



1993



2005

## Schnee, Gletscher und Permafrost 2010/11

### Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

*Der insgesamt schneearme Winter und die hohen Temperaturen im Frühling liessen die schützende Schneedecke rasch verschwinden, führten zu einer starken Gletscherschmelze und einem tiefen Auftauschichten des Permafrostes. Das Firngebiet des Vadret da Roseg verlor den Kontakt zu seiner Zunge.*

Text: Frank Paul, Andreas Bauder,  
Christoph Marty, Jeannette Nötzli



2011

Entwicklung des Ghiacciaio di Val Torta (TI) im Bedrettetal 1993, 2005 und 2011. Der kleine Gletscher ist bis auf einige schuttbedeckte Eisreste fast gänzlich verschwunden.  
Fotos: Archiv VAW / ETH Zürich Claudio Valeggia

Das Jahr 2010/11 war für die Kryosphäre mit zahlreichen Negativrekorden versehen: Seit Beginn der jeweiligen Messungen lag noch nie so wenig Schnee am Ende des Winters, noch nie war es im Frühling so warm, noch nie aperte es so schnell aus, noch nie war der Untergrund so tief aufgetaut, und noch nie verlor ein Gletscher so viel Länge (1,3 km) in einem Jahr. Das sind die wesentlichen Resultate der Kryosphärenbeobachtung.

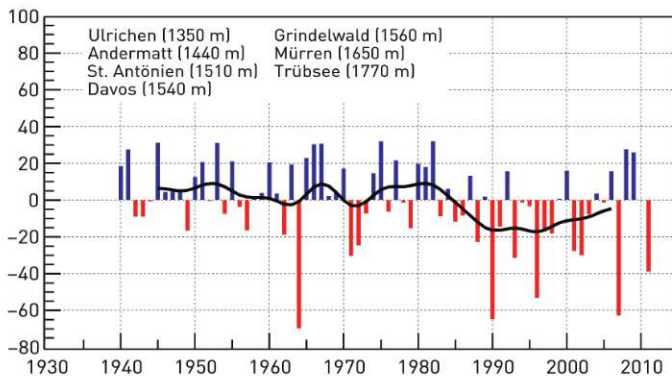
Nach einem vielversprechenden Start in die Wintersaison im Oktober 2010 – mit vielerorts überdurchschnittlichen Schneemengen zum Jahreswechsel – folgten drei sehr trockene Monate, die an vielen Stationen zu neuen Negativrekorden der Schneemächtigkeit führten. Zusammen mit dem wärmsten Frühling seit Messbeginn 1864 führte dies dazu, dass die Ausaperung so früh einsetzte wie noch nie zuvor. Damit hatten auch die Kryosphärenelemente Gletscher und Permafrost schlechte Ausgangsbedingungen. Sowohl die Gletscherschmelze im Sommer als auch die sommerliche Auftautiefe in vielen Permafrostgebieten erreichten ohne die reflektierende beziehungsweise isolierende Schneedecke Rekordwerte.

### Witterungsverlauf und Entwicklung Schneedecke

Aufgrund eines Wintereinbruchs Ende September waren die hohen Lagen Anfang Oktober 2010 bereits eingeschneit. Trotz weiteren Schneefällen konnte sich wegen einer Wärmeperiode Anfang November, mit Regen bis in hohe Lagen, nur oberhalb von 2000 Metern eine geschlossene Schneedecke halten. Weitere Schneefälle sorgten aber dafür, dass Ende November praktisch in der ganzen Schweiz überdurchschnittliche Schneehöhen registriert wurden. Im Dezember schneite es vor allem auf der Alpensüdseite verbreitet und bis in tiefe Lagen. Zum Jahreswechsel waren die Schneehöhen überall normal bis leicht überdurchschnittlich. Der Januar hingegen war geprägt durch Niederschlagsarmut und Regen bis in hohe Lagen. In mittleren Höhenlagen lag Mitte Februar vielerorts nur wenig oder kein Schnee. In Adelboden auf 1210 Metern waren es nur etwa 5 Zentimeter, und selbst in Arosa auf 1840 Metern nur etwa 45 Zentimeter. Im langjährigen Mittel liegt dort zu dieser Zeit mehr als doppelt so viel Schnee.

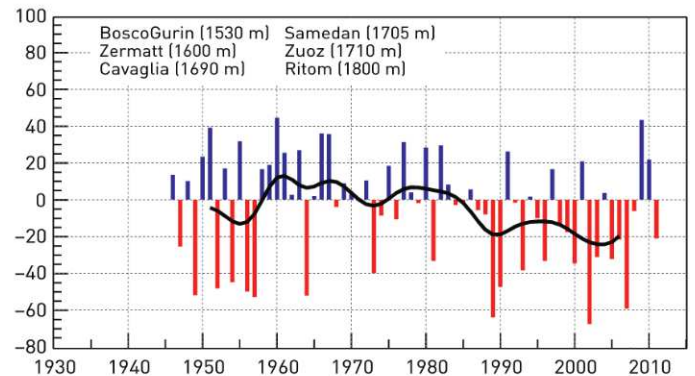
### Zu warmer und trockener Frühling

Die drei folgenden Frühlingsmonate waren nicht nur etwa 3 bis 4 °C zu warm, sondern auch zu niederschlagsarm. Das reduzierte die Schneehöhen im April in allen Gebieten auf



**Grafik 1: Schneetage**

Y-Achse: Anzahl Schneetage (Tage mit Schneehöhe  $\geq 50$  cm) zwischen Dezember und März oberhalb 1300 m. Die jährlichen Balken zeigen eine Abweichung des Mittelwerts der aufgelisteten Stationen vom langjährigen Durchschnitt (1961–2000). Die fette Linie repräsentiert das gleitende Mittel über 10 Jahre. Der Winter 2010/11 war auf der Alpennordseite (links) und auf der Alpensüdseite (rechts) unterdurchschnittlich. Grafiken: SLF Davos



stark unterdurchschnittliche Werte. In hohen Lagen waren es nur 50%, in mittleren Lagen knapp 25% des langjährigen Mittels. Viele langjährige Stationen (z.B. Andermatt, Arosa, Fionnay, Grimsel, Hasliberg, Ulrichen, Weissfluhjoch) zeigten neue Rekordminima oder waren noch nie so früh ausgeapert wie im Frühling 2011 (Grafik 2). Die Neuschneesumme von Januar bis März betrug nur 30% des langjährigen Mittels und war damit so tief wie noch nie seit Messbeginn vor 60 Jahren. Zudem gab es keine Grossschneefallereignisse (1 m Neuschnee oder mehr in drei Tagen). Über das Winterhalbjahr betrachtet (Oktober 2010 bis April 2011), sind die Schneehöhen dank den häufigen frühwinterlichen Schneefällen allerdings nicht mehr ganz so rekordverdächtig. In fünf Wintern (1964, 1990, 1996, 2002, 2007) war die Schneehöhe noch geringer als im Winter 2010/11 (Grafik 1).

**Mehrfach Schnee im Sommer, aber doch zu warm**

Im Mai hielt das warme Wetter an, und die Schneedecke aperte im Norden in hohen Lagen ausserordentlich früh aus. Dadurch lag Ende Mai an Südhängen nur noch im Hochgebirge eine geschlossene Schneedecke. An Nordhängen lagen die südlichen Schneegrenzen bei 2300 Metern bzw. 2800 Metern im Norden. In der Zeit von Juni bis September gab es sieben markante Kaltlufteinbrüche mit Schneefällen, die im Hochgebirge bis August für eine meist geschlossene Schneedecke sorgten. Allerdings war sowohl der August als auch der September 2 bis 3 °C zu warm und zu trocken, wodurch die Gletscher wieder massiv an Volumen einbüssten und der Permafrost im Sommer tiefgründig auftaute.

**Gletscher: meist kürzer und weniger mächtig**

Im Herbst 2011 wurde bei 97 Gletschern die Veränderung der Länge ermittelt. Von diesen 97 wurden 93 kürzer, 3 veränderten ihre Position nicht, und nur ein Gletscher hatte einen positiven Wert. Die Werte reichten vom 1300-Meter-Rückzug am Vadret da Roseg (GR) bis zum Vorrücken des Zungenrandes um 23 Meter am Glacier du Mont Durand (VS). Rund drei Viertel der Messwerte liegen zwischen -1 Meter und -30 Metern (Tabelle S. 43).

**Vadret da Roseg verliert seine Zunge**

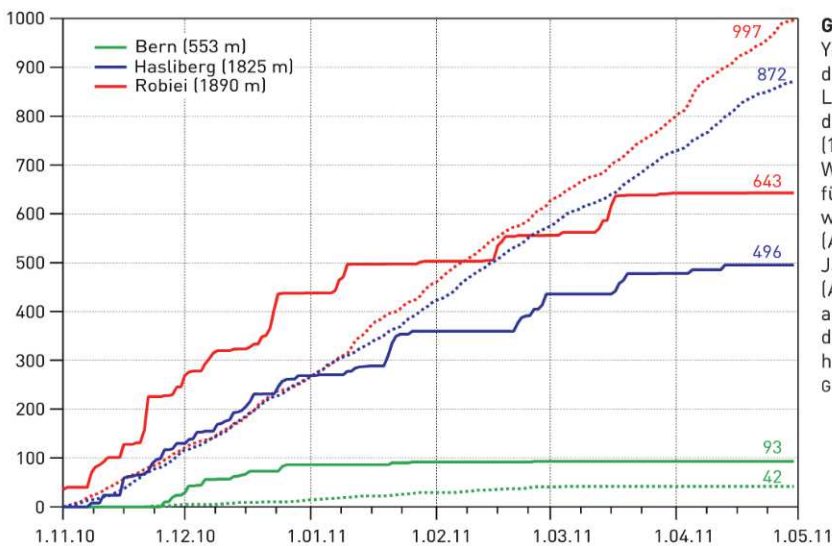
Der massive Rückgang des Vadret da Roseg ist die Folge einer Entwicklung der letzten Jahrzehnte. Die in einem Talkessel gelegene Gletscherzunge wurde zuvor durch zwei Zuflüsse aus dem ausgedehnten Firngebiet gespeist. Der Übergang vom Firngebiet zur Gletscherzunge befindet sich jedoch an einer Steilstufe (vgl. Bild S. 41). In diesem Bereich hat sich der Gletscher über die letzten zehn Jahre sukzessive ausgedünnt und bereits im Sommer 2007 den Kontakt zum Zufluss vom

**Kryosphärenmessnetze Schweiz**

Die Beobachtung der Kryosphäre umfasst Gletscher, Schnee und Permafrost ([www.cryosphere.ch](http://www.cryosphere.ch)). Deren Beobachtungen und die Messnetze koordiniert die Expertenkommission für Kryosphäre (EKK). Die Schneemessungen werden vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz und vom WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) durchgeführt und beinhalten rund 150 Messstationen. Die Messungen an den 115 Gletschern führen Vertreter der Hochschulen, der kantonalen Forstämter und der Kraftwerksgesellschaften sowie Privatpersonen durch ([glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers](http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers)). Das Permafrostnetzwerk wird von mehreren Hochschulen und dem SLF betrieben und umfasst 14 Bohrlochstandorte und 12 Standorte mit Bewegungsmessungen ([www.permos.ch](http://www.permos.ch)).



Der Vadret da Roseg (GR) aus der Vogelperspektive im Herbst 2006, als noch beide Zuflüsse mit der Zunge verbunden waren. Foto: Archiv VAW / ETH Zürich Giovanni Kappenberger



**Grafik 2: Schneehöhenverlauf**

Y-Achse: Kumulierte Neuschneesumme (cm) an drei Beobachterstationen. Die durchgezogenen Linien zeigen den Verlauf im Winter 2010/11 und die gestrichelten Linien das langjährige Mittel (1971-2000). Die massiven Schneefälle zum Winterbeginn haben in Bern bereits im Dezember für mehr als doppelt so viel Schnee gesorgt wie während eines normalen Winters. In Hasliberg (Alpennordseite) waren die Schneefälle bis Mitte Januar im normalen Rahmen und in Robie (Alpensüdseite) massiv überdurchschnittlich. Die anschliessende Trockenperiode sorgte dafür, dass bis Ende Winter an beiden Stationen nur gut halb soviel Schnee vorhanden war wie normal.

Grafik: SLF Davos

Piz Sella verloren. Im Sommer 2011 hat nun auch der Hauptzufluss den Kontakt zur Zunge verloren, und im Talkessel ist eine schuttbedeckte Toteismasse entstanden, die nur noch durch gelegentliche Eisabbrüche und Schneelawinen im Winter genährt wird. Das Zungenende des aktiven Gletschers hat sich deshalb schlagartig um einen sehr grossen Betrag verschoben (vgl. Bericht S. 35)

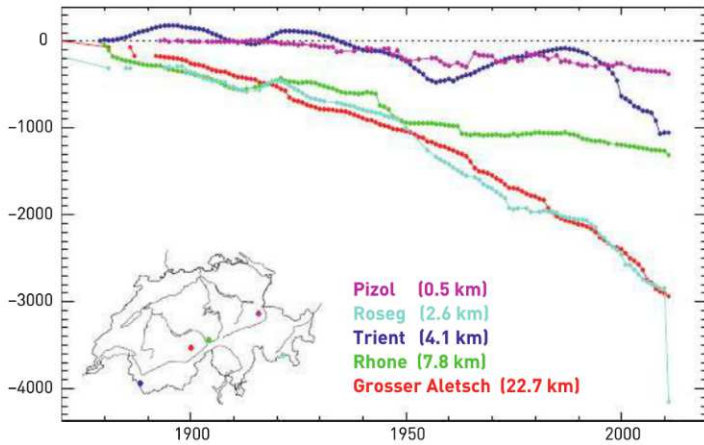
### Glacier du Mont Durand als Einziger vorgestossen

Der Glacier du Mont Durand ist der einzige Gletscher, an dem lokale Veränderungen am Gletscherende für einen positiven Messwert sorgen. Er ist aber nicht das Resultat eines Vorstosses, der durch einen grösseren Eisnachschub aus dem Firngebiet zustande kommt. Die Gletscherzunge ist stark schuttbedeckt und schmilzt deshalb sehr unregelmässig. Im

zentralen Bereich hat sich als Folge davon über die letzten Jahre eine grössere Senke gebildet, wo heute bereits ein Felsbuckel sichtbar ist. Ein Zerfliessen der randlichen Eismasse hat im vergangenen Sommer vermutlich zum Vorrücken des Eisrandes geführt. In Grafik 3 ist für einige ausgewählte Gletscher die aufsummierte Längenänderung seit 1870 dargestellt.

### Negative Massenbilanz der Gletscher

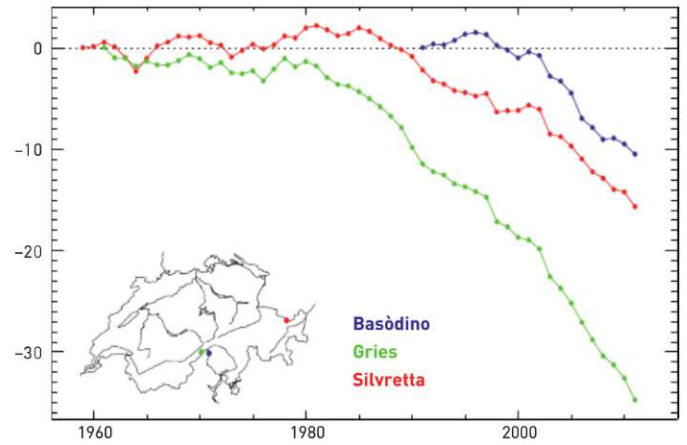
An den sechs Gletschern Basòdino, Findelen, Gries, Pizol, Rhone und Silvretta wurde die Massenbilanz mit Messungen der Schneeakkumulation über den Winter und der Schmelze im Sommer ermittelt. Die erwähnten sehr geringen Schneemengen des Winters 2010/11 führten auch an den Gletschern zu durchwegs unterdurchschnittlicher Akkumu-



**Grafik 3: Längenänderung**

Y-Achse: Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für ausgewählte Gletscher des Messnetzes mit unterschiedlichem Reaktions- und Anpassungsverhalten an das Klima.

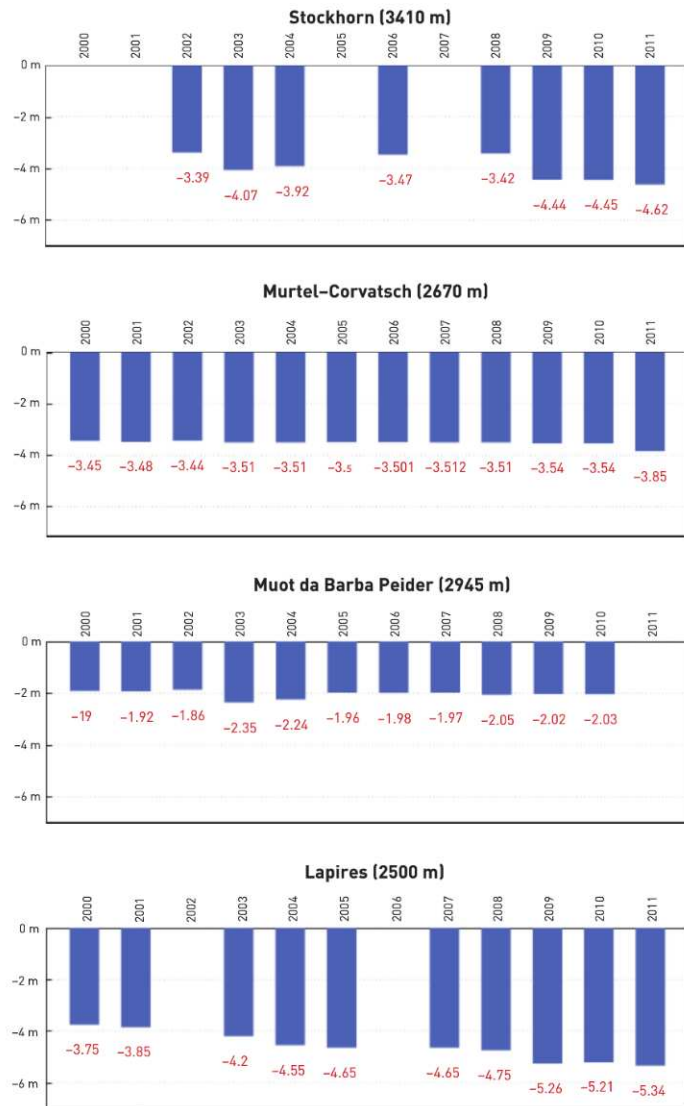
Grafik: VAW / ETH Zürich



**Grafik 4: Massenbilanz**

Massenbilanz der Gletscher Basòdino, Gries und Silvretta mit langen Messreihen. Auf der Y-Achse dargestellt ist die aufsummierte mittlere jährliche Massenbilanz (in m Wasseräquivalenten).

Grafik: VAW / ETH Zürich



**Grafik 5: Permafrostbeobachtungen**

Jährliche Auftautiefen an vier Bohrlochstandorten in den Schweizer Alpen. Grafiken: Permos

lation. Auch die Schmelze über den Sommer fiel trotz teilweise unbeständiger Witterung intensiv aus. Insgesamt verzeichneten alle untersuchten Gletscher eine negative Massenbilanz. Die Werte schwanken zwischen einem Verlust von etwa einem Meter (mittlerer Eisdicke) am Findelgletscher (VS) und Ghiacciaio del Basòdino (TI) sowie rund zwei Metern an den übrigen Gletschern. Damit setzt sich der über die letzten Jahre anhaltende massive Volumenverlust weiter fort (Grafik 4).

**Ursachen: wenig Schnee und frühe Schmelzaison**

Für den Zeitraum 2010/11 ist die negative Massenbilanz auf die Kombination von geringer Schneeakkumulation über den Winter und früh einsetzender Schmelzaison im sehr warmen Frühling zurückzuführen; dies im Unterschied zu früheren Jahren, in denen vor allem die starke Schmelze über den Sommer verantwortlich war. Im Jahr 2010/11 profitierten vor allem Gletscher mit hochgelegenen Einzugsgebieten wie der Findelen- oder der Rhonegletscher (beide VS) von größeren Schneefällen im Mai und Juni, während in tiefer gelegenen Gebieten die Niederschläge in Form von Regen fielen. Weitere punktuelle Messungen auf dem Jungfraufirn des Grossen Aletschgletschers (VS) und dem Claridenfirn (GL) bestätigen die allgemeinen Ergebnisse.

**Permafrost: Tiefe Auftauschicht im Sommer**

Wie bereits in den beiden Vorjahren sorgten die Witterungsbedingungen 2010/11 auch für äusserst warme Bedingungen in den Permafrostgebieten der Schweizer Alpen. Das frühe Verschwinden der isolierenden Schneedecke ist in den Daten der oberflächennahen Temperaturmessungen deutlich sichtbar. An den meisten Messstationen des Schweizer Permafrostbeobachtungsnetzwerks PERMOS gehören die

## Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2010/11

Name/Kt	2011	Name/Kt	2011	Name/Kt	2011	Name/Kt	2011
Albigna/GR	-17.3	Gelten/BE	n	Palü/GR	-13.4	Trift (Gadmen)/BE	-25.2
Allalin/VS	-12.9	Giétro/VS	-24.8	Paneyrosse/VD	-7.7	Tsanfleuron/VS	-8.3
Alpetli (Kanderfirn)/BE	-33.1	Glärnisch/GL	n	Paradies/GR	-18.6	Tschierva/GR	-29.3
Ammerten/BE	-3.5	Gorner/VS	-20	Paradisino (Campo)/GR	x	Tschingel/BE	-21.1
Arolla (Mont Collon)/VS	-38	Grand Désert/VS	-23	Pizol/SG	-29.1	Tseudet/VS	-7.2
Basòdino/TI	-19.2	Grand Plan Névè/VD	-8.4	Plattalva/GL	-19.3	Tsidjiore Nouve/VS	-8.5
Bella Tola/VS	n	Gries/VS	-31.7	Porchabella/GR	-18.7	Turtmann/VS	-22.7 <sup>6</sup>
Biferten/GL	n	Griess/UR	-9.4	Prapio/VD	-12.5	Unteraar/BE	n
Blüemlisalp/BE	-24.5	Griessen/OW	-11.4	Punteglias/GR	-27.8	Unterer Grindelwald/BE	x
Boveyre/VS	-38.2	Grosser Aletsch/VS	-34.4	Rhone/VS	-50.6	Val Torta/TI	-44.1 <sup>2</sup>
Brenay/VS	-49	Hohlaub/VS	-4.9	Ried/VS	x	Valleggia/TI	-4.3
Bresciana/TI	-13.0	Hüfi/UR	x	Roseg/GR	-1305	Valsorey/VS	-17.8
Brunegg (Turtmann)/VS	-77.4	Kaltwasser/VS	-37	Rossboden/VS	x	Verstankla/GR	-19.9
Calderas/GR	-18.0	Kehlen/UR	-28.3	Rotfirn (Nord)/UR	-19.2	Vorab/GR	-23.0
Cambrena/GR	-42 <sup>3</sup>	Kessjen/VS	-2.6	Rätzli/BE	n	Wallenbur/UR	-18
Cavagnoli/TI	-24.4	Lang/VS	-22	Saleina/VS	-39.8	Zinal/VS	-16
Cheillon/VS	-3.6	Lavaz/GR	-25	Sankt Anna/UR	-9.1		
Corbassière/VS	-64.2	Lenta/GR	-33.4	Sardona/SG	-14.6		
Corno/TI	-3.0	Limmern/GL	-3.3	Scaletta/GR	-5.9		
Croslina/TI	-4.1	Lischana/GR	-7.9 <sup>2</sup>	Schwarz/VS	-5.6		
Damma/UR	-41 <sup>5</sup>	Lämmern/VS	-20	Schwarzberg/VS	-6.0		
Dungel/BE	n	Moiry/VS	-18	Seewjinen/VS	-6.5		
Eiger/BE	-19	Moming/VS	-2.7	Sesvenna/GR	-8.4		
En Darrey/VS	x	Mont Durand/VS	+23	Sex Rouge/VD	-0.2 <sup>2</sup>		
Fee (Nord)/VS	-23.5	Mont Fort (Tortin)/VS	-23	Silvretta/GR	-11.8		
Ferpècle/VS	-12	Mont Miné/VS	-58.4	Stein/BE	-155		
Fiescher/VS	-41.9	Morteratsch/GR	-44.9	Steinlimmi/BE	-28		
Findelen/VS	0.4	Mutt/VS	-17.0 <sup>2</sup>	Sulz/GL	-2.6		
Firnalpetli (Ost)/OW	-11.8	Oberaar/BE	n	Surette/GR	-2.0		
Forno/GR	-26.2	Oberaletsch/VS	n	Tiatscha/GR	-1.6		
Gamchi/BE	-18.8	Oberer Grindelwald/BE	x	Tiefen/UR	-26.9		
Gauli/BE	-135	Otemma/VS	-15.4	Trient/VS	0		

**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: Cambrena -42<sup>3</sup> = Schwund um 42 m in drei Jahren

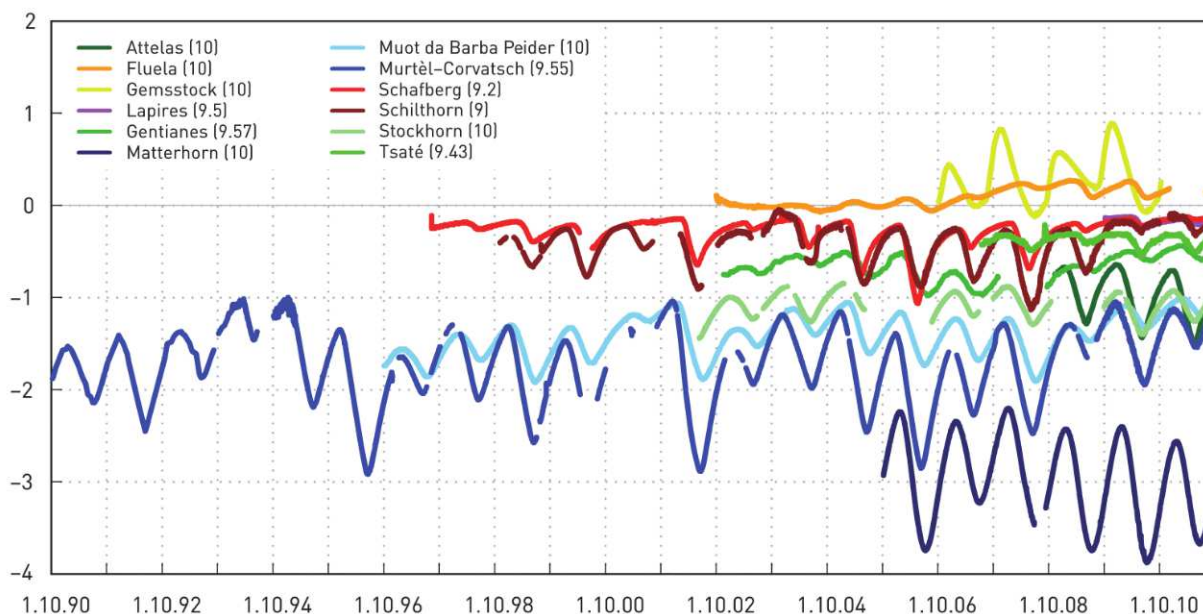
Geoelektrikmessungen rund ums Bohrloch in einer Schutthalde beim Schottensee am Flüelapass. Foto: Marcia Phillips



Umbau der Bohrloch- und Meteostation auf dem Schilthorn (2940 m) im Sommer 2011.

Foto: Jeannette Nötzli





**Grafik 6: Untergrundtemperaturen im Permafrost**

Y-Achse: Temperaturen in °C gemessen in etwa 10 m Tiefe in verschiedenen Bohrlöchern des PERMOS Netzwerkes.

Grafik: Permos

Auftautiefen der letzten drei Jahre zu den tiefsten je gemessenen, und von diesen sind jene vom Sommer 2011 zumeist am tiefsten. An mehreren Standorten wurde sogar der Rekord aus dem Hitzesommer 2003 gebrochen (Grafik 5). Für die zwischen 2000 und 3500 Metern gelegenen Messstandorte der Bohrlöcher werden je nach Höhenlage, Exposition, Schneeverhältnissen und Untergrund des Standortes Permafrosttemperaturen von etwa 0 bis  $-3$  °C gemessen (Grafik 6). Deutlich kältere Bedingungen sind in den Alpen in den höchsten schattigen Flanken über 4000 Meter zu erwarten, aber Sensoren sind dort bisher noch keine installiert. In den letzten fünf Jahren sind die Permafrosttemperaturen aufgrund der zunehmend warmen Bedingungen an den meisten Standorten angestiegen und weitgehend wieder auf dem Niveau von 2003. Die Temperaturen des heissen Herbstes 2011 sind aber erst im Frühjahr 2012 bei den Sensoren in zehn Metern Tiefe bemerkbar und führen vermutlich zu noch höheren Temperaturen.

Temperaturmessungen geben aber nicht über alle Veränderungen Auskunft. Zum Beispiel ändern sich die Temperaturen nur sehr geringfügig, solange Energie zum Auftauen von Eis verbraucht wird. Änderungen im Eisgehalt und flüssigem Wasser werden mit Messungen des elektrischen Widerstands im Untergrund sichtbar gemacht. Die kontinuierlich tiefen elektrischen Widerstände, die in den letzten Jahren an mehreren Bohrlöcherstandorten gemessen wurden, bestätigen daher nicht nur die höheren Permafrosttemperaturen, sondern deuten auch explizit auf nachhaltigen Eisschwund hin.

### Blockgletscher in Bewegung

Neueste Forschungen zu den Kriechgeschwindigkeiten von eisübersättigten Permafrostkörpern – sogenannten Blockgletschern – zeigen eine zunehmende Geschwindigkeit mit höheren Bodentemperaturen.

Im Rahmen der Permafrostbeobachtung werden 14 Blockgletscher jährlich vermessen. Je nach Temperatur, Geometrie, Material und Eisgehalt variieren deren Kriechgeschwindigkeiten. Sie liegen im Bereich von etwa 0,1 bis 3 Metern pro Jahr.

Die Messresultate für das Jahr 2010/11 sind für die einzelnen Standorte unterschiedlich, und es gab sowohl Ab- wie auch Zunahmen der Geschwindigkeiten. Im Mittel liegen die Werte wie bereits 2009/10 circa 8% über dem Durchschnitt des warmen letzten Jahrzehnts. Die Spitzenwerte wurden im Jahr 2003/04 gemessen und waren nochmals über 50% höher als im Berichtsjahr.

#### → Weitere Auskünfte

**Gletscher:** Andreas Bauder, VAW, ETH Zürich, [bauder@vaw.baug.ethz.ch](mailto:bauder@vaw.baug.ethz.ch), 044 632 41 12

**Schnee:** Christoph Marty, SLF, [marty@slf.ch](mailto:marty@slf.ch), 081 417 01 68

**Permafrost:** Jeannette Nötzli, PERMOS, Universität Zürich, [info@permos.ch](mailto:info@permos.ch), 044 635 52 24