

Das Blockgletscherinventar von Tirol – Ein Beitrag zur Permafrostforschung

The Rock Glacier Inventory of Tyrol - A contribution to permafrost research

Markus Ribis¹

¹ geo.zt gmbh poscher beratende geologen, Hall i. Tirol, Österreich

Zusammenfassung

Permafrost ist in den europäischen Alpen weit verbreitet und beinhaltet eine große Zahl von Blockgletschern, die eine typische und sehr häufige Form des alpinen Permafrostes darstellen und besonders in den Tiroler Alpen (Österreich) sehr zahlreich vorkommen. Hierfür wurde ein Blockgletscherinventar für alle Gebirgsgruppen der Tiroler Alpen erstellt. Das Blockgletscherinventar der Tiroler Alpen (Österreich) umfasst 3145 Blockgletscher mit einer Fläche von 167,2 km². Davon wurden 517 (16,4 %) als aktiv, 915 (29,1 %) als inaktiv und 1713 (54,5 %) als fossil eingestuft. Unter den aktiven und inaktiven Blockgletschern sind zungenförmige, Eis-zementierte Blockgletscher, die sich aus Hangschutt entwickelt haben, weitaus am häufigsten. Blockgletscher, die sich aus schuttbedeckten Kargletschern entwickelt haben, sind offensichtlich selten. Die meisten Blockgletscher befinden sich in den Gebirgsgruppen der Zentralalpen, in denen die Festgesteine aus diversen Glimmerschiefern, Paragneisen, Orthogneisen und Amphiboliten („Altkristallin“) bestehen. Ein Großteil der aktiven und inaktiven Blockgletscher ist nach NW, N und NE ausgerichtet. Nach SW, SE und S ausgerichtete aktive und inaktive Blockgletscher sind dagegen selten. Das gesamte in aktiven und inaktiven Blockgletschern Tirols gespeicherte Eisvolumen wird auf 0,19 bis 0,27 km³ geschätzt, ein im Vergleich zum Eisvolumen der Tiroler Gletscher (13 km³) geringer Wert. Aus der Verteilung der aktiven und inaktiven Blockgletscher kann die Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes in den zentralen Gebirgsgruppen der westlichen österreichischen Alpen (Tirol) bei ungefähr 2500 m angenommen werden. Die Daten bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Abschätzung der flächigen Verbreitung von Permafrost und damit in Zusammenhang stehenden hydro(geo)logischen Prozessen, u.a. Permafrostdegradation durch verstärktes Abschmelzen von Permafrost-Eis und dessen Auswirkungen auf das Abflussverhalten von Einzugsgebieten sowie den Feststoffhaushalt von alpinen Wildbachsystemen. Ebenso bilden diese Daten eine wichtige Grundlage für die weitere Erfassung von Naturgefahren-Prozessen, u.a. potentielle Steinschlag-, Felssturz- und Murgang-Bereiche und v.a. für ingenieurgeologische Fragestellungen im alpinen bis hochalpinen Kraftwerksbau.

Schlüsselworte: Blockgletscher, Inventar, Tiroler Alpen, Österreich, Naturgefahren, Ingenieurgeologie

Abstract

Permafrost is widespread in the European Alps and includes a large number of rock glaciers, which are the typical and most common permafrost landform and particularly abundant in the Tyrolean Alps of Austria. For this purpose a rock glacier inventory of all mountain groups of the Tyrolean Alps was compiled. The rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria) includes 3145 rock glaciers which cover an area of 167.2 km². Of these, 517 (16.4 %) were classified as active, 915 (29.1 %) as inactive, and 1713 (54.5 %) as fossil. Tongue-shaped, talus-derived, ice-cemented rock glaciers are the most common type among active and inactive rock glaciers. Glacier-derived rock glaciers containing a massive ice-core are rare. Most rock glaciers occur in the mountain groups of the central Alps in which bedrock is composed mainly of mica schists, paragneiss, orthogneiss and amphibolites (“Altkristallin”). The majority of active and inactive rock glaciers are exposed towards a northern (NW, N and NE) direction. Active and inactive rock glaciers exposed towards SW, SE and S are minimal. The total amount of ice in active and inactive rock glaciers of Tyrol is estimated to be 0.19 - 0.27 km³ which is small compared to the ice volume contained in the glaciers of the Tyrolean Alps (13 km³). The distribution of active and inactive rock glaciers indicates that the lower limit of discontinuous permafrost in the mountain groups located in the central part of the Tyrolean Alps of Austria is located at approximately 2500 m. The data form an important basis for the further assessment of the surface distribution of permafrost and in related hydro(geo)logic processes, including permafrost-degradation by increased melting of permafrost-ice and its impact on the flow of alpine torrent systems as well as the solid substance budget of alpine torrent systems. As well, these data form an important basis for the further collection of natural hazard processes, including potential rock fall and debris/mud flow areas and especially for engineering geological issues in the alpine till high-alpine power plant construction.

Keywords: rock glacier, inventory, Tyrolean Alps, Austria, natural hazards, engineering geology

1 Einleitung

Alpiner Permafrost ist in den europäischen Alpen weit verbreitet und aufgrund seiner Temperatur (nahe 0°C) sehr sensibel in Bezug auf klimatische Änderungen. Es wird

geschätzt, dass in Österreich ungefähr eine Fläche von 2000 km² von Permafrost betroffen ist (LIEB 1998). In der Schweiz sind es ungefähr 5 % der Landesfläche (~2100 km²). Blockgletscher zählen zu den auffallendsten und markantesten Erscheinungsformen des Alpinen Perma-



frostes (BOECKLI ET AL. 2012, GÄRTNER-ROER ET AL. 2010). Viele Blockgletscher in den Alpen befinden sich im Bereich der Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes mit Temperaturen zwischen -2°C und 0°C (GÄRTNER-ROER ET AL. 2010).

LIEB (1996) war der erste, der ein Blockgletscherinventar für den östlichen Teil der Österreichischen Alpen zusammengestellt hat. Er erfasste 1451 Blockgletscher, von denen 282 noch Eis enthielten und als aktiv klassifiziert worden sind. Eine aktualisierte und erweiterte Version des Blockgletscherinventars von LIEB (1996) wurde vor kurzem erarbeitet und ist umfassend von KELLERER-PIRKLBAUER ET AL. (2012) beschrieben. CREMONESE ET AL. (2010) zeigte die erste Version eines Permafrostinventars der europäischen Alpen einschließlich eines Blockgletscherinventars, welches schon für große Teile der europäischen Alpen existiert.

Obwohl aktive und inaktive Blockgletscher im westlichen Teil von Österreich (Tiroler Alpen) häufiger anzutreffen sind, gab es bisher nur wenige Informationen über die flächige Verbreitung dieser Blockgletscher. Ein Blockgletscherinventar wurde erstellt, um Grundlagendaten über den alpinen Permafrost in dieser Region und für die Modellierung der Permafrost-Verbreitung in den europäischen Alpen zu erhalten, entsprechend der Methode von BOECKLI ET AL. (2012), welche auf Blockgletscherinventaren und Felsoberflächentemperaturen basiert.

Das Ziel war zusammenfassend, ein Inventar aller Blockgletscher für die Gebirgsgruppen von Tirol zu erstellen, Grundlagendaten zu jedem Blockgletscher zu liefern (z.B. Koordinaten, Höhe, Länge, Breite, Bereich, Form) sowie das Eisvolumen in den aktiven und inaktiven Blockgletschern abzuschätzen (KRAINER & RIBIS 2012).

2 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum beinhaltet alle Gebirgsgruppen der Tiroler Alpen in Österreich (Ostalpen). Eine Übersicht der Gebirgsgruppen Tirols ist schematisch in Abb. 1 ersichtlich.

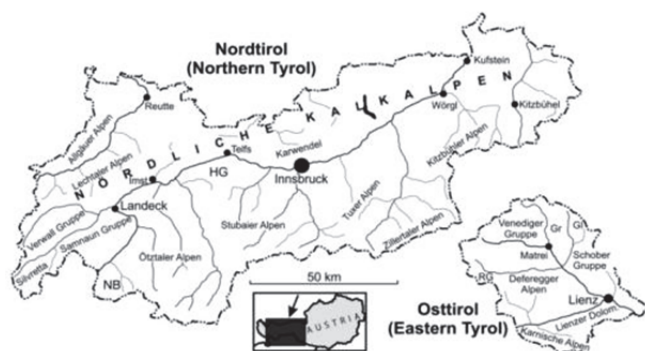


Abb. 1: Untersuchungsraum inkl. Gebirgsgruppe.

Fig. 1: Study area with all mountain groups.

3 Bisherige Untersuchungen an Blockgletschern in den Tiroler Alpen

Nur wenige aktive Blockgletscher wurden im Detail in den Tiroler Alpen untersucht, vorwiegend in den Ötztaler und Stubai Alpen. FINSTERWALDER (1928) beschrieb den

Blockgletscher in der Inneren Ölgrube und zeigte Fließgeschwindigkeiten. Im Jahre 1938 begann PILLEWIZER mit ersten Messungen der Fließgeschwindigkeiten am Hochebenkar-Blockgletscher in den Ötztaler Alpen nahe Obergurgl und am Ölgrube-Blockgletscher im Kaunertal. Seit dieser Zeit werden Fließgeschwindigkeiten am Hochebenkar-Blockgletscher mehr als 70 Jahre gemessen (PILLEWIZER 1957, VIETORIS 1958, 1972, SCHNEIDER & SCHNEIDER 2001).

Später wurden photogrammetrische Methoden (aerisch, terrestrisch) durchgeführt, um Fließraten zu erfassen, welche sich gut mit direkt gemessenen Fließgeschwindigkeiten im Feld vergleichen lassen (KAUFMANN 1998, KAUFMANN & LADSTÄTTER 2002, 2003, LADSTÄTTER & KAUFMANN 2005).

HAEBERLI & PATZELT (1983) bestimmten das thermische Regime des Äußeren und Inneren Hochebenkars durch Anwendung der weit verbreiteten Methode der Messung der Basis-Temperatur der Schneedecke (BTS). Außerdem wurde mittels Refraktionsseismik an verschiedenen Profilen der Eisgehalt abgeschätzt.

GERHOLD (1967, 1969) kartierte und untersuchte eine Anzahl an Blockgletschern in den westlichen Ötztaler Alpen hinsichtlich Formung und Alter. KERSCHNER (1978, 1985) leitete paläoklimatische Bedingungen aus fossilen Blockgletschern ab. LIEB (1991) untersuchte die horizontale und vertikale Verbreitung von Blockgletschern in den Hohen Tauern.

Detaillierte Untersuchungen hinsichtlich Morphologie, Zusammensetzung, thermales Regime der Ablagerungen, Hydrologie, Fließgeschwindigkeiten und geophysikalische Untersuchungen wurden von KRAINER & MOSTLER (2000, 2001A, 2001B, 2002, 2004, 2006), KRAINER ET AL. (2002, 2007) und HAUSMANN ET AL. (2007) an Blockgletschern im Sulzkar und Reichenkar in den westlichen Stubai Alpen durchgeführt. Zwei aktive Blockgletscher im Kaunertal (Ölgrube, Kaiserberg) wurden im Detail von BERGER ET AL. (2004) und KRAINER & MOSTLER (2002, 2006) untersucht.

In Osttirol untersuchte BUCHENAUER (1990) Blockgletscher in der Schober Gruppe und ROLSHOVEN (1982) präsentierte Daten zu Blockgletschern in der Lasörling Gruppe der Defereger Alpen.

4 Methodik

Als Blockgletscher von Luftbildern identifiziert wurden, war die Basisidentifikationsart die Morphologie. Da jedoch mehrere Prozesse ähnliche morphologische Formen verursachen können (z.B. aus Schutt abgeleitete Blockgletscher versus aus Gletscher abgeleitete Blockgletscher), ist es unmöglich, die Art der Entstehung der Blockgletscher nur aus Luftbildern abzuleiten. Deshalb wurde der Empfehlung von VITEK & GIARDINO (1987) gefolgt, dass der Begriff Blockgletscher eigentlich generisch statt genetisch betrachtet werden sollte. Sämtliche Blockgletscher wurden mittels Farb-Orthophotos und Laserscan-Aufnahmen bestimmt, welche vom Amt der Tiroler Landesregierung (Luftbildatlas Tirol, Laserscanning Tirol, www.tirol.gv.at) zur Verfügung gestellt wurden (KRAINER & RIBIS 2012).

Weiters wurde je Blockgletscher ein Datenblatt erstellt, das unter anderem folgende Daten enthält: Nummer, geografische Bezeichnung, Koordinaten, Höhe der Stirn, Höhe der Wurzelzone, mittlere Höhe, maximale Länge und Breite, Fläche, Exposition, Oberflächenmorphologie, Form, Entstehung, Zustand, Gewässereinzugsgebiet, Gebirgsgruppe, Festgesteine im Einzugsgebiet, Quellaustritte im Stirnbereich, Wasseranalysen vorhanden, Pegelraten von Oberflächengewässern vorhanden, Literatur vorhanden. Auf einem Orthophoto-Auszug (jpeg) wurde zudem die Umrisslinie des Blockgletschers dargestellt (KRAINER & RIBIS 2012).

5 Verbreitung der Blockgletscher in Tirol

In den Tiroler Alpen (Österreich) wurden 3145 Blockgletscher identifiziert, welche eine Fläche von 167,2 km² bedecken. Das entspricht ca. 1,3 % der Landesfläche von Tirol, mit einer Gesamtfläche von 12647,73 km².

Von diesen 3145 Blockgletschern wurden 517 (16,4 % bzw. 45,3 km²) als aktiv, 915 (29,1 % bzw. 42,1 km²) als inaktiv und 1713 (54,5 % bzw. 79,6 km²) als fossil eingestuft.

Blockgletscher sind in sämtlichen Gebirgsgruppen der Tiroler Alpen anzutreffen (KRAINER & RIBIS 2012).



Abb. 2: Blockgletscher Rossfallalpe, St. Anton a. Arlberg/Tirol.

Fig. 2: Rock glacier Rossfallalpe, St. Anton a. Arlberg/Tyrol.

5.1 Aktive Blockgletscher

Aktive Blockgletscher sind in allen Gebirgsgruppen Tirols mit Gipfelhöhen über 2700 m vorhanden (außer im Tiroler Teil der Granatspitz- und Glockner Gruppe). Besonders zahlreich sind aktive Blockgletscher in den Gebirgsgruppen der Zentralalpen (Verwall-, Silvretta-, Samnaungruppe, Ötztaler und Stubai Alpen, Deferegger Alpen, Schobergruppe) vorhanden, in den Nördlichen Kalkalpen, Zillertaler Alpen und der Venedigergruppe eher selten sowie in den Lienzer Dolomiten, Karnischen Alpen und Kitzbühler Alpen nicht vorhanden. Etwa 68 % der aktiven Blockgletscher sind in den Ötztaler und Stubai Alpen anzutreffen.

Die durchschnittliche Höhe der 517 aktiven Blockgletscher beträgt ca. 2704 m. Diese ist damit um ca. 100 m höher als bei inaktiven Blockgletschern und um ca. 370 m höher als bei fossilen Blockgletschern. Aktive Blockgletscher kom-

men meist in Höhenlagen zwischen 2500 m und 2850 m vor. Die Stirn von über 80 % aller aktiven Blockgletscher liegt im Bereich zwischen 2400 m und 2800 m.

Aktive Blockgletscher sind bis zu 1650 m lang und 980 m breit. Der größte aktive Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,59 km². 90 % der aktiven Blockgletscher haben eine Einzelfläche von weniger als 0,20 km². Die durchschnittliche Länge beträgt 451 m, die durchschnittliche Breite 201 m und die durchschnittliche Fläche 0,088 km².

Aktive Blockgletscher, die Richtung Norden exponiert sind (und fließen) kommen häufiger vor als aktive Blockgletscher, welche Richtung Süden exponiert sind.

Die meisten aktiven Blockgletscher (479 oder 92,6 %) befinden sich in Gebirgsgruppen mit vorwiegend metamorphen Gesteinen („Altkristallin“), in denen die Festgesteine aus diversen Glimmerschiefern, Paragneisen, Orthogneisen und Amphiboliten aufgebaut sind. Nur wenige aktive Blockgletscher (38) sind in Festgesteinen weiterer Gebirgsgruppen der Tiroler Alpen, z.B. Tauernfenster, Engadiner Fenster und Nördliche Kalkalpen, anzutreffen (KRAINER & RIBIS 2012).

5.2 Inaktive Blockgletscher

Inaktive Blockgletscher kommen in allen Gebirgsgruppen Tirols vor.

Die durchschnittliche Höhe der 915 inaktiven Blockgletscher beträgt ca. 2600 m und ist damit deutlich geringer als bei aktiven Blockgletschern. Inaktive Blockgletscher kommen meist in Höhenlagen zwischen 2360 m und 2700 m vor. Die Stirn von über 79 % aller inaktiven Blockgletscher liegt im Bereich zwischen 2300 m und 2700 m.

Inaktive Blockgletscher sind bis zu 1310 m lang und 900 m breit. Der größte inaktive Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,736 km². 91 % der inaktiven Blockgletscher haben eine Einzelfläche von weniger als 0,10 km². Die durchschnittliche Länge beträgt 292 m, die durchschnittliche Breite 167 m und die durchschnittliche Fläche 0,046 km².

Hinsichtlich der Exposition ist die Verteilung von inaktiven Blockgletschern ähnlich den aktiven Blockgletschern mit bevorzugten nördlichen Richtungen (N, NW, NE), untergeordnet aber auch SW, SE und S.

Ähnlich den aktiven Blockgletschern kommen die meisten inaktiven Blockgletscher in Gebirgsgruppen mit vorwiegend metamorphen Gesteinen („Altkristallin“) vor (KRAINER & RIBIS 2012).

5.3 Fossile Blockgletscher

Fossile Blockgletscher sind in sämtlichen Gebirgsgruppen der Tiroler Alpen weitverbreitet. Die durchschnittliche Höhe der 1713 fossilen Blockgletscher beträgt 2330 m und ist damit deutlich geringer als bei aktiven und inaktiven Blockgletschern. Fossile Blockgletscher kommen meist in Höhenlagen zwischen 2160 m und 2500 m vor. Die Stirn von 67 % aller fossilen Blockgletscher liegt im Bereich zwischen 2100 m und 2500 m. Der höchstgelegene fossile Blockgletscher ist in den Ötztaler Alpen anzutreffen (Stirn bei 2755 m, Wurzelzone bei 2920 m).



Fossile Blockgletscher sind bis zu 1400 m lang und 1020 m breit. Der größte fossile Blockgletscher bedeckt eine Fläche von 0,655 km². 90 % der fossilen Blockgletscher haben eine Einzelfläche von weniger als 0,10 km². Die durchschnittliche Länge beträgt 284 m, die durchschnittliche Breite 175 m, die durchschnittliche Fläche 0,046 km² und damit hinsichtlich der Größenordnung ähnlich den inaktiven Blockgletschern.

Hinsichtlich der Exposition unterscheiden sich fossile Blockgletscher deutlich von aktiven und inaktiven Blockgletschern. Die bevorzugten Richtungen sind SW und SE sowie besonders auch S.

67 % (1165) der fossilen Blockgletscher kommen in Gebirgsgruppen mit vorwiegend metamorphen Gesteinen („Altkristallin“) vor, weitere 12,2 % (210) in Gebirgsgruppen mit bevorzugt Quarzphylliten (z.B. Tuxer Alpen) und 10 % (171) in den Nördlichen Kalkalpen und Lienzer Dolomiten mit hauptsächlich triassischen Karbonatgesteinen. Die restlichen fossilen Blockgletscher verteilen sich auf die weiteren Gebirgsgruppen Tirols (KRAINER & RIBIS 2012).

6 Geschätztes Eis-Volumen

Das Blockgletscherinventar ermöglicht eine grobe Abschätzung des Eisvolumens von aktiven und inaktiven Blockgletschern. Der Bereich des gefrorenen Kerns von aktiven und inaktiven Blockgletschern ist um ca. 20 % geringer als der gesamte Bereich des Blockgletschers. Es wird geschätzt, dass die durchschnittliche Dicke des gefrorenen Kerns von aktiven Blockgletschern 15 m und von inaktiven Blockgletschern 10 m beträgt. Aus geophysikalischen Daten berechneten HAUSMANN ET AL. (2007, 2012) einen Eisgehalt von 40 bis 60 % für die aktiven Blockgletscher Reichenkar, Kaiserberg und Ölgrube. Zwei Bohrkerne vom aktiven Blockgletscher Lazaun (Schmalstal, Südtirol) brachten einen durchschnittlichen Eisgehalt von 43 % für den Bohrkern Lazaun I und 22 % für den Bohrkern Lazaun II, dessen Bohrung nahe des Stirnbereiches abgeteuft wurde. Die Mehrheit aktiver und inaktiver Blockgletscher sind jedoch kleinere, Eis-zementierte Blockgletscher, die einen niedrigeren Eisgehalt haben, als jene oben beschriebenen. Deshalb wird geschätzt, dass der durchschnittliche Eisgehalt von aktiven Blockgletschern ungefähr 30 bis 40 % und von inaktiven Blockgletschern 10 bis 15 % beträgt. Das Ergebnis ist ein Eisvolumen von 0,16 bis 0,22 km³ für alle aktiven Blockgletscher und 0,03 bis 0,05 km³ für alle inaktiven Blockgletscher der Tiroler Alpen. Auf diese Weise beträgt das gesamte gespeicherte Eisvolumen in aktiven und inaktiven Blockgletschern etwa 0,19 bis 0,27 km³ (KRAINER & RIBIS 2012).

7 Vom Blockgletscherinventar zur Anwendung in der Praxis

Aktive und inaktive Blockgletscher sind klassische Permafrostindikatoren und die Leitform des alpinen Permafrostes. Durch das Blockgletscherinventar sind diese Leitformen erstmals für Tirol großräumig in der Fläche erfasst und statistisch ausgewertet worden. Die Stirnhöhen der aktiven und inaktiven Blockgletscher stehen für die Untergrenze der diskontinuierlichen Permafrostverbreitung und sind für ein

definiertes Projektgebiet bereits erste wichtige Basisdaten für eine generelle Abklärung von Permafrostvorkommen.

Für die Festlegung des geeigneten Standortes eines geplanten Bauwerkes im Permafrostbereich muss man jedoch noch mehrere Phasen der Erkundung, Planung und Konzeptionierung berücksichtigen:

Durch eine Auswertung der Luftbild- und Laserscan-Aufnahmen sowie geologisch-geomorphologischen bzw. hydrogeologischen Geländeaufnahmen sind weitere wichtige Grundlagen geschaffen. Gezielte Messungen im Gelände, wie z.B. Messungen der Quellwassertemperaturen, BTS-Messungen (Basis Temperatur der Schneedecke) oder geophysikalische Messungen (Geoelektrik, Georadar oder Seismik) komplettieren die Geländeaufnahmen. Die Einarbeitung dieser Daten in ein numerisches Modell geben einen ersten Vorbefund.

Auf Basis dieser Voruntersuchungen ist eine erste grobe Standortwahl für ein geplantes Bauwerk im Permafrostbereich möglich.

Direkte Erkundungen wie Bohrungen und/oder Schürfgruben inkl. Laboruntersuchungen zum direkten Nachweis von Permafrostvorkommen sind je nach Fragestellungen zu einem geplanten Bauwerk weiter notwendig. Erst im Zusammenhang mit bereits vorliegenden Erfahrungswerten zu den thermischen Eigenschaften von Permafrostböden, dem strukturellen Aufbau des gefrorenen Erd- oder Felsmaterials bzw. den geotechnischen Eigenschaften von Locker- und Festgesteinen im Permafrost (u.a. BOMMER ET AL. 2009) sind ausreichend Grundlagen vorhanden, um eine gezielte Standortwahl vorzunehmen.

Nach BOMMER ET AL. (2009) ist die Standortwahl für eine Tragwerksanalyse von zentraler Bedeutung, da abgeklärt werden muss, ob sich der Standort im Permafrost befindet und welche geologisch-geotechnischen Baugrundbedingungen und Naturgefahren-Prozesse im Umfeld des geplanten Bauwerkes vorkommen. Erst im Anschluss an diese „*go oder no go Phase*“ kann ein entsprechendes Tragwerkskonzept weiter überlegt werden.

Technische Lösungsmöglichkeiten für Bauten im Permafrost während der Ausführung und Sanierung sind ausführlich in BOMMER ET AL. (2009) beschrieben.

8 Ausblick

Das Blockgletscherinventar von Tirol bildet eine wichtige Grundlage für die weitere Abschätzung der flächigen Verbreitung von Permafrost und damit in Zusammenhang stehenden geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Prozessen.

Die durch die Klimaerwärmung fortschreitende Degradation des Permafrostes wird in Zukunft den Alpenraum und besonders auch das Bundesland Tirol vor neue, noch zu bewältigende Aufgaben stellen. Naturgefahren-Prozesse sind teilweise auch mit einer Degradation des Permafrostes einhergehend, u.a.

- Kriechen von Hängen
- Kriechen von Blockgletschern (erhöhter Geschiebeanfall, Steinschlag im Stirnbereich - Beispiele: Hochebenkar, Ölgrube)
- Auftauen von Eis in Locker- und Festgesteinen (und damit einhergehende Setzungen an Bauwerken)
- Felsstürze und Hangrutschungen durch Auftauen des Permafrostes und Eindringen von Oberflächenwasser (Erhöhung des Wasserdruckes)
- Erosionsprozesse in aufgetauten Permafrostkörpern

Besonders in Tirol sind viele Infrastruktureinrichtungen - u.a. Straßen, Wege, Seilbahnen und Kraftwerksanlagen - im alpinen bis hochalpinen Bereich gelegen und direkt oder indirekt solchen Naturgefahren-Prozessen ausgesetzt.

Durch Permafrostdegradation sind auch hydro(geo)logische Auswirkungen im Abflussverhalten von Einzugsgebieten sowie dem Feststoffhaushalt von alpinen Wildbachsystemen möglich.

Die Evaluierung von lokalen Naturgefahren-Potenzialen sowie das langfristige hydro(geo)logische Verhalten der Abflusssysteme einzelner Gewässereinzugsgebiete in Tirol, auf Basis solcher Grundlagenforschungen, sind Fragestellungen, mit welchen man u.a. in Zukunft weiter konfrontiert werden wird.

Literatur

- BERGER, J., KRÄINER, K. & MOSTLER, W. (2004): Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). – *Quaternary Research*, **62**: 233-242.
- BOECKLI, L., BRENNING, A., GRUBER, S. & NOETZLI, J. (2012): A statistical approach to modelling permafrost distribution in the European Alps or similar mountain ranges. – *The Cryosphere*, **6**: 125-140, doi:10.5194/tc-6-125-2012.
- BOMMER, C., PHILLIPS, M., KEUSEN, H.-R. & TEYSSEIRE, P. (2009): Bauen im Permafrost – Ein Leitfaden für die Praxis. – Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 126 S., Birmensdorf.
- BUCHENAUER, H.W. (1990): Gletscher- und Blockgletschergeschichte der westlichen Schober Gruppe (Osttirol) Birmensdorf. – *Marburger Geographische Schriften*, **117**: 1-276.
- CREMONESE, E., GRUBER, S., PHILLIPS, M., POGLIOTTI, P., BOECKLI, L., NOETZLI, J., SUTER, C., BODIN, X., CREPAZ, A., KELLERER-PIRKLBAUER, A., LANG, K., LETEY, S., MAIR, V., MORRA DI CELLA, U., RAVANEL, L., SCAPOZZA, C., SEPPI, R. & ZISCHG, A. (2011): An inventory of permafrost evidence from the European Alps. – *The Cryosphere*, **5**: 651-657.
- FINSTERWALDER, S. (1928): Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. – *Zeitschrift für Gletscherkunde*, **16**: 20-41.
- GÄRTNER-ROER, I. (2010): Permafrost. – In: VOIGT, T., FÜSSEL, H.-M., GÄRTNER-ROER, I., HUGGEL, C., MARTY, C. & ZEMP, M. (eds): Impacts of climate change on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socioeconomic relevance. – ETC/ACC Technical Paper **2010/13**: 66-76.
- GERHOLD, N. (1967): Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen. – *Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum*, **47**: 5-50.
- GERHOLD, N. (1969): Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscherproblems. – *Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum*, **49**: 45-78.
- HAEBERLI, W., & PATZELT, G. (1983): Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **18**: 127-150.
- HAUSMANN, H., KRÄINER, K., BRÜCKL, E. & MOSTLER, W. (2007): Internal structure and ice content of Reichenkar Rock Glacier (Stubai Alps, Austria), Assessed by Geophysical Investigations. – *Permafrost and Periglacial Processes*, **18**: 351-367.
- HAUSMANN, H., KRÄINER, K., BRÜCKL, E. & ULRICH, C. (2012): Internal structure, ice content and dynamics of Ölgrube and Kaiserberg rock glaciers (Ötztal Alps, Austria) determined from geophysical surveys. – *Austrian Journal of Earth Sciences*, **105/2**: 12-31.
- KAUFMANN, V. (1998): Geomorphometric monitoring of active rock glaciers in the Austrian Alps. – *Proceedings of the 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC-4)*, 19-29 August, 1996, Karlstad, Research Report **97:3** natural Sciences/Technology: 97-113, University of Karlstad.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2002): Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hochebenkar rock glaciers (Ötztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. – *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, **37**: 119-140.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄTTER, R. (2003): Quantitative analysis of rock glacier creep by means of digital photogrammetry using multi-temporal aerial photographs: two case studies in the Austrian Alps. – In: PHILLIPS, M., SPRINGMAN, S.M. & ARENSON, L.U. (eds): *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, 21-25 July 2003, Zürich, Switzerland, **1**: 525-530.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., LIEB, G.K. & KLEINFERCHNER, H. (2012): A new rock glacier inventory for the eastern most part of the European Alps. – *Austrian Journal of Earth Sciences*, **105/2**: 78-93.
- KERSCHNER, H. (1978): Paleoclimatic inferences from Late Würm rock glaciers, Eastern Central Alps, Western Tyrol, Austria. – *Arctic and Alpine Research*, **10**: 635-644.
- KERSCHNER, H. (1985): Quantitative paleoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rock glacier data, Tyrolean Alps, Austria. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **21**: 363-369.
- 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. (2001a): Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubai Alpen. – *Geoforum Umhausen*, **1**: 28-43.



- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2001B): Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitz Tal (Schober Gruppe, Nationalpark Hohe Tauern). – Wissenschaftliche Mitteilungen des Nationalpark Hohe Tauern, **6**: 139-168.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2002): The discharge of active rock glaciers: examples from the Eastern Alps (Austria). – Arctic, Antarctic, and Alpine Research, **34**(2): 142-149.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2004): Ein aktiver Blockgletscher im Sulzkar, westliche Stubai Alpen (Tirol). – Geo.Alp, **1**: 37-55.
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2006): Flow velocities of active rock glaciers in the Austrian Alps. – Geografiska Annaler, **88**: 267-280.
- 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., MOSTLER, W. & SPAN, N. (2002): A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the western Stubai Alps (Austria): evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **38**: 21-34.
- KRAINER, 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.
- LADSTÄTTER, R. & KAUFMANN, V. (2005): Studying the movement of the Outer Hohebenkar rock glacier: Aerial vs. ground-based photogrammetric methods. – 2nd European Conference on Permafrost, Potsdam, Germany, Terra Nostra, **2005**(2): 97.
- LIEB, G.K. (1991): Die horizontale und vertikale Verteilung der Blockgletscher in den Hohen Tauern (Österreich). – Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., **35**(3): 345-365.
- 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.
- LIEB, G.K. (1998): High-Mountain Permafrost in the Austrian Alps (Europe). – PERMAFROST – 7th Conference (Proceedings) Yellowknife (Canada), Collection Nordicana, **55**: 663-668.
- PILLEWIZER, W. (1938): Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. – Zeitschrift Gesellschaft Erdkunde Berlin, **9**/1: 367-372.
- PILLEWIZER, W. (1957): Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. – Geomorphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift), **5**: 37-50.
- ROLSHOVEN, M. (1982): Alpines Permafrostmilieu in der Lasörlinggruppe/Nördliche Deferegger Alpen (Osttirol). – Polarforschung, **52**: 55-64.
- SCHNEIDER, R. & SCHNEIDER, H. (2001): Zur 60-jährigen Messreihe der kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äusseren Hohebenkar, Ötztaler Alpen, Tirol. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **37**: 1-33.
- VIETORIS, L. (1958): Der Blockgletscher des äußeren Hohebenkars. – Gurgler Berichte, **1**: 41-45.
- VIETORIS, L. (1972): Über die Blockgletscher des Äußeren Hohebenkars. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **8**: 169-188.
- VITEK, J.D. & GIARDINO, J.R. (1987): Rock glaciers, a review of the knowledge base. – In: GIARDINO, J.R., SCHRODER, J.F.Jr. & VITEK, J.D. (eds): Rock Glaciers. – Allen and Unwin, 1-26, London.