosphärenbeobachtung in der Schweiz umfasst die drei Bereiche Gletscher, Schnee und Permafrost. Die Schneemessungen werden vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz und vom Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) durchgeführt und beinhalten rund 150 Messstationen. Die Messungen an den Gletschern (GLAMOS) an 112 Standorten werden durch Vertreter der Hochschulen, der kantonalen Forstämter und der Kraftwerksgesellschaften sowie von Privatpersonen durchgeführt. Das Per-

mafrostnetzwerk (PERMOS) wird von mehreren Hochschulen betrieben und umfasst 14 Bohrlochstandorte und zehn Standorte mit Bewegungsmessungen.

Die Beobachtung und die Messnetze werden in der Schweiz von der Expertenkommission für Kryosphäre (EKK), einem Organ der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), koordiniert. Finanziert wird die Arbeit durch die SCNAT, das BAFU und MeteoSchweiz sowie durch die Universitäten Zürich, Bern, Freiburg und Lausanne sowie ETH Zürich und SLF-WSL Davos.