

Donnerstag 19. Oktober 2017

14:30-15:00

Hydrogeologische Aspekte von Blockgletscherquellen in Tirol

Karl Krainer

Institut für Geologie, Universität Innsbruck

Einleitung

In den Alpen hat das Interesse an der Erforschung des Permafrostes, vor allem in Zusammenhang mit der gegenwärtigen Klimaerwärmung und der damit verbundenen möglichen Zunahme an Naturgefahren im Hochgebirge in den letzten 20 Jahren stark zugenommen. Nachdem Permafrost in den Alpen recht weit verbreitet ist, stellt sich auch die Frage, wie sich der Permafrost, insbesondere das aufgrund der Klimaerwärmung verstärkte Abschmelzen des Permafrost-Eises auf die Hydrogeologie im Hochgebirge auswirkt bzw. in Zukunft auswirken wird. Einen Überblick über die Geschichte der Permafrostforschung in Österreich liefern Krainer et al. (2012).

Was sind Blockgletscher?

Blockgletscher sind nach Barsch (1996) lappen- bis zungenförmige Körper aus ständig gefrorenem, unverfestigtem Schuttmaterial, übersättigt mit interstitiellem Eis (Eiszement) und Eislinsen, die sich kriechend hang- oder talabwärts bewegen als Folge der internen Deformation des Eises. Hinsichtlich ihrer Aktivität werden aktive, inaktive und reliktsche (fossile) Blockgletscher unterschieden. Aktive Blockgletscher enthalten Eis und bewegen sich langsam hangabwärts mit jährlichen Bewegungsraten von meist einigen Zentimetern bis einigen Dezimetern, selten bis wenigen Metern. Inaktive Blockgletscher enthalten auch noch Eis, befinden sich aber nicht mehr in Bewegung. Reliktsche (fossile) Blockgletscher enthalten kein Eis mehr und die Oberfläche, Flanken und Stirn sind bereits stärker mit Vegetation bedeckt.

Bedeutung von Blockgletschern

Blockgletscher sind die häufigste und morphologisch auffallendste Form des Permafrostes in den Alpen. Alleine in den Gebirgsgruppen des Bundeslandes Tirol konnten, basierend auf der Auswertung hochauflösender Orthophotos und Laserscan-Aufnahmen 3145 Blockgletscher erfasst werden, die eine Fläche von 167 km² bedecken (Krainer und Ribis, 2011, 2012). Davon wurden 517 als aktiv, 915 als inaktiv und 1713 als fossil eingestuft. Das Eisvolumen der aktiven und inaktiven Blockgletscher wird auf ca. 0.19 – 0.27 km³ geschätzt, was im Vergleich zum Eisvolumen der Gletscher (13 km³) relativ wenig ist. Allerdings ist das Eis der Blockgletscher durch die oberflächliche Schuttlage, die bis zu mehrere mächtig ist, vor verstärktem Abschmelzen geschützt. Die Abschmelzraten von Permafrost-Eis in Blockgletschern sind im Vergleich zu den Abschmelzraten von Gletschern äußerst gering, allerdings nur sehr schwer messbar. In der kalten Jahreszeit kann sich im Blockgletscher auch wieder Permafrost-Eis bilden. Die Verteilung der aktiven und inaktiven Blockgletscher zeigt, dass die Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes in den Tiroler Alpen bei ungefähr 2500 m liegt.

Blockgletscher finden sich in Tirol in allen Gebirgsgruppen. Weitaus am häufigsten sind aber Blockgletscher (vor allem aktive und inaktive) in jenen Gebirgsgruppen, die aus Altkristallingesteinen

aufgebaut sind (Schobergruppe, Deferegger Alpen, Stubai- und Öztaler Alpen, Teile der Samnaungruppe, Verwallgruppe; siehe Abb. 1).

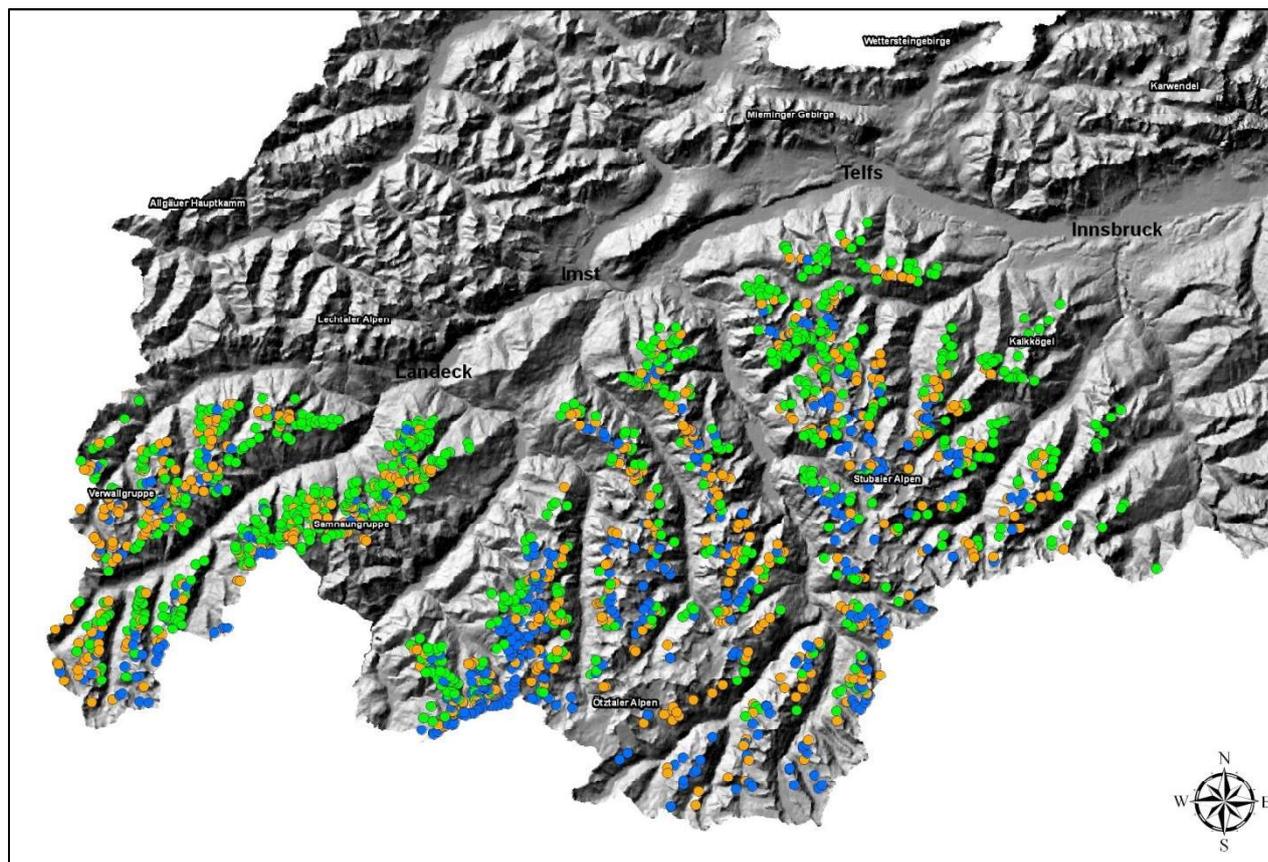


Abb. 1: Verbreitung der Blockgletscher in den Stubai- und Ötztaler Alpen, in der Samnaun-, Silvretta- und Verwall-Gruppe (blau = aktive, braun = inaktive und grün = fossile Blockgletscher)

Hydrogeologie – Abflussverhalten

Aktive Blockgletscher zeigen sehr komplexe hydrologische Verhältnisse. Generell fließt während der Schneeschmelze bis zum Wiedergefrieren im Spätherbst Wasser vor allem an der Basis der ungefrorenen Schuttlage entlang von Kanälen an der Oberfläche des gefrorenen Permafrostkörpers. Diese Kanäle können auch tief in den gefrorenen Permafrostkörper eingeschnitten sein. Auch entlang von Spalten im Permafrostkörper kann Wasser eindringen und an der Basis des Blockgletschers im feinkörnigen Schutt weiterfließen. Am Fuße der steilen Stirn tritt dann das Wasser in Form einer oder mehrere Blockgletscherquellen zutage und fließt als oberflächliches Gerinne ab. Viele Blockgletscher zeigen jedoch keinen oberflächlichen Abfluss, das Wasser fließt im Schutt vor der Stirn des Blockgletschers ab.

Da das Wasser in aktiven und inaktiven Blockgletschern in Kontakt mit dem Permafrost-Eis fließt, ist die Wassertemperatur an der Quelle sehr niedrig und liegt typischerweise den gesamten Sommer hindurch konstant unter 1,5°C, meist zwischen 0,5 und 1°C.

Das Abflussverhalten von aktiven Blockgletschern wird vor allem vom lokalen Wettergeschehen, vom thermischen Verhalten und den physikalischen Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Mächtigkeit) der Schuttlage, der Größe des Einzugsgebietes und den Festgesteinen im Einzugsgebiet beeinflusst.

Die bisherigen Abflussmessungen an aktiven Blockgletschern zeigen ausgeprägte saisonale und tägliche Schwankungen. Während der Wintermonate ist die Schüttung entweder sehr gering oder die Quelle ist trocken (gefroren). Mit Beginn der Schneeschmelze, meist Ende April/Anfang Mai steigt der Abfluss stark an. Während der Hauptschneeschmelze im Frühling und Frühsommer (Mitte Mai bis Anfang Juli) sowie während sommerlicher Starkniederschläge fließt ein Großteil des Wassers (Schmelzwasser aus der Schneeschmelze und Niederschlagswasser) auf der Oberfläche des gefrorenen Permafrostkörpers im Schutt rasch ab und verursacht ausgeprägte Abflussspitzen. Warme Schönwetterphasen während der Schneeschmelze führen bei mittelgroßen bis großen Blockgletschern zu einem ausgeprägten Tagesgang im Abfluss, wobei die niedrigsten Abflusswerte um die Mittagszeit und Abflussspitzen in den späten Abendstunden aufgezeichnet werden. Die Tagesschwankungen können bis zu 150 l/s betragen. Im Spätsommer und Herbst gehen die Abflussmengen kontinuierlich zurück und werden nur durch einzelne Abflussspitzen unterbrochen, die durch Niederschlagsereignisse ausgelöst werden. Ab dem Spätherbst ist der Abfluss entweder sehr gering (maximal wenige Liter pro Sekunde) oder die Blockgletscherquelle fällt trocken bzw. gefriert. Bei mittelgroßen und großen Blockgletschern mit einem Einzugsgebiet von 1 – 1,5 km² liegen die Abflussspitzen während der Hauptschneeschmelze meist zwischen 300 und 500 l/s. Im extrem heißen Sommer 2003 wurden extreme Abflussspitzen von knapp über 1 m³/s gemessen (Berger et al., 2004; Krainer und Mostler, 2000, 2001, 2002; Krainer et al. 2007). Deutlich geringere oberflächliche Abflüsse zeigen Blockgletscher in Gebirgsgruppen, die hauptsächlich aus Kalk- und Dolomitgesteinen aufgebaut sind (Dolomiten, Nördliche Kalkalpen). Dort fließt ein Großteil des Wassers unterirdisch über Kluft- und/oder Karstsysteme ab (Krainer et al. 2010, 2012).

Während der Schneeschmelze, ungefähr von Mitte Mai bis Anfang Juli, setzt sich der Gesamtabfluss zum Großteil aus Schmelzwasser des winterlichen Schnees sowie aus Niederschlagswasser zusammen. Der Anteil an Wasser, das durch das Abschmelzen des Permafrosteises entsteht, sowie der Grundwasseranteil sind sehr gering. Zum Herbst hin steigt dann der Anteil an Eisschmelze und Grundwasser (und damit auch die elektrische Leitfähigkeit) an. Markierversuche mit Farbtracern haben gezeigt, dass das Wasser mit einer Fließgeschwindigkeit von 1 – 5 m pro Minute durch den Blockgletscher fließt, je nach Korngröße und Gefälle (Krainer und Mostler 2001, 2002; Krainer et al. 2007).

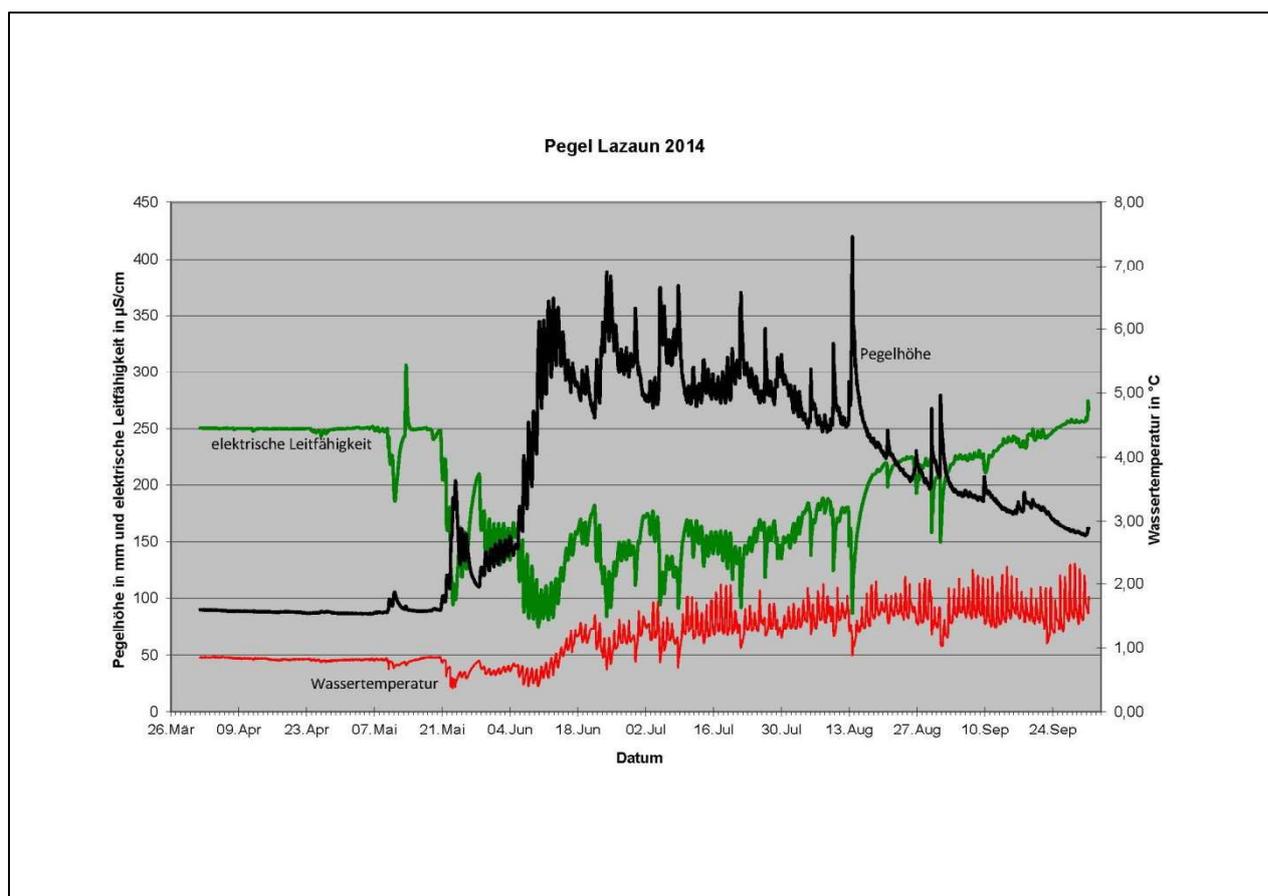


Abb. 2: Abfluss (Pegelhöhe bzw. Wasserhöhe, schwarze Linie), elektrische Leitfähigkeit (grüne Linie) und Wassertemperatur (rote Linie) an der Pegelmessstelle des aktiven Blockgletschers im Bereich der Lazaunalm (Schmalstal) für den Zeitraum Anfang April bis Ende September 2014.

Hydrogeologie - Abflussmodellierung

Im Rahmen eines Modellerversuches im Krummgampental (Seitental des hinteren Kaunertales, Öztaler Alpen) wurde der Frage nachgegangen, wie sich das Abschmelzen des Permafrost-Eises auf das Abflussverhalten im Hochgebirge auswirken wird. Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit Günter Blöschl, Ewald Brückl, Helmut Hausmann und Magdalena Rogger von der TU Wien durchgeführt (Rogger et al., 2017).

Dazu wurde zunächst das Einzugsgebiet des Krummgampentales im Detail kartiert. Bei den Lockersedimenten wurden Hangschutt, ältere Moränenablagerungen, Moränenablagerungen der Kleinen Eiszeit und Blockgletscher sowie Moränenwälle und verschiedene Strukturböden unterschieden. Die Mächtigkeit der Sedimente wurde mit geophysikalischen Methoden erfasst, hydraulische Eigenschaften wurden durch Siebanalysen ermittelt. Die flächenmäßige Verbreitung des Permafrostes in den Lockersedimenten wurde ebenfalls ermittelt, und zwar durch zahlreiche Bodentemperaturmessungen und Geophysik. Am Eingang des Krummgampentales wurde eine Pegelmessstelle errichtet, die über mehrere Jahre das Abflussverhalten des Krummgampenbaches aufzeichnete. Für die Modellierung des Abflusses standen die Wetterdaten der nahegelegenen Station Weißsee zur Verfügung.

Zunächst wurde das Abflussverhalten des Krummgampenbaches unter den gegenwärtigen Verhältnissen modelliert und mit den gemessenen Pegeldaten verglichen. Dabei zeigten die gemessenen und modellierten Abflussdaten eine sehr gute Übereinstimmung.

Anschließend wurde eine weitere Modellierung durchgeführt, und zwar unter der Annahme, dass das gesamte Permafrost-Eis in den Lockersedimenten im Einzugsgebiet des Krummgampentales geschmolzen ist. Die Daten zeigen eine deutliche Abnahme der Abflussspitzen während der Schneeschmelze (Mai – Juli) um bis zu 17% und eine Zunahme des Abflusses im Spätsommer und Herbst (August – Oktober) um bis zu 19%. Diese deutliche Veränderung im Abflussverhalten ist darauf zurückzuführen, dass nach dem Abschmelzen des Permafrost-Eises mehr Porenraum und damit auch mehr Speicherkapazität in den Lockersedimenten zur Verfügung steht, also mehr Wasser in den Lockersedimenten gespeichert werden kann (Details in Hausmann et al. in Vorb., Rogger et al. 2017).

Hydrogeologie - Hydrochemie

Blockgletscherquellen in Gebieten, deren Festgesteine aus Altkristallin bestehen (Glimmerschiefer, Paragneise, Orthogneise, Amphibolite) zeigen meist eine sehr niedrige elektrische Leitfähigkeit mit deutlichen saisonalen Schwankungen. Die niedrigsten Werte (meist 20 – 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$) werden bei hohen Abflüssen während der Schneeschmelze im Frühling und Frühsommer sowie unmittelbar nach sommerlichen Starkniederschlägen gemessen. Diese niedrigen Werte sind auf den hohen Anteil an Schmelzwasser und Niederschlagswasser zurückzuführen. Nach der Schneeschmelze, im Spätsommer und Herbst, steigt die elektrische Leitfähigkeit an, wobei meist Werte zwischen 100 und 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erreicht werden. Dies hängt mit der Abnahme an Schmelzwasser und einer Zunahme des Anteils an Grundwasser am Gesamtabfluss zusammen (Krainer und Mostler 2002, Krainer et al. 2007).

In den letzten Jahren konnten in den Öztaler Alpen, sowohl in Südtirol als auch in Nordtirol, eine Reihe von aktiven Blockgletschern festgestellt werden, deren Quellen außergewöhnlich hohe elektrische Leitfähigkeiten aufweisen mit Werten von einigen 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Frühjahr bis zu mehr als 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Herbst. Diese Quellen zeigen auch eine interessante Wasserchemie und weisen z.T. außergewöhnlich hohe Konzentrationen an Elementen wie z.B. Ni, Mn, Zn und Co auf. Auffallend sind vor allem die teils extrem hohen Ni-Konzentrationen, die weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0.02 mg/l) liegen.

Bislang sind solche Quellen aus folgenden Bereichen bekannt:

Lazaunalm (Schnalstal): mehrere Quellen (bis 0.175 mg/l Ni).

Krummgampen (Kaunertal): 3 Quellen (bis 0.411 mg/l Ni).

Bliggspitze (Kaunertal): mehrere Quellaustritte im Hangschutt am Fuße der Bliggspitze, max. 3.11 mg/l Ni.

Inneres Hochebenkar (SW Obergurgl): mehrere Quellen, max. 0.444 mg/l Ni.

Königstal und Wurmkar südlich von Hochgurgl: mehrere Quellen, im Königstal bis 0.478 mg/l Ni, im Wurmkar bis 0.683 mg/l Ni.

Windachtal S Sölden: zahlreiche Quellen in den Karen auf der Südseite des Windachtales, z.B. im Wannekar bis 1.37 mg/l Ni.

Die Temperaturen dieser Quellen sind durchwegs sehr niedrig ($< 1.5^\circ\text{C}$) und weisen darauf hin, dass sich das Quellwasser in den Blockgletschern in Kontakt mit Eis befand.

Geochemische Analysen an Gesteinsproben im Lazaunkar (Schnalstal, Südtirol) und Krummgampental (Kauental) haben gezeigt, dass diese teils extrem hohen Ni-Gehalte nicht aus dem Festgestein stammen können.

Geochemische Untersuchungen am Eiskern der Bohrung am Blockgletscher Lazaun im Schnalstal (Südtirol), dessen Blockgletscherquelle ebenfalls eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit und hohe Konzentrationen an Ni aufweist, haben gezeigt, dass das Ni im Eis des Blockgletschers in mehreren Horizonten stark angereichert ist und somit aus dem Eis des Permafrostkörpers freigesetzt wird (Krainer et al. 2015). Vermutlich ist das auch bei anderen Blockgletscherquellen mit erhöhten Ni-Konzentrationen der Fall.

Daneben gibt es auch Blockgletscherquellen, die zwar ebenfalls hohe Werte der elektrischen Leitfähigkeit aufweisen, allerdings keine erhöhten Gehalte an Ni und anderen Metallen. Ein Beispiel dafür ist die Blockgletscherquelle auf der Ostseite des aktiven Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (Nickus et al. 2015a, b).

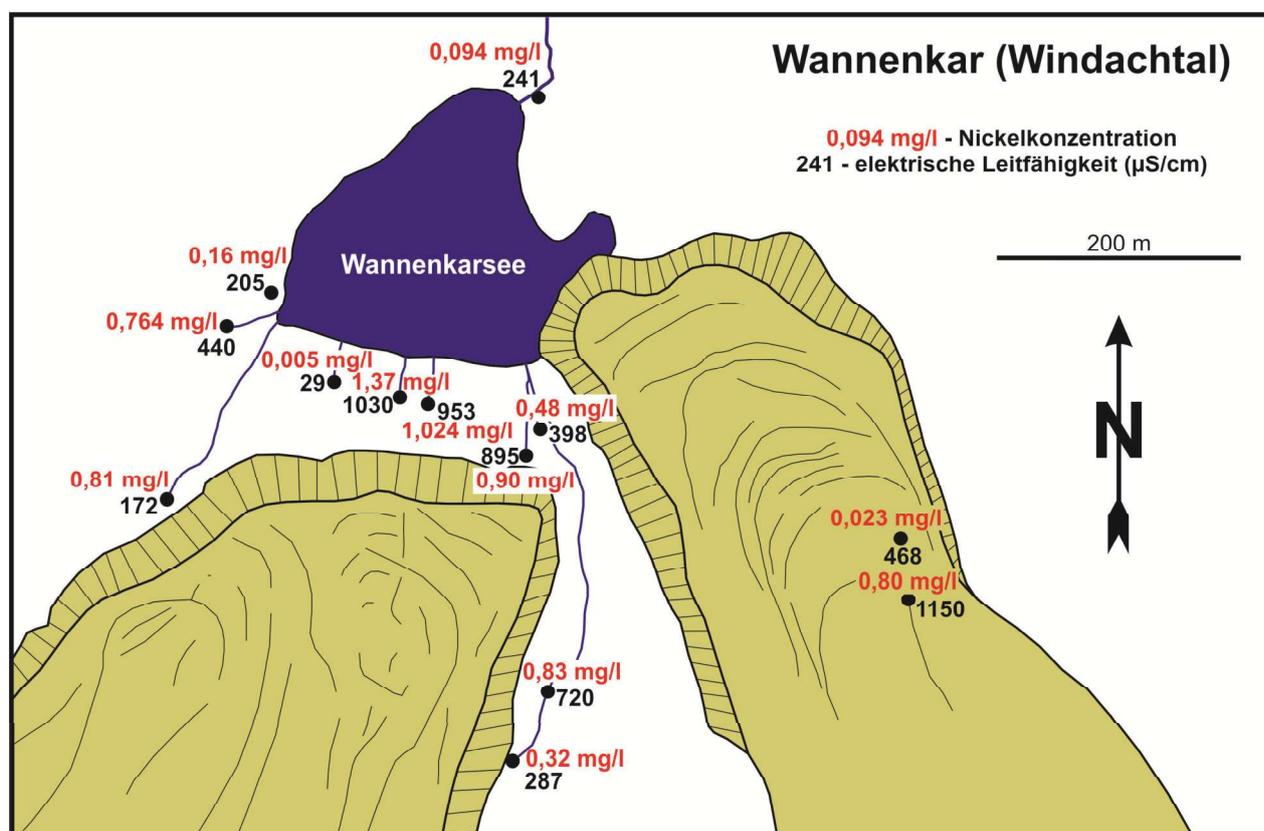


Abb. 3: Quellen im Stimbereich der beiden aktiven Blockgletscher sowie am Blockgletscher im Wannenkarsee (Windachtal) mit Angabe der elektrischen Leitfähigkeit ($\mu\text{S/cm}$) und Nickelkonzentration (mg/l).

Literatur

BARSCH, D. (1996): Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments. Springer-Verlag, Berlin, 331 pp.

BERGER, J., KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2004): Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). – Quaternary Research 62:233-242.

- HAUSMANN, H., K. KRÄINER and E. BRÜCKL (in prep.): Mapping and modelling of mountain permafrost using seismic refraction and ground surface temperatures.
- KRÄINER, K. & MOSTLER, W. (2000): Reichenkar Rock Glacier, a glacial derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria. - *Permafrost and Periglacial Processes* 11, 267-275.
- KRÄINER, K. & MOSTLER, W. (2001): Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitz Tal (Schoberggruppe, Nationalpark Hohe Tauern). – *Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern*, Bd. 6, 139-168.
- KRÄINER, K. & MOSTLER, W. (2002): Hydrology of active rock glaciers: Examples from the Austrian Alps. - *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34(2): 142-149, Boulder.
- KRÄINER, K., MOSTLER, W. & SPÖTL, C. (2007): Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. – *Austrian Journal of Earth Sciences* 100: 102-112, Wien.
- KRÄINER, K., LANG, K. & HAUSMANN, H. (2010): Active Rock Glaciers at Croda Rossa/Hohe Gaisl, Eastern Dolomites (Alto Adige/South Tyrol, Northern Italy). – *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 33: 25-36.
- KRÄINER, K. und RIBIS, M. 2011. Blockgletscherinventar Tirol. *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, Nr. 87, 67-88, Wien.
- KRÄINER, K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., KAUFMANN, V., LIEB, G.K., SCHROTT, L. and HAUSMANN, H., 2012: Permafrost Research in Austria: History and recent advances. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 2-11.
- KRÄINER, K. and RIBIS, M. 2012. A Rock Glacier Inventory of the Tyrolean Alps (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 32-47.
- KRÄINER, K., MUSSNER, L., BEHM, M. and HAUSMANN, H., 2012. Multi-disciplinary investigation of an active rock glacier in the Sella Group (Dolomites; Northern Italy). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 48-62.
- KRÄINER, K., BRESSAN, D., DIETRE, B., HAAS, J.N., HAJDAS, I., LANG, K., MAIR, V., NICKUS, U., REIDL, D., THIES, H. and TONIDANDEL, D. (2015): A 10300-year old permafrost core from the active rock glacier Lazaun, southern Ötztal Alps (South Tyrol, northern Italy). *Quaternary Research* 83, 324-335 <http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2014.12.005>.
- NICKUS, U., KRÄINER, K., THIES, H. und TOLOTTI, M. (2015a): Blockgletscherabflüsse im Äußeren Hochebenkar – Hydrologie, Wasserchemie und Kieselalgen. In: Schallhart, N. und Erschbamer, B. (Hg.), *Forschung am Blockgletscher. Methoden und Ergebnisse. Alpine Forschungsstelle Obergurgl, Band 4* (innsbruck university press): 117-134.
- NICKUS, U., ABERMANN, J., FISCHER, A., KRÄINER, K., SCHNEIDER, H., SPAN, N., THIES, H. (2015b): Rock Glacier Äußeres Hochebenkar (Austria) – Recent results of a monitoring network. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Band 47/48 (2013/2014): 43-62.
- ROGGER, M., CHIRICO, G.B., HAUSMANN, H., KRÄINER, K., BRÜCKL, E. and BLÖSCHL, G. (2017): Impact of mountain permafrost on flow path and runoff response in a high alpine catchment. - *Water Resources Research* 53: 1288-1308.