

Freitag 19. Oktober 2012

09:30-10:00

Ingenieurgeologische Aspekte beim Forschungsprojekt Morexperts - Permafrost

Carsten Bannwart
Geoconsult Salzburg

Abstract

Das Kitzsteinhorn, Salzburg, stellt auf Grund der örtlichen Infrastruktur, den geologischen Gegebenheiten und des Vorkommens von Permafrost ein ideales Umfeld für das Forschungsprojekt MOREXPART, „Entwicklung eines Expertensystems zur Überwachung gefährlicher Felswände“ [6] dar. Durch den Klimawandel und den damit verbundenen Veränderungen der Gletscher und der Permafrostverteilung, treten zunehmend Massenbewegungen in Form von Steinschlägen und Felsstürzen auf [1][2]. Im Rahmen der Vorarbeiten wurden im Bereich unterhalb der Gipfelstation und des benachbarten Magnetköpfls sowie des von der Gipfelstation nach außen führenden Panoramastollens ingenieurgeologische Geländeaufnahmen vorgenommen. Sie dienen als Grundlage zur Festlegung weiterer Untersuchungen und Instrumentierungen sowie für Steinschlagmodellierungen. Im Gelände wurden das Potential für Steinschlagprozesse sowie die Oberflächenbeschaffenheit und Geländeform erfasst und die Initialprozesse, wie Gleiten, Fallen und Kippen bestimmt. Die Ergebnisse der folgenden 3D- Steinschlagmodellierung ergaben eine gute Übereinstimmung mit den auf Orthophotos sichtbaren Ablagerungen auf dem darunter liegenden Gletscher im Runout Bereich. Allerdings übertraf ein größeres Felssturzereignis im Sommer 2012 in seiner Dimension sehr deutlich die Ergebnisse der Modellierung. Die Ursache für die Abweichungen gilt es in naher Zukunft zu untersuchen um realistische Einschätzungen betreffend gravitativer Sturzprozesse machen zu können. Zudem wird das MOREXPART-Team die Ursachen für den Felssturz näher untersuchen.

Einleitung

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel, reagieren besonders Hochgebirgsregionen hinsichtlich Massenbewegungen, die durch Permafrost- und Gletscherveränderungen forciert werden, äußerst sensitiv [7][8]. Im Rahmen des interdisziplinären Projektes MOREXPART, „Entwicklung eines Expertensystems zur Überwachung gefährlicher Felswände“ [6], arbeiten Unternehmen aus Wirtschaft und Forschung seit Sommer 2010 eng zusammen. Ziel ist es, Ereignisse wie Steinschläge und Felsstürze zukünftig besser einschätzen zu können.

Im Zuge der Erhebung der geologischen Grundlagen für das Forschungsprojekt wurden ingenieurgeologische Kartierungen im Umfeld der Gipfelstation am Kitzsteinhorn im Panoramastollen, im Nordabhang und am benachbarten Magnetköpfl durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen wurde das weitere Untersuchungsprogramm festgelegt. Vom Stollen aus wurden 2 und im Gelände 3 Kernbohrungen sowie geophysikalische Untersuchungen mittels Georadar und elektrische

Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt. Die Bohrungen wurden mit Temperaturmesssonden zur Beobachtung der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen ausgestattet. Zudem werden die Temperaturen entlang von mehreren oberflächennahen Profillinien ständig gemessen. Wetterdaten werden vor Ort an einer Wetterstation aufgezeichnet.

Die Morphologie wurde mittels Laserscanner vermessen und ein digitales Geländemodell angefertigt. Zur Beobachtung etwaiger Veränderungen werden jährlich, bzw. nach nennenswerten Steinschlag-Felssturzereignissen Laserscan-Messungen durchgeführt. Die Messungen werden laufend in einem Monitoringprogramm fortgeführt.

Zur Abschätzung der Steinschlaggefährdung wurden für den Nordabhang Steinschlagmodellierungen durchgeführt. Dabei wurde sowohl eine 2D-Modellierung als auch eine 3D-Modellierung durchgeführt, deren Ergebnisse miteinander als auch mit den Geländebefunden verglichen wurden.

Untersuchungsgebiet

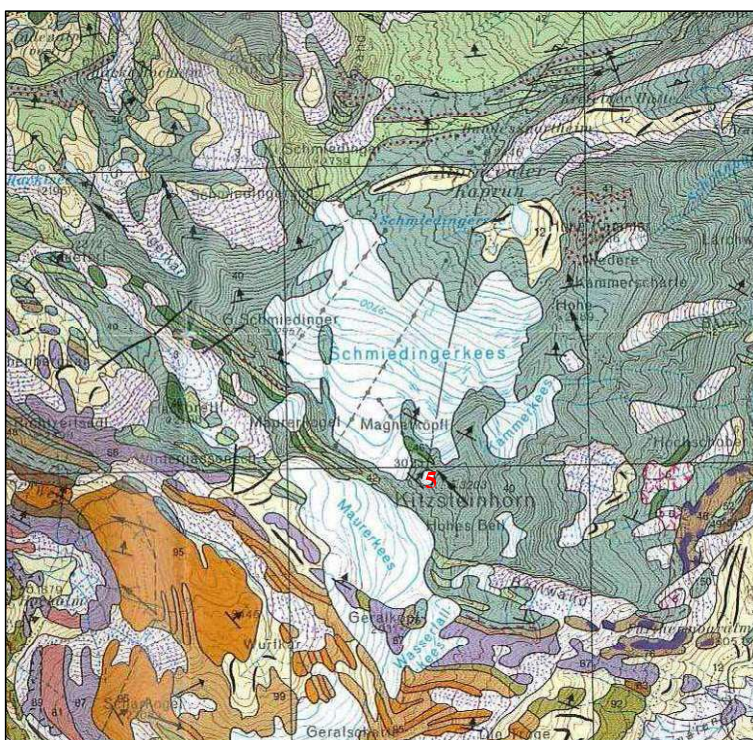
Das Kitzsteinhorn (3203 m) befindet sich im südlichen Teil des Bundeslandes Salzburg, Österreich, ca. 10 km südwestlich von Kaprun. Die Gipfelstation der Kapruner Bergbahnen ist ca. 200 Höhenmeter unterhalb des Gipfels situiert (

Abb. 20). Das Untersuchungsgebiet liegt in den Zentralalpen und gehört dem Gebirgszug der Hohen Tauern an. Es ist aus Gesteinen der Bündnerschiefergruppe aufgebaut und gehört hier der Glocknerdecke, im speziellen der Glocknerfazies an.

Hierbei handelt es sich um Kalkglimmerschiefer, Prasinite, Amphibolite, Phyllite und Serpentine [3]. Der Gipfelaufbau besteht aus grauem bis gelb-braunem, geschiefertem Kalkglimmerschiefer, der oft oberflächlich stark verwittert ist (Bratschenbildung). Im Bereich unterhalb der Gipfelstation (

Abb. 20) tritt aufgrund der Höhenlage und der nördlichen Exposition der Wand Permafrost auf. Im

Wand



unteren Abschnitt geht die in einen Gletscher, den Schmedinger Kees über.

Abb. 19:
Untersuchungsgebiet,
Ausschnitt aus der
Geologischen Karte von
Österreich 1:50 000, Blatt 153
Großglockner, GBA [1]
Geologische Einheiten:
(1) Kalkglimmerschiefer,
(2) Prasinit, (3) Serpentin,
(4) Moräne, (5) Gletscher

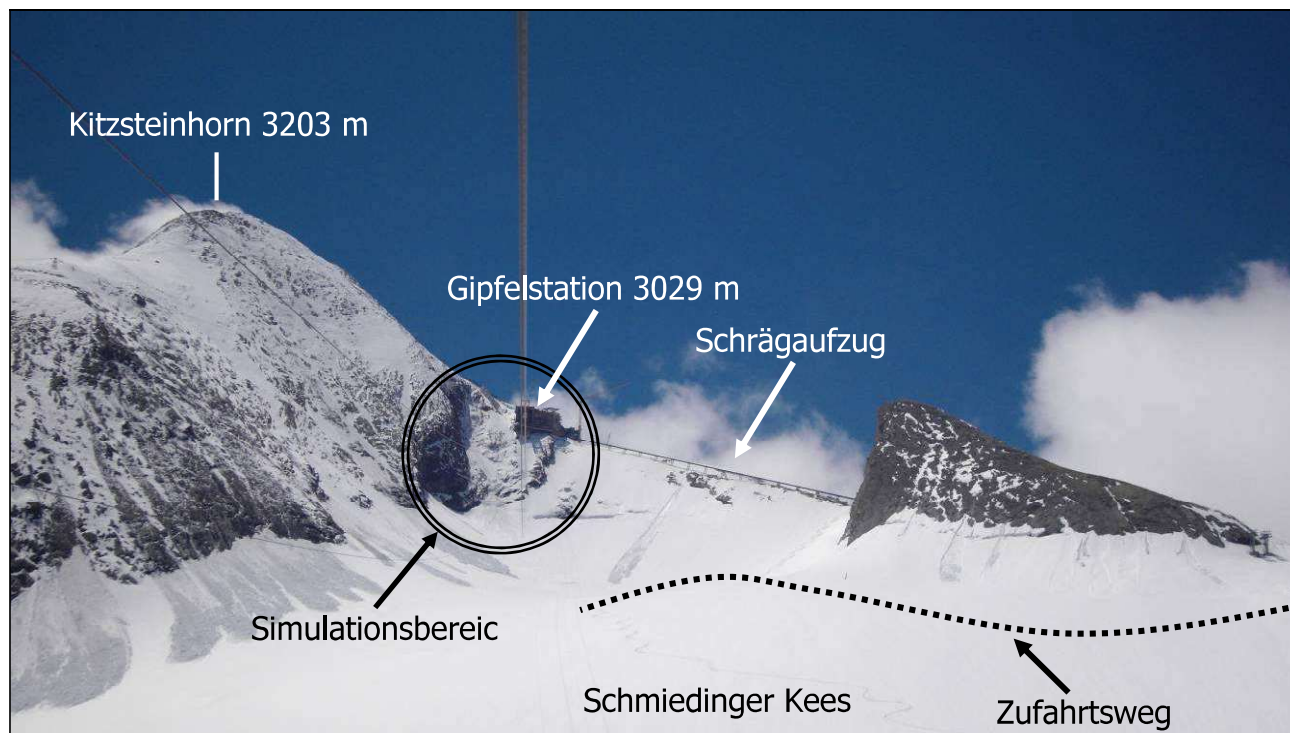


Abb. 20: Ansicht Untersuchungsgebiet, Kitzsteinhorn, Salzburg

Kartierergebnisse:

Im Panoramastollen, dem sogenannten Hanna-Stollen war Kalkglimmerschiefer aufgeschlossen, der bereichsweise Calcit- oder Quarz-führende Kluffüllungen zeigte. Im mittleren Abschnitt des Stollens quert eine etwa Nord-Süd streichende Störungsschar mit einem sehr steilen Einfallen in westlicher Richtung. 4 Kluffscharen (K1 bis K4) sowie eine schieferungsparallele Klüftung sind ausgebildet. Die Kluffabstände sind vorwiegend weitständig bis kompakt ($d > 0,6$ m). Untergeordnet kommen auch mittelständige Kluffabstände ($d = 0,2-0,6$ m) vor. Im Bereich einer Störung war das bindige Störungsmaterial vereist. Aufgrund weiterer Beobachtungen und der geringen Felsüberlagerung von etwa 7 m sowie einer Ausrichtung nach Süden stellt die Eisbildung eine jahreszeitliche Erscheinung dar, die nicht mit Permafrost in Verbindung steht.

Im Bereich der Felswand unterhalb der Gipfelstation liegen ähnliche geologische Verhältnisse wie im Stollen vor. Es überwiegt der Kalkglimmerschiefer, in den ein mehrere Meter breites Serpentinband schieferungsparallel eingeschuppt ist.

Im Bereich unterhalb der Gipfelstation fällt die Schieferung mit $30-40^\circ$ in Richtung N-NNE, zum Gletscher hin, ein. Die Hauptkluffscharen (K1, K2) sind steil, \pm orthogonal zur Schieferungsfläche orientiert und bilden kubische und rhombische Kluffkörper (Abb. 21). Untergeordnet treten die Kluffscharen K3, die mittelsteil bis flach nach S-SSE einfällt und K4, die steil nach NW einfällt, auf. Die Schieferung bildet zusammen mit K1 und K2 meist kubische bis rhombische, oft auch dünn- bis dicktafelige Kluffkörper mit Kubaturen im dm^3 bis m^3 Bereich. Die oben beschriebenen Kluffsysteeme gliedern sich in zwei Generationen [4][5]. Einerseits eine ältere Kluffgeneration, die entweder mit

Quarz oder Calcit verfüllt und meist nach K2 orientiert ist. Andererseits eine rezente Klufftgeneration, die teils geschlossen, oft jedoch von wenigen mm bis zu maximal 20 cm geöffnet ist. Diese jüngeren Klüfte sind in allen Klufftorientierungen (K1-K4) anzutreffen.

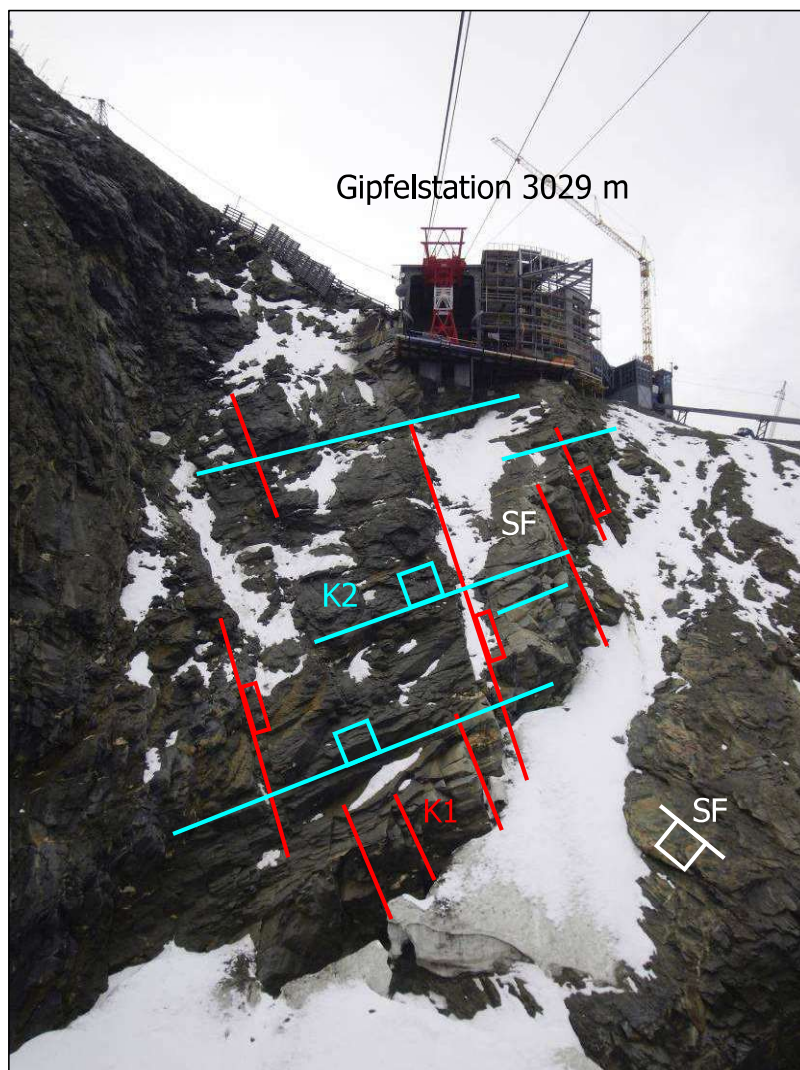


Abb. 21: Schematische Darstellung der Haupttrennflächensets SF, K1 und K2

Das Magnetköpfl (2957 m) stellt einen Vorgipfel des Kitzsteinhorns (3203 m) dar. Es ist aus Kalkglimmerschiefer und vereinzelt, geringmächtigen Marmorbändern aufgebaut.

Das Gebirge weist eine deutliche Schieferung (SF) auf, die meist flach Richtung NNE-NE einfällt. Des Weiteren treten vier Kluffscharen auf. K1 streicht wandparallel und fällt steil nach W, selten steil nach E ein. K2 fällt mittelsteil bis steil nach SW ein und K3 fällt ebenfalls mittelsteil bis steil nach S-SE ein. Zudem tritt K4 auf, die steil nach NW einfällt.

Speziell K1 und teilweise auch K4, bilden steilstehende Großklüfte aus, die bis zu 20 cm geöffnet sind. Diese Klüfte in Verbindung mit den anderen Kluffscharen K2 und K3 bilden meist kubische Kluffkörper.

Durch den starken Rückgang des Gletschers im Umfeld des Magnetköpfls haben die Wände ihr natürliches Widerlager verloren und sind im Basisbereich stark übersteilt. Diese Übersteilung führt in Verbindung mit den Kluffstrukturen zu vermehrten Steinschlag und Felssturzereignissen. Es treten Toppling (Abb. 22), Sackungen und teilweise Blockgleiten auf.

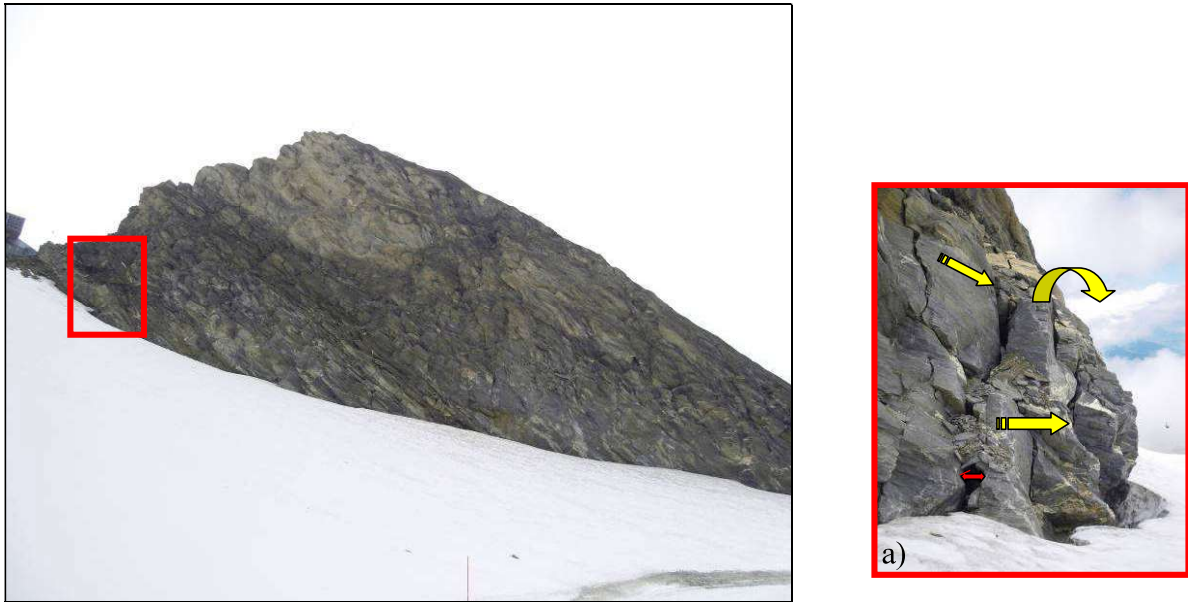


Abb. 22: Überblicksfoto der Ostwand des Magnetköpfls, mit a) Toppling und Sackungsstrukturen am Wandfuß

Steinschlaguntersuchung

Aus den steilen Gipfelwänden insbesondere auch der Nordwand unterhalb der Gipfelstation kommt es immer wieder zu Steinschlägen und Blockstürzen, welches durch stille Zeugen (Felsblöcke) auf dem darunterliegenden Gletscher dokumentiert ist. Aufgrund der Orientierung der Trennflächen und der rhombischen Kluftkörper kommt es entweder zu Blockgleiten (Abb. 23) auf den hangauswärts gerichteten Schieferungsflächen oder zum Abrollen von Blöcken aus Geröllansammlungen.

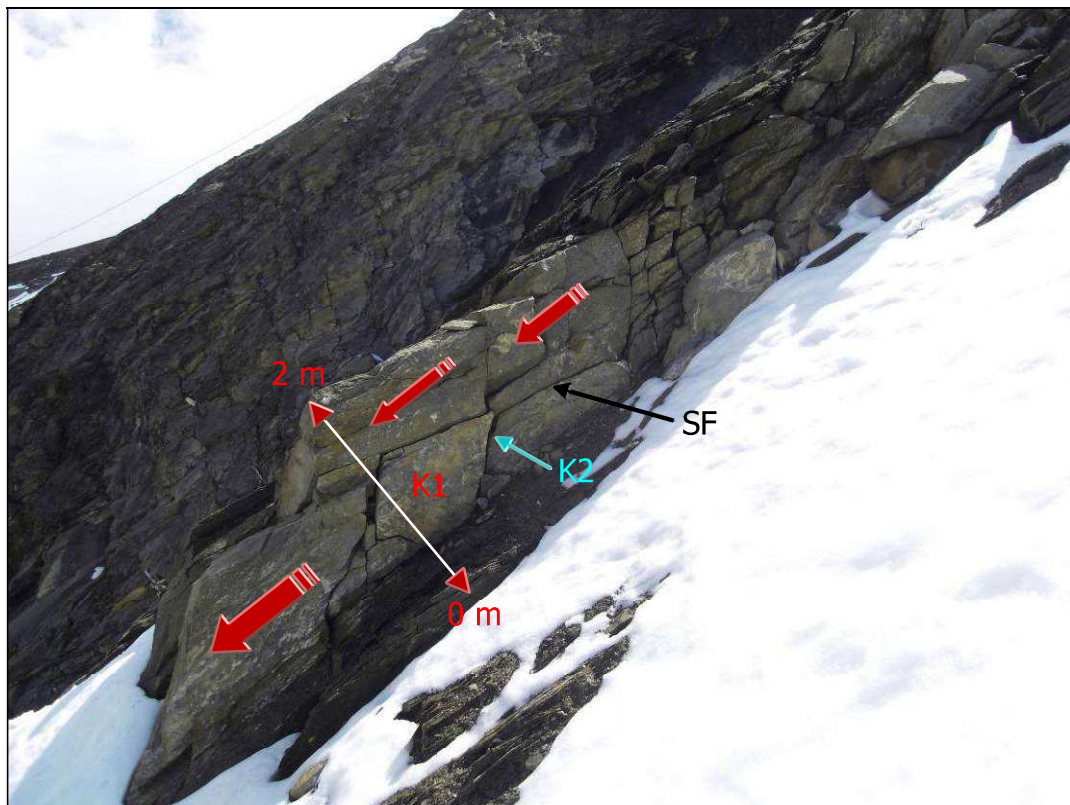


Abb. 23: Blockgleiten entlang der Schieferungsflächen SF

Zur Untersuchung des Steinschlagpotentials wurden 2D-Steinschlagmodellierungen mit dem Programm Rockfall 7.1 durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein zweidimensionales Steinschlagsimulationsprogramm, das auf Bewegungsgesetzen beruht und speziell für die Bemessung und Platzierung von Steinschlagschutzbauwerken entwickelt wurde [8]. Für die Simulation wurden fünf repräsentative Profile (Abb. 24) im Bereich unterhalb der Gipfelstation festgelegt. Die Auswertung erfolgte unter der Verwendung eines Digitalen Geländemodells mit einem Raster 1m x 1m und der Geländedaten aus der Kartierung.

Bei der Modellierung wurden Sprunghöhen bis zu 14m und Energien bis 150kJ ermittelt.

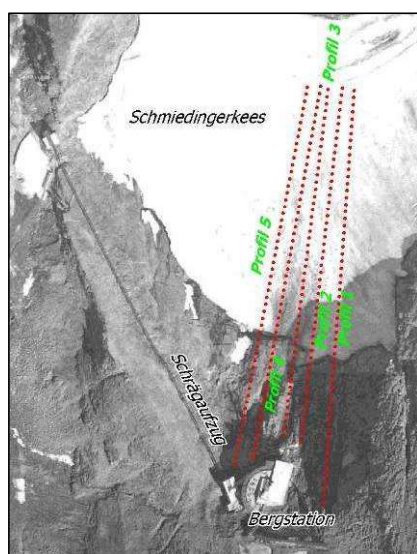


Abb. 24 Lage der 5 Profilsuren für die 2D Modellierung

Die Steinschlagsimulationen der 5 Profile zeigten in Abhängigkeit von den Eingangsparametern sehr unterschiedliche Ergebnisse (

Tabelle 1). Je größer die mittlere Masse, bzw. das Blockvolumen war, desto höhere Energien wurden erreicht. Die maximalen Sprunghöhen waren zum einen stark von der maximalen Energie der Blöcke (Abb. 26), zum anderen aber auch vom Relief des jeweiligen Profils abhängig. So zeigte Profil 4 auf Grund einer Geländestufe fast gleich große Sprunghöhen wie die Profile 1 und 2, obwohl die Energie um ein Vielfaches geringer war. Der Blockdurchgang steht in engem Zusammenhang mit der Geländeoberfläche. In Profil 3 war auf Grund der homogenen Oberflächeneigenschaften und des hohen Gletscher (Eis) Anteiles ein Blockdurchgang von 99 % (

Tabelle 1) zu erkennen. Wohingegen Profil 4 eine heterogene Oberfläche (Hangschutt, Fels, Firn, Gletscher) zeigt und einen Blockdurchgang von nur 31 % aufwies. Beispielhaft sind die Steinschlagtrajektorien, die maximale Energie sowie die maximale Sprunghöhe für Profil 1 (Abb. 25 u. Abb. 26) angegeben.

		Profil 1	Profil 2	Profil3	Profil 4	Profil 5
max. Energie	[kJ]	150	140	22	8,7	4,5
max. Sprunghöhe	[m]	14	12	2,25	9,3	5,8
Blockdurchgang	[%]	73	75	99	31	80

Tabelle 1: Ergebnisse der 2D Simulation

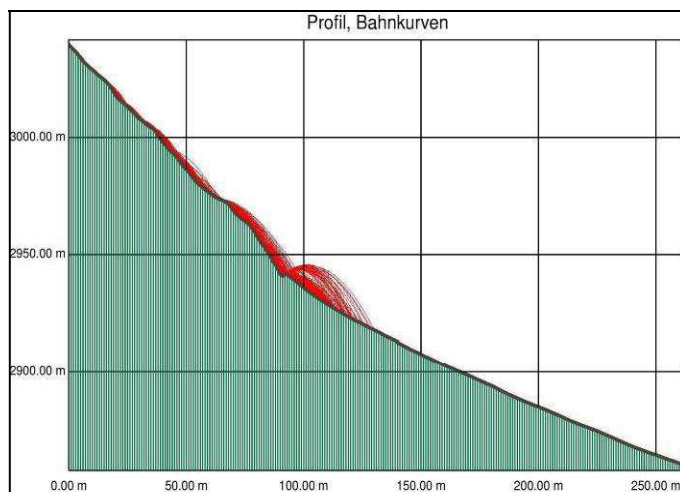


Abb. 25: 2D Steinschlagtrajektorien von Profil 1

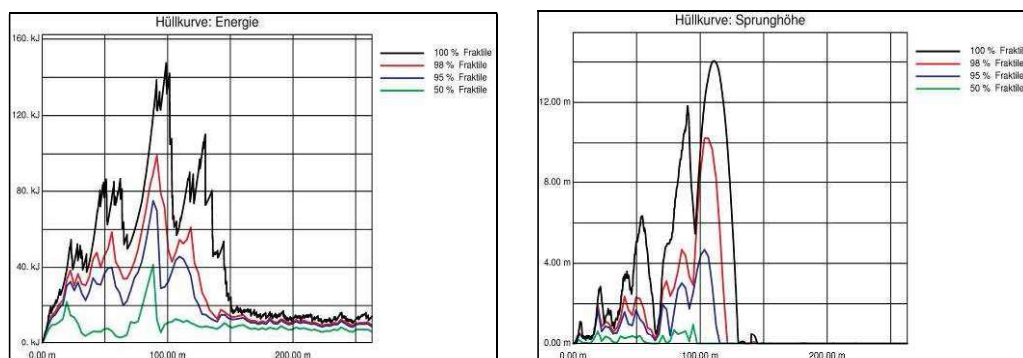


Abb. 26: Max. Energie und max. Sprunghöhe der Blöcke in Profil 1

Zur Untersuchung und Abgrenzung des Prozessraumes für den Steinschlag wurde eine dreidimensionale Modellierung mit dem Programm Rockyfor3D 4.1 ausgeführt.

Das Untersuchungsgebiet wurde anhand von Orthophotos und des Geländebefunds in eine Release-Zone und einen Runout-Bereich unterteilt. Die Release-Zone wurde weiterhin in 8 Polygone (Abb. 27), die jeweils einen Homogenitätsbereich repräsentierten, aufgeteilt. Den Runout-Bereich, der als neuntes Polygon (Abb. 27, (4)) festgelegt wurde, stellte der Gletscher dar. Die Polygone wurden georeferenziert (GIS) und die Lage anhand morphologischer Auffälligkeiten (Steilstufen oder die Hangneigung) mit dem DGM Raster Datensatz abgeglichen. Das Modell war hochauflösend mit 10.000 Zellen mit einer Fläche von jeweils 1 m² gestaltet. Bei 50 Simulationsdurchgängen mit einer Gesamtblockanzahl von ca. 500.000 ergab sich die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte Ausbreitung des Sturzmaterials in der Runout-Zone.

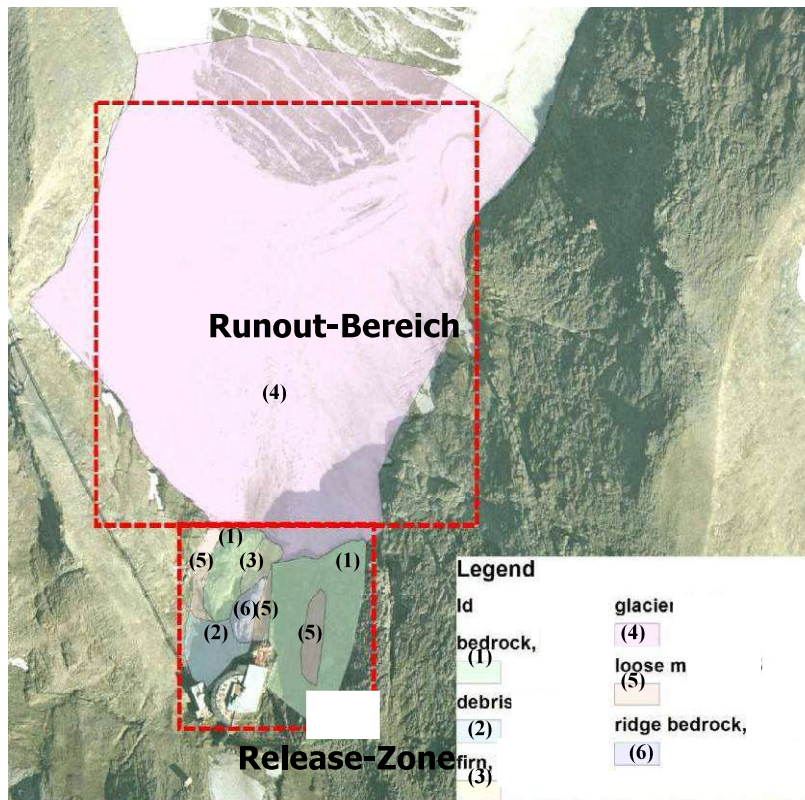


Abb. 27: Release-Zone und Runout-Bereich mit Darstellung der Polygone

Es zeigte sich, dass Blöcke, die sich aus Wandbereichen oder Steilstufen lösen, die größten Reichweiten erlangten (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und wenige Meter nach Beginn der Bewegung maximale Geschwindigkeiten von bis zu 70 m/s erreichten. Wohingegen Blöcke aus flacheren Bereichen oder Schutthalden verhältnismäßig bald zum Liegen kamen. Zusätzlich ließ sich deutlich erkennen, dass sich die Sturzbahnen der Blöcke in Rinnensystemen konzentrieren (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und hier, mit Ausnahme des Ablagerungsbereichs Gletscher und den Wandverflachungen, die meisten Blöcke und das größte Materialvolumen abgelagert werden. Die maximalen Energien von über 1100 kJ wurden gegen Ende der Steinschlagtrajektorien, bzw. unterhalb von Geländestufen erreicht.

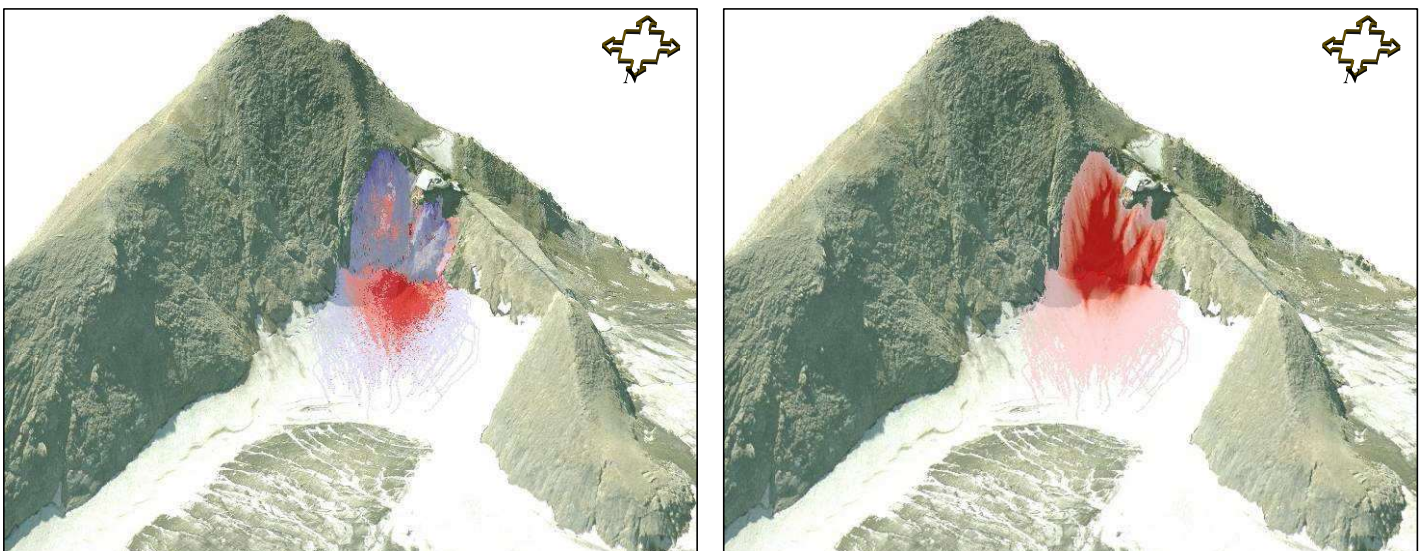


Abb. 10: 3D Darstellung der Auslaufweiten (violett) und Ablagerungsbereiche (rot) Abb. 28: 3D Darstellung der Konzentration der Sturzbahnen in Rinnensystemen

Der Vergleich der 3D-Modellierung mit einem Orthophoto von 2009 [7] zeigt, dass die Einzelblöcke auf dem Gletscher innerhalb der Blockverbreitung der Modellierung (Abb. 29) auftreten. Für die höchste Konzentration des Blockwerks trifft dies ebenfalls zu.

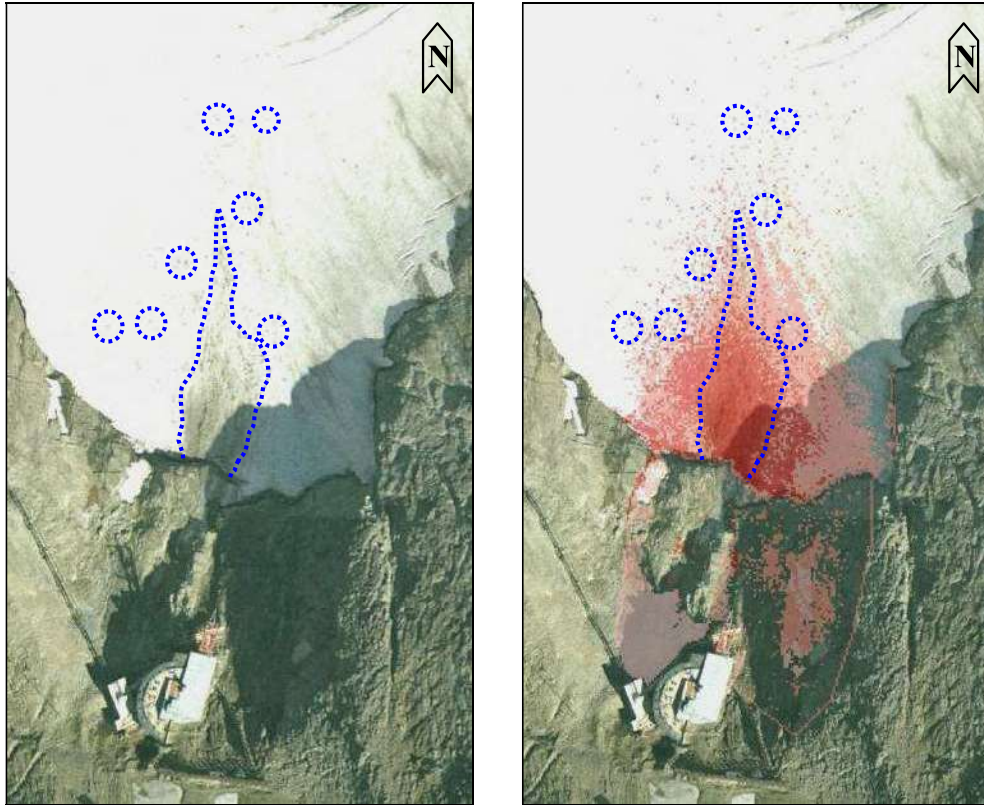


Abb. 29: Vergleich des tatsächlichen (links) und des modellierten (rechts) Ablagerungsraumes auf dem Gletscher anhand eines Orthophotos (2009 [7])

Jedoch trat im August 2012 ein großes Felssturzereignis ein, welches in seiner Dimension die modellierten Blockgrößen bei weitem übertraf.

Am 18.8.2012 gegen 15 Uhr lösten sich etwa 70 m unterhalb der Gipfelstation etwa 300-500m³ (Abb. 30) Felsmaterial. Die maximale Blockgröße betrug 5 x 5 x 4 = 100m³ (Abb. 31) Volumen. Die Blöcke kamen im oberen Abschnitt des Schmiedinger Kees zum Liegen. Vorausgegangen wäre eine längere Warmwetterperiode ohne nennenswerte Niederschläge. Die Ablösefläche stellte eine Eisfläche (Abb. 32) im Permafrost dar.



Abb. 30: Ablösebereich des Felssturzes



Abb. 31: Sturzbahn und Runout Bereich des Felssturzes



Abb. 32: Detail Ablösebereich des Felssturzes

Schlussbemerkung

Die Ergebnisse der Modellierungen, insbesondere der 3D Modellierung haben, bezogen auf einen kurzen Beobachtungszeitraum, durchaus realistische Verteilungen des Sturzmaterials im Ablagerungsraum geliefert, die mit bisherigen Geländebefunden übereinstimmen. Der kürzlich aufgetretene Felssturz macht in seiner Dimension deutlich, dass der Eingangsparameter Blockgröße nach herkömmlichen Betrachtungen viel zu gering für den Ablösebereich im Permafrost eingestuft wurde. Als Konsequenz wird der Geländebefund überprüft und eine Modellierung des

Felssturzereignisses durchgeführt werden. Es ist beabsichtigt, das ingenieurgeologische Modell entsprechend zu erweitern, um die Dimension von Felsstürzen in Permafrostgebieten besser abschätzen zu können. Das interdisziplinäre Team MOREXPERSITS wird nach Hinweisen in den Daten des Monitorings forschen, die dem Felssturzereignis vorangegangen sind. Ziel ist es, aus den Daten Trends zu erkennen, aus denen sich die Stabilität von Felswänden ableiten lässt, um Felsstürze voraussagen zu können.

Referenzen

- [1] Gruber, S. und Haeberli, W.: Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *Journal of Geophysical Research* 112, F02S13, doi:10.1029/2006JF000547, 2007
- [2] Gruber S., Hoelzle, M. und Haeberli, W.: Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters* 31, L13504, doi:10.1029/2004GL020051, 2004
- [3] Cornelius, H. P. und Clar, E.: Geologische Bundesanstalt: Erläuterungen zur geologischen Karte des Glocknergebietes, Wien
- [4] Daneck, T.: Platznahme und mechanisches Verhalten von Ganggesteinen im Grundgebirge des Südschwarzwaldes - Strukturelle Merkmale und Auswirkungen auf angewandtingenieurgeologische Fragestellungen, Mitteilungen aus dem geologischen Institut der eidgenössischen technischen Hochschule und der Universität Zürich, Neue Folge, Nr. 296
- [5] Herbst, P.: Bericht über geologische Aufnahmen im Tauernfenster (Bereich Sportgastein – Weißenbachtal auf Blatt 155 Markt Hofgastein), 1997
- [6] Keuschnig, M., Hartmeyer, I., Otto, J.C. und Schrott, L.: A new permafrost and mass movement monitoring test site in the Eastern Alps – Concept and first results of the MOREXPERSITS project. *Managing Alpine Future II - Inspire and drive sustainable mountain regions. Proceedings of the Innsbruck Conference, November 21-23, 2011. (= IGF-Forschungsberichte 4). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften: Wien. (2011)*
- [7] SAGIS. Salzburger Geographisches Informationssystem – Amt der Salzburger Landesregierung, Orthophotos (2003, 2009) and DGM (1 m, ALS).
- [8] Spang, C., Romunde, B., Waldecker, J. und Ganser, H.: Entwurf und Bemessung von Steinschlagschutzzäunen mit Rockfall 7.1 / Fels- und Hangsicherung Müden II, aus Marschallinger/Wanker, Geomonitoring, FE-Modellierung, Sturzprozesse und Massenbewegungen, Beiträge zur COG-Fachtagung, S. 92-108 Salzburg, 2008