Geo.Alp, Vol. 12 2015 135 - 150

Die Modellierung der Permafrostverbreitung in vier ausgewählten Bereichen der Ötztaler Alpen in Nord- und Südtirol

Markus Ribis[1] und Karl Krainer[2]

[1] geo.zt gmbh - poscher beratende geologen, Saline 17, A-6060 Hall in Tirol, Austria, email: Markus.Ribis@geo-zt.at

[2] Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria, email: Karl.Krainer@uibk.ac.at

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die flächenmäßige Verbreitung des Permafrostes in vier ausgewählten Gebieten der Ötztaler Alpen in Nordtirol (Windachtal südöstlich von Sölden und Inneres Hochebenkar südlich von Obergurgl) und Südtirol (Lazaunkar und Grawand im hinteren Schnalstal) modelliert, und zwar sowohl für die gegenwärtigen Klimabedingungen als auch für zukünftige Klimaszenarien mir Erwärmungen von +1K und +2K. Die Modellierung erfolgte durch die Kombination von Abfrageschritten aus dem Programm PERMAKART (Keller, 1992) und PERM (Imhof, 1996) unter Einbeziehung der empirischen Grenzwerte für die Permafrostverbreitung von Haeberli (1975, 1996) und Stötter (1994). Dabei wird unterschieden zwischen Flächen mit Permafrost möglich und Permafrost wahrscheinlich. Die Ergebnisse der Modellierung der gegenwärtigen Permafrostverbreitung decken sich meist gut mit den Geländebeobachtungen und Bodentemperaturmessungen. Eine Erwärmung von 1-2K wird zu einem markanten Rückgang des Permafrostes bzw. Anstieg der Untergrenze des Permafrostes vor allem im Bereich von nach Süden exponierten Hängen führen.

Abstract

In the present paper the aerial distribution of permafrost in four selected areas of the Ötztal Alps in North Tyrol (Windachtal east of Sölden and Inneres Hochebenkar southeast of Obergurgl) and South Tyrol (Lazaunkar and Grawand in the upper Schnals Valley) is modeled for present climatic conditions as well as for future climatic scenarios with warming values of +1K and +2K.
The modeling was carried out by a combination of query steps of the program PERMAKART (Keller, 1992) and PERM (Imhof, 1996) including the empirical limits for the distribution of permafrost by Haeberli (1975, 1996) and Stötter (1994). The model distinguishes areas where Permafrost is possible and where Permafrost is probable.
The results of the modeling agree well with the field observations and ground temperature measurements. A warming of 1-2K will cause a substantial decrease of permafrost, respectively an increase of the lower boundary of permafrost, particularly on south-facing slopes.

1 Einleitung

Permafrost ist in den Ostalpen im Hochgebirge weit verbreitet. Dies wird auch durch die große Zahl an intakten Blockgletschern bestätigt, insbesondere in den aus Altkristallin aufgebauten Gebirgsgruppen der Zentralalpen (Krainer & Ribis, 2012, Krainer, 2015). Eine besonders hohe Dichte an Blockgletschern ist in den Ötztaler und Stubaier Alpen zu beobachten (Krainer & Ribis, 2012, Krainer, 2015). Permafrost ist im Hochgebirge aber nicht nur an intakte Blockgletscher gebunden, sondern tritt auch abseits der Blockgletscher sowohl in Lockersedimenten (Hangschutt, Moränenmaterial) als auch im Festgestein (Spaltenfrost) auf. Während die Verbreitung der Blockgletscher durch die inzwischen vorliegenden Blockgletscherinventare (Lieb, 1996, Kellerer-Pirklbauer et al., 2012, Krainer & Ribis, 2012, Stocker, 2012) gut bekannt ist, ist über die flächenmäßige Verbreitung des Permafrostes außerhalb der Blockgletscher nach wie vor wenig bekannt. Ein wesentlicher Grund ist, dass Permafrost außerhalb der Blockgletscher nur schwer nachweisbar ist. Eine Möglichkeit, die flächenmäßige Verbreitung des Permafrostes grob abzuschätzen, bieten Computerprogramme zur Modellierung der Permafrostverbreitung. In den österreichischen Alpen hat erstmals Ebohon 2007 eine Permafrostmodellierung in den Hohen Tauern durchgeführt. Nach Ebohon, 2007 und Ebohon & Schrott, 2008 ist in Österreich auf einer Fläche von ca. 1600 km^2 mit Permafrost zu rechnen, davon entfallen alleine auf das Bundesland Tirol ca. 1176 km^2. Das sind 9,3 % der Fläche dieses Bundeslandes.

In der vorliegenden Arbeit wird die flächenmäßige Verbreitung des Permafrostes in vier ausgewählten Untersuchungsräumen der Ötztaler Alpen Nord- und Südtirols – siehe Abb. 1 – modelliert, und zwar für die gegenwärtigen Klimabedingungen sowie für zukünftige Klimaszenarien mit Erwärmungen von +1K und +2K.

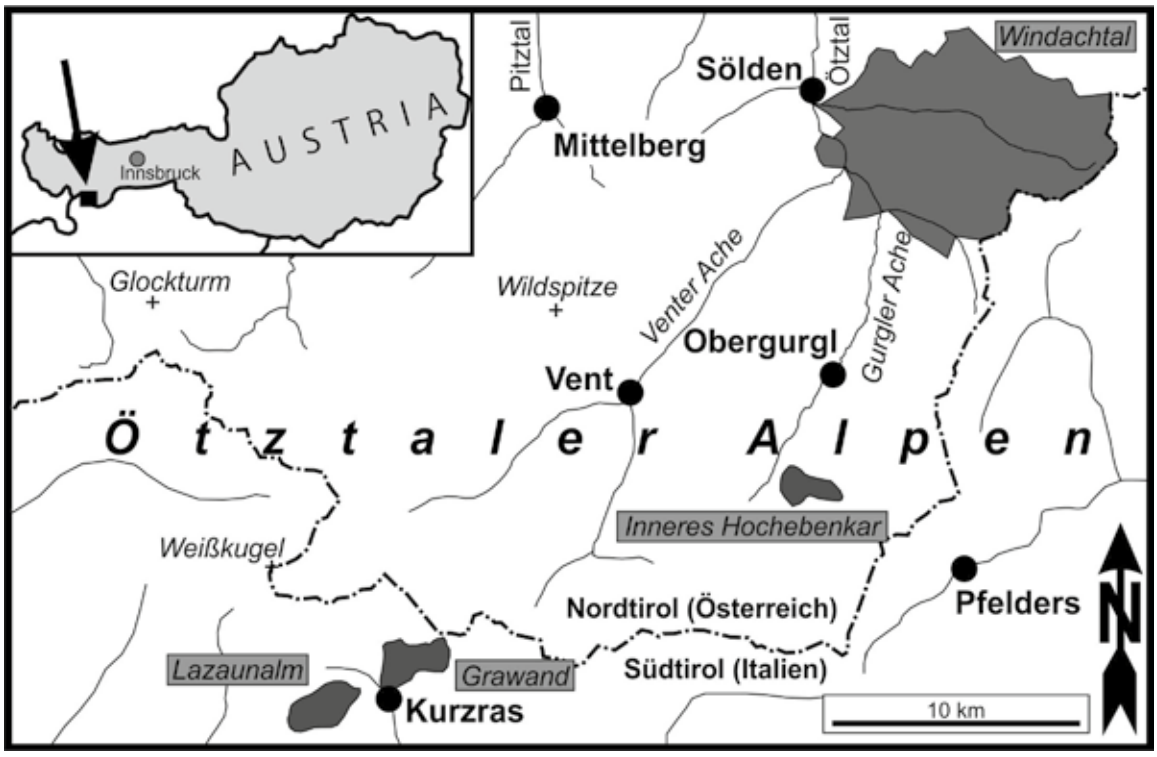


Abbildung 1: Übersicht der vier Untersuchungsräume in den Ötztaler Alpen

2 Methodik

Die Modellierung der rezenten und zukünftigen Permafrostverbreitung in den Untersuchungsräumen Lazaunkar und Grawand (Schnalstal, Südtirol) bzw. Windachtal bei Sölden und Inneres Hochebenkar bei Obergurgl (Ötztal, Nordtirol) orientiert sich an der von Sattler, 2008 verwendeten Kombination von Abfrageschritten aus den Programmen Permakart von Keller 1992 und Perm von Imhof, 1996 mittels des Programmes ArcGIS unter Einbeziehung der empirischen Grenzwerte der Permafrostverbreitung von Haeberli, 1975 und 1996 aus den Schweizer Alpen und der Ergebnisse von Stötter, 1994 aus dem Suldental und Martelltal (Südtirol), der die Höhenveränderung der Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes mit ca. 180 m je 1 K Temperaturveränderung angibt. Da die vier ausgewählten Untersuchungsräume in den Ötztaler Alpen Nord- und Südtirols klimatisch jenen in den Schweizer Alpen ähneln, bietet dieser Modellansatz auch eine gewisse grenzüberschreitende Vergleichbarkeit.

Für die Modellierung in den Untersuchungsräumen ist das digitale Geländemodell (DGM) eine wesentliche Datengrundlage. Für den Bereich Schnalstal wurde seitens der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol ein Raster-DGM mit einer Auflösung von 2,5 x 2,5 m zur Verfügung gestellt. Für den Bereich Ötztal wurde seitens des Amtes der Tiroler Landesregierung ein Raster-DGM mit einer Auflösung von 1,0 x 1,0 m zur Verfügung gestellt. Die Modellierung der rezenten und zukünftigen Permafrostverbreitung mit dieser Methode je Untersuchungsraum ist, wie es der Begriff schon ausdrückt, ein Modell mit einem primären hinweisgebenden Charakter vor direkten Untersuchungen im jeweiligen Untersuchungsraum – auch wenn die verwendeten digitalen Geländemodelle (DGM) hochauflösendere Ergebnisse zulassen. Wasserwirtschaftliche Untersuchungen – u.a. quantitative und qualitative Vorortmessungen und Probenahmen an Quellen und Gerinnen – und indirekte/direkte Erkundungen Vorort – u.a. geologische Kartierungen, Bohrungen, geophysikalische Untersuchungen, BTS-Messungen,

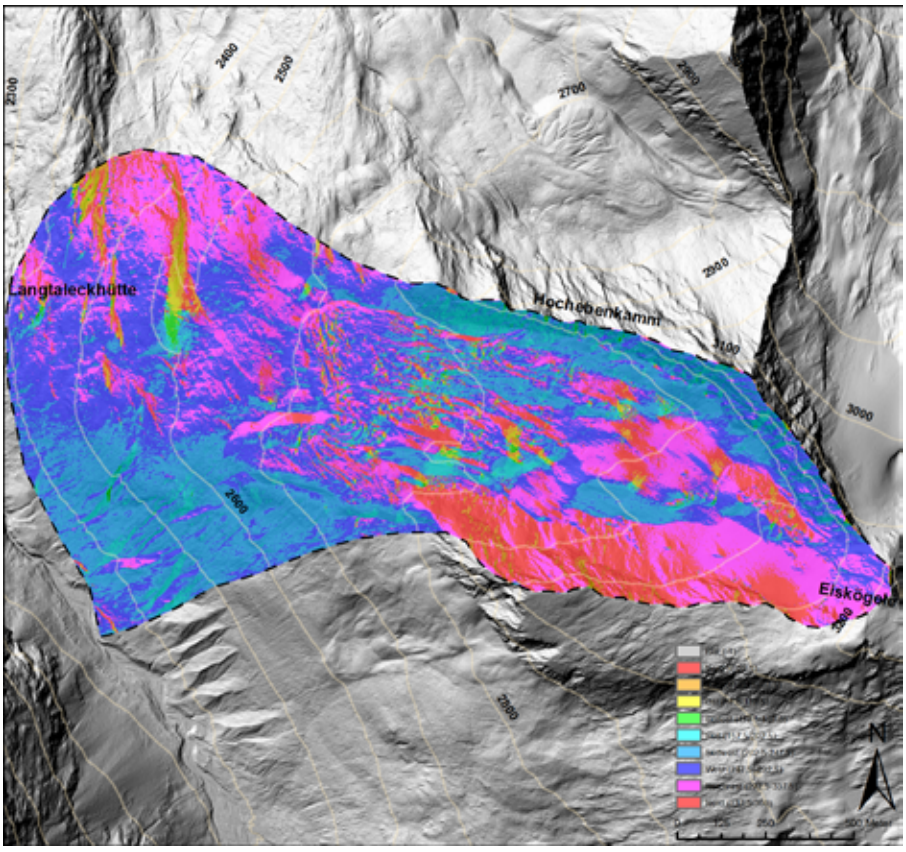


Abbildung 2: Untersuchungsraum Inneres Hochebenkar – Geländeexpositionen

Installation von Temperatursonden – können diese im Modell ausgewiesenen Hinweisbereiche durchaus erhärten bzw. natürlich auch in Frage stellen.

3 Ergebnisse

3.1 Inneres Hochebenkar

Das Untersuchungsgebiet zur Permafrost-Modellierung im Bereich Inneres Hochebenkar umfasst eine Fläche von ca. 2.6 km^2. Das Innere Hochebenkar liegt in den Ötztaler Alpen, ca. 5 km SSW von Obergurgl bzw. ca. 1 km ESE der Langtalereckhütte. Das Kar ist nach WNW ausgerichtet und umfasst eine Fläche von ca. 1.2 km^2. Das Kar wird im N, NE und E von den steilen Felswänden des Hochebenkammes umrahmt sowie im SE von einem Kamm, der vom Eiskögele (3233 m) nach Westen zieht. Das Kar selbst reicht von 2650 m bis 2950 m und wird im unteren (westlichen) Teil von einem leicht aktiven Blockgletscher eingenommen, der im oberen (östlichen) Teil in eine Grundmoräne übergeht.

Die steilen Felswände des Hochebenkammes sind nach SSW bis SW, im hinteren Teil des Kares nach W exponiert. Die steilen Flanken des Kammes, der vom Eiskögele nach W zieht, sind nach N exponiert. Das Kar selbst ist im Wesentlichen nach WNW exponiert – siehe Abb. 2.
Der leicht aktive Blockgletscher im Inneren Hochebenkar wurde zuletzt von Krainer et al., 2015 untersucht. Haeberli & Patzelt, 1982 haben eine Permafrost-Kartierung durchgeführt.

Die Permafrost-Modellierung zeigt, dass Permafrost wahrscheinlich ist im Bereich des Blockgletschers sowie vor allem im oberen (östlichen) Teil des Kares, insbesondere in den N-exponierten Hängen des Kammes, der vom Eiskögele nach W zieht. Dort wird die Existenz von Permafrost auch durch zahlreiche, blockgletscherähnliche Schuttloben bestätigt. Auch im Bereich des Blockgletschers ist Permafrost nachgewiesen (Haeberli & Patzelt, 1982, Krainer et al., 2015). Im Bereich der Grundmoräne ist nur fleckenhaftes Vorkommen von Permafrost wahrscheinlich. Die südexponierten Hänge im westlichen Bereich des Hochebenkammes sind dagegen weitgehend permafrostfrei. Unterhalb der Stirn des Blockgletschers ist in

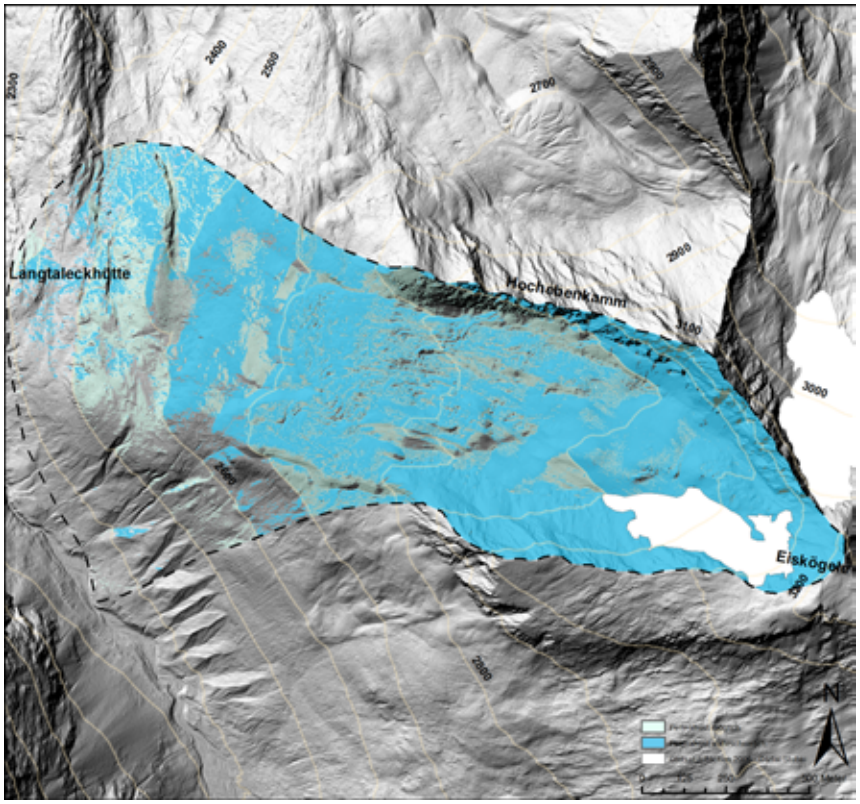


Abbildung 3:
Inneres Hochebenkar – Rezente Permafrostverbreitung (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

Abbildung 4:
Inneres Hochebenkar – Permafrostverbreitung + 1 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

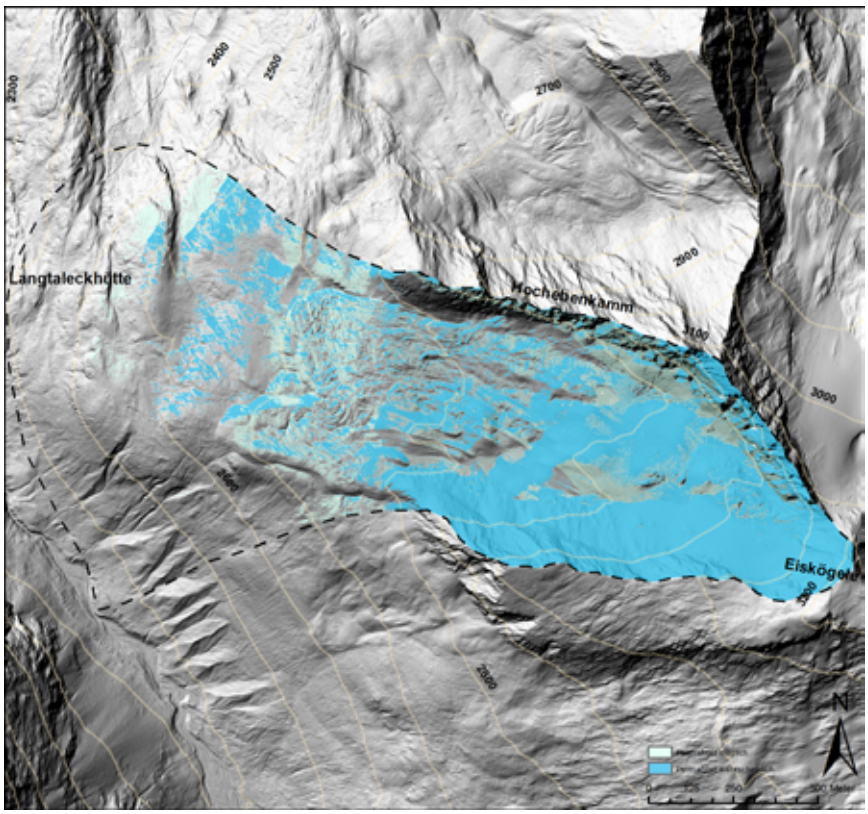
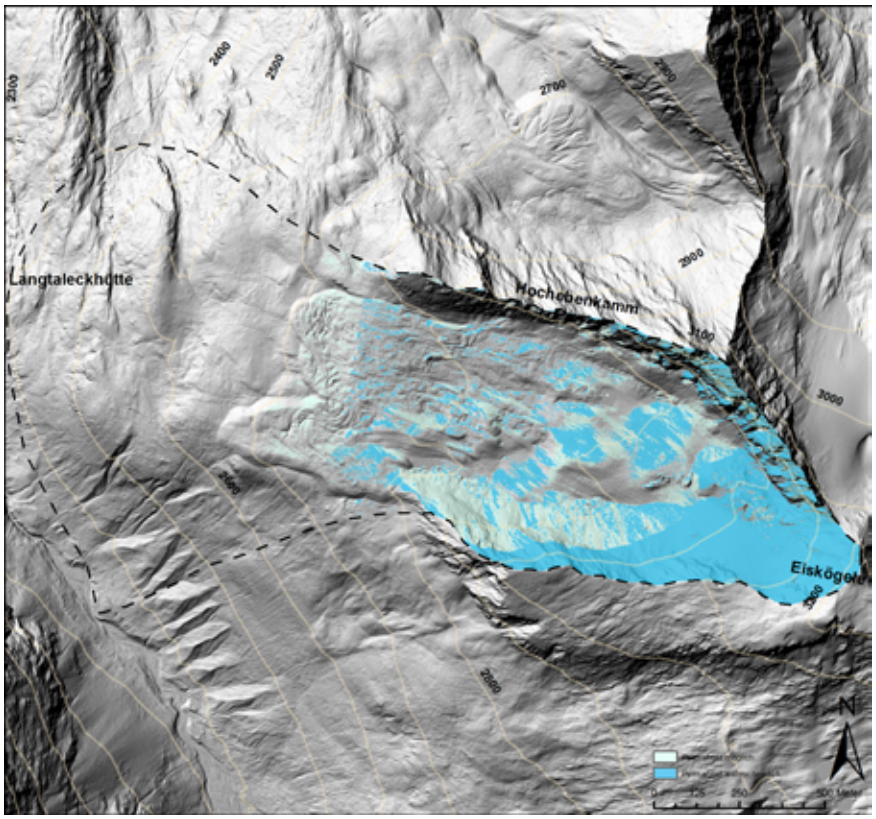


Abbildung 5:
Inneres Hochebenkar – Permafrostverbreitung + 2 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)



nordexponierten Bereichen lokal mit Permafrost zu rechnen – siehe Abb. 3.
Eine Erwärmung von +1K wird dazu führen, dass Permafrost unterhalb der Stirn des Blockgletschers weitgehend verschwinden wird. Auch im Kar am Blockgletscher und im Bereich der Grundmoräne ist ein starker Rückgang zu erwarten. Lediglich der obere (östliche) Teil des Kares mit Seehöhen über 2900 m wird auch weiterhin von Permafrost erfasst sein, insbesondere die nordexponierten Hänge des Kammes westlich des Eiskögele – siehe Abb. 4.
Bei einer Erwärmung um +2K wird sich der Permafrost auf den hinteren Teil des Kares, insbesondere auf die nordexponierten Hänge des Kammes westlich des Eiskögele zurückziehen. Das Kar selbst (Blockgletscher, Grundmoräne) sowie die in südlicher Richtung exponierten steilen Felswände des Hochebenkammes werden dann weitgehend frei von Permafrost sein – siehe Abb. 5.

3.2 Windachtal

Das Untersuchungsgebiet Windachtal umfasst eine Fläche von ca. 65.0 km^2 und ist östlich der Gemeinde Sölden gelegen. Das Einzugsgebiet umfasst die Kare auf der Süd- und Nordseite des Windachtales und wird auf der Südseite vom Kamm begrenzt, der vom Brunnkogel Haus nach SE zum Schraakogel (3135 m) und von dort weiter in östlicher und nordöstlicher Richtung zur Schwarzwand Spitze (3242 m) zieht. Von hier zieht der Kamm nach Norden zum Wilden Pfaff (3458 m), dann weiter nach Westen zum Zuckerhütl (3507 m) und weiter in WNW-Richtung über Schaufelspitze (3332 m), Östlichen und Westlichen Daunkogel bis zum Hinteren Söldenkogel (2915 m). Markante Erhebungen an der Südseite des Windachtales sind u.a. der Rotkogel (2894 m), Wannenkogel (3089 m) und Schraakogel (3137 m) bzw. an der Nordseite u.a. das Zuckerhütl (3507 m), die Schaufelspitze (3332 m) und die Stubaier Wildspitze (3341 m). Die bevorzugten Geländeexpositionen an der Südseite des Windachtales – dem eigentlichen Untersuchungsgebiet mit zahlreichen Vorortdaten – sind NW-NE, untergeordnet auch E-SE – siehe Abb. 6.
Die Kare auf der Südseite des Windachtales (Schönkar, Wannenkar, Haglkar und Schraakar), aber auch auf der Nordseite, werden von zahlreichen Blockgletschern eingenommen. Insgesamt wurden im Einzugsgebiet der Windache inkl. den südlich exponierten Einhängen Richtung Timmelstal von Krainer & Ribis, 2012 38 Blockgletscher festgestellt. Im Einzugsgebiet der Windache selbst wurden 27 Blockgletscher festgestellt, davon wurden 12 als aktiv, 7 als inaktiv und 8 als fossil eingestuft Krainer, 2015. Die Blockgletscher in den Karen südlich der Windache wurden von Schmidt, 2014 im Detail untersucht

Die Permafrostmodellierung zeigt, dass im Windachtal oberhalb von ca. 2500 m Seehöhe (nordexponiert) und ca. 2700 m Seehöhe (südexponiert) verbreitet mit Permafrost zu rechnen ist (wahrscheinlich ist). Auch im Bereich der südlich exponierten Einhänge Richtung Timmelstal ist ab ca. 2700 m verbreitet mit Permafrost zu rechnen – siehe Abb. 7.
Eine Erwärmung von +1K wird dazu führen, dass die Permafrost-Untergrenze im Bereich nordexponierter Einhänge um ca. 300 m auf ca. 2800 m Seehöhe ansteigen wird. Im Bereich südexponierter Einhänge wird die Permafrost-Untergrenze um ca. 200 m auf ca. 2900 m Seehöhe ansteigen – siehe Abb. 8.
Eine Erwärmung von +2K wird zu einem noch stärkeren Rückgang des Permafrostes führen und Permafrost wird nur noch im Bereich nord- bis nordwest-exponierter Hänge oberhalb von 2800 m wahrscheinlich sein. Im Bereich südexponierter Hänge wird mehr nur lokal über 3000 m Seehöhe mit Permafrost zu rechnen sein – siehe Abb. 9.

3.3 Lazaunkar

Das Untersuchungsgebiet Lazaunkar umfasst eine Fläche von ca. 3.7 km^2. Das Lazaunkar mit der Lazaunalm liegt ca. 2 km WSW von Kurzras im hinteren Schnalstal in den südlichen Ötztaler Alpen (Südtirol). Das Lazaunkar ist nach ENE ausgerichtet und wird im Westen vom Massiv der Lagaunspitze (3439 m), Saldurspitze (3433 m) und Lazaunspitze (3313 m) begrenzt. Der Kamm, der von der Lagaunspitze nach Osten zieht („Stotz-Rücken"), bildet die südliche Begrenzung des Lazaunkares. Im Norden wird das Lazaunkar von einem Felskamm, begrenzt, der vom Massiv

Abbildung 6:
Untersuchungsraum Windachtal inkl. Einhänge Timmelstal – Geländeexpositionen

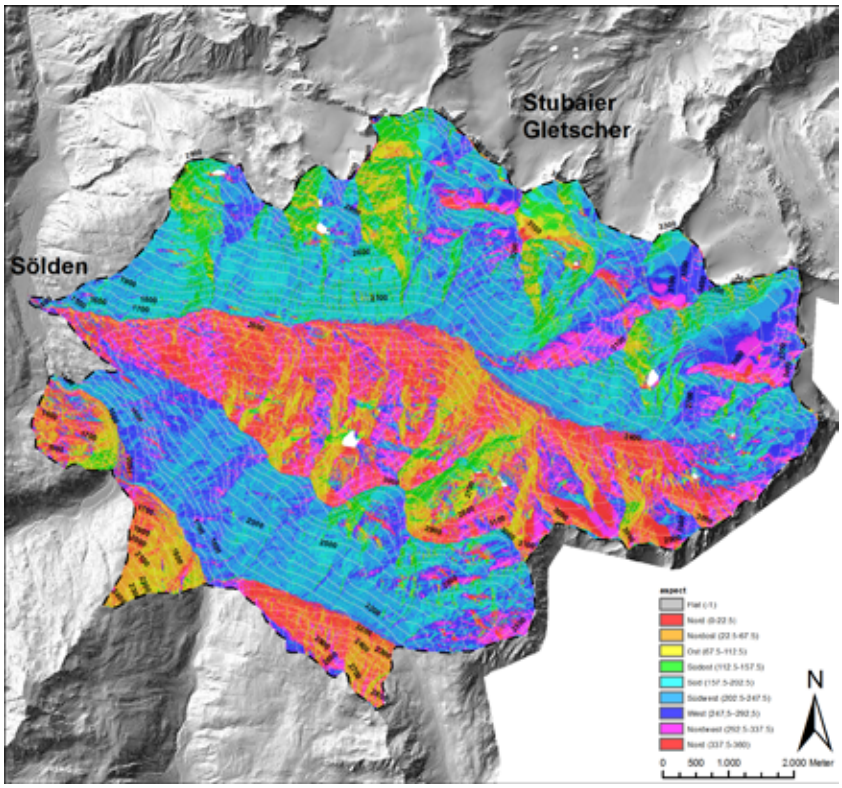
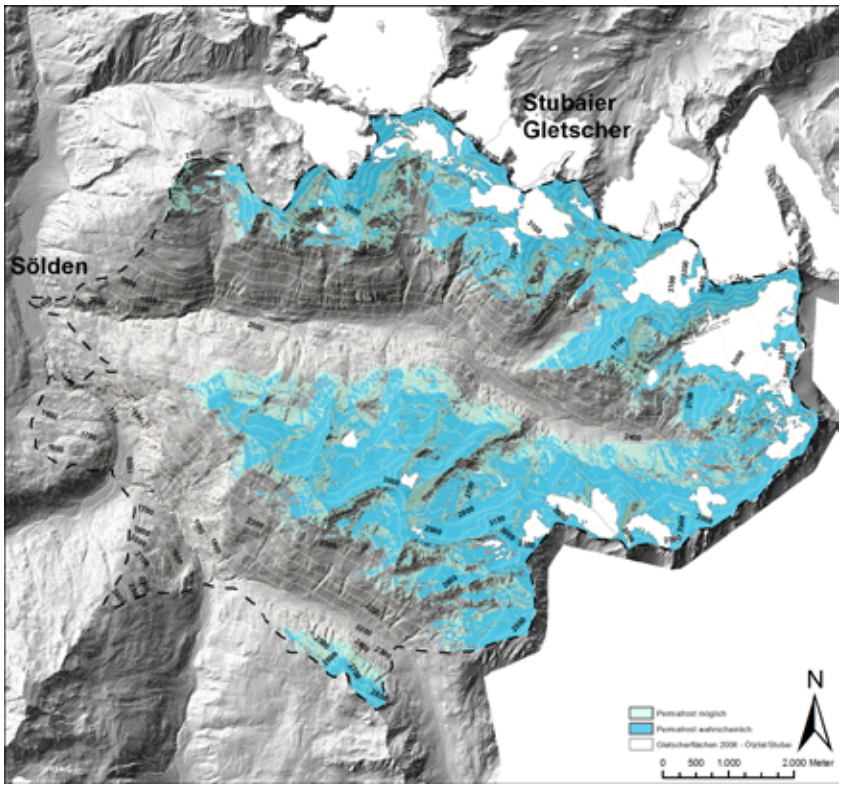


Abbildung 7:
Windachtal – Rezente Permafrostverbreitung (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)



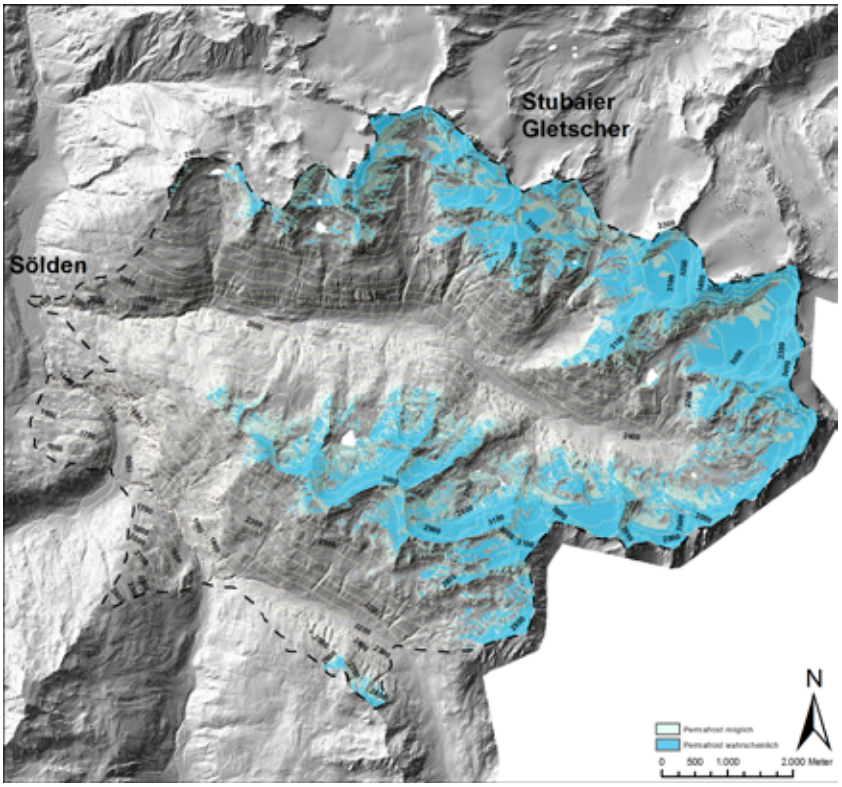


Abbildung 8:
Windachtal – Permafrostverbreitung
+ 1 K (hellblau: Permafrost möglich;
dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

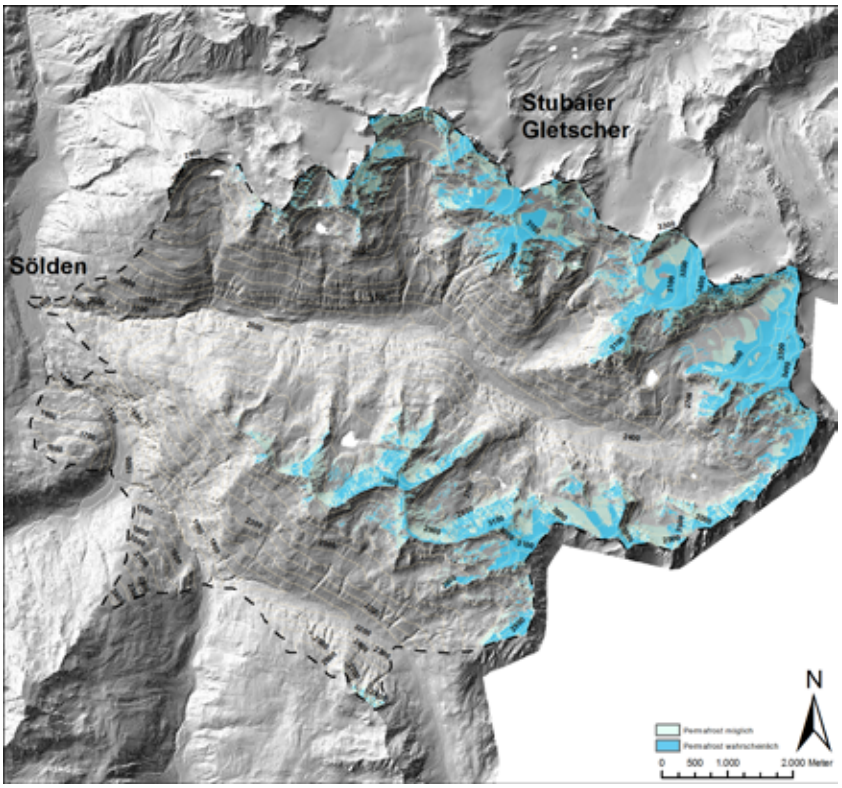


Abbildung 9:
Windachtal – Permafrostverbreitung
+ 2 K (hellblau: Permafrost möglich;
dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich

der Saldurspitze nach Osten zieht. Die bevorzugten Geländeexpositionen im Modellgebiet sind N-NE-E, gefolgt von den Expositionen SE bzw. NW – siehe Abb. 10. Deutlich untergeordnet sind die Expositionen S-SW-W.

An den Osthängen der Lagaunspitze und Saldurspitze befinden sich zwei kleine Gletscher. Die nordexponierte Hänge des Stotz-Kammes werden teilweise von intakten Blockgletschern bedeckt. Im Bereich der südexponierten Hänge der Nordseite des Lazaunkares finden sich fossile Blockgletscher und Reste der egesenzeitlichen Seitenmoräne. Details zur Quartärgeologie des Lazaunkares, insbesondere zum Lazaun Blockgletscher finden sich in Bressan, 2007. Daten zum aktiven Blockgletscher und den Kernbohrungen am Blockgletscher Lazaun sind in Krainer et al., 2015 enthalten.

Die Permafrostmodellierung zeigt, dass rezent Permafrost vor allem im Bereich der nordexponierten Hänge ab einer Seehöhe von ca. 2550 m und im Bereich der Ostseite des Massivs der Lagaun- und Saldurspitze ab einer Seehöhe von 2700 m wahrscheinlich ist. Vor allem auch im Festgestein ist in diesen Bereichen verbreitet mit Permafrost zu rechnen. Die süd- bis südostexponierten Hänge auf der Nordseite des Kares sind dagegen bereits weitgehend permafrostfrei – siehe Abb. 11.

Ein Temperaturanstieg von +1K wird zu einem Anstieg der Permafrost-Untergrenze von ca. 100 -200 m führen. Die süd- bis südostexponierten Hänge auf der Nordseite des Kares werden weiter gegen Westen permafrostfrei – siehe Abb. 12.

Bei einer Erwärmung von +2K wird sich der Permafrost in noch größere Höhen zurückziehen und nur mehr in Seehöhen über ca. 2700 bis 2900 m fleckenhaft und v.a. in nord- bis nordostexponierten Einhängen vorhanden sein – siehe Abb. 13.

3.4 Grawand

Das Untersuchungsgebiet Grawand umfasst eine Fläche von ca. 3.8 km^2. Grawand (3251 m) ist ein pyramidenförmiger Gipfel unmittelbar südöstlich der Bergstation der Schnalstaler Gletscherbahnen (3212 m) mit der Talstation in Kurzras im hinteren Schnalstal (Südtirol). Nördlich der Grawand liegt der Hochjochferner.

Die bevorzugten Geländeexpositionen im Modellgebiet sind S-SW-W, gefolgt von den Expositionen E-SE – siehe Abb. 14. Untergeordnet sind die Expositionen N-NE bzw. NW-N vorhanden.

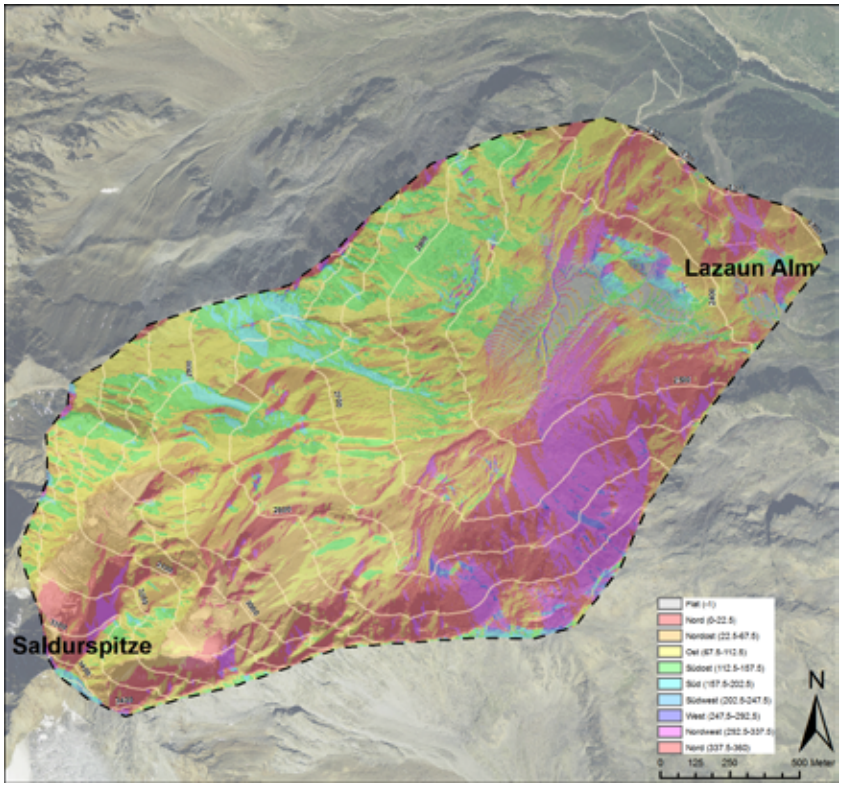


Abbildung 10:
Untersuchungsraum Lazaun – Geländeexpositionen

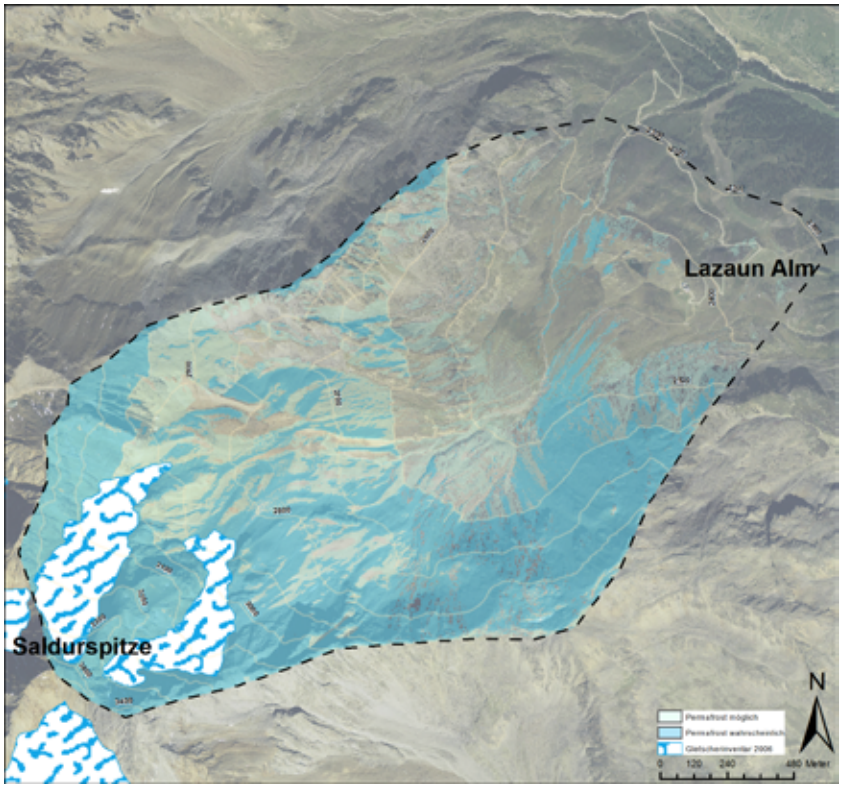


Abbildung 11:
Lazaun – Rezente Permafrostverbreitung (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

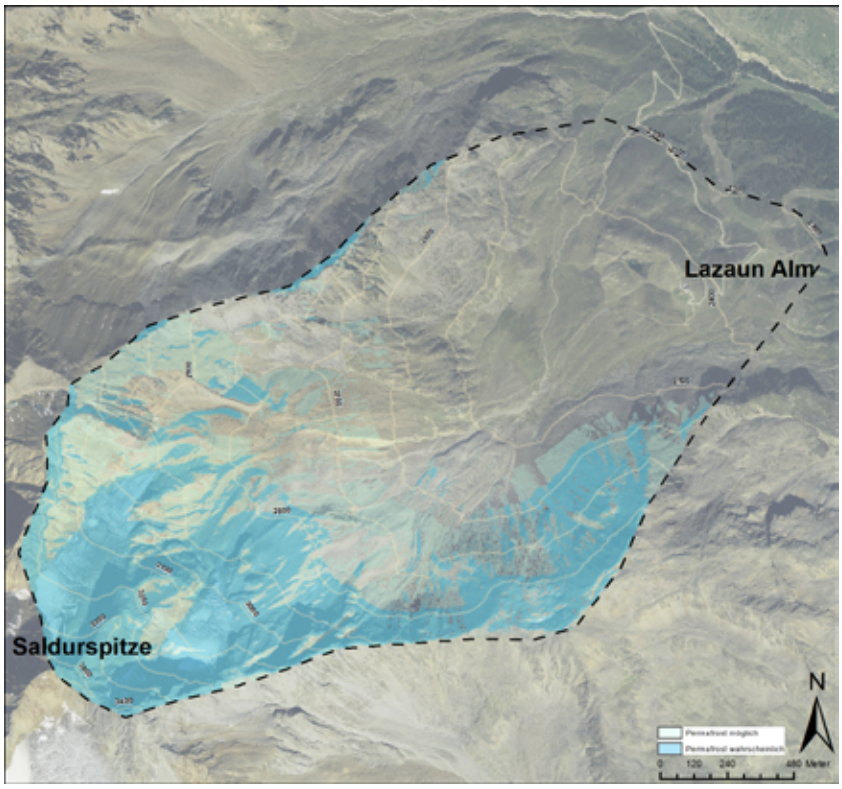
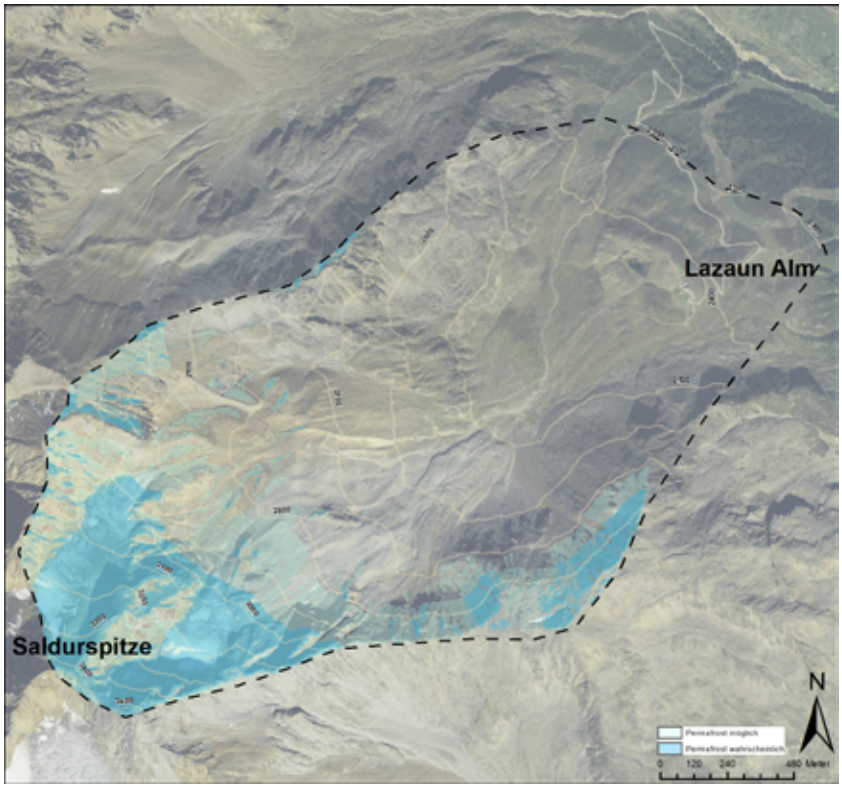
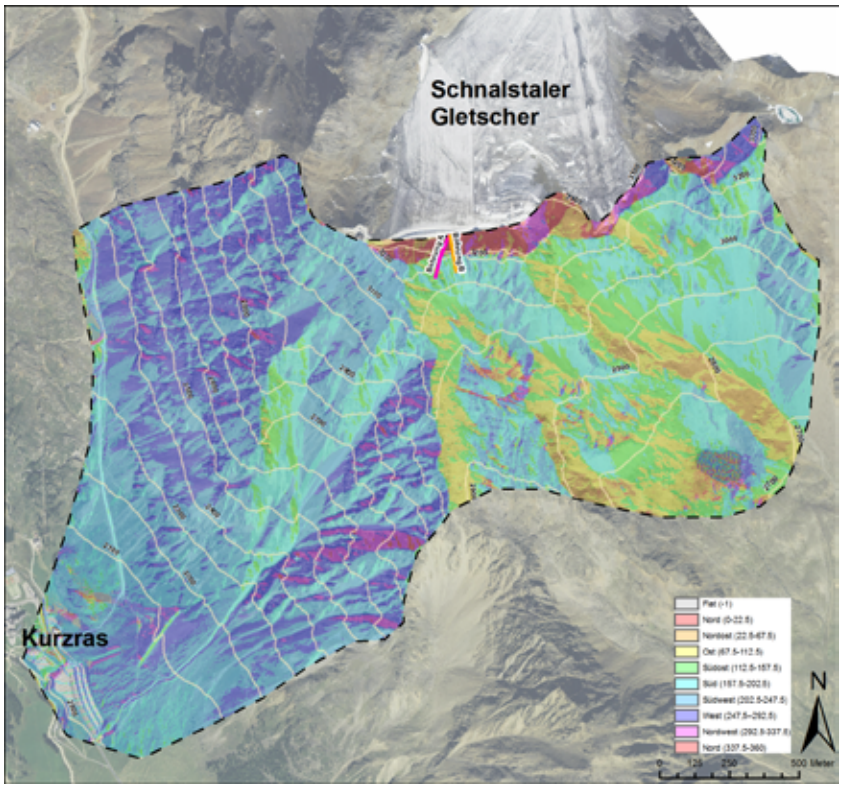


Abbildung 12:
Lazaun – Permafrostverbreitung + 1 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

Abbildung 13:
Lazaun – Permafrostverbreitung + 2 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)



AAbbildung 14:
Untersuchungsraum Grawand – Geländeexpositionen



Im Jahr 2011 wurden ca. 300 m östlich der Bergstation der Schnalstaler Gletscherbahn entfernt, auf Höhe ca. 3140 m, zwei Horizontalbohrungen ohne Kerngewinn (Bohrung A, Bohrung B) durch den Gipfel der Grawand in Richtung Süden abgeteuft und mit zahlreichen Temperatur-Loggern zur Erfassung der Felstemperatur ausgestattet. Die Ergebnisse der bisherigen Temperaturmessungen sind von Reinthaler 2014 beschrieben. Die Auftauschicht (Active Layer) an der Nordseite der Grawand beträgt im Mittel ca. 1,4 m -1,9 m, die Auftauschicht an der Südseite der Grawand beträgt im Mittel ca. 5,4 m und ist expositionsbedingt deutlich mächtiger. Die gemessenen Felstemperaturen im Inneren der Grawand zeigen konstant negative Temperaturen zwischen -2,5°C bis -2,7°C.

Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass rezent Permafrost im Bereich der südwest- bis südostexponierten Einhänge Richtung Kurzras ab ca. 2600 m Seehöhe fleckenhaft vorhanden ist. In den südwestlichen Einhängen ist Permafrost vor allem ab einer Seehöhe von ca. 2900 m flächenhaft vorhanden, in den südöstlichen Einhängen erst ab einer Seehöhe von ca. 3000 m. Im Bereich der nordexponierten Hänge der Grawand und des Kammes, der nach Osten Richtung Finaljoch zieht, ist flächenhaft mit Permafrost (im Festgestein) zu rechnen – siehe Abb. 15. Dies wird auch durch die Temperaturmessungen in den beiden Horizontalbohrungen bestätigt.

Eine Erwärmung um +1K wird den Permafrost besonders auf den südlichen Felshängen stark zurückdrängen. Die südwestlichen Einhänge zeigen flächenhaften Permafrost nur mehr ab ca. 3100 m. Die nordexponierten Hänge der Grawand und des Kammes Richtung Finailjoch sind von dieser Entwicklung unbeeindruckt und zeigen weiter flächenhaft Permafrost – siehe Abb. 16.

Eine Erwärmung um +2K wird zu einem fast vollständigen Abschmelzen des Permafrostes im Bereich der südost- bis südwestexponierten Hänge der Grawand führen und nur mehr fleckenhaft vorhanden sein. Die nordexponierten Hänge der Grawand und des Kammes Richtung Finailjoch zeigen weiter flächenhaft Permafrost – siehe Abb. 17.

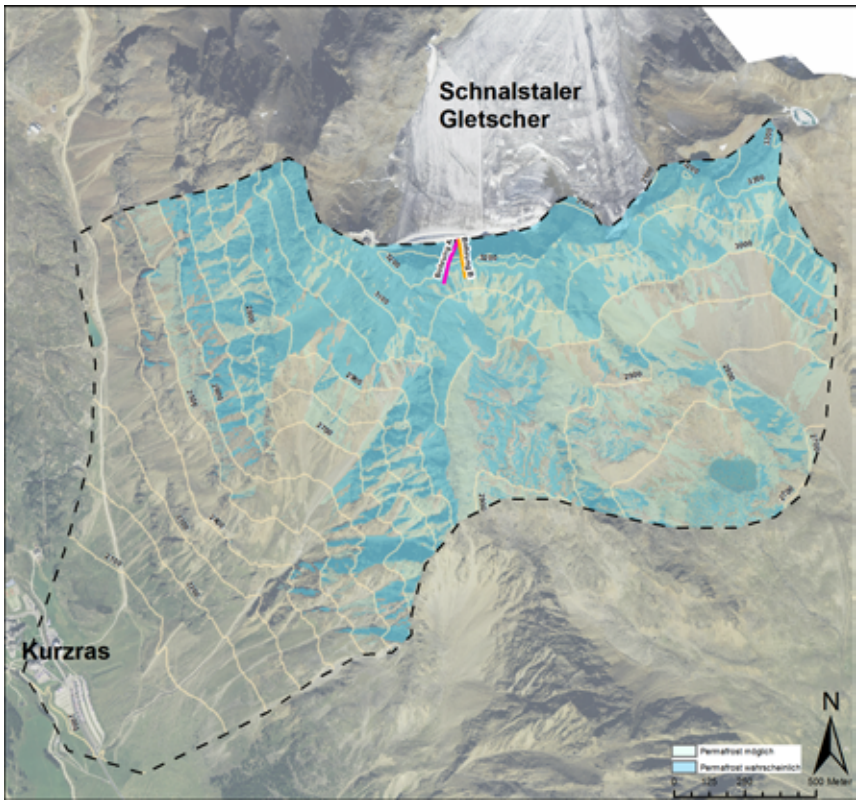


Abbildung 15:
Grawand – Rezente Permafrostverbreitung (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

Abbildung 16:
Grawand – Permafrostverbreitung + 1 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich)

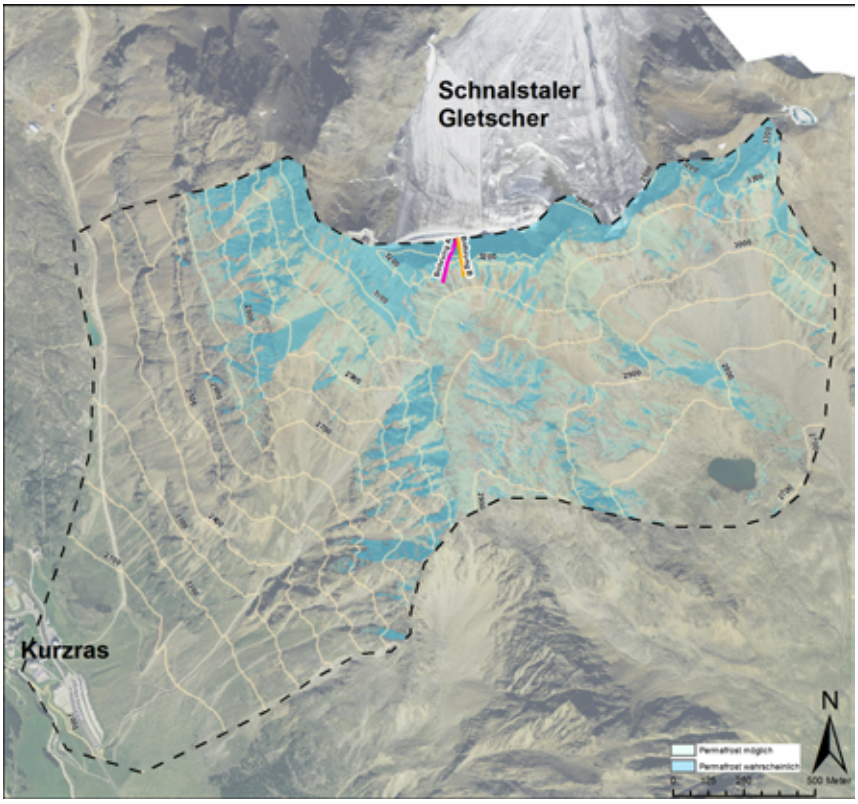
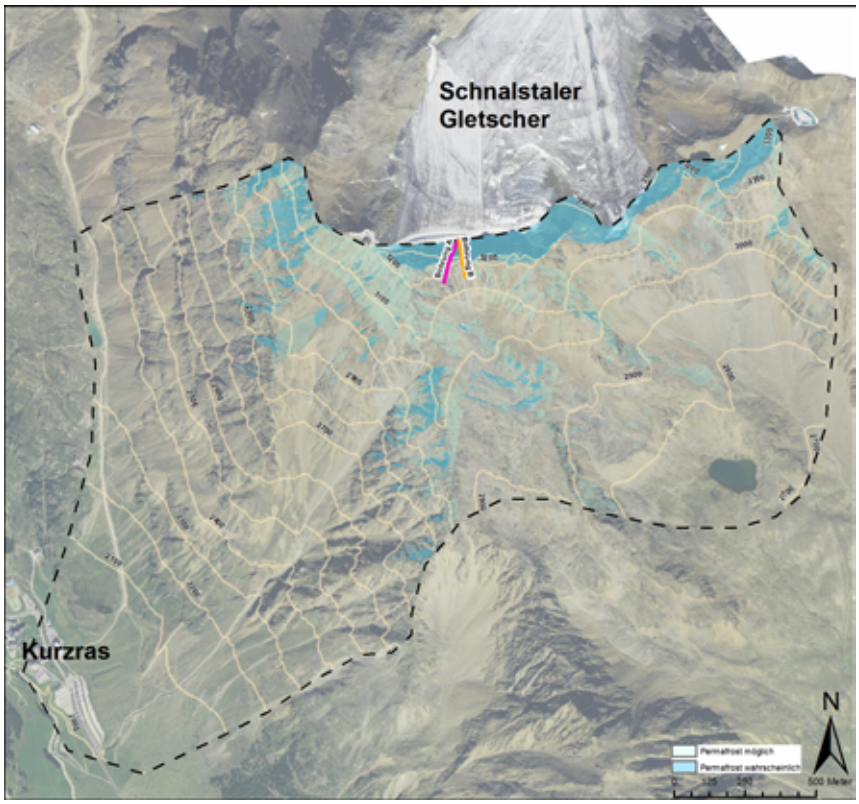


Abbildung 17:
Grawand – Permafrostverbreitung + 2 K (hellblau: Permafrost möglich; dunkelblau: Permafrost wahrscheinlich



4 Diskussion

Die rezenten Modellergebnisse in den Untersuchungsräumen Windach, Lazaun und Grawand sind plausibel und auch durch Vorortuntersuchungen – mit der natürlichen Unschärfe eines Modells mit primär hinweisgebenden Charakter – nachvollziehbar. All diese Untersuchungsräume sind vorwiegend NW-NE (Windach-Südseite, Lazaun) bzw. SW-SE (Grawand) exponiert.
Für den Bereich Inneres Hochebenkar sind die rezenten Modellergebnisse nicht plausibel nachvollziehbar. Für diesen Bereich ist die Permafrostverbreitung + 1K aufgrund der Vorortuntersuchungen das plausibelste Ergebnis für die rezente Situation. Der Untersuchungsraum zeigt eine bevorzugte Exposition mit SW-NW und ist im Bereich ab der Blockgletscherzunge(n) bis zur Langtaleckhütte zudem extrem windexponiert.
In nachfolgender Abbildung 18 sind exemplarisch die Modellergebnisse im Bereich Wannenkarsee im Windachtal den Ergebnissen der Blockgletscherinventarisierung von Krainer & Ribis, 2012 sowie den Vorortmessungen der Quelltemperaturen von Schmidt, 2014 gegenübergestellt. Die Modellergebnisse zeigen eine gute Korrelation mit den tatsächlich Vorort angetroffenen Verhältnissen.

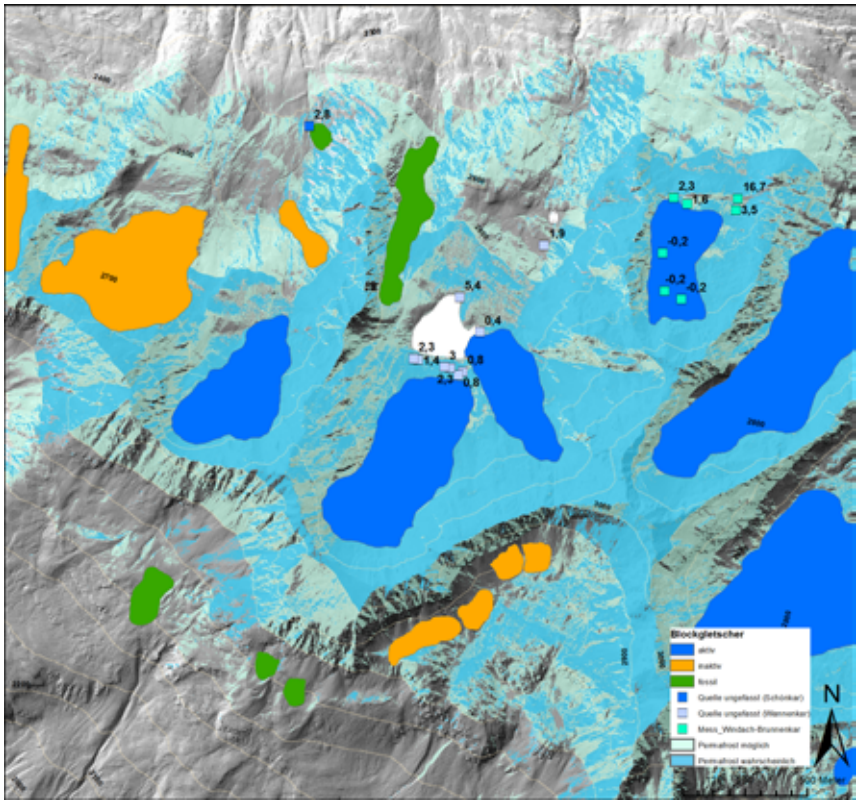


Abbildung 18:
Windachtal - Gegenüberstellung rezentes Modellergebnis und Aktivität der Blockgletscher mit Vorortergebnissen von Quellmessungen durch Schmidt, 2014 [17] im Bereich Schönkar, Brunnenkar und Wannenkar

5 Zusammenfassung

Permafrost ist in den ausgewählten Untersuchungsräumen flächenhaft vor allem im Bereich von nordwest- bis nordostexponierten Einhängen sowohl im Locker- als auch im Festgestein über 2500 m verbreitet. Die Daten passen gut mit Geländebeobachtungen und Temperaturmessungen (u.a. BTS) je Untersuchungsraum überein. Eine Erwärmung von + 1K und vor allem + 2K wird in allen Untersuchungsräumen zu einem markanten Abbau des Permafrost-Eises und zu einem markanten Anstieg der Permafrost-Untergrenze je nach Exposition von bis zu mehreren 100 m führen. Besonders wird dies in südwest- bis südostexponierten Einhängen – Beispiele Lazaun und Grawand – sichtbar, welche bereits rezent deutlich weniger flächige Permafrostareale aufweisen als nordwest- bis nordostexponierte Einhänge. Rein nordexponierte Einhänge zeigen in allen Untersuchungsräumen ein deutlich trägeres Verhalten hinsichtlich Reaktion auf Lufttemperatur-Veränderungen bei +1K und +2K.
Die Modellergebnisse aus diesen vier Untersuchungsräumen zeigen auch den generellen Trend von bevorzugten Expositionen für Permafrosterscheinungen wie aktive Blockgletscher. Die für Permafrost bevorzugten Einhänge sind überwiegend nordwest- bis nordostexponiert. Das Blockgletscherinventar von Tirol von Krainer & Ribis, 2012 verdeutlicht u.a., dass aktive Blockgletscher bevorzugt in nordwest- bis nordostexponierten Einhängen vorkommen – siehe Abb. 19.

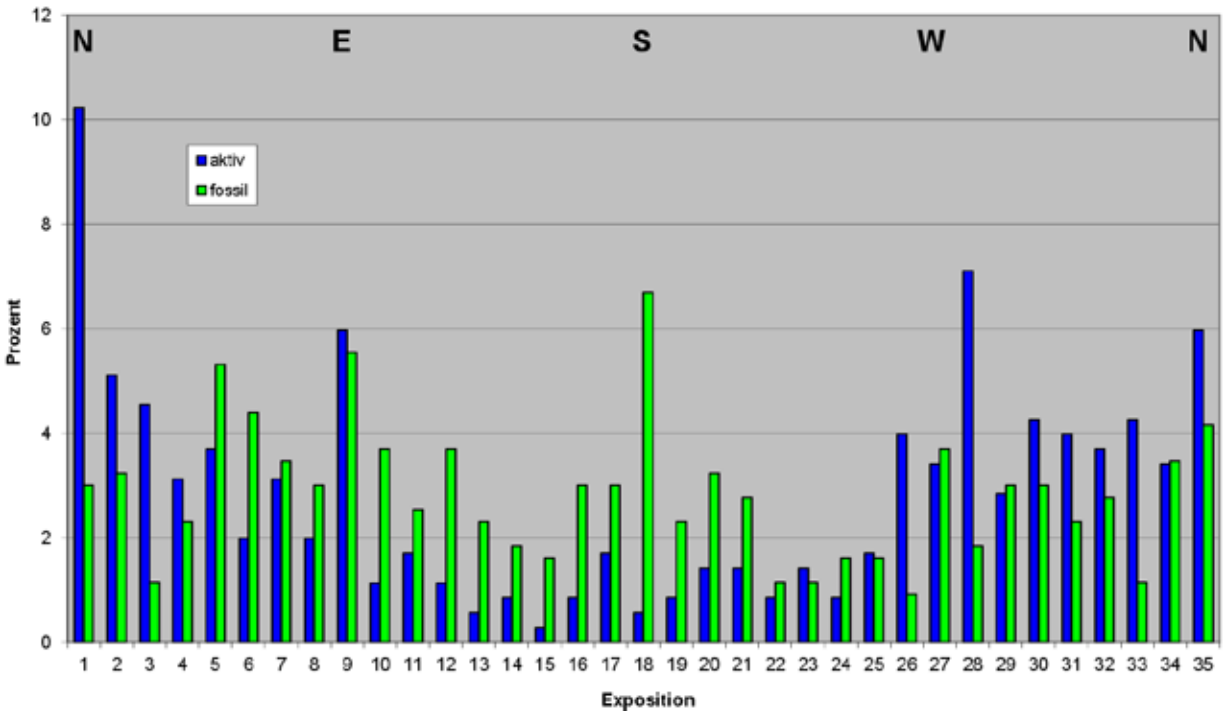


Abbildung 19: Verteilung aktiver und fossiler Blockgletscher in den Ötztaler-Stubaier Alpen

Literatur

Bressan, D. (2007): Aufbau und Dynamik aktiver Blockgletscher am Beispiel der Lazaunalm (Ötztaler Alpen/Südtirol), Unpubl. Master Thesis, Univ. of Innsbruck, 197 pp.

Ebohon, B. (2007): Modellierung der Permafrostverbreitung in Österreich. Diploma thesis, University of Vienna.

Ebohon, B. & Schrott, L. (2008): Modelling Mountain Permafrost Distribution. A New Permafrost Map of Austria. In: Kane D.L. & Hinkel K.M. (eds.), Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost (NICOP), University of Alaska, Fairbanks, USA, pp. 397-402.

Haeberli, W. (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden) – Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Bd. 17, 221 p.

Haeberli, W. (1996): Die "Permafrost-Faustregeln" der VAW/ETHZ – einige grundsätzliche Bemerkungen– IN: Haeberli, W., Hölzle, M., Dousse, J. P., Ehrler, C., Gardaz, J. M., Imhof, M., Keller, F., Kunz, P., Lugon, R. und Reynard, E.: Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen. vdf Hochschulverlag ETH Zürich, p. 13-18.

Haeberli, W. & Patzelt, G. (1982): Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. Zeitschrift für Gletscher-kunde und Glazialgeologie 18:127-150.

Imhof, M. (1996): PERM – ein Programm für die automatisierte Kartierung von Permafrost in den Schweizer Alpen. In: Haeberli, W., Hölzle, M., Dousse, J. P., Ehrler, C., Gardaz, J. M., Imhof, M., Keller, F., Kunz, P., Lugon, R. und Reynard, E.: Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen. vdf Hochschulverlag ETH Zürich, p. 25-33.

Keller, F. (1992): Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the geographical information system Arc/Info. Permafrost and Periglacial Processes, 3(2), p.133-138.

Kellerer-Pirklbauer, A., Lieb, G.K. & Kleinferchner, H. (2012): A new rock glacier inventory of the eastern European Alps. Austrian Journal of Earth Sciences 105/2: 78-93.

Krainer, K. (2015): Blockgletscher in den Ötztaler und Stubaier Alpen: Eine Übersicht. In: Forschung am Blockgletscher – Methoden und Ergebnisse, Alpine Forschungsstelle Obergurgl, Band 4, Innsbruck.

Krainer, K. & Ribis, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria). Austrian Journal of Earth Sciences 105(2): 32-47.

Krainer, K., Ribis, M. & Schmidt, V. (2015): Der Blockgletscher im Inneren Hochebenkar. In: Forschung am Blockgletscher – Methoden und Ergebnisse, Nikolaus Schallhart, Brigitta Erschbamer (Hg.), Alpine Forschungsstelle Obergurgl – Band 4, ISBN 978-3-902936-58-5.

Krainer, K., Bressan, D., Dietre, B., Haas, J.N., Hajdas, I., Lang, K., Mair, V., Nickus, U., Reidl, D., Thies, H. & Tonidandel, D. (2015): A 10300-year old ice core from the active rock glacier Lazaun, southern Ötztal Alps (South Tyrol, northern Italy) (submitted).

Lieb, G.K. (1996): Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz 33: 9-125.

Reinthaler, J. (2014): Permafrostforschung an der Grawand – Schnalstal, Südtirol. Bachelorarbeit, Institut für Geographie, Universität Innsbruck, 45 Seiten.

Sattler, B. (2008): Murgangaktivität und Permafrostverbreitung in einem periglazialen Hochgebirgsraum – eine Fallstudie im Schnalstal, Südtirol. Diplomarbeit, Universität Wien, 2008, 128 p.

Schmidt, V. (2014): Geologisch-geomorphologische Kartierung eines ausgewählten Gebietes im Windachtal (Ötztal/Tirol). Unveröff. Masterarbeit, Institut für Geologie, Universität Innsbruck, 169 Seiten + Anhang.

Stocker, K. (2012a): Geologie und Blockgletscher der Madererspitze (Vorarlberg). Unveröff. Masterarbeit, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, 134 Seiten.

Stocker, K. (2012b): Blockgletscher in Vorarlberg und in der Verwallgruppe. Museumsverein Jahrbuch Vorarlberger Landesmuseum 2012: 124-139.

Stötter, J. (1994): Veränderungen der Kryosphäre in Vergangenheit und Zukunft sowie Folgeerscheinungen – Untersuchungen in ausgewählten Hochgebirgsräumen im Vinschgau. Ludwig-Maximilians-Universität München, unveröffentlichte Habilitationsschrift, 264 p.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geo.Alp

Jahr/Year: 2016

Band/Volume: 012

Autor(en)/Author(s): Ribis Markus, Krainer Karl

Artikel/Article: Die Modellierung der Permafrostverbreitung in vier ausgewählten Bereichen der Ötztaler Alpen in Nord- und Südtirol 135-150