



Schnee, Gletscher und Permafrost 2013

Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen

Ein schneereiches Winterhalbjahr brachte den Gletschern ausgeglichene Massenbilanzen. Andererseits blieb der Permafrost unter der dicken Schneedecke weiterhin warm. Bei mehreren grossen Gletschern trennte sich ein Teil der Zunge ab. Die langfristigen Erwärmungstrends in der Kryosphäre sind damit ungebrochen.

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



Der Triftgletscher 1948 (links) und 2006. Mittlerweile hat sich die Zunge im oberen Bereich vom Gletscher getrennt. Fotos: zvg

Der Winter startete bereits im Oktober mit Schneefällen bis unter 1000 Meter. Mit Ausnahme des Novembers war es gemäss Messungen der MeteoSchweiz-Stationen bis im März in der ganzen Schweiz fast immer kälter als im Mittel der Periode 1980–2010. Zusammen mit den etwas grösseren Niederschlagsmengen vor allem auf der Alpennordseite waren auch die Neuschneemengen im Mittelland vielerorts überdurchschnittlich. Zwischen Genf, Basel, Zürich und St. Gallen waren sie sogar doppelt so gross wie normal. Im Tessin, im Engadin und in Mittelbünden waren die Neuschneemengen dagegen leicht unterdurchschnittlich. Wirklich ungewöhnlich war aber eher die grosse Anzahl von Tagen mit Neuschnee: Im Mittelland wurden letztmals im Winter 1986/87 mehr Neuschneetage registriert. Vereinfacht gesagt hat es zwischen Dezember und März unterhalb von 1000 Metern jeden vierten bis sechsten Tag geschneit, oberhalb davon sogar jeden zweiten bis dritten Tag. Deshalb blieben auch nur wenige Tage übrig, an denen sich die Sonne zeigen konnte, und es wurde eine deutlich geringere Sonnenscheindauer registriert als normal.

Durch den Neuschnee und die eher niedrigen Temperaturen waren die Schneehöhen Mitte Dezember im Norden teilweise zwei- bis dreimal so hoch wie im langjährigen Mittelwert.

Im Mittelland wurde verbreitet eine 30 bis 50 Zentimeter dicke Schneedecke beobachtet. Das anschliessende weihnachtliche Tauwetter war dann aber so intensiv, dass sich der Schnee nur oberhalb von 800 Metern halten konnte. Weitere Schneefälle gab es bis Mitte Januar, und im Februar schneite es vor allem im Norden häufig und ergiebig. Im März gab es beidseits der Alpen immer wieder Schnee bis in tiefe Lagen. Ende April lag auf 2000 Metern im Westen mehr Schnee (ca. 2 m) als im langjährigen Mittel, während die Schneehöhen sonst leicht unterdurchschnittlich waren.

Zu warmer Sommer löst zu kalten Winter ab

Normalerweise nehmen die Schneehöhen im Monat Mai stark ab. Im Jahr 2013 nahmen sie aber aufgrund von tiefen Temperaturen und überdurchschnittlich viel Niederschlag (als Schnee) oberhalb von 2000 Metern vielfach noch zu, insbesondere am Alpenhauptkamm. Teilweise wurden die Maximalwerte des Winters erst Ende Mai erreicht (Grafik 1). Mit Ausnahme des Novembers und des Aprils war die erste Hälfte der Berichtsperiode somit massiv zu kalt, besonders im Hochgebirge. So wurden auf dem Jungfrauoch (3580 m) zwischen Oktober und Juni die tiefsten Durchschnittstemperaturen seit knapp 20 Jahren registriert. In der Zeit von



Gleitschnee zeigt an, dass der Boden unter der dicken isolierenden Schneedecke relativ warm blieb. Für den Permafrost bedeutete dies trotz tiefer Lufttemperaturen einen «warmen» Winter. Foto: Abteilung für Naturgefahren Kt. BE

Juni bis September registrierte man sechs grössere Schneefallperioden im Hochgebirge. Allerdings waren die Sommermonate insgesamt trotzdem zu warm (siebtwärmster Sommer seit Messbeginn) und zu trocken. Nur Ende Juni und Ende August schneite es zweimal bis auf circa 2000 Meter hinab. Im September fiel dann bereits mehrmals Schnee bis auf rund 2000 Meter, allerdings nur in kleinen Mengen.

Die Höhe der Nullgradgrenze ist für Schneefall, Permafrost und Gletscherschmelze eine entscheidende Grösse. Ihr in Grafik 2 dargestellter Verlauf zusammen mit dem Mittelwert macht die oben genannten Ereignisse nachvollziehbar. Während blaue Flächen eine tiefere Lage als normal darstellen (Oktoberschneefälle, Dezemberschneedecke, kalter Mai), zeigen die überwiegend roten Flächen das Weihnachtstauwetter sowie die intensive Wärmeperiode im Juli und im August an (Nullgradgrenze häufig über 4000 m).

Die Gletscher haben endlich wieder Rücklagen

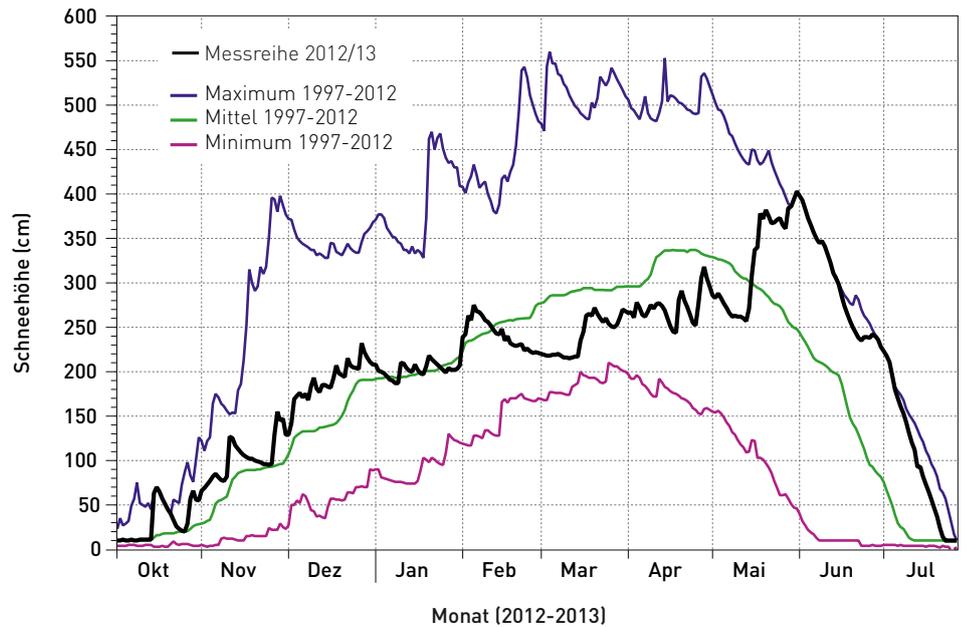
An 13 Gletschern wurde im vergangenen Herbst die Massenbilanz mit einer detaillierten Aufnahme der Schneeakkumulation über den Winter und der Schmelze im Sommer erhoben. Dank der kühlen und niederschlagsreichen Witterung aperten die Gletscher nur verzögert aus. Dadurch blieben trotz den sehr warmen und schmelzintensiven Monaten Juli und August grössere Rücklagen vom Winterschnee als in den letzten Jahren auf den Gletschern übrig. Gesamthaft zeigen die Gletscher deshalb nur geringe Massenverluste oder eine ausgeglichene Bilanz sowie vereinzelt auch einen

leichten Massengewinn. In den vergangenen zehn Jahren wiesen die Schweizer Gletscher nie mehr ähnlich gletscher-günstige Resultate auf (siehe Grafik 3). Die vereinzelt positiven oder ausgeglichenen Werte fanden sich auf Gletschern südlich des Alpenhauptkammes wie dem Ghiacciaio del Basödino im nördlichen Tessin und dem Findelengletscher nahe Zermatt. Auf der Alpennordseite resultierten bei den untersuchten Gletschern wie dem Pizolgletscher/SG oder dem Silvrettagletscher/GR jedoch geringe Massenverluste. Für die Resultate in der Messperiode waren somit die intensiven und wiederholten Schneefälle sowie die kühle Witterung im Mai und im Juni verantwortlich. Dadurch wurde die schützende Schneedecke trotz den hohen Temperaturen im Juli und im August nur sehr verzögert abgebaut. Die regionalen Unterschiede in der Massenbilanz folgen zumeist aus der Verteilung der Schneemengen im Frühling und Frühsommer. Ein einzelnes günstigeres Jahr bedeutet für die Gletscher jedoch nur eine Verschnaufpause, zumal gemittelt über alle Gletscher eine negative Massenbilanz resultiert.

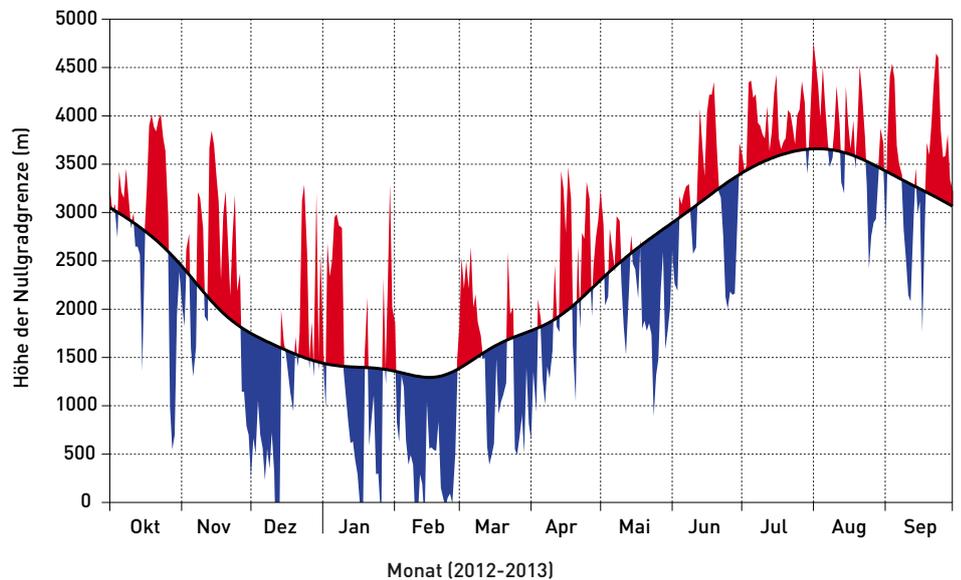
Der generelle Rückzug dauert an

Jedes Jahr werden am Ende des Sommers an etwa 100 Gletschern die Veränderungen ihrer Länge ermittelt. Im Unterschied zur Massenbilanz widerspiegeln Längenänderungen den Trend der klimatischen Verhältnisse über mehrere Jahre bis Jahrzehnte. Je grösser ein Gletscher ist, desto stärker verzögert sich die Auswirkung eines Klimatrends auf das Zungenende. Im vergangenen Jahr konnte bei 85 Gletschern

Grafik 1: Schneehöhenverlauf an der automatischen Station Bedretto Cavanna (2450 m) im Winter 2012/13 (schwarz). Im Vergleich dazu die mittleren (grün), maximalen (blau) und minimalen (rosa) Schneehöhen von 1997-2012.



Grafik 2: Nullgradgrenze von Oktober 2012 bis September 2013 in Payerne/FR. Schwarz: Langjähriges Mittel der Nullgradgrenze (1981-2010).



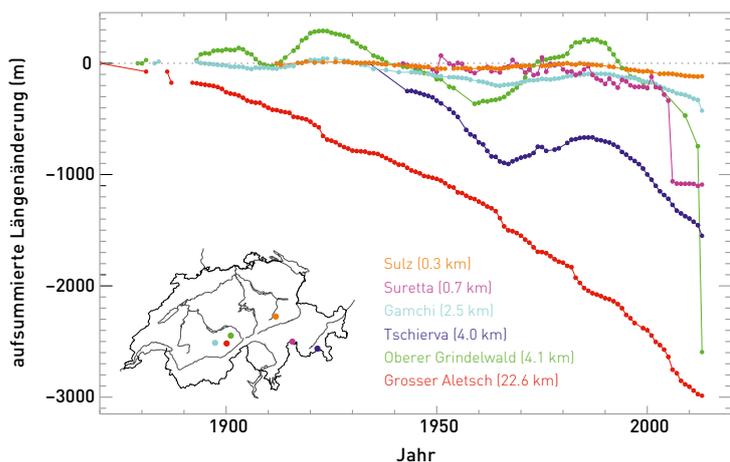
die Änderung bestimmt werden. Davon haben 66 Gletscher an Länge verloren, 8 veränderten ihre Position nicht, und 11 Gletscher verzeichneten einen geringen Vorstoss.

Bei mehreren Gletschern, insbesondere bei denjenigen im Tessin, blieben am Ende des Sommers Firnrücklagen an den Zungen bestehen. Diese behinderten die Messungen, weshalb weniger Gletscher als in den letzten Jahren üblich vermessen werden konnten. Zudem bewirkten diese Bedingungen auch eine grössere Zahl von stationären beziehungsweise leicht vorstossenden Zungen. Abgesehen von drei Ausnahmen reichen die Werte von einem Rückzug von jeweils knapp 100 Metern am Gamchigletscher/BE sowie am Vadret da Tschierva/GR bis zu einem Vorrücken von elf Metern am Surettagletscher/GR. Rund die Hälfte der Messwerte liegen zwischen -1 und -25 Metern (siehe Tabelle). Für eine Auswahl

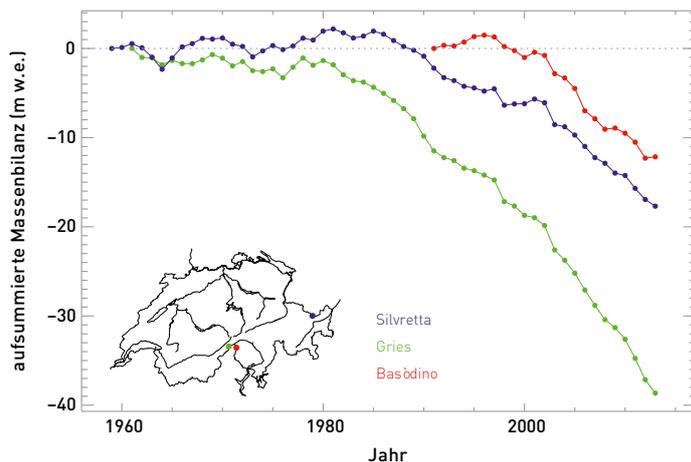
von Gletschern ist in Grafik 4 der langfristige und aufsummierte Verlauf der Längenänderung dargestellt.

Drei grosse Zungen trennen sich ab

Die drei Ausnahmen betreffen den Oberen und Unteren Grindelwaldgletscher sowie den Triftgletscher (alle BE). Ihr jeweils grosser Schwundwert steht im Zusammenhang mit ihrer Entwicklung über die letzten rund 20 Jahre. Wegen ausbleibenden Eisnachschiebs aus dem Firngebiet und starker Schmelze sind die Gletscher sukzessive dünner geworden. Im Jahr 2013 trennten sich der Triftgletscher und der Obere Grindelwaldgletscher nun in einer Steilstufe ab, während sich beim Unteren Grindelwaldgletscher ein grösserer Bereich der flachen und schuttbedeckten Zungen in einzelne Eiskörper aufgelöst hat. Das aktive Zungenende hat sich bei



Grafik 3: Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in m) für ausgewählte Gletscher. Die Daten zeigen unterschiedliches Reaktions- und Anpassungsverhalten auf das Klima.



Grafik 4: Massenbilanz der Gletscher Basòdino, Gries und Silvretta. Dargestellt ist die aufsummierte mittlere jährliche Massenbilanz in m Wasseräquivalenten.

Grössere Murgänge im Permafrost

Im letztjährigen Bericht wurde der grosse Felssturz aus der Nordostflanke des Piz Cengalo im Val Bondasca/GR erwähnt, aus dessen Ablagerungen sich im Sommer 2012 grössere Murgänge entwickelten, die Felssturzmaterial bis hinunter nach Bondo transportierten. In der Anrisszone werden weiterhin Bewegungen beobachtet, und im Herbst letzten Jahres ereignete sich ein weiterer Felssturz zwischen dem Bügeleisen und dem Piz Cengalo. Die zuständigen Behörden haben entsprechende Massnahmen ergriffen: So wird vom Begehen des Wegs zwischen den SAC-Hütten Sciora und Sasc Furà sowie vom Klettern am Bügeleisen abgeraten, eine Murgangüberwachung im Tal wurde installiert, und der Campingplatz in Bondo wurde verschoben. Die Anrisszone wird weiterhin von Behörden und Forschungsinstituten beobachtet.

Ebenfalls durch mehrere Murgänge aus dem Permafrostgebiet betroffen war im Juni 2013 das Dorf Herbruggen in der Gemeinde St. Niklaus im Mattertal. Hier standen während einiger Tage mehrere Bagger im Dauereinsatz, um die Gesschiebesammler nach einem Ereignis



Murgänge am Gugla/Bielenzug vom 17. Juni 2013. Gut sichtbar ist das Schmelzwasser, das durch den Permafrostkörper des Blockgletschers floss.
Foto: Reinald Delaloye

für weiteres herunterkommendes Material zu leeren. Die Bewohner wurden vorsichtshalber evakuiert. Die Murgänge lösten sich von der Stirn des Blockgletschers Gugla im Bielzug auf circa 2600 Metern über Meer und hatten Volumen von einigen 1000 Kubikmetern. Der Blockgletscher wird seit Längerem von der Universität Fribourg beobachtet und bewegt sich vor allem im vorderen Teil aufgrund der steilen Lage mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Jahr deutlich schneller als die im Rahmen von PERMOS beobachteten Blockgletscher. Die Geschwindigkeit hat

in den letzten Jahren ebenfalls zugenommen, und sehr viel Schutt- und Blockmaterial wird an die steile Stirn transportiert. Zu dieser Beschleunigung kam hinzu, dass die Schneedecke Anfang Juni noch überdurchschnittlich mächtig war und eine Hitzeperiode zu ausserordentlich starker Schneeschmelze führte. Das Schmelzwasser löste schliesslich die Murgänge aus. Nach einigen Tagen mit tieferen Temperaturen und dem Verschwinden des Schnees hat sich die Situation wieder beruhigt, und keine grösseren Schäden sind entstanden.

Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2012/13

Name /Kt.	Diff.	Name /Kt.	Diff.	Name /Kt.	Diff.	Name /Kt.	Diff.
Albigna/GR	-16	Gelten/BE	n	Palü/GR	-18	Trift (Gadmen)/BE	-971
Allalin/VS	-13	Giétro/VS	-12	Paneyrosse/VD	2	Tsanfleuron/VS	-15
Alpetli (Kanderfirn)/BE	-53	Glärnisch/GL	4	Paradies/GR	1	Tschierva/GR	-95
Ammerten/BE	-1	Gorner/VS	-30	Paradisino (Campo)/GR	-9	Tschingel/BE	-17
Arolla (Mont Collon)/VS	-4	Grand Désert/VS	n	Pizol/SG	-1	Tseudet/VS	-14
Basòdino/TI	n	Grand Plan Nèvé/VD	2	Plattalva/GL	-3	Tsidjiore Nouve/VS	-9
Bella Tola/VS	n	Gries/VS	-19	Porchabella/GR	-13	Turtmann/VS	-30
Biferten/GL	-13 ²	Griess/UR	n	Prapio/VD	0 ^{2s}	Unteraar/BE	n
Blüemlisalp/BE	-38	Griessen/OW	n	Punteglias/GR	5	Unterer Grindelwald/BE	-1005
Boveyre/VS	n	Grosser Aletsch/VS	-14	Rhone/VS	-31	Val Torta/TI	n
Breney/VS	-69	Hohlaub/VS	-2	Ried/VS	-82	Valleggia/TI	n
Bresciana/TI	n	Hüfi/UR	n	Roseg/GR	-31	Valsorey/VS	-20
Brunegg (Turtmann)/VS	-2 ²	Kaltwasser/VS	6	Rossboden/VS	x	Verstankla/GR	-13
Calderas/GR	-3	Kehlen/UR	-50	Rotfirn (Nord)/UR	-4	Vorab/GR	-24 ²
Cambrena/GR	-6	Kessjen/VS	0	Rätzli/BE	n	Wallenbur/UR	-13
Cavagnoli/TI	n	Lang/VS	-19	Saleina/VS	-33	Zinal/VS	-42
Cheillon/VS	-12	Lavaz/GR	-15	Sankt Anna/UR	-8		
Corbassière/VS	-22	Lenta/GR	-28	Sardona/SG	-20		
Corno/TI	x	Limmern/GL	-2	Scaletta/GR	0 ^s		
Croslina/TI	n	Lischana/GR	2	Schwarz/VS	x		
Damma/UR	-8	Lämmern/VS	-12	Schwarzberg/VS	-26		
Dungel/BE	n	Moiry/VS	-17	Seewjinen/VS	2		
Eiger/BE	-8	Moming/VS	-7	Sesvenna/GR	-7		
En Darrey/VS	x	Mont Durand/VS	-85	Sex Rouge/VD	1		
Fee/VS	5	Mont Fort (Tortin)/VS	3	Silvretta/GR	-24		
Ferpècle/VS	-26	Mont Miné/VS	-29	Stein/BE	-54		
Fiescher/VS	x	Morteratsch/GR	-22	Steinlimi/BE	x		
Findelen/VS	n	Mutt/VS	n	Sulz/GL	3		
Firnalpeli (Ost)/OW	s	Oberaar/BE	n	Suretta/GR	11		
Forno/GR	-21	Oberaletsch/VS	n	Tiatscha/GR	-43		
Gamchi/BE	-96	Oberer Grindelwald/BE	-1850	Tiefen/UR	-29		
Gauli/BE	-1	Otemma/VS	-18	Trient/VS	-17		

Abkürzungen

n = nicht beobachtet

x = Betrag nicht bestimmt

s = Gletscherzunge
schebedeckt

Y² = Die hochgestellte Zahl zeigt die Anzahl Jahre an, falls der Betrag für eine mehrjährige Zeitspanne gilt. Bsp: Biferten -13² = der Gletscher verlor in zwei Jahren 13 m.

allen drei Gletschern damit schlagartig um ein sehr grosses Stück nach hinten verschoben (siehe auch Kryosphärenbericht 2010/11, «Die Alpen» 10/2012).

Der Zeitpunkt einer solchen Abtrennung ist eher zufällig, und die Grösse der betroffenen Teile ist die Konsequenz aus der Witterung über Jahrzehnte. Die verzeichneten Vorstösse hingegen resultieren nicht aus einem grösseren Eisnachschub aus dem Firngebiet, sondern sind ein Ergebnis der oben beschriebenen Witterungsverhältnisse im Berichtsjahr, in welchem durch Firnanlagerungen am Zungenrand und geringere Schmelze am Zungenende positive Messwerte resultierten.

Früher Schnee tut dem Permafrost weh

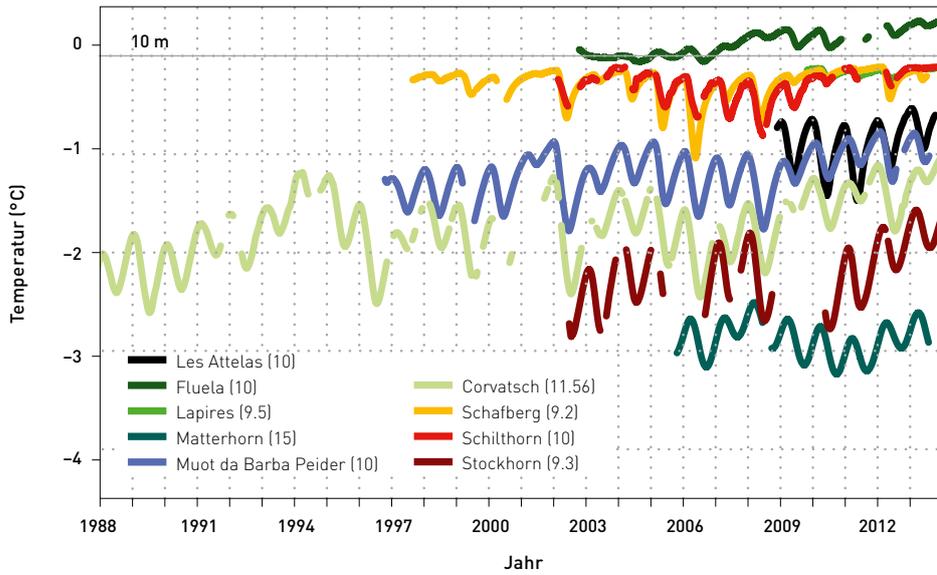
Die Messdaten aller Bereiche der Permafrostbeobachtung in der Schweiz durch PERMOS zeigen im Berichtsjahr 2012/13 für das fünfte Jahr in Folge äusserst warme Permafrostverhältnisse, obwohl die Unterschiede bei den Schnee- und Witterungsverhältnissen jeweils gross waren. Der frühe Schnee im Herbst 2012 und die dicke Schneedecke während der kalten Wintermonate 2013 isolierten den Untergrund und führten trotz sehr tiefen Lufttemperaturen zu einem «warmen» Winter an der Bodenoberfläche. Die späte Aus-

Kryosphärenmessnetze Schweiz

Die Beobachtung der Kryosphäre umfasst Gletscher, Schnee und Permafrost (www.cryosphere.ch).

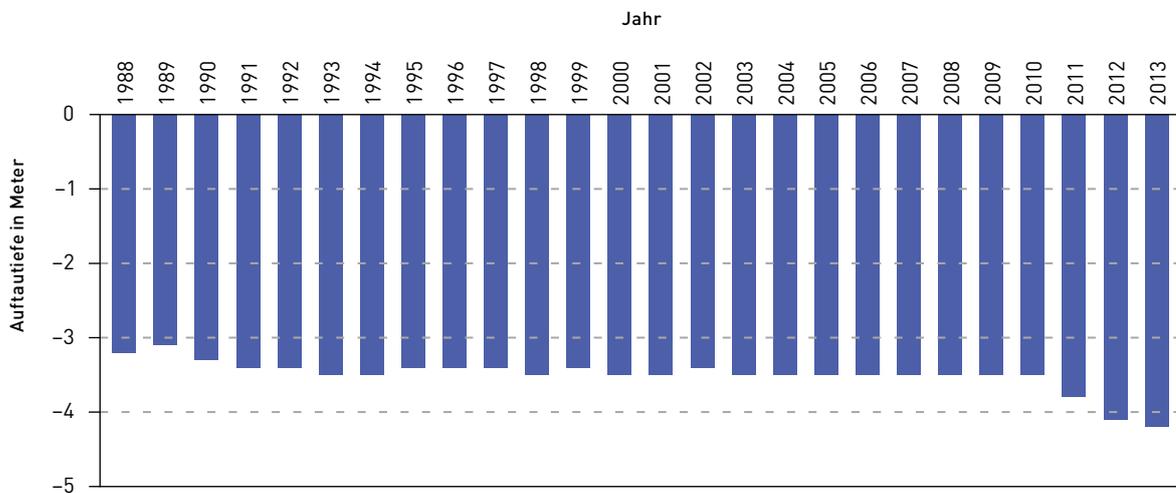
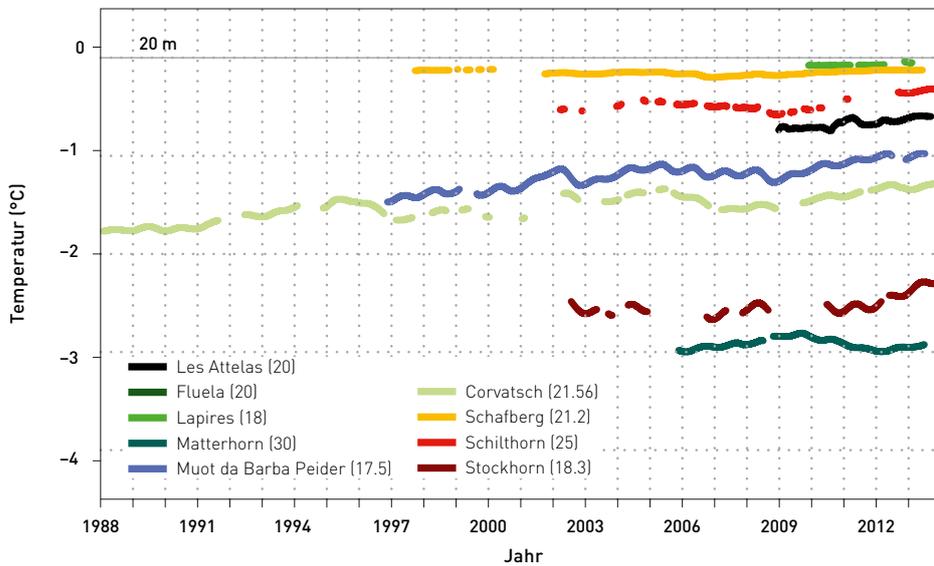
Die Beobachtungen und Messnetze koordiniert die Expertenkommission für Kryosphäre (EKK).

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). Das Permafrostnetzwerk wird von mehreren Hochschulen und dem SLF betrieben und umfasst 14 Bohrlochstandorte und 12 Standorte mit Bewegungsmessungen (www.permos.ch). Der Witterungsverlauf basiert auf den Berichten von MeteoSchweiz und des SLF.



Grafiken 5a (links), 5b (links unten):

Temperaturverlauf an den Standorten der Bohrlöcher im Permafrost. Links (5a) in etwa 9 bis 15 m Tiefe, unten (5b) in etwa 18-25 m Tiefe. Die exakte Messtiefe in Metern ist jeweils in der Klammer angegeben. Die Zahlen zeigen, dass sich der Permafrost auch in der Tiefe erwärmt.



Grafik 6:

Auftautiefen des Permafrostbodens am Bohrloch Corvatsch über 25 Jahre.

Bohrarbeiten auf dem Blockgletscher Murtèl am Corvatsch zur Installation des ersten Permafrostbohrlochs im Gebirge im Jahr 1987. Foto: Daniel Vonder Mühl



aperung und der kalte Frühling konnten dies nicht mehr kompensieren. Die Temperaturen lagen am Ende der Berichtsperiode wenig über dem Durchschnitt der letzten 15 Jahre. Dieser Zeitraum wird mittlerweile bei einigen Permafrostmessreihen abgedeckt. Die weltweit längste Zeitreihe im Gebirgspermafrost feierte 2012 ihr 25-Jahr-Jubiläum, und zwar jene in einem 60 Meter tiefen Bohrloch im Blockgletscher Murtèl nahe der Mittelstation Corvatsch (Grafik 5). Die in den letzten vier Jahren beobachtete Zunahme der Bohrlochtemperaturen in circa zehn Metern Tiefe hat sich auch im Berichtsjahr an den meisten Standorten weiter fortgesetzt, und an einigen Standorten sind die Temperaturen in den letzten zwei Jahren die höchsten bisher gemessenen (siehe Grafik 5a). So zeigte zum Beispiel die Reihe vom Corvatsch-Murtèl nur zu Beginn der 1990er-Jahre ähnlich hohe Temperaturen. An den weiteren Standorten waren vor allem die Wintertemperaturen in den letzten fünf Jahren überdurchschnittlich hoch und nur wenig unter dem Gefrierpunkt. In Tiefen von 20 Metern und mehr sind jahreszeitliche Schwankungen kaum noch sichtbar, und Trends werden aussagekräftiger (Grafik 5b). In dieser Tiefe ist an vielen Standorten ein Temperaturanstieg erkennbar, vor allem bei den kälteren Standorten, wo zusätzliche in den Boden eindringende Energie noch nicht für das Auftauen des Eises gebraucht wird.

Auftautiefen nehmen zu, der Eisgehalt nimmt ab

Auch die maximalen Auftautiefen des Sommers sind an fast allen der ausgewerteten Stationen in den letzten fünf Jahren kontinuierlich sehr gross, teilweise deutlich grösser als in den zehn Jahren zuvor. Am Corvatsch-Murtèl ist in den letzten drei Jahren erstmals eine Zunahme der Auftauschicht um einige Dezimeter erkennbar (Grafik 6). Der eisreiche Untergrund hat hier während langer Zeit die höheren Tem-

peraturen durch die für das Tauen des Eises benötigte Energie abgepuffert. Sogar im Hitzesommer 2003 wurde hier keine grössere Auftauschicht gemessen. Die Beobachtung der Veränderungen im Eisgehalt des Bodens mit geoelektrischen Methoden bestätigt diesen Trend, und die elektrischen Widerstände sind weiterhin unterdurchschnittlich. Vor allem am Schilthorn bei Mürren sind die Werte zum vierten Mal in Folge auf einem neuen Rekordtief. Die Widerstandsabnahme ist auf der ganzen Profiltiefe von circa zehn Metern markant. Dies zeigt einerseits nachhaltigen Eisschwund als Folge der grösseren Auftautiefen, andererseits einen steigenden Anteil an ungefrorenem Wasser im Permafrost als Folge der höheren Permafrosttemperaturen.

Die Geschwindigkeiten der beobachteten Blockgletscher haben gegenüber dem Vorjahr weiter zugenommen: von +4% für den Blockgletscher Aget bis zu +48% für den Blockgletscher Tsarmine. In der längerfristigen Entwicklung gibt es grosse Unterschiede zwischen den Standorten. Die Mehrheit der beobachteten Blockgletscher wurde mit der Zunahme der Oberflächentemperaturen seit 2006 kontinuierlich schneller. Ein zweiter Typ von Blockgletschern verlangsamte sich zuerst während zweier Jahre und wurde in den letzten beiden Jahren wieder schneller. Diese Unterschiede zeigen ein kompliziertes räumliches Muster, das noch weiter untersucht werden muss. Insbesondere die Frage nach dem Einfluss des Wassers auf die Blockgletscherbewegung ist noch zu klären.

→ Weitere Auskünfte

Gletscher: Andreas Bauder, VAW, ETH Zürich, bauder@vaw.baug.ethz.ch, 044 632 41 12

Schnee: Christoph Marty, SLF, marty@slf.ch, 081 417 01 68

Permafrost: Jeannette Nötzli, PERMOS, Universität Zürich, infopermos.ch, 044 635 52 24