

Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

Schnee, Gletscher und Permafrost 2007/2008

Die wichtigsten Entwicklungen von Schnee, Gletscher und Permafrost in den Schweizer Alpen¹ für das hydrologische Jahr 2007/2008² zeigen: Nicht einmal der schneereiche Winter konnte den Rückzug der Schweizer Gletscher bremsen. Der Gornergletscher wurde sogar 290 Meter kürzer. In den Permafrostgebieten führten der schneereiche Winter sowie der warme Sommer zu Temperaturbedingungen wie im letzten Jahrzehnt, und die Blockgletschergeschwindigkeiten haben dabei leicht zugenommen.

Witterung

Ergiebige Schneefälle Mitte November sorgten nach einem hochdruckbestimmten Oktober für einen frühen Beginn des Winters 2007/2008. In der ersten Dezemberhälfte folgten in allen Gebieten nördlich des Alpenhauptkamms weitere Schneefälle. Für den Januar ungewöhnlich häufige Südstaulagen führten am

Alpensüdhang zu ergiebigen Schneefällen bis in tiefe Lagen. Im Norden bewirkte der Föhn in dieser Zeit bedeutende Schneeumlagerungen. Vom 8. bis zum 19. Februar blieb die ganze Schweiz niederschlagsfrei, und es herrschte exzellentes Bergsportwetter. Die erste Märzhälfte war dagegen geprägt von Weststürmen. In dieser sehr dynamischen Wetterphase lag die Schneefallgrenze zeitweise über 2000 m, dann wieder herrschten winterliche Verhältnisse bis in tiefe Lagen. Im April folgte eine Niederschlagsperiode der anderen (siehe Abb. 4). Am Monatsbeginn schneite es sogar im Mittelland.

Die grossen Schneemengen liessen darauf hoffen, dass im Jahr 2007/2008 der Rückgang der Gletscher etwas verlangsamt werden könnte. Doch die überdurchschnittlich warmen Monate Mai und Juni sorgten für eine intensive Schneeschmelze, sodass von den Frühlingsschneemassen schnell nicht mehr viel übrig blieb. Die Gletscher waren entsprechend früh der Sommersonne ausgesetzt. Einige Schneefälle im Juli schmolzen im warmen August wieder weg. Der September war hingegen kalt und niederschlagsreich. Insgesamt waren die Sommertemperaturen somit um 1,1 °C höher als der Mittelwert. Positive Abweichungen von zirka einem Grad sind seit den 90er-Jahren häufig (siehe



Foto: Françoise Funk-Salami

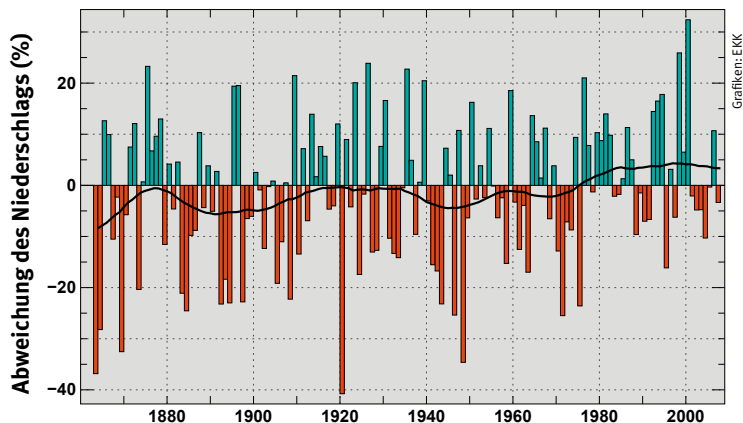


Abb. 1: Entwicklung des Jahresniederschlags (Summe über die Periode 1. Oktober bis 30. September): Abweichung vom Normalwert in Prozent (langjähriger Mittelwert 1961–1990).

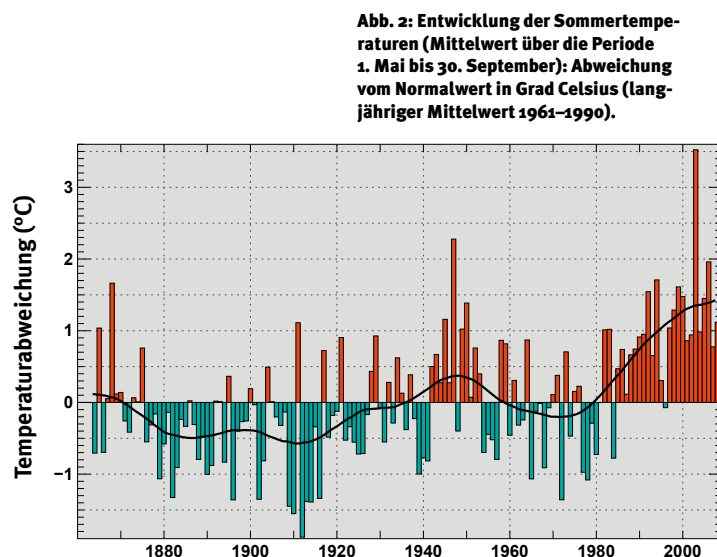


Abb. 2: Entwicklung der Sommertemperaturen (Mittelwert über die Periode 1. Mai bis 30. September): Abweichung vom Normalwert in Grad Celsius (langjähriger Mittelwert 1961–1990).



Auch wenn die Eismassen des Gornergletschers Eindruck machen: Er hat 2008 schlagartig 290 Meter an Länge eingebüsst, trotz eines vorangehenden schneereichen Winters. Warum, wird auf Seite 55 erklärt.

Abb. 2). Die Abweichungen von drei Prozent vom mittleren Jahresniederschlag sind hingegen gering (s. Abb. 1).

Schnee

Die Berichtsperiode war einerseits durch das frühe, massive Einschneien auf der Alpennordseite und andererseits durch grosse Unterschiede zwischen Mittelland und Alpen geprägt. Mitte November lagen bereits grosse Schneemengen, so zum Beispiel 67 cm in Fionnay VS (1500 m), 137 cm im Hasliberg BE (1825 m), 116 cm in Braunwald GL (1310 m) und

1 Die Beobachtung und die Messnetze werden in der Schweiz von der Expertenkommission für Kryosphäre (EKK), einem Organ der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), koordiniert. Für die Schneemessungen verantwortlich ist das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz und das Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF/WSL). Die Messungen an den Gletschern führen Vertreter der Hochschulen, kantonalen Forstämter, Kraftwerksgesellschaften und Privatpersonen durch. Das Permafrost-Messnetz (PERMOS) wird von Partnern an den Universitäten von Bern, Freiburg, Lausanne, Zürich, der ETHZ und dem SLF betrieben. Finanziert werden die Arbeiten durch SCNAT, BAFU und MeteoSchweiz sowie durch die beteiligten Institutionen. Klimarelevante Messreihen der Kryosphäre werden ab 2011 im Rahmen von GCOS (Global Climate Observing System) weitergeführt. Mehr Infos: Gletschermessungen: <http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/> Messungen Schnee: www.meteoschweiz.ch, www.slf.ch / Permafrostmessungen: www.permos.ch

2 Das hydrologische Jahr dauert jeweils vom 1. Oktober bis zum 30. September des Folgejahres.

81 cm in Arosa GR (1818 m). Aufgrund der relativ warmen Wintertemperaturen konnten aber nur die höheren Lagen langfristig von den häufigen Schneefällen profitieren. Unterhalb 800 m war der

Winter 2007/2008 wieder in der ganzen Schweiz ähnlich schneearm wie der vorangegangene. So konnten im Mittelland zwischen Dezember und März nur

Abb. 3: Abweichung der Schneetage von Dezember bis März. Der Winter 2007/2008 (letzter Balken) zeigt sich als schneereichster Winter in den letzten 25 Jahren, nachdem der vorangegangene Winter noch einer der schneeärmsten seit Messbeginn war. Dargestellt ist die jährliche Abweichung der Schneetage (Tage mit einer Schneehöhe ≥ 50 cm) von der Referenzperiode 1961–1990. Die dicke durchgezogene Linie repräsentiert das gleitende Mittel über zehn Jahre.

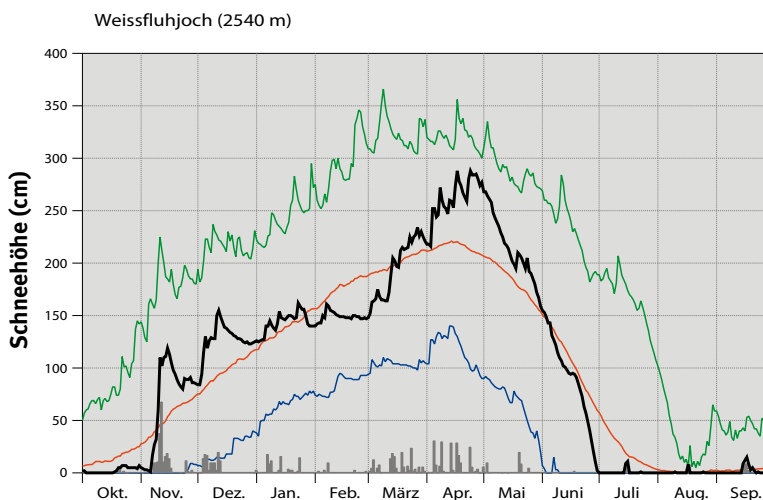
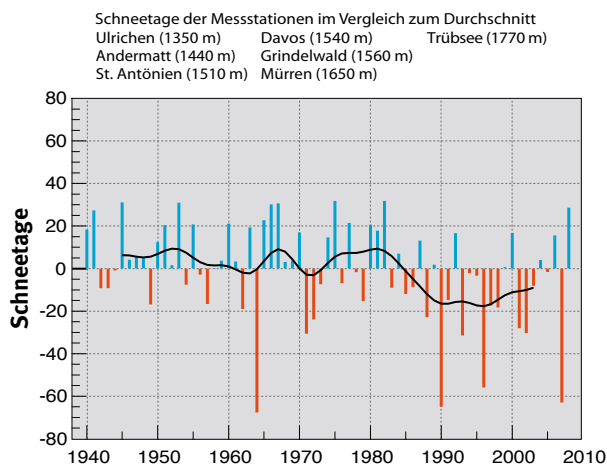


Abb. 4: Schneehöhenverlauf (schwarz) und tägliche Neuschneemenge (grau) auf dem Weissfluhjoch für das hydrologische Jahr 2007/2008 im Vergleich zum langjährigen (1937–2008) Mittel (rot), Maximum (grün) und Minimum (blau) pro Kalendertag.

gerade drei Schneetage³ gezählt werden, während der langjährige Durchschnitt bei 25 Schneetagen liegt.

Zwischen 1300 und 1800 m zeigt sich dagegen ein völlig anderes Bild. Dank dem frühen Einschneien konnten in dieser Höhenlage auf der Alpennordseite zwischen Dezember und März 117 Schneetage (Schneehöhe ≥ 50 cm) gezählt werden, eine Anzahl, die nur in fünf Wintern seit Messbeginn vor knapp 70 Jahren übertroffen wurde (siehe Abb. 3). Betrachtet man nur die letzten 25 Jahre, war es sogar ein Rekordwinter für die Alpennordseite auf dieser Höhenlage. Weil es auf der Alpensüdseite erst ab Mitte Januar ergiebig schneite, ist hier die Anzahl Schneetage in derselben Höhenlage geringer. Die 64 Schneetage setzen die Serie von Wintern mit unterdurchschnittlichen Schneemengen fort (Durchschnitt 77 Schneetage).

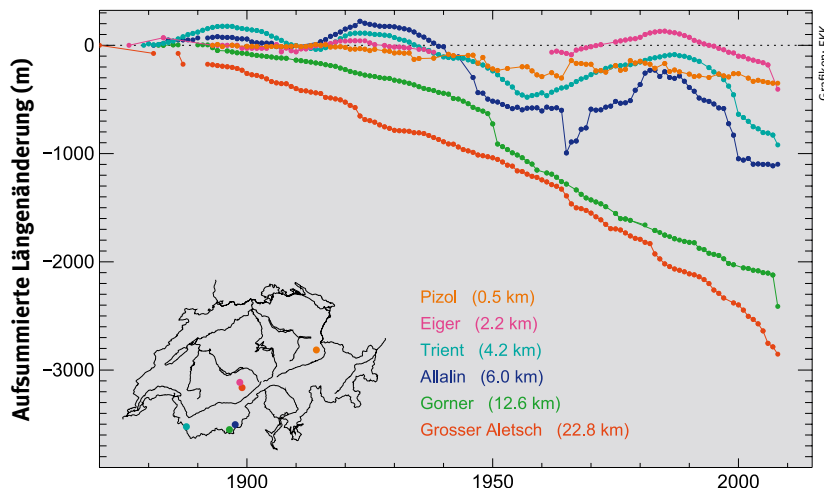
Für Gletscherwachstum und Permafrost wichtig ist aber, was in der Höhenzone ab 2500 m geschieht. Von diesen Höhen gibt es nur langjährige Messwerte vom Weissfluhjoch (2540 m) oberhalb Davos, ein Rückschluss auf die gesamte Schweiz ist nur sehr bedingt möglich. Im Winterhalbjahr waren die Schneemengen an diesem Standort durchschnittlich (siehe Abb. 4). Die langjährigen Messungen des Schneewasseräquivalents – dieses Mass bezeichnet den Wassergehalt der Schneedecke – zeigten zwar zur Zeit des Maximums Ende April um ca. 20 Prozent höhere Werte als normal. Der im Mai und Juni beschriebene Wärmetüberschuss liess diese Reserve aber schnell wieder schmelzen. Dies zeigt sich auch in der Ausaperung am 30. Juni 2008; das ist zwei Wochen früher als im langjährigen Mittel. Trotz den häufigen Schneefällen im Winterhalbjahr liegt hauptsächlich aufgrund der geringen Neuschneefälle in den Sommermonaten die jährliche Neuschneesumme (946 cm) leicht unter dem Durchschnitt.

Gletscher

Die Gletscher in den Schweizer Alpen ziehen sich nach wie vor zurück. Grund dafür ist die globale Erwärmung, deren Auswirkungen auch regional im Alpenraum deutlich sichtbar werden. Dem allgemeinen und längerfristigen Rückzugstrend vermögen die kurzfristig durch die normale Variabilität des Kli-

³ Als Schneetag gilt im Mittelland ein Tag, bei dem die Schneehöhe ≥ 5 cm ist. In höheren Lagen ab 1300 m sind 50 cm für einen Schneetag nötig.

Abb. 5: Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für sechs ausgewählte Gletscher mit unterschiedlichem Reaktions- und Anpassungsverhalten an das Klima.



mas verursachten Schwankungen in einzelnen Jahren nichts entgegensetzen.

Die vergletscherte Fläche und die Gletscherlängen geben die langfristigen klimatischen Entwicklungen wieder. Der Massenhaushalt, als Resultat von Schneezuwachs (Akkumulation) und Eisabtrag (Schmelze), dagegen steht in direkter Beziehung zu den Witterungsbedingungen in der Messperiode.

Längenänderung

Die Schweizer Gletscher büssten während der vergangenen Messperiode 2007/2008 einmal mehr fast ausnahmslos an Länge ein. Bei der jährlichen Erhebung an den Gletscherzungen im Herbst 2008 konnten von den rund 110 beobachteten Gletschern für 88 eine Längenänderung ermittelt werden. Während die grosse Mehrheit von 81 Gletschern weiter an Länge verloren hat, wurde bei



Wie stark die Gletscher in den vergangenen 100 Jahren schmolzen, zeigen auch Bilder des Allalिंगletschers. 1916 bedeckte seine Zunge noch den gesamten Steilhang.



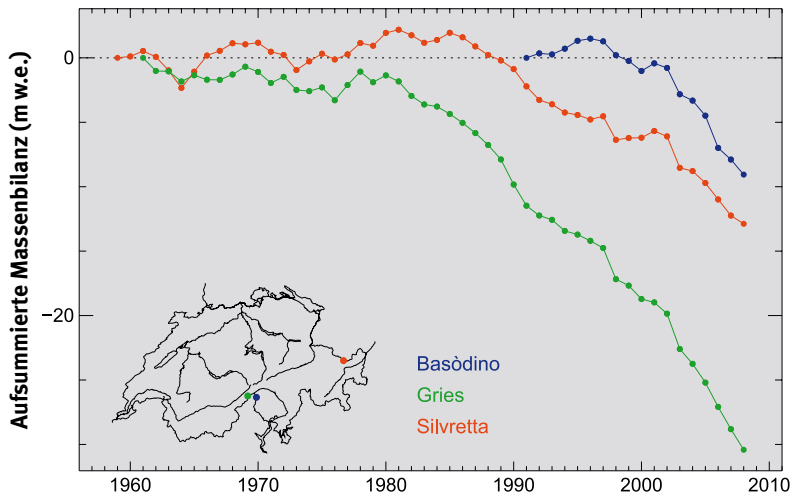


Abb. 6: Massenbilanz der Gletscher Basòdino, Gries und Silvretta. Dargestellt ist die aufsummierte mittlere jährliche Massenbilanz (in m Wasseräquivalenten).

Der Allalingletscher heute: Er ist der einzige Gletscher, der 2008 von den Schneemassen profitierte und sein Zungenende um 14 Meter vorschob.

fünf Gletschern ein geringer Vorstoss registriert, und weitere zwei Gletscher veränderten ihre Zungenposition nicht (siehe Tabelle). Grösster «Verlierer» ist mit 290 Metern der Gornergletscher, «Sieger» im Vorstossen mit 14 Metern der Allalingletscher. Die überwiegende Mehrzahl der Längenänderungen liegt jedoch zwischen -25 und 0 Metern. Diese Veränderungen an der Gletscherzunge spiegeln im Allgemeinen das Resultat des dynamischen Verhaltens eines Gletschers und erfolgen deshalb erst mit zeitlicher Verzögerung auf die verursachenden Einflüsse.

Der massive Schwund am Gornergletscher ist das Resultat einer

Foto: Françoise Funk-Salamit



Foto: Archiv VAW/ETH



1965 hatte sich der Allalingletscher schon stark zurückgezogen. Kurz nach dieser Aufnahme brach das gesamte im Steilhang liegende Eis ab. Die gewaltige Eislawine bedeckte den ganzen Talboden und forderte 88 Todesopfer.

Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2007/08

Gletscher	Kanton	Längenänderung in Meter	Gletscher	Kanton	Längenänderung in Meter
Einzugsgebiet der Rhone			Stein	BE	-20
Allalin	VS	+14	Steinlimmi	BE	-23
Arolla (Mont Collon)	VS	n	Trift (Gadmen)	BE	x
Bella Tola	VS	n	Tschingel	BE	-1,4
Boveyre	VS	-15	Unteraar	BE	n
Brenegy	VS	-22,6	Unterer Grindelwald	BE	x
Brunegg (Turtmann)	VS	n	Einzugsgebiet der Reuss		
Cheillon	VS	-3,3	Brunni	UR	n
Corbassière	VS	-21,0	Damma	UR	x
En Darrey	VS	-8	Firnalpeli (Ost)	OW	+3,5
Fee (Nord)	VS	-19,6	Griessen	OW	n
Ferpècle	VS	n	Griess	UR	-3,5
Fiescher	VS	-32,6	Hüfi	UR	-12
Findelen	VS	-0,9	Kehlen	UR	-36,6
Giétro	VS	-22,0	Kehlen	UR	-36,6
Gorner	VS	-290	Rotfirn (Nord)	UR	-13,3
Grand Désert	VS	-47,2	Sankt Anna	UR	-20,2 ²
Grand Plan Névé	VD	-1,2	Tiefen	UR	-31,8
Gries	VS	-25,7	Wallenbur	UR	-1,9
Grosser Aletsch	VS	-67,5	Einzugsgebiet der Linth/Limmat		
Hohlaub	VS	-5	Biferten	GL	-8,7
Kaltwasser	VS	+6,7	Glärnisch	GL	-2,5
Kessjen	VS	-12	Lavaz	GR	-18 ²
Lang	VS	-19	Lenta	GR	-9,5
Moiry	VS	-15,5	Limmern	GL	-5,8
Moming	VS	x	Paradies	GR	+2,1
Mont Durand	VS	x	Pizol	SG	-0,3
Mont Fort (Tortin)	VS	x	Plattalva	GL	-19,5
Mont Miné	VS	n	Porchabella	GR	-22,2
Mutt	VS	-17,6	Punteglias	GR	-10,3
Oberaletsch	VS	x	Sardona	SG	-7,6
Otemma	VS	-31,2	Scaletta	GR	-21,7
Paneyrosse	VD	-1,9	Silvretta	GR	-6,0
Prapio	VD	-4,4	Sulz	GL	-3,8
Rhone	VS	-3,3	Suretta	GR	-2,1
Ried	VS	-18,7	Verstankla	GR	-9
Saleina	VS	-22	Vorab	GR	-8,8
Schwarzberg	VS	-13	Einzugsgebiet des Inns		
Seewjinen	VS	-23	Calderas	GR	-6,8
Sex Rouge	VD	x	Lischana	GR	-7,2 ²
Trient	VS	-91	Morteratsch	GR	-35,0
Tsanfleuron	VS	-125,5 ³	Roseng	GR	-17,9
Tseudet	VS	+11,3	Sesvenna	GR	-7,7
Tsidjiore Nouve	VS	n	Tiatscha	GR	-4,6
Turtmann	VS	n	Tschierva	GR	-25,0
Valsorey	VS	-6	Einzugsgebiet der Adda		
Zinal	VS	n	Cambrena	GR	-20
Zmutt	VS	n	Forno	GR	-28,3
Einzugsgebiet der Aare			Palü	GR	-8
Alpetli (Kanderfirn)	BE	-44,5	Paradisino (Campo)	GR	-11
Ammerten	BE	-1,7	Einzugsgebiet des Tessins		
Blüemlisalp	BE	-34,0	Basödino	TI	-11,9
Dungel	BE	-3	Bresciana	TI	-6,8
Eiger	BE	-225 ²	Cavagnoli	TI	-20,9
Gamchi	BE	-7	Corno	TI	-3,3
Gauli	BE	-75	Croslina	TI	-2,5
Gelten	BE	-8	Rossboden	VS	x
Lämmern	VS	-14,8	Valleggia	TI	-8,9
Oberaar	BE	n	Val Torta	TI	-12
Oberer Grindelwald	BE	n			
Rätzli	BE	n			
Schwarz	VS	x			

Foto: Françoise Fink-Salamit



kontinuierlichen Entwicklung in den vergangenen Jahren. Das Gletscherende liegt seit Jahrzehnten in einer engen, schattigen Schlucht. Dahinter bildete sich wegen verstärkter Schmelze sukzessive ein Loch. Im vergangenen Sommer ist der verbliebene Rest in der Schlucht bis auf kleine, losgetrennte Reste zusammengeschnitten. Der Gletscherrand liegt nun weiter talaufwärts. Eine vergleichbare Entwicklung ist beim Eigergletscher für den grossen Rückzugswert über zwei Jahre verantwortlich. Das schuttbedeckte Zungenende liegt am Hangfuss einer Rampe. Während am Zungenrand keine allzu grossen Veränderungen in den letzten Jahren stattfanden, hat sich im steileren Bereich die Zunge kontinuierlich ausgedünnt und inzwischen durchgetrennt. Der Gletscherrand der zusammenhängenden Eismasse verlagerte sich somit schlagartig um mehr als 200 Meter weiter nach oben. Die Bildung von vorgelagerten, losgelösten und oftmals schuttbedeckten, stagnierenden Eisresten ist in den letzten Jahren wiederholt zu beobachten.

Am Allalingsgletscher besteht das Zungenende seit einigen Jahren aus einer steilen Abbruchfront. Der Eisfluss hat in der abgelaufenen Messperiode die abschmelzende und abbrechende Eismasse überwogen, sodass der Gletscherrand einige Meter nach vorne gerückt ist.

Massenhaushalt

An fünf Gletschern wurden detaillierte Erhebungen des Massenhaushalts – die

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, zum Beispiel: Tsanfleuron -125,5³ = Schwund um 125,5 m in drei Jahren



Massenhaushalts-Messung am Gries-Gletscher. Messstangen werden im Frühling eingebohrt. Dank diesen kann im Herbst die Schmelze bestimmt werden.

Bilanz zwischen Schneezuwachs und Eisabtrag – durchgeführt: Basòdino, Gries, Pizol, Rhone und Silvretta.

Im Frühjahr wird jeweils mit Schneeschächten und Schneehöhensondierungen die Schneeakkumulation über den Winter ermittelt und im folgenden Herbst an einem Netz von in der Gletscheroberfläche eingebohrten Messstangen die über den Sommer erfolgte Schmelze bestimmt. Im Unterschied zur Längenänderung widerspiegeln die umfangreicheren und aufwendigeren Aufnahmen der Massenbilanz deutlicher und unverzögerter die Witterungsbedingungen während der Messperiode.

Alle untersuchten Gletscher haben an Masse eingebüsst. Der Massenverlust variiert zwischen –1,6 Metern Wasseräquivalent am Griesgletscher und –0,6 Metern am Silvrettagletscher (siehe Abb. 6). Die Werte in der Berichtsperiode entsprechen etwa dem Mittel der zehn vorangegangenen Jahre (1998–2007). Während Basòdino, Gries und Rhone etwas mehr verloren als das zehnjährige Mittel, sind Pizol und Silvretta weniger geschmolzen. Diese Unterschiede sind vor allem auf topografische Effekte und räumlich variierende Niederschläge und weniger auf unterschiedliche Schmelzbedingungen zurückzuführen.

Abb. 7: Geoelektrische Tomogramme von 1999 bis 2008 am Schilthorn. Der rote Streifen im Bild markiert das Messfeld. Rote Farben in der Grafik daneben zeigen geringe, blaue Farben hohe Widerstände an. Abnehmende Widerstände über die Zeit deuten auf zunehmende Gehalte an ungefrorenem Wasser, also Eisverlust, hin.

Permafrost

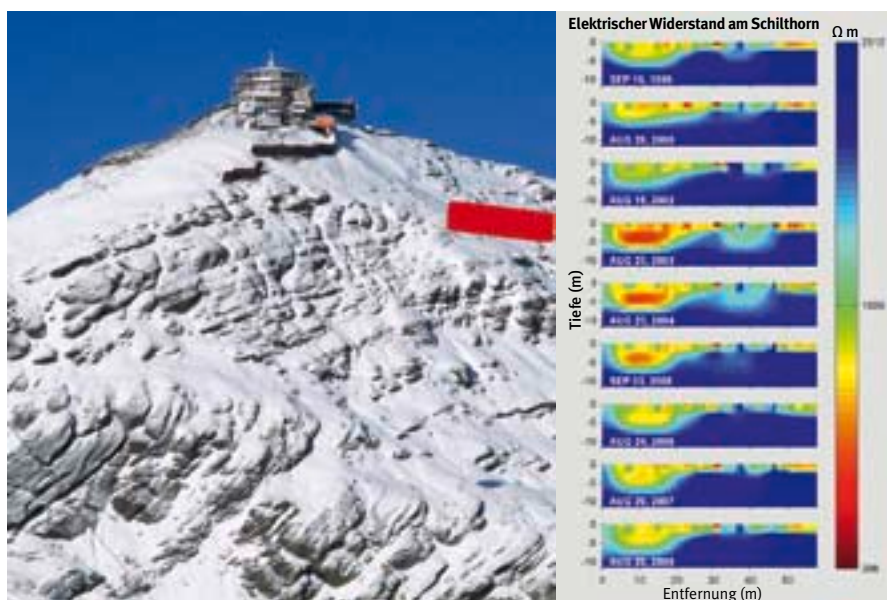
Für die Permafrostgebiete in der Schweiz – jene Gebiete, in denen der Untergrund ganzjährig unter 0 °C bleibt – war 2007/2008 im Vergleich zu den letzten 20 Jahren ein durchschnittliches Jahr. Bis Mitte November lag kaum Schnee, weshalb die oberflächennahen Temperaturen leicht sanken. Im Frühling verzögerte die in hohen Lagen mächtige Schneedecke die Erwärmung des Bodens. Diese Abkühlung wurde im warmen Sommer 2008 aber wieder kompensiert.

Hervorzuheben sind jedoch zwei Erweiterungen im Schweizer Netzwerk zur Permafrost-Beobachtung (PERMOS): eine neue Bohrung sowie das erste automatisierte geophysikalische Messsystem.

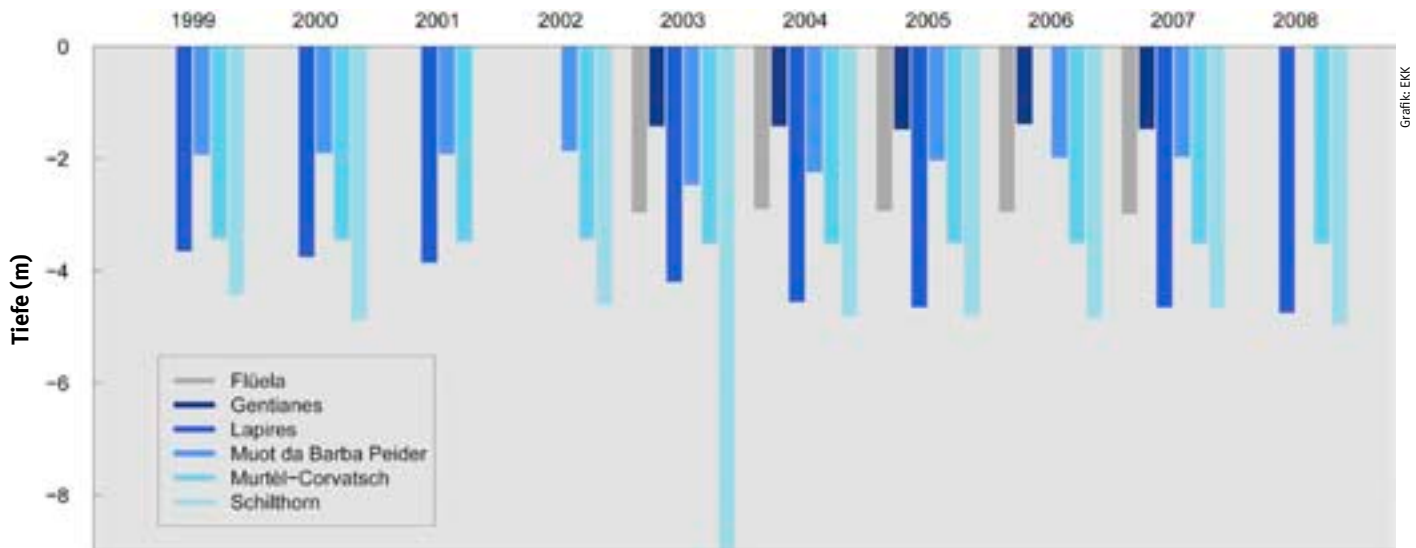
Erweiterungen des Messnetzes

Da Permafrost ein thermisches Phänomen des Untergrunds ist, stützt sich seine Beobachtung in erster Linie auf Temperaturmessungen in Bohrlöchern. Das Netz der 26 PERMOS-Bohrlöcher (Stand Anfang 2008) an 15 verschiedenen Standorten in den Schweizer Alpen wurde um ein Bohrloch erweitert. Im Herbst 2008 bohrte man dafür sechs neue Bohrlöcher in die gefrorenen Schutthalden von Les Lapires und Les Attelas im Gebiet Verbier-Nendaz (VS), wovon je eines ins Messnetz aufgenommen wurde. Das unterste, 26 m tiefe Bohrloch in Les Attelas (2660 m) ist nun wie jenes von Les Lapires im PERMOS-Messnetz integriert. In Schutthalden herrschen aufgrund von Luftzirkulationen zwischen den Blöcken spezielle thermische Bedingungen. Diese führen dazu, dass es am Fusse der Schutthalde am kältesten und im oberen Bereich wärmer ist. Erste Daten der neuen Bohrlöcher bestätigen frühere indirekte Untersuchungen und zeigen, dass nur die untere Hälfte der Schutthalde von Les Attelas im Permafrost liegt.

Neben der Temperatur ist der Eisgehalt einer der wichtigsten Faktoren beim Permafrost. Er beeinflusst nicht nur die Stabilität des Untergrunds, sondern auch seine Reaktion auf eine Erwärmung. Diese wird durch Eis im Untergrund verlangsamt, da das Auftauen des Eises viel Energie braucht. Eisvorkommen, Gefrier- und Tauprozesse kann



Graphik: EKK



Grafik: EKK

man im Untergrund mittels elektrischer Tomografie messen, da der elektrische Widerstand vom Eis- und Wassergehalt abhängt. Unter der Annahme, dass die generellen Eigenschaften wie Gestein und Porosität über längere Zeit konstant bleiben, können Änderungen des elektrischen Widerstands als Änderungen des Eis- bzw. des Wassergehalts betrachtet

werden. Diese Methode ist seit 2005 fester Bestandteil von PERMOS an den vier Standorten Les Lapires, Murtèl-Corvatsch (Oberengadin), Schilthorn (Berner Oberland) und Stockhorn (Mattertal).

Im Sommer 2008 wurde das erste Messsystem der elektrischen Tomografie auf dem Schilthorn automatisiert. Am Beispiel des Schilthorns kann man sehen,

Abb. 8: Permafrost: Tiefe der Auftauschicht der letzten zehn Jahre für sechs ausgewählte Bohrlochstandorte.

wie stark sich der extreme Sommer 2003 auf den Permafrost ausgewirkt hat. Denn abnehmende Widerstände sind ein Resultat zunehmenden Wassergehalts (siehe Abb. 7). Stellenweise hat der Eisgehalt so stark abgenommen, dass der Verlust erst nach etwa vier Jahren wieder ausgeglichen wurde.

Oberflächen- und Bohrlochtemperaturen

Die Oberflächentemperaturen sind 2007/2008 im Vergleich zu den eher

Foto: Christophe Lambiel



Bohrarbeiten in der gefrorenen Schutthalde von Les Attelas im Herbst 2008.



Felstemperaturmessungen bei der Gipfelstation auf dem Corvatsch.

hohen Werten im Vorjahr generell etwas gesunken und liegen im Durchschnittsbereich der letzten 15 Jahre. Die Mächtigkeit der jährlichen Auftauschicht, der obersten Meter unter der Oberfläche mit positiven Temperaturen im Sommer, war allerdings 2008 in den ausgewerteten Bohrlöchern leicht überdurchschnittlich (siehe Abb. 8): z.B. bei Murtèl-Corvatsch 3,5 Meter, am Schilthorn 5,0 Meter oder bei Les Lapires 4,8 Meter. Die Mächtigkeit der Auftauschicht widerspiegelt die Witterungsverhältnisse, ähnlich der Massenbilanz bei den Gletschern. Je nach Standort sind die Schwankungen zwischen den Messjahren jedoch unterschiedlich stark: An Orten mit viel Eis im Untergrund (z.B. Murtèl-Corvatsch) verlangsamt dieses die Erwärmung des Untergrunds, und die Auftauschicht weist immer ähnliche Tiefen auf. An eisärmeren Standorten (z.B. Schilthorn) bewirkt der grösste Teil der Energie eine Erhöhung der Temperaturen, was grössere Schwankungen zwischen den Jahren zur Folge hat.

Jährliche Schwankungen sind bis in eine Tiefe von 15 bis 20 Metern messbar. In grösserer Tiefe werden die Temperaturen nur von längerfristigen Veränderungen beeinflusst. Weil im Winter 2007/2008 vielerorts vor Mitte Novem-

ber kaum Schnee lag, konnte die kalte Luft den Untergrund in den obersten Metern kühlen. Später sorgte die in hohen Lagen lange liegende Schneedecke im Frühling dafür, dass sich der Boden verzögert erwärmen konnte. Deshalb gehören die Permafrosttemperaturen in 10 Metern Tiefe, die mit etwa einem halben Jahr Verzögerung auf Änderungen der Oberflächentemperaturen reagieren, für die meisten Messstationen im Frühjahr 2008 zu den tieferen Werten im Vergleich mit den Vorjahren. Als Folge des wechselhaften, aber warmen Sommers 2008 waren die Temperaturen in 10 Metern Tiefe gegen Ende 2008 wieder nahe am Mittel des letzten Jahrzehnts.

Kriechbewegungen

Im Rahmen von PERMOS werden auch Bewegungen von Blockgletschern gemessen. Nach den extrem hohen Bewegungsgeschwindigkeiten von 2003/2004 und der starken Abnahme in den folgenden zwei Jahren (um ca. 50%) haben die Geschwindigkeiten der beobachteten Blockgletscher 2006/2007 wieder leicht zugenommen und sind 2007/2008 ähnlich hoch geblieben. Höhere Temperaturen in den Blockgletschern und zusätzliches Schmelzwasser sind die wahr-

scheinlichsten Gründe für die erhöhte Aktivität.

Variationen in der Kryosphäre

Zusammenfassend war zu beobachten: Im Berichtsjahr schneite es ab Mitte November 2007 vor allem in hohen Lagen zwar viel, die Schneedecke schmolz dann aber in den warmen Monaten des Frühlings und Sommers 2008 schnell wieder ab. Der Längenschwund der Gletscher liegt im Trend der letzten Jahrzehnte. Spektakuläre Veränderungen wurden an der Front des Gornergletschers und des Unteren Grindelwaldgletschers beobachtet, wo sich die Auswirkungen des fortgesetzten Gletscherschwundes besonders deutlich zeigen. Für den Permafrost war das Berichtsjahr im Vergleich zu den letzten 20 Jahren ein durchschnittliches Jahr. Allerdings muss man in Betracht ziehen, dass die Temperaturen im Permafrost ebenso wie die Lufttemperaturen in den letzten zwei Jahrzehnten klar höher waren als im Durchschnitt des letzten Jahrhunderts. Es fehlen jedoch Permafrostdaten, die Auskunft über frühere Verhältnisse geben. ▀

Hugo Raetzo, Andreas Bauder,
Christoph Marty, Jeannette Nötzli

Foto: Florian Frank



Beobachtungselemente der Schweizer Messnetze der alpinen Kryosphäre

Mit Kryosphäre werden die Bereiche Schnee, Gletscher und Permafrost bezeichnet. Sie spiegeln das Klima und die Erwärmung in den Schweizer Alpen, weshalb deren Messung viel Aufschluss über die Klimaentwicklung gibt. Beobachtet werden folgende Elemente:

- Schnee** An den Schneestationen wird jeden Tag um ca. 7 Uhr die Gesamt- und die Neuschneehöhe gemessen. Die Gesamtschneehöhe an einer fest montierten Messlatte und die in den letzten 24 Stunden gefallene Schneemenge auf dem sogenannten Neuschneebrett
- Gletscher** *Längenänderung:* Durch Vermessung des Verlaufs der Front des Gletschers jeweils im Spätsommer wird die Veränderung der Länge des Gletschers ermittelt.
Massenbilanz: Die Massenbilanz ergibt sich aus der Differenz zwischen Schneezuwachs und Eisabtrag. Dazu werden am Ende des Winters (Mai) und im Herbst (September) die Schneeeakkumulation, der Firnzuwachs und die Eisschmelze an der Gletscheroberfläche erhoben.
- Permafrost** *Temperaturen:* an der Oberfläche sowie in Bohrlöchern an Standorten unterschiedlicher Charakteristika und topografischer Lage
Kinematik: Bewegungen von Blockgletschern sowie Massenbewegungen aus Permafrostgebieten (z.B. Murgänge oder Felsstürze)