

# PERMAFROST IM WANDEL DER ZEIT IN DER TAUERN REGION

Andreas Kellerer-Pirklbauer  
Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens Universität Graz

## EINLEITUNG

Alle Jahre wieder hören oder lesen wir in den Medien, dass zumindest die Mehrzahl der österreichischen Gletscher an Masse verlieren und sich weiter in hochgelegene Kare oder andere Strahlungsgeschützte und kühlere Gebirgsbereiche zurückziehen. Die Basis für diese Aussage sind – zumeist, aber nicht immer – die Ergebnisse der alljährlich durchgeführten Gletschermesskampagnen im September an rund 100 österreichischen Gletscher, welche durch den Österreichischen Alpenverein koordiniert werden. Diese Veränderung der Vergletscherung ist für jeden Bergsteiger leicht nachvollziehbar, da sich das „kryosphärische“ Element (von griechisch *cryos* für „kalt“ oder „Eis“) Gletscher relativ leicht von der umliegenden Landschaft abgrenzen lässt.

Ganz anders verhält sich dies mit dem sogenannten Permafrost oder Dauerfrost, der weder einfach noch direkt im Gebirge abzugrenzen ist. Permafrost ist in den Hochgebirgen der Welt und in den hohen nördlichen und südlichen Breiten ein weit verbreitetes thermisches Phänomen und beeinflusst rund 20 bis 25% der Landflächen der Erde. Als Permafrost versteht man dabei ganzjährig gefrorenen Untergrund mit einer oberflächennahen, wenige Meter mächtigen, sommerlichen Auftauschicht. Permafrost ist somit ein rein thermisches Phänomen und muss nicht zwangsweise Eis beinhalten. Permafrost hat wesentliche morphologische (z.B. „Zusammenkitten“ von ansonsten losem Gesteinsschutt), ökologische (z.B. Wasserversorgung in Trockenphasen durch Schmelzprozesse im Boden) und gesellschaftliche (z.B. Naturgefahrenpotential) Auswirkungen und kann empfindlich auf Klimaänderung reagieren.

Die Verbreitung von Permafrost in der Tauern Region hat sich im Laufe der letzten Jahrtausende wesentlich verändert. Die Tauern selbst lassen sich in die Hohen (ca. 6000 km<sup>2</sup> Fläche, 90% davon in Österreich; höchster Berg Großglockner mit 3798 m) und die Niederen Tauern (ca. 3500 km<sup>2</sup>; höchster Berg Hochgolling mit 2862 m;) unterteilen. In diesem Beitrag wagen wir nun gemeinsam eine Zeitreise durch diese Region beginnend beim Gletscherhochstand in der letzten Eiszeit (dem sogenannten „Würm-Hochglazial“) und endend in der Gegenwart. Schließlich werfen wir aber auch noch einen kurzen Blick in die Zukunft um zu sehen, wie es dem Permafrost in den Tauern in den kommenden Jahrzehnten ergehen könnte.

## ZEITPERIODE 1: PERMAFROST IM WÜRM- HOCHGLAZIAL VOR RUND 20.000 JAHREN

Vor rund 20.000 Jahren vor heute, zum Zeitpunkt des Würm-Hochglazials, erreichte die Vergletscherung im Alpenraum ihre letzte maximale Verbreitung (Abb. 1). Weite Teile des alpinen Österreichs waren von großen, zusammenhängenden Gletschersystemen bedeckt und erreichten zum Teil sogar das Alpenvorland. Als Beispiele sind hier der Salzachgletscher oder der Traungletscher genannt. Weiter im Osten erreichten die großen Gletscher (wie der Enns- oder der Murgletscher) nicht mehr den Alpenrand und nur mehr lokale Gletschersysteme konnten sich in den höheren Gebirgsregionen bilden. Als Beispiele seien hier die Lokalgletscher in den Seckauer Tauern (östlichste Untergruppe der Niederen Tauern) oder das Hochschwabmassiv genannt. Gründe für die abnehmende Vergletscherung waren zunehmende trockenere klimatische Bedingungen sowie allgemein abnehmende absolute Höhen von West nach Ost. Die geringere Vergletscherung in Kombination mit den deutlich geringeren Jahresmitteltemperaturen (ca. 10°C kühler als heute) ermöglichte es dem Permafrost großen Flächen einzunehmen.

Aktuell liegt die Nullgradisotherme der Jahresmitteltemperatur in der Tauern Region bei rund 2200 m. Vereint man nun die damals rund  $10^{\circ}\text{C}$  kühleren Jahrestemperaturen sowie einen vertikale Temperaturgradienten von  $0,0065^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , so ergibt sich eine rechnerische würmzeitliche Nullgradisotherme von rund 660 m, also ca. 1540 m tiefer als Heute. Wie uns aus aktuellen Dauermessungen in Permafrostgebieten bekannt ist, können wir für alpine Bereiche zwischen  $0$  und  $-2^{\circ}\text{C}$  Jahresmitteltemperatur sporadisch auftretenden Permafrost erwarten, für Bereiche mit einer Jahresmitteltemperatur von unter  $-2^{\circ}\text{C}$  sogar mit diskontinuierlich auftretenden Permafrost. Mit der oben angegebenen Temperaturabsenkung waren somit große unvergletscherte Gebirgsareale in der Steiermark, in Oberösterreich, in Kärnten sowie in Niederösterreich von Permafrost beeinflusst. Abbildung 1 zeigt in etwa wie die Permafrostverbreitung vor rund 20.000 Jahren gewesen sein könnte (Gebiete  $>660\text{m}$ ). Für die Tauern Region gilt, dass sämtliche unvergletscherte Bereiche von Permafrost eingenommen wurden und periglaziale Prozesse (u.a. Frostverwitterung) die Landschaft z.T. bis in Gipfelbereiche formten (Abb. 2).

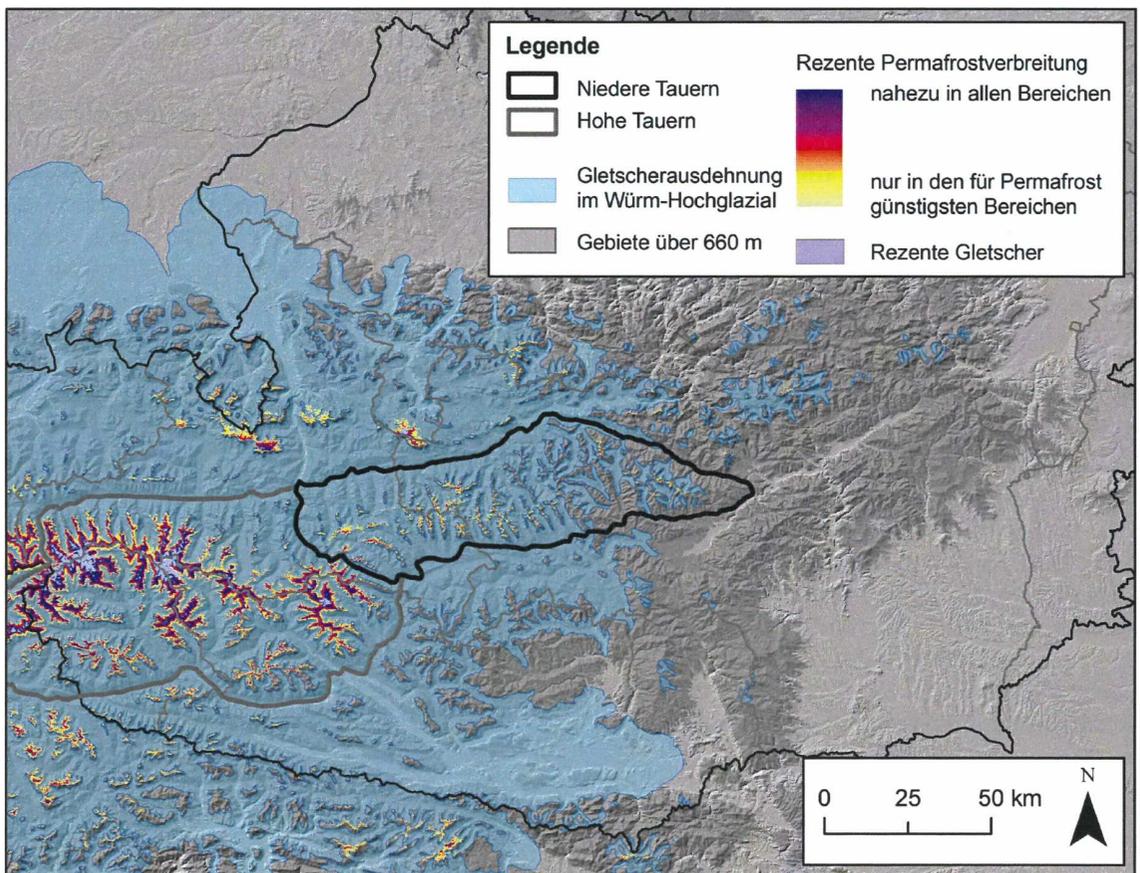


Abb. 1: Lage der Hohen und Niederen Tauern in Österreich mit aktueller Verbreitung von Permafrost (Boeckli et al. 2012) und Gletscher (Paul et al. 2011) sowie der Ausdehnung der Würmzeitlichen Vergletscherung (van Husen 2000) vor rund 20.000 Jahren. Zu beachten die relativ geringe Vergletscherung der östlichsten Niederen Tauern (Seckauer Tauern). Gebiete die über 660 m liegen sind grau unterlegt und zeigen die mögliche Permafrostaussdehnung im Würm-Hochglazial.

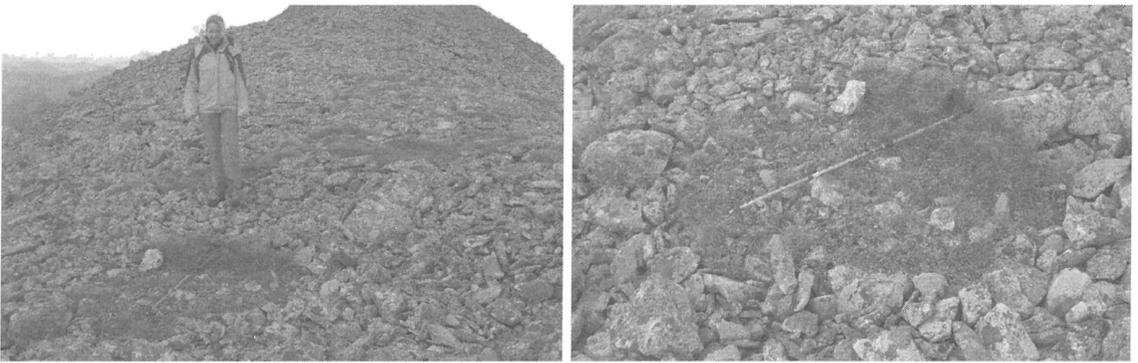


Abb. 2: Periglaziale Landschaftsformen im Gipfelbereich des Hochreicharts (2416 m), östlichste Niedere Tauern (Seckauer Tauern). Die beiden Aufnahmen zeigen Frostschutt sowie Frostmusterböden (sortierte Steinringe), welche im Würmhochglazial sowie im Spätglazial durch periglaziale Verwitterung gebildet wurden und heute als reliktsche Formen anzusprechen sind.

## ZEITPERIODE 2: DIE GLETSCHER ZIEHEN SICH ZURÜCK UND BLOCKGLETSCHER BILDEN SICH – DAS SPÄTGLAZIAL

Nach der Hauptvereisungsperiode im Würm-Hochglazial erfolgte in den darauf folgenden Jahrtausenden ein Rückzug der Gletscher bis in jene Gebiete, die sie während des Hochstandes vor rund 160 Jahren um 1850 erreichten. Dieser Rückzug erfolgte aber nicht gleichmäßig, sondern es wechselten sich Perioden mit raschem Rückzug, Stagnation und erneuten, jedoch immer kleineren Gletschervorstöße ab. Einen guten Überblick über die Enteisungsgeschichte im Spätglazial in Österreich gibt Kerschner (2009).

In den von nur kleineren Gletschersystemen bedeckten Tallandschaften und Karen konnten sich schon sehr früh im Spätglazial (möglicher Weise schon vor rund 16.000 Jahren im Gschnitz Stadial; Kerschner 2009) sogenannte „Blockgletscher“ bilden. Als Blockgletscher versteht man dabei gefrorene Schutt- und Eismassen in Permafrostgebieten die langsam talabwärts fließen (Jahresbewegungsraten von wenigen Dezimeter bis Meter) und dabei charakteristische Wulstformen ausbilden können. Die Wulstformen bleiben auch nach dem Abschmelzen des Eisanteils im Blockgletscher erhalten und somit kann man diese periglazialen Formen auch noch heute als reliktsche Blockgletscher gut erkennen. Bedingt durch frühe Entgletscherung von Karbereichen in den östlichsten Niederen Tauern und der gleichzeitig frühen Blockgletscherbildung, findet man dort auch die größten Blockgletscher in der gesamten Tauern Region wie beispielsweise den Reichartblockgletscher mit einer Fläche von 1,26 km<sup>2</sup>. Weiter im Westen wurden für Blockgletscher günstige Areale noch lange von Gletscher eingenommen und so konnten sich viele der dortigen Blockgletscher erst wesentlich später in der sogenannten „Jüngerer Dryas“ (Ende um 11.500 Jahren vor heute; Kerschner 2009) und danach bilden.

## ZEITPERIODE 3. TEILWEISE WÄRMER ALS HEUTE – DAS POSTGLAZIAL ODER HOLOZÄN

Nach der Jüngerer Dryas wurde das Klima deutliche wärmer und Gletscher wie Permafrost zogen sich weiter in höhere Lagen zurück. Viele der im Spätglazial gebildeten Blockgletscher verloren langsam ihre Eiskomponente und wurden somit zu reliktschen Permafrostzeigern, welche auf die einstige Verbreitung von Permafrost hinweisen. Entsprechend eines in jüngerer Vergangenheit erstellten Blockgletscherinventars von Zentral- und Ostösterreich wurden rund 1500 Blockgletscher mit einer Gesamtfläche von rund 110 km<sup>2</sup> kartiert (Kellerer-Pirklbauer et al. 2012). Die meisten dieser Blockgletscher (rund 75%) sind heute reliktsch. Nur rund 25% sind heute noch aktiv und kriechen talwärts. Diese Zahlen weisen einerseits auf die große Bedeutung des Spätglazials für die Blockgletscherbildung und andererseits auf das massive Abschmelzen von Permafrost im Postglazial hin. Aktuell sind rund 600 km<sup>2</sup> der Hohen und Niederen Tauern von Permafrost

beeinflusst (Boeckli et al. 2012). In den wärmsten Phasen im Postglazial lag diese Zahl sicherlich weit unter 500 km<sup>2</sup>.

## ZEITPERIODE 4: GEGENWÄRTIGE VERÄNDERUNG UND AKTUELLS PERMAFROSTMONITORING

Kontinuierliches Monitoring von Permafrost in Österreich gibt es erst seit der Mitte des letzten Jahrzehntes, wobei gegenwärtig zwei Standorte mit Bohrlöchern im Permafrost existieren. Dies sind zum einen jene am Hohen Sonnblick mit drei jeweils 20 m tiefen Bohrlöchern und zum anderen fünf Bohrlöcher am Kitzsteinhorn; beide Gebiete liegen somit in den Hohen Tauern. Neben den Bohrlochstandorten gibt es rund 20 weitere lokale Permafrostuntersuchungsgebiete in Österreich, die mit verschiedenen indirekten Methoden der Permafrosterfassung untersucht werden. In einer Permafroststudie im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern wurde gezeigt, dass zwar eine deutliche Erwärmung der Bodentemperatur und folglich des Permafrost im Nationalparkgebiet zwischen 2006-2012 zu erkennen ist, dieser Trend aber nicht überall gleich stark ausgeprägt ist (Kellerer-Pirklbauer 2013). Die längste geschlossene Bodentemperaturzeitreihe in Österreich für ein Gebiet mit rezenten Permafrost gibt es für das Hochreichartgebiet im Osten der Niederen Tauern, wo – wie in der Abbildung 3 dargestellt ist – zwischen 2004 und 2013 ein klarer Erwärmungstrend der oberflächennahen Bodenschichten und somit indirekt auch des Permafrostes zu beobachten ist.

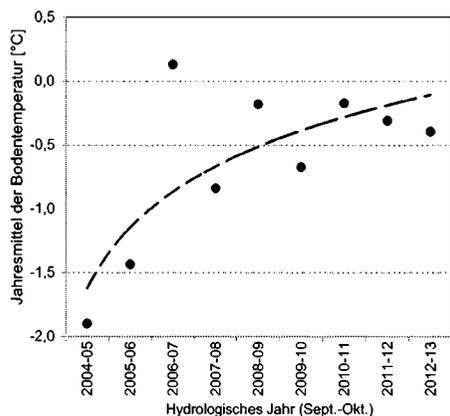


Abb. 3: Entwicklung des Jahresmittels der Bodentemperatur am Gipfel des Hochreicharts (2416 m), Seckauer Tauern auf Basis der längsten geschlossenen Bodentemperaturmessreihe im Permafrost in Österreich (seit 2004). Ein genereller Erwärmungstrend in der 9-jährigen Messreihe (als logarithmischer Trend in der Grafik eingezeichnet) ist deutlich erkennbar.

## ZEITPERIODE 5: WAS BRINGT DIE ZUKUNFT – DIE ENTWICKLUNG BIS ZUM ENDE DIESES JAHRHUNDERTS

Zuletzt werfen wir noch einen Blick in die Zukunft. Wie wird es dem Permafrost in der Tauern Region ergehen? Entsprechend des jüngsten IPCC-Berichts (IPCC 2013) wird global die Temperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts deutlich ansteigen, wobei der Grad der Erwärmung stark von dem gewählten Szenario und somit Model abhängig ist. Faktum wird aber auf jeden Fall sein, dass sich Permafrost in den Tauern erwärmt und in tiefer liegenden und/oder strahlungsreicheren Bereiche komplett abtaut und somit an Flächenausdehnung verliert. Heute noch aktive Blockgletscher werden graduell zu reliktsche Formen. Dort wo der Permafrost auch in Zukunft noch erhalten bleibt, wird die Mächtigkeit der sommerlichen Auftauchschiht zunehmen und Felswände wie auch heute noch gefrorene Lockersedimentpakete können zu vermehrten Steinschlag oder Murenereignissen neigen.

## LITERATUR

- BOECKLI L., BRENNING A., GRUBER S. & NOETZLI J. (2012) Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics, *The Cryosphere*, 6, 807-820.
- IPCC (2013) CLIMATE CHANGE 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- KELLERER-PIRKLBAUER A. (2013) Ground surface temperature and permafrost evolution in the Hohe Tauern National Park, Austria, between 2006 and 2012: Signals of a warming climate? 5th Symposium for Research in Protected Areas - Conference Volume, 10 to 12 June 2013, Mittersill, Austria, 363-372.
- KELLERER-PIRKLBAUER A., LIEB G.K. & KLEINFERCHNER H. (2012) A new rock glacier inventory in the eastern European Alps. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 78-93.
- KERSCHNER, H. (2009) Gletscher und Klima im Alpen Spätglazial und frühen Holozän. In: R. Schmidt, Ch. Matulla, R. Psenner (Hsg.): *Klima im Wandel - 20 000 Jahre Klimaentwicklung in Österreich, alpine space - man & environment*, 6, 5-26.
- PAUL F., FREY H. & LE BRIS R. (2011) A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: Challenges and results, *Ann. Glaciol.*, 52, 144-152.
- VAN HUSEN, D. (2000) Geological processes during the Quaternary. *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* 92, 135-156.

### Kontakt

Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer

Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz

Arbeitsgruppe ALADYN – Alpine Landschaftsdynamik

Heinrichstrasse 36, A-8010 Graz

[andreas.kellerer@uni-graz.at](mailto:andreas.kellerer@uni-graz.at)

<http://geographie.uni-graz.at/>