

Focus

- 01. À débattre**
2 – 4 points discutés dans l'article
Chaque point max 90 caractères
- 02. Titre**
Max 70 caractères
- 03. Introduction**
Max 600 caractères
- 04. Texte courant**
04.01 Titre de chapitre
04.03 Texte courant:
 - Article de 2 pages : 3000-5000 caractères
 - Article de 3 pages : 6000-7500 caractères
 - Article de 4 pages : 8000-10 000 caractères
04.04 Résumé de l'article en français et en allemand
04.05 Nom, prénom et adresse e-mail de l'auteur
- 05. Illustrations/photo/Schéma**
Haute définition, Format JPG, GIF, PNG, TIFF
 - Article de 2 pages : 1-3 illustrations
 - Article de 3 pages : 2-4 illustrations
 - Article de 4 pages : 3-5 illustrations
05.01 Titre illustration
05.02 Source ou auteur
- 06. Citations**
Max 130 caractères
- 07. Biographie de l'auteur**
07.01 Photo portrait, source ou auteur de l'image
07.02 Texte de max 390 caractères
- 08. Box informative (optionel)**
08.01 1-4 (selon la longueur de l'article)
08.02 Titre
08.03 Pas de longueur maximale

Fokus

- 01. Zur Debatten**
2-4 Punkte die im Artikel diskutiert werden.
Jeder Punkt hat max. 90 Zeichen
- 02. Titel**
Max. 70 Zeichen
- 03. Einleitung**
Max. 600 Zeichen
- 04. Lauftext**
04.01 Titel des Kapitels
 Lauftext:
 - Artikel mit 2 Seiten: 3000-5000 Zeichen
 - Artikel mit 3 Seiten: 6000-7500 Zeichen
 - Artikel mit 4 Seiten: 8000-10000 Zeichen
04.04 Zusammenfassung von dem Artikel auf Französisch und Deutsch
04.05 Name, Vorname, Email Adresse der Autorin / des Autors
- 05. Abbildungen/Schema/Diagramme**
Gute Qualität, Format JPG, GIF, PNG, TIFF
 - Artikel mit 2 Seiten: 1-3 Abbildungen
 - Artikel mit 3 Seiten: 2-4 Abbildungen
 - Artikel mit 4 Seiten: 3-5 Abbildungen
05.01 Titel Abbildung
05.02 Quelle oder Autor-in
- 06. Zitate**
Max. 130 Zeichen
- 07. Biographie der Autorin / des Autors**
07.01 Porträt, Quelle oder Autor des Bildes
07.02 Text von max. 390 Zeichen
- 08. Info-Box (optional)**
08.01 1-4 (je nach Länge des Artikels)
08.02 Titel
08.03 Keine maximal Länge

10 Focus / Fokus
GeoAgenda 2017/5
GeoAgenda 2017/5
Focus / Fokus 11

Alpiner Permafrost: wo trifft man ihn, und wie steht es um seine Zukunft?

Zur Debatte:

- ▶ Die Energiebilanz an der Bodenoberfläche bestimmt über die Zukunft des Permafrosts.
- ▶ Sind grüne Weihnachten und wenig Schnee schlecht für den Permafrost? Nicht unbedingt!
- ▶ In 20 Metern Tiefe sind die saisonalen Temperaturschwankungen kaum mehr sichtbar.
- ▶ Viele Blockgletscher kriechen heute um ein Mehrfaches schneller als noch vor 20 Jahren.

Wie geht es dem Permafrost in den Schweizer Alpen?

Im Hochgebirge deuten Blockgletscher und Hängegletscher (Abb. 1) auf Permafrost hin. Aktive Blockgletscher bestehen aus meist großen Gesteinsblöcken und Eis und kriechen unter dem Einfluss der Schwerkraft einige Zentimeter bis Meter pro Jahr talwärts. Im gesamten Alpenbogen gibt es mehrere tausend solche Blockgletscher, manche bewegen sich nicht mehr und sind von Vegetation überwachsen – Zeugen früherer Kaltzeiten. Ebenso weisen an steilen Bergflanken festgefrorene Hängegletscher auf ganzjährig gefrorenen Fels hin. Doch meistens ist der Permafrost an der Oberfläche nicht sichtbar, wird deshalb kaum wahrgenommen und ist schwer zu untersuchen. Auch Fachleute können ohne aufwändige Messungen kaum beurteilen, ob und wie kalt der Boden an einem bestimmten Standort gefroren ist. Dies macht die Permafrostforschung zu einer herausfordernden und interdisziplinären Disziplin, in der Kreativität und Pioniergeist gefordert sind. Zudem ist sie brandaktuell, denn das warme Klima bringt den Permafrost zunehmend aus dem Gleichgewicht. Dass der Permafrost in den Alpen langsam aber stetig wärmer wird und in immer grössere Tiefen auf tauet, belegen lange Messreihen, wie sie im Rahmen des Schweizer Permafrostmessnetzes PERMOS erhoben werden (PERMOS 2016, 2017).

«Auch Fachleute können ohne aufwändige Messungen kaum beurteilen, ob und wie kalt der Boden an einem bestimmten Standort gefroren ist.»

Zu warm an der Bodenoberfläche

Aktuell werden im Rahmen von PERMOS an ca. 30 Standorten in den Schweizer Alpen (Abb. 2) Temperaturen, Bewegungen und weitere Parameter gemessen. An vielen dieser Standorte ist die Bodenoberfläche im Jahresmittel nahe oder gar über 0 °C – viel zu warm, um die Kälte längerfristig im Boden zu behalten. Denn der Energieaustausch an der Oberfläche entscheidet über die Temperaturänderungen in der Tiefe, wenn auch

Zeitlich verzögert: In 10 Metern Tiefe sind die Temperaturschwankungen gegenüber der Oberfläche etwa sechs Monate verzögert, in 20 Metern beinahe ein Jahr. Deshalb ist die Bodentemperatur in grösserer Tiefe immer durch vergangene Witterungsverhältnisse mitbeeinflusst. An der Oberfläche wiederum dominieren die saisonalen und täglichen Temperaturschwankungen aufgrund unterschiedlicher Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung sowie je nach Schneebedeckung. Wegen der komplexen Topographie im Gebirge sind diese Einflüsse örtlich und zeitlich äusserst variabel, was die Analyse längerfristiger Trends erschwert. Deshalb sind kontinuierliche Messungen unter konstanten Bedingungen über Jahrzehnte essentiell.

«Deshalb ist die Bodentemperatur in grösserer Tiefe immer durch vergangene Witterungsverhältnisse mitbeeinflusst.»

Der Zeitpunkt des ersten Schneefalls ist für den Permafrost ebenso zentral wie das Ausapern im Sommer

Eine repräsentative Auswahl an Messorten ist v.a. wegen des Schnees wichtig, denn die lokale Schneesituation ist entscheidend für die Entwicklung der Bodentemperatur in der Tiefe. Die letzten beiden Winter waren vielerorts Permafrost-freundlich: Eine mächtige, thermisch gut isolierende Schneedecke gab es nur während kurzer Zeit und erst im Spätwinter. Dadurch konnte der Boden die im Sommer aufgenommene Wärme gut an die Luft abgeben und somit stark auskühlen. Tatsächlich zeigen die 10 bis 30-jährigen Messreihen trotz des generellen Erwärmungstrends kürzere Phasen stagnierender Bodentemperaturen (Abb. 3), meist nach spätem Schneefall. Grüne Weihnachten sind also tendenziell gut für den Permafrost. Dies gilt allerdings nur für normalerweise auch tatsächlich schneebedeckte Standorte. Insbesondere steile Felswände oder windexponierte Gipfel und Kreten, an denen kein oder kaum Schnee haften bleibt, sind das ganze Jahr hindurch der Lufttemperatur ausgesetzt und aktuell so warm wie wohl seit Jahrhunderten oder gar Jahrtausenden nicht mehr. Ebenfalls Permafrost-günstig ist eine späte Schneeschmelze im Sommer, denn der Schnee hält auch die Strahlungsenergie der Sonne ab. Speziell im Sommer besagen die stets steigenden Lufttemperaturen nichts Gutes für die Zukunft des Permafrosts: Der Boden dürfte tendenziell früher ausapern und sich bis im Herbst stärker und bis in grössere Tiefen erwärmen. Doch wie allgemein in der Umwelt geschehen auch die Veränderungen im Permafrost in Reaktion auf die Klimaerwärmung nicht von heute auf morgen und sind zusätzlich von kurzfristigen Witterungseinflüssen überlagert. Die grösste Unbekannte dürfte die zukünftige Entwicklung der Schneefälle im Winter sein. ▶



Abb. 1: Kleiner Hängegletscher an der Nordflanke des Fischerhorns (oben) und aktiver Blockgletscher im Furggentälts nahe der Alten Gemmi (unten). Fotos: B. Staub.

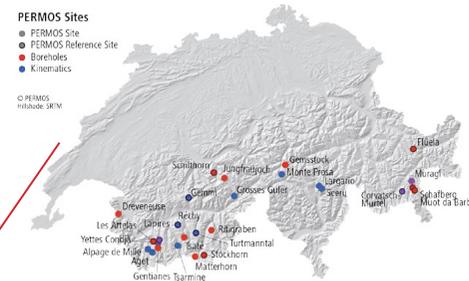


Abb. 2: Standorte des Schweizer Permafrostmessnetzes PERMOS. Quelle: PERMOS.

02. Titre/Titel

04.01 Titre de chapitre/ Titel des Kapitels

04.03 Texte court/Lauftext

06. Citations/Zitat

01. à débattre/ Zur Debatte

03. Intro/Einleitung

07.01 Photo auteur/ Porträt

07.02 texte/ Text

05 Illustrations

05.04 / 05.05 titre et source/ Titel und Quelle

04.05
info auteur/ Adresse der Autorin/ des Autors

04.04
Résumé/ Zusammenfassung

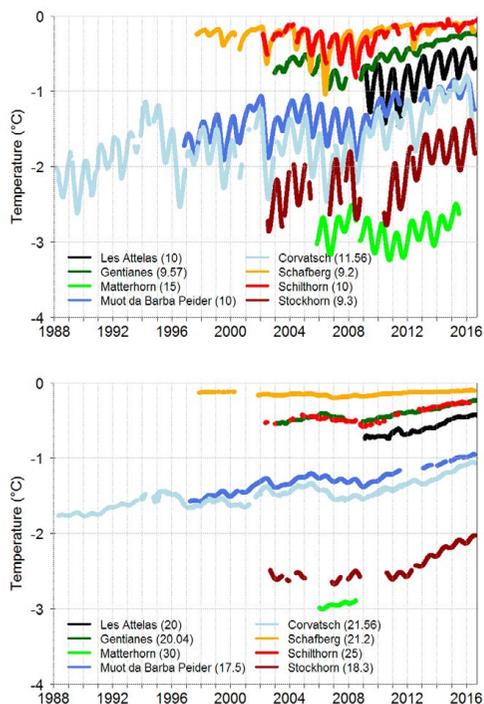


Abb. 3: Entwicklung der Bodentemperaturen in 10 (oben) und 20 (unten) Metern Tiefe. Quelle: PERMOS.

Résumé

Pergélisol alpin : où le trouve-t-on et quel est son avenir ?

Les randonneurs qui dépassent suffisamment la limite de la forêt dans les Alpes suisses marchent potentiellement sur du pergélisol – sous-sol gelé en permanence. Mais comme la plupart du temps il ne laisse pas de trace à la surface, il est difficilement détectable. Cette particularité rend compliquée l'observation des changements du pergélisol de montagne. Sans effectuer des mesures laborieuses, les spécialistes eux-mêmes ne peuvent pas évaluer à coup sûr si le sol est gelé à tel ou tel endroit et si oui à quel point. Cependant, des mesures de longues durées montrent que le réchauffement du pergélisol alpin progresse extrêmement vite et laisse des traces indiscutables.

Messungen in Bohrlöchern belegen: in der Tiefe ist die Erwärmung besonders markant

Interessanterweise zeigen nicht die Temperaturen an der Bodenoberfläche die grösste Erwärmung, sondern jene in der Tiefe: Die maximalen Erwärmungsraten in 10-20 Metern Tiefe liegen um +0.5°C in 5 Jahren (Abb. 3). Im Vergleich zur wohl Jahrtausende dauernden Bildungszeit des Permafrosts erfolgt die aktuelle Erwärmung ultraschnell. Besonders rasch erwärmt sich der Permafrost an derzeit noch kühlen Standorten, zum Beispiel am Gipfel des Stockhorns (3400 m) bei Zermatt (VS). An warmen Standorten nahe 0°C liegen die Temperaturänderungen oft im Bereich der Messgenauigkeit (Zehntel- bis Hundertstelgrad). Dies hat einen einfachen Grund: Die Schmelze von Eis zu Wasser benötigt viel Energie und verlangsamt damit die Erwärmung. Dennoch sind die Veränderungen im Untergrund gross, denn auch bei konstanten 0°C kann der Wasseranteil im Boden zunehmen. Dies lässt sich mit Geoelektrik messen, einer geophysikalischen Untersuchungsmethode, wobei von der Bodenoberfläche aus entlang von Profilen der elektrische Widerstand im Boden gemessen wird. Weil Eis im Gegensatz zu Wasser einen sehr hohen elektrischen Widerstand aufweist, sind Veränderungen im Eis- und Wassergehalt im Boden gut detektierbar. Eine bald 20-jährige Geoelektrik-Messreihe vom Schilthorn im Berner Oberland zeigt: Noch nie war der Eisanteil so gering und der Wasseranteil so hoch wie in den letzten Jahren.

Blockgletscher bewegen sich deutlich schneller als noch vor 20 Jahren

Eine weitere, ausnahmsweise direkt an der Oberfläche sichtbare Veränderung sind die seit einigen Jahren aussergewöhnlich hohen Bewegungsraten der Blockgletscher mit vielerorts mehreren Metern pro Jahr. Gemessen werden diese Bewegungen meist einmal jährlich mit präzisen GPS-Geräten. Diese Bewegungsmessungen zeigen über die letzten 10-20 Jahre einen hohen Zusammenhang mit der Temperaturentwicklung im Untergrund, denn Phasen sehr hoher Bewegungsaktivität fallen mit besonders warmen Bodentemperaturen zusammen. Der Vergleich mit alten Luftbildern und Lehrbüchern zeigt zudem, dass viele Blockgletscher heute um ein Vielfaches schneller talwärts kriechen als noch vor 20 Jahren (Abb. 4) – dies im ganzen Alpenraum! Gesamthaft ergibt sich ein eindeutiges Bild, denn die Erkenntnisse der Geophysik und der Bewegungsmessungen decken sich mit jenen der Temperaturmessungen: Der Permafrost hat sich in den letzten 20 Jahren bereits stark verändert – eine Trendumkehr ist nicht in Sicht.

Benno Staub
Kontakt: benno.staub@unifr.ch

Quellen:

- PERMOS 2016: Permafrost in Switzerland 2010/2011 to 2013/2014, Report No. 12-15.
- PERMOS 2017: Fortschreitende Erwärmung des alpinen Permafrosts. Medienmitteilung vom 6.2.2017.

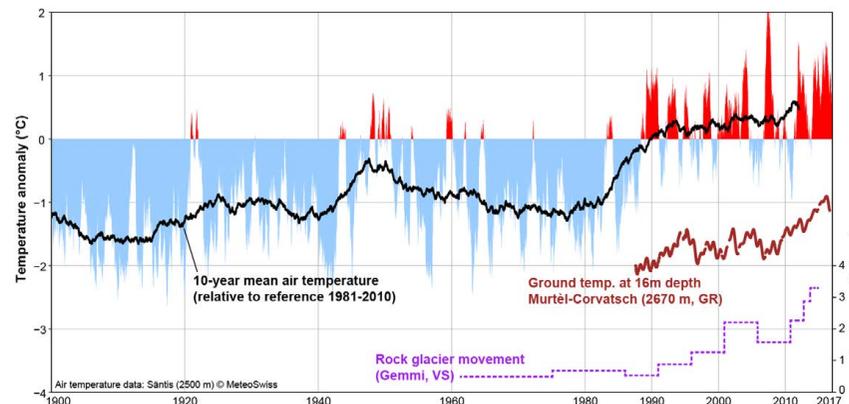


Abb. 4: Langjährige Entwicklung der Blockgletscherbewegungen am Beispiel des Gemmi-Blockgletschers im Vergleich mit ausgewählten Messreihen der Permafrost- und Lufttemperatur. Quelle: PERMOS.

08
Box/ Info-Box

PERMOS

Das Schweizer Permafrostmessnetz PERMOS (www.permos.ch) dokumentiert seit dem Jahr 2000 den Zustand des alpinen Permafrosts mittels Temperatur-, geophysikalischen und Bewegungsmessungen. Die Messungen werden durch das Bundesamt für Umwelt BAFU, das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz im Rahmen

von GCOS Schweiz und die Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) finanziell unterstützt und durch die folgenden sechs Partner getragen: Universitäten Lausanne, Fribourg und Zürich, ETH Zürich, Fachhochschule Südschweiz SUPSI, und WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Kontakt: office@permos.ch