



1971



1995

## Schnee, Gletscher und Permafrost 2009/10

Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

*Der Winter 2009/10 war geprägt durch tiefe Temperaturen – es war schweizweit gesehen der kälteste Winter der letzten 23 Jahre. Weil es jedoch früh schneite, blieb die Wärme des Sommers im Boden gespeichert und der Permafrost erwärmte sich stark. Der Gletscherrückgang setzte sich unvermindert fort.*

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



2001



2010

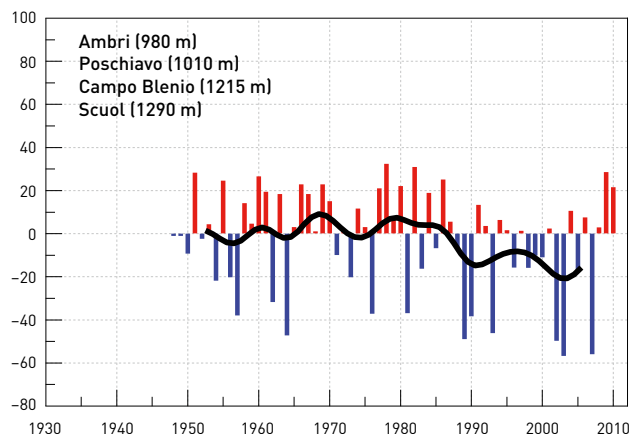
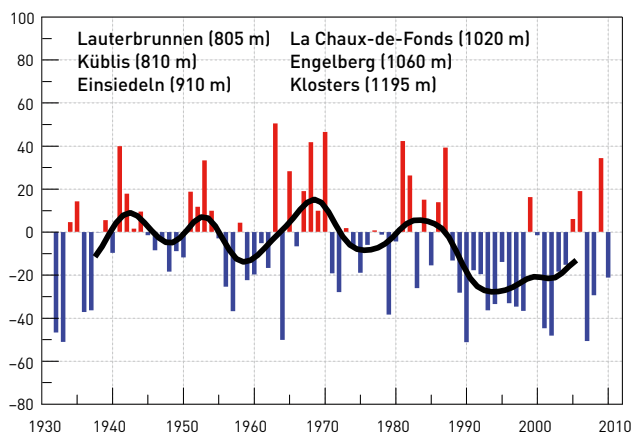
Eindrückliche Veränderungen des Glacier du Trient: aufgewölbte Gletscherzunge 1971 während der Vorstossphase von 1957–1987 mit knapp 400 m Längenzuwachs; danach starker Schwund mit bereits sichtbar ausgedünnter Zunge 1995 und weiter geschwundene Eismassen bis 2001 sowie 2010 auf dem sukzessiven Rückzug bis 2010 über die Steilstufe hinauf.  
Fotos: Pierre Mercier (1971/1995), Jacques Ehinger (2001/2010)

Durch die frühe Schneedecke im Herbst 2009 blieb die Wärme des Sommers im Boden gespeichert und erwärmte den oberflächennahen Permafrost. Der massive Gletscherrückgang setzte sich fort, und auch die wechselhafte Witterung im Sommer 2010 konnte die starken Massenverluste der Gletscher nicht verhindern. Die rekordtiefen Wintertemperaturen hatten keinen Einfluss auf diese Trends. Das sind die wesentlichen Resultate der Kryosphärenbeobachtung für den Zeitraum 2009/10.

### Witterungsverlauf und Entwicklung der Schneedecke

Der Winter 2009/10 war geprägt durch tiefe Temperaturen – es war schweizweit gesehen der kälteste Winter der letzten 23 Jahre. Das Jungfraujoch und der Grosse Sankt Bernhard erlebten gar die kältesten Wintertemperaturen seit 40 Jahren. Trotz vielen Schneefalltagen waren die Neuschneesummen im weiteren Verlauf des Winters vor allem auf der Alpennordseite eher gering. Daraus resultierte vorwiegend für die mittleren Lagen der Alpennordseite ein eher schneearmer Winter (Grafik 1, links). Im Mittelland blieb der Neuschnee aber dank der Kälte jeden Wintermonat über mehrere Tage liegen, sodass dort die Anzahl Tage mit schneebedecktem Boden durchschnittlich ausfiel. Auf der Alpensüdseite dagegen sorgte eine Vielzahl von Südstaula-

gen vor allem im Oberengadin und in den Bündner Südtälern (Grafik 1, rechts) für einen schneereichen Winter. Die erste dieser Südlagen Ende November war sehr intensiv und brachte auf mehreren Stationen die zweithöchste Neuschneemenge innert eines bzw. zweier Tage, zum Beispiel innerhalb von 24 Stunden in Andermatt (UR, 1440 m) 90 cm bzw. in Sedrun (GR, 1420 m) 82 cm. Diese Schneehöhen haben eine durchschnittliche Wiederkehrdauer von 40 bzw. 20 Jahren. Gleichzeitig war es die einzige Niederschlagsperiode des Winters 2009/10 mit Neuschneehöhen von mehr als einem Meter in drei Tagen. Der Dezember war trotz unterdurchschnittlichen Temperaturen geprägt durch wiederholte Regenfälle auch oberhalb von 2000 Metern. Zwei Südstaulagen an Weihnachten sorgten für teilweise grosse Lawinenaktivität, sodass über die Weihnachtstage alle Pässe ins Engadin sowie die Albula- und die Bernina-Linie der Rhätischen Bahn aus Sicherheitsgründen geschlossen werden mussten. Durch diese massiven Schneefälle war der Alpensüdhang Ende 2009 in den höheren Lagen mit dem Zwei- bis Dreifachen der sonst üblichen Schneemenge eingeschneit. In den Tallagen des Südtessins reichten die Schneemengen immerhin so weit, dass erstmals seit 1991 wieder eine weisse Weihnacht gefeiert werden konnte. Die Monate Januar bis März waren 2010 im ganzen Schweizer Alpenraum zu kalt und vor allem auf der Alpennordseite zu



### Grafik 1: Schneetage

Jährliche Abweichung der Anzahl Schneetage (Schneehöhe  $\geq 30$  cm) gegenüber dem langjährigen Mittel von 1961 bis 1990. Die dicke Linie ist das gleitende Mittel über zehn Jahre. Der Winter 2009/10 war auf der Alpennordseite (links) unterdurchschnittlich und auf der Alpensüdseite (rechts) überdurchschnittlich lang. Grafik: SLF

## Kryosphärenmessnetze Schweiz

Die Kryosphärenbeobachtung in der Schweiz umfasst die drei Bereiche Gletscher, Schnee und Permafrost ([www.cryosphere.ch](http://www.cryosphere.ch)). 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 (GLAMOS) werden durch Vertreter der Hochschulen, der kantonalen Forstämter und der Kraftwerksgesellschaften sowie von Privatpersonen durchgeführt. Das Permafrostnetzwerk (PERMOS) wird von mehreren Hochschulen und dem SLF betrieben und umfasst 14 Bohrlochstandorte und zwölf 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, Fribourg und Lausanne sowie die ETH Zürich.

trocken. Bedeutende Niederschläge waren erst wieder Ende März und Anfang April zu verzeichnen – erneut betrafen sie vor allem die südlichen Regionen. Das auf Anfang April fallende Osterwochenende war dadurch recht winterlich. Die zweite Aprilhälfte brachte steigende Temperaturen, die gegen Ende des Monats sogar auf sommerliche Werte anstiegen und die Schneedecke entsprechend schnell schmelzen liessen.

### Frühes Einschneien über 2000 Meter

In der für Gletscher und Permafrost wichtigen Höhenlage von über 2000 Metern lag bereits Mitte November an den meisten Orten eine mindestens 50 cm dicke Schneedecke, was sonst erst Ende November der Fall ist. Die oben beschriebenen Niederschläge und Temperaturen im weiteren Verlauf des Winters führten dazu, dass die Schneehöhe in dieser Höhenlage Ende April im Vergleich zum langjährigen Mittel im Oberengadin und in den Bündner Südtälern leicht überdurchschnittlich, am restlichen Alpensüdhang leicht unterdurchschnittlich und auf der Alpennordseite klar unterdurchschnittlich war (Grafik 2). Im Mai sorgten wiederum markante Südtaulagen und entsprechende Neuschneemengen für eine leichte Verbesserung der Situation, vor allem auf der Alpensüdseite und am Alpenhauptkamm. Die Sommermonate und der Herbst 2010 waren eher wechselhaft. Eine Hitzeperiode in der ersten Julihälfte liess die Nullgradgrenze während mehrerer Tage auf über 4800 Meter steigen und sorgte für den sechstwärmsten Juli seit Messbe-





Viel Schnee fiel Anfang 2010. Das Oberengadin war nur noch via den Bahnverlad am Vereina erreichbar.  
Foto: Robert Bösch



**Grafik 2: Schneehöhenverlauf**

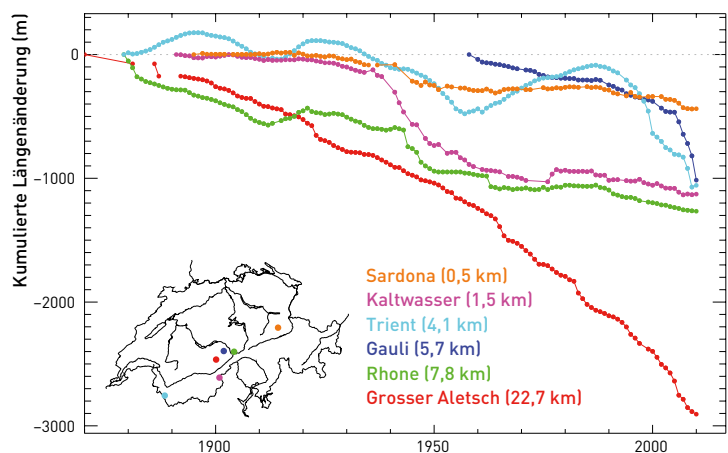
Die gepunkteten Linien zeigen das langjährige Mittel. Über 60 Jahre Messungen in Mürren (Berner Oberland) und in Cavaglia (Puschlav) zeigen, dass das Mittel beider Stationen trotz grosser geografischer Distanz sehr ähnlich ist. Die durchgezogenen Linien (Winter 2009/10) zeigen einerseits den Schneereichtum der Bündner Südtäler und andererseits die unterdurchschnittliche Schneehöhe gegen Ende Winter am Alpennordhang. Grafik: SLF

ginn. Der Sommer 2010 fiel deshalb trotz vielen Kaltlufteinbrüchen wiederum eindeutig zu warm aus.

### Die Gletscher werden kürzer ...

Von den 110 jeweils im Herbst vermessenen Gletschern wurde für 95 die Veränderungen an der Gletscherfront ermittelt. Es befanden sich 86 Gletscher im Rückzug, drei zeigten einen geringen Vorstoss, und sechs haben ihre Zungenposition nicht verändert. Insgesamt reichen die Werte von einem 196-Meter-Rückzug am Gauligletscher (BE) bis zu einem leichten Vorrücken des Zungenrandes von

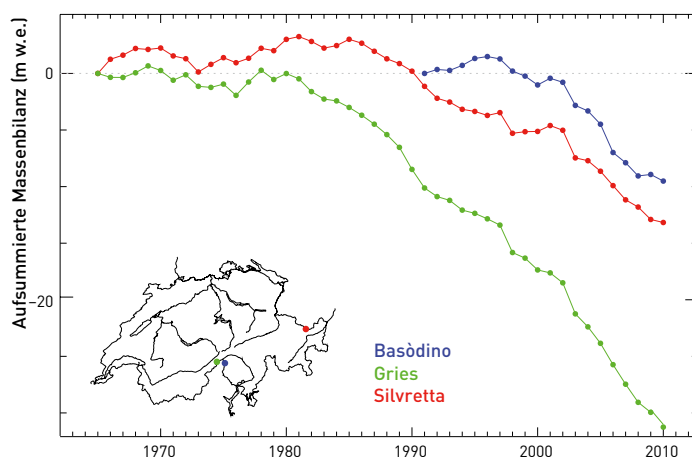
14 Metern am Glacier du Trient (VS). Die Mehrzahl der Werte liegt aber zwischen -1 und -25 Metern (siehe Tabelle S. 51). Der massive Schwund am Gauligletscher steht im Zusammenhang mit einem die Zunge umgebenden See, der das Zurückschmelzen verstärkt. Dieser beschleunigte Rückzug ist seit einigen Jahren im Gang. Das Zungenende des Glacier du Trient liegt inzwischen in einer Steilstufe. Der Gletscher hat sich in den vergangenen Jahren stark zurückgezogen und scheint sich momentan in der neuen Position halten zu können. Unter diesen Bedingungen ist ein geringes Vorrücken der Gletscherzunge in einzelnen Jahren möglich. In Grafik 3



**Grafik 3: Längenänderung**

Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für sechs ausgewählte Gletscher des Messnetzes mit unterschiedlichem Reaktions- und Anpassungsverhalten in Bezug auf das Klima.

Grafik: GLAMOS



**Grafik 4: Massenbilanz**

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



Zunge des Gauligletschers mit dem vorgelagerten See, der sich seit 2000 auf Kosten des Gletschers zunehmend vergrößert hat. Foto: Walter Janach

## Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2009/10

Name / Kt	Änderung in Meter	Name / Kt	Änderung in Meter	Name / Kt	Änderung in Meter	Name / Kt	Änderung in Meter
<b>Einzugsgebiet der Rhone</b>		Saleina / VS	-25,5	Griess / UR	-2	Roseg / GR	0
Allalin / VS	-1,2	Schwarzberg / VS	-10,1	Griessen / OW	-4,3	Sesvenna / GR	-8,4
Arolla (Mont Collon) / VS	-24,7	Seewjinen / VS	-7,7	Hüfi / UR	0	Tiatscha / GR	-7
Bella Tola / VS	n	Sex Rouge / VD	n	Kehlen / UR	-30,7	Tschierva / GR	-20,7
Boveyre / VS	-18,8	Trient / VS	14	Rotfirn (Nord) / UR	-24,1	<b>Einzugsgebiet der Adda</b>	
Breney / VS	-35,4	Tsanfleuron / VS	n	Sankt Anna / UR	-13,3	Albigna / GR	-28,4
Brunegg (Turtmann) / VS	-99 <sup>9</sup>	Tseudet / VS	-7,9	Tiefen / UR	-16,4	Cambrena / GR	n
Cheillon / VS	-2,3	Tsidjiore Nouve / VS	-14,7	Wallenbur / UR	-11,8	Forno / GR	-27,6
Corbassière / VS	-40,2	Turtmann / VS	x	<b>Einzugsgebiet der Linth / Limmat</b>		Palü / GR	0 <sup>2</sup>
En Darrey / VS	-32,5	Valsorey / VS	-21,4	Biferten / GL	-10,6	Paradisino (Campo) / GR	-40 <sup>2</sup>
Fee (Nord) / VS	-6,4	Zinal / VS	-8,5	Glärnisch / GL	-8,6	<b>Einzugsgebiet des Ticino</b>	
Ferpècle / VS	-23	<b>Einzugsgebiet der Aare</b>		Limmern / GL	-2	Basòdino / TI	-6,8
Fiescher / VS	-24,7	Alpetli (Kanderfirn) / BE	-24,8	Plattalva / GL	-18,9	Bresciana / TI	-6
Findelen / VS	0	Ammerten / BE	-1,3	Sulz / GL	-1,6	Cavagnoli / TI	-9,3
Giétro / VS	-32,9	Blüemlisalp / BE	-15,3	<b>Einzugsgebiet des Rheins</b>		Corno / TI	-6,5
Gorner / VS	-11	Dungel / BE	-2,4	Pizol / SG	-2,9	Croslina / TI	-1,1
Grand Désert / VS	-16,3 <sup>2</sup>	Eiger / BE	-8,0 <sup>2</sup>	Lavaz / GR	-14,4 <sup>2</sup>	Rossboden / VS	x
Grand Plan Névé / VD	-7,9	Gamchi / BE	-15,5	Lenta / GR	-14,7	Val Torta / TI	n
Gries / VS	-23,9	Gauli / BE	-196	Paradies / GR	0,4	Valleggia / TI	-7,9
Grosser Aletsch / VS	-20,9	Gelten / BE	x	Porchabella / GR	-15,6	Abkürzungen:	
Hohlaub / VS	-4,2	Lämmern / VS	-12	Punteglias / GR	-12,5 <sup>2</sup>	n = nicht beobachtet	
Kaltwasser / VS	4,7	Oberaar / BE	n	Sardona / SG	1,7	x = Betrag nicht bestimmt	
Kessjen / VS	-5,1	Oberer Grindelwald / BE	x	Scaletta / GR	-4,4	Bemerkung:	
Lang / VS	-28	Schwarz / VS	-2,8	Silvretta / GR	-7,7	Gilt die Angabe für eine mehr-	
Moiry / VS	-32,5 <sup>2</sup>	Stein / BE	-122	Suretta / GR	0,7	jährige Zeitspanne, so zeigt	
Moming / VS	-11	Steinlimmi / BE	-51	Verstankla / GR	-10	die hochgestellte Zahl die	
Mont Durand / VS	-24	Trift (Gadmen) / BE	-23,5	Vorab / GR	-8,6	Anzahl der Jahre an Beispiel:	
Mont Fort (Tortin) / VS	-6,5	Tschingel / BE	-16,2	<b>Einzugsgebiet des Inns</b>		Moiry -32,5 <sup>2</sup> = Schwund um	
Mont Miné / VS	-20,5	Unteraar / BE	n	Calderas / GR	-12,6	32,5 m in zwei Jahren	
Mutt / VS	n	Unterer Grindelwald / BE	x	Lischana / GR	-12,3		
Oberaletsch / VS	n	<b>Einzugsgebiet der Reuss</b>		Morteratsch / GR	-50,6		
Otemma / VS	-37,4	Brunni / UR	n				
Paneyrosse / VD	-9,3	Damma / UR	x				
Prapio / VD	-9	Firnalpeli (Ost) / OW	-22,9				
Rhone / VS	-3,2						
Ried / VS	x						

sind für ausgewählte Gletscher verschiedener Länge die aufsummierten Längenänderungen der vergangenen Jahrzehnte dargestellt.

### ... und verlieren Masse

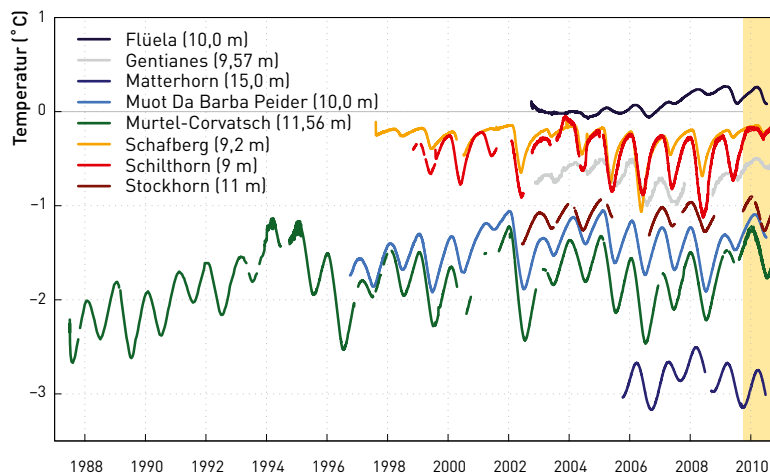
An den sechs Gletschern Basòdino, Gries, Silvretta, Rhone, Pizol und Findelen wurde mit Messungen der Schneeakkumulation über den Winter und der Schmelze im Sommer die Massenbilanz bestimmt. Im Vergleich mit den Messungen der letzten Jahre fielen sowohl die Schneeakkumulation als auch die Schmelze eher durchschnittlich aus. Alle Gletscher verzeichneten insgesamt eine negative Massenbilanz, büssten also mehr Eis durch Schmelze ein als über die Messperiode akkumuliert wurde. Die Werte schwanken zwischen einem Verlust von rund einem halben Meter Wasseräquivalent beim Silvretta- oder Findelengletscher bis zu deutlich über einem Meter beim Griesgletscher. Der Schwundtrend der letzten Jahre setzt sich damit weiter fort (Grafik 4). Die beiden Gletscher Pizol und Silvretta am Alpennordosthang verzeichneten eine eher unterdurchschnittliche Schmelze

im Sommer. Diese beiden Gletscher dürften von der anhaltend wechselhaften Witterung mit wiederholten Schneefällen am meisten profitiert haben. Im Unterschied zu den anderen untersuchten Gletschern konnte sich bei diesen beiden der Neuschnee jeweils länger halten und reduzierte so die Schmelze. Weitere punktuelle Messungen auf dem Jungfraufirn des Grossen Aletschgletschers und dem Claridenfirn sowie nur im Jahr 2009/10 durchgeführte Messungen am Glacier de Tsanfleuron und am Glacier de la Plaine Morte bestätigen diese Ergebnisse.

### Permafrost

Da die Messstellen der Permafrostbeobachtung im Hochgebirge meistens in der schneefreien Zeit besucht werden, sind erst die Daten bis zum Sommer 2010 ausgewertet. Die ersten Ergebnisse zeigen schon jetzt, dass die Permafrostverhältnisse 2009/10 ähnlich wie im Jahr zuvor von überdurchschnittlich warmen Temperaturen geprägt waren, die nur wenig unter den Rekordwerten von 2003 lagen. Dies ist die Folge des vergleichsweise sehr heissen Spätherbstes 2009,





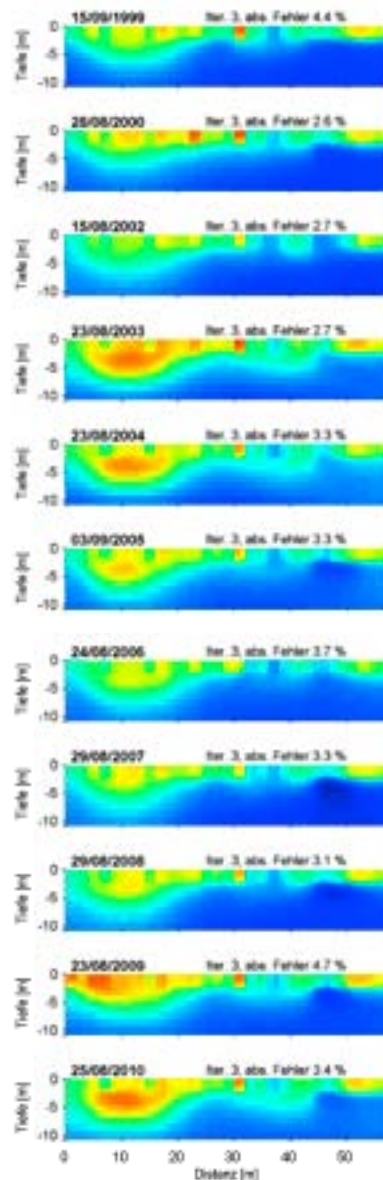
**Grafik 5: Untergrundtemperaturen im Permafrost**

Gemessen an acht Bohrlochstandorten im Permafrost in einer Tiefe von rund zehn Metern. Grafik: PERMOS

gefolgt von einer frühen Schneedecke, welche die Wärme im Boden speicherte und diesen vor den kalten Wintertemperaturen schützte (vgl. S. 53).

Die Mächtigkeit der Auftauschicht im Permafrost spiegelt ähnlich der Massenbilanz bei den Gletschern die Witterungsverhältnisse im Berichtsjahr wider. An den sechs (von total vierzehn) ausgewerteten Bohrlochstationen war die Auftauschicht überdurchschnittlich tief und blieb nur wenig unter den Rekordwerten des Sommers 2003. Dieselben Verhältnisse sieht man auch in den weiteren Messungen: Es dauert circa ein halbes Jahr, bis sich die Temperaturschwankungen an der Oberfläche in einer Tiefe von zehn Metern auswirken. Die äusserst warmen Verhältnisse vom Winter 2009/10 sind an Standorten mit viel Schnee (z.B. Schilthorn, Schafberg oder Corvatsch) anhand der Bohrlochtemperaturen gut sichtbar; die Sommertemperaturen sind jedoch noch nicht in dieser Tiefe angekommen (Grafik 5). Die Temperaturen in grösserer Tiefe (im Bereich von mehreren Dutzend Metern und mehr) werden nur noch von langfristigen Klimaänderungen beeinflusst, und eine Änderung kommt erst mit einer Verzögerung von Jahrzehnten an, auch wird der Effekt mit zunehmender Tiefe immer gedämpfter und verzögerter.

Mit Messungen des elektrischen Widerstands im Boden können Änderungen in Eis- und Wassergehalt beobachtet werden. Auch hier wurden ähnlich tiefe Werte wie 2009 und im Rekordjahr 2003 registriert, was auf eine Zunahme der Temperaturen und des Wassergehalts in den erreichten oberen zehn Metern des Untergrundes hindeutet. Am Schilthorn waren die Werte sogar gleich niedrig (Eis leitet den Strom schlechter als Wasser) wie im Sommer 2003 (Grafik 6). Die Kriechgeschwindigkeiten im Permafrost, die an verschiedenen Blockgletschern gemessen werden, haben nach den Rekordwerten als Folge des Sommers 2003 und anschliessender Abnahme seit 2007 wieder zugenommen.



**Grafik 6: Elektrischer Widerstand im Permafrost**

Blau zeigt hohen Widerstand, rot niedrigen. Da Wasser ein guter Leiter ist, deuten tiefere Werte auf einen höheren Anteil von ungefrorenem Wasser und damit auf wärmere Bedingungen. 2010 taute der Boden ähnlich stark auf wie im Hitzesommer 2003. Gemessen am Schilthorn. Grafik: PERMOS

Dieser Trend hat sich auch im Berichtsjahr fortgesetzt. Dies hängt vermutlich mit den höheren Lufttemperaturen und der dadurch veränderten Wasserverfügbarkeit im Inneren der Blockgletscher zusammen.

→ Weitere Auskünfte erteilen:

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

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

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