



Die Schneebedeckung am 28.12.2015 war dürrtig, wie hier am Calanda (GR). Eine geschlossene Schneedecke ist erst über 2200 m anzutreffen. Bekannte Wintersportgebiete wie Grindelwald, das Obergoms, Andermatt, Airolo und Sedrun waren weitgehend schneefrei. Foto: Matthias Huss

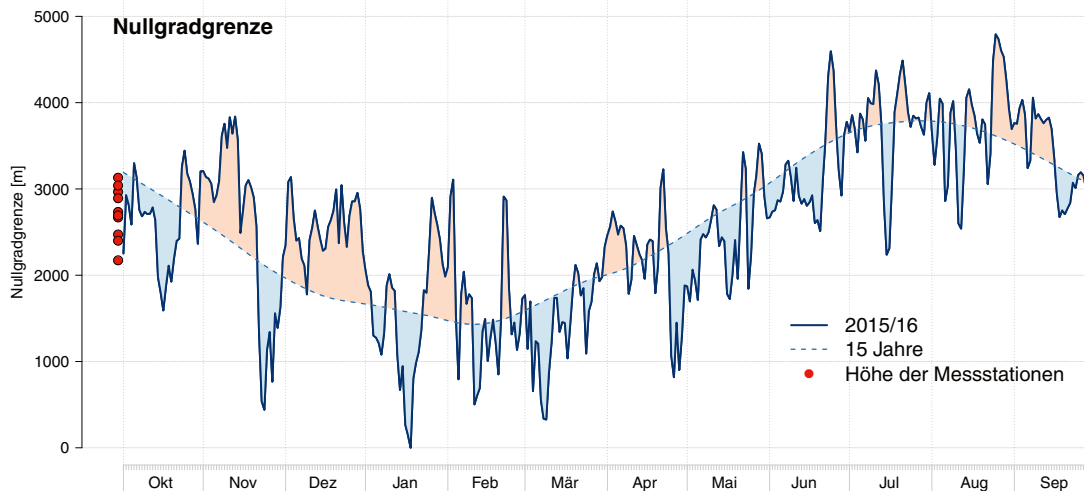
# Schnee, Gletscher und Permafrost 2015/16

Kryosphärenbericht für die Schweizer Alpen

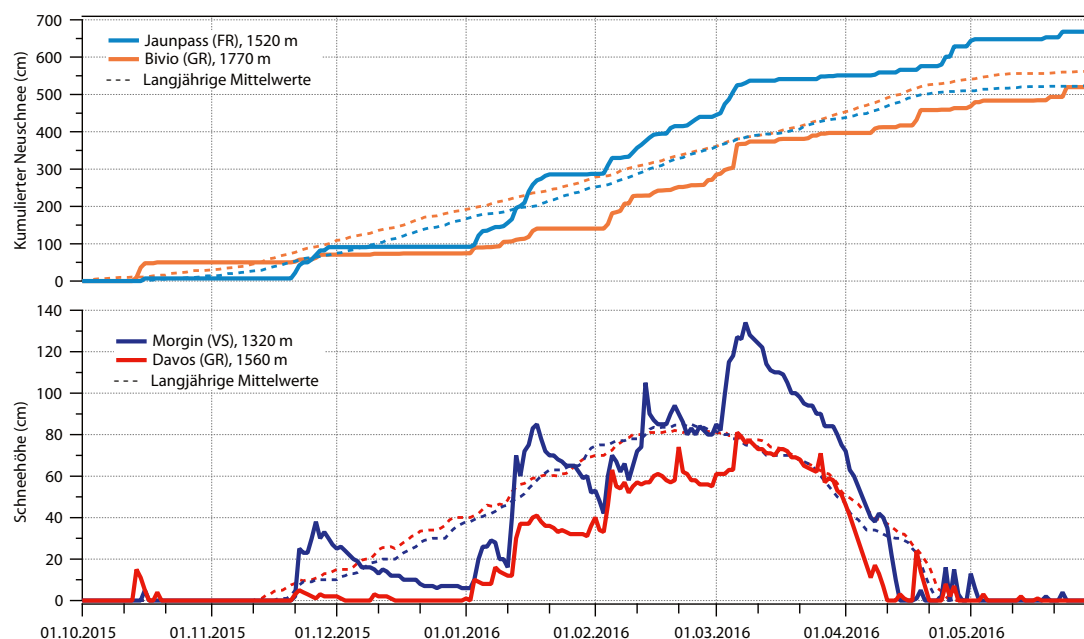
*Obwohl die Schneedecke im Hochgebirge lange liegen blieb, setzte der warme Spätsommer den Gletschern zu. Der Eisverlust entspricht dem jährlichen Trinkwasserverbrauch der Schweiz.*

Text: Matthias Huss, Andreas Bauder, Christoph Marty, Jeannette Nötzli

**Abb. 1:** Abweichung der Nullgradgrenze vom Mittelwert (2001–2016) zwischen Oktober 2015 und September 2016. Die rot eingefärbten Flächen illustrieren wärmere Phasen als im Durchschnitt und die blauen Flächen dementsprechend kältere Phasen. Die Lage der Nullgradgrenze wurde aus den Temperatur-Tagesmittelwerten von elf automatischen Stationen von SLF und MeteoSchweiz (rote Punkte) unter Annahme einer Temperaturänderung von 0,6 °C pro 100 Meter berechnet. Grafik: SLF



**Abb. 2:** Verlauf der kumulierten Neuschneesumme (oben) und der Schneehöhe (unten) im Vergleich zum langjährigen Mittel (gestrichelte Linien) an zwei Stationen im Westen (hellblau und blau: Jaunpass und Morgin) und zwei im Osten (orange und rot: Bivio und Davos), um die unterschiedliche Entwicklung der Schneedecke in der West- und der Ostschweiz im Verlauf des Winters 2015/16 aufzuzeigen. Grafik: SLF



## Witterung und Schnee

Im Frühwinter 2015/16 lag Ende Oktober nur an Nordhängen eine dünne Schneedecke. Zwei Wintereinbrüche läuteten in der vierten Novemberwoche dann zumindest im Norden und Westen den Winter ein. Im Süden und Osten blieb es trocken. Dadurch waren die Schneehöhen Anfang Dezember im Westen etwa durchschnittlich, im Süden und in Graubünden waren mittlere Höhenlagen aper. Auch darüber lag nur sehr wenig Schnee. Nach dem praktisch niederschlagslosen und rekordwarmen Dezember mit Temperaturüberschüssen von vier bis sechs Grad in den Bergen (Abb. 1) waren die südöstlichen Alpen bis weit hinauf schneefrei. Diese Schneearmut im Frühwinter war noch ausgeprägter als im vorangehenden Winter (2014/15). Auf weisse Weihnachten wartete man deshalb im Winter 2015/16 auch in vielen Berggebieten vergebens. Einige Orte in den Bündner Bergen, wie Bivio, Davos oder St. Antönien, präsentierten sich sogar erstmals seit Beginn der Beobachtungen an Neujahr im grünen Kleid. Dies

hing nicht nur mit den sehr hohen Temperaturen im Dezember, sondern auch mit der grossen Trockenheit zusammen (Abb. 2).

Erst Anfang Januar kam in den Bergen der Schnee. Klar im Vorteil in Bezug auf die Schneemengen war die Westschweiz. Dort hatte es im November schon genügend Schnee gegeben, sodass der Schneemangel im Dezember weniger ins Gewicht fiel. Im Westen wurde das Schneedefizit mit den ergiebigen Schneefällen schon im Laufe des Januars ausgeglichen, in der Zentral- und Ostschweiz nach mehrmaligen Regenfällen bis in hohe Lagen erst im März. Dieser Unterschied zwischen Westen und Osten hatte während des ganzen Winters Bestand (Abb. 2). Im Süden fiel erst im Februar ergiebig Schnee. Anfang März erlebte die Alpensüdseite einen Rekordschneefall von 20 Zentimetern in der Magadino-Ebene und 60 Zentimeter in San Bernardino. Trotzdem blieb das Schneedefizit im Tessin den ganzen Winter erhalten. Das Mittelland erlebte nur Mitte Januar eine kurze Periode mit Lufttemperaturen unter dem Ge-



Ein tiefblauer Gletschersee auf dem Glacier de la Plaine Morte (BE) Mitte August 2016. Zu diesem Zeitpunkt war der Gletscher noch komplett mit Winterschnee bedeckt. Foto: Matthias Huss

frierpunkt und schneebedecktem Boden über mehrere Tage. Von November bis April handelt es sich gemäss MeteoSchweiz um die zweitwärmste Periode nach 2006/07 seit Messbeginn im Jahr 1864.

### Viel Schnee im Hochgebirge bis in den Sommer

Der Winterausklang gestaltete sich wechselhaft. Nach frühlingshaften Verhältnissen Anfang April 2016 kehrte der Winter Mitte des Monats mit Schnee und Kälte nochmals zurück. Auch im Mai gab es im Norden und Osten weitere Schneefälle. So blieben die Schneehöhen oberhalb von 2500 Metern stabil, was für diesen Monat eher ungewöhnlich ist. Darunter nahm die Schneedecke hingegen deutlich ab. Die Winterschneedecke aperte in hohen Lagen ungefähr Anfang Juli aus. Das Messfeld auf dem Weissfluhjoch auf 2540 Metern war am 8. Juli schneefrei, was ungefähr dem durchschnittlichen Ausaperungsdatum der letzten 83 Jahre entspricht. Mittlere und hohe Lagen waren im Verlauf des Sommers nur an einzelnen Tagen von einer dünnen Schnee-

schicht bedeckt. Im vergletscherten Hochgebirge lag jedoch mit den wiederholten Schneefällen meist eine geschlossene Schneedecke oberhalb von 3200 bis 3600 Metern.

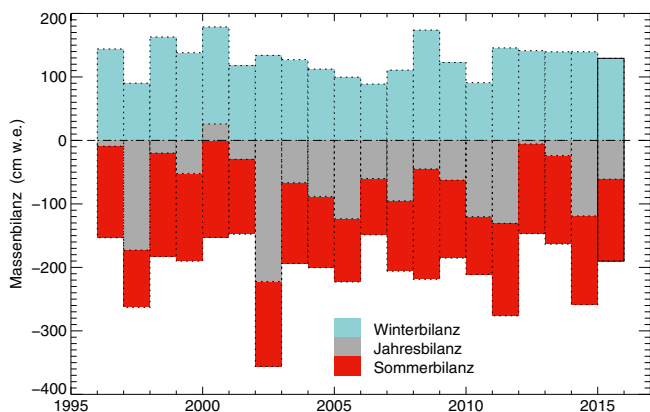
### Gletscher

In der vergangenen Messperiode ist die Bilanz zwischen Zuwachs durch Schnee und Verlust durch Schmelze für alle durch das Schweizer Gletschermessnetz GLAMOS untersuchten Gletscher negativ ausgefallen. Die geringsten Verluste wurden an Gletschern in den Waadtländer und den westlichen Berner Alpen, wie dem Glacier du Tsanfleuron und dem Glacier de la Plaine Morte, festgestellt. Sie haben jeweils nur rund 30 Zentimeter an mittlerer Eisdicke eingebüsst. Am meisten gelitten haben die Gletscher im Süden. So hat der Griesgletscher beim Nufenenpass gemittelt über die gesamte Fläche knapp 1,5 Meter an Eisdicke verloren. Die übrigen Messwerte von Gletschern in der Zentralschweiz und

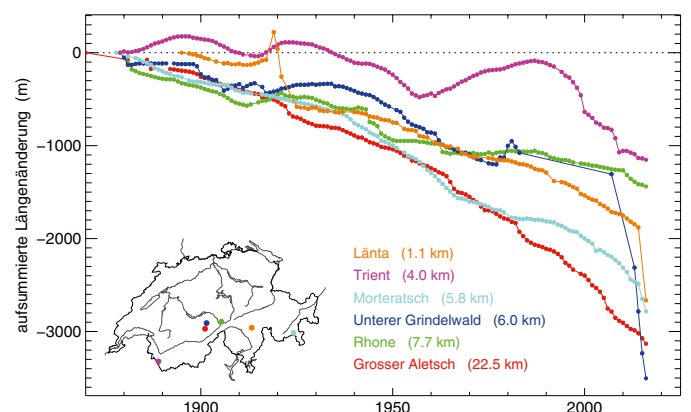




Die Zunge des Länggletschers im Jahr 2009 (links) und 2016 (rechts). In der Steilstufe ist die Verbindung zwischen den beiden Teilen des Gletschers komplett abgerissen. Fotos: Bernhard Riedi, AWN/GR



**Abb. 3:** Entwicklung der Schneemenge (Winterbilanz), der Schmelze während des Sommers (Sommerbilanz) und der Jahresbilanz über die letzten 20 Jahre. Dargestellt ist der Mittelwert der Gletscher Allalin/VS, Basòdino/TI, Findel/VS, Giétro/VS, Gries/VS, Rhone/VS und Silvretta/GR mit langen Messreihen (in Zentimetern Wasseräquivalent). Grafik: GLAMOS



**Abb. 4:** Aufsummierte jährliche Längenänderungen (in Metern) für ausgewählte Gletscher des Messnetzes mit unterschiedlichem Anpassungsverhalten hinsichtlich des Klimas. Grafik: GLAMOS

im Nordosten bewegten sich zwischen einem halben und gut einem Meter Dickenverlust (Abb. 3). Diese Unterschiede sind vor allem durch die Verteilung der Schneemengen im Hochgebirge während des Winters begründet. Im Vergleich zum Vorjahr haben sich allerdings die Vorzeichen umgekehrt – damals traten die grössten Verluste im Westen auf, während die südlich gelegenen Gletscher geringere Verluste verzeichneten.

Auf alle Gletscher der Schweiz hochgerechnet, ergibt sich ein Verlust von 900 Millionen Kubikmetern Eis, rund 1,5% des aktuell in der Schweiz vorhandenen Eisvolumens. Diese Wassermenge entspricht etwa dem jährlichen Trinkwasserverbrauch in der Schweiz. In der Messperiode 2015/16 fiel die Gletscherschmelze, verglichen mit den letzten zehn Jahren,

zwar etwa durchschnittlich aus – in Bezug auf die längerfristige Entwicklung seit Beginn der Messungen vor über 50 Jahren war der Sommer 2016 aber ein weiterer Tiefschlag für die Schweizer Gletscher. Grössere Verluste erlitten die Gletscher in den Extremjahren 2003, 2006, 2011 und 2015.

### Einige Gletscherzungen lösen sich auf

Im Unterschied zur Massenbilanz zeigen die Messungen der Längenänderung die Reaktion der Gletscher auf die langfristige Veränderung der klimatischen Verhältnisse. Je nach Grösse des Gletschers wirkt sich diese mit unterschiedlicher Verzögerung auf das Gletscherende aus. In der Messperiode 2015/16 büssten 82 Gletscher an Länge ein, während sieben Gletscherzungen ihre Zungenposition nicht veränderten und

## Längenänderung der Gletscher in den Schweizer Alpen 2015/16

Name/Kanton	Differenz	Name/Kanton	Differenz	Name/Kanton	Differenz	Name/Kanton	Differenz
Albigna/GR	x	Gauli/BE	n	Palü/GR	-16	Trift (Gadmen)/BE	-1
Allalin/VS	0	Gelten/BE	n	Paneyrosse/VD	-2	Tsanfleuron/VS	-14
Alpetli (Kanderfirn)/BE	n	Giétro/VS	-8	Paradies/GR	7	Tschierva/GR	-21
Ammerten/BE	-1	Glärnisch/GL	-11	Paradisino (Campo)/GR	x	Tschingel/BE	-2
Arolla (Mont Collon)/VS	-13	Gorner/VS	-61	Pizol/SG	0	Tseudet/VS	-2
Basòdino/TI	-10	Grand Désert/VS	-4	Plattalva/GL	-17	Tsidjiore Nouve/VS	-9
Biferten/GL	-9	Grand Plan Névé/VD	1	Porchabella/GR	-23	Turtmann/VS	-30
Blüemlisalp/BE	-18	Gries/VS	-23	Prapio/VD	-3	Unteraar/BE	n
Boveire/VS	-10	Griess/UR	-6	Punteglias/GR	-3	Unterer Grindelwald/BE	-270
Brenay/VS	-27	Griessen/OW	-4	Rhone/VS	-18	Val Torta/TI	n
Bresciana/TI	-9 <sup>2</sup>	Grosser Aletsch/VS	-59	Ried/VS	-40	Valleggia/TI	-9
Brunegg (Turtmann)/VS	-19	Hohlaub/VS	-13	Roseg/GR	-2	Valsorey/VS	-8
Brunni/UR	-1	Kaltwasser/VS	-26	Rossbode/VS	n	Verstankla/GR	-14
Calderas/GR	-7	Kehlen/UR	-10	Rotfirn (Nord)/UR	-20	Vorab/GR	-10
Cambrena/GR	-14	Lang/VS	17	Rätzli/BE	-6	Wallenbur/UR	-13
Cavagnoli/TI	-10	Lavaz/GR	0	Saleina/VS	-4	Zinal/VS	-8
Cheillon/VS	-7	Länta/GR	-787 <sup>2</sup>	Sankt Anna/UR	-13		
Chessjen/VS	-3	Limmeren/GL	-3	Sardona/SG	-8		
Corbassière/VS	-37	Lischana/GR	1	Scaletta/GR	x		
Corno/TI	-4	Lämmeren/VS	-8	Schwarz/VS	n		
Crosolina/TI	-2	Mittelaletsch/VS	n	Schwarzberg/VS	-28		
Damma/UR	-37	Moiry/VS	-28	Seewjinen/VS	-7		
Dungel/BE	n	Moming/VS	-20	Sesvenna/GR	-14		
Eiger/BE	-1	Mont Durand/VS	-27	Sex Rouge/VD	3		
En Darrey/VS	x	Mont Fort (Tortin)/VS	-14	Silvretta/GR	-17		
Fee/VS	-20	Mont Miné/VS	-14	Stein/BE	-29		
Ferpècle/VS	-79	Morteratsch/GR	-135	Steinlimi/BE	-42		
Fiescher/VS	x	Mutt/VS	x	Sulz/GL	-6		
Findelen/VS	-31	Oberaar/BE	n	Suretta/GR	0		
Firnalpeli (Ost)/OW	25 <sup>2</sup>	Oberaletsch/VS	x	Tiatscha/GR	-22		
Forno/GR	28	Oberer Grindelwald/BE	-42	Tiefen/UR	-23		
Gamchi/BE	-6	Otemma/VS	-77	Trient/VS	-15		

### Abkürzungen

n = nicht beobachtet

x = Betrag nicht bestimmt

s = Gletscherzunge  
schneebedeckt

Y<sup>2</sup> = Die hochgestellte Zahl zeigt die Anzahl Jahre an, falls der Betrag für eine mehrjährige Zeitspanne gilt. Bsp.: Länta -787<sup>2</sup> = Der Gletscher verlor in zwei Jahren 787 Meter.

bei fünf ein positiver Wert verzeichnet wurde (Abb. 4). Abgesehen von drei Ausnahmen reichen die Werte (siehe Tabelle) von einem Rückzug von 79 Metern am Glacier de Ferpècle/VS bis zu einem Vorrücken des Zungenrandes von 28 Metern am Vadrec del Forno/GR. Die Ausnahmen betreffen den Läntagletscher/GR, den Unteren Grindelwaldgletscher/BE und den Vadret da Morteratsch/GR. Die drei jeweils ausserordentlich grossen Schwundwerte sind die Folge einer langfristigen Entwicklung. Der starke Rückgang zeichnete sich schon über Jahre hinweg ab. Der Läntagletscher dünnte wegen des Ausbleibens von Eisnachschiebung aus dem Firngebiet zunehmend aus. In der Steilstufe oberhalb des bisherigen Zungenendes ist der Gletscher über die vergangenen Jahre bis auf ein schmales Band zusammengeschmolzen. Im Spätsommer 2015 ist die Verbindung schliesslich aufgebrochen und das aktive Zungenende des zusammenhängenden Gletschers hat sich schlagartig um eine grössere Distanz nach hinten verschoben. Analog verlief die Entwicklung auch auf den flachen Zungen des Unteren Grindelwaldgletschers und des Vadret da Morteratsch.

## Kryosphärenmessnetze Schweiz

Die Beobachtung der Kryosphäre umfasst Schnee, Gletscher und Permafrost ([www.cryosphere.swiss](http://www.cryosphere.swiss)). Die Expertenkommission für Kryosphärenmessnetze (EKK) koordiniert die Beobachtungen. 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 ([www.slf.ch](http://www.slf.ch)). Messungen an rund 120 Gletschern werden im Rahmen des Schweizer Gletschermessnetzes (GLAMOS) durch verschiedene Hochschulen, kantonale Forstämter sowie Kraftwerksgesellschaften und Privatpersonen erhoben ([www.glamos.ch](http://www.glamos.ch)). Das Schweizer Permafrostmessnetz (PERMOS) wird von mehreren Hochschulen und dem SLF betrieben und umfasst 28 Standorte mit Temperatur-, Geoelektrik- und/oder Bewegungsmessungen ([www.permos.ch](http://www.permos.ch)).





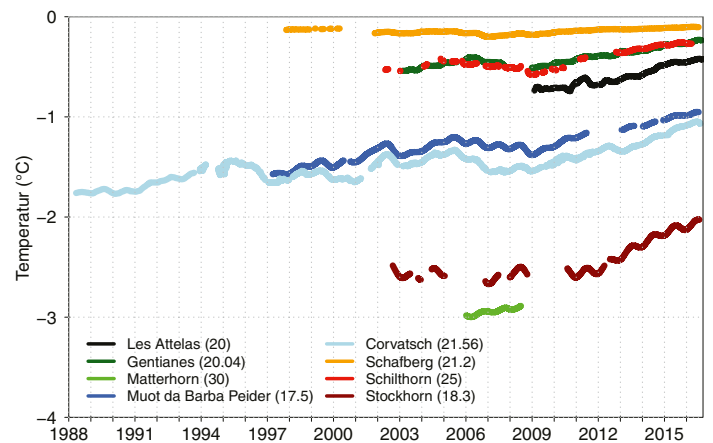
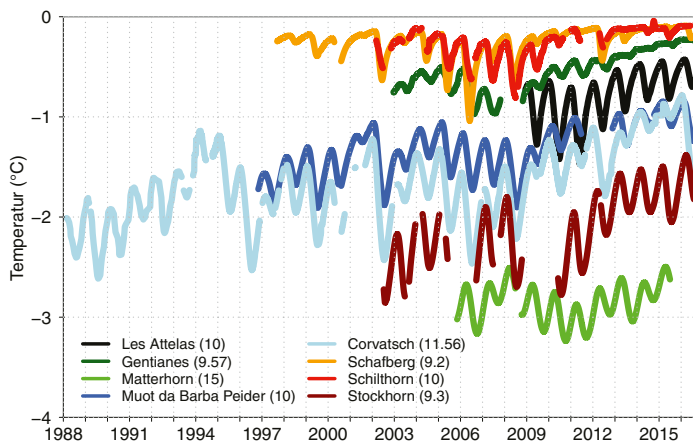
Felssturzablagerung [10 000-15 000 m<sup>3</sup>] vom 8. September 2016 am Fenêtre de Saleinaz (3350 m, Val Ferret, VS). Foto: Reynald Delaloye / Raphaël Mayoraz

Der fehlende Eisnachschub sowie auch die Schuttbedeckung der Gletscherzunge bewirkten ein unregelmässiges Zusammenschmelzen; die Eismasse löst sich kontinuierlich in verschiedene nicht mehr zusammenhängende Teile auf. Bei beiden Gletschern haben sich in den letzten Jahren deshalb wiederholt grössere Teile abgetrennt. Der Zeitpunkt grosser Veränderungen der Zungenposition ist eher zufällig. Die vereinzelt positiven Messwerte sind nicht das Resultat eines Gletschervorstosses aufgrund von mehr Eisnachschub, sondern lassen sich durch die lokalen Begebenheiten und Verhältnisse im Einzeljahr am Zungenende erklären, wie beispielsweise die Anlagerung von Altschnee oder eine Zunahme der Schuttbedeckung.

## Permafrost

Nach dem heissen Sommer 2015 waren die Temperaturen der Bodenoberfläche an den meisten Standorten höher als in den zehn Jahren zuvor, jedoch Ende 2016 wieder deutlich tiefer: Das späte Einschneien im Frühwinter 2015 war für

den Permafrost, im Gegensatz zum Wintersport, günstig. Ohne eine isolierende Schneedecke kann der Boden Wärme an die Luft abgeben und so an der Oberfläche auskühlen. Auch die späte Ausaperung aufgrund des feuchten und kühlen Frühsommers, speziell in den westlichen Schweizer Alpen, war für den Permafrost von Vorteil, da der Boden unter der Schneedecke vor den hohen Lufttemperaturen geschützt blieb. Insgesamt war die mittlere jährliche Temperatur an der Bodenoberfläche vergleichbar mit dem Mittelwert der letzten 15 Jahre und betrug ca. ein Grad weniger als 2015. Entsprechend der Schneevertelung zeigen sich auch hier deutliche regionale Unterschiede: In den trockensten Gebieten des Engadins und auf der Alpensüdseite war die winterliche Auskühlung besonders effizient, und die Temperaturen der Bodenoberfläche blieben unter dem Mittelwert. Im südwestlichen Wallis mit relativ frühem Schneefall und durchschnittlichen Schneehöhen waren die Oberflächentemperaturen hingegen weiterhin zu hoch. Steile Felswände, an denen kein Schnee liegen bleibt, sind deutlich zu warm geblieben, da sie ziemlich direkt der Entwicklung der Lufttemperatur folgen.



**Abb. 5:**

Temperaturverlauf in verschiedenen Bohrlöchern im Permafrost in den Schweizer Alpen. Links in etwa 10 Metern, rechts in etwa 20 Metern Tiefe. Die exakte Messtiefe (in Metern) ist jeweils in Klammern angegeben und abhängig von der Installation. Der Erwärmungstrend des Permafrosts in den letzten Jahren ist deutlich erkennbar. Grafik: PERMOS

### Neue Rekordtemperaturen im Untergrund

In 10 bis 20 Metern Tiefe wurden in Bohrlöchern an 16 Standorten in den Schweizer Alpen wie bereits in den letzten Jahren steigende Temperaturen gemessen. Dabei wurden neue Rekordwerte bei den 10- bis 25-jährigen Messreihen erreicht (Abb. 5). In diesen Tiefen reagieren die Temperaturen verzögert und zeigen die Schwankungen an der Bodenoberfläche stark gefiltert. Veränderungen der Permafrosttemperaturen sind deshalb nicht das Ergebnis eines einzelnen Messjahres, sondern sind von den vorangehenden Jahren und Jahrzehnten mitbeeinflusst – ähnlich wie die Längenänderungen der Gletscher (beim Schnee fehlt eine solche «Memory-Funktion» weitgehend).

Besonders markant ist die Erwärmung im sogenannt «kalten Permafrost». So ist zum Beispiel die Temperatur in 20 Metern Tiefe am Gipfel des Stockhorns (3400 m) bei Zermatt/VS von  $-2,6$  Grad im Oktober 2011 auf  $-2,0$  Grad im Oktober 2016 angestiegen. In derselben Zeitspanne hat sich der Untergrund am Nordhang der Pointe des Lapires (2500 m, Nendaz/VS) lediglich von  $-0,15$  Grad auf  $-0,08$  Grad erwärmt. Der Grund dafür ist, dass der Permafrost auch einen Anteil an flüssigem Wasser enthält, der mit der Erwärmung gegen null Gradzunimmt. Steigen die Temperaturen im Permafrost gegen den Schmelzpunkt an (sogenannt «warmer Permafrost»), wird zunehmend Energie für die Umwandlung von Eis zu Wasser gebraucht, die dann nicht für eine Temperaturerhöhung verfügbar ist.

### Blockgletscher bewegen sich schneller

Auch die nach wie vor sehr hohen Kriechgeschwindigkeiten der Blockgletscher zeigen für die Messperiode 2015/16 sehr

warme Verhältnisse im Untergrund an. Blockgletscher sind talwärts kriechende Schuttmassen und bestehen aus Gesteinsblöcken und Eis. Je höher die Temperatur des Eises ist, desto schneller bewegen sie sich. 2016 haben die Geschwindigkeiten im Vergleich zu den Rekordwerten vom Jahr 2015 etwa 10–20% abgenommen. Dennoch bewegen sich die meisten Blockgletscher um ein Mehrfaches schneller als vor 20 Jahren, das heisst mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Jahr.

### Weniger Felsstürze als im Hitzesommer 2015

Im Sommer 2016 wurden deutlich weniger Felsstürze beobachtet als in den Hitzesommern 2003 und 2015. Zwischen dem 8. September und Anfang Oktober ereigneten sich einige kleine bis mittelgrosse Felsstürze aus oberflächennahen Schichten, beispielsweise am Fenêtre de Saleinaz/VS. Die Ursachen liegen nebst dem aussergewöhnlich warmen Herbst auch in der Jahreszeit: Im September und Oktober ist die in den Alpen typischerweise einige Meter hohe Auftauschicht über dem Permafrost maximal tief, die Felsen sind also am wenigsten durch Eis «gekittet».

Die gemessenen Rekorde und Erwärmungstrends im Permafrost in den Schweizer Alpen sind das Ergebnis anhaltend warmer Bedingungen an der Bodenoberfläche während der letzten Jahre und Jahrzehnte. Der seit dem Beginn der Beobachtungen von PERMOS im Jahre 2000 gemessene Temperaturanstieg ist in der Tiefe deutlich stärker ausgeprägt als an der Bodenoberfläche. Der Permafrost ist also noch immer zu kalt in Bezug auf die heutigen Klimabedingungen.