

### Permafrost Monitoring Switzerland PERMOS

## Permafrost der Schweizer Alpen 2000–2002<sup>1</sup>

*Der Permafrost in den Schweizer Alpen wird erst seit rund 20 Jahren wissenschaftlich untersucht. Seit dem Jahr 2000 werden diese Beobachtungen im Rahmen von PERMOS gesamtschweizerisch koordiniert. Die Ergebnisse, die einen Indikator für Umweltveränderungen bilden, werden neu alternierend mit dem Gletscherbericht in den ALPEN dokumentiert. Bestimmend für die Temperatur und dadurch die Ausdehnung des Permafrosts sind die Schneeverhältnisse im Frühwinter und die Sommertemperaturen.*

Im Auftrag der Glaziologischen Kommission (GK) der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften (SANW) werden sowohl Gletscher als auch Permafrost systematisch beobachtet, dokumentiert und analysiert.<sup>2</sup> Im Januar 2000 genehmigte die GK das Konzept für ein «Permafrost Monitoring Switzerland – PERMOS».<sup>3</sup> Der vorliegende Bericht markiert den Beginn einer systematischen Zusammenstellung aktueller Messungen des Permafrosts in der Schweiz. Die Veränderungen des Permafrosts sind wie jene der Gletscher ein wichtiger Indikator für Umweltveränderungen. Anstelle des jährlichen Gletscherberichts werden künftig in den ALPEN alternierend Zweijahresberichte zum Thema Gletscher und Permafrost publiziert. Im Rahmen von PERMOS werden derzeit

**Mit zunehmender Tiefe steigen die Temperaturen. Die Permafrostmächtigkeit liegt zwischen 20 und mehr als 100 Metern (links). Die Auftauschicht beträgt im Sommer 3 bis 5 Meter (rechts).**

x-Achsen: Temperatur [°C]  
y-Achsen: Tiefe [m]

die Temperaturen einerseits in Permafrostbohrlöchern und andererseits an der Basis der hochwinterlichen Schneedecke sowie der Bodenoberfläche in Testgebieten erhoben. Dazu kommen periodisch Luftbildaufnahmen für Geländeinformationen.

### Witterung

Permafrost ist in erster Linie ein Bodentemperaturphänomen. Bildlich gesprochen entsteht er dort, wo der winterliche Bodenfrost im Sommer nicht vollständig auftaut. Es bleibt eine Schicht im Untergrund, die durch das ganze Jahr negative Temperaturen aufweist wie z. B. in der

- 1 Auszug aus dem 2. und 3. Bericht der Permafrost-Koordinationsgruppe der SANW und der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (GK/SANW)
- 2 Die PERMOS-Beobachtungen werden finanziell unterstützt durch die Glaziologische Kommission der SANW, die Eidgenössische Forstdirektion des BUWAL sowie das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG). Die Feldarbeiten werden von den Universitäten Basel, Bern, Fribourg, Lausanne und Zürich sowie der ETH Zürich und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos getragen. Ein besonderer Dank gilt Bernhard Krummenacher, Severin Schwab, Reynald Delaloye, Christophe Lambiel, Wilfried Haeblerli, Martin Hoelzle, Stephan Gruber, Catherine Stocker-Mittaz, Lukas Arenson, Sarah Springman, Martina Lutschg, Marcia Phillips, Thomas Stucki.
- 3 PERMOS ist im internationalen Rahmen einer der ersten Bausteine im Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P), das innerhalb des weltweiten Klimabeobachtungs-Programms (GCOS/GTOS) der WMO im Aufbau begriffen ist. Damit gibt die Schweiz mit der Lancierung von PERMOS einen wichtigen Impuls für die internationale Gebirgs- und Klimaforschung. Vgl. ALPEN 10/2002
- 4 Auszug aus Medienmitteilungen des Lawinenwarndienstes SLF Davos



**Der Blockgletscher im Val Sassa wurde bereits in den 1950er-Jahren untersucht. Er ist der längste seiner Art in den Schweizer Alpen.**

Eiger-Nordwand. Entscheidend für den Permafrost sind deshalb einerseits die Sommertemperaturen, andererseits – und fast wichtiger – die Schneeverhältnisse. Wegen der isolierenden Wirkung der Schneedecke sind insbesondere der Zeitpunkt des ersten grossen Schneefalls und die Schneemenge von Bedeutung.

### Schneeverhältnisse<sup>4</sup>

*Winter 2000/2001: viel Schnee im Süden, später Schnee im Norden*

Der Winter 2000/2001 war gekennzeichnet durch viele Südstaulagen. Da-

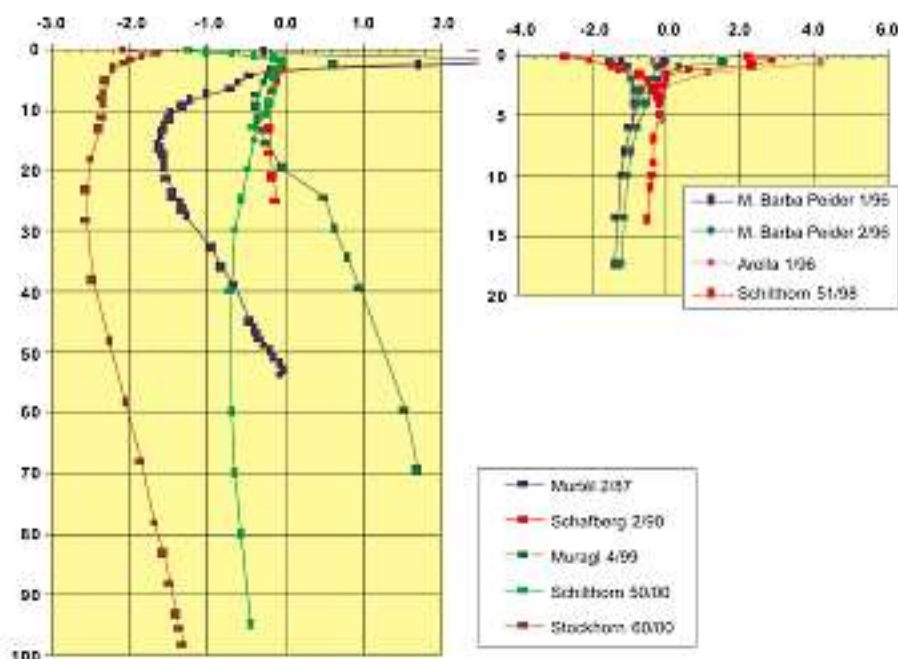




Foto: Christine Rothenbühler/Luftbild aus Segelflugzeug

durch fielen auf der Alpensüdseite bereits im Oktober beträchtliche Schneemengen. Von den Vispertälern bis ins Oberengadin lag Anfang Dezember bereits bis zu einem Meter Schnee. Hingegen gab es am Alpenhauptkamm und in Mittelbünden zur gleichen Zeit erst einen halben Meter Schnee, am Alpennordhang noch weniger. Die maximalen Schneehöhen betrugen im Vergleich zum langjährigen Mittel im Süden das Zwei- bis Vierfache, im Norden dagegen nur rund die Hälfte. Erst im April fielen dann am Alpennordhang die lang ersehnten ergiebigen Niederschläge aus Nordwesten und sorgten für hochwinterliche Verhältnisse. Die Schneehöhen stiegen darauf auch nördlich der Alpen über den langjährigen Mittelwert an.

*Winter 2001/2002: geringe Schneehöhen*

Unterdurchschnittliche Schneehöhen prägten den Winter 2001/2002, wobei Lagen unter 2000 m stärker betroffen waren. Nachdem im September und



## Titel der monatlichen Witterungsberichte der MeteoSchweiz Oktober 2000 bis September 2002

### 2000 Aussergewöhnlich warm, extreme Herbstregen im Süden und Wallis

|          |                                                                                |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Oktober  | Unwetterkatastrophe im Wallis, höchster Pegelstand des Lago Maggiore seit 1868 |
| November | Im Norden unbeständig, mild und föhnig, im Süden extrem nass                   |
| Dezember | Auf der Alpennordseite und im Wallis extrem mild und sehr niederschlagsarm     |

### 2001 In den Niederungen warm und recht sonnig, auf der Alpennordseite nass

|           |                                                                             |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Januar    | Mild und föhnig. Schneemangel am Alpennordhang, sonnenarm im Süden          |
| Februar   | Sehr mild in der ersten Monatshälfte, nebelarm in den Niederungen           |
| März      | Regnerisch und mild, nördlich der Alpen Rekordniederschläge                 |
| April     | Im Süden wechselhaft, im Norden nasskalt; Rückkehr des Spätwinters          |
| Mai       | Sonnig, trocken und extrem warm                                             |
| Juni      | Zuerst nass und kühl, sonnig und warm im letzten Monatsdrittel              |
| Juli      | Kühl und regnerisch um die Monatsmitte, Hochsommer im letzten Monatsdrittel |
| August    | Sehr warm, viel Sonne und auf der Alpennordseite mehrheitlich zu trocken    |
| September | Sehr kühl, auf der Alpennordseite ungewöhnlich trüb                         |
| Oktober   | Rekordwärme und im Norden viel Sonne, Trockenheit im Wallis                 |
| November  | Grosse Trockenheit auf der Alpensüdseite, frühwinterlich kalt im Norden     |
| Dezember  | Massiver Kälteeinbruch, extreme Trockenheit auf der Alpensüdseite           |

### 2002 Sehr warm und nass, extreme Niederschläge im Süden und in Graubünden

|           |                                                                                   |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Januar    | Erst kleine Seegfröni, dann sehr warm, Alpensüdseite extrem trocken               |
| Februar   | Extrem mild, im Norden wechselhaft und windig, im Süden sonnig                    |
| März      | Sehr mild und viel Sonne, Trockenheit im Süden                                    |
| April     | Mild, im Norden sonnig und im Westen und Süden sehr trocken                       |
| Mai       | Wechselhaft und nass, extreme Regenfälle im Süden und im Urnerland                |
| Juni      | Sonnig, extrem warm, Rekord-Hitzeperiode                                          |
| Juli      | Sehr wechselhaft, gebietsweise grosse Regenfälle zur Monatsmitte                  |
| August    | Wechselhaft, verbreitet überdurchschnittliche Regenmengen, lokal heftige Unwetter |
| September | Kühl, sonnenarm, viel Regen in der Deutschschweiz, extremer Wintereinbruch        |

Quelle: MeteoSchweiz

## Elemente von PERMOS in der ersten Pilotphase 2000–2003

### Bohrungen

| Ort, Bezeichnung der Bohrung | Region                      | Tiefster Temperaturfühler [m] | Jahr |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|
| Murtèl-Corvatsch 2/87*       | Oberengadin, GR             | 58,0                          | 1987 |
| Schafberg-Pontresina 2/90    | Oberengadin, GR             | 33,2                          | 1990 |
| Jungfraujoch N, S/95         | Berner Oberland, BE         | 11,0                          | 1995 |
| Emshorn                      | Oberems, VS                 | 6,4                           | 1996 |
| Arolla, Mt. Dolin            | Val d'Herens, VS            | 5,5                           | 1996 |
| Muot da Barba Peider 1, 2/96 | Pontresina, GR              | 17,5                          | 1996 |
| Randa Wisse-Schijen          | Mattertal, VS               | 9,9                           | 1998 |
| Lapires                      | Val de Nendaz, VS           | 19,6                          | 1998 |
| Schilthorn 51/98             | Mürren, BE                  | 13,7                          | 1998 |
| Muragl 1, 2, 3, 4/99         | Val Muragl, Oberengadin, GR | 69,6                          | 1999 |
| Schilthorn 50, 52/00         | Mürren, BE                  | 95,0                          | 2000 |
| Stockhorn 61/00              | Zermatt, VS                 | 98,3                          | 2000 |

### Gebiete mit Bodentemperaturmessungen

| Ort                  | Region                                |
|----------------------|---------------------------------------|
| Furggentälti         | Gemmipass, BE                         |
| Alpage de Mille      | Bruson, Val de Bagne, VS              |
| Challand             | Bourg St. Pierre, Val d'Entremont, VS |
| Lapires              | Val de Nendaz, VS                     |
| Muragl               | Val Muragl, Oberengadin, GR           |
| Murtèl-Corvatsch     | Oberengadin, GR                       |
| Réchy                | Val de Réchy, VS                      |
| Schafberg-Pontresina | Oberengadin, GR                       |
| Schilthorn           | Berner Oberland, BE                   |
| Yettes Condja        | Val de Nendaz, VS                     |

\* Diese Ziffern bedeuten, dass Bohrloch Nr. 2 auf Murtèl-Corvatsch im Jahr 1987 gebohrt wurde.

Während der Pilotphase baut PERMOS auf bestehenden Permafrost-Bohrungen (Dreiecke) und Versuchsfeldern für Bodentemperaturen (Trapeze) auf. Die Bohrungen wurden im Rah-

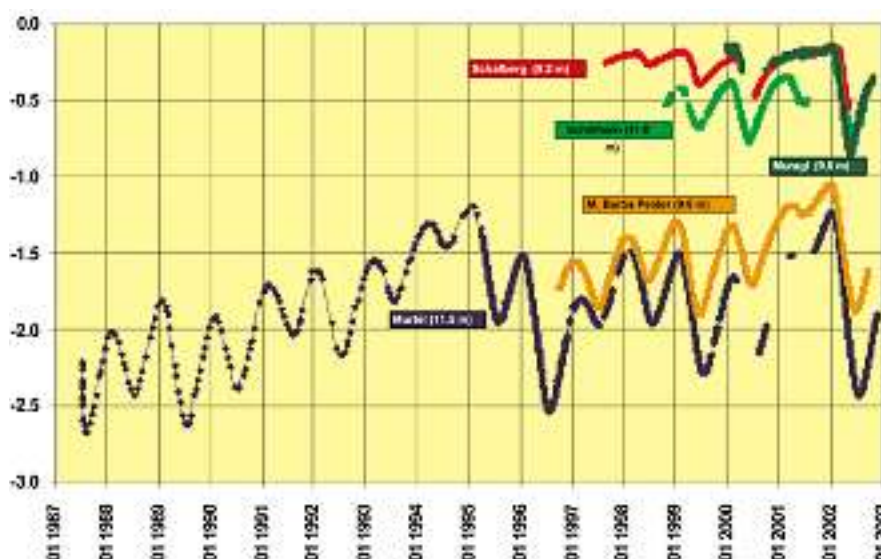
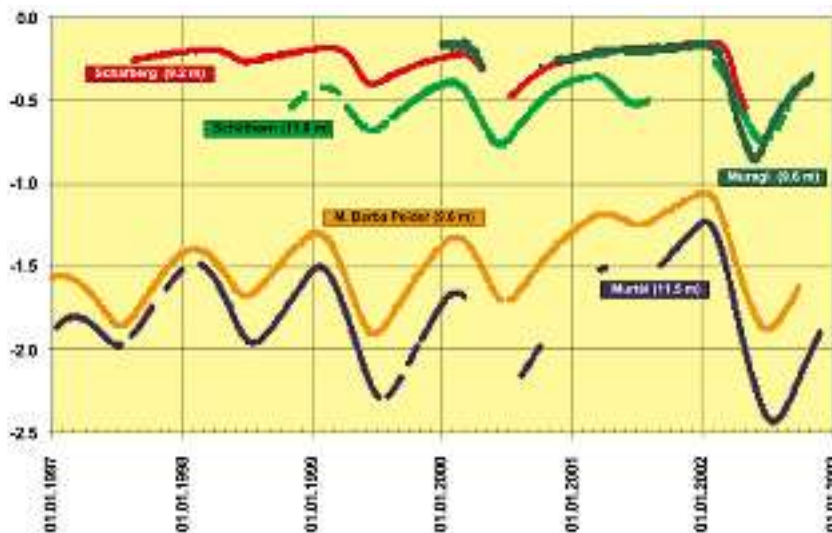
men von Forschungsprojekten verschiedener Institutionen erstellt. Dementsprechend liegen alle PERMOS-Elemente im Oberengadin, im Wallis und im Berner Oberland.

In 10 Metern Tiefe beobachtet man eine zeitliche Verzögerung der Temperatur von rund einem halben Jahr. Der Erwärmungstrend seit 1997 wurde durch den im Süden schneearmen Winter 2001/2002 unterbrochen.

y-Achsen: Temperatur [°C]



Damit der gefrorene Zustand erhalten bleibt, wird bei Bohrungen in eishaltigem Permafrost zur Kühlung kalte, getrocknete Luft eingesetzt.



Die längste Temperaturreihe Murtel-Corvatsch erlaubt eine Einordnung in den letzten 15 Jahren. Die Temperaturen zwischen 2000 und 2002 lagen dank des kalten Winters

2001/2002 nur knapp über dem Mittel der gesamten Beobachtungsperiode.

y-Achsen: Temperatur [°C]

Oktober in den Hochlagen bereits Schnee gefallen war, schneite es am 9. November auch unterhalb 1000 m. Ende November fiel nochmals Schnee. Ein folgender Temperaturanstieg führte zu Regen bis in grosse Höhen. Gegen Ende Jahr schneite es dann bei stürmischen Westwinden oberhalb von etwa 2000 m rund einen Meter. Ende Januar lagen die Schneehöhen in allen Regionen deutlich unter dem langjährigen Mittelwert. Erst im Februar kamen die lang ersehnten Niederschläge und setzten sich im März und im April fort. In der ersten Maiwoche fielen am Alpensüdhang und Engadin oberhalb rund 2000 m nochmals beträchtliche Schneemengen.

## Sommertemperaturen

*Sommer 2001: wärmer als der Durchschnitt*

Ein extrem warmer Mai, eine überaus kühle erste Junihälfte und ein sehr warmes letztes Junimonatsdrittel prägten die erste Sommerhälfte. Auch die Julitemperaturen lagen über dem langjährigen Durchschnitt. Der August war in allen Gebieten rund 2 °C wärmer als die durchschnittlichen Temperaturen. Der Monatswechsel brachte deutlich kühlere und unterdurchschnittliche Temperaturen für fast den ganzen September mit sich.

*Sommer 2002: Hitzeperiode im Juni*

Auf einen überdurchschnittlich warmen Mai, abgesehen von der Westschweiz, dem Wallis und den Tälern der Alpensüdseite mit beinahe durchschnitt-

lichen Temperaturen, folgte in der zweiten Junihälfte eine 10-tägige Hitzeperiode. Die wechselhafte Witterung im Juli brachte insgesamt beinahe normale Temperaturen, und auch die Augusttemperaturen wichen nur unwesentlich positiv vom Mittel der Jahre 1961–1990 ab. Der September war in den meisten Gebieten etwas kühler als normal, insbesondere in den Alpen. Grund dafür war ein massiver Kälteeinbruch mit Schneefall bis auf 600 m hinunter.

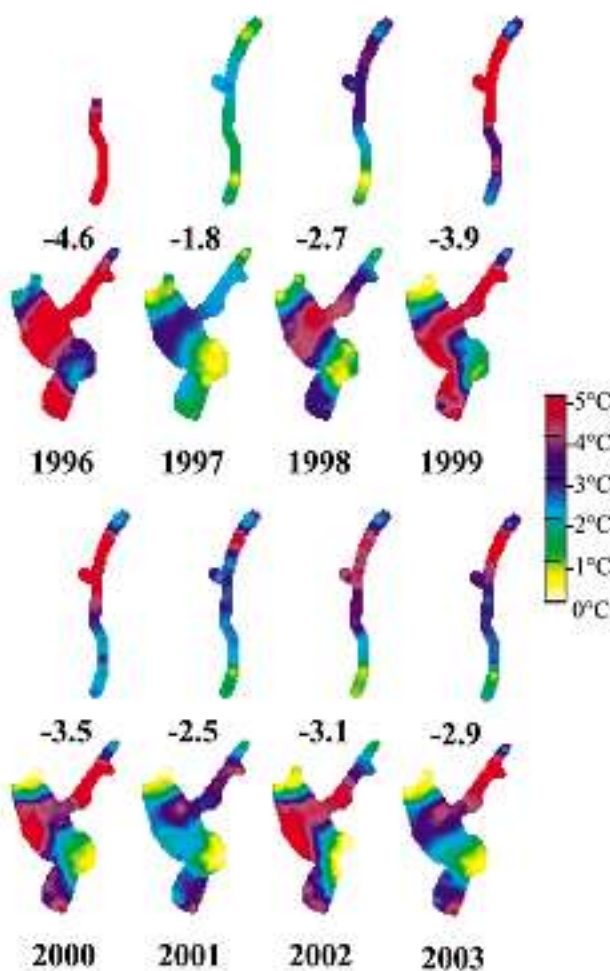
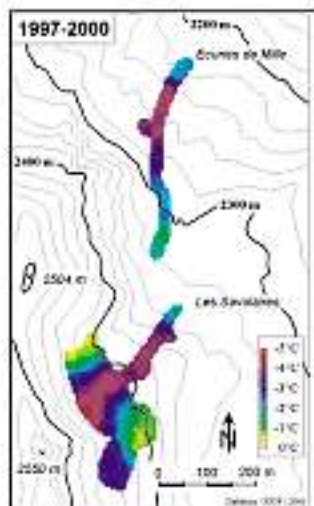
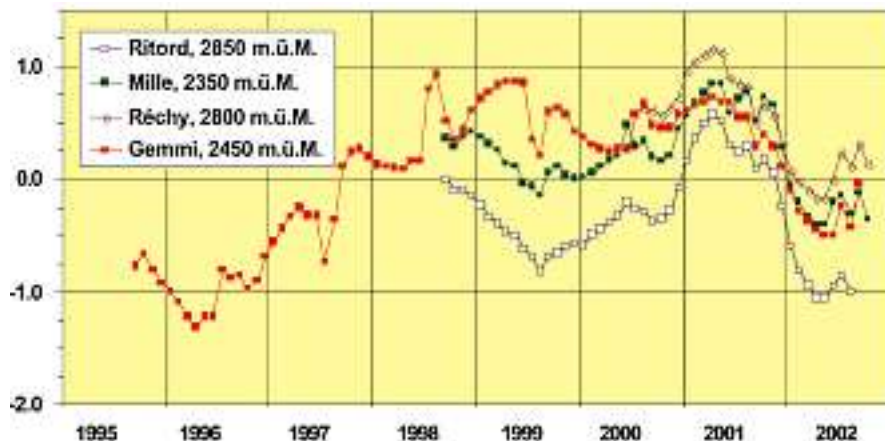
## Permafrosttemperaturen von ausgewählten Bohrungen

Die Mächtigkeit des Permafrosts in den Schweizer Alpen ist variabel und reicht von wenigen Metern bis zu mehreren 100 Metern. In den PERMOS-Bohrungen beträgt die Mächtigkeit zwischen

Entwicklung der mittleren jährlichen Bodenoberflächentemperatur (MAGST, Mean Annual Ground Surface Temperature) von 1995 bis 2002. Die dargestellten Werte wurden jeweils als arithmetisches Mittel der 12 vorangegangenen Monate berechnet. Es fällt auf, dass die Temperaturen der Messstation Gemmi Mitte der Neunzigerjahre rund ein halbes Grad Celsius tiefer lagen als in den letzten

Jahren. Der Verlauf der Temperaturkurven zeigt für die verschiedenen Gebiete im südlichen Wallis und im Furggentäli (Gemmi) einen sehr ähnlichen Verlauf mit interessanten Parallelen, die im Rahmen der PERMOS-Pilotphase zurzeit noch analysiert und interpretiert werden.

y-Achsen: MAGST [°C]



Auf der Alpaga de Mille werden seit 1996 jeweils um den 10. März an denselben Punkten BTS-Messungen durchgeführt (oben links). Der Mittelwert

aller Messungen schwankt jeweils von einem Jahr zum nächsten, das Muster der relativen Temperaturverteilung bleibt jedoch einigermaßen erhalten (rechts). Die Schnee-

verhältnisse insbesondere zu Beginn des Winters spielen dabei eine wichtige Rolle (unten links: SLF-Station Boveire. © SLF Davos).

20 bis zu über 100 Meter. In den Gebieten nahe der Permafrostuntergrenze sind die Bodentemperaturen nur knapp unter 0 °C. Zum Vergleich der Permafrosttemperaturen wird die Entwicklung in rund 10 m Tiefe an sechs PERMOS-Standorten mit Bohrlöchern herangezogen.

Diese Tiefe eignet sich besonders gut, da die kurzzeitigen Schwankungen weitgehend herausgefiltert sind. Die Sommerwärme braucht rund ein halbes Jahr, bis sie – auf Grund der Wärmeleitung – die Beobachtungstiefe erreicht hat, was als Phasenverschiebung von sechs Monaten bezeichnet wird.

Je näher die Permafrosttemperaturen bei 0 °C liegen, desto grösser ist – trotz

der negativen Werte – der Anteil ungefrorenen Wassers. Veränderungen der Energie äussern sich dann nicht nur in einer Temperaturveränderung, sondern auch in einer Umwandlung von Eis in Wasser bzw. umgekehrt. Dadurch fallen die beobachteten Temperaturveränderungen nahe bei 0 °C geringer aus. Bei tiefen Permafrosttemperaturen sind in

der Regel die Schwankungen zwischen Sommer- und Wintertemperatur grösser.

Der Winter 2000/2001 verschob an allen Standorten das Temperaturminimum, das im Sommer 2001 in 10 m Tiefe anzutreffen war, gegen weniger kalte Werte. In den Bohrlöchern im Engadin lag das Minimum teils gar über dem Maximum des Sommers 1999. Die Unterschiede der Extremwerte – Sommer 2001 und Winter 2001/2002 – waren an den Standorten im Engadin ausgesprochen gross. Dies erklärt sich mit dem schneearmen und damit aus Sicht des

Permafrosts kalten Winter. Dadurch wurde der seit 1997 zu beobachtende Trend von zunehmend wärmeren Jahresmitteltemperaturen durchbrochen. Die Temperaturen der längsten Beobachtungsreihe Murtèl-Corvatsch lagen zwischen 2000 und 2002 jedoch nach wie vor im wärmeren Bereich der in den letzten 15 Jahre beobachteten Werte.

### **Veränderung der Bodentemperatur in ausgewählten Gebieten**

Die Basistemperatur der Schneedecke, abgekürzt BTS, ist gegen Ende des Winters unter einer mindestens 80 cm dicken Schneedecke beinahe konstant. Ausserhalb von Permafrostgebieten liegt sie in der Regel zwischen 0 und  $-2^{\circ}\text{C}$ . Liegt der BTS-Wert deutlich unter  $-3^{\circ}\text{C}$ , ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass im Untergrund Permafrost vorhanden ist. Die BTS-Messungen werden im März

oder April mit einer Stange durchgeführt, bei der in der Spitze ein Temperaturfühler eingebaut ist. Weil die BTS-Werte nur eine Momentaufnahme der Temperaturentwicklung sind, werden seit einigen Jahren autonome Mini-Temperatur-Datenlogger, so genannte Universal Temperatur Logger 1, UTL-1<sup>5</sup>, eingesetzt. Diese programmierbaren Temperaturmessgeräte können die BTS-Werte kontinuierlich aufzeichnen. Ausserdem kann dadurch der Temperaturverlauf an der Bodenoberfläche das ganze Jahr über registriert werden. Diese Bodenoberflächentemperatur, abgekürzt BOT, stellt in der Langzeitbeobachtung von Permafrostgebieten eine wichtige Messgrösse dar, da neben der BTS auch

5 Vgl. [www.utl.ch](http://www.utl.ch)

**Wenn eisreicher Permafrost taut, entstehen Senken, die Thermokarst genannt werden. Das Bild zeigt das Phänomen Thermokarst in einer Moräne beim Lac de Fully/VS.**





**Luftaufnahme der Seenplatte Macun, die seit 2000 zum Nationalpark gehört. Die Fliessstrukturen des Blockgletschers sind besonders gut**

**erkennbar, weil die noch im August vorhandenen Schneefelder durch die unterschiedliche Ausaperung optisch hervorgehoben werden.**

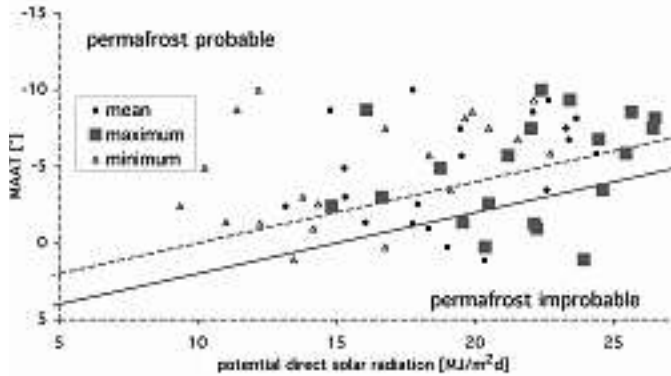


**Der Blockgletscher Murtèl-Corvatsch ist einer der weltweit bestuntersuchten Blockgletscher. Neben klimatologischen und geophysikalischen Messungen wurden in den Jahren 1971, 1987 und 2000 insgesamt fünf bis zu 65 m tiefe Bohrungen zu wissenschaftlichen Zwecken abgeteuft.**



**Beziehung zwischen potenzieller direkter Einstrahlung (x-Achse) und mittlerer jährlicher Lufttemperatur (MAAT; y-Achse). Es ist mit Permafrost zu rechnen, wenn beispielsweise bei einer Jahresmittel-**

**temperatur von 0 °C die Einstrahlungsenergie bloss 10 MJ/m<sup>2</sup> beträgt. Bei einer potenziellen Sonnenstrahlung von 20 MJ/m<sup>2</sup> muss die Jahrestemperatur rund -3 °C betragen, damit mit Permafrost gerechnet werden kann.**



Modell: Physische Geographie der Uni Zürich

die schneefreie Zeitdauer erfasst und indirekt ein Mass für die «Aufwärmung» des Untergrundes im Sommer gewonnen werden kann. Seit einigen Jahren werden entsprechende Messungen in zehn Testgebieten vorgenommen wie etwa auf der Alpage de Mille, wo seit 1996 jeweils um den 10. März an denselben Punkten BTS-Messungen durchgeführt werden. Diese zeigen, dass sich von Jahr zu Jahr die Temperatur ändert, das Verteilungsmuster jedoch weitgehend gleich bleibt.

### PERMOS-Pilotphase

Die ersten Messungen in der PERMOS-Pilotphase unterstreichen die Bedeutung eines entsprechenden Messnetzes. Mit jedem zusätzlichen Jahr können die erhobenen Daten in einem grösseren Kontext beurteilt und interpretiert werden. PERMOS wird in einer zweiten Pilotphase 2004 und 2005 die Methodik der BTS-/BOT-Messungen verfeinern, indem in schneefreien Felswänden ergänzende Temperaturmessungen durchgeführt werden.

### Permafrost in Felsflanken

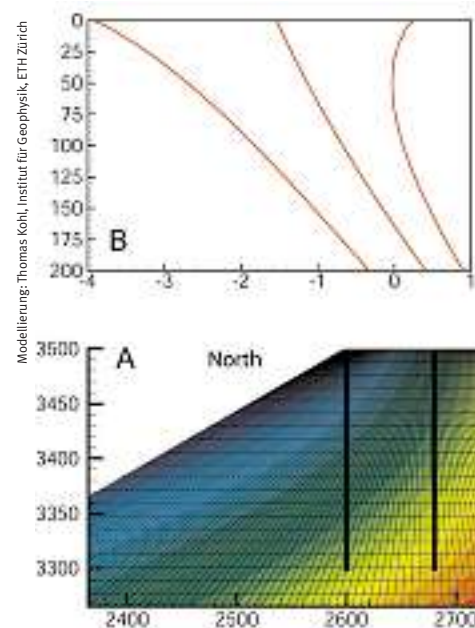
Welche steilen Bergflanken dauernd gefroren sind, kann heute ziemlich realistisch mithilfe von Modellen gezeigt werden. Wo die Temperaturen nur knapp unterhalb des Gefrierpunktes liegen, kommen Eis, Fels und Wasser nebeneinander vor. Laborversuche zeigen, dass unter diesen Bedingungen die Stabilität

der Felsmassen geringer und die Absturzgefahr grösser werden. Tatsächlich haben in den Alpen während der letzten rund 100 Jahre besonders viele Sturzereignisse aus solchen Partien mit «warmem Permafrost» ihren Anfang genommen. Eine entsprechende Zone auffälliger Instabilität befindet sich zurzeit in der Ostwand des Monte Rosa. Temperaturmessungen in Permafrostbohrlöchern deuten darauf hin, dass die Felstemperaturen in den letzten Jahrzehnten ähnlich wie die Lufttemperaturen zugenommen haben und dass diese thermische Störung bereits rund 50 Meter tief ins Bergesinnere vorgedrungen ist. Die komplizierte Geometrie von Berggipfeln und ihr oft stark asymmetrisches Temperaturfeld machen die Interpretation der gemessenen Bohrlochtemperaturen jedoch viel schwieriger als im Flachland. Mit Miniatur-Dataloggern (UTL-1) werden in ausgewählten Felswänden Oberflächentemperaturen gemessen, um in Zukunft die Rechenmodelle zu verbessern. ▀

Daniel Vonder Mühll, *Delegierter für Permafrost, Glaziologische Kommission, Universitäten Basel und Zürich*

Der KAMAX-Helikopter mit einem Doppelrotor kann selbst auf 3000 m bis zu 2 Tonnen transportieren. Für die 100 m tiefen Permafrost-Bohrungen auf dem Schilthorn fliegt er Bohrgerät und Kompressor zur Bohrstelle. Im Hintergrund ist die Schwalmere erkennbar. Aufnahme August 2000

Modell: Physische Geographie der Uni Zürich



Modellierung: Thomas Kohl, Institut für Geophysik, ETH Zürich

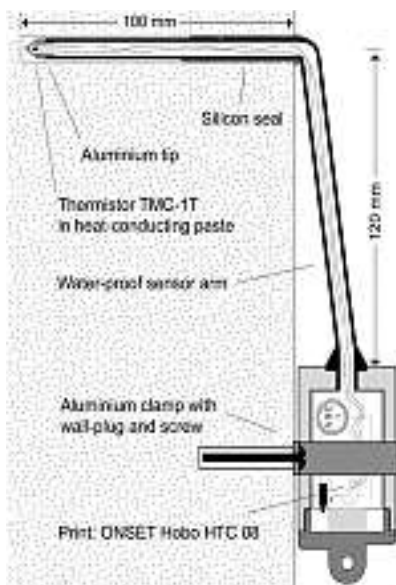
Die Messungen im Gelände werden durch numerische Modellierungen ergänzt. Das Temperaturfeld im Berginnern und somit auch die Temperaturverteilung entlang eines Bohrlochs hängen insbesondere von den Oberflächentemperaturen ab.





< Blick auf Dom, Täschhorn, Alphubel und Allalinhorn (von L.) in einem Computermode-  
 ll, bestehend aus digitalem Höhenmodell und einem darüber gelegten Satellitenbild. In Blau (wahrscheinlich) und Violett (möglich) ist die auf Grund des nebenstehenden Modells berechnete Permafrostverbreitung dargestellt.

> Die Felstemperaturen werden mit einem Sensor in 10 cm Tiefe gemessen (oben). Die Daten werden in regelmässigen Abständen, beispielsweise jede Stunde, im darunter am Fels befestigten Minicomputer elektronisch gespeichert.



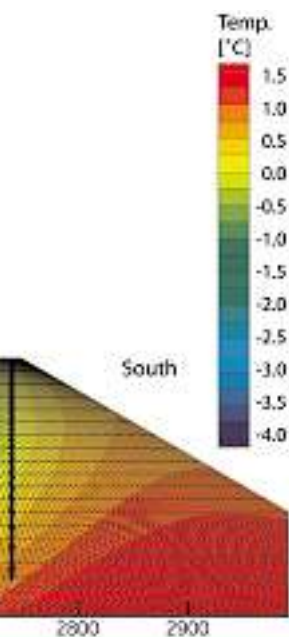
Figur: Stephan Gruber

Im Rahmen von PERMOS werden neu auch Felstemperaturen an Orten ohne Schneedecke gemessen. Die Methodik wurde im

Rahmen der Dissertation von Stephan Gruber entwickelt. Das Foto zeigt den Einsatz in der Eignordwand.



Foto: Archiv Stephan Gruber



> Um sicher zu sein, dass die ausgewählte Stelle auf dem Schilthorn im Permafrost liegt, wurden 1998 eine 14 m tiefe Testbohrung und eine Klimastation erstellt (r. im Bild). Im August 2000 wurde hoch über dem Lauterbrunnental je eine 100 m tiefe Vertikal- und Schrägbohrung (L.) in den Permafrost getrieben.



Foto: Daniel Vonder Mühll

Foto: Daniel Vonder Mühll



Foto: Daniel Vonder Mühll

Im Permafrost kann die durch das Bohren erzeugte Reibungswärme nicht wie bei anderen Bohrungen mit Wasser abge-

führt werden. Der Einsatz von Kaltluft führt dazu, dass die Bohrstelle durch eine grosse Staubfahne sichtbar wird.