



Wildbach- und Lawinenverbau

Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz
Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering

Visionen im Lawinenschutz

verein der diplomingenieure
der wildbach und lawinenverbauung
österreichs

ISBN: 978-3-9504159-3-3
81. Jahrgang, Juli 2017, Heft Nr. 179

Heft 179

Wildbach- und Lawinenverbau

Impressum:

Herausgeber:

Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung
Österreichs, A-9500 Villach

Schriftleiter:

HR DI Siegfried Sauer Moser

Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol,
Wilhelm Greilstrasse 9, 6020 Innsbruck; +43 512 584288-60, +43 664 5327507;
schriftleitung@wlv-austria.at; s.sauerm.sz@aon.at

Redaktion: Dipl.-Geogr. Susanne Mehlhorn, Dipl.-Ing. Claudia Sauer Moser

Layout & graphische Gestaltung: Studio Kopfsache – Kommunikation & Design, A - 5310 Mondsee

Druck & Versand: Friedrich Druck und Medien GmbH; A - 4020 Linz

Titelbild: Lawinenverbauung mit Stahlschneebrücken (Foto WLV Vorarlberg)

Verstärkung – 3. Bell 212/412 – zur optimalen Abdeckung des Bedarfs unserer Kunden



Rettungsflüge • **Film- und Fotoflüge**

Montagen • **Tierbergungen**

Lawinsprengungen • **Hüttenversorgung**

Holztransporte • **Leitungskontrollen**

Feuerbekämpfung • **VIP- und Shuttleflüge**



Heli Austria GmbH
A-5600 St. Johann im Pongau, Heliport
Tel +43 (0)6462 - 4200
Mail fly@heli-austria.at

Heli Tirol GmbH
A-6462 Karres, Tiroler Bundesstraße 1
Tel +43 (0)5412 - 61 421
Mail fly@heli-tirol.at

Inhalt Heft 179

Siegfried Sauermoser:
Editorial

Seite 10

Florian Rudolf-Miklau:
Wildbach- und Lawinenverbauung in Zeiten des Wandels

Seite 14

Siegfried Sauermoser:
Künftige Herausforderungen für den Technischen Lawinenschutz

Seite 26

Patrick Nairz, Rudi Mair:
Lawinenwarndienste – moderne, praxisorientierte Serviceeinrichtungen für die Bevölkerung

Seite 46

Harald Riedl, Walter Würtl:
Praxisempfehlung für Lawinenkommissionen in Tirol

Seite 58

Ulrik Domaas, Kjersti Gisnås:
Avalanches in the context of climate change in the northern regions

Seite 70

Ingrid Reiweger, Christoph Mitterer:
Avalanche formation in the context of climate change

Seite 80

Tómas Jóhannesson:
Risk management in avalanche-prone areas in Iceland

Seite 86

Peter Gauer:
Risikomanagement in lawinenexponierten Gebieten Norwegens

Seite 100

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema: Visionen im Lawinenschutz



Sicher schalen.

Bauen auf schwierigem Terrain. Am Stuhlfeldnerbach im Team

Sicher bauen. Nach bestem

erfolgreich: MEVA Schalungs-Systeme, Alzner Baumaschinen und die

Wissen und Gewässer.

Wildbach- und Lawinenverbau, GBL Pinzgau. Danke für's Teamwork.

www.meva.at • Tel. 02252 209000 • www.alzner.at • Tel. 06219 80656

... mehr als nur
Schalung

 meva

Inhalt Heft 179

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema: Visionen im Lawinenschutz

Perry Bartelt, Marc Christen, Yves Bühler, Andrin Caviezel, Othmar Buser:
On the formation of powder snow avalanches

Seite 112

Matthias Granig, Jan-Thomas Fischer:
Lawinensimulation in Österreich – Visionen für die Zukunft

Seite 122

Michael Winkler, Stefanie Gruber, Harald Schellander:
Meteorologische Aufarbeitung und extremwertstatistische Einordnung der historischen Lawinenwinter in Tirol: 1916/17, 1934/35 und 1950/51

Seite 132

Stefan Margreth:
Technischer Lawinenschutz in der Schweiz – Stand der Technik und Herausforderungen

Seite 146

Wolfgang Schilcher:
Technischer Lawinenschutz – Stand der Technik

Seite 160

Peter Bebi, Manfred Kreiner, Josef Fuchs:
Schutzwald bei veränderten Umweltbedingungen

Seite 170

Arni Jonsson, Christian Jaedicke:
Avalanches in Longyearbyen Svalbard 2015 and 2017

Seite 182

Hubert Agerer, Andreas Drexel, Christian Ihnenberger, Thomas Michl:
Adaptierung von Stahlschneebrücken in Tirol – Versuch einer Anpassung an den Stand der Technik

Seite 188

Arthur Vogl:
GZP Galtür – Die schwierige Frage der Evaluation von Schutzbauten gegen Lawinengefahren

Seite 206



Das im Jahre 1948 durch Herrn Josef Rűf sen. **gegründete Unternehmen** wird heute in der dritten Generation durch Bruno, Christoph und Josef jun. geleitet.

Unsere höchst motivierten und bestens ausgebildeten Mitarbeiter, unterstützt durch den modernen und technisch auf neuem Stand aufgestellten Fuhrpark, bieten Leistungen für Kunden in den gesamten Regionen Deutschland, Österreich und Schweiz an.

Unser Leistungsspektrum reicht von Tiefbau und Erdbewegung, Sprengarbeiten, Abbrucharbeiten über Rohstoffgewinnung und Transporte, Baustoffhandel, bis

hin zur Deponierung von Bodenaushubmaterial.

Wir werden zum Partner für Ihr individuelles Projekt, von der Planung bis zur Ausführung unserer Leistungen mit bestem und transparentem Abschluss.

Rűf steht schon seit Generationen für Qualität, Vielseitigkeit, Innovation, Dynamik und Treue!

Mehr über uns: www.ruefbau.com



Inhalt Heft 179

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema

Patrick Josef Siegele:
Bewertung historischer Lawinenschutzbauten auf der Schwager Gonde im Paznauntal

Lukas Schroll, Matthias Rauter, Wolfgang Fellin, Jan-Thomas Fischer, Matthias Granig:
Zur Berechnung von Lawindrücken aus Bauwerksschäden

Korbinian Schmidtner, Rudolf Sailer, Wolfgang Fellin, Jan-Thomas Fischer, Matthias Granig, Karl-Michael Höferl:
Praktische Anwendung von Lawinsimulationen – der Faktor Mensch

Praxis-Pinnwand

Mathias Hofer: FARFALLA Böschung – Verbauungssystem der Fa. Mair
Otto Unterweger: Neue Werkstypen für den Gleitschneeschutz

Aktuelles

- BFW Aktuelle Projekte
- Masterarbeit: „Flow behaviour of snow in a rotating drum“

- Master thesis: “Granular flow on a chute: avalanche simulations on a rough inclined plane“

- 2. Fachtagung für Wissenschaft, Praxis und Wirtschaft „Stand der Technik im Naturgefahren-Ingenieurwesen“

Verzeichnis der Inserenten

Siegfried Sauermoser

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser!

Als erstes möchte ich mich als neuer Schriftleiter unseres Fachjournals vorstellen. Ich bin noch bis Ende Juli der Leiter der Sektion Tirol des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinverbauung und trete dann in den Ruhestand über. Wir wagen somit ein Experiment. Noch nie hat ein Kollege, der sich bereits im Ruhestand befindet, eine aktive Funktion im Verein innegehabt. Wir haben auch die Funktion des Schriftleiters von der Funktion des Technischen Referenten getrennt, um diesen von dieser Arbeit zu entlasten. Mit diesen organisatorischen Schritten soll die Zukunft unseres Fachjournals gesichert werden.

Wobei wir uns die kritische Frage stellen müssen, ob wir ein zeitgemäßes Journal herausgeben und ob dieses in einer zunehmend digitalen Welt noch gelesen wird? Wer schlägt noch ein Fachbuch auf, wenn er etwas sucht, oder wer müht sich durch Literaturverzeichnisse oder Bibliotheken? Niemand! Heute wird alles „gegoogelt“, wer nicht digital vorhanden ist, ist überhaupt nicht präsent. Somit ergibt sich die erste Forderung für die Zukunft: Als anerkanntes Fachjournal werden wir den Weg in die Digitalisierung suchen müssen. Es wird zu klären sein, in welcher Form wir unseren Lesern das Journal in digitaler Form zur Verfügung stellen werden.

Es sollte auch die kritische Frage diskutiert werden, wer für wen schreibt und was wir im Rahmen des Fachjournals publizieren sollen? Hofrat Dr. Friedrich Lorenz schrieb dazu als Technischer Referent im Jahre 1922: *„... den Inhalt meiner Aufgabe ersehe ich darin, einen regeren geistigen Kontakt unter den Herren unseres Faches anzubahnen. Die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse, die angestellten Studien jedes Einzelnen sollen der Gesamtheit der Herren vermittelt werden ...“*

Hofrat DI Josef Hopf, Technischer Referent im Jahre 1967 schrieb dazu: *„... Was damals im Rumpfstaat Österreich in einer Zeit wirtschaftlichen Tiefstandes für eine Überlebenschance des Dienstzweiges gehalten wurde, ist heute im Zeitalter der Spezialisierung und eines raschen technischen Fortschrittes in einer auf Kommunikation eingestellten Welt von eminenter Bedeutung ...“* – geschrieben wohlgermerkt im Jahre 1967!

Welchen Umfang Spezialisierung und Kommunikation tatsächlich annehmen werden, das war wohl im Jahre 1967 nicht vorstellbar und übersteigt auch unsere künftigen Vorstellungen. Trotzdem und gerade deshalb: „... die gewonnenen Erkenntnisse jedes Einzelnen sollten der Gesamtheit der Herren (und Damen) zur Verfügung gestellt werden ...“, dieses Ziel verfolgen wir nach wie vor als Hauptzweck des Journals. Dafür müssen die Herren (und Damen) auch bereit sein, Beiträge zu liefern, ich ersuche alle Kolleginnen und Kollegen ihre gewonnenen Erkenntnisse der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Dieses Ersuchen richtet sich vor allem an die sog. „erfahrenen“ Kollegen, die ihr Wissen zur Verfügung stellen müssen. Individuelles Wissen muss in Institutionelles Wissen umgewandelt werden! Das Journal bietet dazu Gelegenheit.

Bezüglich der zeitlichen Herausforderung für die Lieferung von Beiträgen zitiere ich wiederum Dr. Lorenz: *“... möge jeder einzelne Herr sich der schweren Verantwortung bewusst sein, diese so mühsam zustande gebrachte Gelegenheit zum geistigen Verkehr nicht etwa zum Verkümmern zu bringen. Sie kostet ihm nichts als nur hie und da geistige Anstrengung in der Niederlegung seiner Ideen ...“*

Und weiter *“... Müdigkeit infolge Überanstrengung kann nicht gelten. Immer noch gibt es ein Quäntchen Zeit, in der man Heiden formen kann! Wolle man mich nicht im Stich lassen ...“*

Dem letzten Wunsch des damaligen Technischen Referenten schließe ich mich mit Nachdruck an. Ich werde versuchen in den nächsten drei Jahren die Zeitschrift in bewährter Form weiter zu führen. Die jeweiligen Ausgaben werden einem Generalthema unterworfen werden, welche durch Ereignisdokumentationen, Praxis- und Wissenschaftsberichte ergänzt werden. Die Erfahrungen des Einzelnen sollten der Gesamtheit zu Verfügung gestellt werden, das wird nach wie vor das Hauptmotiv sein. Das ist nach heutiger Terminologie klassisches Wissensmanagement. Es ist in der Fülle von zur Verfügung stehenden Informationsmöglichkeiten und –quellen wichtiger denn je. Wissensbereitstellung und Wissenserhalt innerhalb der Organisation sicher zu stellen! Noch einmal dazu Dr. Lorenz: *“... Geistige Höherentwicklung eines Faches setzt sich schließlich und endlich immer durch, geistige Stagnation würde schließlich und endlich zu einer Missachtung unseres Faches führen ...“*

Auch dieser Satz hat nach wie vor hohe Aktualität. Wir sind nicht alleine in der umfassenden Fachmaterie des Schutzes vor Naturgefahren tätig, wir sind auch nicht über Kritik erhaben. Wir stehen mehr denn je im Fokus einer kritischen Öffentlichkeit, interner Wissensaustausch ist essentiell für fachliche Exzellenz. Neben der Kollegenschaft werden wir natürlich aber auch in bewährter Form Experten von verwandten Fachgebieten, der Forschung und dem internationalen Kollegenkreis eine Bühne

geben. Internationalität – Erfahrungsaustausch mit anderen Herausforderungen und Strukturen – sind wichtiger denn je.

Das aktuelle Heft widmet sich dem Thema Lawinen. Im April wurde ein Lawinensymposium in Galtür mit dem Thema „Visionen im Lawinenschutz“ organisiert. Zahlreiche Expertinnen und Experten aus vielen Ländern nahmen an der Veranstaltung teil und die gegenständliche Ausgabe des Journals bringt die Beiträge, welche bei der Veranstaltung präsentiert wurden. Also wieder einmal ein Lawinenheft, mit dem ich als Schriftleiter beginnen will. Bereits im Jahre 2009 fand in Galtür eine Veranstaltung mit dem Thema „Lawinenwinter 1999 – Erfahrungen und Konsequenzen für die Alpen“ statt und diese Beiträge wurden im Heft Nr. 162, im Juni 2009 publiziert. „Visionen“ im technischen Lawinenschutz ist ein interessantes Thema, insbesondere zu einem Zeitpunkt, wo man glauben möchte, dass die meisten großen Lawinenverbauungen

abgeschlossen sind. Aber da sind wichtige Fragen offen, wie schaut es mit der Erhaltung und Qualitätssicherung aus, wie bewerten wir Lawinenschutzbauten in der Gefahrenzonenplanung, was ist der aktuelle Stand der Technik oder auch die schwierige Frage des Klimawandels, der den Lawinenschutz zweifellos in verschiedenen Formen beeinflussen wird.

All diese Fragen versuchten wir bei dem Symposium in Galtür zu beantworten und zu diskutieren. Sie sind in dieser Ausgabe wiedergegeben.

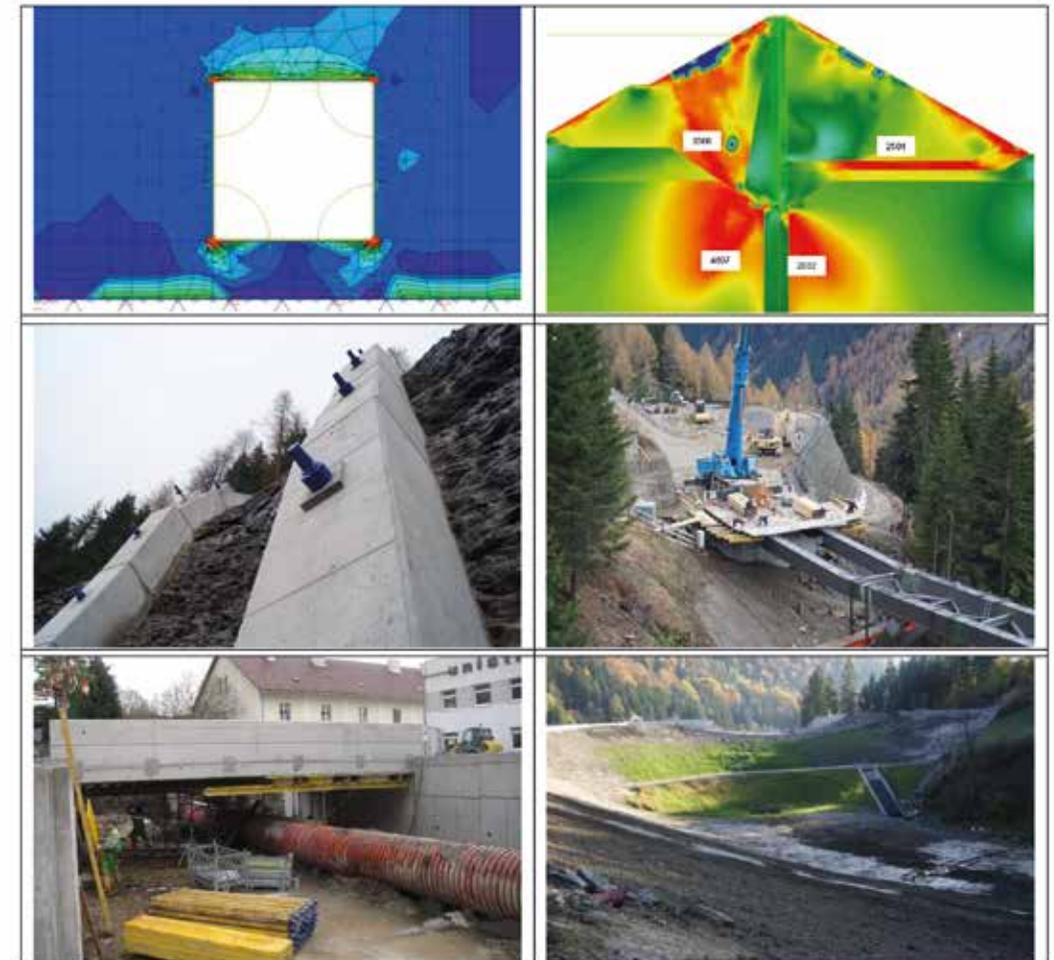
Ich wünsche Ihnen viel Interesse beim Lesen und Studieren der Beiträge. Wenn Sie Anregungen für mich haben, wie man ein Heft besser gestalten könnte oder welche Themen besonders interessant wären, würde ich mich freuen, von Ihnen zu hören.

DI Siegfried Sauer Moser
Schriftleiter

alpinfra consulting + engineering gmbh :: Internationale Ingenieurkompetenz

Innovative Lösungen und Baustellenführung im anspruchsvollen alpinen Umfeld

- Statische und dynamische Strukturanalysen für Stahl- und Betonbauwerke
- Geotechnisch, grundbautechnische Sonderlösungen, Injektionstechnik
- Schutzwasserbau, Wildbach- und Lawinenverbauung
- Numerisch-Physikalische Modellierung von Lawinen, Muren und Felsstürzen



alpinfra consulting + engineering gmbh
Marktplatz 5 - 5163 Mattsee
office@alpinfra.com
www.alpinfra.com
+43 - 6217 - 20271

FLORIAN RUDOLF-MIKLAU

Wildbach- und Lawinenverbauung in Zeiten des Wandels

Torrent and Avalanche Control in the era of change

Zusammenfassung:

Die Wildbach- und Lawinenverbauung agiert an der Schnittstelle zwischen den staatlichen Schutzleistungen und dem Umgang der Zivilgesellschaft mit Naturgefahrenrisiken (Risiko Governance). Die Herausforderungen des Globalen Wandels erfordern eine laufende Anpassung der Schutzkonzepte und setzen auch die Dienststellen unter einen kontinuierlichen Adaptionsdruck. Der Beitrag setzt sich mit der Rolle der Wildbach- und Lawinenverbauung als „Facilitator“ von Schutzleistungen auseinander und weist auf die dringende Verbesserung der Außendarstellung dieser Funktion und Leistungen der Dienststellen im Rahmen der kommunalen Risiko Governance hin.

Stichwörter: Wildbach- und Lawinenverbauung, Anpassungsstrategie, Globaler Wandel, Zukunftsperspektiven

Abstract:

The Austrian Torrent and Avalanche Control Service acts at the interface between governmental protection services and the coping of civil society with natural hazards (risk governance). The challenges of global change require ongoing adaptation of the protection concepts and also put the services under continuous adaptation pressure. This contribution is concerned with the role of Torrent and Avalanche Control as a "facilitator" of protection services and points to the urgent need to improve the external representation of these functions and services within the framework of municipal risk governance.

Keywords: *Avalanche and torrent control, adaption strategies, global change, future prospects*

Zeiten des Wandels

Wildbach- und Lawinenverbauung dient dem Schutz des Lebensraums vor Naturkatastrophen. Gerade dieser Lebensraum ist – stärker als jemals zuvor – einem stetigen Wandel unterworfen. Nicht nur der Klimawandel wirkt in vielerlei Hinsicht auf der Naturraum ein, der gesellschaftliche Wandel und dessen Folgen für die menschlichen Daseinsgrundfunktionen (Wohnen, Arbeit, Mobilität, Versorgung etc.) vollzieht sich mit atemberaubender Geschwindigkeit. Im Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030 (UN ISDR, 2015) wird diese – wissenschaftlich als „Globaler Wandel“ zusammengefasste – Veränderung konkret angesprochen und eine Neuausrichtung der Katastrophenvorsorge gefordert. In der globalen Politik des Umgangs mit Naturkatastrophen vollzieht sich folglich ein Paradigmenwechsel, weg von der Gefahrenabwehr, hin zum Aufbau einer „resilienten“ Gesellschaft. Die Erkenntnis der Grenzen der technischen Schutzkapazitäten gegen Extremereignisse und des Zwangs zur gesellschaftlichen Anpassung steht in diametralem Widerspruch zu den weiterhin bestehenden Sicherheitsansprüchen unserer Risikogesellschaft.

Auch im Alpenraum, in dem sich Wildbach- und Lawinenverbauung hauptsächlich abspielt, sind die Veränderungen nicht zu übersehen. Es bedarf gar keiner apokalyptischen Katastrophenprophetie, um zu erkennen, dass sich irreversible Entwicklungen abspielen, die in den etablierten Strategien der Naturgefahrenprävention bisher nicht Berücksichtigung finden. Das Abschmelzen der Gletscher und der Rückgang des Permafrostes, die Zunahme lokaler Starkregenereignisse in Verbindung mit Bodenwassersättigung nach anhaltenden Niederschlägen, die Zunahme verheerender Sturm- und Waldbrandkatastrophen mit deren devastierenden Auswirkung

auf den Schutzwald, das weitere Fortschreiten der Besiedelung von Überflutungsgebieten und instabilen Hanglagen, der Flächenverbrauch und die Bodenversiegelung, die Veränderung des Hangwasserregimes durch den Wegebau, die expansive Nutzung alpiner Räume für Freizeit und Tourismus, die Intensivierung landwirtschaftlicher Nutzung oder der stetige Ausbau alpiner Verkehrsachsen, all das sind Entwicklungen, die völlig neue Risikoszenarien generieren oder das Risikopotenzial für Naturkatastrophen in den Alpen stark verändern. Zu den klassischen Naturgefahrenarten wie Hochwasser, Muren und Lawinen haben sich neue Bedrohungsszenarien – sedimentbeladene Sturzfluten, Steinschlag, flachgründige Rutschungen und Hangmuren, Hangwasser, Nassschneelawinen und Schneematsch-Abgänge („Slush flows“) oder Eisschlag – gesellt, die bisher von untergeordneter Bedeutung waren. Für Gemeinden im alpinen Raum reicht heute der Blick in den Gefahrenzonenplan nicht mehr aus, um ein umfassendes Bild aller relevanten Gefahrenszenarien zu erhalten. Eine Vielzahl von geographischen Informationsinstrumenten weisen auf unterschiedlichste meteorologische, hydrologische, geologische oder nivologische Naturgefahren hin und stellen kommunale Entscheidungsträger vor komplexe Herausforderungen, wenn es um die angepassten Schutzkonzepte für den Siedlungs- und Wirtschaftsraum geht. Ebenso herausfordernd sind die komplexen rechtlichen Rahmenbedingungen des Risiko- und Katastrophenmanagements. Die alpine Raumordnung ist mit ihren starren Rechtsinstrumenten und der Fokussierung auf Liegenschaften und privates Eigentum kaum in der Lage, flexible Lösungsmodelle für „multiple“ oder „kaskadische“ Gefahrenszenarien anzubieten. Vorausschauende Raumentwicklungskonzepte, die eine Steuerung der Siedlungsentwicklung in Richtung gering gefährdete Gebiete oder

die gezielte Absiedelung von Hochrisikogebieten vorsieht, bleiben – wenn überhaupt rechtlich realisierbar – bruchstückhaft in der Umsetzung oder sind nur mit hohem finanziellen Entschädigungsaufwand durchzusetzen.

Zweifellos wurde in Österreich in den letzten Jahrzehnten durch strukturelle Schutzmaßnahmen ein hohes Sicherheitsniveau erreicht, welches in vielen Gemeinden die nachhaltige Nutzung der Siedlung- und Wirtschaftsräume sichert. Es scheint jedoch, dass diese technischen Schutzanlagen durch Extremereignisse zunehmend an ihren Belastungsgrenzen geraten. Immer öfter wird die Frage erhoben, ob die bisher geltenden Bemessungsereignisse infolge des Klimawandels nach oben revidiert werden müssen. Eine Zunahme von Fällen der Überlastung von bestehenden Schutzsystemen scheint diese These zu erhärten und hat den Ruf nach einer Berücksichtigung des Restrisikos in der Raumplanung oder den Verzicht einer Rücknahme von Gefahrenzonen nach Durchführung von Schutzmaßnahmen ausgelöst. Ein ständig zunehmender Stock von Schutzmaßnahmen erhöht auch den laufenden Aufwand für die Überwachung und Erhaltung der Schutzbauten. Nur eine gut organisierte und fachgerechte Überwachung der Schutzmaßnahmen und Einzugsgebiete sowie deren laufende Instandhaltung und Freihaltung der Stauräume kann die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Anlagen auch bei Extremereignissen gewährleisten. Sowohl die technischen Anforderungen als auch die Kosten der Instandhaltung von Schutzanlagen und der Räumung von Sedimenten sind in den letzten Jahren stark gestiegen und führen die Gemeinden und Wassergenossenschaften (-verbände) als Betreiber der Anlagen an technische und wirtschaftliche Grenzbelastungen. Andererseits ist es für einen österreichischen Bürgermeister denkunmöglich, eine Gefahrenzone nur deshalb wieder ausweiten zu lassen, nur, weil die

Instandhaltung nicht mehr leistbar ist. Nach Katastrophenereignissen wird hingegen unter dem Druck der Öffentlichkeit im Rekordtempo neuer und aufwendiger Schutz geschaffen. Auf diese Weise dreht sich die Sicherheits- und Kostenspirale im Schutz vor Naturgefahren immer weiter.

Information über Gefahren und Risiken wird als die wichtigste Funktion der Naturgefahrenvorsorge gesehen und soll Akzeptanz und Aufmerksamkeit für Risiken erzeugen. Naturkatastrophen sind jedoch längst zum medialen Spektakel geworden. Das große Interesse nach Katastrophenbildern und „Bad News“ sowie die damit verbundene, emotionsgeladene Berichterstattung lässt im Ereignisfall kaum noch Raum für strukturierte Diskurse über Schutzziele und Sicherheitsstrategien und schraubt den gesellschaftlichen und politischen Druck nach noch mehr Sicherheit stetig in die Höhe. Das gut etablierte System des Katastrophenmanagements funktioniert in Österreich reibungslos und hat ein hohes öffentliches Ansehen. Ebenso erfolgreich „funktioniert“ auch die staatliche Schadensregulierung, die manche österreichische Gemeinde nach der Verheerung eines Hochwassers schöner wiederauferstehen lassen, als sie jemals zuvor war. Das Dogma der öffentlichen Schadenbehebung zum „Wohle der Betroffenen“ erstickt wohl jede substantielle Diskussion über private Vorsorge (Naturgefahrenversicherung), die Angemessenheit von öffentlichen Kompensationsleistungen oder gar die Rücknahme von risikoreichen Nutzungen. Eigenvorsorge und technischer Gebäudeschutz ist nach vielen Jahren der öffentlichen Bewusstseinsbildung bei Bauherren und Architekten meist immer noch ein Fremdwort. Es scheint fast, als wäre der „Leidensdruck“ der Gesellschaft durch das intakte staatliche Risiko- und Katastrophenmanagement einfach zu gering, um sich mit dringend erforderlichen Anpassungsmaßnahmen, insbesondere der Eigenvorsorge, auseinander zu setzen.

In dieser dichten und dramatischen Form beschrieben, entsteht fast der Eindruck eines „Endzeitszenarios“, welches den Erfolg das bisher entwickelte Schutzkonzept in Frage stellt. Diese Konsequenz soll jedoch aus den vorgegangenen Ausführungen ausdrücklich nicht gezogen werden. Gerade eine fatalistische Perspektiv auf den Globalen Wandel wäre nämlich das größte Hindernis für einen sachlichen und faktenbasierten, politischen Diskurs über „unbequeme“ Tatsachen und unausweichliche Anpassungsstrategien, da in der Gesellschaft – aus einer Mischung aus Existenzangst und Aversion gegen Veränderung – eine Abwehr- und Verweigerungshaltung entsteht. Doch die zuvor aufgezählten Veränderungen – so wie viele andere mehr – sind real und finden statt. Der Wandel im Auftreten von Naturkatastrophen ist im Grunde ein völlig „normaler“ Bestandteil unserer Umwelt. Das Problem besteht lediglich darin, dass der Mensch in seinem Lebensraum immer verletzlicher wird und die Anpassung infolge der komplexen Zusammenhänge immer anspruchsvoller ist. Allerdings bedarf es für eine hohe gesellschaftliche Bereitschaft zur Anpassung meist der Anschubwirkung negativer Erfahrungen aus Katastrophen. Naturkatastrophen gab es in Österreich in den letzten Jahrzehnten in großer Zahl, trotzdem waren die negativen Folgen offenbar noch nicht ausreichend, um die Gesellschaft – nicht nur die unmittelbar Betroffenen – auf breiter Front von der Dringlichkeit der Anpassung zu überzeugen. Ein Wandel im Umgang mit Naturkatastrophen kann aber nur gelingen, wenn die Bürgerinnen und Bürger zu Beteiligten der Schutzleistung werden. Darin besteht auch die große Herausforderung für den Schutz vor Naturgefahren – somit auch der Wildbach- und Lawinenverbauung – nach dem Konzept der Risiko Governance (UN ISDR, 2015).

Neue Anpassungsstrategien im Schutz vor Naturgefahren

Das in Österreich etablierte Naturkatastrophenmanagement funktioniert ausgezeichnet, daran wird in Fachkreisen kein Zweifel aufkommen. Auch die Wildbach- und Lawinenverbauung als wichtiger Akteur dieses System ist hervorragend aufgestellt und anerkannt. Naturkatastrophen mit umfangreichen Todesfolgen sind in Österreich zum Ausnahmefall geworden. Vordergründig ist die politische und gesellschaftliche Wertschätzung für die öffentlichen Schutzleistungen also sehr hoch. Es stellt sich daher die Frage, warum etwas verändert, sprich „adaptiert“ werden soll, wenn es ohnehin wirksam und effizient ist.

Ein möglicher Zugang zur Veränderung wäre, dass ein System – wenn auch grundsätzlich erfolgreich – sich ständig weiterentwickeln muss, um nachhaltig wirksam zu sein. Ein anderer Ansatz wäre das stark veränderte Bedarfsspektrum nach Schutzleistungen infolge des klimatischen und demographischen Wandels. Ein richtungsweisender Schritt in Richtung einer systematischen Analyse des Anpassungsbedarfs waren die Studien Flood Risk I (BMLFUW, 2004) und Flood Risk II (BMLFUW, 2009), die eine Neuausrichtung des Hochwasserschutzes in Österreich auf den Weg gebracht haben. Die wichtigsten Paradigmen dieser Strategieprojekte waren folgende (Auswahl):

1. Flächendeckende Bereitstellung von geographischen Informationen über Naturgefahren in Form von Gefahrenzonenplänen und Abflussuntersuchungen
2. Berücksichtigung der Gefahrenzonen in der Raumplanung
3. Freihaltung und Rückgewinnung von natürlichen Überflutungsflächen

4. Stärkung der Eigenvorsorge und Selbsthilfekapazität der Bevölkerung
5. Verankerung des Hochwasserrisikomanagements im Wasser- und Raumordnungsrecht

Viele dieser Ziele wurden – insbesondere infolge der Umsetzung der Europäische Hochwasserrichtlinie (2007/60/EG) – bereits erreicht und haben auch nachweisbare Auswirkungen auf andere Bereiche des Risiko- und Katastrophenmanagements gehabt. Es ist heute selbstverständlich, im Internet umfassende Informationen über Naturgefahren zu finden oder auf detaillierte Rechtsnormen zum Hochwasserschutz zurückgreifen zu können. In anderen Rechtsbereichen, insbesondere betreffend Massenbewegungen, sind die Normen mit Präventionswirkung jedoch immer noch lückenhaft. Systematische Initiativen zur Stärkung der Eigenvorsorge oder zur Freihaltung von Überflutungsflächen waren bisher weniger erfolgreich.

Auffällig ist, dass die Umsetzung der Anpassungsstrategien im Bereich des Naturkatastrophenmanagements in Österreich stets von staatlichen Strukturen und öffentlichen Institutionen dominiert werden. Dem föderalen Aufbau des Landes folgend, ist die politische Auseinandersetzung mit dem Thema Naturkatastrophen stets geprägt von der Frage der Zuständigkeiten, dem Einsatz öffentlicher Subventionen sowie der Schaffung eines angemessenen Rechtsrahmens. Gesellschaftliche oder privatwirtschaftliche Aspekte spielen im Diskurs über Naturgefahrenprävention eine untergeordnete Rolle. Auch die Zusammenhänge zwischen den staatlichen Regelungsinstrumenten des Umgangs mit Naturgefahren und den gesellschaftlichen Effekten und Konsequenzen wird kaum Beachtung geschenkt. Die Politik erhebt beispielsweise die Forderung nach mehr Eigenvorsorge, ohne gleichzeitig die Mängel im privaten Objektschutz zu kritisieren. Die weitere

Bebauung von Risikogebieten wird angeprangert, ohne dabei eine konsequente Junktimierung mit der Zuerkennung von staatlicher Schadensregulierung zu diskutieren. Liegenschaftseigentümer erzielen infolge neuer Hochwasserschutzbauten einen beträchtlichen Widmungsgewinn, ohne dass eine finanzielle Beteiligung der Begünstigten an den Kosten öffentlicher Schutzleistungen ernsthaft diskutiert wird. Abgesehen von der abstrakten Diskussion über die Bedeutung der Risikokommunikation und Bürgerbeteiligung wird der gesellschaftliche Aspekt des Umgangs mit Naturgefahrenrisiken weitgehend ausgeklammert. Risiko- und Katastrophenmanagement bleibt in Österreich das Privileg staatlicher Organisationen wie der Wildbach- und Lawinenverbauung. Dies ist angesichts des Aufwands für Schutzleistungen und der Komplexität der Gefahrenszenarien sinnvoll und typisch für einen hoch entwickelten Vorsorgestaat. Andererseits ermöglicht es den Bürgerinnen und Bürgern, wenn auch nicht vorsätzlich und bewusst, den Aufwand für Vorsorgeleistungen „erfolgreich“ der öffentlichen Hand zu überbinden. Eine Kultur eines integrierten gesellschaftlichen Umgangs mit Gefahren und Risiken gibt es de facto in Österreich nicht.

In der Anpassungsstrategie der UN für Naturkatastrophen (UN ISDR, 2015) taucht nunmehr das „neue“ Konzept der Risiko Governance auf. Stark vereinfacht ist damit die Summe aller Handlungen und Entscheidungsprozesse im Umgang mit Risiken gemeint, die sowohl staatliche Institutionen als auch Akteure der Zivilgesellschaft und Wirtschaft sowie deren regionale Netzwerke mit einbezieht. Man könnte Risiko Governance auch simplifiziert als die Erweiterung des institutionalisierten Risikomanagements nach „Schweizer Modell“ (PLANAT, 2011) um die Einbindung der Zivilgesellschaft sehen. Eine schlüssige Modellvorstellung dieses Konzepts bieten Renn & Sellke (2011) (Abbildung 1) an, die

im Zusammenhang mit dem gesellschaftlichen Umgang mit Risiken vor allem die Kernfragen der Komplexität, Mehrdeutigkeit und Unsicherheit von Risiko hervorstreichen. Während Risiko für Experten, vor allem in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht, einen schlüssigen und „messbaren“ Referenzwert darstellt, erschließt es sich den Laien (Menschen ohne Fachkenntnisse, Betroffene, politische Entscheider) als abstrakter und schwer erfassbarer Wert kaum. Die drei Kernfragen des Risikomanagements – *Was kann passieren? Was darf passieren? Was ist zu tun?* – sind nur für Experten, für die der Umgang mit Mehrdeutigkeit und Unsicherheit wissenschaftliche Routine ist, eindeutig zu beantworten. Das streng rationale Risikokonzept steht im diametralen Widerspruch zu den realpolitisch „begrenzt rationalen“ Entscheidungsprozessen in Politik und Gesellschaft. (Goldstein & Gigerenzer, 2002)

Um das Modell der Risiko Governance zu erklären, ist die Darstellung jener Prozesse erforderlich, die es auch im gesellschaftliche (also „laienhaften“) Umgang mit Risiken ermöglicht, die Kernfragen des Risikomanagements im Konsens und gerecht zu lösen. Da die Festlegung und Durchsetzung von Schutzzielen und Sicherheitsgrenzen in Österreich traditionell ein Privileg staatlicher Institutionen ist, erscheint der Ansatz einer „Risikokultur“ durchaus visionär, oder aber idealistisch naiv. Mit Recht könnte man die Frage erheben, wie ein gesellschaftlicher Diskurs über ein so komplexes Thema wie Risiko in der Praxis gelingen soll, wenn es sogar um kollektive Entscheidungen geht. In der Theorie entsteht diese Risikokultur, wenn zunächst Wahrnehmung für das Risiko, konkret den politischen Stellenwert, die wirtschaftlichen Effekte und die gesellschaftliche Betroffenheit geschaffen wird. Die Ergeb-

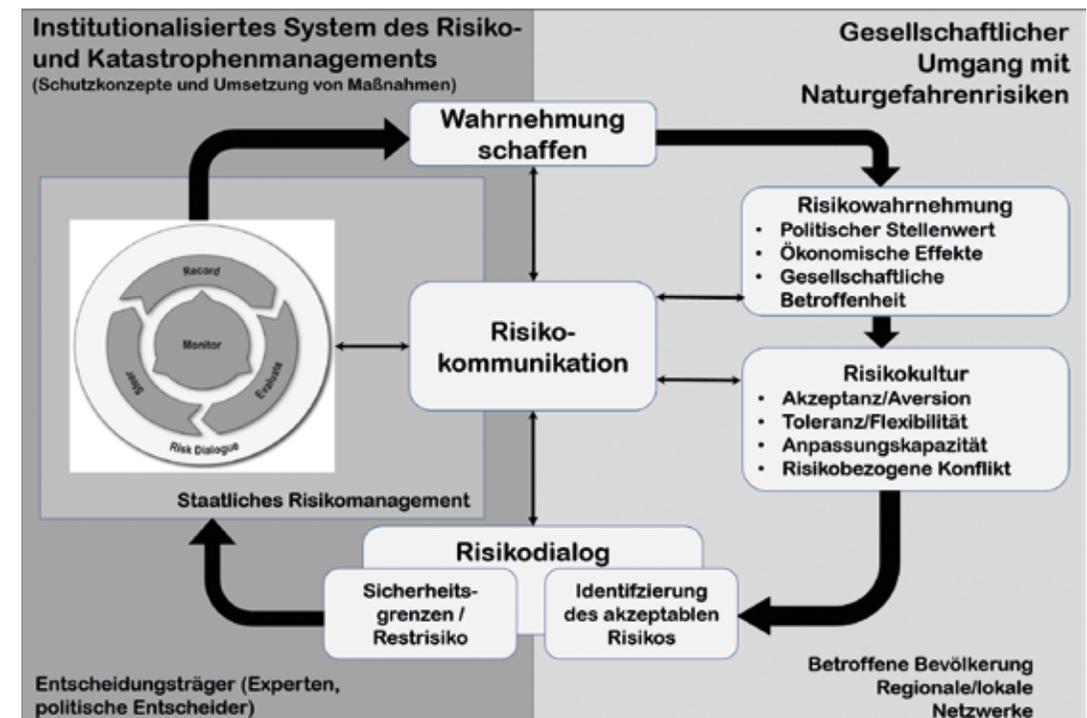


Abb 1: Modell der Risiko Governance nach Renn & Sellke (2011).

Fig. 1: Model of Risk Governance, according to Renn & Sellke (2011).

nisse der Risikoanalyse müssen auf die Wahrnehmung und Perzeptionsfähigkeit der Bürgerinnen und Bürger „heruntergebrochen“ werden. Diese Übersetzungsleistung gelingt insbesondere durch anhaltende Risikokommunikation, welche wiederum die erforderliche Akzeptanz, Flexibilität, Anpassungskapazität und Konflikttoleranz im Umgang mit Risiken ermöglichen soll. Ziel ist ein gesellschaftlicher Risikodialog zwischen Experten und Laien, Politik und Gesellschaft über die Identifikation des „akzeptablen“ Risikos sowie einen Konsens über Sicherheitsgrenzen (Restrisiko). Das Modell impliziert also, dass nicht einheitliche, vom Staat verordnete Sicherheitsniveaus, sondern angepasste (flexible) und von den Betroffenen selbst definierte Gültigkeit haben.

Dieses Modell mag zunächst als graue Theorie erscheinen, welches mit den Grenzen menschlicher Perzeption und Akzeptanz kaum in Einklang zu bringen ist. Kühn wäre allerdings auch eine Gegenmeinung, die vertritt, dass dieses Konzept – wenn auch nur in Teilen – längst existiert und sektoral in Österreich seit vielen Jahrzehnten umgesetzt ist. Worum geht es eigentlich beim gesellschaftlichen Umgang mit Risiken in der Praxis? Ziel der „Governancen“ ist zunächst die Einbindung aller betroffenen Akteure. Auf Ebene der Gemeinde sind dies neben den kommunalen Entscheidungsträgern (Bürgermeister, Gemeinderat) auch die lokalen Wirtschaftstreibenden, NGOs sowie einzelne Bürgerinnen und Bürger. Meist existieren in Gemeinden informelle Netzwerke, die diese Koordinierungsfunktion übernehmen können. Außerdem geht es um die gemeinsame Tragung und Verteilung der Risiken. Damit sind Vor- und Nachteile im privaten Eigentum sowie wirtschaftliche Aufwendungen (Kostenbeteiligung) verbunden, die wiederum Konflikte über die Verteilungsgerechtigkeit bei Chancen und Risiken verbunden, die geschlichtet werden müssen. Am Ende steht ein Kompromiss über die

Frage, wie viel Risiko akzeptabel ist und welcher Aufwand für die erforderlichen Schutzmaßnahmen erforderlich ist. Die solidarische Mitwirkung an Schutzleistungen ist beispielsweise im Institut der Wassergenossenschaft gemäß §§ 73 WRG realisiert, die pointiert als „Urform“ eines Risiko Governance Modells bezeichnet werden kann. Wassergenossenschaften dienen dem Zweck der gemeinschaftlichen Aufbringung der finanziellen für Schutz und der Erhaltung der Anlagen. Diese Körperschaften öffentlichen Rechts verfügen über einem klaren gesetzlichen Rahmen, ermöglichen jedoch auch die Festlegung von autonomen Regeln der Mitglieder in der Aufteilung der Kosten, der Entscheidungsfindung sowie in der Schlichtung von Konflikten. Im Vordergrund steht die Freiwilligkeit der Mitwirkung an Schutzleistungen, allerdings besteht bei Nichterreichbarkeit eines Konsenses die Möglichkeit des Rückgriffs auf Zwangsmittel. Chancen und Risiken werden in der Genossenschaft gemeinschaftlich getragen und staatliche Aufgaben durch eine private Institution übernommen. Wenn man weiß, dass Wassergenossenschaften zu den ältesten Formen der kommunalen Kooperation zählen, kann mit Fug und Recht von „Risiko Governance“ als einem etablierten und „gewachsenen“ Konzept gesprochen werden.

In der Tat sind bei näherer Betrachtung auf regionaler und kommunaler Ebene zahlreiche Beispiele erfolgreicher Governance-Modelle im Katastrophenmanagement existent, die seit langem etabliert sind. Hervorzuheben wären insbesondere das Institut der Lawinenkommissionen als freiwillige kommunale Expertenkommission, die Rolle ehrenamtlicher Institution im Katastropheneinsatz und in der Bewältigung von Katastrophen oder institutionalisierte Bürgerbeteiligungsprozesse im Rahmen der Umsetzung der EU HWRL. Aber auch die Schlichtung von Oberliege-Untertlieger-Konflikten an Gewässern oder die Anhö-

rungsrechte im Gefahrenzonenplanverfahren weisen die Charakteristik von Governance auf. Aber auch Gemeinden selbst agieren in der Daseinsvorsorge selten nach strikt rechtsstaatlichen Verfahren, sondern wenden eher Governance-Instrumente an. Wenn man also zusammenfassend den Mehrwert des „neuen“ Konzepts Risiko Governance auf einen Nenner bringen wollte, so ließe sich dies wie folgt zusammenfassen: „Bürgerinnen und Bürger bzw. die Gesellschaft zu Beteiligten der öffentlichen Schutzleistung zu machen.“ Auch wenn das Konzept unter diesem Aspekt fast wie „alter Wein in neuen Schläuchen“ wirkt, so ist zumindest Eines neu und innovativ: Erstmals werden all die unersetzlichen öffentlich-privaten oder rein privaten Initiativen, Institutionen und Prozesse, die im Risiko- und Katastrophenmanagement vor allem auf regionaler und lokaler Ebene existieren, mit einem schlüssigen Begriff zusammengefasst.

Anpassungsstrategie für die Wildbach- und Lawinenverbauung

Als wirkungs- und serviceorientierte Organisation hat sich die Wildbach- und Lawinenverbauung im Rahmen ihrer Strategie ständig weiterentwickelt. (BMLFUW, 2014) Allerdings handelt es sich auch um eine traditionsreiche Institution mit gut etablierten Produkten, die aufgrund ihrer Charakteristik sich nicht zwangsläufig jedem neuen Trend umgehend anpassen muss. Ein gewisses Beharrungsvermögen ist der Organisation WLV jedenfalls zu eigen. Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Wildbach- und Lawinenverbauung mag es auch nicht schlüssig erscheinen, in einer erfolgreichen Phase an Reform- oder Anpassungsprozesse zu denken. Das zuvor beschriebenen Konzept der Risiko Governance als Lösungsansatz für die Herausforderungen des Globalen Wandels zu sehen, wird wohl nicht auf ungeteilte Zustim-

mung der „Wildbachler“ stoßen. Man muss schon feinteiliger argumentieren, um einen möglichen Mehrwert neuer Konzepte im Schutz vor Naturgefahren plausibel zu machen.

Es steht außer Zweifel, dass Gemeinden und Wassergenossenschaften die primären Kunden der Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung sind. Beide Institutionen repräsentieren maßgebliche Teile der Gesellschaft und haben einen eigenen Umgang mit Naturgefahrenrisiken entwickelt. Dieser Umgang ist aus dargelegten Gründen stark vom Vertrauen in die staatlichen Schutzleistungen (der Wildbach- und Lawinenverbauung) geprägt. In den Augen eines Gebietsbauleiters wäre nun ein neues Paradigma der stärkeren Übertragung der Verantwortung für Schutz und Sicherheit an Gemeinden und ihre Bürger wohl eine Form von „Kindesweglegung“. Auch Bürgermeisterinnen und Bürgermeister würden empört reagieren, wenn sich der Staat, konkret die WLV aus der Katastrophenprävention stärker zurückziehen würde. Betroffene Bürgerinnen und Bürger vertreten weiterhin vehement ihren legitimen „Anspruch auf Schutz“. Wie soll sich also die Wildbach- und Lawinenverbauung als an der Risiko Governance mitwirkende Institution positionieren, ohne in den Verdacht des sich „aus der Verantwortung Stehlens“ zu geraten.

Ich vertrete die Behauptung, dass die Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung an der regionalen Risiko Governance längst teilnehmen. Beispiele gefällig?

- Geographische Informationen über Naturgefahren gibt es inzwischen in umfangreicher Form, die Inhalte von Hinweiskarten und Plänen ist jedoch meist nur für Experten in vollem Umfang anwendbar und überfordert kommunale Entscheider. Die Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung bieten umfangreiche und kostenlose Beratungs-

leistungen in Form der Übersetzung der Karteninhalte in eine für Bürgerinnen und Bürger anwendbare Form. Mit Hilfe der Karten gelingt die Stärkung der Risikowahrnehmung.

- Häufig sind Liegenschaftseigentümer von Schutzmaßnahmen betroffen, die nicht gleichzeitig Nutznießer der Maßnahmen sind. Durch die Grundinanspruchnahme für Schutzbauwerke werden Risiken aus Naturkatastrophen ungleich verteilt. Die Koordination von Kompensations- und Ausgleichsmaßnahmen stellt einen wichtigen Teil der Planungsaufgaben der Wildbach- und Lawinenverbauung dar.
- Die Finanzierung der Wildbach- und Lawinenverbauung erfolgt in Österreich nach dem Modell der „Konkurrenzfinanzierung“, welche auch die Nutznießer der Maßnahmen im Ausmaß ihres Nutzens abgewendeten Schaden beteiligt. Die Anbahnung dieser Finanzierungen durch Beratung und Aushandlung zählt zu den weiteren Governance-Funktionen im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung.
- Das Verfahren der Gefahrenzonenplanung gemäß § 11 ForstG umfasst auch das Recht auf Anhörung der betroffenen Bürgerinnen und Bürger. In den letzten Jahren hat sich eine intensive Kommunikation vor Ort mit den Betroffenen im Rahmen der kommissionellen Verhandlung des GZP etabliert, um Akzeptanz für die unausweichliche Gefahreinschätzung und Zonendarstellung zu erhalten. Diese Kommunikation geht eindeutig über den gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen hinaus und ist zweifellos eine Governance-Maßnahme.

- Die gezielte Bewusstseinsbildung über Naturgefahrenrisiken für die Allgemeinheit bestimmte Gruppen der Gesellschaft – beispielsweise für Frauen, Kinder oder ältere Menschen – ist eine weitere Kernfunktion der Risiko Governance. Die Wildbach- und Lawinenverbauung wirkt seit vielen Jahren mit ihren Instrumenten „naturgefahren.at“, Biber Berti oder We4DRR an der Risikokommunikation mit.
- Wassergenossenschaften erfordern – insbesondere in der Gründungsphase, aber auch im späteren Verlauf – eine intensive Betreuung und Beratung bei der Anbahnung, dem Aufbau der Strukturen, der Ausarbeitung der finanziellen Beteiligungsoperante sowie bei der Auseinandersetzung über die Realisierung und Erhaltung von Schutzmaßnahmen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Wildbach- und Lawinenverbauung bringen, insbesondere im Bundesland Salzburg, ihre Expertise beratend in die Aktivitäten der Wassergenossenschaften ein und unterstützen damit die lokalen Netzwerke im Umgang mit Risiken.
- Die Beratungs- und Sachverständigentätigkeit der Wildbach- und Lawinenverbauung trägt seit vielen Jahren der Stärkung des Objektschutzes in Gefährdungsgebieten bei und erhöht die Resilienz, insbesondere die Robustheit und Flexibilität von Gebäuden und deren Bewohner gegen die Einwirkung von Katastrophenergebnissen. Bewusstseinsbildung und Stärkung der Risikoakzeptanz sind ebenfalls wichtige Governancefunktionen.

Zusammenfassend kann die Mitwirkung der

Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung an der regionalen Risiko Governance mit den Funktionen der Kommunikation, Beratung, Investition, Koordination und Vernetzung (Beratung) umschrieben werden. In Sachen Wildbäche und Lawinen ist die WLW erster Ansprechpartner der Gemeinden und zuständigen Behörden und agiert dabei über fachliche und kompetenzrechtlichen Grenzen hinweg. Häufig versuchen regionale Entscheidungsträger auch die neutrale Stellung der Dienststellen für die Durchsetzung eigener Interessen zu nutzen und involvieren diese daher in Entscheidungsprozesse und bei der Schlichtung risikobezogener Konflikte in der Gesellschaft. Die damit verbundene Schnittstellenfunktion der Dienststellen könnte als Übersetzungsleistung, Brückenschlag oder Entscheidungsunterstützung interpretiert werden, ohne die formale oder fachliche Verantwortung den Begünstigten oder Betreibern von Schutzanlagen einzunehmen. Alle diese Leistungen erfolgen kostenlos, der faktische Wert dieser Leistungen für die Gesellschaft im Umgang mit Naturgefahrenrisiken ist beträchtlich. Bisher hat die Wildbach- und Lawinenverbauung sich in ihrer Außendarstellung auf technische Produkte – den Gefahrenzonenplan, die Verbauungsmaßnahmen oder den Wildbach- und Lawinenkataster – beschränkt. Die wohl wesentlichste Anpassung wäre wohl eine Positionierung der Dienststellen als Facilitator von Schutzleistungen, ohne dabei die Rolle der übrigen Akteure auf kommunaler Eben zu beschneiden.

Handlungsbedarf?

Diese Schnittstellenfunktion der Wildbach- und Lawinenverbauung im kommunalen Umgang mit Naturgefahren ist für Gemeinden und Wassergenossenschaften aus wirtschaftlichen und technischen Gründen unverzichtbar geworden. Es ist wohl ohne Übertreibung anzunehmen, dass ein

Rückzug aus dieser Governance-Rolle auf kommunaler Ebene das gesamte System der Wildbach- und Lawinenverbauung als stark regional präsent und dezentral organisierte Institution in Frage stellen würde. Eine Verstärkung der Außendarstellung dieser Governance-Rolle ist zweifellos selbst eine wichtige Adaptionsmaßnahme der WLW. Die Governance-Funktionen sind – wenn auch nicht als solche explizit bezeichnet – längst in die Strategie der Wildbach- und Lawinenverbauung integriert (BMLFUW, 2014) eingeflossen.

Besteht also der Handlungsbedarf für die Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung in der Anpassung an den Globalen Wandel ausschließlich in einer verbesserten Außendarstellung der Governance-Leistungen. Dieser Schlussfolgerung wäre heftig entgegen zu treten. Immer noch gibt es keine klare Abgrenzung zwischen den öffentlichen Schutzleistungen und den zumutbaren Eigenleistungen für Schutz der betroffenen Bevölkerung. Die Wildbach- und Lawinenverbauung sollte intensiv daran arbeiten, ihre Produkte und Leistungen – nicht nur die technischen, sondern auch die koordinativen und steuernden Funktionen – hinsichtlich der Wirkung, Zugänglichkeit für die Kunden (Gemeinden, Wassergenossenschaften, Bürgerinnen und Bürger) und Qualität klarer zu definieren und darzustellen. Der Spruch „Tue Gutes und sprich darüber!“ drückt aus, dass diese „Selbstvermarktung“ heute auch für öffentliche Institutionen eine Daseinsgrundfunktion auch für öffentliche Institutionen ist. Ich sehe es daher als eine der wichtigsten Aufgaben an, die Wirkungs- und Serviceorientierung der Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung sowie ihre Funktionen als Teil der Risiko Governance möglichst publik zu machen und so gut wie möglich zu positionieren. Darin sehe ich das Alleinstellungsmerkmal des Dienstzweiges sowie eine große Chance für eine weitere Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz für unseren Aufgabenbereich.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Privatdozent DI Dr. Florian Rudolf-Miklau
 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
 Umwelt und Wasserwirtschaft
 Abteilung III/5, Wildbach- und
 Lawinerverbauung
 Marxergasse 2, 1030 Wien
 florian.rudolf-miklau@bmlfuw.gv.at

Literatur / References:

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
 UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2004).
 Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – FloodRisk: Synthesebericht.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
 UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2009).
 FloodRisk II Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement: Synthesebericht.

GOLDSTEIN, D. G.; GIGERENZER, G. (2002).
 Models of ecological rationality: The recognition heuristic. Psychological Review, 109: 75-90.

RENN, O.; SELLKE, P. (2011).
 Risk, society and policy making: Risk governance in a complex world. International Journal of Performativity Engineering 7(4):349-366.

RUDOLF-MIKLAU, F. (2015).
 Solidarische Finanzierung und Erhaltung von Schutzmaßnahmen. Recht und Finanzen der Gemeinden 2 (6): 79 – 83.

UNITED NATIONS (2015).
 Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030.

Go ahead...

Wir sind Ihr absolut kompetenter Partner bei Planungen, Gutachten und Projektmanagement von...

- Wildbachverbauungen
- Schutzwasserbauten
- Böschungssicherungen
- Lawinerverbauungen
- Forst- und Güterwegen
- Landschaftspflegerische Begleitplanung
- Speicherteiche
- Schneeanlagengesamtplanung
- Skipistenbau
- Schneileitungssystemen
- Wasser- und Quellfassungen
- Wasserver- und entsorgung
- schiGIS[®]-Infosystem für Skigebiete
- uvm...

www.klenkhart.at

Klenkhart & Partner Consulting
 A-6067 Absam · Salzbergstrasse 15
 Telefon: +43 (0) 50226-0 · Fax: +43 (0) 50226-20
 e-mail: office@klenkhart.at

KLENKHART & Partner Consulting

SIEGFRIED SAUERMOSER

Künftige Herausforderungen für den Technischen Lawinenschutz

Future challenges in technical avalanche protection

Zusammenfassung:

Im Bereich des Technischen Lawinenschutzes sind in den letzten dreißig Jahren bedeutende Entwicklungen vollzogen worden. Im Beitrag wird der derzeitige Stand des technischen Lawinenschutzes und der Lawinengefahrenzonenplanung im Bereich der Sektion Tirol der Wildbach- und Lawinerverbauung dargestellt und versucht, mögliche künftige Herausforderungen zu formulieren. Diese sind vor allem die Weiterentwicklung von Modellierungen im Bereich von Lawinenprozessen, die Weiterführung und der Ausbau einer Bauwerksdatenbank, welche eine geordnete und systematische Überwachung der Funktionsfähigkeit der Schutzbauten zulassen, die Anpassung und Erneuerung von alten Bauwerken an der Stand der Technik, die Weiterentwicklung von Gefahrenzonenplänen zu Risikokartierungen und die Verbesserung von Kommunikation und Vernetzung mit allen Partnern im Bereich Schutz vor Naturgefahren. Die Entwicklung von integralen Schutzkonzepten als Weiterentwicklung von Verbauungsprojekten ist ebenfalls eine wichtige zukünftige Aufgabenstellung. Der künftig zu erwartende Klimawandel stellt eine nicht zu unterschätzende, aber derzeit schwer zu quantifizierende Herausforderung dar.

Stichwörter: Technischer Lawinenschutz, Gefahrenzonenplanung

Abstract:

In the last thirty years, major achievements have been reached in the field of technical avalanche protection. This article describes the state of the art in technical avalanche protection and avalanche hazard zoning and points out future challenges in these fields. Those are for example the further development of modelling avalanche processes and the continuation and upgrading of protection structures databases to guarantee the survey of all structures. Based on this data, it will be possible to develop a sound maintenance management plan. Some of the old structures will need adaption to the present state of the art. In the field of avalanche hazard mapping, a further development from hazard maps to risk maps is necessary. Furthermore, the communication within the organisations, which are responsible for avalanche protection, and the communication with the public has to be improved. Protection works have to be planned in the frame of integral mitigation concepts and the factor climate change will bring big challenges for the future, although the amount of change is not to quantify at the moment.

Keywords: Technical avalanche protection, hazard zone mapping

Einleitung

Tirols Täler sind durch zahlreiche Lawinen gefährdet, insgesamt zählen wir für den raumrelevanten Siedlungs- und Verkehrsbereich im Bundesland Tirol ca. 2.200 Lawinestrüche, welche Infrastruktureinrichtungen im Siedlungs- und Wirtschaftsraum gefährden. Diese Lawinestrüche werden in den Gefahrenzonenplänen der Wildbach- und Lawinerverbauung dargestellt. Wie kann man mit dieser Gefährdung umgehen, welchen Beitrag können Verbauungsmaßnahmen leisten, welchen Gefährdungen kann man durch temporäre oder raumordnerisch vorbeugende Maßnahmen entgegen wirken? Das sind wichtige Fragen, welche für die Zukunft zu klären sind. Verschiedene öffentliche Institutionen sind im Bereich Lawinensicherheit tätig, allen voran natürlich die betroffenen Gemeinden, die letztlich die obersten Sicherheitsbehörden für ihren Wirkungsbereich sind. Seitens der Wildbach- und Lawinerverbauung werden

technische permanente Schutzmaßnahmen und Gefahrenzonenpläne erstellt. Die Lawinenwarndienste in den Bundesländern weisen auf besonders heikle Lawinensituationen hin, bei welchen auch Großlawinen möglich oder sogar wahrscheinlich sind. Die Lawinenkommissionen als Beratungsorgane der Behörden sollten mit all diesen Informationen umgehen können und sowohl die Botschaft des Lawinenwarndienstes, jener eines Gefahrenzonenplanes und der möglichen Schwachstelle einer Technischen Schutzmaßnahme interpretieren können. Dazu ist ein hohes Maß an Kommunikation, Vernetzung, gegenseitigem Wissen und Verständnis notwendig. Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung ist gemeinsam mit den Gemeinden für die Errichtung von Schutzmaßnahmen und die Erstellung von Gefahrenzonenplänen zuständig, weshalb sich der gegenständliche Beitrag natürlich in ersten Linie mit diesen beiden Teilbereichen eines Sicherheitssystems beschäftigt.



Abb 1: Typische alpine Landschaft im obersten Paznauntal.

Fig. 1: Typical alpine landscape in the upper Paznaun valley.



Abb 2: Die erste Lawinendarstellung in Österreich aus dem 16. Jh.

Fig. 2: First drawing of an avalanche in Austria from the 16th century



Abb 3: Auszug aus dem Lawinenkataster im oberen Paznauntal

Fig. 3: Extract of the Avalanche cadastre showing the upper Paznaun valley

Historische Entwicklung

Keine Zukunft ohne Herkunft. Wenn man künftige Entwicklungen und Herausforderungen für den Technischen Lawinenschutz ableiten will, muss

man zuerst einen Blick in die Vergangenheit werfen und die Entwicklung der letzten sechzig Jahre beleuchten.

Nach den dramatischen Lawinenereignissen in den Jahren 1951 und 1954 begannen sowohl in der Schweiz als auch in Österreich sys-

tematische Entwicklungen im Bereich des technischen Lawinenschutzes. In der Schweiz wurde die erste Version der vorläufigen Technischen Richtlinien für die Lawinenverbauung im Anbruchgebiet (SLF 1955) erlassen und in verschiedenen Gebieten mit der Errichtung von Anbruchverbauungen begonnen. Die gleiche Entwicklung passierte in Österreich, wo am Heuberg in Häselgehr im Tiroler Ausserfern und in Vorarlberg mit Stützverbauungen in den Anbruchgebieten begonnen wurde. Die Voraussetzungen waren dürrig, Aufschließungen waren Mangelware und viele Arbeiten wie Aushübe von Fundamenten, Quertransport auf den Baustellen musste händisch erledigt werden. Für jede Werksreihe – Beispiel Häselgehr – musste eine eigene Feldbahn errichtet werden, um den Quertransport der Werksteile zu ermöglichen (Hanausek 1957). Trotz dieser Schwierigkeiten wurden zahlreiche Anbruchverbauungen errichtet und besonders im Bereich der Sektion Tirol wurde in den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts ein intensiver Schwerpunkt auf Lawinenverbauung in den Anbruchgebieten gesetzt. Um die aufwendigen Betonfundierungen ersetzen zu können wurden verschiedene Typen von Ankern eingesetzt, der Tiroler Parallelstabanker als

Endprodukt dieser Entwicklung wurde bis in die neunziger Jahre in vielen Verbauungsgebieten verwendet. Bis heute wurden in Tirol (geschätzte) 400 km Anbruchverbauungen errichtet, dem gegenüber wurden im gleichen Zeitraum in der Schweiz ebenfalls ca. 500 km (SLF Stand 1998) errichtet und in der Gebietsbauleitung Bludenz in Vorarlberg 110 km (Schilcher, mündliche Mitteilung). Im gesamten Bundesgebiet waren es wahrscheinlich 600 km, eine Auswertung der Bauwerksdatenbank wird, wenn alle Bauwerke aufgenommen wurden, genaueren Aufschluss darüber geben. Im Unterschied zu den skandinavischen Ländern wie Norwegen oder Island fokussiert sich der Technische Lawinenschutz auf die Anbruchgebiete. Dies liegt daran, dass für ausreichend dimensionierte Dammbauwerke in den engen alpinen Tälern meistens der Platz fehlt oder dieser geringe zur Verfügung stehende Platz dringend für die alpine Landwirtschaft gebraucht wird. Fast überwiegend wurden in Tirol für die Lawinenverbauung in den Anbruchgebieten Stahlschneebrücken verwendet, der Einsatz von Schneenetzen beschränkte sich auf einige wenige Baufelder, das größte davon ist auf der Hohen Munde in der Gemeinde Telfs zu finden.



Abb 4: Stützverbauung im Anbruchgebiet der Wasserleiterlawine in Galtür

Fig. 4: Steel supporting structures in the starting area of the Wasserleiterlawine in the municipality of Galtür

Einen Praxistest haben die technischen Schutzmaßnahmen im Lawinenwinter 1999 abgelegt. Überall haben die bis dahin errichteten Technischen Schutzmaßnahmen voll ihre Wirkung entfaltet und es sind in Österreich von diesem Winter keine Lawinenabgänge aus verbauten Lawinen bekannt. Ähnliche Erfahrungen wurden auch in der Schweiz gemacht (SLF 2000). Es ist auch nicht bekannt, dass Lawinenauffang- oder Leitdämme überflossen worden sind. Bei den Lawinengalerien hat sich deutlich gezeigt, dass viele Galerien für ein Ereignis mit einer Dimension wie im Jahr 1999 zu kurz waren und teilweise nachträglich verlängert werden mussten.

In den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde sowohl in der Schweiz als auch in Österreich die Lawinengefahrenzonenplanung

entwickelt. In Österreich wurde diese im Rahmen des Forstgesetzes 1975 legalisiert. Hintergrund war die Erkenntnis, dass der beste vorbeugende Schutz gegen Naturgefahren dann gegeben ist, wenn keine Schadenspotentiale vorhanden sind und die Besiedlung von Gefahrenzonen frühzeitig verhindert werden kann. Es hat einige Zeit gedauert, bis der Wert der Gefahrenzonenpläne von der Gemeinden richtig erkannt wurde und mittlerweile genießen Gefahrenzonenpläne in den Gemeinden eine hohe Akzeptanz. Nicht nur für den Dienstzweig selber als Basis für die Priorisierung von Schutzmaßnahmen, sondern auch als Basis für die Raumordnung und Siedlungsentwicklung stellt der Gefahrenzonenplan heute das zentrale Element dar.

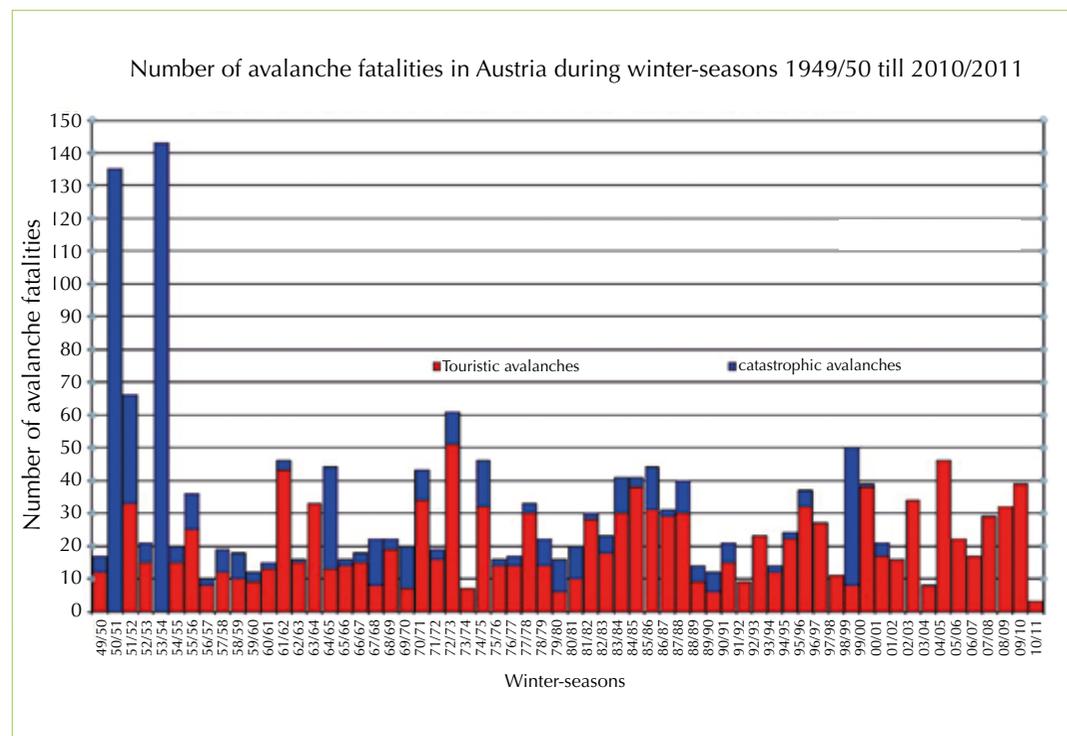


Abb 5: Statistik der Lawinenofer in Österreich von 1950 bis 2011 (Quelle LWD Tirol)

Fig. 5: Statistic of avalanche victims in Austria from 1950 to 2011

Technische und forstliche biologische Schutzmaßnahmen seit dem Lawinenwinter 1999

Der extreme Lawinenwinter 1999 hat vor allem zu zahlreichen Innovationen im Bereich des temporären Lawinenschutzes und der Modellentwicklung geführt. Obwohl die technischen Schutzmaßnahmen eine ausgezeichnete Wirkung gezeigt hatten, war doch auch in diesem Bereich Handlungsbedarf gegeben. Es ist auch klar, dass ein Ereignis dieser Dimension die Aufwendungen für den Technischen Lawinenschutz im Vergleich zu anderen Naturgefahren deutlich in die Höhe getrieben hat. Wurden im Jahre 1998 im Bereich der Sektion Tirol ca. 25 % der Gesamtaufwendungen für Lawinenschutz eingesetzt, so waren es in den Jahren 1999 und 2000 27 % bzw. 35 % der Gesamtaufwendungen. Insgesamt wurden im Bereich der Sektion Tirol seit dem Katastrophewinter € 194 Mio. in Technische Schutzmaßnahmen investiert, was einen durchschnittlichen Jahresaufwand von € 12,1 Mio. ergibt.



Abb 6: Lawinen- und Murbrecher Timmelbach in der Gemeinde Prägraten in Osttirol

Fig. 6: Avalanche and debris flow breaker Timmelbach in the municipality of Prägraten in Eastern Tyrol

Den größten Umfang der Maßnahmen hatten nach wie vor die Anbruchverbauungen, insbesondere nach dem Katastrophewinter wurden Partien der Wildbach- und Lawinenverbauung aus anderen Bundesländern und anderen Gebietsbauleitungen in den Katastrophengebieten des oberen Inntals eingesetzt. Dabei zeigte sich auch der große Vorteil der Struktur der Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. In kürzester Zeit konnten viele finanzielle und personelle Ressourcen in das Katastrophengebiet Paznauntal, Kaunertal, Pitztal und Stanzertal transferiert werden und bereits im Sommer des Jahres 1999, einige Monate nach der Lawinenkatastrophe von Galtür, wurden dort erste Baumaßnahmen gesetzt. Neben Stützverbauungen in den Anbruchgebieten wurden zahlreiche Lawinenablenkdämme, Lawinengalerien und Sonderbauwerke in Form von Lawinenbrechern ausgeführt. „Lawinenbrecher“ wurden analog zu Murbrechern dort errichtet, wo es keine Möglichkeit einer Anbruchverbauung gibt und auch im Auslaufbereich keine Möglichkeit für die Errich-

	Aufwendungen gesamt 1999–2015	Aufwendungen/Jahr
Planungen gesamt:	€ 194.372.325,–	€ 12.148.270,–
Ausgeführt gesamt:	€ 162.695.825,–	€ 10.168.489,–
Lawinengalerien:	€ 44.000.000,–	€ 2.750.000,–
Stützverbauung/ Verwehungsverbauung:	€ 85.406.700,–	€ 5.337.918,–
Lawinendämme:	€ 5.889.291,–	€ 368.080,–
Sonderbauwerke:	€ 11.371.301,–	€ 710.706,–

Tab. 1: Aufwendungen für technischen Lawinenschutz im Bereich der Sektion in den Jahren 1999–2016

Tab. 1: Expenditures for technical Avalanche Protection within the Section Tirol from 1999–2016

tion von Auffang- oder Ablenkdammen besteht. Durch ein massives Hindernis in der Sturzbahn soll die Energie einer Lawine, insbesondere des Fließanteiles soweit reduziert werden, dass sich infolge reduzierter Geschwindigkeit unterhalb des

Bauwerkes eine reduzierte Auslauflänge ergibt. Die prominentesten Beispiele für diese Bautype sind die MühlauerklammLawine in Innsbruck und die TimmelbachLawine in der Gemeinde Prägraten in Osttirol

Mittelentwicklung getrennt nach
Wildbach/Lawine/Steinschlag und FWP
Sektion Tirol 2007 – 2016

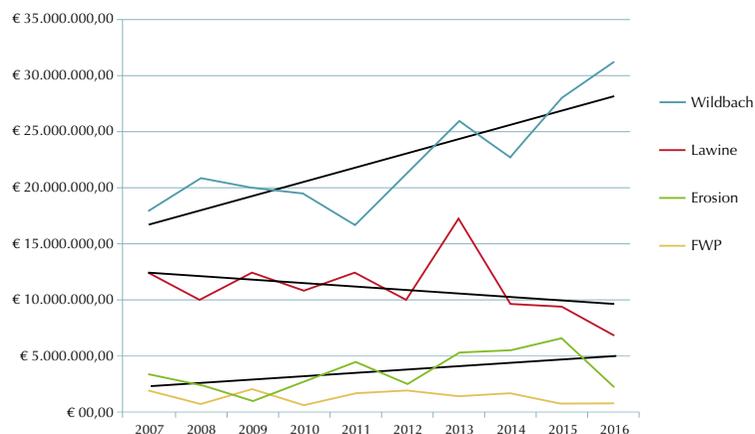


Abb 7:
Aufwendungen zum
Schutze vor Naturgefahren
im Bereich der Sektion Tirol
von 2007–2016

Fig. 7:
Expenditures for protection
against natural hazards in
the province of Tyrol from
2007–2016

Wenngleich die Aufwendungen für den Technischen Lawinenschutz nach dem Jahre 1999 deutlich anstiegen und einige Jahre auf einem hohen Niveau blieben, sind sie zwischenzeitlich wieder deutlich zurück gegangen. Seit 2007 sind die Aufwendungen für den technischen Lawinenschutz im Vergleich zu Wildbach und Steinschlag deutlich rückläufig. Dies ist in der Abb. 7 ersichtlich. Im Jahre 2016 wurde für den Technischen Lawinenschutz „nur“ noch 17 % der Gesamtaufwendungen investiert, was mehrere Gründe hat. Vor allem aber ist zwischenzeitlich ein Großteil der großen Baufelder abgeschlossen. Ähnlich wie in der Schweiz kann davon ausgegangen werden, dass die wichtigsten Lawinen in Tirol verbaut sind und nur noch Ergänzungen und geringfügige Erweiterungen stattfinden werden. Zu den bedeutendsten Verbauungen, die in den letzten Jahren abschlossen werden konnten, zählen jene der Gemeinde Schmirn und St. Anton. In St. Anton begann die Verbauungsaktivität nach dem Abgang der WolfgrubenLawine am 13. März 1988, bei dem sieben Todesopfer zu beklagen

waren. Seit dieser Zeit wurden in St. Anton zahlreiche Stützverbauungen auf der WolfgrubenLawine, der GampbergLawine, der StockibachLawine und der KapallLawine umgesetzt, welche im Jahre 2015 im Rahmen einer kleinen Feier abgeschlossen wurden.

Neben dem Rückgang für Aufwendungen für den Technischen Lawinenschutz nehmen jene für den Wildbach- und Steinschlagschutz deutlich zu. Dies wird durch massive Murerereignisse in den letzten Jahren im Land einerseits und die hohe Sensibilität gegenüber Steinschlagereignissen andererseits verursacht. Sowohl das Hochwasser 2005, das wesentliche Teile der Tiroler Oberlandes betroffen hat, als auch die Hochwässer 2013 und 2014 im Tiroler Unterland sowie die Murerereignisse 2015 am Schallerbach in der Gemeinde See im Paznauntal und im Saigesbach in der Gemeinde Sellrain machten die Ausarbeitung und sofortige Umsetzung von zahlreichen Sofortmaßnahmen und großen Projekten in den Wildbächen notwendig.



Abb 8:
Verbauung
WolfgrubenLawine in der
Gemeinde St. Anton am
Arlberg

Fig. 8:
Supporting structures in the
Wolfgruben Lawine in the
municipality of St. Anton/
Arlberg



Abb 9:
Lichtmälderlawine, Gde.
Häselgehr; gelungene
Aufforstung im Schutze
einer Stützverbauung
und im Schutze von
Gleitschneeböcken

Fig. 9:
Lichtmälderlawine, Gde.
Häselgehr: successful
afforestation protected by
steel supporting structures
and wooden tripod
constructions

In Kombination mit Stützverbauungen wurden immer dann, wenn sich diese unterhalb der potentiellen Waldgrenze befinden, ergänzende Aufforstungen durchgeführt. Zahlreiche Baufelder zeigen mittlerweile schon schöne Bestände, welche in den nächsten Jahrzehnten ihre Schutzfunktionalität erreichen werden. Eine wesentliche Erfahrung in diesem Zusammenhang war aber, dass Aufforstungen nur bei intensiver Pflege und Überwachung und vielerorts nur mit ergänzenden Gleitschneeschutzmaßnahmen gelingen. Somit fallen Kosten über Jahrzehnte an, welche von Anfang an kommuniziert werden müssen. Eine weitere Erfahrung ist auch die deutlich notwendige längere Betreuungszeit als ursprünglich angenommen, die optimistischen Einschätzungen in den Technischen Berichten aus den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts haben sich nicht bestätigt. Als technischer Gleitschneeschutz hat sich in Tirol die Errichtung von Dreibeinböcken deutlich durchgesetzt (Sauermoser 1998). Wir wissen, dass das Wachstum in der subalpinen Region äußerst langsam und störanfällig ist, diesem Umstand muss bei der Planung von begleitenden Hochlagenaufforstungen Rech-

nung getragen werden. Hochlagenaufforstungen, welche vierzig bis fünfzig Jahre alt sind, sind bei weitem noch nicht schutzwirksam und zum Teil deutlich in ihrem Umfang durch verschiedene Schadursachen reduziert.

Normung und Innovationen im Technischen Lawinenschutz

Während in der Schweiz bereits im Jahre 1955 vorläufige Richtlinien für Lawinenverbauungen im Anbruchgebiet erlassen wurden und diese Richtlinien laufend ergänzt und angepasst wurden, waren derlei Verbauregeln in Österreich nicht vorhanden. Im Wesentlichen richtete man sich ebenfalls nach den Richtlinien der Schweiz, dies war aber nur begrenzt möglich, da die Schweizer Richtlinien auf SIA-Normen beruhen und in Österreich die entsprechenden ÖNORMEN zu Grunde zu legen sind.

Auf Basis dieser Überlegungen wurden in den Jahren 2008–2011 die ÖNORM-REGELN für den Permanenten Technischen Lawinenschutz entwickelt, welche seit dieser Zeit den Stand der Technik in Österreich reprä-

sentieren. Im Wesentlichen bauen diese Regeln natürlich auf den Schweizer Richtlinien auf, das Ziel war es, die Richtlinien dort auf österreichische Verhältnisse anzupassen, wo SIA Normen und Ö-Normen unterschiedliche Grundlagen bilden. Die Berücksichtigung der entsprechenden EUROCODES und der damit verbundenen nationalen Anwendungsdokumente war ebenfalls Ziel der ÖNORM – Regeln. Diese sollten nicht nur Maßnahmen für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet beinhalten, sondern alle Maßnahmen des Permanenten Technischen Lawinen-

schutzes zusammenfassen. Ein weiteres wichtiges Ziel war es, die praktischen Erfahrungen der WLW, welche in den letzten vierzig Jahren gesammelt werden konnten, in ein technisches Regelwerk einfließen zu lassen.

Mittlerweile sind diese Richtlinien seit fünf Jahren in Verwendung und haben sich sehr gut bewährt. Derzeit ist eine Arbeitsgruppe am Österreichischen Normungsinstitut mit der Evaluierung der ON-Regeln beschäftigt. Ziel ist es, in der Folge eine ÖNORM für den Technischen Lawinenschutz zu entwickeln.

ON-REGEL	TITEL	GÜLTIG SEIT
ONR 24805	Permanenter Technischer Lawinenschutz – Benennung und Definition sowie statische und dynamische Einwirkungen	1. Juni 2010
ONR 24806	Permanenter Technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung	15. Dez. 2011
ONR 24807	Permanenter Technischer Lawinenschutz – Überwachung und Instandhaltung	1. März 2010

Tab. 2: ÖNORM-Regeln für den Permanenten Technischen Lawinenschutz

Tab. 2: ÖNORM-technical regulations for permanent technical avalanche protection



Abb 10:
Fundierung von
Stahlschneebrücken mit
Schreitbagger

Fig. 10:
Foundation of snow bridges
with walking excavator

Verschiedene Innovationen finden laufend auf den Lawinenbaufeldern der Wildbach- und Lawinenverbauung statt. Erfahrene Mitarbeiter und Ingenieure überlegen sich laufend, wie Schutzmaßnahmen effizienter und kostengünstiger errichtet werden können, ohne das Schutzziel und die Qualität der Maßnahmen aus den Augen zu verlieren. Beispielsweise hat sich der Transport der Bauwerksteile mit Hubschrauber weitgehend durchgesetzt. Deutliche Kostenunterschiede sind auch zwischen Baufeldern mit oder ohne Wegerschließung zu erkennen. Eine wesentliche Erfahrung ist zudem die Notwendigkeit einer geotechnischen Vorerkundung im Zweifelsfalle, da eventuelles unerwartet notwendiges verrohrtes Bohren die Kosten enorm erhöht. Seit Jahren werden auch Fundierungen mit Schreitbaggern hergestellt, was sich in nicht allzu schwierigem Gelände ausgezeichnet bewährt und vor allem die tägliche Bohrleistung deutlich erhöht (Walter 2004).

Bauwerksdatenbank – Qualitätssicherung

Die ONR 24807 bezieht sich auf die laufende Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Lawi-

nenschutzbauwerken. Dieses dreistufige Qualitätssicherungsinstrument wurde analog zur Überwachung von Wildbach- und Steinschlag-schutzbauwerken entwickelt und stellt derzeit den Stand der Technik dar.

Die laufende Überwachung von Lawinenschutzbauten ist von den Gemeinden zu übernehmen. Die regelmäßige Kontrolle von Schutzbauten ist in einem vorgeschriebenen Intervall für Standardbauwerke und Schlüsselbauwerke in Absprache mit der WLW von dazu ausgebildeten Experten durchzuführen. Alle Begehungen und Feststellungen sind zu protokollieren.

Dieses „theoretische“ Überwachungs- und Kontrollsystem hat sich in der Praxis noch nicht wirklich etabliert. Viel besser funktioniert das System für Wildbachschutzbauten, die laufende Überwachung dieser wird von den Gemeinden im Zuge der jährlichen Wildbachbegehungen gemäß Forstgesetz durchgeführt. Im System der Wildbachbetreuung Tirol werden die Beobachtungen sowohl an die Wasserrechtsbehörde als auch an die Dienststellen der WLW weitergeleitet. Bezüglich der jährlichen laufenden Überwachung von Lawinenschutzbauten wird mit den Gemeinden derzeit noch ein gangbarer Weg gesucht. Vor

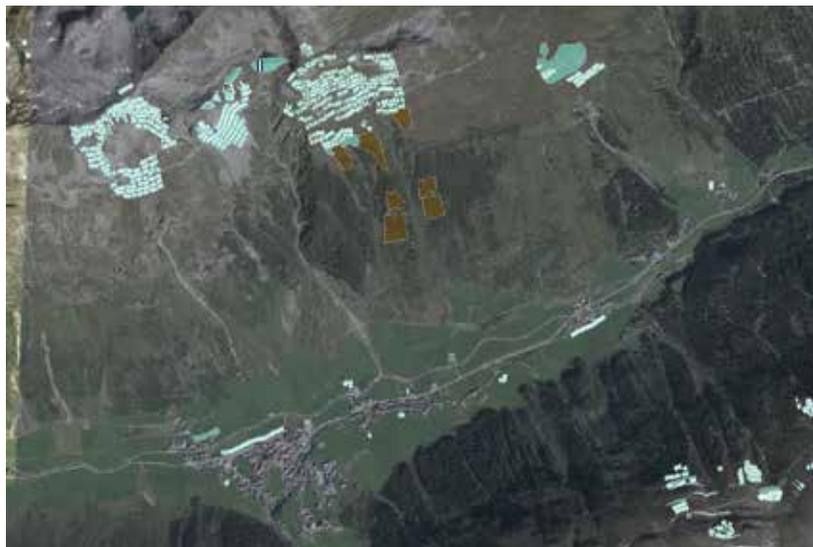


Abb 11:
Auszug aus dem
Lawinenkataster für die
Gemeinde Galtür

Fig. 11:
Excerpt of the Avalanche
cadastre, municipality of
Galtür

allem Gemeinden, welche sehr viele Bauten zu überwachen haben, brauchen dafür entsprechend ausgebildetes Personal.

Fast alle Bauwerke sind mittlerweile im Bauwerkskataster aufgenommen, sodass ein guter Überblick über Art und Umfang von Verbauungen besteht. Bei der Aufnahme in den Bauwerkskataster sind auch der Zustand und die Funktionsfähigkeit des Bauwerkes zu beschreiben. (siehe Wildbach- und Lawinenverbau, Heft Nr. 155, 71.Jg, Juni 2007; Zustandserfassung, Instandhaltung und Sanierung von Schutzbauwerken der Wildbach- und Lawinenverbauung)

Wie viele Mittel sind in Zukunft für die Erhaltung von Lawinenschutzbauten vorzusehen? Dies ist eine wichtige strategische Frage, da die Sicherung der Funktionsfähigkeit der Schutzbauten künftighin gewährleistet werden muss. In den Jahren seit 1999 wurden im Bereich der Sektion Tirol für Sanierungen von Lawinenschutzbauten € 10,4 Mio. investiert. Ursachen für Schäden sind vielfältige. Einerseits Alterung wie am Heuberg in Häselgehr, wo die meisten Stützwerke ausgetauscht werden müssen oder Schäden durch Randlawinen oder Steinschläge, welche gelegentlich auftreten. Die Dimensionierung für eine



Abb 12:
Nachträglich erhöhte
Stahlschneebrücken auf
der Großtallawine in der
Gemeinde Galtür

Fig. 12:
Subsequently heightened
supporting structures on the
Großtallawine, municipality
of Galtür

zu geringe Schneemächtigkeit machte es auf der Großtallawine in Galtür notwendig, die bestehenden Werke zu erhöhen. Voraussetzung war, die Feststellung einer ausreichenden Fundierung auch für die erhöhten Schneebrücken.

Der jährliche Aufwand für Sanierungen betrug somit im Durchschnitt der letzten sechzehn Jahre (1999–2015) € 0,650 Mio./Jahr. Legt man diesen Aufwand auf den Wert der gesamten Verbauungssubstanz um (angenommener Wert/lfm = € 1000,-), so ergibt sich ein durchschnittlicher langfristig jährlicher Erhaltungsaufwand von 0,16 % des Wertes der Stützverbauungen.

400 km Stützverbauung in Tirol

Stützverbauung/ Verwehungsverbauung:	€ 400.000.000,-
Sanierungen/Ergänzungen STV seit 1999:	€ 10.400.600,-
Jährlicher Erhaltungsaufwand	€ 650.000,- (0,16%)

Gefahrenzonenplanung

Im Jahre 1975 wurde die Lawinengefahrenzonenplanung in Österreich mit dem neuen Forstgesetz eingeführt. Die Abgrenzung von Lawinengefahrenzonen erfolgte in der Vergangenheit weitgehend empirisch und auf der Basis von historischen Ereignissen und von gutachtlicher Geländebeurteilung, da keine geeigneten Modelle zur Berechnung vorhanden waren. In den Anfängen der Gefahrenzonenabgrenzung wurde vor allem mit dem eindimensionalen Fließlawinenmodell von Salm/Burkhard/Gubler (1990) gerechnet. Das Fehlen von leistungsfähigen Computern machten die Berechnungen mühsam, aber sie gaben immerhin grobe Anhaltspunkte über mögliche Auslauflängen. Ab den neunziger Jahren wurde auch vielfach das in Norwegen entwickelte α/β -Modell eingesetzt. Eine eigens für den alpinen Raum entwickelte Korrelationsgleichung sollte die Genauigkeit des Modells für die Anwendung im alpinen Bereich erhöhen (Lied et al.1995).

Eine deutliche Verbesserung der Abgrenzungsqualität brachten die mehrdimensionalen Modelle wie ELBA (Volk et.al 1999) oder SAMOS (Sampl et.al 1999) in Österreich oder neuerdings RAMMS in der Schweiz. Diese ermöglichen sowohl die Abschätzung der Auslauflängen als auch der Lawinenausbreitung im Ablagerungsbereich, aber in erster Linie ersparen sie dem Gefahrenzonenplaner das gutachtliche Festlegen einer Lawinenbahn. Die Modelle haben sich deutlich verbessert, sollten aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass nach wie vor „nur“ der weitgehend empirische Modellansatz von VOELLMY (1955) die Basis der Berechnungen bildet und Eingangsgrößen wie die Lawinenmasse nach wie vor gutachtlich festgelegt werden müssen. Auch darf nicht vergessen werden, dass wir derzeit lediglich

trockene Fließlawinen berechnen können und Prozesse wie Staub- oder Nassschneelawinen derzeit nur begrenzt abgeschätzt werden können. Auch die Wirkung des Waldes in den Sturzbahnen und im Auslaufbereich scheint in den derzeit verwendeten Modellen nicht ausreichend abgebildet zu sein. Trotz dieser Schwächen hat die Möglichkeit der Modellierung von Lawinen die Qualität der Gefahrenzonenpläne deutlich verbessert, wenngleich nicht genug auf die Verifizierung der Modellergebnisse in der Natur hingewiesen werden kann (Sauermoser 2000).

Mit dem in der WLW entwickelten Simulationsmodell SAMOS werden sowohl Staub- als auch Fließlawinen berechnet. Die Abgrenzung des Staubanteiles einer Lawine war immer sehr schwierig, da über mögliche Auslauflängen und Lawinenkräfte sehr wenige Dokumentationen vorhanden waren. Allein die Abschätzung der Dichte einer Staublawine enthält bereits eine deutliche Unsicherheit und kann das Ergebnis der Berechnung um einen Faktor 3-5 verändern. Mit SAMOS wurden in den Jahren seit 1999 viele Lawinen abgeschätzt und das Modell mehrfach angepasst. Die Interpretation der Ergebnisse bedarf einer langjährigen Praxis und vielfachen Erfahrung. Aus diesem Grunde hat sich innerhalb des Dienstzweiges die Praxis durchgesetzt, dass das Staublawinenmodul von SAMOS ausschließlich von den Experten der Stabstelle für Schnee und Lawinen angewendet wird. Auf Basis der langjährigen Erfahrung und Nachrechnung von hunderten Lawinen zeigen sich auch deutlich die Schwächen des Modelles. Auch bei diesem Modul scheint der Wald nicht ausreichend berücksichtigt zu sein und die berechneten Staublawinenprozesse decken sich nicht immer mit den vorgefundenen deutlich sichtbaren Sturzbahnen in der Natur.

Lawinensicherheit in Schigebieten

Lawinensicherheit in Schigebieten wurde mit zunehmender Erschließung der Alpen mit Schiliften ein wichtiges Thema. Zwei Lawinenunfälle mit mehreren Todesopfern im Dezember 1974 und im Jänner 1975 in Tirol und Vorarlberg führten in Österreich zu sehr strikten Regelungen, welche unter objektiver Betrachtung nicht immer eingehalten werden konnten. In den relevanten Erlässen des Verkehrsministeriums waren auch Vorgaben wie Jährlichkeiten von zu beachtenden Ereignissen nicht vorgegeben, es wurde von maximaler (?) Sicherheit gesprochen. Nicht nur die Anlage selber, auch eine zugehörige Schipiste musste permanent lawinensicher sein, oder mit permanenten Maßnahmen gesichert sein. Ausnahmeregelungen behandelten Ersatz- und Ergänzungsanlagen in bestehenden Schigebieten.

Ein neuer Lawinenerlass wurde im Jahre 2011 seitens des Verkehrsministeriums erlassen (GZ.BMVIT-238.961/0006-IV/SCH3/2011 vom

12.9.2011; Erlass der Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie betreffend den Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen). Dieser regelt die Anlagen- und die Betriebssicherheit in einer getrennten Betrachtungsweise. Während die Anlagensicherheit mit permanenten Maßnahmen herzustellen ist, ist für die Betriebssicherheit auch die Anwendung von temporären Maßnahmen wie Betriebsschließung oder künstliche Lawinenauslösung zulässig. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Sicherheit in den Stationsbereichen, in denen sich am meisten Personen aufhalten, gelegt. Diese sind im Sinne der Regelung für die Gefahrenzonenplanung zu betrachten. Das heißt, es muss auf jeden Fall mittels technischer Maßnahmen eine Gefährdung auf das Maß einer gelben Gefahrenzone reduziert werden, eine verbleibende Gefährdung im Sinne dieser Gelben Gefahrenzone kann mittels temporärer Maßnahmen und Schutzmaßnahmen direkt am Gebäude begegnet werden.



Abb 13:
Vesilbahn im
Schigebiet Ischgl
mit temporär
gesicherten Pisten
(Quelle Bergbahn
Ischgl)

Fig. 13:
Vesilbahn in
the skiing area
of Ischgl with
temporary
protected ski
pistes

Herausforderungen für die Zukunft

Rahmenbedingungen

Wie schaut die Zukunft aus, wie ändern sich die Rahmenbedingungen? Diese Frage ist wohl sehr schwer zu beantworten. Der Zukunftsforscher Andreas Reiter (2005) beschreibt drei verschiedene mögliche künftige Szenarien für die Alpen, die eng mit der zu erwartenden Klimaerwärmung gekoppelt sind. Er betrachtet die Alpen als künftigen Entertainmentpark, als Gesundheits-Resort für die alternde Gesellschaft oder als Gefahrenzone infolge des Klimawandels. Alle diese Szenarien sind plakativ beschrieben und werden sich wohl in Teilen erfüllen. Es empfiehlt sich dabei auch einen Blick in die Vergangenheit zu werfen und die Veränderungen der letzten Jahrzehnte zu bewerten, die bei genauerer Betrachtung dramatisch genug sind.

- Die Bevölkerung von Tirol hat im letzten Jahrhundert von 266.574 Einwohnern im

Jahre 1900 auf 707.517 im Jahre 2010 zugenommen. (Faktor 2,7)

- Die Anzahl der Gebäude in Tirol hat von 1961 (71.019) bis zum Jahre 2011 (177.745) um den Faktor 2,5 zugenommen. Damit hat sich auch das Schadenpotential in den Gefahrenzonen deutlich erhöht.
- Die Akzeptanz gegenüber Naturgefahren hat in der Bevölkerung dramatisch abgenommen, gleichzeitig sind das Sicherheitsbedürfnis und die Sicherheitserwartung deutlich angestiegen. Die Bereitschaft, für den eigenen Schutz etwas beizutragen ist niedrig, die Erwartungshaltung gegenüber der öffentlichen Hand deutlich ausgeprägt.
- Der Mobilitätsanspruch der Bevölkerung ist extrem hoch. Eine gesperrte Straße über mehrere Tage in ein alpines Tal ist nahezu ein Ding der Unmöglichkeit.
- Der Klimawandel zeigt bereits jetzt

Bauausgaben für Sofortmaßnahmenprogramme

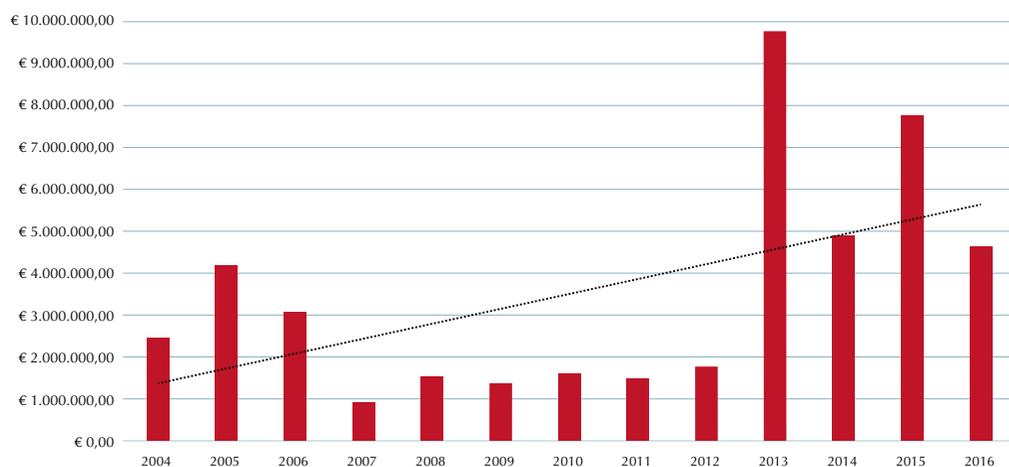


Abb 14: Aufwendungen in der Sektion Tirol für Sofortmaßnahmen in den Jahren 2004–2016

Fig. 14: Expenses for immediate measures in the district Tyrol in the years 2004–2016

seine deutlichen Spuren. Temperaturmessungen in verschiedenen Teilen des Landes zeigen einen Anstieg der Tagesmittelwerte seit den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts um 1 bis 1,5 Grad. Statistisch signifikante kleinflächige Niederschlagsauswertungen gibt es nicht. Allerdings zeigt die Anzahl von notwendigen Sofortmaßnahmen in den letzten Jahren einen deutlichen Ereigniszuwachs

vor allem in den Sommermonaten. Dies ist eindeutig ein Indiz für die zunehmende Anzahl von Ereignissen, welche auch subjektiv so wahrgenommen wird.

Geänderte Rahmenbedingungen brauchen auch neue Antworten. Wenngleich die oa. Szenarien von Reiter sehr plakativ dargestellt sind, bringen die gesellschaftlichen Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Handlungsbedarf mit sich.

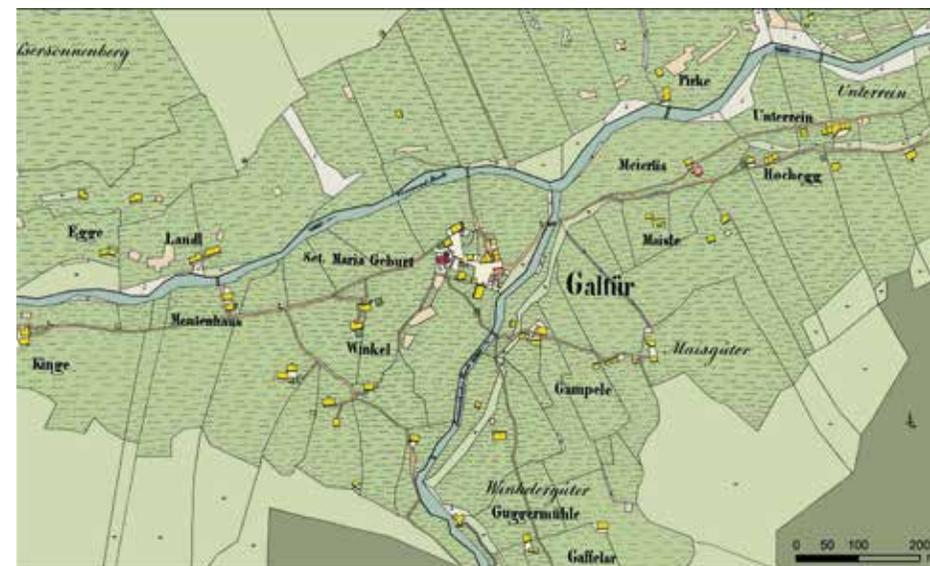


Abb 15: Siedlungsverteilung in der Gemeinde Galtür im Jahre 1865

Fig. 15: Settlement distribution in the municipality of Galtür in the year 1865



Abb 16: Siedlungsverteilung in der Gemeinde Galtür im Jahre 2005

Fig. 16: Settlement distribution in the municipality of Galtür in the year 2005

Integrale Schutzkonzepte

Eine künftige Herausforderung wird die vermehrte Entwicklung von integralen Schutzkonzepten sein, wie sie in der Sektion Tirol bereits in einigen Fällen verwirklicht wurden. Anstelle einer großflächigen Stützverbauung im Anbruchgebiet der Ulmicher Bachle Lawine in der Gemeinde Kappl konnte eine Kombination aus künstlicher Lawinenauslösung zum Schutze der Landesstraße mit seitlichen Ablenkdammen zum Schutze von randlichen Häusern relativ schnell und kostengünstig umgesetzt werden. Die gleiche Vorgangsweise wurde bei der Verbauung der Burgbachlawine in der Gemeinde St. Leonhard angewendet. Hier konnte ebenfalls eine Kombination von künstlicher Lawinenauslösung mit seitlichen Ablenkdammen eine ursprünglich geplante großflächige Stützverbauung im Anbruchgebiet ersetzen. Diese zwei Projekte sind beispielgebend für weitere Schutzkonzepte in denen eine Kombination von temporären und permanenten Maßnahmen wirtschaftliche Lösungen erwarten lassen. Das Spektrum des Dienstzweiges darf nicht nur die technischen und forstlich-biologischen Maßnahmen umfassen, die in den letzten Jahrzehnten erfolgreich angewendet wurden, sondern sind um alle Möglichkeiten des temporären Lawinenschutzes zu erweitern.

Qualitätssicherung, Bauwerksüberwachung

Die normgemäße Überwachung der Schutzbauwerke im Technischen Lawinenschutz muss gemeinsam mit den Interessenten ausgebaut und weiter standardisiert werden. Alle Bauwerke sind in einer auch für die Gemeinden zugänglichen Datenbank zu erfassen und ihre Funktion ist auf Basis ihres Qualitätszustandes zu bewerten. Dieser Prozess wurde bereits erfolgreich in die Wege

geleitet, er ist weiter konsequent zu verfolgen. Der Fokus ist dabei besonders auf die Qualitätssicherung bei Schlüsselbauwerken zu richten.

Kommunikation, Vernetzung

Die Kommunikation und Vernetzung unterschiedlicher Institutionen, welche alle im Lawinenschutz tätig sind, wird zu einer zentralen Frage. Wo bestehen Schnittstellen, wo könnte man diese vermeiden. Am deutlichsten sichtbar ist das heute in der Gefahrenzonenplanung. Die WLW erstellt Gefahrenzonenpläne für Wildbäche und Lawinen, die Bundeswasserbauverwaltung jene für Flüsse und derzeit erstellt noch niemand einheitliche Gefahrenzonenpläne für geogene Gefahren wie Steinschlag oder Rutschungen, dafür gibt es in Österreich noch keine Rechtsgrundlage. Die Gemeinden und Bürger müssen sich gut auskennen, um sich zurechtzufinden. Schwierig ist oft die Bewältigung von Katastrophensituationen, bei denen nicht ganz klar ist, wer von wem zuerst alarmiert oder verständigt wird. Eine gemeinsame bundesländerübergreifende Dienststelle, in der alle bisherigen Dienstleister, welche mit Naturgefahren arbeiten, vereinigt sind, kann getrost als reale Zukunftsvision bezeichnet werden. Zumindest ist eine deutlich bessere und intensivere gegenseitige Kooperation, wie dies auch in den jeweiligen Gefahrenzonenplanverordnungen vorgeschrieben ist, anzustreben. Ein regelmäßiger institutionalisierter Gedankenaustausch wird in einzelnen Bezirken bereits erfolgreich gepflegt und könnte deutlich intensiviert werden. Diese Überlegungen gehen über den reinen Lawinenschutz hinaus, sind von diesem aber nicht zu trennen.

Kooperation und Vernetzung ist ebenso mit den verantwortlichen Gemeinden wichtig. Die Lawinenkommissionen müssen wissen, was

in einem Gefahrenzonenplan steht, wie er zu interpretieren ist und mit welchen Methoden er erstellt wurde (Sauer Moser 2016). Ebenso müssen die Verantwortlichen in der Gemeinde die Grenzen von Schutzbauten kennen und müssen im Extremfall trotz Schutzbauten gegebenenfalls eine Evakuierung von Bürgern vornehmen. Diesbezüglich muss die Kommunikation und gegenseitige Information deutlich erhöht werden.

Gefahrenzonenplanung - Risikokartierung

In der Gefahrenzonenplanung wurde in den letzten Jahrzehnten durch verschiedene Entwicklungen eine deutliche Verbesserung erreicht, welche noch weiter entwickelt werden muss. Zum ersten wurden die Karten- und Datengrundlagen wesentlich besser als früher. Die ersten Gefahrenzonenpläne in Österreich wurden händisch auf Katastermaßstabskarten mit einem Maßstab 1:2880 gezeichnet, heute stehen selbstverständlich für alle Landesteile Laserscandaten und Orthofotos in allen beliebigen Maßstäben zur Verfügung, was die Arbeit deutlich erleichtert. Die Gefahrenzonenpläne stehen heute dem Bürger online zur Verfügung, was eine große Herausforderung an die Aktualität der Gefahrenzonenpläne darstellt.

Eine wesentliche Verbesserung gab es in den letzten Jahrzehnten, wie bereits ausgeführt, auch bei der Entwicklung von Simulationsmodellen. Die Anwendung mehrdimensionaler Fließlawinenmodelle ist heute Stand der Technik. Allerdings, und darauf ist deutlich hinzuweisen, dürfen die Modellergebnisse nicht überbewertet werden. Modellierung ist ein Teil der Gesamtbewertung, welche sich auch noch auf die Interpretation von historischen Ereignissen, Daten etc. bezieht und Erhebungen vor Ort nicht ersetzen können. Es sollte auch nicht vergessen werden,

dass die Basis der derzeitigen Modellierungen nach wie vor der Ansatz von VOELLMY ist, als keine wirklichen physikalischen Modelle zur Anwendung kommen. In diesem Zusammenhang ist noch eine deutliche Verbesserung anzustreben. Wir sind weder in der Lage Staublawinen ausreichend gut zu modellieren, wenngleich das Staublawinenmodell SAMOS nach wie vor das beste diesbezügliche Modell ist, noch sind wir in der Lage Nassschneelawinen zu modellieren oder auch die Wirkung des Waldes in einem Lawineinzugsgebiet ausreichend zu bewerten.

Somit ergeben sich künftig notwendige Erwartungen

- in der Weiterentwicklung von Modellen
- in der systematischen Bewertung von Schutzbauten
- in der Weiterentwicklung von Gefahrenzonenkarten zu Risikokarten

Risikoreduktion wird heute von den Experten als die Handlungsprämisse des modernen Naturgefahrenmanagements gesehen (Rudolf-Miklau 2009), umso wichtiger ist es Gefahrenzonenkarten in Risikokarten weiter zu entwickeln. Der Dienstzweig muss dem internationalen Trend folgen und in Österreich die Risikokultur forcieren und mit der Erstellung von Risikokarten einen neuen innovativen Weg beschreiten. Den Bürger interessiert nicht, welche Gefährdung alle 150 Jahre auftritt, sondern welches Risiko in welchen Bereichen mit unterschiedlichen Tätigkeiten verbunden ist.

Klimawandel

Der Klimawandel und die damit künftigen Erwartungen und Veränderungen sind bei der Diskussion über die Zukunft des Naturgefahrenmanagements nicht weg zu denken. Die zu erwartenden Verschiebungen im Jahresgang des Niederschlages

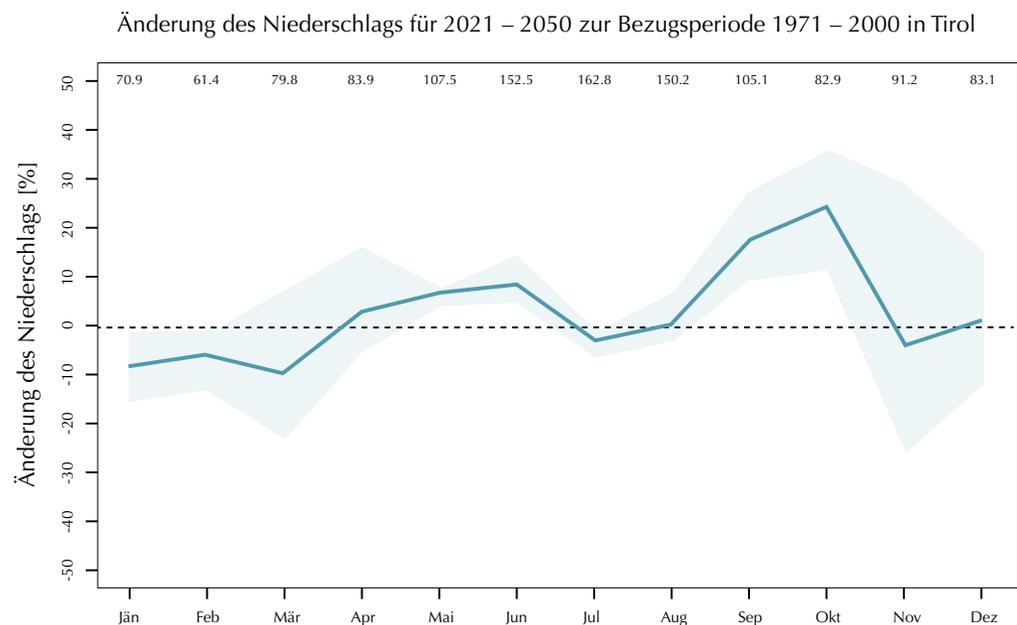


Abb 17: Sachstandsbericht Klimawandel in Tirol, Prognose der Veränderung der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung in Tirol

Fig. 17: Climate strategy Tyrol: Prognosis of future change in seasonal distribution of precipitation

sind in der Abb. 17 dargestellt. Generell geht man von einer deutlichen Zunahme des Niederschlags in den Herbstmonaten und in den Frühjahrsmonaten aus (Sachstandsbericht Klimawandel in Tirol 2015). Der heurige Winter könnte als typischer zukünftiger Winter mit extrem wenig Niederschlag im Frühwinter und deutlich höherem Schneeniederschlag in den Monaten April und Mai gelten. Welche Auswirkungen erwarten wir in Bezug auf Lawinenaktivitäten und Lawinentypen? Diese Frage ist seriös schwer zu beantworten. Ob es durch die Klimaerwärmung zum gehäuftem Auftreten von Nassschneelawinen kommen wird, ist schwer zu prognostizieren, könnte aber angenommen werden. Subjektiv ergibt sich auf alle Fälle das Gefühl, dass dieser Trend bereits in den letzten Jahren eingesetzt hat. Wenngleich die Klimamodelle davon ausgehen, dass in Tallagen die Tage mit Schneebedeckung abnehmen werden, trifft dies nicht für die Anbruchgebiete von Lawi-

nen zu, welche sich mehrheitlich in einer Seehöhe von 1.800 bis 2.600 m befinden. Einerseits wird die Waldgrenze nach oben wandern, was aber nach bisherigen Untersuchungen die meisten Lawinenanbruchgebiete nicht beeinträchtigt, andererseits wird sich durch geänderte Temperaturen die Schneekonsistenz ändern, die Auswirkungen auf die künftigen Lawinenaktivitäten sind, wie bereits erwähnt, nicht so ohne weiteres prognostizierbar.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Siegfried Sauer Moser
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol
Wilhelm Greilstrasse 9,
6020 Innsbruck
siegfried.sauer Moser@die-wildbach.at

Literatur / References:

- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2015): Sachstandsbericht Klimawandel in Tirol
- EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG (2000): Der Lawinenwinter 1999
- HANAUSEK E. (1957): Lawinenverbauung mit Stahlkonstruktionen am Heuberg in Häselgehr; Bündnerwald, Dez. 1957, Nr. 2, Jg 11
- LIED K., HOPF J., BAKKEHOI S., WEILER C. (1995): Calculation methods for avalanche run-out distance for the Austrian Alps. Norwegian Geotechnical Institute NGI Publikation 581210.3, Oslo 1995
- REITER A (2005): Die Alpen – Szenarien 2040 – zwischen inszeniertem Freizeitpark und lebensfeindlicher Gefahrenzone: Wildbach- und Lawinenverbau Heft 153, Okt 2005
- RUDOLF-MIKLAU F., Sauer Moser S. (Hsg) (2011): Handbuch Technischer Lawinenschutz, Ernst, Wilhelm & Sohn, Berlin
- RUDOLF-MIKLAU, F. (2009) Naturgefahrenmanagement in Österreich; Lexis Nexis VerlagARD Orac GmbH und Co KG, Wien
- SALM B./BURKHARD A. /GUBLER H. (1990): Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitteilung des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Davos Nr. 47, 1990
- SAMPL P., ZWINGER T., KLUWICK A. (1999): SAMOS - Simulation von Trockenschneelawinen: Wildbach- und Lawinenverbau JG 63. April 1999 Heft 138
- SAUER MOSER S. (2016): Der Gefahrenzonenplan; Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen; Amt der Tiroler Landesregierung; Abt. Zivil- und Katastrophenschutz
- SAUER MOSER S. (1998): Erfahrungen mit Gletschertöben; Wildbach- und Lawinenverbau Jg 62. Heft 135
- SAUER MOSER S. (1996): Die Aufforstung von Gletschneehängen; Österr. Forstzeitung Heft 3, 1996
- SAUER MOSER S. (2016): Der Gefahrenzonenplan; Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen; 4. Auflage; Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Zivil und Katastrophenschutz; 2016
- SAUER MOSER S. (2000): "Practical experience by using different runout models in the avalanche hazard zoning" Proceedings Int. Workshop Hazard Mapping in Avalancheing areas, IUFRO DIV 8, Natural Disasters
- VOELLMY S. (1955): Über die Zerstörungskraft von Lawinen; Schweizerische Bauzeitung, 73; Heft 12
- VOLK G., KLEEMAYR K. (1999): Lawinensimulationsmodell ELBA; Wildbach- und Lawinenverbau, Jg 63. April 1999, Heft 138
- WALTER. G. (2004) Anchoring of snowpack stabilizing in high mountain areas with excavator; Snow engineering conference, Davos 2004

PATRICK NAIRZ, RUDI MAIR

Lawinenwarndienste – moderne, praxisorientierte Serviceeinrichtungen für die Bevölkerung

Avalanche Warning Services – modern, practical-oriented institutions for the public

Zusammenfassung:

Die Hauptaufgabe von Lawinenwarndiensten (LWD) besteht in der Vermeidung von Lawinenunfällen. Um dies zu erfüllen, bedienen sie sich eines umfassenden, technisch hochstehenden Informationsnetzwerkes: Wetter-, Schneedecken- und Lawinendaten werden unter Heranziehung von Prozessdenken- und Mustererkennung zu einem möglichst realitätsnahen Bild der Lawinengefahr zusammengefasst. Viel Arbeit wurde dafür investiert, dieses Bild in einer leicht verständlichen Form der Bevölkerung weiter zu geben. Neue Medien spielen dabei genauso eine Rolle wie eine gute Ausbildung. Der Artikel konzentriert sich auf die Arbeit und Erfolge der europäischen Lawinenwarndienste unter besonderer Berücksichtigung jener aus Österreich.

Stichwörter: Lawinenwarndienst, Lawinenlagebericht, Unfallprävention

Abstract:

The main task of Avalanche Warning Services (AWS) is the prevention of avalanche accidents. To fulfil this purpose they use packages of snowpack, weather and avalanche data and sophisticated methods to summarize this information to create highly realistic pictures of the current avalanche danger. Much effort has been made to depict this information in easily understandable ways. In addition, new media play an important role in reaching the public; and education helps to minimize crucial mistakes. This article concentrates on the work and achievements of the European Avalanche Warning Services (EAWS), with a closer look at the AWS of Austria.

Keywords: *Avalanche Warning Service, avalanche warning, accident prevention*

Wie alles begann...

Schadenbringende Ereignisse gaben in der Vergangenheit häufig den Impuls für die Gründung sicherheitsrelevanter Institutionen, was auch für die Österreichischen Lawinenwarndienste zutrifft. Exemplarisch wird dies am Beispiel der Lawinenwarndienste Vorarlberg, Tirol und Salzburg aufgezeigt:

Der erste Lawinenwarndienst Österreichs wurde in Vorarlberg gegründet. Der Auslöser war ein Lawinenunglück bei Langen am Arlberg. Am 22. 12. 1952 erfasste die Passürtobel-Lawine einen, mit ausländischen Wintersportgästen besetzten Autobus – 23 Personen kamen dabei ums Leben. In Zusammenarbeit mit dem damaligen Schnee- und Lawinenforschungsinstitut am Weißfluhjoch in der Schweiz wurde nach deren Muster ein Lawinenwarndienst aufgebaut, der ab dem 04. 12. 1953 (anfangs sporadisch) die ersten Lageberichte herausgab. Schon im darauffolgenden Katastrophenwinter 1953/54 wurde der Lawinenwarndienst auf eine harte Probe gestellt. Allein zwischen dem 10. und 12. 01. starben in Vorarlberg 125 Personen, 57 davon in der Gemeinde Blons im Großen Walsertal.

Der Tiroler Lawinenwarndienst folgte im Jahr 1960. Ausschlaggebend waren einerseits die katastrophalen Lawinenereignisse während der Fünfzigerjahre (1950/51 und 1953/54), andererseits die Olympischen Winterspiele in Innsbruck, welche 1964 bevorstanden.

In Salzburg wiederum beschäftigte sich der Landtag nach dem so genannten „Schwedenunglück“ vom 02. 03. 1965 mit der Installation eines Lawinenwarndienstes, aber auch mit der flächendeckenden Einrichtung von Lawinenkommissionen. Bei dem Unglück kamen 14 schwe-

dische Skifahrer auf der Passstraße am Radstätter Tauern ums Leben. Parallel handelte es sich dabei auch um die Geburtsstunde des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit, welches die weitere Entwicklung der alpinen Unfallkunde in Österreich maßgeblich beeinflusste.

In Österreich zählen wir inzwischen sieben Lawinenwarndienste. Der letzte kam mit Niederösterreich im Jahre 2006 dazu. Europaweit sind es 36. Dort wurde Norwegen vor wenigen Jahren als neues Mitglied der europäischen Lawinenwarndienste aufgenommen.

Temporärer Lawinenschutz

Die Lawinenwarnung wird dem temporären Lawinenschutz zugeordnet und dient der rechtzeitigen Information der Bevölkerung vor drohender Lawinengefahr. In den Anfangszeiten der meisten Lawinenwarndienste lag das Hauptaugenmerk auf dem vorbeugenden Katastrophenschutz, also auf der Warnung vor Schaden bringenden, die Infrastruktur bedrohenden Lawinensituationen. Seit damals hat der Interessentenkreis deutlich zugenommen: Es gilt, eine immer größer werdende Anzahl an Wintersportlern mit unterschiedlichsten Tätigkeitsbereichen und Qualifikationen möglichst zeitnah, detailliert und verständlich zu informieren. Damit einhergehend hat sich auch der Startzeitpunkt, ab dem eine fundierte Lawineninformation verfügbar sein soll, mit der Öffnung der ersten Gletscherskigebiete, in den Herbst vorverschoben.

Während die Lawinenwarnung auf Ebene der Bundesländer bzw. auf nationaler Ebene von Lawinenwarndiensten übernommen wird, sind auf Gemeindeebene häufig Lawinenkommissionen eingerichtet, die für die Beurtei-

lung der Lawinengefahr vor Ort verantwortlich sind. Lawinenkommissionen üben als Sachverständige eine beratende Funktion für die Entscheidungsträger der Sicherheitsbehörden aus. In Tirol wird die Tätigkeit der ca. 1500 Lawinenkommissionsmitglieder beispielsweise über ein eigenes Lawinenkommissionsgesetz geregelt: Sämtliche Gemeinden, innerhalb derer die Gefahr von Lawinenkatastrophen besteht, haben demnach eine Lawinenkommission einzurichten. Deren Mitglieder werden per Bescheid auf fünf Jahre bestellt. Sie müssen über entsprechendes Wissen und Fähigkeiten verfügen, eine drohende Lawinengefahr zu erkennen. Dazu wird vom Land Tirol ein verpflichtendes Schulungsprogramm angeboten. Die Tätigkeit der Lawinenkommissionen ist übrigens nicht ehrenamtlich, wie häufig fälschlich dargestellt. Es handelt sich um eine hoheitliche Aufgabe bzw. teilweise um eine Tätigkeit im Rahmen der Privatwirtschaftsverwaltung (z.B. auf Verlangen von Liftbetreibern), für die u.a. eine entsprechende Abgeltung des entgangenen Verdienstes gebührt. Lawinenkommissionsmitglieder stellen einen besonders berücksichtigungswürdigen Benutzerkreis für die Lawinenwarndienste dar. In Zusammenarbeit mit den Wetterdienststellen wird möglichst frühzeitig auf gefahrbringende Situationen und mögliche Lawinenszenarien hingewiesen, sodass rechtzeitig Maßnahmen vorbereitet werden können. Seit dem Lawinenkatastrophenjahr 1999 bediente man sich dazu u.a. eigener Sonderlageberichte oder spezieller Blogeinträge. In einigen Bundesländern werden seither u.a. von den Wetterdienststellen auch automatisierte Warnungen ausgegeben, sobald die aufsummierte Neuschneesumme während der kommenden 72 Stunden 100 cm überschreitet.

Möglichst gutes Abbild der Realität...

Lawinenwarndienste haben im Wesentlichen zwei große Aufgabengebiete: Einerseits gilt es, wetter-, schnee- und lawinenrelevante Informationen zu sammeln, diese zu sichten und zu einem möglichst realitätsnahen und verständlichen Bild der Lawinensituation zusammenzufügen. Andererseits sollen möglichst viele Benutzergruppen einfach, rasch und mit allen zur Verfügung stehenden Medien darüber informiert werden.

Auch hier sind die Anforderungen – ähnlich wie mit dem bereits erwähnten, vergrößerten Kundenkreis – in der jüngeren Vergangenheit deutlich gestiegen. Bis Anfang der 90-er Jahre bestand das Messnetz meist aus wenigen, über das Beurteilungsgebiet verteilten Beobachtern, deren Informationen sich häufig auf Punktmessungen in Talbereichen beschränkten. Weitere Datenquellen gab es damals vergleichsweise wenige.

Moderne Lawinenwarndienste sehen sich inzwischen mit einer Datenflut konfrontiert, die man effizient verwalten und nutzen muss. Begonnen hat diese Entwicklung etwa Anfang der 90-er Jahre mit den automatischen, im Gebirge stationierten Wetterstationen, die von praktisch allen europäischen Lawinenwarndiensten verwendet werden. In Tirol zählen wir derzeit etwa 180 Standorte und verfügen damit über eines, der auf die Fläche bezogen dichtesten Messnetze weltweit. Die Kooperation mit unterschiedlichsten Institutionen (so auch mit dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung) trägt sowohl durch die gemeinsame Anschaffung neuer Stationen, als auch durch einen gegenseitigen Datenaustausch bereits bestehender Stationen zur weiteren Verdichtung bei.

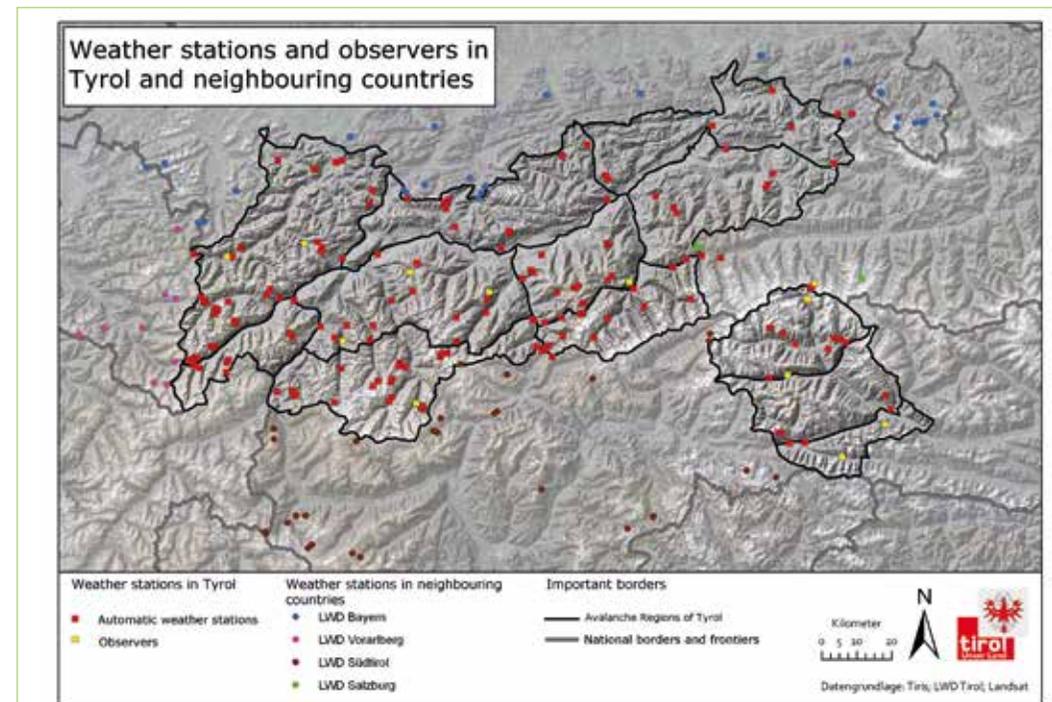


Abb 1: Messnetz an automatischen Wetterstationen für Tirol samt Nachbarländer

Fig. 1: Automatical measuring stations in Tyrol and neighbouring countries



Abb 2:
Windstation an einem exponierten Standort

Fig. 2:
Windmeasuring station on an exposed point

Inzwischen konzentriert man sich weniger auf die Quantität, als vielmehr auf die Qualität der Daten. Durch die autarke Energieversorgung kann beispielsweise die Standortwahl relativ einfach optimiert werden. Auch dienen die ständige Weiterentwicklung der Messgeber sowie deren Software diesem Ziel. Es erscheint verständlich, dass solch ein Messnetz aufwändig zu betreuen und zu verwalten ist. Einige Lawinenwarndienste verfügen dafür sogar über eigenes Personal, welches sich vor Ort um die Stationen kümmert. Zudem müssen die quasi rund um die Uhr in Echtzeit verfügbaren Daten professionell in Datenbanken verwaltet und anschließend visualisiert werden.

Neben den Wetterstationsdaten eröffnen die sozialen Medien schier unendliche Möglichkeiten, an weiteres, für die Lawinenwarndienste

bedeutsames Datenmaterial zu gelangen. Facebook, Twitter, WhatsApp, Apps, Internetforen, E-Mail etc. sind Schlagworte, hinter denen sich zum Teil mächtige Systeme verbergen, die nutzbringend eingesetzt werden können. Die entscheidende Frage geht immer in die Richtung, wie man aus der Fülle an Informationen jene für die aktuelle Situation entscheidenden Daten selektieren, sortieren und übersichtlich darstellen kann? Noch ist dazu hoher personeller Zeitaufwand und Erfahrung notwendig. Beispielsweise beschäftigte sich ein Praktikant beim Lawinenwarndienst in Utah in den USA während einer Wintersaison einzig mit „Crowdsourcing“ über Facebook. Der Praktikant trat dabei u.a. auch aktiv mit den Usern in Verbindung und stellte seine Ergebnisse entsprechend aufbereitet den Lawinenprognostikern



Abb 3: Geländearbeit als wichtiger Beitrag für gute Arbeit

Fig. 3: Fieldwork as important part of a comprehensive work

zur Verfügung. Betrachtet man diese Entwicklung, so geht es ganz klar auch um Grundsatzfragen. Verkümmert der Lawinenprognostiker der Zukunft zu einem Schreibtischtäter? Die Antwort lautet wohl: Er könnte, wenn er wollte. Nur, die Qualität seiner Produkte, insbesondere auch seine Glaubwürdigkeit würden darunter leiden. Derzeit stellt die eigene Geländearbeit, die z.B. beim Lawinenwarndienst Tirol sehr hoch gehalten wird, einen unverändert sehr wichtigen Eckpfeiler bei der gesamten Datengewinnung dar. Um ein möglichst realitätsnahes Bild der Lawinensituation zu erhalten muss man „die Nase in den Schnee stecken“, konkret also graben, graben und nochmals graben.

Dies muss zielgerichtet unter Berücksichtigung des gesamten Winterverlaufs erfolgen.

Sich wiederholende Gefahrenmuster gilt es zu erkennen, Prozesse innerhalb der Schneedecke richtig zu interpretieren und Lawinenereignisse fachgerecht zu analysieren. Ein guter Lawinenprognostiker kann die Schneedecke „lesen“, also Schichten innerhalb der Schneedecke den einzelnen Witterungsperioden oder bestimmten Wetterphänomenen zuordnen. Stabilitätstests helfen dabei, Veränderungen zu erkennen und Problemereiche differenziert nach Regionen, Höhenlagen, Expositionen und gegebenenfalls einem tageszeitlichen Gang herauszuarbeiten. Unterstützt werden Lawinenwarndienste dabei durch gut geschulte Beobachter, Lawinenkommissionsmitglieder sowie motivierte Profis.

Moderne Lawinenprognostiker dürfen sich keinesfalls neuen Entwicklungen verschlie-



Abb 4: Lawinenereignisse werden häufig in Zusammenarbeit mit der Alpinpolizei detailliert analysiert

Fig. 4: Avalanche accidents are often investigated in close cooperation with Alpine police

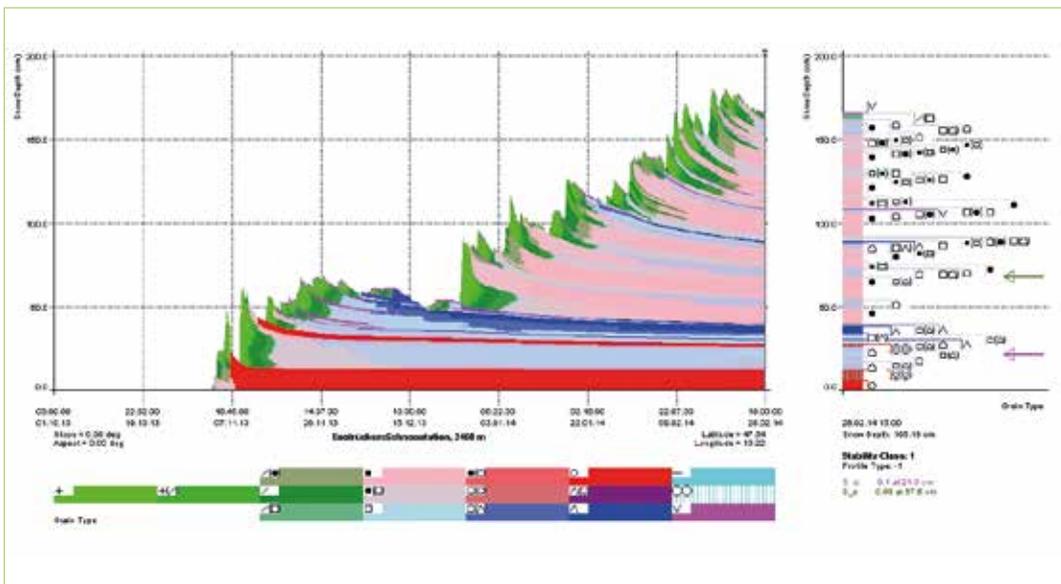


Abb 5: Schneedeckenmodell Snowpack

Fig. 5: Snowpackmodel „Snowpack“

ßen. Ganz im Gegenteil: Auch hier muss man wachsam und offen sein: In näherer Zukunft wird die bereits angesprochene Datenselektion aus sozialen Medien zumindest teilweise automatisierbar sein. Bereits jetzt gibt es Bilderkennungssoftware, die für die automatisierte Auswahl jener Bilder herangezogen werden kann, auf denen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Lawine abgebildet ist. Oder: Fotos von Panoramakameras, welche stündlich – auch während der Nachtstunden – die Situation festhalten, helfen speziell während des Frühjahrs die Abstrahlungsverhältnisse während der Nachtstunden besser einzuschätzen. Ebenso verwenden bereits einige Lawinenwarndienste Schneedeckenmodelle. Solche Modelle werden mit Wetterstationsdaten gespeist und geben zuverlässige Grundinformationen zum Schneedeckenaufbau. Spezielle Indizes helfen beispielsweise, den Beginn des Festigkeitsverlustes der Schneedecke während des Frühjahrs oder die Bildung von Oberflächenreif besser einzuschätzen.

Gerade erleben wir auch einen weiteren Qualitätssprung bei den, von den Wetterdienststellen zur Verfügung gestellten Produkten.

In Summe handelt es sich bei den genannten Beispielen um sehr gute Hilfsmittel bzw. wertvolle Bausteine, die in der Gesamt-

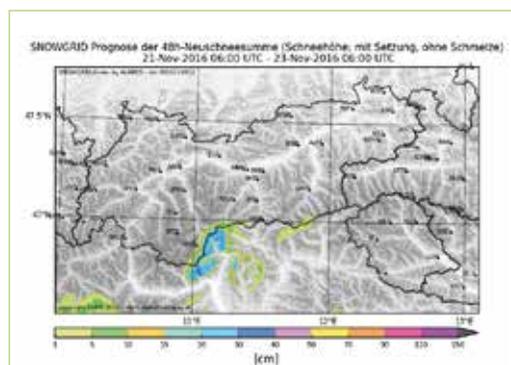


Abb 6: Detailgetreue 48h-Neuschnee prognose der ZAMG-Wetterdienststelle

Fig. 6: Exact 48 hour new snow forecast; ZAMG – meteorological office

heit aller verfügbarer Informationen helfen, das Gesamtbild der Lawinensituation weiter zu schärfen. Wesentlich erscheint dabei immer noch der differenzierte Blick eines erfahrenen Lawinenprognostikers.

Das Fazit zur Datengewinnung: Ein „Mehr“ an Daten sollte zu einem „Mehr“ an optimal aufbereiteten und somit für den Lawinenprognostiker gut verwertbaren Informationen führen. Der für die Interpretation benötigte Zeitaufwand sollte sich dabei im Idealfall nicht ändern.

Visualisierung

Wir sind bei einem wesentlichen Kernthema der Lawinenwarndienste angelangt, bei dem zwei unterschiedliche Ebenen zu unterscheiden sind: Einerseits geht es um die Visualisierung von Grundinformationen zu Wetter, Schnee und Lawinen, andererseits um die Präsentation des fertigen Lawinenslageberichtes bzw. seiner Folgeprodukte.

Am Beispiel der Wetterstationen lässt sich die Entwicklung kurz so umschreiben: Aus der anfänglichen Darstellung von Rohdaten in Textform entwickelten sich Grafiken. Zwecks besserer Vergleichbarkeit der ständig zunehmenden Anzahl an Grafiken musste an deren Struktur gefeilt werden (Stichwort: Anordnung

und Skalierung der Reiter). Folglich wollte man über den Standort dieser Wetterstationen Bescheid wissen. Aus statischen Karten wurden interaktive Karten mit integrierten Suchfunktionen, welche zusätzlich ein rasches Navigieren ermöglichten. Karten verwendete man dann zunehmend auch für Überblicksdarstellungen ausgewählter, meteorologischer und nivologischer Daten. Aktuell geht die Entwicklung in Richtung von 3D-Darstellungen, dies alles mit möglichst zeitnahen Informationen.

Aus dem Bestreben heraus, gute kartographische Produkte anzubieten, kooperieren die Lawinenwarndienste seit über einem Jahrzehnt mit dem Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien. Das Ergebnis ist u.a. LAWIS, ein Lawinen-Informationssystem, das neben Wetterstationsgrafiken auch Schneeprofile sowie Lawinenereignisse übersichtlich darstellt.

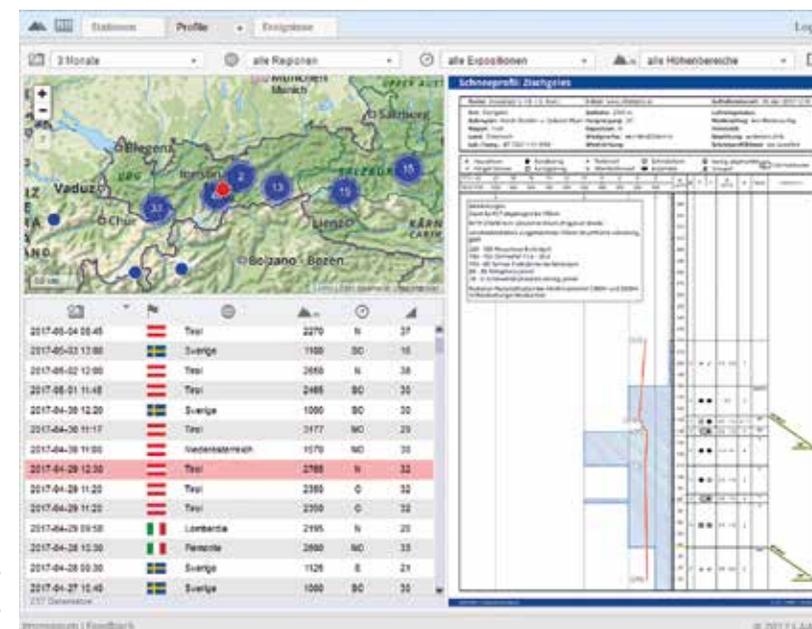


Abb 7: Das Lawinen-Informationssystem LAWIS dient der länderübergreifenden Visualisierung von Stationsdaten, Schneeprofilen und Lawinenereignissen.

Fig. 7: The avalanche information system LAWIS serves as transnational visualisation of station data, snowprofil data and avalanche data.

Auch bei der Darstellung des Lawinenlageberichtes hat sich in der Vergangenheit Vieles getan. Das primäre Ziel der europäischen Lawinenwarndienste lag dabei immer in einer möglichst einheitlichen Präsentation unter Verwendung von Standards. Zu letzteren zählen u.a. die seit 1993 verpflichtend eingeführte, 5-teilige, europäische Lawinengefahrenskala, die drei Textblöcke zu „Beurteilung der Lawinengefahr“, „Schneedeckeninformation“ und „Wetter“ oder aber die im Juni 2017 beschlossenen fünf Lawinenprobleme. Aus der Prämisse, wichtige Informationen entsprechend der Spitze einer Pyramide an oberster Stelle zu positionieren, erhöht sich auch der Wiedererkennungswert der Lawinenlageberichte. So lässt sich anhand von regionalisierten, nach Höhenstufen, Expositionen und Tageszeit differenzierten Gefahrenstufenkarten sowie einfach verständlicher Icons zu Lawinenproblemen und deren Örtlichkeit ein rascher Überblick über

die Gefahrensituation erzielen. Wer tiefer in die Materie eintauchen möchte, der findet wichtige Zusatzinformationen in Form, der in Tirol entwickelten 10 entscheidenden Gefahrenmuster (Mair, et. al) oder aber im Textteil. Mit diesem Aufbau kommt man auch den unterschiedlichsten Benutzergruppen entgegen. Ein Laie kann unter Zuhilfenahme von restriktiven Strategien unter Einbeziehung der regionalen Gefahrenstufen bereits gute Entscheidungen treffen. Der passionierte Wintersportler hingegen soll anhand des Lawinenlageberichtes in der Lage sein, den dort beschriebenen Schneedeckenaufbau vor Ort zu verifizieren und relevante Problembereiche im Gelände richtig zu erkennen. Sein Handlungsspielraum kann dadurch bei entsprechender Erfahrung erweitert werden.

Der Lawinenlagebericht stellt zwar unverändert das zentrale Produkt der Lawinenwarndienste dar, allerdings nimmt parallel dazu

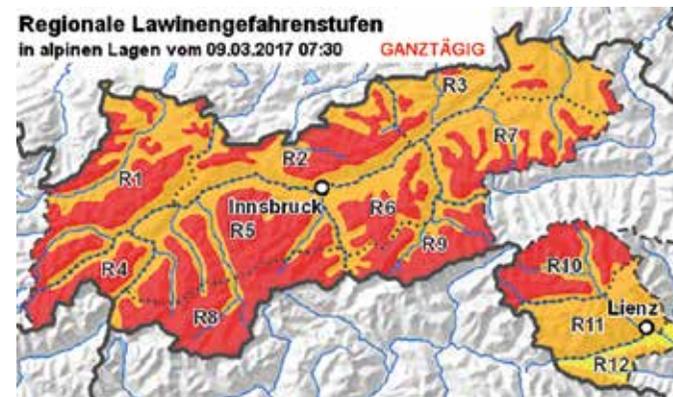


Abb 9:
Regionale Gefahrenstufenkarte

Fig. 9:
Avalanche security level
map on regional scale

die Bedeutung von Blogs deutlich zu. Dies verwundert kaum, helfen doch Fotos, Grafiken oder gar Videos nicht nur tiefer in die Materie einzutauchen, sondern auch anschaulicher zu präsentieren. Auch hier steigen die Anforderungen ständig, zumal der Blog von seiner Aktualität lebt. Neue Einträge gibt es inzwischen mehrmals die Woche, zum Teil auch mehrmals täglich. Aus unfallkundlicher Sicht ergänzt der Blog in idealer Weise die von den Lawinenwarndiensten am Ende der Wintersaison publizierten Winterberichte (ARGE Österreichischer LWDs) und dient unmittelbar der Unfallprophylaxe. Die ausgezeichneten Zugriffszahlen bestätigen, dass wir uns auf dem richtigen Weg befinden.

Öffentlichkeitsarbeit

Ein weiteres, wesentliches Aufgabenfeld der Lawinenwarndienste besteht neben der Generierung guter, praxisrelevanter Produkte darin, diese an einen möglichst breiten Interessentenkreis zu verteilen. Erst wenn jedes Zahnrad, beginnend von der Informationsbeschaffung, über die „Informationsveredelung“ hin zur Informationsweiterleitung stimmig ineinandergreift, wurde gute Arbeit geleistet. Bei der Verbreitung dieser Produkte unterstützen uns zunehmend die nicht mehr ganz so „neuen Medien“ (wie Apps, Facebook, Twitter,

WhatsApp, RSS oder automatisierte Verteilersysteme), während Fax, Teletext oder Tonbanddienste eher an Bedeutung verlieren. Auch hier gilt, ständig wachsam gegenüber neuesten Entwicklungen zu sein und diese, sofern sinnvoll umsetzbar, in das Repertoire zu übernehmen.

EAWS, ALBINA als gute Zukunftsvisionen...

Wir kommen zum Schluss des Artikels, der vielversprechend ist: Großer Aufwand wird seitens der Lawinenwarndienste in die Verbesserung und Vereinheitlichung ihrer Produkte gesteckt. Eine wichtige Rolle spielt dabei die EAWS, also die Vereinigung der „European Avalanche Warning Services“. Zweimal jährlich treffen sich Vertreter der europäischen Lawinenwarndienste mit dem primären Ziel des Erfahrungsaustausches und der Produktharmonisierung. Anfang Juni 2017 fand ein, von den bayrischen Kollegen organisiertes Treffen statt. Wichtige praxisrelevante Entscheidungen betrafen dabei die Integration der bereits angesprochenen fünf Lawinenprobleme (Neuschnee, Tribschnee, Altschnee, Nassschnee und Gleitschnee) in den Lawinenlageberichten oder aber die Anpassung der Namensgebung der Lawinengrößenskala (Beispielsweise sollen Lawinen der Größe 2, also die typischen Skifahrerlawinen, ab der Wintersaison 2018/19 nicht mehr als

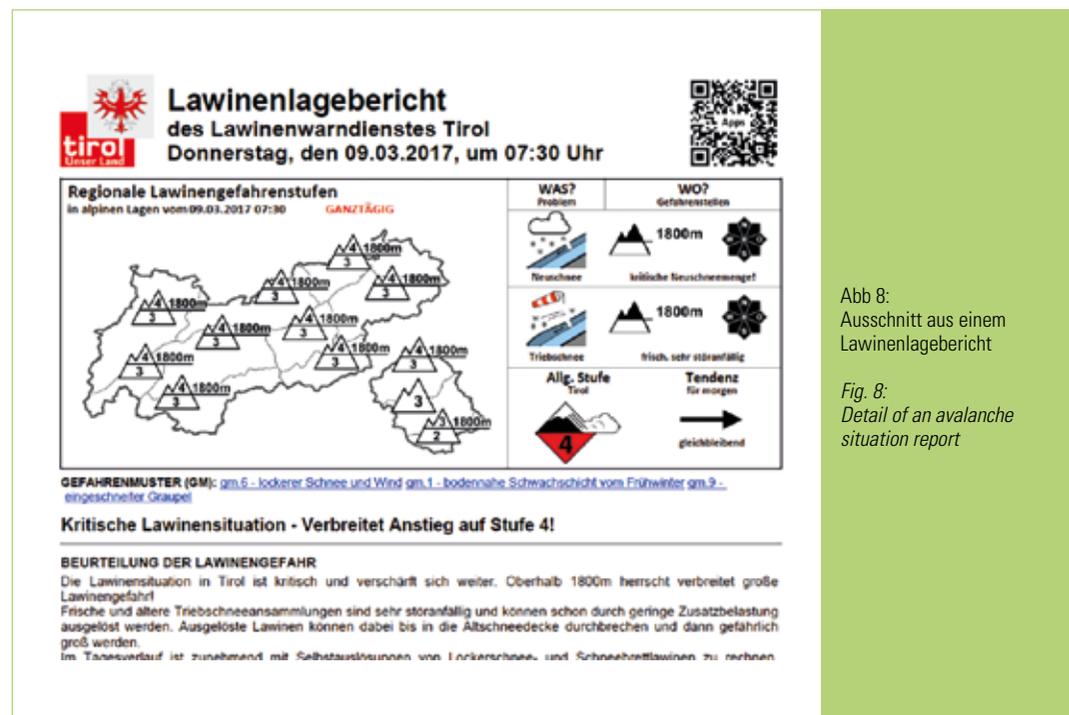


Abb 8:
Ausschnitt aus einem
Lawinenlagebericht

Fig. 8:
Detail of an avalanche
situation report

„klein“, sondern als „mittel“ bezeichnet werden.). Einstimmig abgesegnet wurde auch die, um die Lawinengrößen erweiterte Matrix, für eine noch objektivere Erfassung einer Lawinengefahrenstufe durch den Lawinenprognostiker. In Abhängigkeit der Lawinengrößen, der Verbreitung der Gefahrenstellen und der Auslösewahrscheinlichkeit von Lawinen lassen sich anhand dieser Matrix die jeweils gültigen Gefahrenstufen ablesen. Die EAWS betreibt übrigens die gemeinsame Internetseite www.lawinen.org bzw. www.avalanches.org, die zukünftig weiter ausgebaut werden soll. Bereits beschlossene Datenstandards helfen beim gegenseitigen Datenaustausch und erleichtern z.B. die automatisierte Generierung von grenzüberschreitenden Gefahrenstufenkarten.

Dieser grenzüberschreitende Gedanke spiegelt sich auch im Interreg-Projekt ALBINA der Euroregion Nordtirol, Südtirol und Trentino wieder. ALBINA wurde zu Beginn des Jahres 2017 mit der Vision eines gemeinsamen, mehrsprachigen und grenzüberschreitenden täglichen Lawinenlageberichtes für die Bevölkerung gestartet.

Dabei spielt die Weiterentwicklung von einheitlichen Standards, technischen Werkzeugen und Arbeitsabläufen, die eine strukturierte und nachhaltige Kooperation gewährleisten, einen wesentlichen Baustein. Abgestimmte Kommunikationsstrategien unter Einbeziehung unterschiedlichster Medienkanäle führen zu einer breiten Verteilung des Lawinenlageberichtes und unterstützen in beiden beteiligten Ländern die Kommunikation risikorelevanter Information an die Bürger.

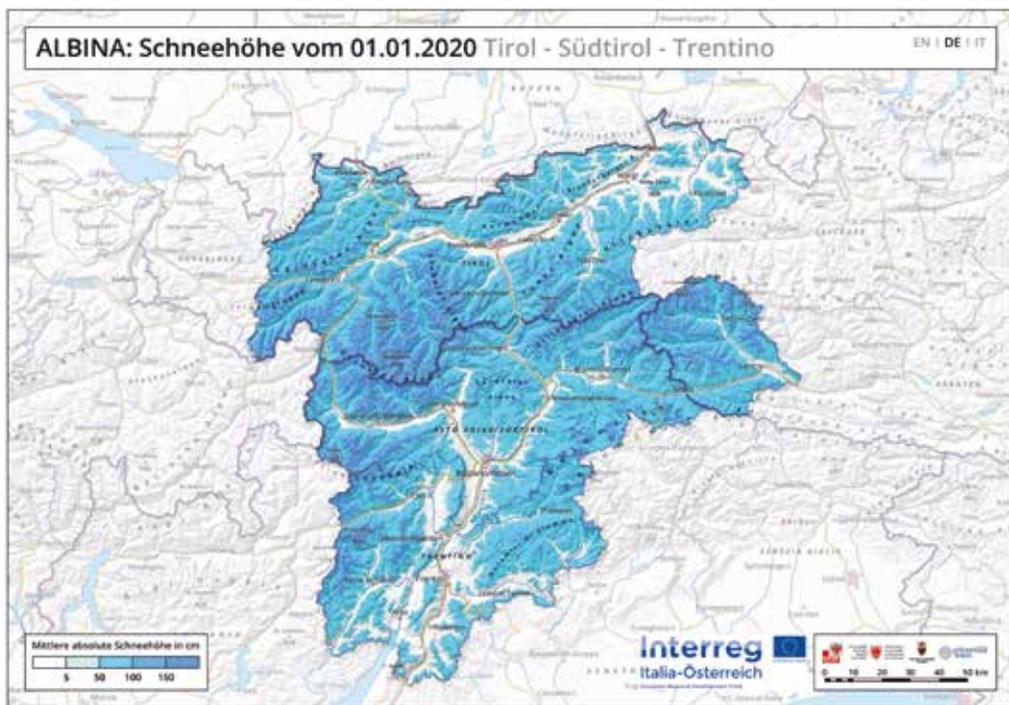


Abb 10: Das Ziel von ALBINA besteht in einer grenzüberschreitenden Darstellung von Schnee- und Lawineninformationen

Fig. 10: Goal of ALBINA is the transnational presentation of snow and avalanche information

Kurz: Es gibt viel Potential für bahnbrechende Neuerungen mit dem ständigen Ziel vor Augen, der Bevölkerung bzw. dem interessierten Wintersportler ein bestmögliches Service zu bieten.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Patrick Nairz
Lawinenwarndienst Tirol
Eduard-Wallnöfer-Platz 1
6020 Innsbruck
patrick.nairz@tirol.gv.at

Dr. Rudi Mair
Lawinenwarndienst Tirol
Eduard-Wallnöfer-Platz 1
6020 Innsbruck
rudi.mair@tirol.gv.at

Literatur / References:

ARGE LWD ÖSTERREICH (...2016,...).
Saisonberichte der Österreichischen Lawinenwarndienste

MAIR R., NAIRZ P. (2010).
Die 10 entscheidenden Gefahrenmuster erkennen. Tyrolia
MAIR R., NAIRZ P. (2015). Die entscheidenden Probleme und Gefahrenmuster erkennen. Tyrolia

HARALD RIEDL, WALTER WÜRTL

Praxisempfehlung für Lawinenkommissionen in Tirol

Guidelines for avalanche commissions in Tyrol

Zusammenfassung:

Die Praxisempfehlung für Lawinenkommissionen in Tirol ist ein Leitfaden der den Mitgliedern hilft, die anspruchsvolle Arbeit strukturiert und vollständig durchzuführen. Das Grundprinzip besteht in der Handlungsfolge: Wahrnehmen – Beurteilen – Handeln – Überprüfen. Beim täglichen Basischeck wird die Frage nach einem möglichen Lawinenproblem beantwortet. Kann ein Lawinenproblem nicht ausgeschlossen werden, muss ein Check im Gelände durchgeführt werden. Besteht tatsächlich ein Lawinenproblem, sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen und diese auch in ihrer Wirksamkeit zu überprüfen. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist: Menschenleben und Sachwerte nachhaltig vor Lawinen zu schützen.

Stichwörter: Lawinen, Lawinenkommissionen, Risikomanagement, Praxisempfehlung

Abstract:

The practical guidelines for avalanche commissions in Tyrol comprise recommendations which support commission members in handling their complex work in a structured and comprehensive way. The basic principle is a sequence of actions: Perception – Assessment – Action – Review. The daily basis check assesses whether a possible avalanche problem is perceived. If an avalanche problem cannot be excluded, an assessment must be carried out in the field. If the check proves that there is actually an avalanche problem, appropriate actions must be taken and their effectiveness needs to be reviewed. The overall objective of this work is: to protect human life and material assets sustainably from avalanches.

Keywords: Avalanches, avalanche commissions, risk management, practical guidelines

Einleitung

Das übergeordnete Ziel dieser Praxisempfehlung ist es, einen Leitfaden für die Arbeit der Lawinenkommissionen zu formulieren, damit Menschenleben und Sachwerte nachhaltig vor Lawinen geschützt werden können. Im Speziellen soll sie eine Hilfestellung in der Kommissionsarbeit bei der Organisation, der Entscheidungsfindung und der Dokumentation (Protokollierung) bieten.

Diese Praxishilfe ist explizit keine bindende Verkehrsnorm, da die Aufgabenbereiche der verschiedenen Lawinenkommissionen äußerst unterschiedlich sind, und deshalb die jeweils anzuwendenden Arbeitsweisen auch voneinander abweichen können.

Grundlagen der Kommissionsarbeit

Den Lawinenkommissionen obliegt sinngemäß laut § 3 – des Gesetzes vom 10. Oktober 1991 über die Lawinenkommissionen (LGBl. Nr. 104/1991 idF LGBl. Nr. 111/2001) in den Gemeinden die Beurteilung der lokalen Lawinensituation. Grundlage dieser Beurteilung ist, dass:

- Einschätzungen auf Basis von Fakten zu begründen sind,
- Maßnahmen entsprechend der lokalen Gefährdung zu empfehlen sind,
- die Arbeit der Lawinenkommissionen zu dokumentieren ist.

Im Unterschied zur Beurteilung der allgemeinen und der regionalen Lawinengefahr durch den amtlichen Lawinenwarndienst geht es bei der Arbeit der Lawinenkommissionen um die Beurteilung der lokalen Lawinengefahr. Während also die tägliche Einschätzung anhand der fünfteiligen Gefahrenstufenskala des Lawinenwarndienstes (LWD)-Tirol wenigstens für Gebiete einer Größe

von mehreren Hundert Quadratkilometern Gültigkeit besitzt, muss sich die Beurteilung der Lawinenkommissionen auf die lokale Ebene beziehen und beispielsweise auch für einen einzelnen Lawenstrich oder einen einzelnen Hang zutreffen. Dem entsprechend kann die Beurteilung der örtlichen Lawinenkommission auch deutlich von der Beurteilung der regionalen Gefahr abweichen, ohne dass sich diese Einschätzungen widersprechen müssen!

Eingebettet in ein ganzheitliches Konzept zum Risikomanagement beruht die Arbeit der Kommissionen auf vier Arbeitsschritten nach dem Muster: Wahrnehmen der Situation – Beurteilen der Risiken – Setzen von entsprechenden Maßnahmen (Handeln) und Kontrolle der Wirksamkeit dieser Maßnahmen.

Grundinformationen

Um eine möglichst genaue Einschätzung der Lawinensituation treffen zu können, muss man das eigene Beurteilungsgebiet (die Einzugsgebiete, die Sturzbahnen und die Ablagerungsgebiete, ...) die lokalen Besonderheiten und Wirkungen des winterlichen Wettergeschehens sowie die resultierenden Wechselwirkungen möglichst genau kennen.

Neben der unabdingbaren Voraussetzung der persönlichen Kenntnis der spezifischen Geländeparameter vor Ort und den Erfahrungen der Vergangenheit über die Lawinenaktivitäten, ist es sehr hilfreich folgende externe Informationsquellen zu berücksichtigen:

- Orthofotokarten
- Geländeneigungsinformation und Expositionsinformation
- Lawinenkataster und Gefahrenzonenpläne

Letztere sind insofern für die Beurteilung von Bedeutung, da sie darüber Aufschluss geben, welche Siedlungs- und Verkehrsflächen einer besonderen Gefährdung ausgesetzt sind und dementsprechend besonders sorgfältig beurteilt werden müssen.

Natürlich helfen auch (langjährige) eigene Aufzeichnungen und die Weitergabe „überlieferter“ Lawineninformation, um die charakteristischen Lawinenzüge möglichst umfassend und optimal beurteilen zu können.

Damit diese Informationen stets bereitstehen, sollten sie ausgedruckt und in einem für alle Kommissionsmitglieder verfügbaren Ordner gesammelt werden. Besonders wertvoll ist der Ausdruck einer großformatigen Karte, in die alle relevanten Punkte bzw. auch aktuelle Entwicklungen eingetragen werden können.

Arbeitsprinzip

Grundsätzlich ist die Situation der Lawinenlage vom ersten Schneefall bis zum Ende einer möglichen Gefährdung im Frühling (Sommer) zu beobachten. Während einer nicht kritischen Periode ist ein generelles Verfolgen der Lage (tägliches BASISCHECK) ausreichend. Bei sich abzeichnender Gefährdung bzw. bei möglichen Lawinenproblemen sind die Aktivitäten zu erhöhen bzw. die Beobachtungen zu intensivieren (CHECK IM GELÄNDE).

Als Lawinenkommission sollte man dabei stets die Entwicklung der nächsten 2-3 Tage vorwegnehmen können, sodass man von dramatischen Veränderungen in lawinentechnischer Hinsicht nicht vollkommen überrascht wird. Analog zu einem Schachspieler, der bei einem Zug bereits die nächsten Züge im Kopf hat, um das Spiel für sich zu entscheiden.

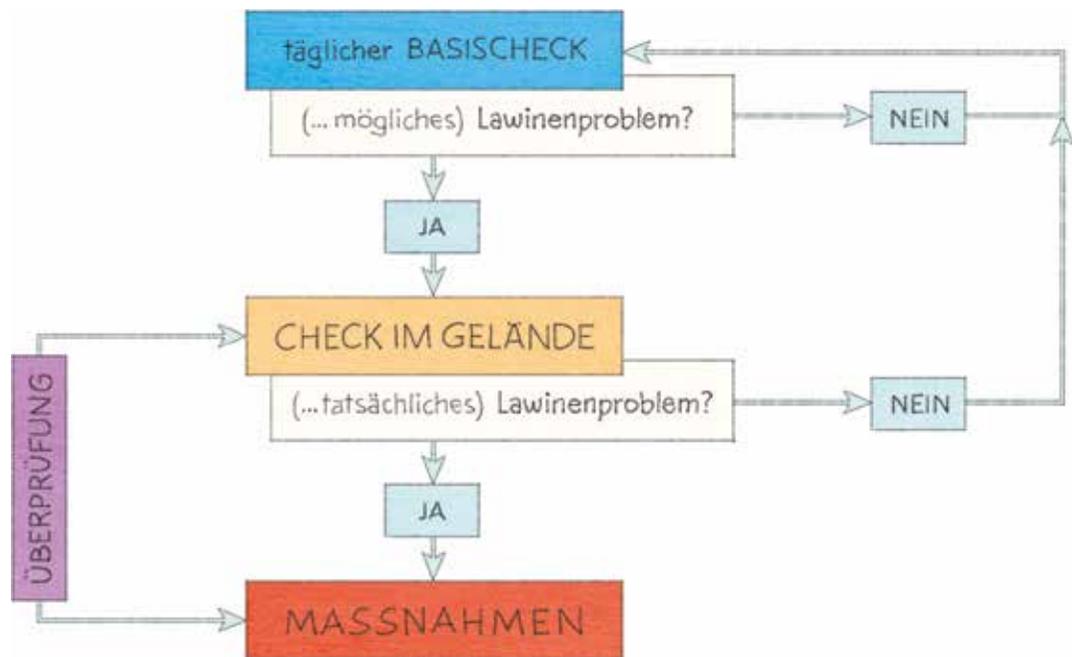


Abb. 1: Empfohlene Arbeitsweise (Praxisempfehlung) für Lawinenkommissionen in Tirol

Fig. 1: Recommended workflow for the Tyrolean avalanche commissions

Täglicher Basischeck

Beim „BASISCHECK“ werden die aktuellen Wetterdaten bzw. die Prognosewerte zu Niederschlag, Wind, Temperatur und Strahlung erfasst, beurteilt und das Ergebnis dokumentiert. Zusätzlich wird auch der amtliche Lawinenlagebericht für die Region in die Beurteilung miteinbezogen.

Kommt es zur Überschreitung bestimmter Schwellenwerte, die von der Kommission für die jeweilige Lokalität bestimmt werden, bzw. wird die Frage nach einem möglich vorhandenen Lawinenproblem mit „JA“ beantwortet, muss ein „CHECK IM GELÄNDE“ gemacht werden.

Werden die Schwellenwerte nicht überschritten bzw. kann ein mögliches Lawinenproblem ausgeschlossen werden und eine neue Beurteilung ist erst am nächsten Tag notwendig. Es wird nur dokumentiert, dass keine Lawinengefährdung besteht.

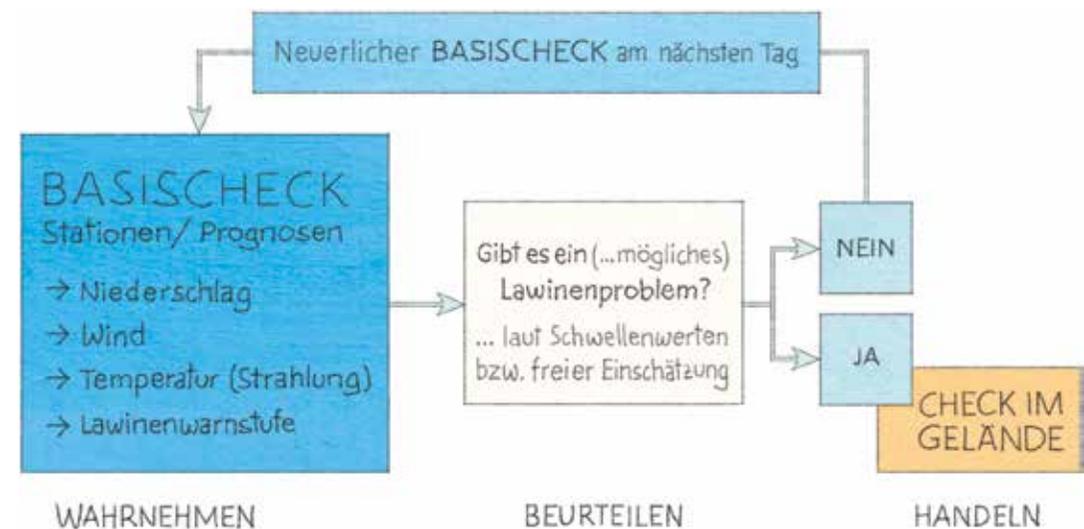


Abb. 2: BASISCHECK in der Praxisempfehlung für Lawinenkommissionen in Tirol

Fig. 2: Basic check according to the practical guidelines for the Tyrolean avalanche commissions

Beispiele für Schwellenwerte sind:

- Neuschneemenge > 30 cm
- Wind > 40 km/h
- Temperaturanstieg > 10 °C
- Lawinenwarnstufe 4 oder höher

Der „BASISCHECK“ kann von einem, von der Lawinenkommission bestimmtem Mitglied, selbstständig und alleine durchgeführt werden. Er bestätigt dabei, dass er sich die festgelegten Punkte eingehend angesehen und diese beurteilt hat. Eine Dokumentation kann dabei in Papierform oder digital erfolgen. Die Informationen (Echtdaten und Prognosen) werden sinnvollerweise der Infobox von LWDKIP (Lawinen Warndienst Kommunikations- und Informationsplattform) entnommen werden, da hier eine automatische Protokollierung erfolgt. Welche Informationen zur Beurteilung verwendet werden, bleibt der jeweiligen Kommission vorbehalten. Letztlich geht es um einen schlüssigen, kontinuierlichen Beurteilungs- und Entscheidungsprozess der vollständig dokumentiert werden sollte. Zeichnet sich durch

die Prognosedaten eine markante Verschlechterung der Situation ab, sollten bereits im Basischeck die richtigen Maßnahmen vorbereitet bzw. getroffen werden.

CHECK IM GELÄNDE (WAHRNEHMEN)

Werden im BASISCHECK die jeweiligen Schwellenwerte überschritten, bzw. erachtet es bereits ein Mitglied der Lawinenkommission für sinnvoll, wird die Lawinensituation im Gelände überprüft. Von welchem Standort aus man die Beurteilung im Gelände durchführt, hängt von den Möglichkeiten bzw. von den Verhältnissen ab. Jedenfalls sollte man sich ein repräsentatives Bild der Lawinensituation machen können.

Standort

Um die Beobachtung bzw. die Beurteilung eindeutig zuordnen zu können, sollte eine genaue Beschreibung des Standorts bzw. des Beurteilungsgebietes erfolgen. Hat man immer die gleichen Standorte bzw. Gebiete, ist es sinnvoll diese in Form von Stamtblättern im LWDKIP anzulegen, mit dem Vorteil, dass alle Punkte hinterlegt

sind und nicht extra eingegeben werden müssen. Die Stamtblätter enthalten Gebietsinformationen wie:

- Aufnahmegebiet, Lawenstrich, Koordinaten
- Seehöhe
- Neigung
- Exposition
- Untergrund / Boden

Wichtig ist auch festzuhalten von wo aus die Beurteilung durchgeführt würde (vor Ort, vom Gegenhang, vom Helikopter aus, ...)

Amtliche Lawinenlage

Falls verfügbar sollte man die Einschätzung des amtlichen Lawinenwarndiensts stets in die eigene Beurteilung einbeziehen. Auch wenn sich die Gefahrenstufe auf eine Region von mehreren Hundert Quadratkilometern bezieht und eine Kommission im Gegensatz dazu einzelne Lawenstriche zu beurteilen hat, ist es dennoch eine interessante und wichtige Informationsquelle. V.a. die Ausführungen im Textteil des Lageberichts sind hierbei zu beachten. Es ist nämlich davon

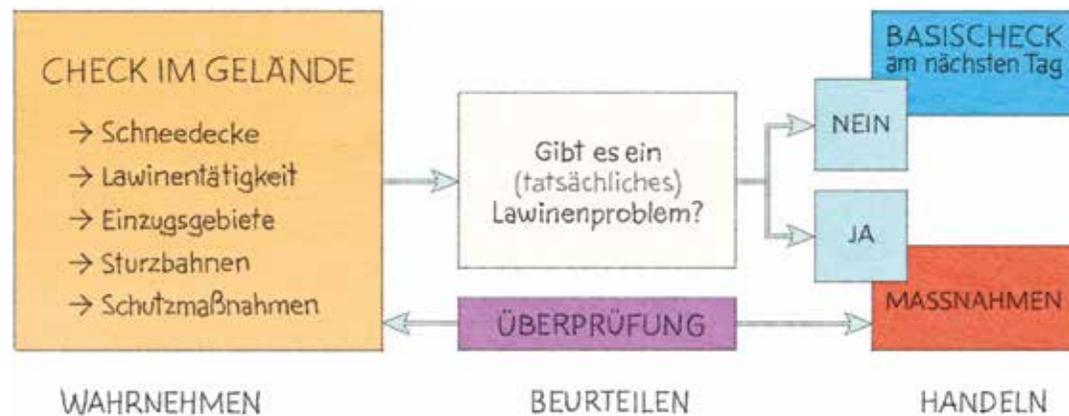


Abb. 3: CHECK IM GELÄNDE in der Praxisempfehlung für Lawinenkommissionen in Tirol

Fig. 3: Field check according to the practical guidelines for the avalanche commissions of Tyrol

auszugehen, dass die Lawinenprobleme bzw. die grundsätzliche Gefahrenlage durch den Lawinenwarndienst vollumfänglich erfasst wird. Besonders hilfreich kann das bei einer Altschnee Problematik sein!

Wetter

Die Lawinensituation ist in erster Linie vom Wetter abhängig, dementsprechend wichtig ist es die aktuellen Grunddaten im Beurteilungsgebiet zu erfassen und in die Entscheidungsfindung einzu beziehen. Hierzu gehören:

- Niederschlag (Schnee, Graupel, Schneeregen, Hagel, Regen)
- Niederschlagsintensität
- Bewölkung
- Wind (Richtung, Geschwindigkeit)
- Lufttemperatur und Tendenz

Weitere Wetterdaten wie: Taupunkt, relative Luftfeuchtigkeit oder Strahlung können aufschlussreich sein und sind ggf. zu berücksichtigen.

Schneedecke

Die genaue Beurteilung der Schneedecke gibt Einblick in zahlreiche lawinenrelevante Prozesse und gehört damit zur Basisarbeit im Gelände. Relevante Punkte sind:

- Gesamtschneehöhe
- Neuschneehöhe (24 h / 48 h / 72 h)
- Schneeoberflächentemperatur / Feuchte
- Beschaffenheit der Schneeoberfläche (Härte, Tragfähigkeit, Bindung, Rauigkeit)
- Windzeichen bzw. Zeichen für frischen Tribschnee
- Oberflächenreif
- Setzungsgeräusche und Risse als Alarmzeichen

Schneedeckentest

Schneedeckentests sind sehr aussagekräftig und sollten daher regelmäßig durchgeführt werden. Als besonders praxistauglich hat sich der Erweiterte Kompressionstest (ECT) herausgestellt, der etwas aufwändigere Rutschblocktest (RB) ist nach wie vor der zuverlässigste Stabilitätstest.

Da ein Stabilitätstest immer gemeinsam mit einem Schneeprofil gemacht wird, kann man das reine Testergebnis stets auch mit dem Schneedeckenaufbau in Beziehung setzen und dementsprechend gut bewerten.

Lawinenabgänge

Nichts ist ein besserer Hinweis auf eine akute Lawinengefahr wie die Beobachtung frischer Lawinenabgänge. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Anzahl der Lawinenabgänge
- Ausmaß (Rutsch, klein, mittel, groß, sehr groß)
- Lawinentyp (Schneebrett, Lockerschneelawine, Gleitschneelawine, Staublawine)
- Auslöseart (Selbstausslösung, Fernauslösung, Auslösung durch geringe Zusatzbelastung, Auslösung durch hohe Zusatzbelastung, künstliche Auslösung – Sprengung)

Einzugsgebiet

Geht es um die Beurteilung einer Lawinenproblematik ist die Bewertung des Einzugsgebiets von hoher Wichtigkeit. Sind die Einzugsgebiete noch leer, muss man klarerweise nicht mit größeren Lawinenereignissen rechnen. Befinden sich aber große Schneemengen im Einzugsgebiet ist die Lawinenlänge und das Schadenspotential deutlich größer.

Sturzbahn

Die Sturzbahn bzw. Laufstrecke von Lawinen darf keinesfalls unberücksichtigt bleiben, da eine ausgelöste Lawine - je nach Grad der Füllung – unterschiedlich viel Schnee zusätzlich aufnehmen kann, was wiederum die Größe der Lawine und deren Schadenspotential beeinflusst.

Schutzmaßnahmen

In Tirol gibt es v.a. im Bereich von Siedlungen und Verkehrswegen zahlreiche Schutzbauten, die Lawinen verhindern, ablenken, auffangen oder zumindest abbremsen sollen. Bei der Beurteilung einer möglichen Lawinengefährdung ist also auf die Wirksamkeit von Anbruchverbauungen, Leitwerken, Auffangdämmen, usw. Rücksicht zu nehmen.

Bei vorhandener Möglichkeit zur künstlichen Auslösung von Lawinen sind die Ergebnisse ebenfalls in die Beurteilung einzubeziehen. Konnten die kritischen Lawinen ausgelöst werden, ist trotz eventuell vorhandener allgemein hohen Lawinengefahr, das tatsächliche Risiko reduziert. Jedenfalls sind aus den künstlichen Auslöseversuchen (positive oder negative Sprengerfolge) die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Gibt es ein Lawinenproblem? (BEURTEILEN)

Bei der Beurteilung ob es tatsächlich ein Lawinenproblem gibt, geht es erster Linie um die möglichst genaue und fachlich fundierte Einschätzung wie hoch ein konkretes Lawinenrisiko anzusetzen ist. Eine zentrale Problematik bei der Risikobewertung ist, dass kein Experte eine mögliche Lawinengefahr mit 100%iger Sicherheit einschätzen kann! In Anbetracht dieser schwierigen Ausgangssituation muss als Lawinenkommission

dennoch versucht werden, die gemeinsame Erfahrung, die spezielle Lokalkenntnis und das eigene Expertenwissen bestmöglich einzusetzen, damit Lawinenrisiken richtig bewertet werden können.

Ob tatsächlich auch Personen oder Objekte gefährdet sind, bzw. wo und wann mit Lawinen zu rechnen ist, hängt von der Einzelbeurteilung ab, in die alle wahrgenommenen Aspekte einfließen müssen.

Hinsichtlich der Größe der Lawinen und damit die potentielle Gefährdung von Personen und Objekten, ist es wichtig die potentielle Anbruchmächtigkeit, die Anbruchfläche und die Sturzbahn (in der unter Umständen noch weiterer Schnee aufgenommen wird) möglichst exakt zu beurteilen. Besonderes Augenmerk sollte auch auf die Anbruchwahrscheinlichkeit von Lawinen gelegt werden, weil dieser Aspekt gerade unter dem Gesichtspunkt einer Risikoabschätzung wichtig ist. Ist die Anbruchwahrscheinlichkeit nämlich sehr hoch, sind jedenfalls Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen bzw. zu empfehlen. Ist sie jedoch nur gering und ein Anbruch sehr unwahrscheinlich, wird man es bei einer laufenden Beobachtung belassen können.

Welches Lawinenproblem ist wo großflächig vorhanden?

- Tribschneeproblem
- Neuschneeproblem
- Nassschneeproblem
- Altschneeproblem
- Gleitschneeproblem

Um die richtigen Schlüsse ziehen zu können hat es sich sehr bewährt im Sinne des Prozessdenkens auf die vorherrschenden Lawinenprobleme einzugehen.

Wie wahrscheinlich ist ein Lawinenabgang bei welcher Belastung?

	Selbstauslösung	Auslösung bei geringer Zusatzbelastung	Auslösung bei großer Zusatzbelastung durch einzelnen Fußgänger/Alpinist, Gruppe > 2 Wintersportler	Auslösung bei großer Zusatzbelastung wie künstliche Auslösung, Sprengung, Pistengerät
sehr wahrscheinlich				
möglich				
unwahrscheinlich				

Tab. 1: Auslösewahrscheinlichkeit von Lawinen

Tab. 1: Triggering probability of avalanches

Mit welcher Art und Größe von Lawinen ist zu rechnen?

	Schneebrettlawine	Lockerschneelawine	Gleitschneelawine	Staublawine
Rutsch				
Kleine Lawine				
Mittlere Lawine				
Große Lawine				
Sehr große Lawine				

Tab. 2: Lawinenart und Lawinengröße

Tab. 2: Avalanche types and sizes

Sind Personen oder Objekte durch Lawinen gefährdet?

Diese zentrale Frage in der Arbeit von Lawinenkommissionen entscheidet letztlich ob und wel-

che Art von Maßnahmen zu ergreifen ist. Alle Wahrnehmungen sollten der Beantwortung dieser Frage dienen!

Zeitliche Entwicklung der Gefahrensituation

Ob getroffene Maßnahmen verschärft werden müssen, sie nur zeitlich zu verlängern sind oder aufgehoben werden können ist eine der Schlüsselfragen für Lawinenkommissionen. Es geht ja nicht ausschließlich um die aktuelle Situation, sondern immer auch um die Entwicklung der Lawinensituation, da die empfohlenen Maßnahmen wenigstens bis zur nächsten Kommissionssitzung bzw. bis zur nächsten Beurteilung Gültigkeit haben müssen.

Damit entsprechende Maßnahmen zur Abwehr einer Gefährdung von Personen oder Objekten durch Lawinen getroffen werden können, ist es auch wichtig, dass die Lawinenkommissionen in der Beurteilung (Risikobewertung) immer einen Schritt voraus sind. Kritische Situationen kündigen sich meistens schon Tage

zuvor an – wertvolle Zeit um entsprechend zu Handeln.

An den Tagen mit hoher Lawinengefahr ist man aufgrund der ungünstigen Rahmenbedingungen (z.B. schlechte Witterung) oft nicht mehr in der Lage wirksame Maßnahmen zu setzen oder man muss auf sehr drastische Mittel (z.B. Evakuierung) zurückgreifen, die man bei rechtzeitigem Handeln hätte vermeiden können.

Natürlich ist es auch von hoher praktischer Bedeutung den Zeitpunkt einer Entspannung der Situation richtig einzuschätzen, da mit unnötigen Maßnahmen die Akzeptanz bei der Bevölkerung verloren geht und die Glaubwürdigkeit der Lawinenkommission leidet.

Folgende Punkte sollten helfen die Entwicklung beurteilen zu können, wobei die genannten Werte individuell auf die jeweiligen Beurteilungsgebiete anzupassen sind.

	ungünstig Maßnahmen setzen oder verschärfen!	günstig Maßnahmen schrittweise zurücknehmen oder aufheben!
Schneefall/Niederschlag	anhaltend, starker Niederschlag	kein Niederschlag (NS)
Wind	anhaltend > 40 km/h	< 40 km/h, Windstille
Temperatur	rascher Temperaturwechsel	positive Temperaturentwicklung
Strahlung	negativer Strahlungseinfluss	positiver Einfluss der Strahlung
Wetterprognose	ungünstige Wetterprognose	günstige Wetterprognose
Schneedecke	Aufbau verschlechtert sich	Aufbau verbessert sich
Lawinentätigkeit	spontane Auslösungen	keine Lawinentätigkeit
Sprengresultate	gute Sprengerfolge	keine Sprengerfolge

Gefahrenstufe	Anstieg der Gefahrenstufe	Rückgang der Gefahrenstufe
Einzugsgebiet	große Schneemengen vorhanden	wenig Schnee
Sturzbahn	mit Schnee gefüllt	leer
Schutzbauten	unwirksam	voll wirksam
Zeitverlauf	Lawinenereignisse in letzten 12 Std.	Lawinenereignisse vor > 12 Std.

Tab. 3: Punkte in der Beurteilung der Lawinengefahr in ihrer zeitlichen Entwicklung

Tab. 3: Assessment points for danger of avalanches over time

MASSNAHMEN (HANDELN)

Letztendlich zielen alle Bemühungen auf die Frage ab, wodurch sich die lokale Lawinengefährdung abwenden lässt? Die Lawinenkommissionen sind dabei insbesondere für die Empfehlung von zweckmäßigen Maßnahmen zur Abwehr von Lawinengefahr zuständig. Mitunter sind die Kommissionsmitglieder im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit auch für die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen verantwortlich.

In der Praxis hat es sich bewährt, mit „Szenarien“ zu arbeiten. Das bedeutet, dass für verschiedene Situationen unterschiedliche Maßnahmen vorbereitet werden, die im Falle des Eintretens dann rasch umgesetzt werden können.

Konkret heißt das, sogenannte „Wenn – Dann“ Entscheidungen vorzubereiten, die je nach Eintreten bestimmter Parameter automatisch zu Maßnahmen führen. Ein weiterer Punkt ist, dass in der Diskussion um die optimalen Maßnahmen stets verschiedene Handlungsoptionen gesammelt und in ihrer Wirksamkeit bewertet werden sollten. Hat man nämlich nur eine Option ist auch der Handlungsspielraum sehr eingeschränkt.

Je nach Situation können folgende Maßnahmen (Empfehlungen) gemacht werden, die allesamt eine Risikoreduktion bedeuten:

- Warnungen/Information (z.B. Aktivierung der Lawinenwarnleuchte oder Hinweise auf Gefahrenbereiche)
- Laufende bzw. intensivierte Beobachtungen im Gelände (z.B. Beobachtungsfahrten, Beobachtungsflüge)
- Künstliche Auslösung (Sprengung) von Lawinen
- Temporäre oder permanente Sperren von Straßen und Verkehrswegen aller Art, Pisten, Loipen, Rodelbahnen, Winterwanderwegen oder sonstiger Flächen
- Evakuierung von Häusern und Siedlungen

Die Begründung der getroffenen Maßnahmen muss nachvollziehbar sein und sollte ausreichend ausführlich erfolgen. Die näheren Daten zum Beschluss bzw. zur Beschlussfassung sowie die beteiligten Personen/Institutionen sind festzuhalten. Der nächste Sitzungstermin sollte vermerkt werden insbesondere, wenn die Lawinensituation kritisch ist.

Diese Protokollierung und Dokumentation der Arbeit einer Lawinenkommission ist insofern wichtig, da sie zum einen dem Nachweis einer sorgfältigen Vorgehensweise dient und zum anderen mit dem gesammelten Material im Laufe der Zeit eine bessere Einschätzung der Lawinenproblematik möglich ist.

Die Dokumentation von Beschlüssen und Entscheidungen dient auch dazu, die Nachvollziehbarkeit der Arbeit bei Schäden sicherzustellen. Vereinfacht gesagt, ist es wesentlich besser, eine nachvollziehbare Fehlentscheidung zu haben, als sich den Vorwurf gefallen zu lassen, „nichts“ gemacht zu haben!

Um die laufende Dokumentation bzw. Protokollierung möglichst effizient zu gestalten ist es günstig eine strukturierte Arbeitsweise unter Zuhilfenahme entsprechender Werkzeuge (z.B. LWDKIP) einzuführen, welche Form zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit der Arbeit jedoch letztlich gewählt wird, liegt im Ermessen jeder Lawinenkommission.

Vom Gesichtspunkt des Risikomanagements aus gesehen gibt es bei der Risikosteuerung (Maßnahmen) noch die Optionen der Risikoakzeptanz (v.a. bei sehr geringen Risiken häufig praktiziert) und des Risikotransfers (z.B. Versicherung von Sachwerten). Ob diese Optionen umgesetzt werden können ist individuell zu beurteilen.

ÜBERPRÜFUNG

Den letzten Punkt einer strategischen Vorgehensweise in Sachen Lawinenkommissionsarbeit stellt die Überprüfung dar, da man sicherstellen möchte, dass die getroffenen Maßnahmen auch wirksam sind.

Sofern die erwünschten Effekte erzielt werden, bleibt man weiterhin bereit, um bei sich ändernden Verhältnissen situativ angepasst reagieren zu können. Ungewünschte Veränderungen sollten wiederum frühzeitig erkannt werden, um noch rechtzeitig eingreifen zu können. In Zeiten erhöhter Gefahrenlage ist ein engmaschigeres Beobachtungsnetz jedenfalls empfohlen.

Sollten die Maßnahmen zu keinem erwünschten Ergebnis geführt haben, müssen die Schritte von Beginn an nochmals wiederholt werden. V.a. bei Sperren und Evakuierungen ist laufend zu überprüfen, ob diese noch zweckmäßig sind, ob sie ausgeweitet werden müssen oder wieder aufgehoben werden können.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Harald Riedl
Land Tirol
Eduard Wallnöfer Platz 3, 6020 Innsbruck
harald.riedl@tirol.gv.at

Mag. Walter Würtl
LO.LA* Peak Solutions
Beda-Weber-Gasse 8/12, 6020 Innsbruck
walter@lo-la.info

Literatur / References:

STOFFEL, L., SCHWEIZER, J. (2007).
Praxishilfe. Arbeit im Lawinendienst: Organisation, Beurteilung lokale Lawinengefährdung und Dokumentation. Münster, Schweizerische Interessengemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS); Davos, WSL, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF; Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU. 8 S.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG Hrsg. (2017).
Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen; 4. Auflage. Innsbruck. 441 S.

Die **einfachste, sicherste** und **schnellste** Art Ihr Lawinenproblem zu lösen

WYSSEN *avalanche control*
switzerland



Die neue Bedienungsoberfläche **WAC.3** bietet...

- ✓ **einfache Bedienung**
- ✓ erhöhte **Sicherheit** und **Zuverlässigkeit**
- ✓ **Kosten-** und **Zeitersparnis**
- ✓ Einbindung von **Zusatzmodulen** - Wetter- und Schneedeckeninformationen, Detektionssysteme, Ereignisdokumentation, Sprengstofflagerbuch und vieles mehr

ULRIK DOMAAS, KJERSTI GISNÅS

Avalanches in the context of climate change in the northern regions

Lawinen und Klimawandel in Norwegen

Abstract:

Avalanches have caused more than 1500 deaths the past 150 years in Norway. Development in rural areas make us more vulnerable to geohazards. Climatic warming with increased frequency and strength of extreme weather events in the next 50 to 100 years may lead to an increase in the frequency of geohazard events. The snow avalanche hazard may decrease in near coastal regions due to increased elevation of the snow and tree line and a shortening of the snow season with less snow. In the coastal high mountain range and in the mountains of northern Norway, these effects have less importance. This will demand careful investigations of avalanche experts to avoid the use of avalanche-endangered areas.

Keywords: Avalanche, climatic change, Norway

Zusammenfassung:

In den letzten 150 Jahren wurden in Norwegen mehr als 1500 Lawinentote verzeichnet. Die Siedlungsentwicklungen im ländlichen Raum führen zu einer höheren Vulnerabilität gegenüber Naturgefahren. Die Zunahme von extremen Wetterereignissen in Frequenz und Stärke bedingt durch die Klimaerwärmung in den nächsten 50 – 100 Jahren, kann auch einen Anstieg der Häufigkeit von Naturgefahren bedeuten. Lawinengefährdungen werden in Küstenregionen aufgrund eines Anstiegs der Schneefallgrenze und der Waldgrenze und kürzerer Winter mit weniger Schnee, wahrscheinlich abnehmen. Im küstennahen Hochgebirge und in den nördlichen Bergregionen haben diese Effekte weniger Einfluss auf Lawinen. Um lawinengefährdete Gebiete zukünftig zu meiden, braucht es sorgfältige wissenschaftliche Untersuchungen von Experten und Expertinnen zum Thema Klimawandel und Lawinen.

Stichwörter: Lawinen, Klimawandel, Norwegen

Introduction

Climatic changes and related effects on avalanche activity is of great importance to people living in the mountainous districts of Norway. The current and future climate changes in Norway are described by several research projects, such as the "Klima 2100" report from the Norwegian Meteorological Institute (Hanssen-Bauer et al. 2015) and the research projects Geoextreme (Jaedicke et al., 2008) and InfraRisk (NGI 2009). These all show that changes in the climate are already present and are likely to increase by the end of the century. The weather is getting more unstable. We observe a general increase in precipitation amounts and intensity, shorter winter seasons and warmer winter temperatures. As a result, we also see a general rise of the tree line. We expect the climatic changes to reduce the number of avalanche situations, in particular along the coast and lower regions. In the coastal high mountain range, the avalanche activity may decline to a lesser degree. However, the projected climate changes in the complex topography in Norway may result in more variation than what the general picture shows. This article will not dispute the climatic scenarios; it will rather try to indicate some of the consequences related to avalanche activity that we must face in the years to come.

Avalanches in Norway

The *Geoextreme* project (Jaedicke et al., 2008) discussed avalanche activity related to a combination of different climatic parameters, which showed varying importance in different parts of Norway. The project aimed to find the key controls of avalanche activity. For snow avalanches, the picture varied through Norway. The major findings indicated the precipitation to be the most important single factor in the south of Norway and the wind to be the most important single factor in the north of Norway.

Changes in temperature

Temperature deviations from the reference period 1971–2000 in Norway from 1900 until 2014 (Figure 1) show a positive trend indicating generally warmer winters. The average global annual mean temperature in 2016 was approximately 1 °C above the 1951–80 average. The increase was highest towards the northern regions, with an anomaly of 22 °C in northern Norway (NOAA/ NASA 2017). By this, 2016 turned out to be the warmest year on the NASA GISTEMP record, with significantly high temperature anomalies in the Arctic.

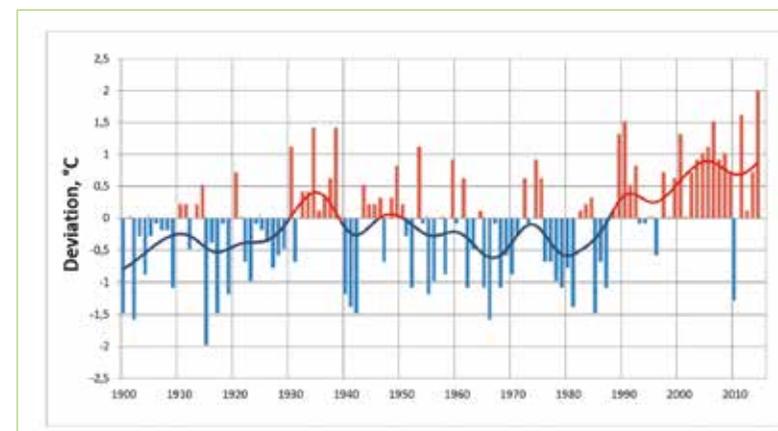


Fig. 1: Annual temperature for Norway (1900–2014). The figure shows deviations in temperature (°C) from the average over the reference period 1971–2000 (Klima 2100, NCCS-report no 2/2015).

Abb. 1: Jährliche Temperaturen für Norwegen (1900–2014). Das Diagramm zeigt die jährlichen Abweichungen (in °C) zum Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000.

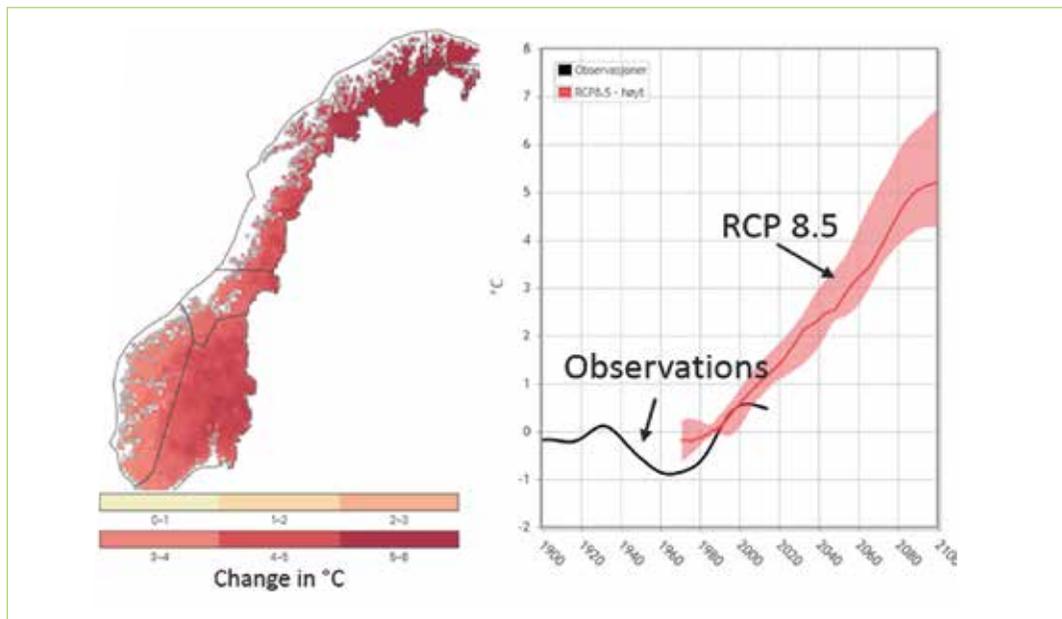


Fig. 2: Increase in winter temperature for the RCP 8.5 scenario.

Abb. 2: Zunahme der Temperaturen im Winter für das Szenario RCP 8.5.

The four Representative Concentration Pathways (RCPs) describe different possible climate futures in the year 2100 depending on the increase in radiative forcing due to greenhouse gas release to the atmosphere. RCP 8.5 is closest to the observed increase in CO_2 , and indicates a 4–6 °C temperature increase by the end of the century (Figure 2).

Increases in temperature lead to a weakening of the polar vortex and an increase in the Rossby wave pattern with a slower eastward progression. A pattern with lower atmospheric pressure over the Arctic leads to stronger westerly winds in the upper atmosphere at northern latitudes (Francis and Vavrus, 2012).

For Norway, this may result in longer periods with cold or mild weather. This also implies that even if the climate gets warmer, long cold winter periods may still occur prior to situations with heavy snow precipitation. This may still cause classic avalanche situations for regional areas along the coast of Norway.

The monthly temperatures during winter in the period 1951–2015 for the western part of south Norway clearly show a warming climate. During the last 15 years there were only two "cold" winters having average monthly temperatures below 0 °C for 4–5 consecutive months. In comparison, for the whole period there was on average 3–5 years between every "cold" winter.

Three major avalanche events occurred in this period (Figure 3). The first in 1968 in Sæbø (Feb 19th), the second in 1979 in Ørsta (Feb 11th) and the third in 1993 in Odda (Jan 17th). Common for all these three situations was a cold early winter from October until the avalanche occurred. Due to a thin snow cover in the mountains during the cold early winter a weak layer with depth hoar developed near the ground. Heavy snowfall, strong winds and, for the Odda event mild weather, lead directly to the avalanche situations.



Fig. 3: Photos from three major avalanche situations in Norway. a) Sæbø (1968, photo Aftenposten) b) Ørsta (1979, photo Karstein Lied) and c) Odda (1993, photo Eirik Brekke).

Abb. 3: Fotografien großer Lawinenereignisse in Norwegen. a) Sæbø (1968, Foto Aftenposten), b) Ørsta (1979, Foto Karstein Lied) and c) Odda (1993, Foto Eirik Brekke).

Changes in precipitation

The largest changes in precipitation by the end of the century will occur in autumn and winter. The winter precipitation for Norway is expected to increase by on average 17 % (RCP8.5), varying from 3 % to 26 % over Norway.

The climate projections show increases in both intensity and frequency of heavy precipitation events in all of Norway (Figure 4). «Heavy precipitation» is defined as daily precipitation

exceeded approximately every second year in the period 1971–2000. The overall increase in frequency of heavy precipitation events during winter is predicted to be 143 % by the end of the century (RCP8.5; Figure 4, left), with largest increase in northern Norway. The relative change in precipitation intensity averaged for the whole country is between 12 % and 19 % for the 2 scenarios (Figure 4, right). The increase is predicted for the entire year in all regions, but with highest values during the summer season.

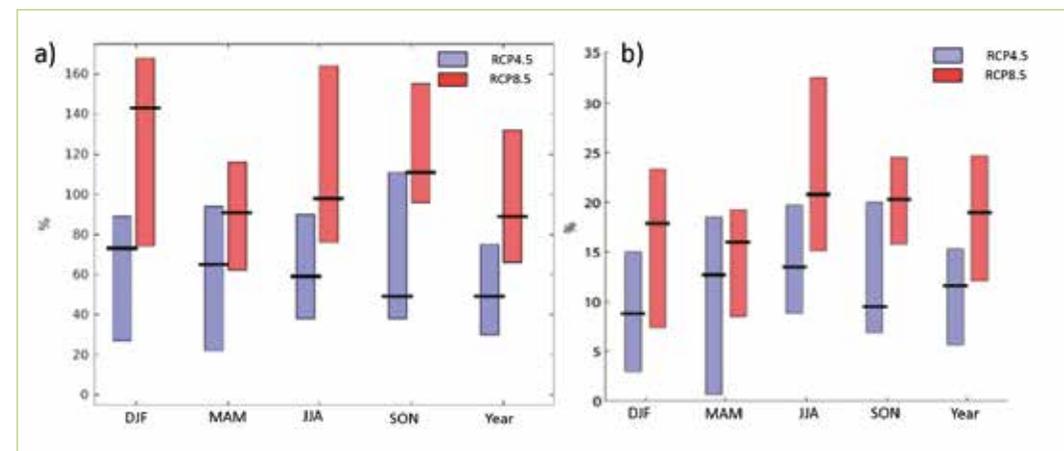


Fig. 4: Relative change (%) in the number of days with heavy precipitation (left) and intensity (right) from the 1971–2000 period to the 2071–2100 period for the scenarios RCP4.5 and RCP8.5. Median value (black line). Seasonal and annual values.

Abb. 4: Relative Änderungen (in %) der Tagesanzahl mit Starkniederschlägen (links) und der Niederschlagsintensität (rechts) zwischen den Zeiträumen 1971–2000 und 2071–2100 für die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5. Die schwarzen Balken stellen den Median dar.

Forest growth and the effect on avalanche activity

Dense forest has a protective effect against avalanche release (Olschewski et al., 2012; Bebi et al., 2001). This is caused directly by the trees supporting the snow pack and reducing the formation of weak layers that may cause slab avalanches (Gubler and Rychetnik, 1991).

Forest can affect avalanches by reducing the velocity and runout lengths in the valley below, primarily when the forest covers the mountainside all the way up to the avalanche release area. In these cases, the avalanche has not yet reached a high velocity or a terminal velocity when it passes through the forest, and the forest may have some effect. When avalanches reach terminal velocity, experience shows that the forest below will have little or no effect, and the avalanches may clear away even fully-grown forests. This is demonstrated by several examples of previous avalanche incidents (Figure 5). Forests may stop small to medium size avalanches after they have cleared several hundred meters of fully-grown forest. However, there is limited knowledge on the effect of forest after the avalanche has been triggered (Anderson and McClung, 2012).

Increases in growth season and higher annual temperatures (+ 4 – 6 °C) will raise the upper elevation limit for potential forest growth



Fig. 5: Pictures show the 1995 Drevja avalanche that took out the forest also along the flat valley bottom.

Abb. 5: Bilder der Drevja Lavine 1995 mit Zerstörungen der Waldflächen bis hinab auf den flachen Talboden.

by approximately 400–500 m compared to today (assuming a lapse rate of approximately 1 °C/100 m). As a result, also many of the lower areas close to the coast may become covered by forest (Figure 6). The higher parts of the coastal mountain range will still be above the tree line in the future (Figure 7). Most of the eastern parts of southern Norway will have potential for forest growth, with the exception of isolated mountain areas, such as the Rondane mountain massif.

The increased forest growth in the coastal areas will reduce the number of potential release areas for snow avalanches. However, in some parts of the mountains we do not expect forest growth, even though the climatic conditions are sufficient:

- In steep release areas with bare rock faces.
- Avalanche tracks where frequent avalanches occur will keep the forest away unless the frequency decreases to less than 30 – 50 year return period.
- Wind exposed areas will keep the forest away, amplified by the projected increase in intensity and frequency of strong winds.

In addition, forest diseases, cutting and fires may alter the situation rapidly.

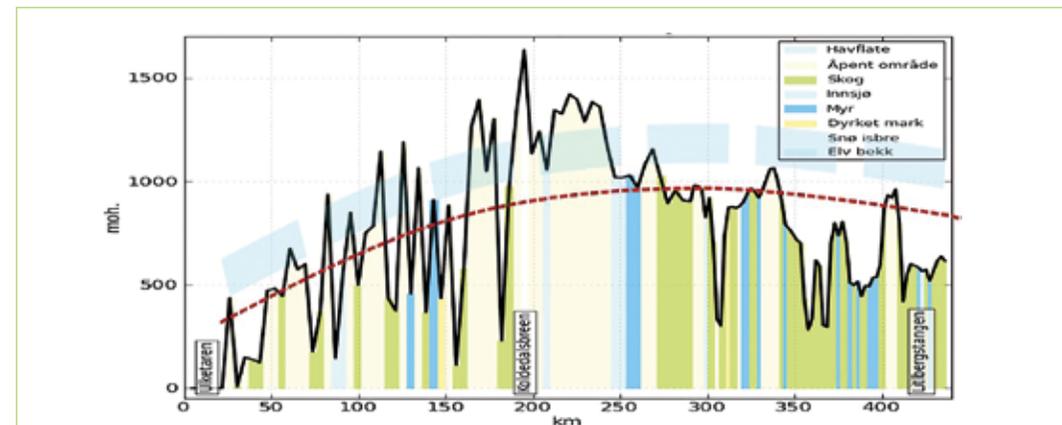


Fig. 6: West to East cross section in southern Norway (north of Bergen). Black line represents topography, red dotted line represents today's tree line, and blue dotted line represents the possible tree line in 100 years. Source: Norwegian Mapping Authority.

Abb. 6: Profilinje Søndnorge (nördlich von Bergen) von West nach Ost. Die schwarze Linie stellt das Gelände dar, die gestrichelte Linie die heutige Baumgrenze und die dicke blau gestrichelte Linie die mögliche Baumgrenze in 100 Jahren.



Fig. 7: The coastal mountain range. The forest may reach the avalanche release areas seen on the left part of the photo, but not to the right where the mountains are steep with bare rock faces.

Abb. 7: Küstengebirgsregion. Der Wald könnte bis zu den Lawinenanbruchgebieten in der linken Seite des Bildes hinaufreichen. Dies ist für den steilen, kahlen Gebirgsteil auf der rechten Bildseite nicht möglich.

Shorter winters and less snow – fewer avalanche situations?

The projected rise in annual temperatures combined with changes in precipitation will highly affect the snow cover, but with large variations over Norway. In many areas the increasing temperatures will result in reduced snow amounts, shortened winter seasons and a rise of the snow line. In the coastal areas, winters may become entirely snow free, or have only discontinuous snow cover during the winter months.

On average, large parts of Norway were covered by snow half of the year over the period 1971 – 2000, typically from November to May/June. The length of the snow-covered period will be reduced dramatically, particularly along the coast (Figure 8). This is mainly due to the general temperature increase, but is also related to warmer sea currents. The report „Klima 2100“ (Hanssen-Bauer et al. 2015) shows that coastal areas with less than 100 days of snow cover today may see a reductions of between 50 to 100 days. With the RCP 8.5 scenario, large areas along the west coast may remain snow free all year in the future. Other

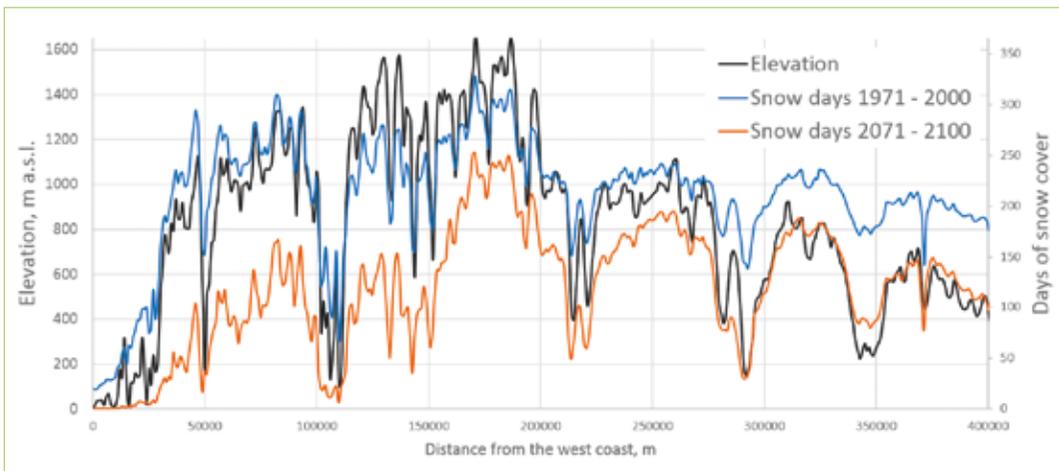


Fig. 8: West to East cross section in southern Norway. Number of snow days with snow cover in the reference period 1971 – 2000 and estimated for the 2071 – 2100 period.

Abb. 8: Profillinie durch Südnorwegen von West nach Ost. Anzahl der Schneetage mit Schneebedeckung für die Referenzperiode 1971 – 2000 sowie die Schätzung für die Jahre 2071 – 2100.

areas will have a snow season lasting only half the number of days compared to today, and large areas on the west coast will have less than three weeks of snow. The high mountain areas further east and away from the coast may still have similar number of snow covered days as today. In general, the reduced amounts of snow will significantly shorten the snow season in large parts of Norway, to a high degree in populated areas.

There has been an increase in the annual maximum snow depths in the high mountain and eastern parts of southern Norway, along with a decline along the coast and lowland during the last 50-year period (Figure 9, Dyrddal et al., 2012). For the high mountains in southern Norway, observations show a 23 % increase in maximum snow depths.

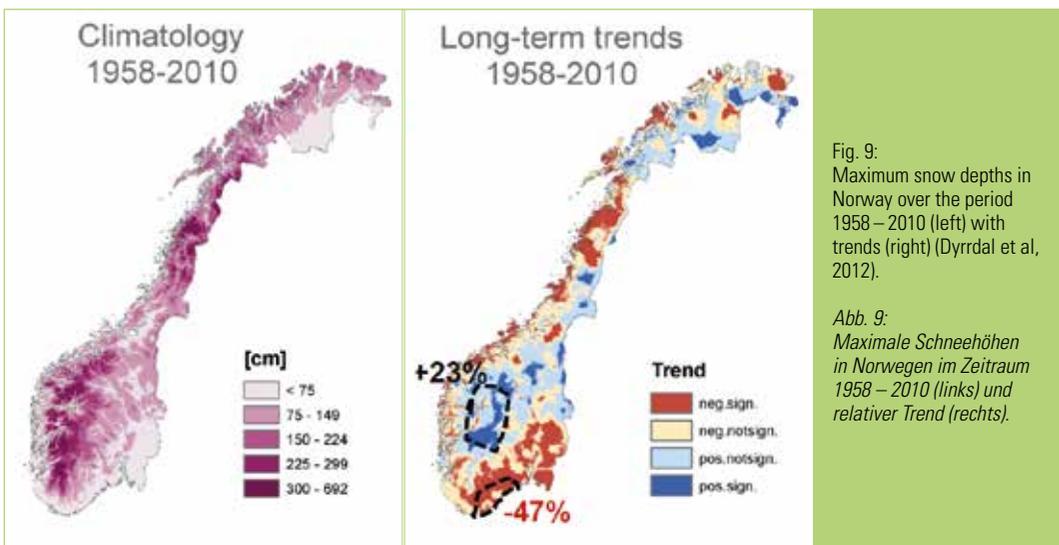


Fig. 9: Maximum snow depths in Norway over the period 1958 – 2010 (left) with trends (right) (Dyrddal et al, 2012).

Abb. 9: Maximale Schneehöhen in Norwegen im Zeitraum 1958 – 2010 (links) und relativer Trend (rechts).

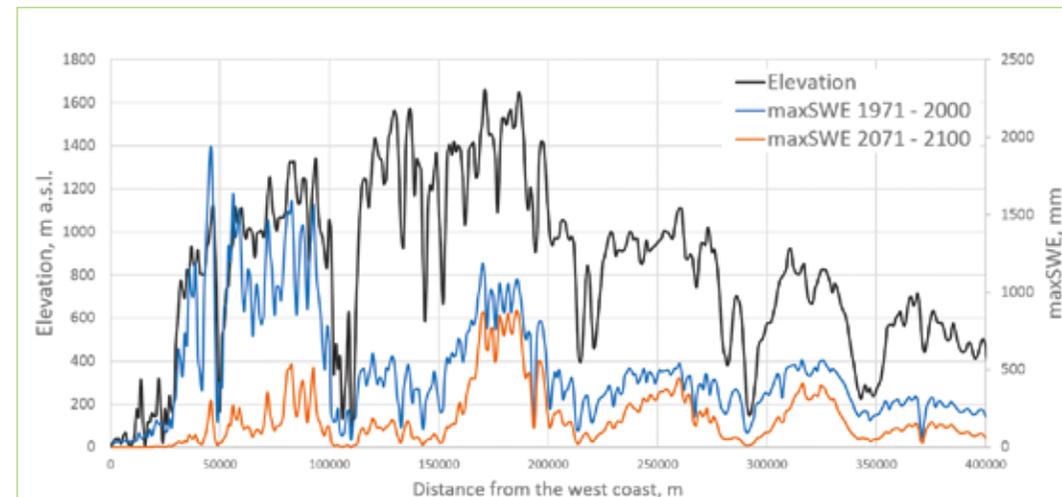


Fig. 10: West to east cross-section in southern Norway (black line). Annual maximum snow amount (SWE, mm) during winter in the normal period 1971 – 2000 and scenario for the 2071 – 2100 period.

Abb. 10: Profillinie Südnorwegen von West nach Ost (schwarze Linie). Jährliche maximale Schneehöhen im Winter für den Zeitraum 1971 – 2000 (blau) und für das Szenario für die Jahre 2071 – 2100 (orange).

The climatic change with a high temperature increase may give a large reduction in snow amount along the coast of Norway, while in other areas the increased precipitation amounts will even out the effect of the temperature increase. Figure 10 shows a cross section in southern Norway, where the most significant reduction is predicted for the west coast and in the western mountain range. The high mountain areas further east and away from the coast may still receive similar snow amounts as today.

The reduced snow amounts indicate a reduction of avalanche situations during winter. The effect is most pronounced along the coast and the coastal mountain range, and less in the high mountains further east. On the west coast some areas will not receive snow in the future, and thus not be at risk for snow avalanches. In high mountain areas above the 0 °C-isotherm we may experience a higher possibility for avalanche activity in the future, due to larger snow depths and more intense snow fall events.

Consequences

Based on the climate projections for the scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 for Norway, we expect shorter winters with less snow and higher temperatures towards the end of the century. Strong winds may occur more often and increase in intensity. Mild weather with rain will occur more often during the winter.

This may reduce the potential for avalanches in many areas, with some areas being out of risk due to absence of snow. Dry snow avalanches may occur more seldom and primarily in mid winter (December – February) due to lower snow heights and a warmer snowpack.

However, the projected increase in strong wind intensity along with increase in precipitation intensity may still create major avalanche situations. Additionally, the high mountain areas where there is a projected increase in snow amounts may experience increased rather

than reduced avalanche danger. We may also experience an increase in wet snow avalanches and slush flow activity. Roads close to mountainsides and hydroelectric power lines may be more exposed due to increase in these natural hazards. Work on mountain facilities in avalanche-endangered terrain (with hazard warning) will have to shut down more frequent due to two different weather types:

- More often mild weather situations in winter months causing wet avalanches
- More frequent situations during mid-winter with strong winds causing dry avalanche situations

An example of this was seen in 2015, when NGI conducted avalanche hazard warning for an

entrepreneur working on the Styggevasdammen facility. A north-facing mountainside produced numerous wet snow avalanche situations during the winter and continued doing so until early summer (Figure 11). The amount of wet avalanche activity was much higher than expected for this area, and caused challenges for the entrepreneur work.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Ulrik Domaas
Norwegian Geotechnical Institute (NGI)
Sognsveien 72
N-0855 Oslo, Norway
ulrik.domaas@ngi.no



Fig. 11: Wet avalanche in Sprongdalen, Styggevasdammen 16th June 2015.

Abb. 11: Nassschneelawine in Sprongdalen, Styggevasdammen am 16. Juni 2015.

Kjersti Gisnås
Norwegian Geotechnical Institute (NGI)
Sognsveien 72
N-0855 Oslo, Norway
kjersti.gisnas@ngi.no

References / Literatur:

- ANDERSON, G. & D. MCCLUNG (2012)
Snow avalanche penetration into mature forest from timber-harvested terrain. *Canadian Geotechnical Journal*, 49, 477-484.
- BEBI, P., F. KIENAST & W. SCHÖNENBERGER (2001)
Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests' dynamics and protective function. *Forest Ecology and Management*, 145, 3-14.
- DYRRDAL, A. V., K. ISAKSEN, H. O. HYGEN & N. K. MEYER (2012)
Changes in meteorological variables that can trigger natural hazards in Norway. *Climate Research*, 55, 153-165.
- FRANCIS, J. A. & S. J. VAVRUS (2012)
Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in midlatitudes. *Geophysical Research Letters*, 39.
- GUBLER, H. & J. RYCHETNIK. 1991.
Effects of forests near the timberline on avalanche formation. In *Symposium at Vienna*, 19-37.
- HANSSEN-BAUER, I., E. J. FÖRLAND, I. HADDELAND, H. HISDAL, S. MAYER, A. NESJE, J. NILSEN, S. SANDVEN, A. SANDØ, A. SORTEBERG & B. ÄDLANDSVIK. 2015.
Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015.
- JAEDICKE, C., A. SOLHEIM, L. H. BLIKRA, K. STALSBERG, A. SORTEBERG, A. AAHEIM, K. KRONHOLM, D. VIKHAMAR-SCHULER, K. ISAKSEN, K. SLETTEN, K. KRISTENSEN, I. BARSTAD, C. MELCHIORRE, Ø. A. HØYDAL & H. MESTL (2008)
Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 893-904.
- NGI. 2009.
Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway (InfraRisk) - Final report NFR-project 200689., eds. R. Frauenfelder, A. Solheim, K. Isaksen, B. Romstad, A. V. Dyrrdal, R. Gangstø, A. Harbitz, C. B. Harbitz, J. E. Haugen, H. O. Hygen, H. Haakenstad, C. Jaedicke, Á. Jónsson, R. Klæboe, J.
- LUDVIGSEN, N. K. MEYER, R. RAUKEN, K. SVERDRUP-THYGESON & A. AAHEIM, 94.
Norwegian Geotechnical Institute.
- NOAA/NASA January 2017.
Annual Global Analysis for 2016.
- OLSCHEWSKI, R., P. BEBI, M. TEICH, U. W. HAYEK & A. GRÊT-REGAMEY (2012)
Avalanche protection by forests—A choice experiment in the Swiss Alps. *Forest policy and Economics*, 17, 19-24.

INGRID REIWEGER, CHRISTOPH MITTERER

Avalanche formation in the context of climate change

Lawinenbildung bei verändertem Klima

Abstract:

An increase of the proportion of wet-snow avalanches with an increase of global temperatures was suggested by various studies in different regions. Within this article we discuss the warming and hence wetting of the snowpack and its implications on snow stability. Furthermore, we describe the different wetting scenarios of the snowpack and the corresponding wet-snow avalanches. A special emphasis is put on the wetting of pre-existing weak layers. In an ongoing study we defined a new wet-snow stability index for wet weak layers. We could show that our new wet-snow stability index coincides reasonably well with wet-snow avalanche activity.

Keywords: Avalanches, wet-snow, slab-avalanche release, climate change

Zusammenfassung:

Verschiedene Studien deuten auf eine Erhöhung des Anteils von Nassschnee-Lawinen mit einer Zunahme der globalen Temperaturen hin. In diesem Artikel diskutieren wir die Anfeuchtung der Schneedecke und ihre Auswirkungen auf die Schneedeckenstabilität. Darüber hinaus beschreiben wir die verschiedenen Szenarien der Schneedeckendurchfeuchtung und der entsprechenden Nassschnee-Lawinen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Anfeuchtung von bereits vorhandenen schwachen Schichten, die wir mit einer erhöhten Nassschnee-Lawinen-Aktivität korrelieren konnten.

Stichwörter: Lawinen, Nassschnee, Schneebrettauslösung, Klimawandel

Introduction

The effect of climate change on avalanche activity was studied by various authors. Naaïm et al. (2016) quantified the changes in avalanche activity as a response to climate warming in the French Alps. They found that the frequency and proportion of powder avalanches decreased while the proportion of wet-snow avalanches substantially increased, concomitant to local climate warming. Bellaire et al. (2016) studied the influence of long-term changes of the climate system on avalanche hazard in Glacier National Park in British Columbia, Canada. Due to uncertainty arising from changes in explosive control, they could not draw any conclusions regarding the regional change of avalanche activity. Pielmeier et al. (2013) concluded in a similar study for the Swiss Alps that there is a weak signal for an increase in wet-snow avalanche activity, which, however, is blurred due to observational inconsistencies. For the Aspen

ski area in Colorado, USA, the potential effect of climate change on the timing of wet-snow avalanches was evaluated by Layer and Williams (2008). They expect that wet-snow avalanches releasing at the highest elevation bands of the ski resort will start 4–5 weeks earlier until the end of the century.

Zeidler and Stoll (2016) summarized and compared different studies related to the impact of climate change on the snowpack and on avalanche activity. They concluded that most studies are local studies and are not directly comparable. General statements included that wet-snow avalanche activity will begin earlier – depending on the location and that for Austria, the climate sensitive elevation level is about 1800 m. Change in the snowpack and avalanche activity will occur mostly in the months of March, April, and May. They also concluded that the process of wet-snow avalanche formation is still not well understood.



Fig. 1:
Wet-snow avalanches at the Dorfberg above Davos, Switzerland (Photo: W. Steinkogler).

Abb. 1:
Nassschneelawine am Dorfberg über Davos, Schweiz.

Therefore we want to address the physical processes involved in wet-snow avalanche formation and shed some light into what actually occurs to the snowpack and its mechanical properties as the snowpack becomes wet and what the wetting of the snowpack implies for avalanche formation. Understanding how (wet) avalanches form is essential for predicting when and where avalanches might release. Avalanche prediction is also of crucial importance for risk management and avalanche mitigation and protection measures.

Wetting of the snowpack

Wetting of the snowpack occurs either due to rain-on-snow events or due to warming. Warming – i.e. a temperature increase of the snowpack – corresponds to a positive energy input. Energy can be transferred into the snowpack either via direct solar radiation or via warm ambient air (convection). As the snowpack warms up it finally reaches its maximum temperature of 0°C. In case of further energy input, a phase change takes place, i.e. ice crystals start to melt and the snowpack becomes wet.

The wetting of the snowpack is quantified by measuring the volumetric liquid water content ($\theta_{w,v}$) of the snowpack or selected layers within the snowpack. The volumetric liquid water content can be measured in various ways. The most obvious method is to measure it manually with e.g. a Denoth meter (Denoth, 1994). While the manual measurement methods can be performed at any location, which is accessible by field workers, they are clearly very consuming in both time and human resources. Automatic measurements of $\theta_{w,v}$ can be performed with an upward-looking ground-penetrating radar (upGPR). The liquid

water content is then calculated by combining the signal attenuation of the radar signal from the upGPR with snow height (Schmid et al., 2014).

Since measurements of $\theta_{w,v}$ are often infrequent, snow cover modelling including water transport routines are becoming more and more popular. In order to simulate the snow cover layering as well as the wetting, we used the one dimensional snow cover model SNOWPACK (Lehning et al., 2002). SNOWPACK contains several calculation schemes for simulating water percolation, retention, and refreezing processes and calculates the volumetric liquid water content of single snow layers. An example of the simulated evolution of percolating water within the snowpack is given in Figure 2.

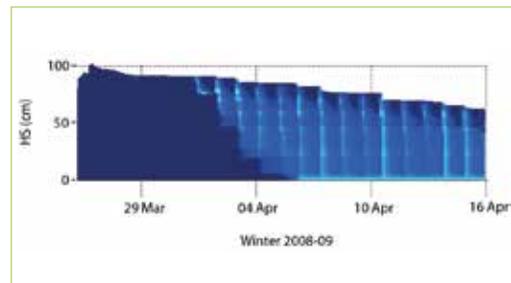


Fig. 2: Snow height (HS) and wetting over time. The shading indicates the liquid water content of the layer.

Abb. 2: Schneehöhen (HS) und Anfeuchtung im Zeitverlauf. Die Schattierung zeigt die den Wassergehalt der Schneesicht an.

Wet-snow stability and wet-snow avalanches

Snow stability changes with increasing liquid water content

Infiltrating water changes immediately the mechanical properties of the snow cover and thus also snowpack stability. At very low liq-

uid water contents, around 1 % (depending on grain type and size), snow stability might even increase – compared to dry snow conditions – due to capillary effects. However, a $\theta_{w,v}$ of roughly 4 % or larger – again this value is assumed to depend on grain type and size – decreases snow stability significantly (Reiweger et al., 2016; Techel et al., 2011).

As snow is a good insulator, warming and consequent wetting due to sensible heat or direct solar radiation at first only affects the uppermost snow layers. These uppermost layers may get significantly wet and consequently loose cohesion, especially in spring, when direct solar radiation is strong. Consequently, wet loose-snow avalanches may release on near surface snow layers (Trautmann et al., 2006).

As the snow becomes isothermal the probability for full depth wet-snow slab avalanches and also glide-snow avalanches increases significantly. Therefore, monitoring the time when free water first hits the bottom of the snowpack is

a good proxy for predicting full-depth wet-snow avalanche cycles (Mitterer and Schweizer, 2013).

In an ongoing study we investigate the interplay of snow layering and wetting. We used data from the test-site of the WSL Institute of Snow and Avalanche Research SLF at the Dorfberg above Davos, Switzerland (Fig. 1). We used the snow layering as well as the liquid water content provided by the SNOWPACK model (Fig. 2) to calculate our own wet-snow stability index for each layer. Our wet-snow stability index Sn_{wet} was calculated according to

$$Sn_{wet} = \frac{\sigma_d e^{-0.235\theta_{w,v}}}{\tau} \quad (\text{Eq. 1})$$

where σ_d is the dry-snow shear strength, τ is the shear stress, and $\theta_{w,v}$ is the volumetric liquid water content of the layer. The exponential decrease of strength with increasing liquid water content was fitted according to the results of the laboratory experiments performed by Yamanoi and Endo (2002).

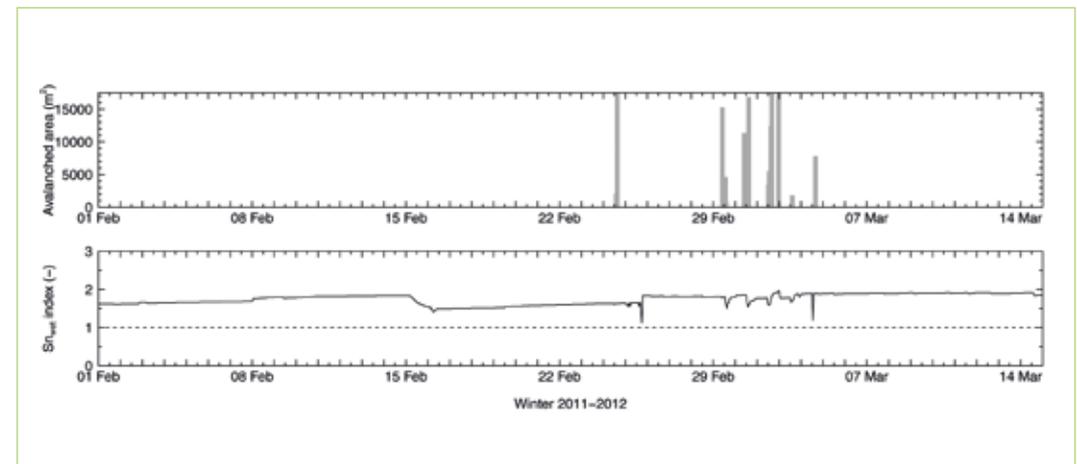


Fig. 3: Avalanched area, liquid water content, snow height, and wet-snow stability index over time.

Abb. 3: Lawinenfläche, Flüssigwassergehalt, Schneehöhe und Nassschneestabilitätsindex im Zeitverlauf.

Figure 3 shows the avalanched area – which is a measure of avalanche activity – together with the results of our SNOWPACK simulations at the Dorfberg for the winter season 2011–2012. It can be seen that the drops of the stability index Sn_{wet} close to the critical value of 1 correlates nicely with the avalanche cycles.

Conclusions

The results of our simulations combined with field observations showed that a critical amount of liquid water combined with a pre-critical snow stratigraphy were relevant for wet-snow instability. The critical amount of water is assumed to drive both failure initiation and fracture propagation. The simulated indices and observed stability tests indicated a high wet-snow instability when the volumetric liquid water content within faceted weak layers exceeded 3 %. Our results could be used to deduce general rules for supporting wet-snow avalanche forecasting programs.

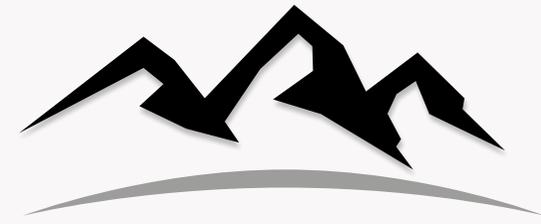
Authors' addresses / Anschrift der Verfasser:

Ass. Prof. Dr. Ingrid Reiweger
Universität für Bodenkultur,
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordan-Str. 82, 1190 Wien
ingrid.reiweger@boku.ac.at

Dr. Christoph Mitterer
Lawinenwarndienst Tirol und
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Eduard-Wallnöfer-Platz 3, 6020 Innsbruck/
Flüelastasse 11, CH-7260 Davos Dorf
chris.mitterer@tirol.gv.at

References / Literatur:

- BELLAIRE, S., JAMIESON, B., THUMLERT, S., GOODRICH, J., STATHAM, G. (2016). Analysis of long-term weather, snow and avalanche data at Glacier National Park, BC, Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 121, 118-125.
- DENOTH, A. (1994). An electronic device for long-term snow wetness recording. *Annals of Glaciology*, 19(1), 104-106.
- LAZAR, B., WILLIAMS, M. (2008). Climate change in western ski areas: Potential changes in the timing of wet avalanches and snow quality for the Aspen ski area in the years 2030 and 2100. *Cold regions science and technology* 51(2): 219-228.
- LEHNING, M., BARTELT, P., BROWN, B., FIERZ, C. (2002). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part III: Meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold Regions Science and Technology*, 35(3), 169-184.
- MITTERER, C., SCHWEIZER, J. (2013). Analysis of the snow-atmosphere energy balance during wet-snow instabilities and implications for avalanche prediction, *The Cryosphere*, 7, 205-216, doi:10.5194/tc-7-205-2013.
- NAAIM, M., ECKERT, N., GIRAUD, G., FAUG, T., CHAMBON, G., NAAIM-BOUVET, F., RICHARD, D. (2016). Impact du réchauffement climatique sur l'activité avalancheuse et multiplication des avalanches humides dans les Alpes françaises. *La Houille Blanche*, (6), 12-20.
- PIELMEIER, C., TECHEL, F., MARTY, C. AND STUCKI, T., 2013. Wet snow avalanche activity in the Swiss Alps - trend analysis for mid-winter season. In: F. Naaim-Bouvet, Y. Durand and R. Lambert (Editors), *International Snow Science Workshop, ISSW, Grenoble - Chamonix Mont Balnce*, pp. 1240-1246.
- REIWEGER, I., ZÖCHLING, M., FORSTER, M., WIESINGER, T., MITTERER, C. (2016). Wet-snow fracture propagation. *Proceeding International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, USA, Oct 3-6, 2016*.
- SCHMID, L., HEILIG, A., MITTERER, C., SCHWEIZER, J., MAURER, H., OKORN, R., EISEN, O. (2014). Continuous snowpack monitoring using upward-looking ground-penetrating radar technology. *Journal of Glaciology*, 60(221), 509-525.
- TECHEL, F., PIELMEIER, C., SCHNEEBELI, M. (2011). Microstructural resistance of snow following first wetting. *Cold Regions Science and Technology* 65(3): 382-391.
- TRAUTMAN, S., LUTZ, E., BIRKELAND, K. W., CUSTER, S. G. (2006). Relating wet loose snow avalanching to surficial shear strength. *Proceedings ISSW 2006*, 71-78.
- YAMANOI, K., ENDO, Y. (2002). Dependence of shear strength of snow cover on density and water content. *Journal of the Japanese Society of Snow and Ice*, 64(4), 443-451.
- ZEIDLER, A., STOLL, E. (2016). What do we know about the impact on the snowpack in a changing climate – a work in progress. *Proceedings International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, 3-7 October 2016*.



Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U.

Technisches Büro für Wildbach- und Lawinenschutz
Entwurf- und Einreichplanung • Ausschreibungs- und Ausführungsplanung • Bauaufsicht

Industriegelände Zone C 11 • A-6166 Fulpmes
Tel./Fax: +43 (0)5225 62148-22 • Mobil: +43 (0)664 8831 7711
E-Mail: office@ib-illmer.at • Web: www.ib-illmer.at

Leistungsspektrum

Schutz vor alpinen Naturgefahren – Gefahrenzonenplanung
Hydrologische Berechnungen
Modellierungen von Lawinen, Wildbächen, Muren
Hydraulische Modellierung von Fließgewässern
u. Geschiebetransportberechnungen
Planungen in Schigebieten –
Speicherteiche – Beschneiungsanlagen
Retentionen/Entwässerungen – Sicherheitskonzepte
Lawinenschutzkonzepte gem. Lawinenerlass
Forst-, Alm-, Wander- und Erlebniswege –
Parkplätze – Bodenaushubdeponien
GIS- und GPS-Dienstleistungen – professionelle 3D-Planungen

**Wir haben kompetente Partner im Bereich Geologie,
Geotechnik, Ökologie, Ornithologie, Statik und Vermessung**

Kontaktieren Sie uns!

TÓMAS JÓHANNESSON

Risk management in avalanche-prone areas in Iceland

Risikomanagement in lawinengefährdeten Gebieten in Island

Abstract:

Natural hazards of many kinds have caused accidents and economic damage in Iceland throughout the country's history. Catastrophic snow avalanches in the villages of Súðavík and Flateyri in 1995, which killed 34 people and caused extensive economic loss, led to a change in the management of natural hazards in Iceland. A plan was made to construct avalanche protection measures for hazard areas. Such measures have now been constructed for 20 snow- and landslide paths in north-western, northern and eastern Iceland, and settlements in two villages have been relocated to safer areas. The focus of hazard zoning and hazard management in Iceland is now being expanded to include ocean and river floods and several other types of natural hazards.

Abstract: Risk management, snow avalanche hazard, hazard zoning, protection measures

Zusammenfassung:

Naturgefahren aller Art haben in der Geschichte Islands viele Unfälle und wirtschaftliche Schäden verursacht. 1995 haben katastrophale Lawinenabgänge in den Ortschaften Súðavík und Flateyri 34 Totesopfer gefordert und zu einem enormen wirtschaftlichen Schaden geführt. Dies bewirkte ein Umdenken in Bezug auf das Naturgefahrenmanagement in Island. Es wurde ein Plan für die Errichtung von Lawinenschutzmaßnahmen in Gefährdungsgebieten entwickelt, durch den nun Schutzbauwerke in 20 Lawinen- und Rutschungsgebieten in Nordwest-, Nord- und Ostisland errichtet sowie zwei Ortschaften in sicherere Gebiete umgesiedelt worden sind. Die Ausrichtung der Gefahrenzonenplanung und des Naturgefahrenmanagements in Island wird derzeit noch um Hochwasser durch Ozean und Flüsse sowie andere Arten von Naturgefahren erweitert.

Keywords: Risikomanagement, Lawinen, Gefahrenzonen, Schutzmaßnahmen

Introduction

Natural catastrophes of many kinds have caused severe accidents and economic loss in Iceland since its settlement in the 9th century CE. Until the 19th century, the worst calamities were caused by famine and epidemics in the wake of natural disasters such as volcanic eruptions, cool climatic periods, extensive sea ice or fishing collapse (Finnsson, 1796; Steffensen, 1975a; Thórarinsson, 1974). During these centuries, it may be assumed that in favourable times the population reached the maximum that natural resources allowed and that the nation was very sensitive to any deterioration of food production conditions. Variations in Iceland's population since the settlement clearly reflect this interplay between the number of people, natural conditions and diseases (Steffensen, 1975b).

Decline in agricultural production or fishing collapse and subsequent famine due to natural catastrophes has become less likely with technical progress and the development of better economic means in Iceland in recent centuries, particularly during the last 100 years. On the other hand, accidents and economic loss directly caused by natural disasters have happened throughout Iceland's history, although their severity cannot be compared with the worst calamities of the past. The nation is not as dependent on natural conditions as before and can respond to many types of natural disasters with technical means to prevent or limit accidents and damage. Natural disasters do, however, still inflict many fatal accidents and cause extensive economic loss, although the conditions for averting and responding to disaster are fundamentally different from the past.

This paper summarises accidents and economic damage due to natural catastrophes in Iceland during the last one to two centuries, par-

ticularly during the last few decades, with emphasis on accidents due to snow avalanches and landslides. Recent government efforts to improve the safety of settlements in Iceland regarding the hazard due to snow- and landslides are described, including hazard zoning, adaptation of the design of protection measures to Icelandic conditions, and the implementation of protection measures, as well as risk management

Natural hazards in Iceland

Natural disasters in Iceland may be caused by many elements of nature, including earthquakes, volcanic eruptions, river floods, jökulhlaups (glacier outburst floods), snow avalanches, ice avalanches, landslides (including debris flows, rock fall and rock avalanches), ocean floods, coastal erosion, tsunamis in lakes or in the ocean, advancing glaciers, crustal movements (e.g. glacial isostatic adjustment, GIA), storms, snowstorms, thunderstorms (lightning), sea ice, climate change (cool/warm periods, drought, anthropogenic climate change), ocean acidification, soil erosion and forest or scrub fires. It may be debatable whether problems due to climate deterioration, soil erosion, glacier changes, crustal movements and ocean acidification that take place over extended periods of time should be counted as natural disasters in this connection, but they are included in the list for completeness. Natural hazards vary in different parts of the country depending on geological and climatological conditions (Sólnes and others, 2013), with earthquakes most frequent near the transform faults in SW-Iceland and central N-Iceland, volcanic eruptions in the central volcanic zone that strikes across Iceland from SW to NE and snow avalanches and landslides in the mountainous region in NW-, central N- and E-Iceland (Figure 1).

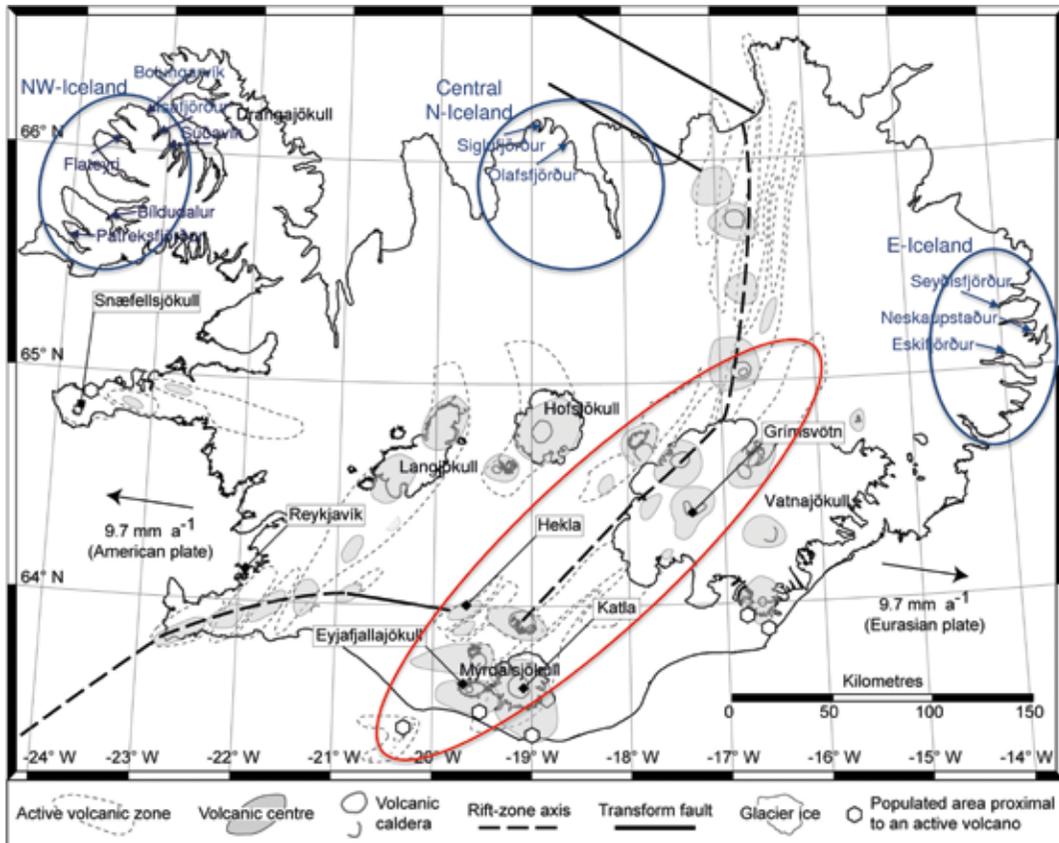


Fig. 1: Geological characteristics of Iceland that determine natural hazards in different areas of the country. The map shows transform faults in SW-Iceland and central N-Iceland (earthquakes), the central volcanic zone that strikes across Iceland from SW to NE (volcanic eruptions, the most active volcanic area is indicated with an oblique, red ellipse), the glaciers (jökulhlaups) and the mountainous regions in NW-, central N- and E-Iceland (snow avalanches and landslides, dark blue oval areas). The main villages threatened by snow avalanches and landslides are shown with dark blue labels.

Abb. 1: Die geologischen Eigenschaften in verschiedenen Teilen Islands beeinflussen das Auftreten von Naturgefahren. Die Karte zeigt die Störungszonen im SW- und zentralen Nordisland (Erdbeben), die zentrale vulkanische Zone, die sich von SW nach NE quer über Island zieht (Vulkanausbrüche, das Gebiet mit der höchsten Vulkanaktivität ist rot umrandet) sowie die Gletscher-(Jökulhlaups) und die Gebirgsregionen im NW-, zentral Nord- und Ostisland (Lawinen, Rutschungen, hervorgehoben durch eine dunkelblaue Umrandung). Die wichtigsten, durch Lawinen und Rutschungen gefährdeten Ortschaften sind in dunkelblau beschriftet.

Most fatal accidents due to natural disasters in Iceland since the start of the 20th century have undoubtedly been accidents at sea and drownings, with over 4000 victims in total in the period 1901–2000 and 50–60 victims since 2001 depending on how the accidents are classified (Statistics Iceland, 1997; IceSAR, 2001–2013; ITS, 2002–2016). These numbers include all work-related accidents at sea, as well as drown-

ings near the coast and in inland lakes and rivers. It may be assumed that most of the fatalities were due to storms and high seas that can be classified as natural disasters, at least in the early part of the 20th century when the accidents were most frequent. Many Icelanders were killed in weather-related accidents during travel over mountain passes, while gathering sheep in mountain pastures in the autumn and in other

accidents that can be directly related to specific weather events. Detailed numbers of fatalities due to this cause are not available but are assumed to number in the hundreds. Snow avalanches and landslides claimed 197 lives in total in the period 1901–2017 (Jónsson and others, 1992; Jóhannesson and Arnalds, 2001; unpublished data from the Icel. Meteorol. Office). Far fewer lives were lost due to other natural disasters in this period: 2 due to volcanic eruptions and 1 due to an earthquake (see Table 1).

Type of accident	Number of fatalities
Accidents at sea and drownings	Thousands
Weather-related accidents	Hundreds
Snow avalanches	170
Landslides (including rock fall)	27
Volcanic eruptions	2
Earthquakes	1

Tab. 1: Number of fatalities due to natural hazards in Iceland 1901–2017.

Tab. 1: Anzahl der Todesfälle durch Naturgefahren in Island in den Jahren 1901–2017.

Date	Location	Event	Fatalities	Damage (M€)	Proportion of GDP
1973	Vestmannaeyjar	Eruption	1	≈ 320	60‰
20.12.1974	Neskaupstaður	Avalanche	12	≈ 20	3–4‰
09.01.1990	South/West Iceland	Ocean flood	0	4	< 1‰
03.02.1991	South/West Iceland	Weather	0	27	3‰

Economic losses due to the 13 most significant natural disasters in Iceland during the last four to five decades are listed in Table 2, updated to the April 2017 price level. All the most significant events in the period 1990–2017 are listed, but before 1990 only the volcanic eruption in Vestmannaeyjar in 1973 and the snow avalanche disaster in Neskaupstaður in Eastern Iceland in 1974 are listed. It may be assumed that the losses in Table 2 underestimate the true total societal cost of the disasters as they exclude uninsured losses of individuals and companies and the cost of societal disruption. Losses due to events not listed in Table 2 may be assumed to be a small fraction of the losses listed in the table. The volcanic eruption in Vestmannaeyjar in 1973 stands out, with an inflation-adjusted loss of more than € 300 million, three times more than for the second largest event, corresponding to 60 % of Icelandic gross national product (GNP) at the time. The losses caused by the other disasters typically amount to several tens of millions of euros, and up to over € 100 million, in a single event, corresponding to a few per mil of GNP each time. Volcanic eruptions, earthquakes, jökulhlaups, snow avalanches, storms and river floods have all caused losses that amount to several millions or tens of millions of euros or more in a single event, demonstrating the diverse nature of the disasters that Icelanders must deal with.

15.01.1995	Súðavík	Avalanche	14	11	1 – 2‰
26.10.1995	Flateyri	Avalanche	20	14	1 – 2‰
06.11.1996	Skeiðarársandur	Jökulhlaup	0	21	2‰
17.06.2000, 21.06.2000	South Iceland	Earthquakes	0	55	4‰
20.12.2006	Djúpidalur, Eyjafirði	Downpour, flood	0	3	0.2 ‰
29.05.2008	South Iceland	Earthquake	0	114	6‰
Spring 2010	Eyjafjallajökull	Eruption	0	3	0.2 ‰
09.07.2011	Múlavísl	Jökulhlaup	0	2	0.1 ‰
May 2011	Grímsvötn	Eruption	0	2	0.1 ‰
Total, since 1990				≈ 260	

Tab. 2: Economic loss due to the thirteen largest natural disasters in Iceland 1973–2016 (price level and currency exchange rate of April 2017). The losses include compensations by the Iceland Catastrophe Insurance and its predecessors as well as available information about the cost of other agencies such as governmental costs related to search and rescue operations and rebuilding of uninsured property. Detailed information about the sources for the period before the year 2000 is given in Jóhannesson (2001). Substantial costs related to the disruption of societal activities are not included, particularly for the eruption in Eyjafjallajökull in 2010.

Tab. 2: Wirtschaftliche Verluste durch die dreizehn größten Naturkatastrophen in Island zwischen 1973 – 2016 (Preisniveau und Wechselkurs mit Stand April 2017). Die Verluste beinhalten Ausgleichszahlungen der Isländischen Katastrophenversicherung und ihrer Vorgänger sowie vorhandene Informationen über die Kosten anderer Behörden, wie z.B. staatliche Kosten für Such- und Rettungsdienste und Wiederaufbauhilfen für nicht versicherte Werte. Detailliertere Informationen zu den Jahren vor 2000 finden sich in Jóhannesson (2001).

Total losses in the period 1990–2016 due to the events tabulated in Table 2 amount to € 260 million, and the total losses since 1973 to nearly € 600 million, corresponding to € 10–20 million per year on average over either the 27-year long period since 1990 or the 44-year long period since 1973. These losses, as well as the fatalities caused by the disasters, justify significant expenditure and investment by the government and private industry for risk reduction and risk management. The implicit “risk management policy”

before the snow avalanche disasters in 1995 was to absorb the blow by repairing the material damages and continue with business as usual without much consideration of the losses or the associated human tragedies.

Snow avalanche problems in Iceland

Snow avalanches and landslides have caused a substantial proportion of the natural disasters that have struck Iceland since the settlement. Such

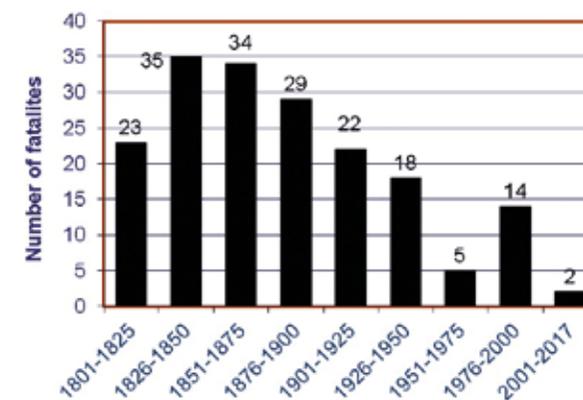
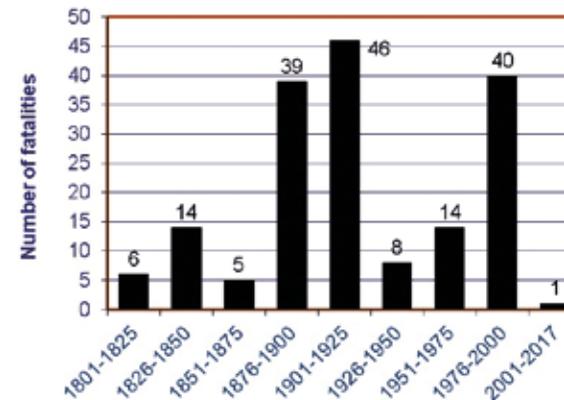


Fig. 2: Fatal snow avalanche accidents in populated (left) and unpopulated (right) areas 1801–2017.

Abb. 2: Lawineneignisse mit Todesfällen in besiedeltem (links) und unbesiedeltem (rechts) Gebieten in den Jahren 1801 – 2017.

accidents are most frequent in NW-, central N- and E-Iceland, where the main villages threatened by snow- and landslides are located (Figure 1), but accidents due to snow- and landslides have occurred at scattered locations all over the country (Björnsson, 1980). The pioneering work of Jónsson (1957), which was updated in 1992 (Jónsson and others, 1992), lists avalanches reported in annals and other sources since the 12th century. It lists predominantly avalanches that caused damage to inhabited areas and avalanches that caused fatal accidents. The first reported avalanche accident dates back to 1118 when a snow avalanche killed 5 people in western Iceland. Altogether, about 680 deaths by avalanches have been reported in Iceland since then. Unaccounted deaths may be assumed to have numbered several hundred.

Since 1901, 115 of the 197 victims of snow avalanches, slush flows and landslides in Iceland were killed in buildings, at work sites or within towns, and 82 were killed on roads or travelling in backcountry areas. Snow avalanches and slush flows caused 170 fatalities, but 27 fatalities were caused by landslides (including debris flows

Date	Location	Number of fatalities
20.12.1974	Neskaupstaður	12
22.01.1983	Patreksfjörður	4
05.04.1994	Tungudalur, Skutulsfirði	1
16.01.1995	Súðavík	14
18.01.1995	Grund, Reykhólahreppi	1
26.10.1995	Flateyri	20
13.01.2004	Bakki, Ólafsfirði	1
Total		52

Tab. 3: Fatal accidents due to snow avalanches in inhabited areas in Iceland 1974–2017.

Tab. 3: Todesfälle durch Lawineneignisse in besiedelten Gebieten Islands, 1974 – 2017.

and rock falls). Since the catastrophic avalanches in Neskaupstaður in 1974, 72 people have been killed by snow- and landslides. Figure 2 shows the number of fatalities caused by snow avalanches in Iceland since 1801 for populated areas and for unpopulated areas, respectively, grouped into 25-year intervals, and Table 3 shows the number of victims of snow avalanches in settlements since 1974. The figure shows that the death toll in unpopulated areas has been markedly reduced since the 19th century due to changes in farming practice and less travelling through dangerous mountain passes in wintertime. The fatalities in populated areas vary greatly between the quarter-century periods but do not show an obvious decline with time, with one of the worst periods being the last quarter of the 20th century, with 40 people killed, 34 of them in the two disasters in Súðavík and at Flateyri in the Westfjords, NW-Iceland, in 1995. This double catastrophe completely

changed the policy of the Icelandic government and the public attitude towards management of natural disasters in Iceland, with a greater emphasis on hazard zoning, protection measures and risk management.

Hazard zoning

In the wake of the snow avalanche accidents in Súðavík and at Flateyri in 1995, laws and regulations in Iceland about hazard zoning, evacuations of settlements at risk and protection measures were changed and governance of avalanche hazard was reorganised. The new hazard zoning regulation (The Ministry for the Environment, 2000) stipulates that individuals should not be exposed to risk due to snow avalanches or landslides close to or exceeding risk due to other causes of accidental death in society, such as traffic accidents. This led to the requirement that individual risk

Zone	Lower level of local risk	Higher level of local risk	Building restrictions
C	$3 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$	–	No new buildings, except for summer houses ¹ , and buildings where people are seldom present.
B	$1 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$	Industrial buildings may be built without reinforcements. New residential building must be reinforced and hospitals, schools etc. can only be enlarged and must be reinforced. The planning of new housing areas is not allowed.
A	$0.3 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$	Houses where large gatherings are expected, such as schools, hospitals etc., must be reinforced.

¹If the risk is less than $3 \cdot 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$ per year.

Tab. 4: Hazard zones according to the Icelandic regulation about snow- and landslides (The Ministry for the Environment, 2000). Local risk is defined as the annual probability of being killed for a person that stays all the time in a non-reinforced building. The local risk therefore omits the exposure. The actual risk may be found in each case given an appropriate assumption regarding the exposure. The regulation stipulates 75% exposure for residential buildings and 40% for industrial buildings.

Tab. 4: Kriterien der Gefahrenzonen nach Isländischer Richtlinie für Lawinen und Rutschungen, (The Ministry for the Environment, 2000). Lokales Risiko ist definiert als jährliche Wahrscheinlichkeit einer Person, die sich dauerhaft in einem nicht verstärkten Gebäude aufhält, umzukommen. Das lokale Risiko vernachlässigt dadurch also die Exposition. Das eigentliche Risiko kann daher nur durch eine angemessene Bewertung der Exposition bestimmt werden. Diese wird für Wohngebäude mit 75% und Industriegebäude mit 40% geschätzt.

of accidental death due to snow- or landslides should be no higher than $0.2 \cdot 10^{-4}$ per year when proper account has been taken of the exposure of the individual to the danger, in this case the expected proportion of time spent in the hazard zone. Hazard zoning methods were developed to estimate this risk from the frequency and destructive potential of snow avalanches at each location (Jónasson and others, 1999; Arnalds and others, 2004) based on a database of snow avalanches in Iceland and information about the vulnerability of the people caught in the catastrophic avalanches in 1995. The snow- and landslide hazard zoning regulation from 2000 defines three hazard zones, labelled A, B and C, with different restrictions on

land use (see Table 3). Figure 3 shows an example of a hazard map for part of the town of Ísafjörður in NW-Iceland where the hazard zoning has been revised after the construction of a 16-m high deflecting dam (Hnit and NGI, 1996) shown in Figure 4.

Protection measures

Following the catastrophic snow avalanches in the Westfjords in 1995, a government fund that finances protection structures and other safety measures in threatened areas, The Icelandic Snow- and Landslide Fund, was strengthened considerably. A plan was made by the govern-

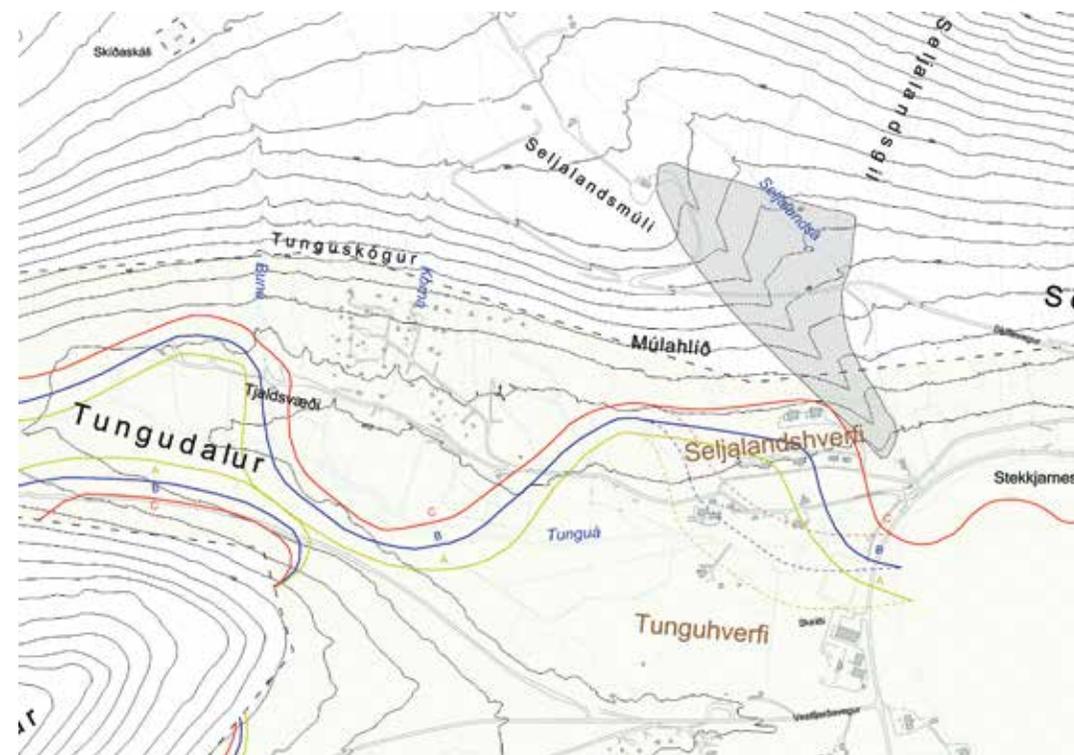


Fig. 3: Snow avalanche hazard zones for Seljalandshlíð in Ísafjörður, NW-Iceland. The solid lines show the boundaries of the A (yellow), B (blue) and C (red) zones of the Icelandic hazard zoning regulation. The dashed lines show the zones before the construction of a deflecting dam shown in Figure 4, seen as kinks in the contour lines in the shadow area on the map.

Abb. 3: Lawinengefahrenzonen für Seljalandshlíð in Ísafjörður, NW-Island. Die durchgezogenen Linien zeigen die Grenzen der Zonen A (gelb), B (blau) und C (rot) nach Isländischer Gefahrenzonenrichtlinie. Die gestrichelten Linien zeigen die ursprünglichen Zonen vor der Errichtung des Ablenkdamms (Abbildung 4), sichtbar in den Schichtenlinien im grau hinterlegten Bereich.



Fig. 4: The 16-m high deflecting dam on Seljalandsmúli in Ísafjörður, NW-Iceland. Two rows of breaking mounds have been built upstream of the dam to slow down the flow of the avalanche before it hits the dam (Photo: Tómas Jóhannesson, 16 April 2006).

Abb. 4: 16 m hoher Ablenkdamme und zwei Reihen Bremshöcker zur Geschwindigkeitsreduktion der Lawine. Seljalandsmúli in Ísafjörður, Nordwestisland. (Photo: Tómas Jóhannesson, 16. April 2006).

ment to construct snow- and landslide protection measures for hazard areas and/or to purchase property at risk to reduce the death toll and economic loss caused by snow avalanches and landslides (Jóhannesson and others, 1996). According to the initial plan, the construction of protection measures or relocation of settlements for the most dangerous areas had to be completed before the year 2010, but this deadline has been extended to 2020. The number of areas where protection measures have been installed since 1995 and the cost of these measures grouped by the main areas of the country, where dense settlements are at risk of snow- and landslides, are given in Table 4. The total cost had reached €148 million by 2016, and the remaining cost with respect to the plan from 1996 is on a similar order.

As part of the preparations for the build-up of snow avalanche protection measures in Iceland (Jóhannesson, 2003a), a field experiment was conducted in Siglufjörður, N-Iceland, to adapt the design of supporting structures in the starting zones of avalanches to Icelandic conditions (Jóhannesson and Margreth, 1999; Jóhannesson, 2003b; Jóhannesson and Hopf, 2009), small-scale laboratory experiments were done to investigate avalanche flow against breaking mounds and dams (Hákonardóttir and others, 2003a,b), and the dynamic snow avalanche model SAMOS (Sampl and Granig, 2009) was calibrated for Icelandic conditions (Gíslason and Jóhannesson, 2007). Avalanche dams in Iceland are designed with respect to guidelines composed in a collaboration between snow avalanche research institutes

Area	Number of projects/paths	Total cost (M€)
W- and NW-Iceland	11	71
N-Iceland	5	31
E-Iceland	6	41
General preparations/other costs	–	4
Sum	22	148

Tab. 5: Cost of protection measures and relocation of settlements in Iceland 1996 – 2016 divided between the three main areas where dense settlements are threatened by snow- and landslides (Figure 1) (price level and currency exchange rate of April 2017). The construction cost is shared between the Icelandic Snow and Landslide Fund (Ofanflóðasjóður) (90 %) and the local community (10 %).

Tab. 5: Ausgaben für Schutzmaßnahmen und Umsiedelungen in Island 1996 – 2016 aufgeteilt nach den 3 dicht besiedelten Hauptgefaregebieten (vgl. Abbildung 1) (Preisniveau und Wechselkurs mit Stand April 2017). Die Finanzierung der Baukosten ist zwischen dem Isländischen Lawinen und Rutschungs Fonds (Ofanflóðasjóður) mit 90 % und den örtlichen Gemeinden mit 10 % aufgeteilt.

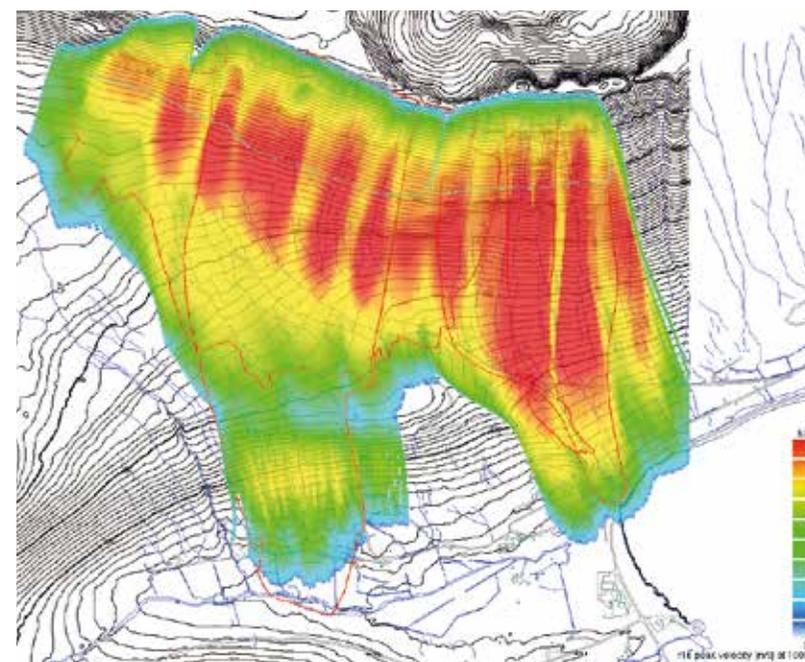


Fig. 5: Results of a SAMOS simulation of snow avalanche flow from Seljalandshlíð in Ísafjörður, W-Iceland, that was carried out as a part of hazards zoning after a deflecting dam had been built at Seljalandsmúli. The map shows the maximum velocity of the avalanche at each location of the path (m/s). The outlines of several of the largest recorded snow avalanches from the mountainside are shown with red curves.

Abb. 5: Lawinensimulation mit SAMOS für Seljalandshlíð in Ísafjörður, in Westisland, die im Zuge der Gefahrenzonenerstellung nach Errichtung des Ablenkdammes in Seljalandsmúli durchgeführt wurde. Die Ergebnisse zeigen durchgängig Höchstgeschwindigkeiten entlang der Lawinenpfade (m/s). Die rot umrandeten Bereiche stellen die größten dokumentierten Ereignisse aus der Chronik dar.

in Iceland, Norway, Austria and France (Jóhannesson and others, 2009). Two-dimensional dynamic snow avalanche modelling has been particularly important, both in the hazard zoning and in the design of avalanche dams in Iceland. Figure 5 shows an example of simulated snow avalanche flow from Seljalandshlíð in Ísafjörður, W-Iceland, carried out as part of the revision of the hazards zoning (Figure 3) (Jóhannesson and others, 2007) after the construction of a deflecting dam at Seljalandsmúli (Figure 4).

The Snow- and Landslide Fund law was modified in 2016, allowing it to fund hazard zoning and preventive measures regarding other natural hazards than snow- and landslides. This implementation is currently being organised by the government and the involved communities. The initial effort will be directed at the hazard from river and ocean floods, primarily hazard zoning and area planning. The need for protection measures for existing settlements and other hazard mitigation effort will be considered subsequently.

The value of life

One of the many difficult aspects of the governance of natural hazards is the balance that must be struck between the loss of human lives and economic loss. Tables 1–3 list the number of lives lost and the costs of material damages due to natural disasters in Iceland separately. These two aspects of the consequences of natural hazards must be combined in some manner to prioritise protection measures and for making many other decisions about hazard management. The snow- and landslide hazard in Iceland is comparatively simple in that many lives are lost compared with the material damages. Therefore, a decision was made, in the wake of the disasters in Súðavík and at Flateyri in 1995, to consider only the risk to human lives in the Icelandic snow- and landslide hazard zoning and take no account of the economic costs. This is not a viable strategy for other natural hazards in Iceland, where accidental death is rare but economic losses are heavy, such as for volcanic eruptions or earthquakes (see Tables 1 and 3).

One way of taking both the loss of lives and economic losses into account within a single framework is to associate a life lost in a natural disaster with a monetary amount. This amount may be determined based on an estimated “willingness to pay” (WTP) for saving lives in other areas of society such as in the health care system or in the industry. This methodology goes by several different names and abbreviations and is sometimes referred to as the “cost of life”, “value of preventing a fatality” (VPF) or “implied cost of averting a fatality” (ICAF). The willingness to pay for a life saved in modern Western societies is typically estimated in the order of a few million euros (WMO, 1999). As an example, it is likely that, over the next ca. two decades, all single-lane bridges

on the ring road in Iceland will be replaced with two-lane bridges at a total cost of \approx € 100 million to make the road network safer. The transportation capacity of the single-lane bridges is essentially the same as for the safer two-lane bridges due to the low traffic density in rural Iceland. This investment is, therefore, solely intended to prevent fatal (as well as serious) accidents. It may be crudely estimated that replacing all single-lane bridges on the ring road will save 10 lives and prevent 40 serious accidents over a 50-year lifetime of the bridges, equivalent to 23 fatalities if 3 serious accidents are counted as one fatality. This translates to a cost of \approx €4 million per avoided fatality, which is considered as an implicit value-of-life estimate based on the inferred willingness of Icelandic society to invest in a safer ring road. There is substantial uncertainty and arbitrariness in all the numbers involved in this derivation, so this result should perhaps be presented as € 3–5 million per prevented fatal accident.

On this basis, the 72 lives lost to snow- and landslides in Iceland since the accidents in Neskaupstaður in 1974 correspond to loss in the order of €300 million, which is a similar amount to the total direct economic loss due to natural disasters in Iceland in recent decades discussed above (Table 2). The high costs of protective measures implemented in villages threatened by snow- and landslides since 1995, discussed in the previous section, should be seen against the background of this high “cost” of the human tragedies associated with the snow- and landslide disasters. The “value” of the lives lost due to volcanic eruptions or earthquakes is, on the other hand, a small fraction of the corresponding economic loss, indicating the necessity of a different approach to hazard management for these natural hazards compared with the snow- and landslides.

Risk management

The difference between snow- and landslides, on the one hand, and many other natural hazards that need to be considered in Iceland, on the other, highlights the need for an adaptable risk management strategy that takes accidental fatalities, economic loss and societal disruption into account in a consistent manner. Economic considerations will in many cases dominate the risk assessment, and acceptable risk must be determined primarily based on monetary considerations, although risk to life is also important. Planning of settlements is of prime importance, but risk to tourists, aviation, communication lines and the general functioning of society must also be considered. Evacuation and other emergency response after natural disasters occur is also a critical element of general risk management. Risk to life and risk acceptance in this context are many-faceted concepts where the utility of the activity in question, societal risk (few or many persons involved in a single event), natural and man-made hazards, voluntary/involuntary risk, personal control and experience, short- or long-term and moderate or far-reaching consequences are among the issues that need to be considered (Lacasse and others, 2012). The resilience of society is also a critical concept, especially as regards the management of residual risk that remains after measures to reduce the risk due to natural hazards have been implemented (UNISDR, 2015).

In many or most cases, there will be substantial uncertainty about the nature of the hazard in question (return period, intensity, vulnerability) and the effectiveness of possible protective efforts, so the risk management strategy will unavoidably be based on expert evaluation and judgement without an explicit technical argumentation or derivation. The ALARP principle (“as low as reasonably practicable”) (NGI, 2011) may provide

useful guidance in such cases. We may not be able to quantify all the factors that determine hazards, vulnerability, protective measures and other relevant aspects of the problem under consideration, but we can perhaps implement measures and make plans that are obviously useful where possible and adopt a wait-and-see approach where the uncertainty is very great. There are several important components in an ALARP risk management approach:

- Long-term planning of safe new settlements,
- Long-term development of existing settlement aiming for improved safety,
- Proper difference between requirements for planned and existing settlements,
- Improved resilience of power and communication systems,
- Sensible crowd management,
- Efficient emergency planning,
- Promotion of common sense at all levels dealing with risk.

The last element on the above list is of paramount importance. Common sense regarding natural hazards is not applied by default in the development of society. It must be consciously applied and actively promoted at all levels of societal planning. This is the most important role of risk management and hazard zoning.

Acknowledgements

Information about insurance payments and other costs of natural disasters in Iceland was provided by Ásgeir Ásgeirsson and Jón Örvar Bjarnason from the Iceland Catastrophe Insurance, Freyr Jóhannesson at Almenna Verkfræðistofan, and by the Icelandic Ministry for the Environment and the Icelandic Road and Coastal Administration. Ken Moxham helped with the English language.

Author's address / Anschrift des Verfassers:

Tómas Jóhannesson
Icelandic Meteorological Office
Bústaðavegur 7–9, IS-108 Reykjavík, Iceland
tj@vedur.is

References / Literatur:

- ARNALDS Th., JÓNASSON K., SIGURÐSSON S. Þ. (2004). Avalanche hazard zoning in Iceland based on individual risk. *Ann. Glaciol.* 38: 285–290.
- BJÖRNSSON B. (1980). Avalanche activity in Iceland, climatic conditions, and terrain features. *J. Glaciol.* 26(94): 13–23.
- FINNSSON H. (1796). Um mannfækkun af hallærum á Íslandi (About the reduction in the population of Iceland due to famine). *Rit þess kgl. ísl. lærdómslistafélags*, XIV, 30–226.
- GÍSLASON E., JÓHANNESSON T. (2007). Calibration of the samosAT 2D avalanche model for large Icelandic dry-snow avalanches. *Icel. Meteorol. Office, Rep.* 07006.
- HÁKONARDÓTTIR K. M., HOGG A. J., JÓHANNESSON T. (2003a). A laboratory study of the interaction between supercritical shallow flows and dams. *Icel. Meteorol. Office, Rep.* 03038.
- HÁKONARDÓTTIR K. M., HOGG A. J., JÓHANNESSON T., TÓMAS-SON G. G. (2003b). A laboratory study of the retarding effects of breaking mounds on snow avalanches. *J. Glaciol.* 49(165), 191–200.
- HNIT and NGI (1996). Ísafjörður. Seljaland. Assessment of snow avalanche hazard and preliminary design of protective measures. Reykjavík, Report NGI-954120-1/Hnit-69-101-SK-1.
- IceSAR (Slysavarnafélagið Landsbjörg) (2001–2013). Árbækur (Yearbooks) 2001–2013. Reykjavík.
- ITSB (Icelandic Transportation Safety Board) (2002–2016). Annual reports about accidents at sea 2002–2016. Reykjavík.
- JÓHANNESSON T., LIED K., MARGRETH S., SANDERSEN F. (1996). An overview of the need for avalanche protection measures in Iceland. *Icel. Meteorol. Office, Rep.* R96004.
- JÓHANNESSON T., MARGRETH S. (1999). Adaptation of the Swiss Guidelines for supporting structures for Icelandic conditions. *Icel. Meteorol. Office, Int. Rep.* 99013.
- JÓHANNESSON T. (2001). Náttúruhamfarir á Íslandi (Natural catastrophes in Iceland). In: Gunnarsdóttir, M. J., ed., *Orkuþing 2001. Orkuþingun á Íslandi. Grunnur til stefnumótunar* (Energy in Iceland 2001. Planning for the future). Reykjavík, Samorka: 238–246.
- JÓHANNESSON T. (2003a). Field observations and laboratory experiments for evaluating the effectiveness of avalanche defence structures in Iceland. Main results and future programme. In: F. Naaim-Bouvet, ed., *Proceedings of the International Seminar on Snow and Avalanches Test Sites*, Grenoble, France, 22–23 November 2002. Grenoble, Cemagref: 99–109.
- JÓHANNESSON T. (2003b). Addendum to the “Adaptation of the Swiss Guidelines for supporting structures for Icelandic conditions (IMO Rep. 99013)”. *Icel. Meteorol. Office, Memo Tj-2003-05.*
- JÓHANNESSON T., HOPF J. (2009). Loading of supporting structures under Icelandic conditions. The type of structures and structural requirements in future projects. Results of a

- field experiment in Siglufjörður. In: Jóhannesson T., Eiríksson G., Hestnes E., Gunnarsson J., eds., *Proceedings of the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches*, Egilsstaðir, Iceland 11–14 March 2008. Reykjavík, The Association of Chartered Engineers in Iceland: 143–150.
- JÓHANNESSON T., GAUER P., ISSLER D., LIED K., eds. (2009). The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments. Brussels, Directorate-General for Research, Environment Directorate, European Commission, Report EUR 23339, 195 pp. doi: 10.2777/12871.
- JÓHANNESSON T., SIGURÐSSON, H. Þ., GRÍMSDÓTTIR, H. (2011). Hættumat fyrir Seljalandshverfi, Tunguskeið, Tungudal og Dagverðardal (Hazard zoning for Seljalandshverfi, Tunguskeið, Tungudalur og Dagverðardalur). *Icel. Meteorol. Office, Int. Rep.* 07008.
- JÓNASSON K., SIGURÐSSON S. Þ., ARNALDS Th. (1999). Estimation of Avalanche Risk. *Icel. Meteorol. Office, Rep.* R99001.
- JÓNSSON Ó. (1957). Skriðuföll og snjóflóð (Landslides and snow avalanches). I, II. Akureyri, Bókaútgáfan Norðri.
- JÓNSSON Ó., RIST S., SIGVALDASON J. (1992). Skriðuföll og snjóflóð (Landslides and snow avalanches). I, II, III. Reykjavík, Bókaútgáfan Skjaldborg.
- LACASSE S., NADIM F., HØEG K. (2012). Risk Assessment and Mitigation in Geo-Practice. In: Rollins K., Zekkos D., eds. *GeoCongress 2012: Geotechnical engineering. State of the art and practice. Keynote lectures*. ASCE, 729–764.
- NGI (2011). Utredning av flom- og skredforvaltning og akseptabel risiko. Rapport for Delutredning 1 og Delutredning 2 (About flood and landslide management and acceptable risk). Oslo, Norwegian Geotechnical Institute, Rep. 20110501-00-2-R, 117 pp. (written by Kalsnes B., Høydal Ø., Sandersen F., Kaiser G., Vangelsten B. V., Eidsvig U.).
- SAMPL P., GRANIG M. (2009). Avalanche Simulation with SAMOS-AT. *Proceedings of the International Snow Science Workshop*, Davos, 2009, 519–523.
- SÓLNES J., SIGMUNDSSON F., BESSASON B., eds. (2013). Náttúruvá á Íslandi – Eldgos og jarðskjálftar (Natural hazards in Iceland – Volcanic eruptions and earthquakes). Reykjavík, Iceland Catastrophe Insurance and University of Iceland Press, 785 pp.
- STATISTICS ICELAND (1997). Hagskinna: Sögulegar hagtölur um Ísland (Icelandic Historical Statistics). Magnússon G., Jónsson M. S., eds. Reykjavík.
- STEFFENSEN J. (1975a). Hungursóttir á Íslandi (Famine in Iceland). In: *Menning og meinsemdir* (Culture and disease). Reykjavík, Sögufélagið: 341–425.
- STEFFENSEN J. (1975b). Fólksfjöldi á Íslandi í aldanna rás (The population of Iceland through the ages). In: *Menning og meinsemdir* (Culture and disease). Reykjavík, Sögufélagið: 434–449.
- THE MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT (2000). Reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats (Regulation on hazard zoning due to snow- and landslides, classification and utilisation of hazard zones, and preparation of provisional hazard zoning). Available in English translation at http://vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/reglugerud_505_2000_e.pdf.
- THÓRARINSSON S. (1974). Saga lands og lýðs í ellefu aldir (The history of Iceland and the Icelandic nation over eleven centuries). In: Línal S., ed., *Saga Íslands* (The history of Iceland) I. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag: 29–97.
- UNISDR (2015). GAR. The Global Assessment Report 2015. Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. United Nations, ISBN 978-92-1-132042-8, 316 pp.
- WMO (1999). Comprehensive risk assessment for natural hazards. Geneva, World Meteorological Organization, WMO/TD No. 955.

LAWINENWÄCHTER® HÖHER. WEITER. SICHER.



Eine breite Produktpalette für die optimale Lawinensicherheit am Berg und im Tal.

Die Inauen-Schätti AG verfügt über die breiteste Produktpalette von Lawinenauslösesystemen – vom vollautomatischen Remote-Control-System bis hin zum verlängerten Arm des Patrouilleurs, dem Booster 500.

Flexible Lösungen für jedes Gebiet bei jedem Wetter begeistern unsere Kunden und dies mit höchster Verfügbarkeit und Sicherheit.

PETER GAUER

Risikomanagement in lawinenexponierten Gebieten Norwegens

Risk management in avalanche exposed areas in Norway

Zusammenfassung:

Dieser Beitrag entstand anlässlich des Symposiums "VISIONS OF AVALANCHE PROTECTION" 27–28 April 2017 in Galtür, Tirol. Er greift einige immerwährende und dennoch aktuelle Fragen des Lawinenrisikomanagements in Norwegen auf.

Stichwörter: Lawine, Gefahr, Gefährdung, Risiko

Abstract:

This article originated from the Symposium "VISIONS OF AVALANCHE PROTECTION" 27–28 April 2017 in Galtür, Tyrol. It tackles a number of everlasting and still current issues of avalanche risk management in Norway.

Keywords: Avalanche, danger, hazard, risk

Einleitung

Obwohl Norwegen dünn besiedelt ist haben Lawinen aufgrund der topographischen Gegebenheiten einen beträchtlichen Anteil an den Opfern und Schäden durch Naturgefahren. In den letzten 40 Jahren gab es rund 220 Todesopfer, davon waren etwa 20 in Gebäuden. Das entspricht einer Sterbehäufigkeit von $\approx 1,1 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr allgemein bzw. von $\approx 9,6 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr in Gebäuden für gesamt Norwegen. In Österreich liegt die Sterbehäufigkeit durch Lawinen bei $\approx 3,4 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr (bezogen auf die Periode 1950 bis 2004). Die Sterbehäufigkeit im Straßenverkehr beläuft sich auf $\approx 4,2 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr in Norwegen und auf $\approx 7,9 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr in Österreich (jeweils bezogen auf die Periode 2001 bis 2015). Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die Anzahl von Aufzeich-

nungen über Gebäudeschäden und Lawinentoten in den letzten vierhundert Jahren in Norwegen. Demnach gibt es circa 900 Aufzeichnung, wobei die Anzahl der betroffenen Gebäude deutlich höher ist da einzelne Aufzeichnung auch mehrere Gebäude umfassen. Auch ist von einer hohen Dunkelziffer in den vorhergehenden Jahrhunderten auszugehen. Die genaue Zahl der Lawinentoten in dem Zeitraum ist ebenfalls unsicher. Die Größenordnung dürfte aber bei 2500 bzw. 5 bis 10 pro Jahr liegen. Ein Winter der sich besonders hervorhebt ist der Winter 1867/1868 am Ende der "kleinen Eiszeit" mit über 50 Aufzeichnungen und rund 160 Lawinentoten. Die Wiederkehrperiode bedeutender Ereigniszyklen (d.h. mehr als 5 Schadensaufzeichnungen pro Jahr) ist circa 10 Jahre und der langjährige Durchschnitt beträgt rund zwei Ereignisse pro Jahr.

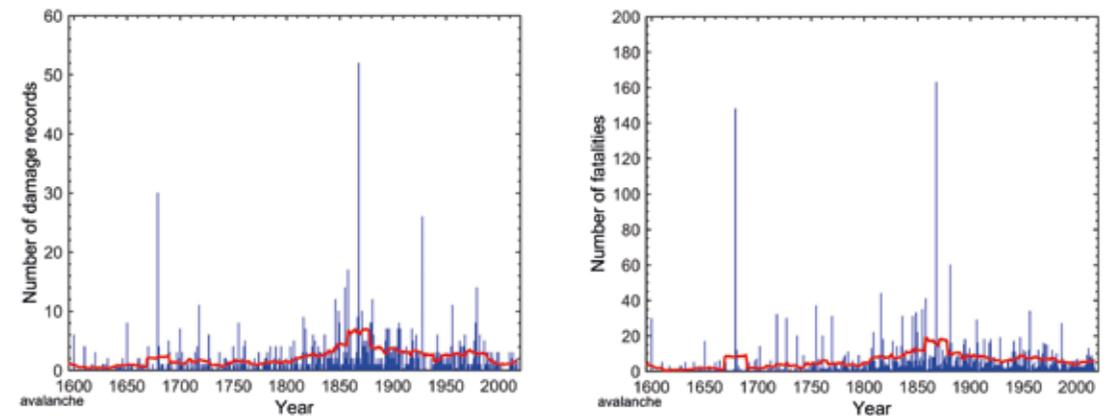


Abb. 1: Anzahl der Aufzeichnungen über Gebäudeschäden (links) und Lawinentote (rechts) in Norwegen für den Zeitraum zwischen 1600 und 2017. Die roten Linien zeigen den gleitenden Mittelwert (Daten basieren auf NVE's Web-site <http://www.skrednett.no/>; ohne Sulzströme)

Fig. 1: Records of building damages (left) and avalanche fatalities (right) in Norway during the period from 1600 to 2017. The red lines show a running mean. (Data based on NVE's net-site <http://www.skrednett.no/>; disregarding slushflows)

Nach einer Reihe folgenschwerer Ereignisse in den 1960er und Anfang der 1970er Jahre ernannte das Norwegische Parlament das Norwegische Geotechnische Institute (NGI) zum Kompetenzzentrum für Lawinen mit der Vorgabe, eine Versuchsstation aufzubauen (Stortingsmelding Nr. 9 1972-73 Innst. S. nr. 68, 1973), was mit der Versuchsstation Fonnbu/Ryggfonn umgesetzt wurde. Im Jahr 2009 bekam das Norwegische Wasser- und Energiedirektorat (NVE) als eine staatliche Institution das Mandat für den verwaltungstechnischen Umgang mit Lawinen in der Raumplanung.

Regelungen bezüglich der Lawinengefahr in der Raumplanung in Norwegen

Grundlage für die Behandlung der Lawinengefahr in der Raumplanung in Norwegen bilden die "Byggtknisk forskrift" TEK10 (bautechnische Vorschrift). Erste Regelungen bezüglich Lawinen-

gefahren wurden 1924 in die Bauvorschriften aufgenommen. Seit 1966 sind diese im ganzen Land in Kraft gesetzt. Zuständig für die Einhaltung der Plan- und Bauvorschriften sind die Gemeinden.

Im Wesentlichen werden drei Sicherheitsklassen bezüglich Lawinen unterschieden, die sich durch die Eintrittswahrscheinlichkeiten unterscheiden. Im Gegensatz zu den meisten Alpenländern existieren keine spezifischen Druckkriterien für die einzelnen Gefahrenzonen, vielmehr umschreiben die Regeln der Bauvorschriften, daß Schäden mit hohen Konsequenzen nicht vorkommen dürfen. Nur für Ausnahmenregelungen werden zusätzlich Druckkriterien vorgeben die nicht überschritten werden dürfen. Weiterhin wird geregelt, daß Objekte oder Gebäude mit sehr hohen gesellschaftlichen Konsequenzen, generell nicht in gefährdeten Gebieten gebaut werden dürfen. Norwegen, wie auch die meisten alpinen Länder, nimmt in der Raumplanung damit

Sicherheitsklasse für Lawinen	Konsequenzklasse	Maximale nominelle* jährliche Wahrscheinlichkeit	Gebäude- oder Objekttypen
S1	gering	$< 10^{-2}$ ($< 1/100$)	Garage, Bootshaus, Lager mit geringen Personenaufenthalt
S2	mittel	$< 10^{-3}$ ($< 1/1000$)	Wohnhäuser, Reihenhäuser bis 10 Wohneinheiten, landwirtschaftliche Betriebsgebäude
S3	hoch	$< 2 \cdot 10^{-4}$ ($< 1/5000$)	Reihenhäuser mit mehr als 10 Wohneinheiten, Kindergärten, Schulen, lokale Bereitschaftsinstitutionen
	sehr hoch	nicht akzeptabel	Krankenhäuser, nationale Bereitschaftsinstitutionen, Raffinerien

* Hier wird das Wort "nominell" gebraucht um diese Wahrscheinlichkeiten von reellen zu unterscheiden. Es ist zugegebener Maße schwierig oder gar unmöglich genaue Lawinenwahrscheinlichkeiten zu berechnen und eine wissenschaftliche Expertenbeurteilung mag zusätzlich notwendig sein.

Tab. 1: Gefahrenzonen für Lawinen und Rutschungen in Norwegen. Nominelle Wahrscheinlichkeit laut Norwegischen Bau- und Planungsgesetz (<https://dibk.no/byggeregler/tek/>; Stand 01.01.2016).

Tab. 1: Hazard zones for snow avalanches and landslides in Norway. Nominal probability according to the Norwegian Building and Planning Act (<https://dibk.no/byggeregler/tek/>; as of 01.01.2016).

in erster Linie die Gefährdung als Basis. Anders z. B. Island, das explizit drei Risikozonen unterscheidet in denen abhängig von der individuellen Sterbewahrscheinlichkeit Nutzungs- oder Baubeschränkungen gelten.

Gefahr, Gefährdung und Risiko

Um die Unterschiede in den Ansätzen zu verstehen muss man zuerst die Begriffe Gefahr, Gefährdung und Risiko unterscheiden. Die folgenden Definitionen entsprechen denen der International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE, 2004):

Gefahr (danger/threat): Ein natürliches Phänomen, das zu Schäden führen kann. Es wird beschrieben durch Geometrie, mechanische und andere Eigenschaften. Die Gefahr kann eine bestehende (wie ein kriechender Hang) oder eine potentielle (wie eine Lawine) sein. Die Charakterisierung einer Gefahr oder Bedrohung beinhaltet dabei keine Eintrittsvorhersage (-wahrscheinlichkeit).

Gefährdung (hazard): Die Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Gefahr (Bedrohung) innerhalb eines bestimmten Zeitraums eintritt.

Risiko (risk): Maß für die Wahrscheinlichkeit und Schwere einer nachteiligen Wirkung auf Leben, Gesundheit, Eigentum oder die Umwelt.

Quantitativ: **Risiko = Gefährdung × potentieller Verlustwert.**

Dies kann auch ausgedrückt werden als "Die Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses mal die Konsequenzen, falls das Ereignis eintritt"

Es gibt noch weitere Risikodefinitionen. Für die Betrachtung des Lawinenrisikos eignet sich besonders der Ansatz wonach das Risiko eine Funktion

der Gefährdung, der Exposition und der Vulnerabilität ist:

$$\text{Risiko} = f(\text{Gefährdung}, \text{Exposition}, \text{Vulnerabilität}) \quad \text{Gl. (1)}$$

Um Aussagen über das Risiko aufgrund von Lawinen zu treffen ist es notwendig die Größenordnung der einzelnen Faktoren abzuschätzen. In einigen Fällen ist das für die Exposition noch einfach möglich. So ist die Exposition eines Hauses in einer Sturzbahn von der Größenordnung 1. Für die Gefährdung und Vulnerabilität ergeben sich aber oftmals bedingte Wahrscheinlichkeiten deren Abschätzung selten analytisch beschrieben werden können.

Lawinengefährdung

Die Lawinengefährdung zum Beispiel ergibt sich aus einer Kombination verschiedener Einflussparameter, wie z. B.:

- Gelände (Hangneigung, Exposition, ...)
- Vegetation (Bodenbewuchs, Bestandesdichte, ...)
- Niederschlag (Häufigkeit, Menge, Schnee oder Regen, ...)
- Windeinfluß
- Schneedeckeneigenschaft (maritim, kontinental, ...)
- Lawinenausläufänge

Man erkennt schon aus der Auflistung, daß sich auch hier eine Reihe bedingter Wahrscheinlichkeiten erwarten lassen. Eine gebräuchliche Vereinfachung zur Quantifizierung der Lawinengefährdung H eines spezifischen Ortes ist der Ansatz

$$H = P_L * P_A \quad \text{Gl. (2)}$$

wobei P_L die Lawinenwahrscheinlichkeit bezeichnet und P_A die Wahrscheinlichkeit, daß die Lawine den bestimmten Punkt auch erreicht. Dabei wer-

den die Wahrscheinlichkeiten im Allgemeinen als unabhängig betrachtet (Schläppy et al., 2014). Die Lawinenwahrscheinlichkeit wird dabei gerne mit der Dreitagesneehöhe in Verbindung gebracht (siehe McClung und Schaerer, 2006). Der Dreitagesneezuwachs wird außerdem in Verbindung mit der Anbruchmächtigkeit gebracht, ein wichtiger Parameter für moderne Lawinenmodelle zu Berechnung der Auslauflänge und Lawinenintensität (Salm et al. 1990). Daraus ergibt sich, dass der Ansatz in Gl. (2) mit der Annahme unabhängiger Wahrscheinlichkeiten eine sehr starke Vereinfachung ist. Auch dürfte die alleinige Kopplung der Anbruchmächtigkeit mit der maximalen Dreitagesneehöhe in vielen Fällen mit einer Unterschätzung des Lawinenvolumens behaftet sein.

Betrachtet man die Auslösewahrscheinlichkeit für sich, so mag ein einfaches probabilistisches Modell mit einer Grenzzustandsfunktion/Performancefunktion G der Form

$$G = R - L < 0 \quad \Rightarrow \text{Lawinenauslösung} \quad \text{Gl. (3)}$$

wobei R der Widerstand und L die Beanspruchung

ist, für die Abschätzung der Auslösewahrscheinlichkeit und der gleichzeitig zu erwartenden Anbruchmächtigkeit besser geeignet zu sein (siehe z. B. Gaume et al., 2013). Die Zufallsparameter R und L (und deren Verteilungen) ergeben sich aus einem mehr oder weniger komplizierten Schneedeckenmodell. Abbildung 2 zeigt eine Anwendung eines einfachen probabilistischen Modells basierend auf einem Mohr-Coulomb-Bruchkriterium, das die Gesamtsneehöhe der Altschneedecke und den 3-Tages Neuschneesumme berücksichtigt. Das Beispiel zeigt die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(A|HNW_{3d})$ für den Lawinenpfad des norwegischen Versuchsgeländes Ryggfonn. Die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(A|HNW_{3d})$ beschreibt die Wahrscheinlichkeit einer Lawine unter der Voraussetzung, von HNW_{3d} Neuschnee in den vorhergehenden drei Tagen. Das eingebettete Diagramm zeigt die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anbruchmächtigkeit D_{rel} . Mit Verbesserungen dieses Ansatzes lässt sich eine objektivere Abschätzung der Wiederkehrdauer und entsprechender Anbruchmächtigkeit erreichen.

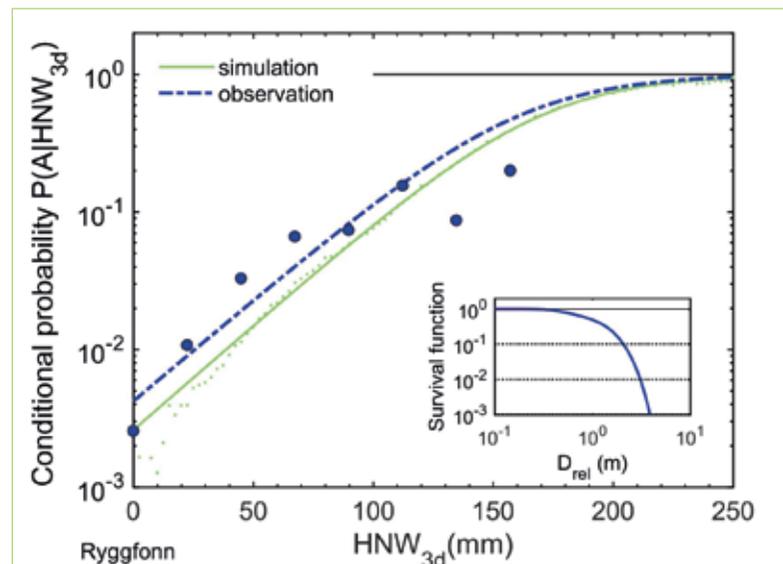


Abb. 2: Vergleich zwischen beobachteter und simulierter Wahrscheinlichkeit $P(A|HNW_{3d})$ für Ryggfonn. Die Linien zeigen die entsprechenden Kurvenanpassungen. Das Diagramm rechts unten zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der erwarteten Anbruchmächtigkeit D_{rel} .

Fig. 2: Comparison between observed and simulated $P(A|HNW_{3d})$ for the Ryggfonn path. Lines show the corresponding fits. The inset shows the probability distribution of the expected fracture depth D_{rel} .

Wirkung des Waldes in Anbruchgebieten

Es ist allgemein anerkannt, daß ein dichter Wald eine schützende Wirkung gegen Lawinenauslösung hat (Olschewski und andere, 2012, Bebi und andere, 2001). Die schützende Wirkung beruht einerseits auf einer Änderung der Schneedeckeneigenschaften, z.B. durch die geringere Ausbildung von kontinuierlichen Schwachschichten, die einem Lawinenabgang beitragen (Gubler und Rychetnik, 1991; Teich und andere, 2016). Zum anderen wird die Schneedecke durch die Baumstämme direkt abgestützt. Weniger gut etabliert sind allerdings die spezifischen Kriterien, die eine ausreichende Sicherheit gewährleisten. Vergleicht man angegebene Kriterien für die Bestandesstruktur (Meyer-Grass und Schneebeli, 1992, Viglietti et al. 2010, Ishikawa, 1969) mit typischen norwegischen Verhältnissen (Waldbeständen) so scheinen diese Kriterien eher konservativ zu sein.

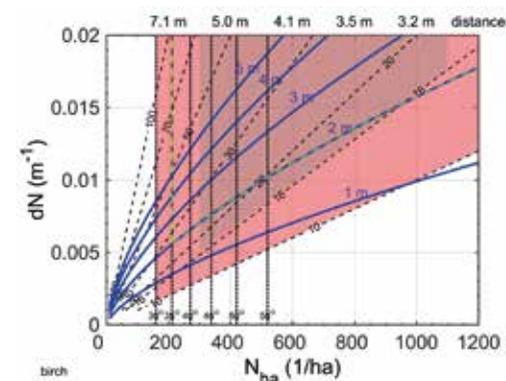


Abb. 3: Links: Vorgeschlagene Kriterien für dN versus N_{ha} abhängig von der Schneehöhe HS und für Hangneigungen zwischen 30° und 55° , um nach Gl (5) eine Stabilisierung der Schneedecke eines Birkenbestandes zu erreichen. Der rot schattierte Bereich zeigt den Bereich, in dem der Wald einen erheblichen Beitrag zur Schneedeckenstabilisierung leistet. Die blauen Linien zeigen HS und gepunktete Linien die Hangneigung und die schwarz gestrichelten Linien kennzeichnen die BHD-Werte in cm. Die grauschattierte Fläche zeigt den Bereich, der nach Meyer-Grass und Schneebeli (1992) für $BHD > 16$ cm als ausreichend angesehen werden kann. Die grün gestrichelte Linie zeigt ein Beispiel für $HS = 2$ m und einer Hangneigung von 35° . Die rechte Abbildung zeigt ein Beispiel für den Parameter dN abgeleitet aus SAT-Skogs-Daten in Norwegen.

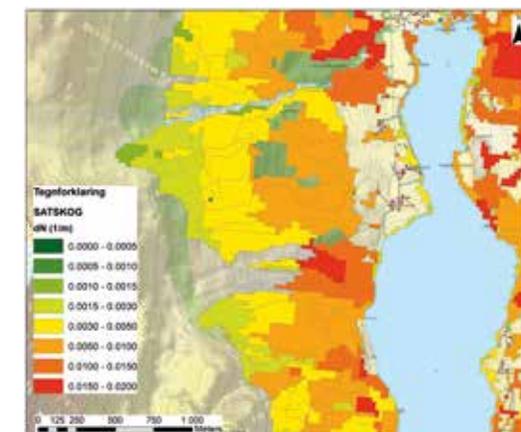
Fig. 3: Proposed criteria for dN versus N_{ha} depending on HS and for slope angles between 30° and 55° to obtain a forest contribution to the stabilization of the snowpack according to condition Gl (5) for a birch stand (left panel). The red shaded area shows the whole range in which forest provides considerable contributes to the snowpack stabilization. The blue lines show HS , dotted lines the slope angles and black dashed lines mark BHD-values in cm. According to Meyer-Grass and Schneebeli (1992), the underlying grey-shaded area depicts the range that could be regarded sufficient for $BHD > 16$ cm. The green dashed line shows an example for $HS = 2$ m and a slope angle of 35° . The right panel shows an example of the derived parameter from SAT-Skogs data in Norway.

Anderenfalls erfüllen viele norwegische Waldbestände keine ausreichende Schutzfunktion.

Im Rahmen eines Projektes zur Verbesserung der Gefahrenhinweiskarte in Norwegen wird daher versucht die existierenden Kriterien zu präzisieren (Gauer, 2016). Als Ausgangspunkt wird hierfür zuerst nur die erforderliche Stützwirkung eines Bestandes in Bezug auf eine bestimmte maximale Auslösewahrscheinlichkeit betrachtet. Dabei ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Brusthöhendurchmesser. Auch hierbei eignet sich ein einfaches probabilistisches Modell mit einer Grenzzustandsfunktion G der Form

$$G = -1 + R_S / L + R_{FS} / L < 0 \quad \text{Gl. (4)}$$

um den Effekt eines Waldbestandes abzuschätzen. R_S beschreibt die Schneedeckenstabilität und R_{FS} die zusätzliche Stützwirkung des Bestandes. R_S ,



R_{FS} und L werden als Zufallsvariable mit bestimmter Wahrscheinlichkeitsverteilung angesehen. Letzten Endes ergeben sich die Bestandskriterien aus der angestrebten maximalen Wahrscheinlichkeit. Für eine jährliche Lawinewahrscheinlichkeit von weniger als 10^{-3} folgt aus Gl. (4) der Zusammenhang:

$$p_{ff} = P \{G(1, R_S / L, R_{FS} / L < 0\} = 10^{-3} \quad \text{Gl. (5)}$$

Als ein entscheidender Faktor ergibt sich dabei das Produkt $d \cdot N$ mit N als Anzahl der Stämme pro m^2 und d dem Brusthöhendiameter (BHD) in m . Das Produkt ist abhängig von der zu erwartenden Schneehöhe HS und der Hanghangneigung sowie von der Baumart. Im gezeigten Beispiel in Abbildung 3 wären die Kombinationen (N_{ha} , dN) für einen Birkenbestand ausreichend die rechts und oberhalb der grün-gestrichelten Linie liegen, wobei N_{ha} die Stammzahl pro Hektar ist.

Das Produkt dN hat auch eine entscheidende Bedeutung für Beurteilung der Bremswirkung eines Waldbestandes auf Lawinen. Es geht gemäß Newton's drittem Gesetzes "actio est reactio" als Faktor direkt in die Bremskraft ein.

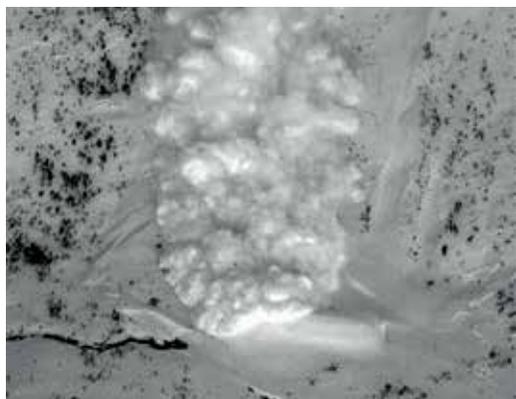


Abb. 4: Trockenschneelawine 2000-02-17 (links) überfährt den Lawinendamm im Auslaufbereich des Testgeländes Ryggfönn und Naßschneelawine 2005-04-16 (rechts), die als Trockenschneelawine startete, aber im feuchten Schnee im Talboden vor dem Damm auslief. Beide Lawinen sind zum Zeitpunkt des Fotos noch in Bewegung. (Fotos K. Kristensen und A. Moe, NGI)

Fig. 4: Dry-mixed avalanche 2000-02-17 (left) surpassing the catching dam in the "runout area" of the Ryggfönn test site and avalanche 2005-04-16 (right), which started as dry snow avalanche but run into damp snow in the valley bottom and stopped at the dam. Both avalanches are still in motion at the time of the photograph. (photos K. Kristensen and A. Moe, NGI)

Lawinenintensität

Für die Beurteilung des Lawinenrisikos ist ebenfalls die Kenntnis über Intensität und der damit verbundenen Vulnerabilität eines betrachteten Objekts notwendig. In erster Linie ist dafür die Druckwirkung der Lawinen am Ort entscheidend, die sich als eine Funktion der Lawinengeschwindigkeit und der Fließdichte ergibt. Die gebräuchlichen Lawinenmodelle berechnen zwar die Lawinengeschwindigkeiten, gehen dabei aber in erster Linie von einer konstanten Fließdichte aus (Christen et al. 2010; Sampl und Granig, 2009). Dagegen zeigen Lawinenversuche, daß das Fließregime und die damit verbundene Dichteänderung entscheidenden Einfluß auf die Druckwirkung hat. Abbildung 4 zeigt Beispiele für eine Trockenschneelawine und eine Lawine nach Übergang



zur Naßschneelawine. Ihre Druckwirkungen unterscheiden sich deutlich. Auch kann die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen, wie Fang- oder Leitdämmen, vom Fließregime abhängen.

Dennoch ist die Lawinengeschwindigkeit für den Praktiker ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Lawinenintensität und dessen Abschätzung ein wichtiger Schritt bei der Risikobeurteilung. Obwohl Lawinenmodelle die Geschwindigkeiten berechnen ist es wichtig für den Praktiker eine Vorstellung der zu erwartenden Geschwindigkeiten bei Bemessungsereignissen zu haben, um die Zuverlässigkeit der Berechnungen

zu kontrollieren. Daher sollte unbedingt hinterfragt werden, wenn Lawinenmodelle für Bemessungsereignisse deutlich niedrigere oder höhere Maximalgeschwindigkeiten liefern als Beobachtung indizieren. Abbildung 5 zeigt Mittlere-, den Bereich $\pm \sigma$, sowie die Maximalgeschwindigkeit einer Reihe von Messungen an außergewöhnlichen Lawinen, d. h. relative große Lawinen bezogen auf die jeweilige Sturzbahn (Gauer, 2013; 2014). Für diesen Vergleich wurden alle Sturzbahnen mit der maximalen Fallhöhe H_{SC} skaliert und die Geschwindigkeit als dimensionslose Zahl $U / \sqrt{gH_{SC}}$ dargestellt.

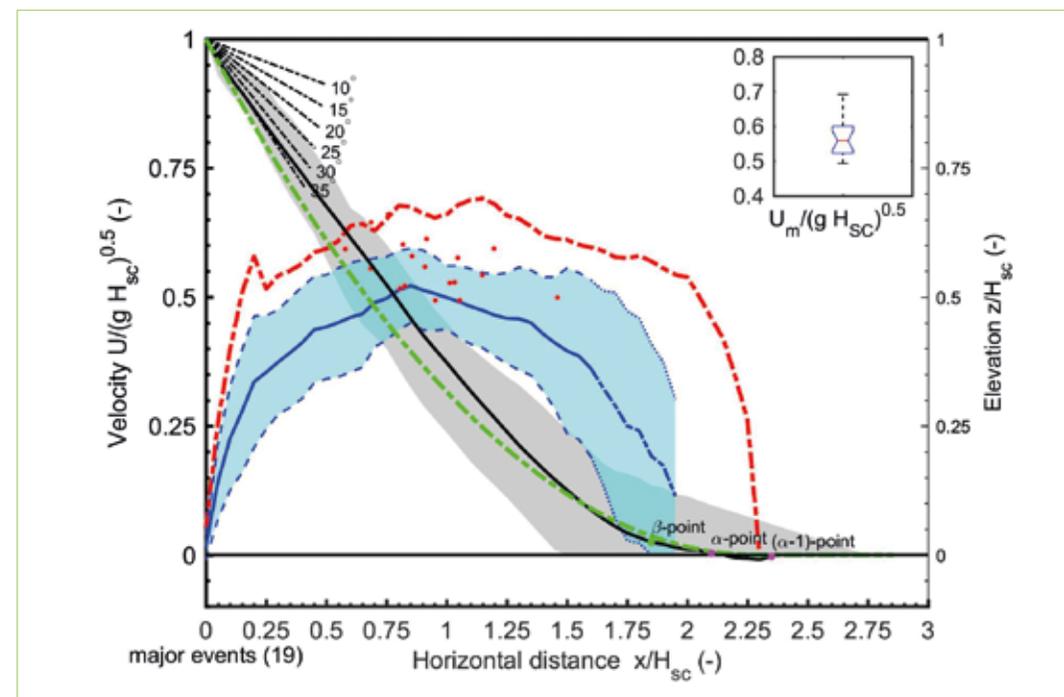


Abb. 5: Bereich der Frontgeschwindigkeiten entlang der Sturzbahn für eine Reihe von Messungen an verschiedenen außergewöhnlichen Lawinen. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert, die blau-gestrichelten Linien den Bereich $\pm \sigma$ und die rote gestrichelte Linie die maximale beobachtete Geschwindigkeit. Die roten Punkte markieren das jeweilige Maximum der verschiedenen Messungen. Die schwarze Linie repräsentiert die Geometrie einer "mittleren Sturzbahn" und die grauschattierte Fläche die Umhüllende aller Sturzbahngeometrien. Als Referenz werden die β -Punkte sowie der α und $\alpha-1$ Punkt gezeigt (zur Erläuterung siehe Lied und Bakkehoi, 1980). Die grüne gestrichelte Linie zeigt die sogenannten isländischen Standardsturzbahn (Jónasson et al., 1999) zum Vergleich.

Fig. 5: Range of front velocities along the track for a compilation of measurements from various (major) avalanches. Blue line shows the mean, the blue dash lines the $\pm \sigma$ range and the red dashed line the maximum observed velocity. The red dots mark the maximum of the different measurements. The black line represents a "mean path" geometry and the gray shaded area the envelope of all geometries. As a reference, the β -point, α and $\alpha-1$ are shown (for explanation see Lied and Bakkehoi, 1980). For comparison, the green dashed line shows the so-called Icelandic standard path (Jónasson et al., 1999).

Für die Lawinenintensität ist der Aufpralldruck maßgeblich. Die Kenntnisse über (Aufprall-) Kräfte von Lawinen auf schmale Objekte, wie Masten von Stromleitungen, Skilifte und Seilbahnen, sind für deren Gestaltung und der damit versuchten Risikominimierung wichtig. Sie sind auch eine Voraussetzung für die Untersuchung und Rückrechnung von z. B. Waldschäden. Beobachtungen zeigen, daß auch sich langsam bewegende Lawinen enorme Kräfte auf Hindernisse verursachen können. Wie bereits oben angedeutet ist der Lawinenaufpralldruck, zumindest für schmale Objekte, stark abhängig vom Fließregime. Lawinenversuche zeigen, daß der Ansatz mit einer quadratischen Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zu simple ist (Gauer et al. 2008, Sovilla et al. 2008). Im Allgemeinen läßt sich der Aufpralldruck P_i als eine Funktion von Geschwindigkeit,

Fließdichte und Parametern, die die Geometrie beschreiben, angeben:

$$P_i = f(U, \rho_l, \dots) \approx C_D \frac{\rho_l U^2}{2}. \quad \text{Gl. (6)}$$

Hierbei beschreibt der Dragfaktor/Widerstandsbeiwert C_D^* unter anderem die Geometrieabhängigkeit und ist seinerseits eine Funktion der Geschwindigkeit. Abbildung 6 zeigt das Produkt von Fließdichte und Dragfaktor in Abhängigkeit von der Froude-Zahl $F_r = U/\sqrt{gh_1}$, wobei h_1 die Fließhöhe ist, für eine Reihe verschiedener Druckmessungen in verschiedenen Lawinenversuchsanlagen. Ohne separate Dichtemessung läßt sich dieses Produkt eigentlich nicht getrennt betrachten. Die Abbildung zeigt eine starke Zunahme des Produktes für kleine Froude-Zahlen.

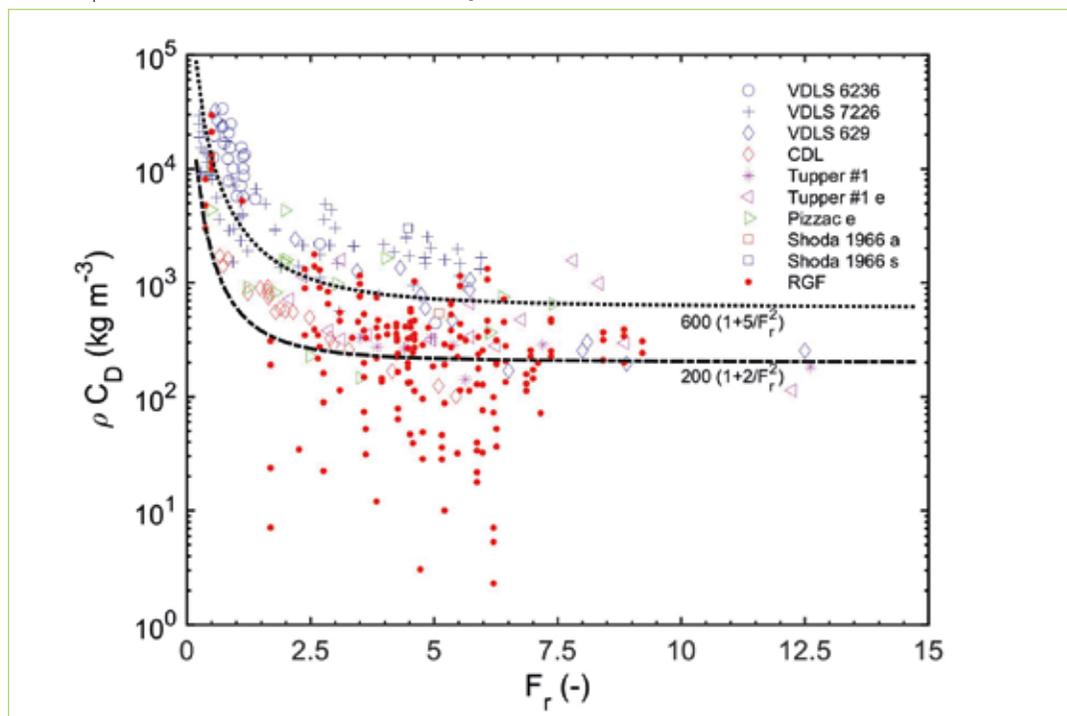


Abb. 6: Abschätzungen von $\rho_l C_D$ vs. $F_r (= U/\sqrt{gh_1})$ basiert auf Messungen in verschiedenen Lawinenversuchsanlagen.

Fig. 6: Estimates on $\rho_l C_D$ vs. $F_r (= U/\sqrt{gh_1})$ based on measurement in various avalanche test-sites.

Vulnerabilität

Neben der tatsächlichen Gefährdung trägt die Vulnerabilität eines gefährdeten Objekts wesentlich zum Lawinenrisiko bei. Die Quantifizierung der Vulnerabilität fehlt allerdings häufig aufgrund fehlender Daten. Dabei spielen unter anderen die geringeren Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Lawine und Objekt eine große Rolle. Abbildung 7 zeigt zwei Beispiele von Lawinenschäden an Gebäuden verursacht durch unterschiedliche Wechselwirkungen. Um die Vulnerabilität eines Objekts zu definieren, ist es notwendig, die Vulnerabilität mit einem Intensitätsmaß zu verknüpfen. Im Falle von Lawinen, ist der Aufpralldruck ein sich anbietendes Intensitätsmaß, obwohl dieser nicht immer leicht zu bestimmen ist, da z.B. die Lawinengeschwindigkeit und die Fließdichte nicht immer sicher bekannt sind. In den letzten Jahren wurde in mehreren Studien die Vulnerabilität von Gebäuden betrachtet und versucht durch Rückrechnungen zu quantitativen Aussagen zukommen (Schroll, 2015; Keylock und Barbolini, 2001; De Biagi, et



Abb. 7: Beispiele für Lawinenschäden an Gebäuden.

Fig. 7: Examples of avalanche damage to buildings.

al., 2015). Es gibt jedoch eine beträchtliche Streuung in den vorgeschlagenen Werten, auch aufgrund der zugrunde gelegten Lawinenparameter. Hier besteht mit Hinsicht auf das Lawinenrisiko noch Forschungsbedarf.

Um bessere Daten über die Vulnerabilität von Gebäuden zu erhalten, könnte auch der Vergleich mit den Atomversuchen Ende der 1940er und Anfang der 1950er Jahre beitragen (Valentine, 1998).



Restrisiko

Schlußendlich ist es notwendig auch ein Restrisiko zu quantifizieren, da keine Schutzmaßnahme, weder technische noch planerische, 100 % Sicherheit garantiert. Die Quantifizierung des Restrisikos erweist sich dabei oftmals als eine Herausforderung. Betrachtet man nur die Gefährdung und als planerische Schutzmaßnahme die Ausweisung von Gefahrenzonen, z.B. entsprechend der Sicherheitsklasse S2 in Norwegen, so ist die Restgefährdung einfach zu bestimmen, in diesem Fall sollte sie außerhalb der Zone $\leq 1/1000$ pro Jahr sein. Das sagt allerdings wenig über das Restrisiko aus; dazu fehlen die Angaben über die gefährdeten Objekte. Es ist sicherlich verständlich, wenn nach Umsetzung von technischen Schutzmaßnahmen die Frage nach einer Rücknahme der Gefahrenzonen aufkommt. Dabei ist allerdings zum einen zu bedenken, daß Schutzmaßnahmen

nur bezüglich ihres Bemessungsereignis ausreichenden Schutz bieten. Zum anderen kann eine Erhöhung der Anzahl exponierter Objekte – mehr Häuser am Rand der neuen Gefahrenzone – sogar zu einer Erhöhung des Gesamtrisikos führen. Angenommen eine Schutzmaßnahme für ein lawinengefährdetes Haus halbiert die Lawinengefährdung in einem größeren Bereich in dem nun drei weitere Häuser gebaut werden, so verdoppelt sich schlußendlich das Kollektiv-Risiko. Dies wirft Fragen in Bezug einer Risikobewertung von Umzonierungen auf.

Zusammenfassung

Ein quantifiziertes Lawinenrisikomanagement setzt umfangreiche Kenntnisse über alle beteiligten Einzelprozesse sowie ihrer Wechselwirkungen voraus. Speziell bezüglich der Quantifizierung der Wechselwirkungen einzelner Prozesse, wie zum Beispiel Wiederkehrdauern oder die Vulnerabilität von Objekten, besteht weiterhin Forschungsbedarf.



Abb. 8: Restrisiko; keine Schutzmaßnahme garantiert 100 % Sicherheit; Schutzmaßnahmen bieten nur bezüglich ihres Bemessungsereignisses ausreichenden Schutz.

Fig. 8: Rest risk; no defense measure will guarantee a 100 % safety; mitigation measures provide adequate protection only with regard to their design events.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Dr. Peter Gauer
Norwegisch Geotechnisches Institut
PB 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
peter.gauer@ngi.no

Literatur / References:

- BEBI P., KIENAST F., SCHÖNENBERGER W. (2001) Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests dynamics and protective function Forest Ecology and Management, 145, 3-14
- CHRISTEN M., KOWALSKI, J., BARTELT P. (2010) RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain Cold Regions Science and Technology, 63, 1-14
- DE BIAGI V., CHIAIA B. M., FRIGO B. (2015) Impact of snow avalanche on buildings: Forces estimation from structural back-analyses Engineering Structures, 2015, 92, 15-28
- GAUER P. (2013) Comparison of avalanche front velocity measurements: supplementary energy considerations Cold Regions Science and Technology, 96, 17-22
- GAUER P. (2014) Comparison of avalanche front velocity measurements and implications for avalanche models Cold Regions Science and Technology, 97, 132-150
- GAUER P. (2016) Forest cover within Nye aktsomhetskart snøskred i Norge (NAKSIN) Norwegian Geotechnical Institute, Norwegian Geotechnical Institute
- GAUER P., LIED, K., KRISTENSEN, K. (2008) On avalanche measurements at the Norwegian full-scale test-site Ryggfjonn Cold Regions Science and Technology, 51, 138-155
- GAUME J., CHAMBON G., ECKERT N., NAAIM M. (2013) Influence of weak-layer heterogeneity on snow slab avalanche release: application to the evaluation of avalanche release depths Journal of Glaciology, 59, 423-437
- GUBLER H., RYCHETNIK, J. (1991) Effects of forests near the timberline on avalanche formation Snow, Hydrology and Forests in High Alpine Areas Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991., IAHS, 205, 19-38
- ISHIKAWA, M., SATO, S., KAWAGUCHI T. (1969) Stand Density of Avalanche Prevention Forest, Journal of the Japanese Society of Snow and Ice, 31, 14-18
- ISSMGE (2004) Glossary of Risk Assessment Terms –TC32 of International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) Version 1.
- JÓNASSON, K.; SIGURDSSON, S. D. & ARNALDS, P.. (1999) Estimation of avalanche risk Icelandic, Meteorological Office, Icelandic Meteorological Office
- KEYLOCK C. J., BARBOLINI, M. (2001) Snow avalanche impact pressure – vulnerability relations for use in risk assessment Canadian Geotechnical Journal, 38, 227-238
- LIED K., BAKKEHØI S. Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters Journal of Glaciology, 1980, 26, 165-177
- MCCLUNG D., SCHAERER P. (2006) The Avalanche Handbook The Mountaineers Books
- MEYER-GRASS M., SCHNEEBELI, M. (1992) Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen, Internationales Symposium Interpraevent 1992-Bern
- OLSCHIEWSKI R., BEBI P., TEICH M., WISSEN HAYEK U., GRÉT-REGAMEY A. (2012) Avalanche protection by forests — A choice experiment in the Swiss Alps Forest Policy and Economics, 2012, 17, 19-24
- SALM B., BURKARD A., GUBLER H. U. (1990) Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch. Nr 47, 37 Seiten
- SAMPL P., GRANIG M. (2009) Avalanche Simulation with SAMOS-AT Proceedings of the International Snow Science Workshop, Davos, 519-523
- SCHLÄPPY R., ECKERT N., JOMELLI V., STOFFEL M., GRANCHER D., BRUNSTEIN D., NAAIM M., DESCHATRES M., (2014) Validation of extreme snow avalanches and related return periods derived from a statistical dynamical model using tree-ring techniques Cold Regions Science and Technology 99, 12-26
- SCHROLL, L. (2015) Schadwirkung von Lawinen Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Fakultät für Technische Wissenschaften, Diplomarbeit
- SOVILLA B., SCHAER M., KERN M., BARTELT P. (2008) Impact pressures and flow regimes in dense snow avalanches observed at the Vallée de la Sionne test site Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 113, F01010(1-14)
- TEICH M., SCHNEEBELI M., BEBI P., GIUNTA A. D., GRAY C. G., JENKINS, M. J. (2016) Effects of Bark Beetle Attacks on Snowpack and Snow Avalanche Hazard Proceedings, International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado
- VALENTINE G. A. (1998) Damage to structures by pyroclastic flows and surges, inferred from nuclear weapons effects Journal of Volcanology and Geothermal Research, 87, 117-140
- VIGLIETTI D., LETEY S., MOTTA R., MAGGIONI M., FREPPAZ M. (2010) Snow avalanche release in forest ecosystems: A case study in the Aosta Valley Region (NW-Italy), Cold Regions Science and Technology, 64, 167-173

PERRY BARTELT, MARC CHRISTEN, YVES BÜHLER, ANDRIN CAVIEZEL, OTHMAR BUSER

On the formation of powder snow avalanches

Über die Entstehung von Staublawinen

Abstract:

Here we address a long-standing problem in avalanche dynamics: how to calculate the formation and propagation of powder avalanches. The powder cloud consists of suspended ice particles that serve as tracers to track the movement of the air. The source of the ice/air mixture is the avalanche core. Because of different drag forces on the suspended and non-suspended mass, the powder cloud becomes detached from the core. The core provides the ice/air mixture of the cloud with initial velocity, including direction. Powder avalanches can therefore be considered an indirect gravity current. We use real scale measurements of powder cloud volume and speed to verify a depth-averaged powder snow avalanche model.

Keywords: Powder avalanche, flowing avalanche, suspension layer, modelling, comparison to avalanche experiments

Zusammenfassung:

Die Wirkung von Staublawinen ist in der Praxis immer noch schwierig abzuschätzen. Obwohl die Staubwolke nur aus suspendierten Eispartikeln besteht, kann die Luftbewegung zerstörerische Kräfte entwickeln. In diesem Beitrag befassen wir uns mit der Entstehung und Bewegung von Staublawinen. Die Fließlawine liefert die Anfangsbedingungen für das injizierte Eis-Luft Gemisch der Staubwolke. In diesem Sinne ist die Staublawine eine indirekte Gravitationsströmung. Durch unterschiedliche Luftwiderstandskräfte löst sich die Staubwolke von der Fließlawine. Die Reichweite der Staubwolke ist abhängig von der Entstehungsenergie und dem Luftwiderstand. Wir verwenden lawinendynamische Messungen im realen Gelände um ein Modell zur Entstehung und Bewegung von Staublawinen zu verifizieren.

Stichwörter: Staublawine, Fließlawine, Suspensionsschicht, Entstehung, Modellierung, Vergleich mit Messungen an natürlichen Lawinen

Introduction

Depending on snow temperature and moisture content, avalanches can contain two very distinct masses: suspended mass and non-suspended mass. Mass that can be suspended is in the form of fine ice-dust and is typically associated with cold, dry snow. As the name suggests, the action of gravity is counter balanced by drag forces (Stokes) such that the mass remains suspended in the air. The suspended mass forms the destructive powder cloud of snow avalanches. The fact that the drag forces are large implies that the density difference between the ice and air is not alone sufficient to produce substantial particle velocities. There must be another physical mechanism at work to accelerate the powder cloud.

Warm, moist snow is associated with larger particle sizes that cannot be suspended. This mass forms the gravity driven mass of the avalanche core. Frictional forces arise on the large particles because of the collisional/sliding interactions between the particles and the ground. The motion of the larger particles is therefore defined by the balance of the slope-parallel vector of gravitational acceleration and the collisional/sliding interactions.

The difference between gravity driven mass (density driven) and suspended mass (non-density driven) has four fundamental axioms for the understanding and modelling of powder snow avalanches:

- 1. Segregation or mass separation.** Because the motion of the gravity driven mass and suspended mass are governed by different drag forces, they segregate and move independently of each other.
- 2. Relative velocity of ice-dust and air.** For powder clouds to travel large runout distances (several kilometers) infers that the

ice-dust is moving with the air. In a first approximation it is reasonable to assume that the air and ice-dust are moving at the same speed; that is, there is no velocity difference between the air and ice-dust. The ice-dust essentially serves as a tracer to track the movement of the air.

- 3. Indirect driving mechanism.** Because the ice-dust is a passive tracer and cannot accelerate the air to any appreciable speed by itself, there must exist a mechanism to accelerate the entire ice-dust/air mixture. The only possible source of energy is the gravity-driven avalanche core. Thus, powder avalanches are indirect gravity flows because they do not obtain their driving force directly from gravity, rather indirectly from the avalanche core.
- 4. Turbulent diffusion/air entrainment.** The avalanche core is the initial source of air and ice-dust. However, once the cloud is formed there are additional air entrainment mechanisms related to the diffusion of turbulent energy. The initial ice-dust/air mixture that is forcibly extruded from the avalanche core will become diluted by additional air entrainment.

In summary, snow temperature and moisture content determine the size properties of the particulate snow mass during avalanche flow. The size of particulate mass implies that two separate systems of differential equations are required to model snow avalanches – one set for the gravity driven mass and one set for the suspended mass. The movement of the suspended mass includes both the air and ice-dust tracers which are moving with the same speed. The initial energy for the ice-dust/air mixture must be extracted from the avalanche core, which provides the powder cloud with an indirect source of gravitational potential.

Thus, the motion of powder avalanches seem to depend strongly on terrain because their formation and initial velocity are given by the avalanche core. Once formed, however, powder avalanches are essentially independent, inertial flows governed by air-on-air drag and additional turbulent entrainment of the surrounding air. The formation speed (a vector) and cloud drag define the potential inundation area and intensity of the cloud.

This definition of a powder avalanche was first established by Russian researchers in the 1980s (Sukhanov, 1982, Sukhanov and Kholobayev, 1982, Grigoryan et al, 1982), but certainly does not contradict the earlier work of Voellmy (1955). It highlights the two primary problems of powder snow avalanche engineering and modelling:

- 1. Initial cloud velocity.** How to calculate the momentum transfer from the gravity driven core to the suspended mass. This process determines the initial velocity of the cloud as it enters the runout zone. It is necessary to know the direction of the initial velocity

to assess the danger of the cloud on the boundaries of the flow, in both the transition and runout zones.

- 2. Cloud drag.** What is the attenuation of velocity as a function of runout distance of the cloud (Bozhinskiy and Losev, 1998). This process determines the inundation area and impact pressure of the powder cloud in the runout zone.

Initial cloud velocity: Formation of the powder cloud

To find the initial velocity of the powder cloud we must extract mass (per unit flow area) and momentum (per unit flow area) from the core. We denote the avalanche core with the symbol Φ (for flowing) and cloud with symbol Π (for powder), see Fig. 1. The air around the cloud is denoted Λ (for Luft). We assume the initial mass to be suspended has density ρ_{Π}^0 . This is the embryonic density of the cloud, before it is extruded from the core into the air. It is therefore the maximum cloud density. Additional (pure) air entrainment will lower the flow density of the cloud.

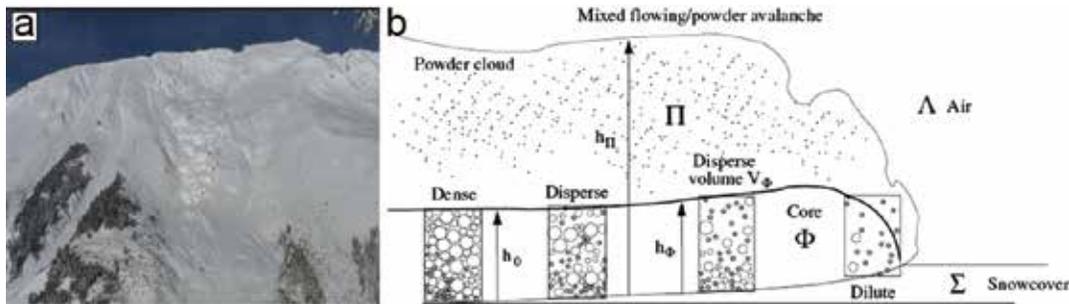


Fig. 1: a) Avalanche no 509, February 7, 2003 Vallée de la Sionne.
b) Components of a mixed flowing/powder avalanche containing the avalanche core (gravity driven mass Φ) and powder cloud (suspended mass Π). The avalanche entrains both snow (Σ) and air (Λ).

Abb. 1: a) Lawine 509 vom 7. Februar 2003 im Vallée de la Sionne
b) Komponenten einer Staub-Fließlawine mit dem Fließanteil (Masse Φ angetrieben durch die Schwerkraft) und dem Staubanteil (schwebende Masse Π). Die Lawine nimmt sowohl Schnee (Σ) als auch Luft (Λ) auf.

Here we must repeat a fundamental assumption of our model for the formation of the cloud: we consider only mass that can be suspended; that is, a mixture of air and ice-dust in which the particles are so fine that they cannot move relative to the air because drag forces are too large. All other mass is gravity driven and therefore belongs to the avalanche core. The mass that moves from the core to the cloud ($\Delta M_{\Phi \rightarrow \Pi}$) is given by

$$\Delta M_{\Phi \rightarrow \Pi} = \rho_{\Pi}^0 H \quad (\text{Eq. 1})$$

where the heaviside function

$$H(\Delta k) = \begin{cases} \Delta k & \Delta k \geq 0 \\ -\Delta k & \Delta k < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

This function contains the change in height of the avalanche core (Δk). When the avalanche core changes volume, either by contraction or expansion, than air is either blown-out or taken-in by the core. Both processes are needed to form the powder avalanche: the volume of the core must expand to load air with the ice-dust tracers (expansion). When the volume contracts the air is blown-out. The momentum per unit area imparted to the cloud is

$$\Delta P_{\Pi} = \Delta M_{\Phi \rightarrow \Pi} \mathbf{u}_{\Phi} \quad (\text{Eq. 3})$$

where \mathbf{u}_{Φ} is the velocity vector of the core.

When the core of the avalanche expands, air is taken-in the avalanche. Momentum is required to accelerate this additional in-taken air to the speed of the core. At the first stage of its formation, the embryonic cloud extracts energy from the core. Hence, the avalanche core will slow down. The initial energy of the cloud is thus taken indirectly

from gravity. The core velocity vector defines the initial direction of the cloud's movement.

When the core volume collapses the cloud becomes visible outside the core. The cloud is formed. This occurs because of the segregation of the suspended and gravity driven mass, due to the different drag forces acting on the snow/ice particles. Of course, agglomerations of ice particles will also appear as if they are falling. Clusters of particles can act as a whole, depending on their spacing. This mass, if it is falling, belongs to the core because it is gravity driven, even if the particle size is small. The next time the same mass is extruded from the core, it might remain suspended. This is why we avoid an exact definition of particle size to distinguish between suspended and gravity driven mass. The falling volume of gravitationally driven particles will induce air blow-out velocities higher than the fall velocities of the particles – depending on the density of the core; that is, the available area for the air to escape.

The formation of the powder cloud requires a measure of the avalanche volume and density. There are many possible ways to calculate the change in core volume (e.g. Bozhinskiy and Losev, 1998). We apply the method proposed by Buser and Bartelt (2015), where the dilation of core depends on the shear work rate and the production of non-directional kinetic energy (Bartelt et al., 2016). The core volume change is thus calculated explicitly. For example, when the avalanche descends a steep slope, the shear rate increases leading to an expansion of the core and the intake of air, and therefore steep terrain enhances the cloud formation – both the mass in the cloud, as well as the initial velocity. Of course, the flow friction of the core also changes as a function of flow density.

There are two sources of additional air

into the volume $\Delta M_{\Lambda \rightarrow \Pi}$. The first arises by the compaction of the core and the forced extrusion, and the second is the mixing of the blow-out jet with the surrounding air. This model is based on the work of Bozhinskiy and Losev (1998).

$$\Delta M_{\Lambda \rightarrow \Pi} = \begin{cases} 0 & \Delta k \geq 0 \\ 2\Delta k \frac{\sqrt{\rho_{\Pi} \rho_{\Lambda}}}{\rho_{\Pi} + \rho_{\Lambda}} & \Delta k < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 4})$$

Moreover, for one part of ice-dust blown out of the core, we mix it with two parts air. The blow-out of air from the core induces turbulence in the cloud. The diffusion of turbulent eddies likewise entrains air until the density difference between the snow dust cloud and ambient air disappears,

$$\Delta M_{\Lambda \rightarrow \Pi} = \lambda_{\Pi} [\rho_{\Pi} - \rho_{\Lambda}] \quad (\text{Eq. 5})$$

Moreover, air is in-taken into the cloud until the density difference disappears by a process of turbulent diffusion. The dimension of the diffusion coefficient λ_{Π} is length. Values of $0.50 \text{ m} \leq \lambda_{\Pi} \leq 2.0 \text{ m}$ reproduce cloud heights measured in Vallée de la Sionne. See application problem.

Cloud Drag

To model cloud drag we apply a simple turbulent resistance

$$S_{\Pi} = \frac{u_{\Pi}}{\|u_{\Pi}\|} \left[\frac{\rho_{\Pi}^0 g \|u_{\Pi}\|^2}{\xi_{\Pi}} \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

A similar velocity squared dependent formula was used by Bozhinskiy and Losev to describe the attenuation of powder cloud velocity when the

shroud of ice-dust begins to overtake the slowed avalanche core and moves as an independent body. At this stage the avalanche is no longer supplied with ice-dust and momentum from the core and moves by inertia. We write the formula using the ξ_{Π} parameter to allow direct comparison to the standard Voellmy model. The values we apply to simulate avalanches at the Vallée de la Sionne test site (see below) are similar to values found by Russian researchers in the Caucasus (Grigoryan et al., 1982), e.g. $200 \text{ m/s}^2 \leq \xi_{\Pi} \leq 2000 \text{ m/s}^2$.

Application

To demonstrate how the powder cloud axioms can be applied to develop a mathematical model, we introduce them within a depth-averaged framework and simulate avalanche no 509, released on February 7th, 2003 in Vallée de la Sionne test site. For this event videogrammetric measurements were used to construct three-dimensional surfaces of the powder cloud height h_{Π} at 5s intervals. The measured heights and powder cloud velocities $u_{\Pi}^T = (u_{\Pi} \ v_{\Pi})$ can be compared directly to the simulation results. We restate the depth-averaged model equations for the powder cloud, see Bozhinskiy and Losev (1998) and Bartel et al. (2016)

$$\frac{\partial U_{\Pi}}{\partial t} + \frac{\partial \Pi_x}{\partial x} + \frac{\partial \Pi_y}{\partial y} = G_{\Pi} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{with } U_{\Pi}^T = (M_{\Pi} \ M_{\Pi} u_{\Pi} \ M_{\Pi} v_{\Pi} \ h_{\Pi})$$

The mass (per unit area) of the cloud is M_{Π} . The flux and right-hand side vectors of Eq 7 are,

$$\Pi_y = \begin{pmatrix} M_{\Pi} v_{\Pi} \\ M_{\Pi} u_{\Pi}^2 + \frac{1}{2} M_{\Pi} g_z h_{\Pi} \\ M_{\Pi} u_{\Pi} v_{\Pi} \\ h_{\Pi} u_{\Pi} \end{pmatrix} \quad \Pi_x = \begin{pmatrix} M_{\Pi} v_{\Pi} \\ M_{\Pi} u_{\Pi} v_{\Pi} \\ M_{\Pi} v_{\Pi}^2 + \frac{1}{2} M_{\Pi} g_z h_{\Pi} \\ h_{\Pi} v_{\Pi} \end{pmatrix} \quad G_{\Pi} = \begin{pmatrix} \dot{M}_{\phi \rightarrow \Pi} + \dot{M}_{\Lambda \rightarrow \Pi} \\ \dot{M}_{\phi \rightarrow \Pi} v_{\phi} - S_{\Pi_x} \\ \dot{M}_{\phi \rightarrow \Pi} v_{\phi} - S_{\Pi_y} \\ \dot{M}_{\phi \rightarrow \Pi} / \rho_{\Pi}^0 + \dot{M}_{\Lambda \rightarrow \Pi} / \rho_{\Lambda} \end{pmatrix} \quad (\text{Eq. 8})$$

This model for the powder cloud contains only two free parameters, λ_{Π} and ξ_{Π} . Note that gravity arises only in the hydrostatic stress term.

We used the measured avalanche release location and mass (model 10'715 tons, measured 11'100 tons) to simulate the speed of the avalanche (Fig. 2). The recorded avalanche reached a peak velocity of 58 m/s (simulated 57 m/s). Without the powder cloud formation the avalanche core would reach a peak velocity of 62 m/s. The difference in core flow energy is used to accelerate the cloud.

Avalanche no 509 was preceded by two large avalanches on the January 31 (no. 506) and February 5 (no 5274), preventing a clear photogrammetric analysis to establish the avalanche mass balance and entrainment heights. The avalanche clearly entrained snow in the transition zone, as this region was unaffected by the previous avalanches. The difference between the pre- and post-photogrammetric analysis revealed deposition heights of 3m; we used this information to select the entrainment heights used in the calculations (1.5 m above 2200 and 0.20 m below

2200 m). The entrainment depth in the upper track corresponds to the release height. The total avalanche mass grew to 40'000 t; 10'000 t was used to form the powder cloud, 10'000 t was deposited in the transition zone, leaving 20'000 t of avalanche mass in the deposition (measured 17'000 t). The calculated suspension ratio is therefore approx. 25%.

Videogrammetric measurements (Vallet et al., 2004, Drier et al., 2016) were used to construct digital elevation models of the powder cloud (Fig. 3). The digital models were then used to calculate the powder cloud volume at $t=10\text{s}$, 15s, 20s, ... 50s in five second intervals (Table 1). The measured powder cloud volume reached 6.4 mio m³; the calculated volume exceeded this amount, obtaining 8.9 mio m³ at $t=50\text{s}$. This is to be expected because the model equations do not take into account any settlement or evaporation of the snow dust. Note that the simulated and calculated powder cloud volumetric growth rates are in better agreement (Table 1). Again, because the model does not account for any volumetric losses, the calculated growth rates are larger than

Time (s)	Measured volume (mio m ³)	Calculated volume (mio m ³)	Measured growth rate (mio m ³ /s)	Calculated growth rate (mio m ³ /s)
10	0.100	0.230	0.010	0.023
15	0.375	0.560	0.055	0.066
20	0.795	1.24	0.084	0.136
25	1.33	2.19	0.109	0.190
30	1.84	3.23	0.100	0.208
35	2.81	4.44	0.195	0.242
40	3.75	5.82	0.188	0.276
45	4.86	7.33	0.222	0.302
50	6.39	8.91	0.306	0.316

Tab. 1: Measured and simulated powder cloud volume. Because the model does not account for cloud settlement (or evaporation), the calculated volumes are larger than the measured values. The agreement between measured and calculated volumetric growth rates is better, but still does not account for losses.

Tab. 1: Gemessene und berechnete Staubwolkenvolumen. Im Modell sind Sedimentieren und Verdampfen nicht berücksichtigt, deshalb sind die berechneten Werte grösser als die gemessenen. Für die Wachstumsrate ist die Übereinstimmung besser, aber noch immer ohne Berücksichtigung von Verlusten.

the measured. The model results indicate that approximately half the powder cloud volume comes from the core (4 mio m³) and half comes from the ambient air (5 mio m³). To obtain these results we set $\lambda_{\Pi} = 0.5$ m.

We selected calculated points at various elevations along the avalanche track and compared measured and calculated flow heights over time (Fig. 4). This comparison reveals that the powder cloud growth at the avalanche front. We emphasize that powder cloud heights can reach 25 m to 35 m in seconds, suggesting the extreme expansion of the avalanche core at the front, as well as the severity of the air extrusion behind the front when the core contracts.

In summary, the calculated cloud arrival time (Fig. 2), width and height are in agreement with the measurements (Fig. 3c, Fig. 4). Stationary velocities are predicted in the wake of the avalanche, and large powder velocities are predicted at the avalanche front (Fig. 3d). The model does not reproduce volatility of the extreme blow-outs heights (Fig. 3c). This is again to be expected from a depth-averaged model which will not account for three-dimensional distributions of velocity or turbulence.

Note that the cloud velocities attenuate rapidly behind the front, again in good agreement

with the observations. High powder velocities are concentrated at the avalanche front (Fig. 3d). A salient feature of the proposed mechanism for momentum transfer between the avalanche core and powder cloud is that it produces short duration powder blasts. Measurements of avalanche wind blasts (see Grigoryan et al., 1982) indicate that powder blasts last only a few seconds. The calculated avalanche pressure of the cloud at the Vallée de la Sionne bunker reached 100 Pa and lasted only 4s. Much higher pressures were calculated at the valley bottom (1.2 kPa). The applied powder drag coefficient ($\xi_{\Pi} = 200$ m/s²) is based on powder cloud counter slope runup (the cloud travelled beyond the bunker, but did not reach the top of the counterslope) and measured powder cloud width in the transition zone.

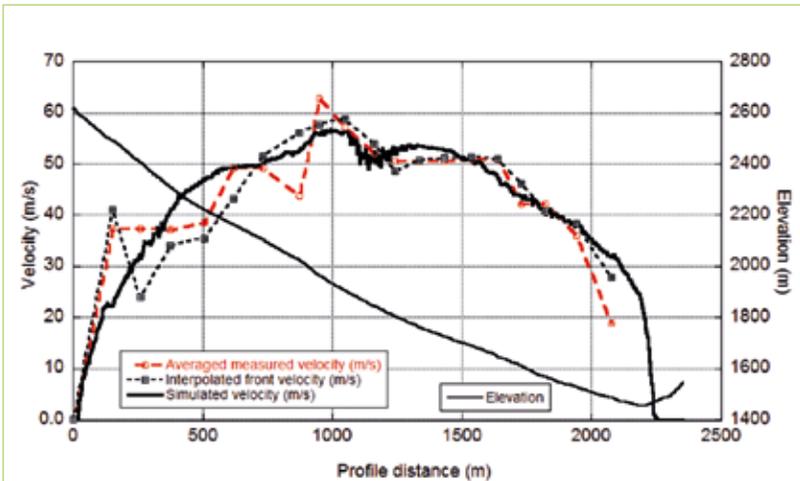


Fig. 2: Simulation of the Vallée de la Sionne avalanche of February 7, 2003 (no 509). Comparison between measured and simulated flow velocity. Average velocity is derived directly from videogrammetric images (Vallet et al., 2004). The interpolated speed is derived from measurements but accounts for avalanche accelerations (SLF, 2004)

Abb. 2: Simulation der Lawine 509 vom 7. Februar 2003 im Vallée de la Sionne. Vergleich der gemessenen und der simulierten Fliessgeschwindigkeiten. Die mittlere Geschwindigkeit wurde mit Hilfe der videogrammetrischen Aufnahmen (Vallet et al., 2004) bestimmt. Die interpolierte Geschwindigkeit wurde durch Messungen bestimmt, unter Berücksichtigung der veränderlichen Beschleunigungen der Lawine (SLF, 2004).

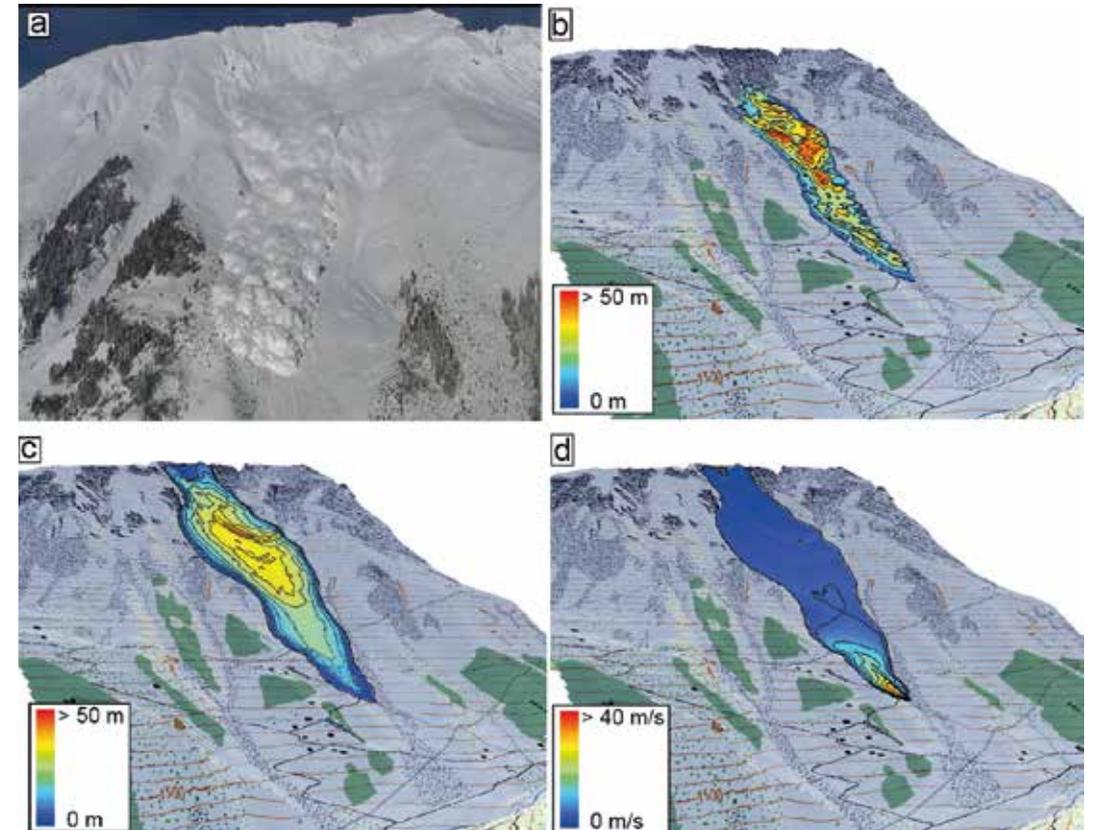


Fig. 3: Simulation of the Vallée de la Sionne avalanche of February 7, 2003 (no 509) at $t = 40$ s.

- a) Avalanche no. 509 at $t = 40$ s from release.
- b) Measured powder cloud height at $t = 40$ s.
- c) Simulated powder cloud height $t = 40$ s. The location of the front is in good agreement with measurements.
- d) Calculated powder cloud velocity. The highest velocities exist at the avalanche front. The avalanche tail is no longer moving.

Abb. 3: Simulation der Lawine 509 vom 7. Februar 2003 im Vallée de la Sionne bei $t = 40$ s

- a) Auslösung
- b) Gemessene Staubwolkenhöhe
- c) Simulierte Höhe. Die Position der Front stimmt gut mit den Messungen überein.
- d) Berechnete Staubwolkengeschwindigkeit. Die grösste Geschwindigkeit befindet sich an der Front. Am Lawinenende bewegt sie sich nicht mehr.

Conclusions

We have presented a two parameter model to describe the formation and propagation of powder avalanches. The model naturally accounts for air intaken by volume expansions (at the avalanche front) and air expelled by volume contractions (behind the avalanche front). Additional air

is entrained into the powder cloud by turbulent diffusion (parameter λ_{Π}). The avalanche core provides the cloud with initial mass and velocity. This description of powder avalanche formation has far reaching consequences for hazard mitigation. The formation process slows the core, but creates a flow that can reach regions well beyond the destructive reach of the flowing avalanche. The reach is a function of the initial velocity and

the cloud/air drag (parameter ξ_{η}). This depth-averaged model formulation for the powder cloud was first suggested by Russian researchers (Bozhinskiy and Losev, 1998). Our contribution here is to quantify the embryonic mass and velocity of the initial ice/air mixture. With a two parameter model it is not possible to describe all the details of turbulent effects or velocity and density distributions. However, as shown by the model comparison with measured data, it might find practical uses in avalanche engineering.

Author's address / Anschrift des Verfassers:

Dr. Perry Bartelt
WSL Institute for Snow and Avalanche Research
SLF
Flüelastrasse 11
7260 Davos Dorf
bartelt@slf.ch

References / Literatur:

- BARTELT, P, BUSER, O, VERA VALERO, C and BÜHLER, Y (2016) Configurational energy and the formation of mixed flowing powder snow ice avalanches, *Annals of Glaciology* 57(71): 179-187.
- BOZHINSKIY AN and LOSEV KS (1998) The fundamentals of avalanche science. Eidg. Inst. Schnee- Lawinenforsch. 55.
- BOZHINSKIY AN and SUKHANOV LA (1998) Physical modelling of avalanches using an aerosol cloud of powder materials. *Ann. Glaciol.*, 26, 242-246.
- BUSER O and BARTELT P (2015) An energy-based method to calculate streamwise density variations in snow avalanches. *J. Glaciol.*, 61(227), 563-575 (doi: 10.3189/2015JoG14J054).
- DREIER, L, BÜHLER, Y, GINZLER, C, BARTELT, P (2016). Comparison of simulated powder snow avalanches with photogrammetric measurements. *Annals of Glaciology* 57(71): 371-381.
- GRIGORYAN S, URUBAYEV N and NEKRASOV I (1982) Experimental investigation of an avalanche air blast. *Data Glaciol. Stud.*, 44, 87-93 [in Russian].
- SLF Internal Report (2004) Avalanche dynamics experimental site Vallée de la Sionne, Arbaz, Vallais, Final Winter Report Winter 2002/2003, Report 750.
- SUKHANOV G (1982) The mechanism of avalanche air blast formation as derived from field measurements. *Data Glaciol Stud.*, 44, 94-98 [in Russian].
- SUKHANOV G and KHOLOBAYEV (1982) Variability of avalanche air blast in time and space. *Data Glaciol Stud.*, 44, 98-105 [in Russian].
- VALLET J, TURNBULL B, JOLY S AND DUFOUR F (2004) Observations on powder snow avalanches using videogrammetry. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 39(2):153-159 (doi: 10.1016/j.coldregions.2004).
- VOELLMY, A.: Ueber die Zerstörungskraft von Lawinen, *Schweiz. Bauztg.*, 73(19), 280.285, (12), 159.162, (15), 212.217, (17), 246.249, (19), 280.285, 1955.

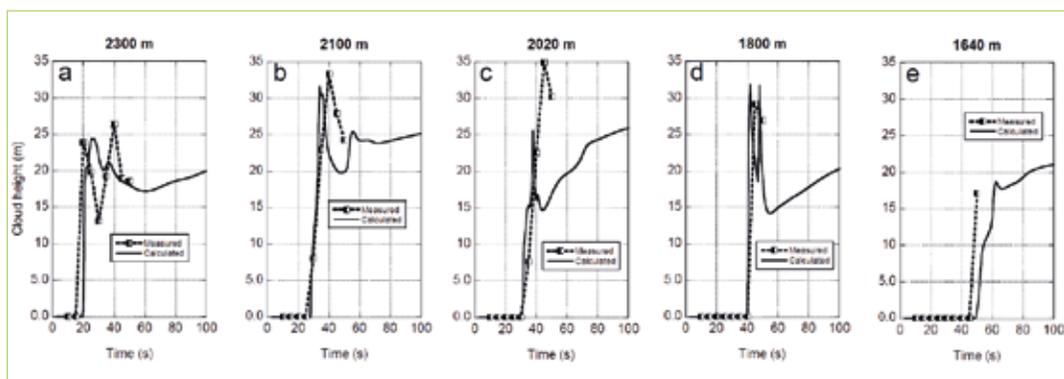


Fig. 4: Comparison between measured and calculated avalanche heights at: a) Elevation 2300 m. b) Elevation 2100 m. c) Elevation 2020 m. d) Elevation 1800 m. e) Elevation 1640 m. The model predicts the arrival time and powder cloud front height.

Abb. 4: Vergleich von gemessenen und berechneten (simulierten) Lawinenhöhen bei a) 2300 m ü. M. b) 2100 m ü. M. c) 2020 m ü. M. d) 1800 m ü. M. e) 1640 m ü. M. Das Modell berechnet die Ankunftszeit und die Staubwolkenhöhe der Front.



Stahlschneebrücken • Gleitschneeböcke • Triebsschneewände
Ablenkwände • Stahlteile für Schutzbauten



Mair Wilfried GmbH

I-39030 St. Lorenzen (BZ)

info@mairwilfried.it • www.mairwilfried.it

MATTHIAS GRANIG, JAN-THOMAS FISCHER

Lawinensimulation in Österreich – Visionen für die Zukunft

Avalanche simulation in Austria – visions for the future

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit gibt einen Einblick in den aktuellen Stand der Lawinensimulationen aus der praktischen Anwendung in Österreich. In den letzten Jahren konnten viele praktische Erfahrungen aus der Praxis gesammelt werden, die nun wieder in die Modellierung reinvestiert werden. Dazu werden die neuen Tools vorgestellt und aktuelle Entwicklungsarbeiten beschrieben. Dennoch oder gerade aufgrund der intensiven Beschäftigung mit dem Thema Lawinenmodellierung bestehen einige kritische Punkte und offene Fragen, die beleuchtet werden. Abschließend wird ein Ausblick in angedachte Entwicklungen, die in naher Zukunft umgesetzt werden können, aber auch Vision, wohin sich die Lawinensimulationen hin entwickeln können, skizziert.

Stichwörter:

Lawinenschutz, Lawinensimulation, Modellentwicklungen, Lawinen, Visionen

Abstract:

This work describes the actual state of the art in applied avalanche simulations in Austria. Many years of practical application of the avalanche tools help to reinvest the gained knowledge in further developments. New avalanche tools are introduced as well as ongoing projects. Also some critical aspects of the simulation tools are displayed and discussed. The outlook gives some ideas of possible future changes and progress in certain directions. Finally, a vision of future developments in avalanche simulations is provided.

Keywords:

Avalanche protection, avalanche simulation, model development, avalanche, vision

Einleitung

In Österreich sind von der Wildbach und Lawinerverbauung (WLV) über 6.000 Lawenstriche, die den Nahbereich von Siedlungen treffen können, verzeichnet. Lawinen zählen zu den schnellsten Massenbewegungen mit starker Beschleunigung auf kurzer Strecke sowie mit Geschwindigkeiten bis zu 250km/h, gemäß ONR 24805. Daher können insbesondere trockene Lawinen extreme Reichweiten zurücklegen und massive Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen bewirken. Die aktuelle Lawinenkatastrophe mit 29 Toten in Mittelitalien am 18. Januar 2017, wo ein komplettes Hotel versetzt und zerstört wurde, erinnert uns daran, dass extreme Schneefälle zu verheerenden Ereignissen führen können, vgl. Abbildung 1.

Die Beurteilung von Lawinen erfolgt im Allgemeinen im Bausteinsystem, d.h. die ein-

zelnen Teile zusammen ergeben ein Gesamtbild der Gefährdungssituation. Das Zusammenführen der Teilbereiche aus Chroniken, Befragungen der lokalen Bevölkerung und Experten, Beurteilung des Geländes sowie Auswertung der stummen Zeugen aus den Begehungen, Informationen von Luftbildern (im Besonderen auch den historischen Bildern) und Berechnungen mit den aktuellen Simulationswerkzeugen ergeben ein umfassendes Bild der Gesamtsituation. Wobei die Interpretation der Ergebnisse mit der Einschätzung bzw. Gewichtung der jeweiligen Teilergebnisse den maßgeblichen, aber auch schwierigsten Teil der Arbeit ausmacht.

Die vorliegende Arbeit zeigt zunächst den Ist-Stand der Lawinensimulationen mit ein paar wesentlichen Eckpunkten und beschreibt in weiterer Folge einige Ideen und Visionen für die Zukunft.



Abb. 1:
Lawinenkatastrophe
Hotel Rigopiano,
Januar 2017.

Fig. 1:
Catastrophic
avalanche event
at hotel Rigopiano,
January 2017.

Aktueller Stand der Lawinensimulation

Für die Einschätzung der Lawinengefahrenpotentiale finden heute Lawinensimulationen eine breite Anwendung. Eine allgemeine Beschreibung der gängigen Werkzeuge und eine Klassifizierung kann aus Rudolf-Miklau, Sauermoser (2011) entnommen werden. Lawinensimulationen werden im Besonderen Maß im Bereich der Gefahrenzonenplanung und der Sachverständigentätigkeit zur Berechnung verschiedener Szenarien, aber zunehmend auch am Sektor der Maßnahmenplanung zur Optimierung von Verbauungen, eingesetzt. Relativ neu ist der Einsatz der Simulationen für die Abschätzung von temporären Maßnahmen, um die möglichen Auswirkungen (Reichweiten) im Vorfeld zu erheben. Im Bereich der Skigebiete werden Simulationen in Folge des Lawinenerlasses (2011) angewendet, da außerhalb von Siedlungsgebieten oft Chronikberichte und/oder Erfahrungen fehlen. Die Nachrechnungen von dokumentierten Ereignissen sind die Grundlagen für die weiteren Entwicklungsschritte. In den letzten Jahrzehnten fand in der Lawinenmodellierung eine stetige Weiterentwicklung und Umsetzung in die Praxis statt. Die aktuellen Simulationswerkzeuge zeichnen sich mittlerweile durch entsprechende Anwenderfreundlichkeit aus. In Österreich werden hauptsächlich die Simulationswerkzeuge SamosAT und RAMMS eingesetzt. Neuerdings wird von der Stabstelle Schnee und Lawinen (SSL) an einem einfach handhabbaren Modell, genannt SamosBeta, gearbeitet. Dieses beinhaltet alle notwendigen Features zur Berechnung von trockenen Fließlawinen und wird zu Testzwecken ersten Beta-Usern bereitgestellt. Im Bereich der statistischen Werkzeuge wird die Berechnung mit dem Alpha-Beta-Modell (Wagner et al., 2016) weiter forciert. Aufgrund der einfachen und raschen Anwendung können Plau-

subilisierungen durchgeführt werden. In weiterer Folge ist die Angabe des 10° Punktes im Rahmen der Gefahrenzonenplanung ein guter und wichtiger Anhalt für die weitere Argumentation der Zonierungen. Die Software wurde im letzten Jahr völlig überarbeitet und mit zusätzlichen statistischen Regressionen, die in Wagner et al. (2016) im Detail beschrieben sind, unter dem Namen „Alpha-Beta-Modell 3.0“ neu implementiert.

Aufgrund der auf GIS (Geoinformationssysteme) basierenden Programme sind die aktuellen Modelle maßgeblich auf die Eingabe von realistischen Lawinenanbruchszszenarien angewiesen. Sowohl die seitliche Ausdehnung, als auch die Abgrenzung der unteren Grenze eines Anbruchgebietes sind entscheidend, da diese die Lawinenkubaturen im Wesentlichen bestimmen. Die Schneeaufnahme entlang der Sturzbahn (Entrainment) spielt bei Lawinen eine maßgebende Rolle. Leider gestaltet sich die Festlegung des zur Verfügung stehenden Schnees als schwierig. Einerseits muss abgeschätzt werden, wieviel Schnee aufgenommen werden kann und andererseits weiß man, dass sich die Schneeeigenschaften, welche die Lawine wiederum beeinflussen, relativ schnell ändern können. Daher verbleibt die gutachterliche Abschätzung im Gelände bzw. im GIS mit der Ausweisung potentieller Entrainmentbereiche (Granig et al. 2013). Die Bestimmung der Schneemächtigkeit (d_0) erfolgt mittels Hochrechnung mit Unterstützung repräsentativer Wetterstationen aus dem EVA+ Tool (Schellander et al., 2011).

Kritische Punkte bzw. offene Fragen

Die Nachrechnungen von Lawinenereignissen in den inneralpinen Hochlagen haben gezeigt, dass hier die Modelle derzeit an ihre Grenzen gelangen. Beobachtungen verdeutlichen, dass in Höhenlagen mit einem Lawinenauslauf auf

über ca. 1.800 m Seehöhe mit wesentlich größeren Lawinenreichweiten zu rechnen ist, als es in Simulationen erscheint (Kofler et al. 2016). Ein Grund für diese Diskrepanz sind die jeweiligen Parameter der Fließmodelle. Diese sind nicht für spezifische Lawinentypen optimiert und eine genauere Parameterwahl scheitert häufig an der geringen Anzahl verfügbarer Datensätze. Daher wird in solchen Fällen eine konservative Herangehensweise empfohlen bzw. sollten z.B. ein Sicherheitszuschlag mitberücksichtigt werden.

Insgesamt gilt, dass eine exakte Messung der einzelnen Modellparameter, wie beispielsweise Materialeigenschaften, welche das Reibungsverhalten von Schnee beschreiben, an realen Lawinen bisher kaum möglich ist. Daher müssen diese Parameter mit entsprechenden Verfahren ermittelt werden. Diese Verfahren basieren auf Rückrechnungen beobachteter Extremlawinen und beinhalten die Lösung eines inversen Problems sowie ein geeignetes Optimierungsverfahren (Kofler et al. 2016). Eine Möglichkeit, die Unsicherheiten in den Simulationsergebnissen aufzuzeigen, ist die Anwendung von probabilistischen Methoden (Hellweger et al. 2016). Bei sogenannten Ensemble-Simulationen wird eine Vielzahl von Simulationen mit variierenden Eingangsparametern durchgeführt und die resultierenden Ergebnisse analysiert. Eine Darstellung der Variabilität der Modellergebnisse auf Grund der unsicherheitsbedingten Variation der Eingangsparameter kann mögliche Szenarien aufzeigen und damit dem Anwender wertvolle Unterstützung geben. Ein mögliches Werkzeug hierfür sind sogenannte „probability maps“. Wie in Abbildung 4 gezeigt, wird hier z.B. nicht die räumliche Verteilung der Druckwerte, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer großen Zahl von Simulationen ein gewisser Anteil von Simulationen einen Mindestdruckwert überschreitet, dargestellt. Siehe

roter Bereich in Abbildung 4, dieser stellt Flächen dar, wo 90% der Simulationen einen Druck größer 1 kPa aufweisen.

Auch wenn Unsicherheiten in Simulationen explizit dargestellt werden können, ist im Wesentlichen immer auf eine gute Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu achten und weniger auf deren Genauigkeit, da mit den modernen Simulationswerkzeugen schnell die Gefahr einer Scheingenauigkeit besteht. So macht zum Beispiel eine Geländemodellauflösung von 1m (statt derzeit 5m) die Ergebnisse nicht genauer, da z.B. die winterliche Schneedecke oder Schneeverwehungen das Gelände glätten.

Die Masterarbeiten von Seiwald (2016) sowie Wagner (2016) haben verdeutlicht, dass auch kleine Lawinen außergewöhnliche Reichweiten aufweisen können. In den Arbeiten wurden 25 bzw. 49 Kleinlawinen näher untersucht. Als Kleinlawinen wurden jene Datensätze klassifiziert und berücksichtigt, die eine potentielle Lawinenkubatur von max. 30.000 m³ (mit Ausnahmen 40.000 m³) und eine Sturzbahn von max. 400 m (Ausnahmen 500 m) Fallhöhe, sowie eine große Jährlichkeit aufweisen. Wagner (2016) errechnet mit seiner neuen Regressionsformel für Kleinlawinen ein ähnliches Pauschalgefälle von im Mittel ca. 25° wie für Großlawinen. Einige der untersuchten Lawinenereignisse können mit der großen Höhenlage bzw. höheren Lawinenkubaturen erklärt werden. Dennoch verbleibt die Erkenntnis, dass kleine potentielle Lawinenbahnen tendenziell leicht unterschätzt werden können. Dieser Umstand soll im Besonderen im Rahmen von Beurteilungen von Bauwerken berücksichtigt werden. Die Ansätze zur Berechnung von Kleinlawinen in Granig und Sauermoser (2009) muss aus heutiger Sicht als zu optimistisch eingestuft werden. Statistische Modelle werden daher auch in Zukunft nicht aus der Lawinensimulation weg-

zudenken sein. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die flächige Anwendung von statistischen Modellen, d.h. eine Kombination aus räumlicher Ausbreitung und Reichweitensimulation. Ein Beispiel ist hier die österreichweite Modellierung von Waldflächen mit Objektschutzfunktion (Huber et al. 2016).

Über die Wirkung des Waldes in der Lawinensimulation gibt es bereits eine Reihe

von Untersuchungen sowie unterschiedliche Implementierungen in den Simulationswerkzeugen (Feistl et al. 2014, Sampl, 2007), wobei die Ergebnisse immer noch mit Unsicherheiten behaftet sind. So gibt es verhältnismäßig wenig repräsentative Datensätze mit Massenbilanzen über Lawinereignisse, die einen ausgeprägten Wald durchflossen bzw. zerstört haben. Bei Ereignissen, die erhebliche Waldmengen vernichtet haben, gestaltet sich die Rekonstruktion als schwierig, um die Wirkung des Waldes im Nachhinein zu quantifizieren. Sowohl in SamosAT als auch in RAMMS kann die Waldwirkung mitberücksichtigt werden, jedoch sind die Einstellungen

grundsätzlich eher konservativ gewählt, um eine Überschätzung der Waldwirkung zu vermeiden. Das Detrainmentmodell in RAMMS wirkt bis ca. 15.000 m³ Anbruchkubatur (Feistl et al. 2014), da Bäume (Abbildung 2) bei kleineren Lawinen eine nachweisliche Wirkung aufweisen können. Bei größeren Lawinen wird der Wald durch erhöhte Reibungswerte berücksichtigt, da auch eine völlige Zerstörung des Baumbestandes möglich ist.



Abb. 2: Lawinenwirkung auf eine Lärche.

Fig. 2: Avalanche impact on a Larch tree.

Aktuell werden an SamosAT verschiedene Entwicklungsschritte umgesetzt. Es wurde z.B. für das Fließlawinenmodell ein Update des numerischen Berechnungsschemas implementiert und in der praktischen Anwendung eingeführt. Durch die geänderte Numerik (SPH) werden die Ergebnisse der Fließsimulationen räumlich etwas kompakter und einzelne numerische Ausreißer vermieden. Es wurde die Anbruchdichte von 150 kg/m³ auf 200 kg/m³ erhöht. In der Staublawinenmodellierung wurde die räumliche Auflösung von 15m auf 10m verringert. Möglich wurde dieser Schritt durch Einsparungen in der Rechenzeit durch die Parallelisierung der Staubberechnung, so dass auch mit der erhöhten 3D-Auflösung weiterhin Rechenzeiten von derzeit 6–8 Stunden für eine Staubsimulation erreicht werden. Weitere Anpassungen am Staublawinenmodell und den entsprechenden Parametern sind geplant, um ein realistischeres

Auslaufverhalten simulieren zu können. Derzeit sind die Staublawinenergebnisse im Auslauf oft zu schmal und teilweise zu kurz. Dazu werden Standardtestfälle entwickelt, die es ermöglichen ein Prozedere für Neuentwicklungen und deren Überprüfung mit internationaler Unterstützung zu gestalten.

Nassschneelawinen können bisher nur eingeschränkt mit den Simulationswerkzeugen berechnet werden. Das SLF in Davos arbeitet an einem eigenen Reibungsmodell für Nassschnee in RAMMS (Valero et al., 2016). Für SamosAT wird ebenso ein eigenes Modul für Nassschneelawinen in Absprache mit dem Entwickler Peter Sampl von der AVL und dem BFW angedacht. Die Diskussionen am Symposium in Galtür im April 2017 haben verdeutlicht, dass in Folge des Klimawandels verstärkt mit Gleitschnee- und Nassschneephänomenen zu rechnen ist. Eine Frage

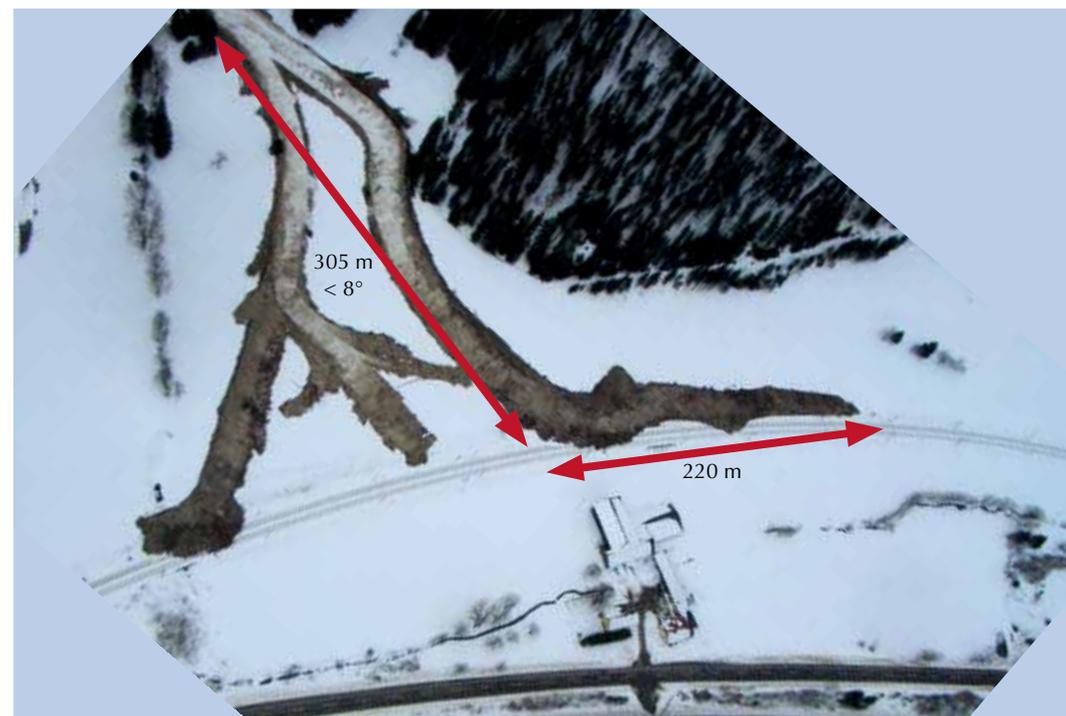


Abb. 3: Nassschneelawine am Schoberpass (ST) 2009.

Fig. 3: Wet snow avalanche on the Schoberpass (ST) 2009.

wird auch sein, wie mit den Zufallskomponenten der Auslaufmuster umgegangen wird, siehe Abbildung 3. Daher wird die Entwicklung eines Standardprozederes zur Berechnung verschiedener Szenarien von trockenen Fließ-, Misch-, Staub- und Nassschneelawinen unumgänglich.

Eine häufige Fragestellung betrifft die Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen. Für Anbruchverbauungen können unter anderem Überschneigungsszenarien simuliert oder Abschätzungen für deren optimale laterale Ausdehnung getroffen werden. Hingegen sind Berechnungen von Restanbruchflächen unterhalb der Verbauungen nur bedingt aussagekräftig. Lawinenleitdämme sind in Simulationen gut darstellbar, der Effekt von Auffangdämmen jedoch nicht. Auffangdämme müssen über die Energiehöhenformel bzw. anhand des Ansatzes der Schockwellen-Theorie berechnet werden. Hier gibt es einen sehr hohen Entwicklungsbedarf, da die derzeitigen Modelle für diese Aufgabe nicht ausgelegt sind. Als schwierig erweist sich, dass wenig repräsentative Datensätze zur Nachrechnung von Lawineneignissen in Kombination mit Schutzbauwerken verfügbar sind. Um die Wirksamkeit zu überprüfen, werden in Zukunft internationale Forschungsarbeiten und Kooperationen notwendig sein. In der Gefahrenzonenplanung ist es aber auf jeden Fall ratsam, die bereits gesicherten Bereiche vor weiteren Bebauungen freizuhalten oder zumindest ein Restrisiko (Überschneigungen, Vorlawinen etc.) zu berücksichtigen, um große Schäden zu vermeiden.

Zukunftsbetrachtungen & Visionen

Zukünftig wird die Betrachtung des Risikos generell eine wesentlich stärkere Rolle spielen. Gerade nach umfangreichen Verbauungsmaßnahmen wird die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Katastrophenereignisses zumeist erheblich reduziert.

Dieses Resultat der Eintrittswahrscheinlichkeiten wird jedoch nicht entsprechend dargestellt. Die Rücknahme der Zonen allein erscheint hier kein probates Mittel zu sein. Daher muss eine neue Form der Darstellung in der Zonenplanung eingeführt werden. Dazu kann auch bedacht werden, ob es nicht unterschiedliche Sicherheitsniveaus geben kann. Es gibt Unterschiede in der Betrachtung z.B. eines Carports, einer Straße, eines Schwimmbades, eines Wohnhauses, einer Siedlung, oder einer Schule. All diese Einrichtungen können durch eine Verbauungsmaßnahme geschützt sein/werden, jedoch ist sicher nicht jede Bebauung geeignet für die Umsetzung in einem vor Lawinen künstlich gesicherten Gebiet. Welche Sicherheitsanforderungen werden in Zukunft gestellt? Ist die Betrachtung eines Bemessungsereignisses unter Zuhilfenahme einer gewissen Jährlichkeit wirklich hilfreich? Diese Fragen gilt es zu klären. Für die Praxis können probabilistische Simulationskonzepte hilfreich sein, um Unsicherheiten in den Simulationsergebnissen oder auch die Auftretenswahrscheinlichkeiten explizit darzustellen. Ähnlich wie bei Wettervorhersagen, wo z.B. Wahrscheinlichkeiten für Regen angegeben werden, können für ein Bemessungsereignis Lawinenauslaufängen mit z.B. 90% Wahrscheinlichkeit (siehe Abbildung 4) ausgegeben werden. Der Gefahrenzonenplaner muss sich entscheiden, welchen Ansatz dieser für seine Zonierung auswählt. Diese Darstellungen öffnen den Weg für risikobasierte Beurteilungskonzepte und Entscheidungshilfen.

In absehbarer Zeit werden in-situ Analysen möglich sein. Mobile Geräte können heute schon grundlegende GIS-Funktionalitäten ausführen. Zusammen mit digitalen Geländedaten könnten gemessene Schneeeigenschaften dazu dienen, den potentiellen Lawinenauslauf in Abhängigkeit der aktuellen Situation vor Ort zu simulieren.

Lawinensimulationen werden stetig wei-

terentwickelt und optimiert. Die numerische Auflösung wird immer detaillierter. Frei nach dem Motto „Auflösung ist alles“ werden mit leistungsstarken Rechnern enorme Rechenoperationen in kurzer Zeit möglich. Im Staublawinenmodell SAMOS wird eine 3D-Gitternetzauflösung von 5x5x1 m erwartet. Hierfür wird aus heutiger Sicht ein Zeitraum von ca. 10 Jahren im Rahmen des technischen Fortschritts angegeben. Potential für Verbesserungen der Simulationen steckt noch in der Erstellung und Erweiterung der repräsentativen Datensätze. In Österreich ist aufgrund der 10 kPa Grenze in der Gefahrenzonenplanung als Kriterium für eine rote Lawinengefahrzone, die Abschätzung von Misch- und Staublawinen ein wesentliches Thema. Allerdings wird der für

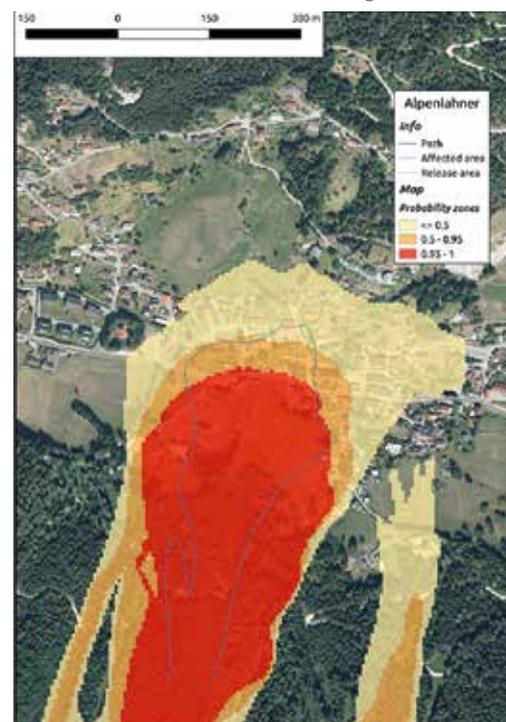


Abb. 4: „Probability map“ für die Alpenlahner Lawine. Gezeigt wird die Wahrscheinlichkeit, dass in Simulationen ein Druck grösser 1 kPa erreicht wird (aus Hellweger et al. 2016).

Fig. 4: Probability map for the Alpenlahner avalanche (Hellweger et al. 2016).

diesen Druckbereich maßgebliche fluidisierte oder energetische Teil einer Lawine, welcher hohe Geschwindigkeiten aufweist, nur unzureichend durch die aktuellen Modelle abgebildet. Daher gibt es Bestrebungen, ein neues Modell zu entwickeln, das die entscheidenden Prozesse der fluidisierten Schicht genauer abbilden kann. Eine mögliche Basis dafür ist die Schaffung eines internationalen Simulationswerkzeuges auf open source Basis, bei dem die teilnehmenden Länder Lawinendaten und Know-How einbringen können. Damit können viele unterschiedliche und gut dokumentierte Lawineneignisse für die Parameteroptimierung gesammelt, und eine große Akzeptanz für die Anwendung erreicht werden.

Das Projekt ALARM hat gezeigt, dass eine Betrachtung von den Wettermodellen bis zum Lawinenauslauf, also vom Schneefallereignis bis zum Ende der Lawinenablagerung, prinzipiell möglich ist und erste nötige Schnittstellen geschaffen worden sind. Kann man anhand bestimmter Wetterlagen bereits im Vorhinein eine mögliche Lawinenaktivität und die zu erwartenden potentiellen Auslaufängen berechnen? Sind Straßensperren oder auch sogar Evakuierungen in Betracht zu ziehen? Solche Überlegungen könnten in Zukunft schon Tage bevor eine Wetterlage eintrifft, durchgerechnet und überprüft werden. Extremwetterlagen könnten im Vorfeld für bestimmte exponierte Gebiete analysiert und schematische Handlungsempfehlungen (mit z.B. Wenn-Dann-Entscheidungsbäumen) vorbereitet werden, um im Ernstfall schnellere Entscheidungen zu ermöglichen.

Resümee

Der Einsatz der Lawinensimulationen befindet sich im Wandel. Aufgrund bestehender Unsicherheiten werden nicht nur die Werkzeuge selbst, sondern in naher Zukunft auch die Anwen-

dungsmethodik adaptiert. Dabei wird besonders deutlich, dass eine breite Absicherung, also eine fachlich fundierte Argumentation und Nachvollziehbarkeit in der Lawineneinschätzung, sehr wichtig ist. Mit der Einbeziehung verschiedenster Methoden (Erhebungen, Berechnungen, Auswertungen, etc.) können – trotz Änderungen in einzelnen Bereichen – weiterhin solide Aussagen mit Bestand über Lawinen gemacht werden.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Matthias Granig
Stabstelle Schnee und Lawinen
Wildbach- und Lawinenverbauung
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
matthias.granig@die-wildbach.at

Dr. Jan-Thomas Fischer
Institut für Naturgefahren – Schnee und Lawine
Bundesforschungszentrum für Wald – BFW
Rennweg 1, 6020 Innsbruck
jt.fischer@bfw.gv.at

Literatur / References:

FEISTL, T., PETER, BEBI, P., TEICH, M., YVES, B., CHRISTEN, M., THURO, K., AND BARTELT, P. (2014).
Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. *Journal of Glaciology*, 60(219).

GRANIG, M., FISCHER, J.T. AND JÖRG, P. (2013):
Systematic practical evaluation of snow entrainment with the avalanche simulation model SamosAT. *International Snow Science Workshop*, Grenoble, 599-603.

GRANIG, M., SAUERMOSE, S. (2009):
Ein Erfahrungsbericht über die Lawinenmodellierung aus der aktuellen praktischen Arbeit der WLW. *Wildbach und Lawinenverbau*, 73. Jahrgang, Heft Nr. 163., pp. 142-151, Salzburg.

HELLWEGER, V., FISCHER, J.T., KOFLER, A., HUBER, A., FELLIN, W., RAUTER, M., AND OBERGUGGENBERGER, M. (2016).
Stochastic methods in operational avalanche simulation - from back calculation to prediction. In *International Snow Science Workshop*, Breckenridge, Colorado, USA – 2016.

HUBER, A., FISCHER, J.T., KOFLER, A., AND KLEEMAYR, K. (2016).
Using spatially distributed statistical models for avalanche runout estimation. In *International Snow Science Workshop*, Breckenridge, Colorado, USA – 2016.

KOFLER, A., FISCHER, J., HUBER, A., FELLIN, W., RAUTER, M., GRANIG, M., HAINZER, E., TOLLINGER, C., AND KLEEMAYR, K. (2016a).
Multivariate parameter optimization for 1operational application of extended kinetic theory in simulation software. In *International Snow Science Workshop*, Breckenridge, Colorado, USA – 2016.

KOFLER, A., HAINZER, E., AND FISCHER, J.-T. (2016b).
CoSiCa CV: Concepts for Simulation and Calibration - Cross Validation. Technical report, Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Innsbruck, Austria.

ON-Regel 24805 (2010):
Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen. Austrian Standards Institute, Wien.

SAMPL P. (2007):
SamosAT – Modelltheorie und Numerik. AVL List GmbH, Graz.

SAUERMOSE, S., GRANIG, M., KLEEMAYR, K. & MARGRETH, S. (2011):
Grundlagen und Modelle der Lawinendynamik und Lawinenwirkung, in: *Handbuch Technischer Lawinenschutz*, (Hrsg. Rudolf-Miklauer F. & Sauermoser S.), Ernst & Sohn GmbH & Co. KG., Berlin, S. 63-101.

SHELLANDER, H.; ZINGERLE, C. & BUCHAUER, M. (2011):
EVA+ Extreme Value Analysis (<http://eva.zamg.ac.at/evaplus/>) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Innsbruck.

SEIWALD, S. (2016):
Lawinensimulation von Kleinen und Mittleren Lawinen. Diplomarbeit / Masterarbeit - Institut für Alpine Naturgefahren (IAN), BOKU-Universität für Bodenkultur, Wien. pp VI, 84.

VALERO, C. V., WEVER, N., BÜHLER, Y., STOFFEL, L., MARGRETH, S., AND BARTELT, P. (2016).
Modelling wet snow avalanche runout to assess road safety at a high-altitude mine in the central andes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(11):2303.

WAGNER, P. (2016):
Kalibrierung des Alpha-Beta-Modells für das Ermitteln der Auslauflängen von kleinen und mittleren Lawinen, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, S. 252.

WAGNER, P., TOLLINGER, C., SEIWALD, J., GRANIG, M. (2016):
Überarbeitung des α - β -Modells für das Ermitteln der Auslauflänge von Lawinen. Technischer Bericht, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Stabstelle Schnee und Lawinen, Innsbruck.

INGENIEURBÜRO FÜR NATURGEFAHRENMANAGEMENT

Analysen
Planungen
Baubegleitung
Beratung und Gutachten



DI Herzog-Odilo-Straße 1/1
5310 Mondsee
T: +43 660 3624341
CHRISTOPH SKOLAUT E: christoph@skolaut.at
www.skolaut.at



MICHAEL WINKLER, STEFANIE GRUBER, HARALD SCHELLANDER

Meteorologische Aufarbeitung und extremwertstatistische Einordnung der historischen Lawinenwinter in Tirol: 1916/17, 1934/35 und 1950/51

Meteorological assessment and extreme value analysis of historical avalanche winters in Tirol: 1916/17, 1934/35, and 1950/51

Zusammenfassung:

Die Winter 1916/17, 1934/35 und 1950/51 gingen aufgrund der Vielzahl an Lawinenkatastrophen in die Geschichte Tirols ein. Mithilfe von Reanalyse-Daten und dem HISTALP-Datensatz wurden die Winter meteorologisch untersucht. Langjährige Messreihen dienten außerdem zur extremwertstatistischen Einordnung der damals registrierten Schneemengen. Wenig überraschend handelte es sich in jedem der betrachteten Winter um sehr selten auftretende Schneehöhen. Allerdings gab es sowohl in der räumlichen Verteilung der Extrema als auch im zeitlichen Ablauf der Schneedeckenentwicklung große Unterschiede zwischen den Wintern. In den Wintern 1916/17 und 1950/51 führten 100- bis 200-jährliche Schneehöhen zu den Großlawinen. Im Winter 1934/35 waren es im Allgemeinen 10- bis 20-jährliche Ereignisse.

Stichwörter: Historische Lawinenwinter, Tirol, Extremwertstatistik, Gesamtschneehöhe, 3-Tages-Neuschneesumme

Abstract:

In Tirol the winters of 1916/17, 1934/35, and 1950/51 entered the history books because of many avalanche disasters. The meteorological situations during these winters were studied using reanalysis data and the HISTALP data set. Long-term measurements of snow depths were used to realize extreme value analyses. Not surprising, measured snow depths turned out to be extreme. Still, there were great differences between the winters concerning spatial distribution of the extreme snow depths as well as the snowpack evolutions. Snow depths with return periods of 100-200 years led to the catastrophic avalanches in 1916/17 and 1950/51. In 1934/35 snow depth return periods were generally at the order of 10-20 years.

Keywords: Historical avalanche winters, Tyrol, extreme value analysis, snow depth, 3-day-sum of new snow

Einleitung

Im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreich (Sektion Tirol) hatte die ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Kundenservicestelle für Tirol und Vorarlberg) die Möglichkeit, die Lawinenwinter 1916/17, 1934/35 und 1950/51 meteorologisch zu analysieren. Mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen wurde eine extremwertstatistische Einordnung der damals gemessenen Schneehöhen sowie der 3-Tages-Neuschneesummen unternommen (Gruber et al., 2017).

Für die Winter 1916/17 und 1950/51 existieren bereits einige Untersuchungen: In einer aktuellen Arbeit untersuchten Brugnara et al. (2016) den Dezember 1916 mittels eines WRF-Downscaling der ERA-20C Reanalyse. Die tagelange Zufuhr von feuchtwarmer Mittelmeerluft führte demnach zu intensiven Aufgleit- und Stauniederschlägen südlich des Alpenhauptkamms. Der 13.12.1916 lag am Ende dieser Niederschlagsperiode und ging aufgrund einer Vielzahl von Lawinenereignissen mit einer Opferzahl von mehreren Tausend als „White Friday“ in die Geschichte ein. Laternser und Ammann (2001) untersuchten bereits die beiden Phasen mit extremen Lawinenereignissen im Winter 1950/51 für die Schweiz nach meteorologischen Gesichtspunkten. Im Jänner 1951 waren nach anhaltenden Schneefällen die zentrale und östliche Schweizer Alpennordseite von katastrophalen Lawinen betroffen, im Februar verursachte ausgeprägter Südstau eine extreme Lawinentätigkeit vor allem im Tessin. Das Gotthardgebiet wurde bei beiden Lawinenphasen hart getroffen. Des Weiteren analysierte Höller (2014) die Winter 1916/17 und 1950/51 mit besonderem Bezug zu Südtirol. Über den Winter 1934/35 ist bezüglich verheerender Lawinenereignisse weniger bekannt. Zwar lassen sich anhand diverser Quellen (z.B. Fliri,

1998) einige größere Lawinenereignisse im Februar 1935 an der österreichischen Alpennordseite belegen, eine meteorologische Aufarbeitung fehlt aber bisher.

In keinem der zitierten Beiträge wurde der Versuch unternommen, die Schneehöhen oder Neuschneesummen extremwertstatistisch einzuordnen. Im Rahmen der hier zusammengefassten Arbeit von Gruber et al. (2017) konnten solche Auswertungen durchgeführt werden. Im Folgenden wird ein Überblick über die verwendeten Daten und extremwertstatistischen Methoden gegeben, die drei Winter einzeln analysiert und eine Zusammenfassung präsentiert, die einen Vergleich der drei Winter umfasst.

Daten und Methoden

Daten

ERA-20C ist eine Reanalyse der Wetterabläufe für das gesamte 20. Jahrhundert (Poli et al., 2016). Mithilfe dieser Daten konnten die meteorologischen Ursachen für die historischen Lawinenkatastrophen analysiert werden. Zur Bestimmung der tatsächlich gefallen Schneemengen und deren Jährlichkeit ist die Reanalyse nicht brauchbar, dazu konnte jedoch auf sehr gute Messdaten zurückgegriffen werden.

Eine der drei verwendeten Datenquellen ist der HISTALP-Datensatz (Auer et al., 2007). Dabei handelt es sich um einen qualitätsgeprüften, homogenisierten, gegitterten Klimadatensatz für den Alpenraum in monatlicher Auflösung. Um Anomalien der einzelnen Lawinenwinter vergleichen zu können, wurde eine 50-Jahre lange Referenzklimaperiode verwendet, die von 1911 bis 1960 reicht, und damit den Zeitraum der zu begutachtenden Winter umfasst. Mithilfe von HISTALP konnte beurteilt werden, wie feucht oder warm die einzelnen Monate der historischen

Lawinenwinter im Vergleich zum langjährigen Klimamittel waren, und welche Alpenregionen von nennenswerten Anomalien betroffen waren (siehe Abbildung 5).

Für die extremwertstatistische Einordnung der drei Winter standen langjährige Datenreihen der Gesamtschneehöhe und des Neuschnees für den Raum Österreich zur Verfügung. Zum einen wurden Schneemessungen des SNOWPAT Datensatzes verwendet (Schöner et al., 2012-2015), welcher qualitätskontrollierte, homogenisierte Daten der Gesamt- und Neuschneehöhen umfasst. Datenlücken wurden mittels des Schneedeckenmodells SNOWGRID (Olefs et al., 2013) vervollständigt, so dass die Reihen teilweise bis 1895 zurückreichen (siehe Abbildung 4).

Um die Datengrundlage für das frühe 20. Jahrhundert in den südlichen Alpenregionen zu erweitern, wurden ausgewählte Schneehöhenreihen der Hydrographischen Dienste Österreichs (HD-Daten) verwendet (siehe Abbildung 3). Diese Daten wurden zwar nicht homogenisiert, allerdings z.B. auf Ausreißer hin kontrolliert. Eine Darstellung der Messorte, deren Datenreihen in dieser Studie verwendet wurden, findet sich in Abbildung 1. Letztlich ist die Datenlage auf heutigem österreichischem Staatsgebiet ausgezeichnet. Datenreihen aus dem heutigen Italien und Slowenien, welche vor allem für den Winter 1916/17 interessant gewesen wären, konnten allerdings nicht erhoben werden.

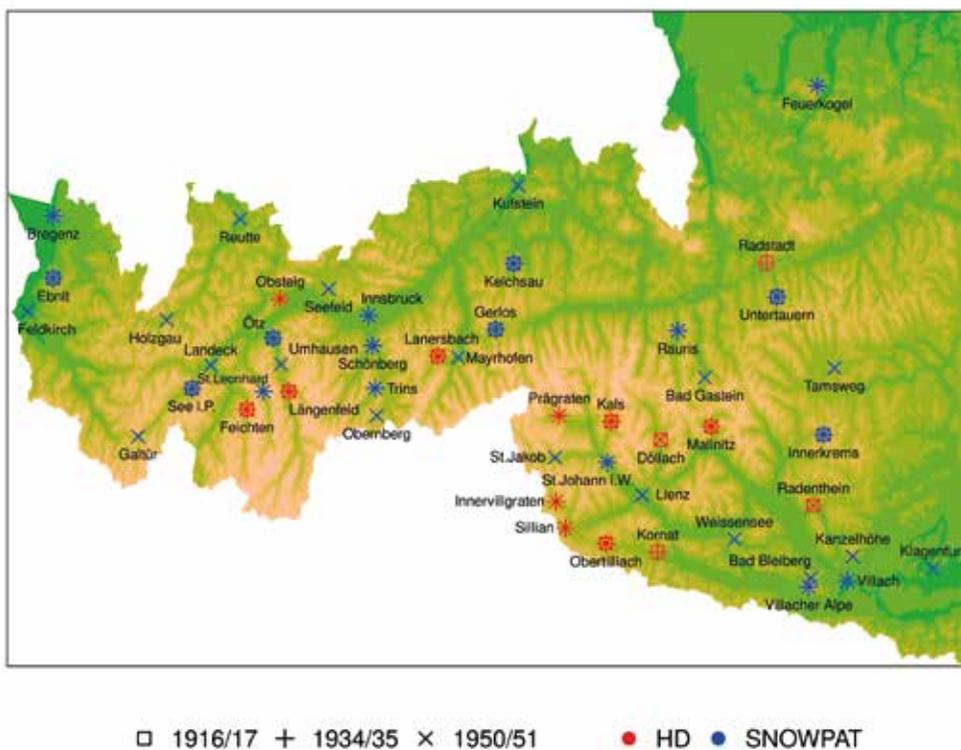


Abb. 1: Lage der Messorte, deren Datenreihen verwendet wurden.

Fig. 2: Location of the measuring sites with used data series.

Extremwertstatistik

Mit Hilfe der Extremwerttheorie (z.B. Coles, 2001) lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines außergewöhnlichen Ereignisses modellieren. Ein Ereignis, das im Verlauf eines Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von p einmal erreicht oder überschritten wird, hat eine Jährlichkeit von $J = 1/p$. Ein Jahresmaximum der Schneehöhe mit $J = 100$ hat demnach eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von $p = 0.01$ oder 1%. Man spricht von einer 100-jährlichen Schneehöhe.

Die verwendeten Datenreihen enthalten tägliche Messwerte der Schneehöhe und/oder der 3-Tages-Neuschneesumme über viele Jahre. Zur Extremwertbestimmung wurden die jeweiligen Höchstwerte der Wintersaisons (01.10. bis 30.04.) herangezogen. An diese Maxima wurde eine Generalisierte Extremwertverteilung (gene-

ralized extreme value distribution oder GEV-Verteilung) angepasst. Dazu wurden die drei verteilungsbestimmenden Parameter (location, scale und shape) mittels der Maximum-Likelihood-Schätzmethode berechnet. Infolge ließen sich Jährlichkeiten von Schneehöhen etc. angeben.

Der shape-Parameter bestimmt die Enden der GEV-Verteilung. Ist er negativ, dann ist nur eine sehr geringe Erhöhung (hier: der Schneehöhe) nötig um einen extremen Sprung in der Jährlichkeit zu verursachen. Dieses Verhalten zeigen typischerweise Bergstationen oder generell schneereiche Messorte. Für Galtür beispielsweise wird eine Schneehöhe von 200 cm im Mittel einmal in ca. 50 Jahren überschritten. Der shape-Parameter ist hier negativ und das bedeutet, dass es, laut Extremwerttheorie, eine bestimmte Schneehöhe gibt, deren Überschreitungswahrscheinlichkeit in Galtür Null ist (horizontale gepunktete Linie in Abbildung 2).

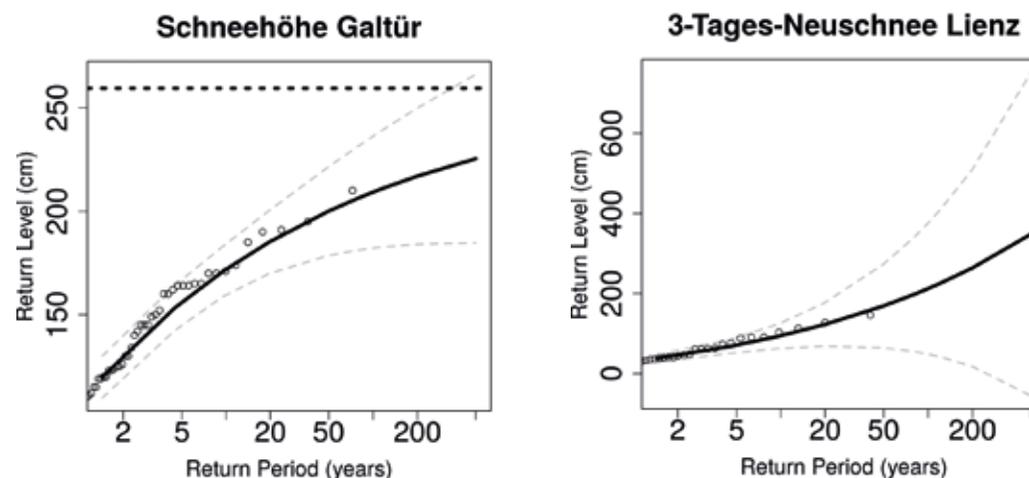


Abb. 2: Return levels (durchgezogene Linie) der Schneehöhe in Galtür (links) und der 3-Tages-Neuschneesumme an der vergleichsweise schneearmen Station Lienz (rechts). Die beiden grau strichlierten Linien stellen die 95%-Konfidenzintervalle dar. Die Kreise zeigen bereits gemessene Ereignisse, an die die GEV-Verteilung angepasst wird. In Galtür ist der shape-Parameter negativ, eine Schneehöhe von 260 cm kann nicht überschritten werden (horizontale, strichlierte Linie). In Lienz ist der shape-Parameter positiv. Beliebige extreme Ereignisse sind hier möglich.

Fig. 2: Return levels (solid line) of the snow heights of Galtür (left) and 3-day-sum of new snow at the station in Lienz characterized by relatively poor snowfall. The two dashed lines show the 95% - confidence intervals. The circles represent the recorded events, which were used to fit the GEV-distribution curve.

Bei Messreihen, deren GEV-Verteilung einen positiven shape-Parameter zeigt, sind bei einer Zunahme der Jährlichkeit extreme Werte möglich. Dies trifft öfters auf relativ schneearme Talorte zu. Für Lienz lässt sich etwa behaupten, dass eine nur langsam abnehmende (Nicht-Null-)Wahrscheinlichkeit existiert, dass eine beliebige 3-Tages-Neuschneesumme überschritten wird (Abbildung 2). Es besteht eine bestimmte Wahrscheinlichkeit für sehr extreme Ereignisse und gibt sozusagen keine theoretische Obergrenze.

Die bei ähnlichen Analysen von meteorologischen Extrema häufig verwendete Gumbel-Verteilung ist ein Spezialfall der GEV-Verteilung bei dem der shape-Parameter Null ist. Die oben beschriebenen, oft grundlegend verschiedenen Eigenschaften unterschiedlicher Messreihen können durch die Gumbel-Verteilung nicht abgebildet werden, nichtsdestotrotz wurde in dieser Studie, wenn der shape-Parameter nahe Null (± 0.01) lag, die Gumbel-Verteilung verwendet. Damit ließ sich für diese Fälle die statistische Genauigkeit (z.B. der Jährlichkeit) erhöhen.

Winter 1916/17

Meteorologischer Verlauf

Der Winter 1916/17 war in den Südostalagen der Ostalpen extrem schneereich. Im Norden gab es nur im April 1917 ein außergewöhnliches Schneefallereignis. Bereits der November 1916 brachte in den Staulagen der Südostalpen ein Mehr an Niederschlag von 100–200%, wobei dieser Niederschlag in höheren Lagen ab grob 1000 m Seehöhe als Schnee fiel und dort bis zu den nächsten Schneefällen im Dezember erhalten blieb. In den höheren Tallagen der Südalpen setzte sich der Schnee bis 05.12.1916 auf gut 50 cm. Dann folgte die womöglich folgenschwerste Schneefallperiode der Geschichte:

Zwischen 05. und 16.12. brachte fast jeder Tag Neuschnee in den Süd- und Südoststaulagen der Alpen, wobei die Situation am 13.12. zwischen Bergamo und Laibach ihren Höhepunkt erreichte. Angetrieben durch ein stationäres Tief zwischen Südeuropa und der Bretagne führte eine anhaltende Südwestströmung schubweise milde, maritime Luftmassen an den südlichen Alpenbereich heran. Die Schneefallgrenze lag großräumig auf etwa 1000 m Seehöhe. In vielen Tälern gab es Starkregen, auf den Bergen Starkschneefall mit Sturm. An den Gebirgsfronten des Ersten Weltkriegs befanden sich gleichzeitig Tausende Soldaten im lawinengefährdeten Hochgebirge, es gab aber nicht nur dort, sondern aufgrund der schier Größe der Lawinen auch in vielen Tälern katastrophale Ereignisse (Klebensberg, 1921; Fliri, 1998; Höller, 2014). Am 14. und 15.12. ließen die Niederschläge im Süden allmählich nach, die außergewöhnlich mächtige Schneedecke unterlag über den Jahreswechsel hinaus einer drastischen Setzung. Auf den sehr schneereichen November war ein extrem schneereicher Dezember gefolgt.

Die dramatischen Lawinenereignisse des Dezember 1916 fanden allerdings nicht zur Zeit der höchsten Gesamtschneehöhe des Winters 1916/17 statt, denn im Jänner 1917 erfolgte erneut ein enormer Schneezuwachs in den Südoststaulagen. Am 08.01.1917 gab es eine weitere Tiefdruckentwicklung über Südeuropa und der Bretagne mit folgenreicher Südwestanströmung der Alpen. In Obertilliach brachte dies in 24 Stunden einen Schneezuwachs von 160 cm. Zwischen 14. und 21. Jänner zog schließlich ein nächstes Tief nach Südfrankreich, die Südwestströmung über den Ostalpen verstärkte sich, mild-feuchte Luftmassen wurden an den südöstlichen Alpenrand geführt und nach mehreren Tagen mit Schneefällen wurde in Kornat im Kärntner Lesachtal am 20. Jänner 1917 eine der höchsten je an einem besiedelten Ort im Süden Österreichs gemessene

Schneehöhe von 363 cm gemessen. In Obertilliach verzeichnete der Beobachter fünf Tage lang einen konstanten Wert von 350 cm. Der Schneezuwachs von 2 Metern und mehr zwischen zirka 08. und 20.01. führte zu einer erneuten Überlast und dem Abgang vieler weiterer Lawinen (Fliri, 1998).

Februar und März 1917 verliefen ohne nennenswerte Schneefallereignisse. Die außergewöhnlichen Schneemengen der Vormonate konnten sich setzen. In den Südostalagen wurden daher die höchsten Schneehöhen zumeist bereits im Jänner erreicht.

Am 03./04. April 1917 brachte schließlich eine massive Kaltfront sowohl im Süden als auch im Norden der Alpen Schneefall bis in die Tallagen. Zwischen 15. und 23.04. verursachte ein Tiefdruckkomplex über dem atlantischen Nordmeer einen letzten Kaltluftvorstoß dieses „Jahrhundertwinters“ Richtung Alpenraum, wodurch die Nordalpen ergiebigen Neuschneezuwachs bis in die Tallagen erfuhren. In Untertauern (Salzburg, 1100 m) nahm die Schneehöhe von 02. bis 09.04. von unter 50 cm auf 120 cm zu, und – nach kräftiger Setzung – gab es von 20. bis 23.04. eine noch drastischere Zunahme von 70 cm auf 146 cm. Ob es als direkte Folge dieser beider Aprilereignisse zu Großlawinen kam, ist nicht bekannt.

Ebenso unbekannt ist, ob es direkt nach einem weiteren Starkschneefall im Mai 1917 zu Schadenslawinen kam. Als ob diesen Winter nicht schon genug Superlative ausgezeichnet hätten, schneite es (nach einer intensiven Schmelzphase und einhergehender Ablation der Schneedecke) am 05.05.1917 erneut ausgesprochen stark im Südstau. Über 100 cm Neuschnee (z.B. in Obertilliach) innerhalb eines Tages ließ die für Mai noch immer beachtliche Schneedecke ein weiteres Mal auf 160 cm anwachsen.

Einschätzung der Ereignisse vom 13. Dezember 1916 hinsichtlich des Temperatureinflusses

Der 13.12.1916 gilt als einer der lawinenträchtigsten Tage der Geschichte. Es herrschte eine Situation mit starkem Schneezuwachs während der Vortage bei gleichzeitig großer Gesamtschneehöhe. Außerdem war der frühe Zeitpunkt der Schneemassen außergewöhnlich. Diese Feststellung findet sich in diversen Berichten zu den Ereignissen (z.B. Brugnara et al., 2016). Einige dieser Dokumente sprechen außerdem am oder ab dem 13.12. von „Taufwetter, Regen und nasse[m] Schnee“ (Klebensberg, 1921 bzw. Höller, 2014), „hohen Temperaturen“ und „Regen bis in die Höhe von 2000 m“ (Brugnara et al., 2016) oder von einem „Warmlufteinbruch, durch den die ganze Front ins Rutschen kam“ (Koller, 1990 auf Basis von Langes, 1972 und Schumann, 1973). Anhand der Temperaturdaten aus Innsbruck, vom Hochobir und vom Sonnblick sowie den ERA-20C Reanalyse-Daten konnte im Rahmen dieser Studie ein relevanter Einfluss der Temperatur oder des Regens auf die Auslösung der Lawinen des 13.12.1916 mit großer Sicherheit widerlegt werden:

Laut Reanalyse herrschte eine starke Südwestströmung, entsprechend der Temperaturmessungen wahrscheinlich eine Südföhnlage in Innsbruck, bei der sich gut auf die Temperaturverhältnisse in den Südalpen schließen lässt. Es konnte dadurch gezeigt werden, dass die Tageshöchsttemperaturen „an der Gebirgsfront“ auf einer Seehöhe von 2000 m während des fraglichen Zeitraums maximal zwischen -8 und -3 °C (von West nach Ost zunehmend) lagen. Außerdem handelte es sich auch nur um einen moderaten Anstieg der Temperaturen. Nach Tagen intensivsten Schneefalls bis in tiefe Lagen wird die Schneefallgrenze gegen 1000 m angestiegen sein, eventuell ganz im Osten bis 1500 m.

In Tallagen kam es infolge zu Starkregen. Dass Zeitzeugen von „Tauwetter“ berichten ist nachvollziehbar, wobei hier die Quellenlage unklar bleibt und im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden konnte von welchen Orten bzw. Seehöhen die diesbezüglichen Meldungen stammen. Die Ausläufer der Lawinen erreichten mehrfach Talbereiche, besonders im Vinschgau, bei Meran und in den Judikarien (Klebensberg, 1921). Es ist anzunehmen, dass im Auslauf mancher Lawinen Nassschnee im Spiel war, dass jedoch Tauwetter und Regen für die Auslösung der Lawinen verantwortlich waren ist auszuschließen. Die Anrissge-

biete lagen in Höhenbereichen deutlich über der Nullgradgrenze. Die extremen Schneemengen an sich sind wohl für die verheerenden Ereignisse verantwortlich.

Extremwertstatistische Einordnung

In den schneereichsten Gebieten, die sich entlang der (südlichen) Dolomiten über die Karnischen bis in die Julischen Alpen erstreckten, handelte es sich bei den Schneehöhenmaxima des Winters 1916/17 um 100- bis 200-jährliche Ereignisse. Abseits der Kerngebiete des Südstaus handelte

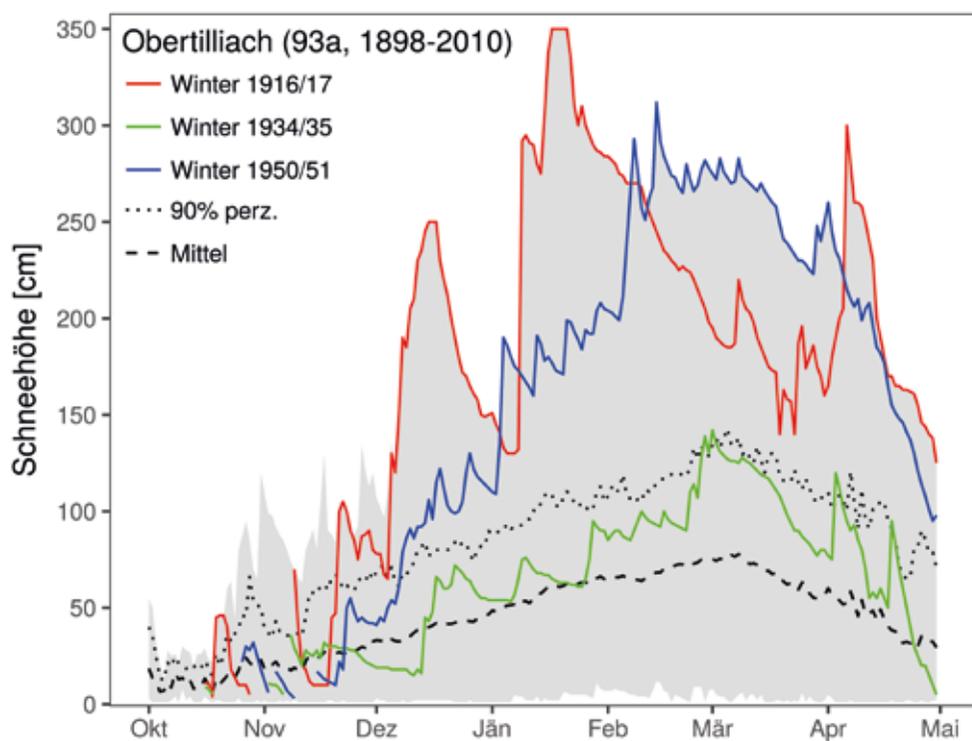


Abb. 3: Tägliche Schneehöhen des Hydrographischen Diensts (HD-Daten) aus Obertilliach, gelegen im Kerngebiet des österreichischen Südstaus. Die Datenlage ist eindrucksvoll, denn die Datenreihe ist äußerst lang (93 vollständige Winter zwischen 1898 und 2010) und von sehr hoher Qualität. Die graue Schattierung illustriert die bisher gemessene Bandbreite der Schneehöhen. Strichliert ist die mittlere Schneehöhe angedeutet. Die punktierte Linie zeigt die Schneehöhe an, die in 9 von 10 Wintern an den jeweiligen Tagen unterschritten wird. Im Wesentlichen markieren 1916/17 und 1950/51 die Rekordwerte an diesem Messort.

Fig. 3: Daily snow heights in Obertilliach, measured by the Hydrographic Service. The data series is remarkably long (93 complete winters from 1898 to 2010) and of high quality. The grey-shaded background represents the measured bandwidth of the snow heights. Dashed lines symbolize the average snow heights and the pointed line indicates the snow height, which was not exceeded in 9 out of 10 winters. The record values of the measuring station date from the years 1916/17 and 1950/51.

es sich um Schneehöhen, die dort alle 10 bis 20 Jahre (nördliches Osttirol und Nockberge) bzw. 30 bis 50 Jahre (Bereich Mölltal) vorkommen. (Über die Verhältnisse westlich des Etschtals kann aufgrund fehlender Daten keine konkrete Aussage getroffen werden). Erwähnung verdient außerdem, dass die Schneemengen des Dezember 1916 im oberen Gailtal/Lesachtal nur alle 300 Jahre in einem Dezember vorkommen, und dass die Schneemengen des Jänner 1917 großflächiger einer derart hohen oder sogar noch höheren „Jänner-jährlichkeit“ entsprachen. Das frühe Auftreten der extremen Schneemengen ist demnach als besonders außergewöhnlich zu werten.

Während der zweiten Starkschnee-Phase (08. bis 20.01.1917) traten 10- bis 30-jährliche 3-Tages-Neuschneesummen auf. Beim dritten extremen Einzelereignis (Anfang April 1917) gab es bis zu 50-jährliche Ereignisse der 3-Tages-Neuschneesumme. In manchen Bereichen des ostalpinen Nordstaus sorgte der Schneefall ab 20.04. letztlich noch für ein über 10-jährliches Ereignis der Gesamtschneehöhe, und das obwohl dort der Winter bis Ende März unterdurchschnittlich verlief.

Winter 1934/35

Meteorologischer Verlauf

Der Winter 1934/35 war im Vergleich zu den beiden anderen Extremwintern deutlich weniger schneereich. Dennoch lag an einigen Stationen der Alpennordseite und – vor allem – des Alpenhauptkammes außergewöhnlich viel Schnee. Der Süden war generell trockener, die Schneemächtigkeiten daher geringer.

Nach einem im Süden feuchten, im Norden trockenen November 1934 folgten ein relativ warmer und vom Niederschlag her unauffälliger Dezember sowie ein relativ kalter

und trockener Jänner 1935. Erst mit Ende Jänner/Anfang Februar gab es die ersten Fronten, die den Winter regional letztendlich zu einem schneereichem machten.

Die erste Februarwoche brachte vor allem im Norden erheblichen Neuschneezuwachs. Dabei lag der Alpenraum zwischen einem großräumigen Hoch im Atlantik und einem Tief über dem skandinavischen Nordmeer in einer feuchten, milden Nordwestströmung. Beinahe täglich kam es zu Schneefällen, besonders am 02.02.1935 mit einer Warmfront. In der zweiten Februarwoche wurde die Witterung in Tirol von einer Nordostlage mit einer ausgeprägten Tiefdruckrinne vom Baltikum bis Nordspanien bestimmt. In der nur mehr mäßig feuchten kontinentalen Luftmasse kam bei sehr tiefen Temperaturen nur noch wenig Neuschnee an der Alpennordseite dazu. Ab dem 14.02. bis Monatsende wurden mit vorrangiger Nordwestströmung und darin eingelagerten Frontensystemen schubweise feuchte Luftmassen an den Alpennordrand herangeführt, und es kam im Nordstau letztendlich zu den weit überdurchschnittlichen Schneemengen. Die Temperaturen stiegen von 11.02. bis zum 15.02. um fast 17 °C. Danach blieben die Luftmassen eher mild.

Im Februar 1935 fielen in den meisten Alpenbereichen 100–200 % mehr Niederschlag als im klimatologischen Mittel. Von den inneralpinen Gebieten Unterengadin und Oberes Gericht entlang des gesamten östlichen Alpenhauptkammes und auch in den Staulagen von der Silvretta über die Lechtaler Alpen bis ins Karwendel waren die Niederschläge um das drei- bis vierfache höher als normal. Dieser Niederschlag fiel meist bis in die Tallagen als Schnee.

März und April 1935 verliefen in Tirol trocken-kalt bzw. unauffällig. Die extremen Schneemengen in den inneralpinen Lagen und in Teilen des Nordstaus setzten sich kontinuierlich.

Extremwertstatistische Einordnung

Abbildung 4 zeigt exemplarisch den Verlauf der Schneehöhen des Winters 1934/35 in Gerlos, einer jener Lagen nahe des Alpenhauptkamms, wo es in diesem Jahr zu extremen Schneehöhen kam. Es handelte sich in diesen Lagen generell um 10- bis 20-jährliche Ereignisse. Allerdings gibt es auch Ausreißer nach oben: So ist das am 27.02. in Prägraten gemessene Schneehöhenmaximum von 146 cm dort nur alle 50 Jahre zu erwarten, und in Trins entspricht die 102 cm mächtige Schneedecke vom 17.02. einem gut 30-jährlichen Ereignis.

Für höher gelegene Orte ist es besonders, wenn die höchsten Schneehöhen schon im Feb-

ruar erreicht werden. So viel Schnee im Februar kommt in Gerlos nur alle 50 sowie in Trins und Prägraten nur alle 60 Jahre vor.

Außerdem soll nicht unerwähnt bleiben, dass die 3-Tages-Neuschneesumme des 03. Februars 1935 mancherorts 3- bis 5-jährlich war, in Bregenz, Obsteig und Radstadt (Salzburg) sogar etwa 12-jährlich.

Der Vergleich mit den in diesem Beitrag bereits bzw. im Folgenden dargestellten, noch höheren Jährlichkeiten der Extremwinter 1916/17 und 1950/51 darf nicht darüber hinweg täuschen, dass es sich auch 1934/35 in den erwähnten inneralpinen Lagen und Nordstaugebieten um einen besonders schneereichen Winter gehandelt hat.

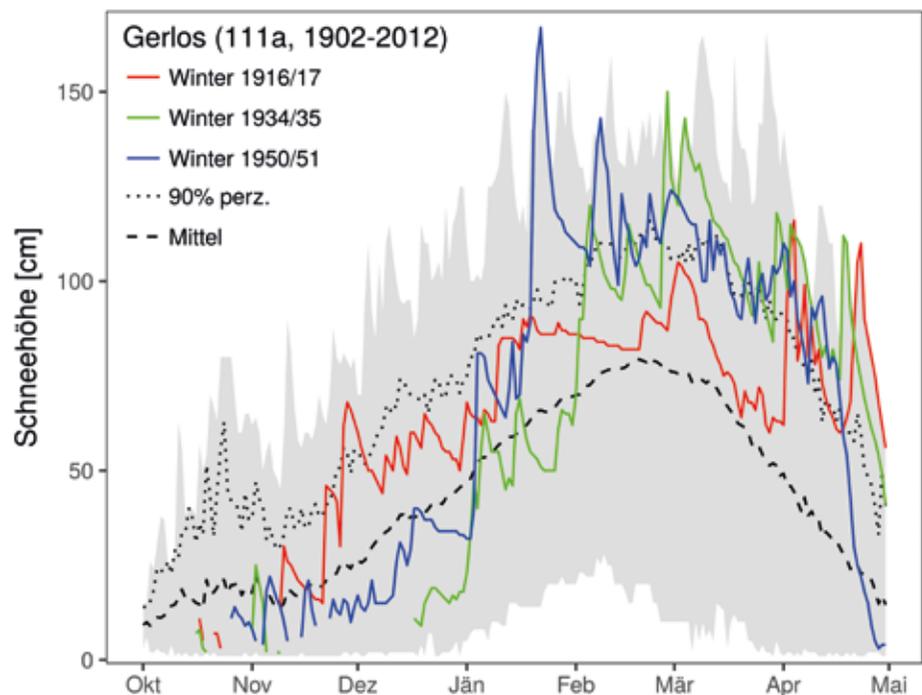


Abb. 4: Tägliche Schneehöhen des SNOWPAT-Datensatzes aus Gerlos. Die Datenreihe ist lückenlos und sehr lang. Dieser Messort liegt grundsätzlich im Nordstau, jedoch unweit des Alpenhauptkamms, der oftmals als Wetterscheide fungiert. Alle drei Lawinenwinter brachten an diesem Messort Rekordwerte. (Details zur Darstellung siehe Abbildung 3.)

Fig. 4: Daily snow heights of station Gerlos derived from the SNOWPAT-data set. The series is consistent and very long. The measuring site is exposed to the "Nordstau" effect, but close to the Alpine divide. All of the avalanche winters led to record values of the station. (for details see figure 3)

Winter 1950/51

Meteorologischer Verlauf

Der Winter 1950/51 brachte schon im November außerordentliche Schneefälle. Zu einem Extremereignis wurde er dann durch die Wetterverhältnisse im Hochwinter. Während im Jänner eine anhaltende Nordstaulage vor allem auf der Alpen-nordseite und in den Alpenhauptkammregionen für extreme Niederschläge sorgte, erfolgte im Februar unter anhaltender südwestlicher Anströmung auf der Alpensüdseite ein massiver Neuschneezuwachs. Damit war ein Großteil der Alpen sehr schneereich und viele Bereiche wurden von Katastrophenlawinen erschüttert.

Durch einige intensive Schneefälle bildete sich schon im November 1950 oberhalb von etwa 1000 bis 1500 m eine anhaltende Schneedecke. Im Dezember wurden in den Südalpen deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen verzeichnet. Im Norden flossen vor Weihnachten arktische Luftmassen ein. Die Kombination aus Kaltluft und Strahlungstagen hat dort wahrscheinlich für eine starke aufbauende Umwandlung der Schneedecke gesorgt (Latenser und Ammann, 2001).

Bis Mitte Jänner folgte ein Wechsel zwischen gemäßigten und subtropischen Luftmassen, welcher große Temperaturschwankungen bewirkte. Zwischen 16. und 21.01. 1951 gab es schließlich eine langanhaltende und phasenweise äußerst intensive Schneefallperiode mit zuletzt stürmischem Nordwestwind, in deren Folge es in Österreich vor allem in den Nordalpen zu einer Vielzahl an Großlawinen kam. Verbreitet fielen während dieser Zeit 100 bis 250 cm Schnee. Insgesamt verlief der Jänner 1951 nahezu alpenweit überdurchschnittlich niederschlagsreich. Die größten Abweichungen vom langjährigen Niederschlagsmittel traten dabei aber nicht in den

Nordalpen auf. Hier war zwar ein Plus von etwa 100% zu verzeichnen – in absoluten Zahlen 100 bis 250 cm Schneezuwachs – südöstlich der Linie Tessin – Engadin – Nordtiroler Oberland lag der Monatsniederschlag hingegen überall um etwa 200% über dem langjährigen Mittel. Vom Bergell entlang der südlichsten Alpen bis ins Kanaltal, aber auch von den Brennerbergen über die Hohen Tauern bis in die Karnischen Alpen fielen gemäß den HISTALP-Daten 200 bis 300%, stellenweise sogar 400% der üblichen Jänner-Niederschläge. Die großflächige Verteilung der extremen Lawinensituation zeichnet den Jänner 1951 aus. Im Nordstau waren der Grund für die Katastrophenlage wohl die enormen Schneemengen (in absoluten Zahlen) – mutmaßlich in Kombination mit dem schlechten Schneedeckenaufbau. Am Alpenhauptkamm und südlich davon war es eher die Außergewöhnlichkeit der Ereignisse im Vergleich zum Klimamittel, auf die Mensch und Natur nicht eingestellt waren.

Der Februar war auf der Alpensüdseite außerordentlich niederschlagsreich. Im Tessin und zwischen Sarntaler Alpen, nördlichen Dolomiten und Karnischen Alpen fielen 300–400%, in den typischen Südoststaulagen sogar stellenweise bis zu 500% der üblichen Februar-Niederschläge. Reanalyse und Messreihen zeigen, dass dafür allein die Witterung in der ersten Monathälfte verantwortlich zeichnete, konkret waren es zwei Niederschlagsphasen, eine Südstaulage ab dem 04.02. und eine weitere ab dem 09.02. In Obertilliach kam in dieser Phase etwa ein Meter Neuschnee dazu, was zu der höchsten Gesamtschneesumme dieses Winters von über drei Metern führte. Alpenweite Rekordwerte an Schneehöhenzuwachs wurden allerdings in den südlichen Westalpen erzielt: Laut Latenser und Ammann (2001) gab es in den Maggiatälern und im Val Bedretto (Tessin) in diesem Zeitraum Schneehöhenzunahmen um bis zu zwei Meter.

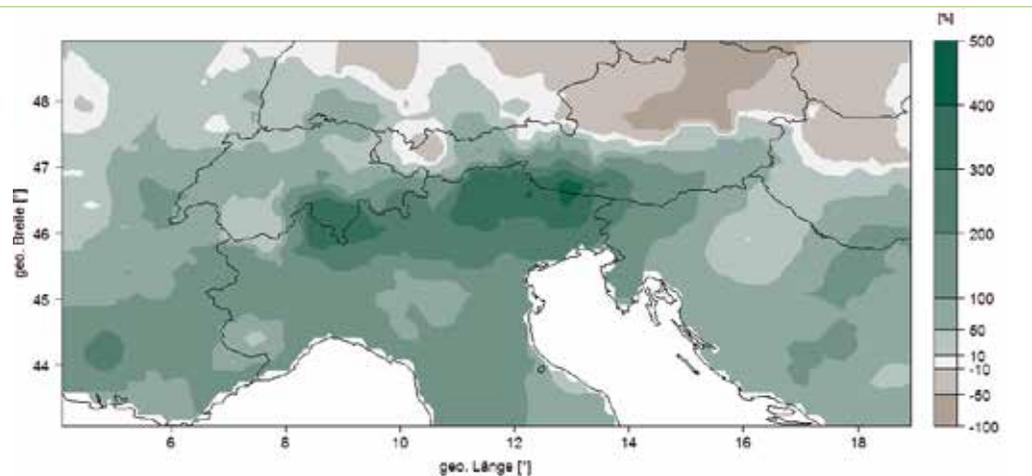


Abb. 5: Niederschlagsanomalien in % des Februars 1951 gemäß dem HISTALP Datensatz (Vergleichszeitraum 1901-1960).

Fig. 5: Precipitation anomalies in percentage of February 1951 according to HISTALP data set (reference period 1901 – 1960).

Extremwertstatistische Einordnung

Hinsichtlich der Extremwerte waren im Winter 1950/51 weniger die Südtaugebiete (wie beispielsweise im Winter 1916/17) und auch nicht unbedingt die Nordtaugebiete (wie beispielsweise im Winter 1998/99; z.B. Gabl, 2000) von Rekord-Schneehöhen betroffen. Vielmehr ergeben die Berechnungen, dass es in den Gebieten gleich nördlich und südlich des Alpenhauptkamms zu besonders hohen Jährlichkeiten kam. Häufig wurden dort in diesem Winter die höchsten Schneehöhen der Messgeschichte registriert. Die Erklärung dafür scheint eindeutig, denn es kam im Winter 1950/51 sowohl bei Südwest- bis Südostlagen also auch bei West- bis Nordwestlagen mehrfach zu Starkschneefällen – und diese Kombination ist offensichtlich besonders selten.

Die maximalen Schneehöhen im Bereich des österreichischen Alpenhauptkamms entsprachen flächendeckend 100- bis 200-jährlichen Ereignissen. In den Nordtaugebieten, wo die höchsten Schneehöhen bereits Ende Jänner gemessen werden konnten, darf von einem unter

10- bis maximal 50-jährlichen Winter gesprochen werden. In den typischen Kerngebieten des Südtaus, wo im Februar am meisten Schnee lag, handelte es sich um bis zu 100-jährliche Gesamtschneehöhen.

In einigen Gebieten des typischen Nordtaus sowie auch am Nordhang des Hauptkamms gab es auf den 21.01. 1951 hin 3-Tages-Neuschneesummen mit sehr hohen Jährlichkeiten von bis zu 100. Diese erklären – wie erwähnt, wahrscheinlich in Kombination mit dem Schneedeckenaufbau – die massive Lawinenaktivität bei gleichzeitig nicht überall so eindrucksvollen Gesamtschneehöhen. Mehrfach waren die Jährlichkeiten der 3-Tages-Neuschneesummen auch in tief gelegenen Talorten hoch, wie z.B. in Innsbruck, wo ein ca. 35-jährlicher 3-Tages-Neuschneefall zu einer 50-jährlichen Schneehöhe führte.

Ähnlich wie im Winter 1916/17 war das frühe Auftreten der höchsten Schneehöhen am 21./22.01. bzw. zwischen 05. und 14.02. etwas Besonderes. Solche Schneehöhen kommen so früh in der Saison an vielen Orten nur alle 50 bis 200 Jahre vor, teilweise auch noch seltener.

Zusammenfassung

Es wurden die historischen Lawinenwinter 1916/17, 1934/35 und 1950/51 meteorologisch analysiert und die damals gemessenen Schneehöhen extremwertstatistisch eingeordnet. Der räumliche Schwerpunkt wurde auf Nord- und Osttirol gelegt.

Eine Literaturrecherche (u.a. Klebelsberg, 1921; Fliri, 1998; Latenser und Ammann, 2001) diente zur räumlichen und zeitlichen Eingrenzung der Lawinentätigkeit. Die meteorologische Analyse erfolgte mithilfe der ERA-20C Reanalyse (Poli et al., 2016) und der HISTALP-Auswertungen (Auer et al., 2007). Die extremwertstatistische Einordnung der Schneehöhen scheint für diese drei Winter ein Novum zu sein. Es konnte dafür auf ausgezeichnete Daten im heutigen Staatsgebiet Österreichs zurückgegriffen werden, eine überregionale Datenauswertung war im Rahmen dieser Studie jedoch nicht möglich. Die extremwertstatistische Auswertung der verfügbaren Daten wurde mit modernen Methoden und im Bewusstsein der Komplexität der Materie durchgeführt. Unstrittig ist, dass alle drei Winter hinsichtlich der Größe, der Häufigkeit und des Schadensausmaßes der Lawinen außergewöhnlich waren. Dennoch gibt es große Unterschiede zwischen den Wintern, die sich folgendermaßen skizzieren lassen: Der Lawinenwinter 1916/17 zeichnete sich durch eine überaus hohe Opferzahl aus, wobei dringend zu beachten ist, dass sich zu dieser Zeit Tausende Menschen, zumeist Soldaten, in sehr exponiertem, hochalpinem Gelände befunden haben. Nichts desto trotz gab es auch viele Lawinenkatastrophen in Talbereichen. Die Lawinensituation des Winters 1934/35 war außergewöhnlich, aber letztlich in jeder Hinsicht deutlich weniger prekär als 1916/17 und 1950/51. Letzterer Winter hob sich durch eine ungeheure Vielzahl von Großlawinen hervor, die die Tallagen

erreichten. Gemessen daran, dass sich – anders als 1916/17 – niemand unfreiwillig im Hochgebirge aufgehalten hat, waren die Opferzahlen und Schäden dramatisch.

Unterschiedlich waren auch die räumliche und zeitliche Verteilung der Ereignisse, was direkt mit dem Wetterverlauf in Verbindung steht: Im Winter 1916/17 war hauptsächlich der ostalpine Südtau von extremen Schneehöhen und Lawinen betroffen, die außerdem besonders früh im Winter auftraten. 1934/35 konzentrierten sich die großen Schneemengen auf die Regionen im Norden der Alpen – und auch nur dort wird in den Chroniken von Großlawinen berichtet. Anders im Winter 1950/51, denn dieser zeichnet sich durch eine außerordentlich großräumige Verteilung der extremen Schneehöhen und auch Lawinen aus. Es kam zu starken, über den Hauptkamm übergreifenden Nord- und Südtaulagen, und infolge erfuhren insbesondere inneralpine Bereiche Rekord-Schneehöhen.

Soweit es den womöglich lawinenträchtigsten Tag der Geschichte (Mittwoch, der 13.12.1916) betrifft, konnte gezeigt werden, dass ein häufig behaupteter bzw. zitierter Temperatur- und Regeneinfluss auf die Lawinenaktivität differenziert zu betrachten ist. Der Temperaturanstieg war moderat und die Anrissgebiete der Schadenslawinen lagen weiterhin deutlich über der Nullgradgrenze. Zu Regen und Tauwetter kam es höchstwahrscheinlich nur unterhalb von ca. 1000 bis maximal 1500 Metern Seehöhe.

Wendet man moderne Methoden der extremwertstatistischen Theorie auf langjährige Schneehöhenreihen an, dann erkennt man, dass alle drei Winter von seltenen starken Ereignissen geprägt waren. Es zeigt sich jedoch auch, dass der Vergleich von Jährlichkeiten und Auftretenswahrscheinlichkeiten zwischen verschiedenen Orten, Wintern und Schnee-Parametern nicht trivial ist. Schneehöhenmessungen sind zwar einfach

durchzuführen und die Daten haben grundsätzlich gute Qualität, dafür aber ist die räumliche Verteilung von Schneehöhen im Gebirgsland äußerst komplex. Außerdem gibt es immer verschiedene Gründe dafür, weshalb ein Schneehöhenereignis als extrem anzusehen ist: Einmal ist es ein eher kontinuierliches Anwachsen der Schneehöhe mit einem Starkschneefall als letztendlichen Grund für Extremwerte (1934/35), ein anderes Mal sind es Einzelereignisse, die zu Extrema führen (1916/17). Auch der frühe Zeitpunkt von extremen Schneehöhen (1916/17 und 1950/51) und die große räumliche Ausdehnung der dicken Schneedecke (1950/51) sind eine Variante um einer Schneehöhe das Prädikat „extrem“ geben zu können. Des Weiteren bedeuten außergewöhnliche Schneehöhen nicht unbedingt viele Schadenslawinen, denn nicht zuletzt spielen auch der Schneedeckenaufbau oder der Seehöhengradient der Schneehöhe eine gewichtige Rolle.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Schneehöhen, die im Winter 1916/17 im Südstau zu den Katastrophen geführt haben, eine Jährlichkeit von 100-200 aufwiesen. In einem ebensolchen Bereich sind die Schneehöhen im Bereich des Alpenhauptkamms im Winter 1950/51 anzusiedeln. Im Winter 1934/35 sorgten 10- bis 20-jährliche Schneehöhen, in Ausnahmefällen bis zu 50-jährliche, für Großlawinen.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dr. Michael Winkler
ZAMG - Zentralanstalt für
Meteorologie und Geodynamik
6020 Innsbruck, Fürstenweg 180
michael.winkler@zamg.ac.at

Stefanie Gruber, M.Sc.
ZAMG – Zentralanstalt für
Meteorologie und Geodynamik
6020 Innsbruck, Fürstenweg 180
stefanie.gruber@zamg.ac.at

Mag. Harald Schellander
ZAMG – Zentralanstalt für
Meteorologie und Geodynamik
6020 Innsbruck, Fürstenweg 180
harald.schellander@zamg.ac.at

Literatur / References:

AUER I., BÖHM R., JURKOVIC A., LIPA W., ORLIK A., POTZMANN R., SCHÖNER W., UNGERSBÖCK M., MATULLA C., BRIFFA K., JONES P., EFTHYMIADIS D., BRUNETTI M., NANNI T., MAUGERI M., MERCALLI L., MESTRE, O., MOISSELIN J. M., BEGERT M., MULLER-WESTERMEIER G., KVEON V., BOCHNICEK O., STASTNY P., LAPIN M., SZALAI S., SZENTIMREY T., CEGNAR T., DOLINAR M., GAJIC-CAPKA M., ZANINOVIC K., MAJSTOROVIC Z., NIEPLOVA E. (2007). Histalp - historical instrumental climatological surface time series of the greater alpine region. *International Journal of Climatology* 27: 17-46.

BRUGNARA Y., BRÖNNIMANN S., ZAMURIANO M., SCHILD J., ROHR C., SEGESSER D. (2016). Dezember 1916: Weisser Tod im Ersten Weltkrieg. *Geographica Bernensia* 691.

COLES S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer Series in Statistics. London. Springer-Verlag.

FLIRI F. (1998). *Naturchronik von Tirol: Tirol, Oberpinzgau, Voralberg, Trentino. Beiträge zur Klimatographie von Tirol*. Wagner.

GABL, K. (2000). Der Schnee im Februar 1999 im Westen Österreichs aus meteorologischer und klimatologischer Sicht. *Wildbach- und Lawinverbau* 141: 69-79.

GRUBER S., SCHELLANDER H., WINKLER M. (2017). Meteorologische Aufarbeitung und extremwertstatistische Einordnung der historischen Lawinewinter 1916/17, 1934/35 und 1950/51. Studie der ZAMG-Kundenservicestelle Tirol/Voralberg. Im Auftrag der WLV Sektion Tirol. Unveröffentlicht.

HÖLLER P. (2014). Die Lawinewinter 1916/17, 1950/51 und 1974/75 - Ursachen und Folgen der Lawinenkatastrophen mit besonderem Bezug zu Südtirol. *Der Schlern* 88: 32-41.

KLEBELSBERG R. (1921). Der 13. Dezember 1916, ein Katastrophentag in den Alpen. *Der Schlern* 2: 449-456.

KOLLER, V. (1990). Das Lawinenproblem im Alpenkrieg 1915-1918 in der K. und K. Arme (Lawinenkunde; Lawinenunfälle; Lawinenprophylaxe). Diplomarbeit aus Sportgeschichte. Institut für Sportwissenschaften, Universität Wien.

LANGES, G. (1972). Die Front in Fels und Eis. Der Weltkrieg 1914-18 im Hochgebirge. *Bozen* 1972/4.

LATERNSER M. und AMMANN W. J. (2001). Der Lawinewinter 1951. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152: 25-35.

OLEFS M., SCHÖNER W., SUKLITSCH M., WITTMANN C., NIEDERMOSER B., NEURURER A., WURZER A. (2013). Snowgrid - a new operational snow cover model in Austria. In: *International Snow Science Workshop Grenoble*. Chamonix Mont Blanc, Grenoble.

POLI P., HERSBACH H., DEE D. P., BERRISFORD P., SIMMONS A. J., VITART F., LALOYALUX P., TAN D. G. H., PEUBEY C., THÉPAUT J.-N., TRÉMOLETY, HÖLM E. V., BONAVIDA M., ISAKSEN I., FISHER M. (2016). ERA-20C: An Atmospheric Reanalysis of the Twentieth Century. *Journal of Climate* 29: 4083-4097.

SCHAUMANN, W. (1973). *Führer zu den Schauplätzen des Dolomitenkriegs*. Cortina d'Ampezzo 1973/2.

SCHÖNER W., MARTY C., STRASSER U. (2012-2015). Snowpat: Snow in Austria during the instrumental period - spatiotemporal patterns and their causes - relevance for future snow scenarios. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik / Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung.

STEFAN MARGRETH

Technischer Lawinenschutz in der Schweiz – Stand der Technik und Herausforderungen

Technical avalanche protection in Switzerland – state of the art and challenges

Zusammenfassung:

Die Schweiz verfügt über einen fortschrittlichen Umgang beim Schutz vor Naturgefahren. In den letzten 50 Jahren wurden rund CHF 2 Mrd. in den technischen Lawinenschutz investiert. Stützverbauungen, die in diesem Artikel betrachtet werden, bilden den wichtigsten baulichen Lawinenschutz. Für deren Planung wurden Richtlinien publiziert, die auch im Ausland Beachtung finden. Neukonstruktionen werden einer Typenprüfung unterzogen. Die Wirkung von Schutzmaßnahmen wird in Gefahrenkarten berücksichtigt. Ein effizientes Schutzbautenmanagement ist für die Erhaltung der Maßnahmen unerlässlich. Die Anforderungen an den technischen Lawinenschutz steigen, weil das Schadenpotenzial und das Sicherheitsniveau zunehmen und infolge Klimawandel neue Gefährdungsbilder entstehen können.

Stichwörter: Technischer Lawinenschutz, Stützwerk, Gefahrenkarte, Erhaltung

Abstract:

Switzerland has an advanced approach to deal with natural hazards. In the past 50 years, some CHF 2 billion has been invested in technical avalanche protection. Supporting structures which are described in this article form the most important structural avalanche protection. Guidelines have been published for their planning, which are also applied abroad. New structure types are homologated in a type approval. The effect of mitigation measures is taken into account in hazard maps. Efficient maintenance management is essential to preserve the effectiveness of the measures. The requirements for technical avalanche protection measures increase as damage potential and safety levels increase and new hazard scenarios may arise as a result of climate change.

Keywords: *Technical avalanche protection, supporting structure, hazard map, maintenance*

Einleitung

Der Umgang mit Naturgefahren hat in der Schweiz eine lange Tradition. Der Schutz vor Naturgefahren, denen sie als alpines und dicht besiedeltes Land besonders ausgesetzt ist, erfolgt nach dem „Konzept der Risikominimierung“ und nach den Grundsätzen des „Integralen Risikomanagements“. Ziel ist nicht, Naturgefahren mit allen Mitteln zu verhindern, sondern die Risiken mit wirtschaftlichen Maßnahmen auf ein akzeptierbares Maß zu senken. Die Schweiz verfügt heute über einen fortschrittlichen Umgang beim Schutz vor Naturgefahren. Dies geht aus dem vom Bundesrat im Jahre 2016 verabschiedeten Bericht „Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz“ (BAFU, 2016a) hervor. Ziel dieses Berichtes war, den heutigen Stand des Umgangs mit Naturgefahren in der Schweiz zu analysieren und zukünftige Handlungsfelder für die Umsetzung des integralen Risikomanagements bei Naturgefahren aufzuzeigen. Der Bericht zeigt, dass rund ein Viertel der Bauzonen mit Sachwerten von CHF 840 Mrd. durch Naturgefahren gefährdet ist. Am relevantesten ist die Hochwassergefahr. Rund 22% der Schweizer Bevölkerung lebt in hochwassergefährdeten Gebieten. Die Gefährdung durch Lawinen ist sehr viel kleiner. Weniger als 1 % der Schweizer Bevölkerung dürfte in lawinengefährdeten Gebieten leben. Um dieser Gefährdung zu begegnen, bestehen Schutzmaßnahmen gegen Naturgefahren in einem Umfang von rund CHF 50 Mrd. (Peter, 2009). Der Anteil der technischen Lawinenschutzmaßnahmen ist bedeutend kleiner. Abschätzungen zeigen, dass in den letzten 50 Jahren rund CHF 2 Mrd. in technische Lawinenschutzmaßnahmen investiert wurden. Die Investitionen von (halb-)privaten Unternehmen, sowie die Aufwendungen für Aufforstungsmaßnahmen sind in dieser Zahl nicht enthalten.

Entwicklung des technischen Lawinenschutzes in der Schweiz

Früher, als der Alpenraum weniger intensiv genutzt war, bedeutete Lawinenschutz vor allem: der Gefahr ausweichen! Gebäude wurden an vermeintlich sicheren Stellen erbaut. Alte Lawinenchroniken zeigen jedoch, dass die Lawinengefahr immer wieder falsch eingeschätzt wurde. Erste nachweisliche Bauten zum Schutz einzelner Gebäude stammen bereits aus dem 17. Jh. In Davos wurde 1603 die Frauenkirche mit einem Spaltkeil geschützt. Im frühen 19. Jh. wurden erste Verbauungen im Lawinenanbruchgebiet erstellt. Mauern und Erdterrassen sollten das Anbrechen von Lawinen verhindern. Gegen 1000 km solcher Bauwerke wurden in den Schweizer Alpen gebaut. Coaz, einer der Pioniere im schweizerischen Lawinenschutz, erkannte schon um 1910, dass die erstellten Terrassen und Mauern für einen wirksamen Lawinenschutz zu niedrig waren. Der Katastrophenwinter 1950/51 brachte das große Umdenken im Lawinenschutz. Innerhalb kurzer Zeit wandelten sich die Stützwerktypen von Mauern oder Terrassen zu schlanken, viel wirksameren Konstruktionen aus Stahl, Aluminium, Holz, Drahtseilen oder Beton. Seither wurden mehr als 500 km Stützwerke erstellt. Stützverbauungen sind in der Schweiz die wichtigste technische Lawinenschutzmaßnahme. Das SLF hat die Praxis und Industrie von Anfang an in Form von Beratungen und Richtlinien unterstützt. Eine erste provisorische Richtlinie über den Stützverbau wurde 1955 publiziert. Der Lawinenwinter 1999 war die große Bewährungsprobe des modernen Stützverbau. Viele Verbauungen zeigten eine sehr gute Wirkung. Abschätzungen zeigten, dass in der Schweiz gegen 300 Schadenlawinen durch Stützverbauungen verhindert werden konnten (Margreth, 2009; Abb. 1). Infolge der großen Schnee-



Abb. 1:
Lawinenanbruch neben der
Verbauung Schweifinen
oberhalb Zermatt im
Februar 1999.

Fig. 1:
Avalanche release next
to the avalanche defense
measures at Schweifinen
above Zermatt in February
1999.

höhen im Lawinenwinter 1999 und der damit verbundenen Schneedruckkräften wurden auch Schäden an Stützwerken festgestellt, die gewisse technische Anpassungen erforderlich machten, die in der aktuellen Version der Technischen Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (Margreth, 2007) berücksichtigt wurden. Die aktuelle Version der Richtlinie von 2007 basiert auf einer mehr als 50 jährigen Entwicklungsgeschichte. Die 2011 in Österreich publizierte ON-Regel 24806 „Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Gestaltung“ basiert in vielen Teilen auf der Schweizer Richtlinie (Margreth und Sauermoser, 2014).

Typenprüfung von Stützwerken

In der Schweiz existiert seit 1977 ein Typenprüfverfahren. Das Verfahren wurde geschaffen, da in der Rezession der siebziger Jahre die Industrie kostengünstige, aber oft ungeeignete Werktypen auf den Markt brachte. Mit der Typenprüfung sollten ungeeignete Werktypen vom schweizerischen Markt ferngehalten werden. Heute besteht die Typenprüfung aus einem mehrstufigen Verfahren.

Das SLF prüft die statischen Berechnungen und Planunterlagen, die Expertenkommission Lawinen und Steinschlag EKLS prüft die praktische Verwendbarkeit und das Bundesamt für Umwelt BAFU erteilt die Zulassung und trägt den Werktyp in die Typenliste Lawinenverbau ein (BAFU, 2016b). Geprüft werden permanente Standardwerktypen, die mit einheitlichen Standortfaktoren wie Hangneigung von 45° oder wirksamer Rosthöhe von 2.0 bis 5.0 m in Schritten von 0.5 m bemessen wurden. Bei der Prüfung der praktischen Verwendbarkeit werden u.a. die Montagefreundlichkeit, die Art der Foundation, Einbautoleranzen, die Kontroll- und Reparaturmöglichkeit und die Anpassbarkeit des Werkes an das Gelände geprüft. Bei neuartigen Stützwertypen werden Versuchswerke aufgestellt, die sich während mindestens zwei Wintern bewähren müssen. Ein ähnliches Prüfverfahren gibt es auch für Ankermörtel. Die Expertenkommission Lawinen und Steinschlag EKLS übernimmt die Funktion einer gemeinsamen Prüfstelle der öffentlichen Verwaltung beim Einkauf von Industrieprodukten. Die Einhaltung der Richtlinie ist der Schweiz Voraussetzung, wenn Bundesbeiträge in Anspruch genommen werden.

Heutige Werktypen und Entwicklungen

Heute werden vorwiegend Schneebrücken aus Stahl oder flexible Schneenetze aus Drahtseilen (Abb. 2) verwendet. Bei den Schneebrücken werden Rostbalken, die aus gepressten Blechprofilen bestehen, horizontal mit zwei Profilstahl-Trägern verschraubt. Die Träger sind über Hohlprofilstützen, die zur Ausgleichung von topographischen Unebenheiten oft teleskopartig ausgebildet sind, mit der Foundation verbunden. Als Foundation kommen Anker und Mikropfähle, sowie Grundplatten- und Betonfundamente zum Einsatz. Die Foundation muss vor Korrosion geschützt werden. Für den Oberbau ist dies nicht notwendig. Als statisches System kommt immer noch der Dreigelenksbogen zum Einsatz, der bereits in den fünfziger Jahren entwickelt wurde. In der Schweiz erfolgte zur Reduktion des Gesamtgewichtes und der Fundamentkräfte in den siebziger Jahren die Entwicklung des sogenannten Riegelwerks, das heute zu den am häufigsten eingesetzten Werktypen zählt. Die V-förmig angeordneten Stützen bilden mit dem Träger einen steifen Rahmen, der talseitig über ein Gelenk mit einem Mikropfahl und Anker und bergseitig über einen kurzen Pendelstab mit einem Anker verbunden ist. Schneenetze bestehen aus Stahlrohrstützen, die talseitig mit Abspannseilen

gehalten werden und bergseitig mit dreieckförmigen Drahtseilnetzen mit der Verankerung verbunden sind. Infolge der flexiblen Konstruktion bewähren sich Schneenetze in steinschlaggefährdeten Gebieten oder dort, wo hohe Anforderungen an das Landschaftsbild gestellt werden. Die ersten Schneenetze wurden 1951 eingesetzt, wobei die Stützen zuerst aus Holz und erst später aus Stahl gefertigt wurden. Die Entwicklung der Schneenetze erfolgt mehrheitlich „empirisch“, indem nach Schäden robustere Bauteile verwendet wurden. Heute sind die Stützen rund viermal stärker ausgebildet als zu Beginn des Einsatzes von Schneenetzen.

Bei den in der Schweiz eingesetzten Werktypen handelt es sich um bewährte Konstruktionen, die in den letzten 10 Jahren nur wenig weiterentwickelt wurden. Die größten Entwicklungen gab es bei den Schneenetzen. Einerseits wurden Grundplatten aus Stahl als Stützenfundierung eingeführt und andererseits wurden Netze heute aus hochfesten Spiralseildrähten entwickelt, die auf Steinschlag mit Einschlagenergien von bis zu 500 kJ ausgelegt sind (Abb. 3). Die Grundplatte überträgt die Druckkräfte von der Stütze direkt auf den Untergrund. Sie bietet insbesondere in Kriechhängen und im Permafrost den Vorteil, dass ihre Position falls erforderlich relativ einfach korrigiert werden kann.

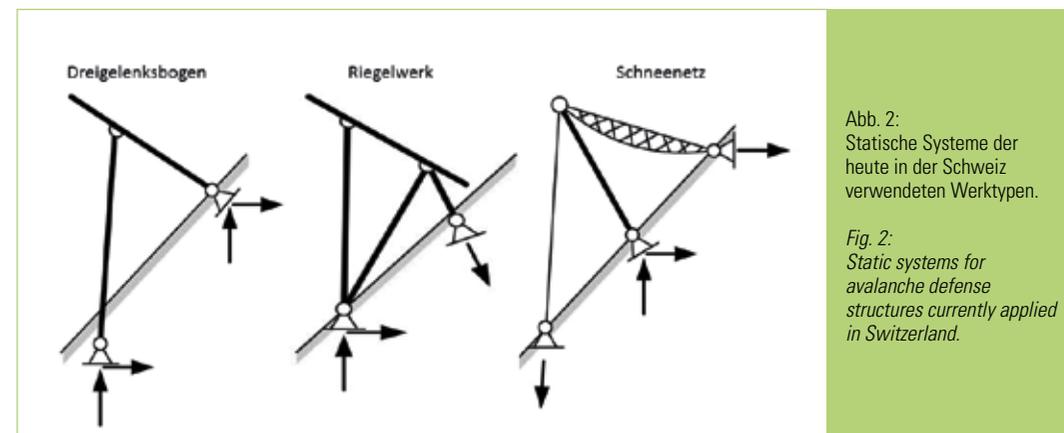


Abb. 2:
Statische Systeme der
heute in der Schweiz
verwendeten Werktypen.

Fig. 2:
Static systems for
avalanche defense
structures currently applied
in Switzerland.

In den letzten Jahrzehnten wurden auch neue Werktypen entwickelt. Um Kosten für die Fundierung zu sparen, wurden an einem Anker aufgehängte Schutzsysteme entwickelt. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass auch schwer zugängliche Anrissgebiete verbaut werden können. Der Nachteil ist, dass die Konstruktion schadenanfällig ist, weil die für die Befestigung verwendeten Elemente dem vollen Schneedruck ausgesetzt sind (Abb. 4). In der Schweiz werden diese aufgehängten Systeme, die nicht typengeprüft sind, nur in Spezialfällen eingesetzt.

Mit der Entwicklung des Lawinenschutzsystems Snowgrippers wurde nach 2000 versucht,

die Dreibeinböcke, eine bewährten Gleitschneeschutzmaßnahme, zu ersetzen. Der Snowgripper, der als intelligentes Lawinenschutzsystem angepriesen wurde, bildet eine aus zwei keilförmig angeordneten Aluminiumblechen bestehende Konstruktion, die an einem Anker befestigt wird. Der Hauptvorteil des Snowgripper liegt darin, dass er im Sommer demontiert werden kann. Verschiedene Tests haben gezeigt, dass die Verankerung unausgereift und die abstützende Wirkung der Schneedecke bedeutend schlechter als bei einem Dreibeinbock ist (Abb. 5; SLF, 2005). Deshalb hat sich dieses System nicht durchgesetzt.



Abb. 3: Schneenet des Typs „SPIDER-Avalanche“; die Stütze ist auf einer Grundplatte fundiert.

Fig. 3: Snow net „SPIDER-Avalanche“; the swivel post is fixed on a steel ground plate.



Abb. 4: Stützwerk, das an einem Anker aufgehängt ist.

Fig. 4: Supporting structure connected to a single anchor.



Abb. 5: Beschädigter Snowgripper in der SLF-Versuchsbauung.

Fig. 5: Damaged snowgripper at the SLF-test site.

Bei Neuentwicklungen an Lawinenschutzsystemen muss immer darauf geachtet werden, dass keine Rückschritte gemacht werden. Die bewährten Werktypen wurden basierend auf jahrzehntelangem Erfahrungswissen auf den heutigen technischen Stand gebracht. Schneedruck- und Lawineneinwirkungen sind komplexe Prozesse, denen erfahrungsgemäß nur robuste Schutzmaßnahmen widerstehen können.

Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen in Gefahrenkarten

In der Schweiz sind die wichtigsten Stützverbauungen realisiert und die erforderlichen Lawinengefahrenkarten erstellt. Die Behörden sind nun mit der Frage konfrontiert, wie die Gefahrenkarten im Schutz von Verbauungen angepasst werden können. Da es kein systematisches Vorgehen gab und zwischen den verschiedenen Naturgefahrenprozessen große Unterschiede bestanden, hat die Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) das Projekt „Wirkung von Schutzmaßnahmen“ oder kurz PROTECT initiiert und im Dezember 2008 den Schlussbericht veröffentlicht (Romang (Ed.), 2008). Die erarbeitete Methodik, die neben Lawinen auch Sturzprozesse, Rutschungen, Wildbäche und Flüsse behandelt, basiert auf den folgenden fünf Schritten:

- Erfüllung der Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen: 9 Kriterien wurden definiert, die eine Schutzmaßnahme erfüllen muss. Im Lawinenschutz werden zum Beispiel temporäre Maßnahmen wie die künstliche Lawinenauslösung nicht berücksichtigt. Weiter muss der Unterhalt und bei Mängeln der Ersatz der Maßnahme gewährleistet sein.
- Grobbeurteilung: Sie liefert einen Überblick über die Situation und hat zum Ziel,

die Relevanz der Schutzmaßnahme einzuschätzen. Wenn keine relevante Wirkung zu erwarten ist, erfolgt die Gefahrenbeurteilung ohne Maßnahme. Umfasst eine Stützverbauung z. B. weniger als 20% eines potentiellen Anbruchgebietes, besteht keine relevante Wirkung.

- Maßnahmenbeurteilung: Sie bestimmt die Zuverlässigkeit der Maßnahme aufgrund der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Ältere Maßnahmen, wie z.B. nicht typengeprüfte VOBAG-Stützwerke aus vorfabrizierten Betonelementen (Abb. 8) oder Stützwerke mit einer zu kleinen Rosthöhe, haben oft nur eine geringe Zuverlässigkeit (Abb. 6).
- Wirkungsbeurteilung: In diesem Schritt wird der Einfluss der Maßnahme auf den Prozessablauf quantifiziert. Basierend auf der Zuverlässigkeit werden die maßnahmenbeeinflussten Szenarien festgelegt. Weist zum Beispiel ein Perimeter einer Stützverbauung eine geringe Zuverlässigkeit auf, wird bei der Festlegung der maßgebenden Anrissfläche dieser Perimeter nicht berücksichtigt. Das Resultat der Wirkungsbeurteilung sind angepasste Intensitätskarten.
- Raumplanerische Umsetzung: Im letzten Schritt werden die angepassten Intensitätskarten unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten in Gefahrenkarten dargestellt. Wichtig ist, dass auch ein Überlastfall mit einer Wiederkehrdauer von mehr als 300 Jahre bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt wird. Restgefährdungen können als gelbweiße Gefahrenggebiete dargestellt werden. Die raumplanerische Umsetzung ist das Resultat einer Gesamtbeurteilung.

In der Schweiz wurden zahlreiche Gefahrenkarten infolge von ausgeführten Schutzmaßnahmen angepasst (Abb. 7).

Im Herbst 2015 führten die Fachleute Naturge-

fahren Schweiz einen Workshop zur PROTECT-Methodik durch. Die Diskussionen zeigten, dass die Thematik weiter bearbeitet und in einer verbindlichen Form publiziert werden soll.

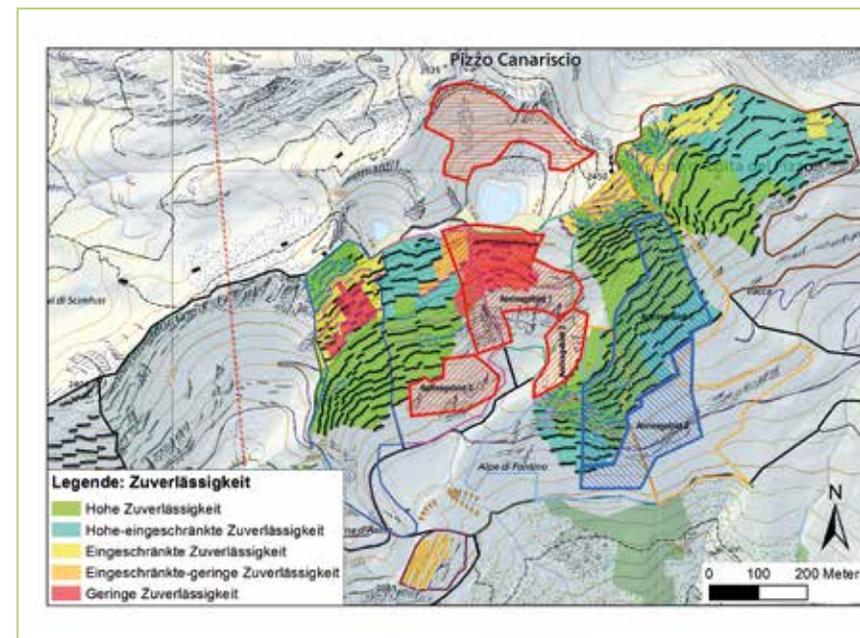


Abb. 6: Beurteilung der Zuverlässigkeit der verschiedenen Perimeter der Stützverbauung Vallascia in Airolo. Die Größe der verbleibenden Anbruchgebiete (rote und blaue Schraffur) wurde basierend auf der Zuverlässigkeit ausgedehnt (Copyright Kanton Tessin).

Fig. 6: Evaluation of the reliability of the different perimeters of the avalanche defense measures at Vallascia in Airolo. The area of the remaining release zones (red and blue hachures) was determined on the basis of the evaluated reliability (Copyright Kanton Tessin).

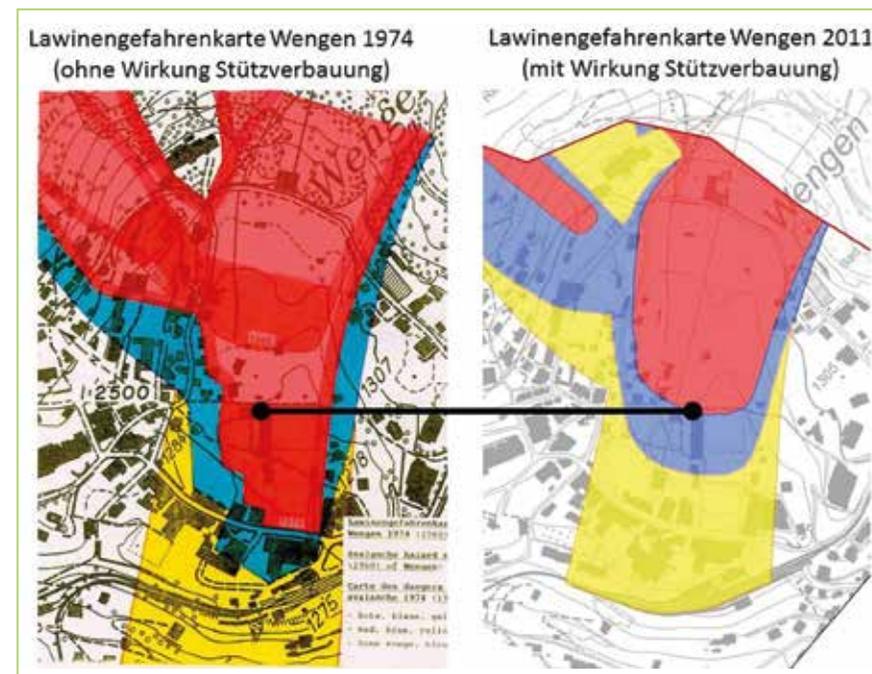


Abb. 7: Lawinengefahrenkarte Wengen mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung der Stützverbauungen (Copyright Kanton Bern).

Fig. 7: Avalanche hazard map Wengen with and without the effect of the snow supporting structures (Copyright Kanton Bern).

Erhaltung der Schutzmaßnahmen

Damit die Funktion der realisierten technischen Schutzmaßnahmen langfristig gewährleistet werden kann, braucht es Überwachung, Unterhalt und, falls erforderlich, Ersatz dieser Bauwerke (Abb. 8). Es ist absehbar, dass die dazu erforderlichen finanziellen Aufwendungen die Aufwendungen für neue Schutzmaßnahmen übertreffen. Eine unabdingbare Grundlage für ein effizientes Schutzbautenmanagement ist ein Schutzbautenkataster. In der Schweiz werden Schutzbautenkataster durch die kantonalen Fachinstanzen geführt. Ein Schutzbautenkataster ermöglicht einerseits eine effiziente Überwachung, andererseits verbessert er die Kenntnis über die zu erwartende Schutzwirkung und erleichtert die Finanzplanung. In einigen Kantonen werden die Schutzbauten mit der sogenannten KUfl-Methode (AWN, 2012) kontrolliert. Diese visuelle Kontrollmethode ermöglicht eine pragmatische, an die Art und Lage der Schutzbauwerke angepasste Inspek-

tion. In Stützverbauungen in der Schweiz dürften mehrere 100'000 Anker eingebaut worden sein. Die ältesten Anker sind mehr als 40 Jahre alt. Das Einschätzen der Tragfähigkeit und des Zustandes von Ankern ist schwierig, aber für die Erhaltung sehr wichtig (Abb. 9). Um mehr über das Langzeitverhalten von Ankern im Lawinenverbau zu erfahren, wurden in einem Forschungsprojekt (Heimgartner und Störi, 2009) in einer Verbauung rund 50 Zugversuche an 20-jährigen, sowie zum Vergleich auch an neuen Ankern durchgeführt. Die Untersuchung zeigte, dass der Tragwiderstand durch die Alterung nicht wesentlich beeinflusst wurde. Weiter wurde festgestellt, dass sowohl bei den neuen, wie bei den 20-jährigen Ankern rund 23 % der versetzten Anker einen ungenügenden Tragwiderstand aufwiesen. Die Ursache dürfte in lokal ungünstigeren Baugrundverhältnissen liegen. Dies zeigt, wie wichtig die Durchführung von Zugproben an den fertig erstellten Verankerungen bei der Bauwerksabnahme ist. Einige der geprüften Anker wurden ausgegraben und untersucht.



Abb. 8:
60-jährige VOBAG-Stützwerke aus vorgefertigten Betonelementen wurden in der Verbauung Chüenihorn in St. Antonien mit Stahlschneebrücken ergänzt. Die VOBAG-Werke weisen nur eine eingeschränkte Zuverlässigkeit auf.

Fig 8:
60-year-old VOBAG supporting structures made of prefabricated concrete elements were supplemented with steel bridges in the area of the avalanche defense measures at Chüenihorn in St. Antonien. The VOBAG structures have only a limited reliability.

Allgemein wurde eine gleichmäßige, oberflächliche Korrosion festgestellt mit einem Dickenverlust von weniger als 10 µm pro Jahr. Örtlich verstärkte Korrosion wurde nur dort festgestellt, wo beispielsweise wegen einer fehlenden Zentrierung des Ankers oder Rissbildung die Mörtelüberdeckung ungenügend war. Die Durchführung von Ankerzugversuchen in steilen Lawinenanrissgebieten und bei großen Verankerungskräften ist sehr aufwändig. Das BAFU hat deshalb ein vereinfachtes Ankerprüfverfahren für Zugproben entwickeln

lassen (Störi, 2014), das ermöglicht, mit kleinen Prüflasten von 60 % der Gebrauchslast eine Aussage über die Tragfähigkeit der eingebauten Anker zu machen. Im Prüfverfahren wird das Last-Verformungsverhalten des zu prüfenden Ankers mit der Referenzkurve eines repräsentativen bis zum Bruch belasteten Ankers verglichen. Der Vorteil des vereinfachten Prüfverfahrens ist, dass kleinere Zugvorrichtungen verwendet werden können, die Versuche kostengünstiger sind und die geprüften Anker im Versuch weniger geschwächt werden.



Abb. 9: 40-jähriges Riegelwerk, dessen oberer Anker mit einem Zusatzanker verstärkt wurde, der wegen der einfachen Montage über dem Stützrost versetzt wurde. Problematisch ist, dass der Anker Schneedruck und Steinschlag ausgesetzt ist. Neukonstruktionen sollten auf einen einfachen Unterhalt optimiert werden.

Fig 9: 40-year old steel bridge which upper anchor was reinforced with an additional anchor. The anchor is situated above the crossbeams. The anchor is exposed to snow pressure loads and rockfall. Supporting structures should be optimized for simple maintenance.

Neue Technologien für die Planung und Überprüfung von Stützverbauungen

Die Verteilung der Schneehöhe ist für die Planung und Überprüfung von Stützverbauungen eine wesentliche Grundlage. Schneehöhen an Werkstandorten werden üblicherweise mit Messpegeln, Abstichen und Extrapolationen von Messstationen bestimmt. Die Durchführung von lokalen Messungen ist aufwändig und erfordert sichere Lawinenverhältnisse. Dementsprechend selten werden solche Messungen durchgeführt und lokale Schneemessungen fehlen oft vollständig. Die in letzter Zeit aufkommenen Versuche, die Schneehöhe mit Fernerkundungsmethoden wie

Laserscanning oder digitaler Fotogrammetrie zu ermitteln, sind vielversprechend. Doch diese Methoden sind kostspielig, insbesondere wenn sie von bemannten Flugzeugen aus eingesetzt werden. Wird terrestrisch gemessen, sind die Daten oft lückenhaft, da Geländeerhebungen bestehen oder der Aufnahmewinkel ungünstig ist. Das SLF hat in den letzten Jahren mit digitalen Kameras bestückte Drohnen eingesetzt, um die Schneehöhe über grössere Flächen hinweg zu kartieren. Die Messungen verliefen sehr erfolgreich und es konnten Schneehöhenkarten in Lawinenanrissgebieten bei einer Flughöhe von 100 m und einer Geschwindigkeit von 10 m/s mit einer Genauigkeit von rund 10 cm erstellt werden (Bühler et

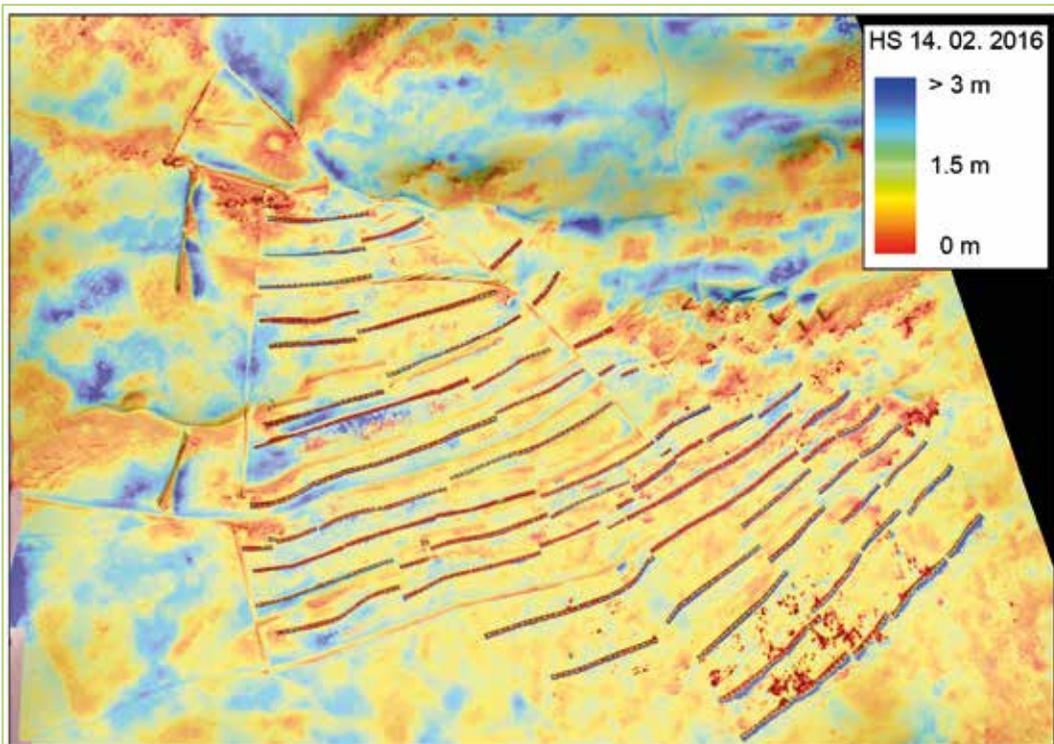


Abb. 10: Schneehöhenverteilung in der Lawinenverbauung Dorfberg, Davos, kartiert mit einer Drohne. Innerhalb von wenigen Metern kann sich die Schneehöhe HS um bis zu 3 m unterscheiden (Grafik: Y. Bühler, SLF).

Fig 10: Snow depth distribution in the avalanche defense measures at Dorfberg, Davos, mapped by a drone. Snow depths can vary by as much as 3 metres within short distances of just a few metres (picture credit: Y. Bühler, SLF).

al., 2016; Abb. 10). Diese Messtechnologie wird es in Zukunft ermöglichen, die Schneehöhe effizient, flexibel, reproduzierbar und kostengünstig auch auf größeren Flächen zu erheben. Drohnen könnten auch für die Dokumentation und Überwachung von Stützwerken eingesetzt werden. In schwer zugänglichen Anbruchgebieten würde der Einsatz von Drohnen die Werkkontrollen vereinfachen.

Zukünftige Herausforderungen

Die größten zukünftigen Herausforderungen im technischen Lawinenschutz sind sicher die sich ändernden Rahmenbedingungen. Durch den Klimawandel wird das Gefahrenpotenzial zunehmen und es können neue Gefährdungsbilder entstehen, die bei der Planung einer Maßnahme noch nicht berücksichtigt wurden. Um auf die sich ändernden Verhältnisse rechtzeitig und angemessen reagieren zu können, braucht es Messdaten und Informationen. Solche Daten können durch ein gezieltes Umweltmonitoring und durch den Aufbau von Frühwarnsystemen erfasst werden. Auswertungen von Gebäudeversicherungen zeigen einen Anstieg der Gebäudeanzahl und der Versicherungssummen (BAFU, 2016a). Allgemein kann man feststellen, dass die Anforderungen an die technischen Schutzmaßnahmen zunehmen, weil das Sicherheitsniveau steigt und die Ansprüche an die Mobilität grösser werden. Andererseits wird mit zunehmender Nutzungsdauer der Schutzmaßnahmen ihr Zustand schlechter und die Wirkung wird abnehmen. Zusätzlich werden die finanziellen Rahmenbedingungen kritischer.

Nur mit Unterhalt und rechtzeitigem Ersatz kann die Schutzfunktion und damit der hohe Stand des technischen Lawinenschutzes erhalten werden. Falls erforderlich müssen Schutzmaßnahmen an neue Gefährdungsbilder angepasst

werden. Um den zukünftigen Erneuerungs- und Finanzbedarf abschätzen zu können, ist ein effizientes Schutzbautenmanagement unerlässlich. Durch einen rechtzeitigen Unterhalt kann die Nutzungsdauer oft verlängert und der Ersatz von Maßnahmen herausgeschoben werden. Unterhalt und Ersatz müssen nachhaltig und wirtschaftlich geplant werden. Lösungen von heute dürfen nicht zu Problemen von morgen werden. Finanzielle Engpässe, neue technische Möglichkeiten, sowie steigende Ansprüche an die Verfügbarkeit führen zu einer größeren Bedeutung der temporären Maßnahmen. Temporäre Lawinenschutzmaßnahmen wie festinstallierte Sprenganlagen, Lawinendetektions-, Warn- und Alarmsysteme wurden in den letzten 10 Jahren stark weiterentwickelt. In der Schweiz stehen bereits mehr als 300 festinstallierte Sprenganlagen im Einsatz, die auch bei schlechter Sicht Lawinenauslösungen ermöglichen. Temporäre Maßnahmen sind interessant, insbesondere wenn die finanziellen Mittel für permanente Schutzmaßnahmen zu knapp sind oder die Kostenwirksamkeit von permanenten Maßnahmen nicht erfüllt ist. Große Eingriffe in der Natur können vermieden werden und temporäre Maßnahmen wie zum Beispiel Alarmsysteme sind schnell realisierbar, was bei unvorhergesehenen Ereignissen relevant sein kann. Schlussendlich dürfte vermehrt der Fall eintreten, wo bau-fällige Schutzmaßnahmen aus wirtschaftlichen Überlegungen rückgebaut und nicht mehr ersetzt werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Dipl. Bauing. ETH Stefan Margreth
WSL-Institut für Schnee- und
Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf, Schweiz
margreth@slf.ch

Literatur / References:

AWN (2012).
Handbuch zur Kontrolle und zum Unterhalt forstlicher Infrastruktur (KUfi - Handbuch). Kanton Graubünden, Amt für Wald und Naturgefahren; Kt. Wallis, Dienststelle für Wald und Landschaft ; Kt. Bern, Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren. 58 S.

BAFU (2016a).
Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats Darbellay vom 14.12.2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. 118 S.

BAFU (2016b).
Typenliste Lawinerverbauungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Aktuelle Ausgabe. Stand Juni 2016.

BÜHLER, Y., ADAMS, M.S., BÖSCH, R., STOFFEL, A. (2016).
Mapping snow depth in alpine terrain with unmanned aerial systems (UASs): potential and limitations. Cryosphere 10, 3: 1075-1088.

HEIMGARTNER, M., STÖRI, R. (2009).
Tragsicherheit von Ankern: Langzeitverhalten von Ankern im Lawinerverbau – Erste Erkenntnisse. Bau & Architektur April 2009: 16-18.

MARGRETH, S., SAUERMOSE, S. (2014).
Entwicklung von Standards und Normen im technischen Lawinenschutz. Wildbach- und Lawinerverbau. 78. Jg., Dez. 2015, Heft Nr. 174. 42-56.

MARGRETH, S., SUDA, J., HOFMANN, R., GAUER, P., SAUERMOSE, S., SCHILCHER, W., SKOLAUT, C. (2011).
Permanenter Technischer Lawinenschutz: Bemessung und Konstruktion. in: Sauer Moser S., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.). Handbuch Technischer Lawinenschutz. Ernst und Sohn Berlin: 177-201.

MARGRETH, S. (2009).
Permanente Lawinenschutzmassnahmen in der Schweiz: Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Lawinenwinter 1999. Wildbach- und Lawinerverbau. 73. Jg., Juni 2009, Heft Nr. 162. 36-41.

MARGRETH, S. (2007).
Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 136 S.

PETER, M. (2009).
Wiederbeschaffungswert der Umwelteinfrastuktur. Umfassender Überblick für die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0920. Bundesamt für Umwelt, Bern. 94 S.

ROMANG, H. (Ed.) (2008).
Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.

SLF (2005).
Überprüfung des Lawinenschutzsystems Snowgripper. SLF Gutachten G2005.10. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos Dorf (unveröffentlicht).

STÖRI R., (2014).
Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau. Abteilung Gefahrenprävention, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. 41 S.

moser – jaritz + partner

Moser-Jaritz+Partner Ziviltechniker GmbH

Ingenieurkonsulenten
Geologie und Geotechnik
Naturgefahren und Risikomanagement
Umwelt- und Ressourcenmanagement

Bachwinkl 126
A 5760 Saalfelden
T +43 6582 74 494
F +43 6582 74 494-33
E saalfelden@mjp-zt.at

Münzfeld 50
A 4810 Gmunden
T +43 7612 75 101
F +43 7612 75 101-33
E gmunden@mjp-zt.at



www.mjp-zt.at



Gunz ZT GmbH

Ziviltechniker für Forst- und Holzwirtschaft,
Wildbach-, Lawinen- und Erosionsschutz,
allg. beeid. und gerichtl. zert. Sachverständiger

4400 Steyr, Brucknerplatz 2

Tel.: 07252/42484 E-Mail: office@gunz.at Homepage: <http://www.gunz.at>

WOLFGANG SCHILCHER

Technischer Lawinenschutz – Stand der Technik

Technical avalanche protection – State of the art

Zusammenfassung:

Dieser Bericht erläutert die Entwicklung der Stützverbauung im Bezirk Bludenz in Vorarlberg. Die ersten Stützverbauungen errichteten die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) zur Sicherung der Arlbergbahn. Es erfolgt eine Beschreibung der Geschichte von den Lawinenausmauern bis zur heute verwendeten Schneebrückentype. Ein Bestand von 110 km Schneebrücken zum Schutz des Siedlungsraumes gibt auch Anlass für Überlegungen hinsichtlich künftiger Aufgaben.

Stichwörter: Technischer Lawinenschutz, Historische Lawinenschutzbauten

Abstract:

This article describes the development of avalanche supporting structures in the district of Bludenz in Vorarlberg. The Austrian Federal Railways (ÖBB) in course of the construction of the Arlberg Line built the first of those mitigation structures in 1884 in order to protect the railway line from avalanches. The following article outlines the historical use of avalanche walls, their progress and development, and discusses the modern defence and safety measures. The current 110 kilometres of defence structures within this region give the reason for reflection and consideration of improvements for the future.

Keywords: *Technical avalanche protection, historical avalanche mitigation work*

Geschichte der Stützverbauung

Der Beginn der Lawinenverbauungen ging im Bezirk Bludenz auf die Errichtung der Arlberg Westrampe durch die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) zurück. Zur Sicherung der Bahnstrecke auf einer Länge von ca. 30 km mussten neben zahlreichen Tunneln und Galerien auch Stützverbauungen errichtet werden. In diesem Abschnitt wurden insgesamt 5 km bis zu 5 m hohe Mauern zur Abstützung der Schneedecke in Trockenbauweise gebaut.



Abb. 1: Trockenstein Lawinenausmauern teilweise saniert und ergänzt mit Schneebrücken

Fig. 1: Dry masonry avalanche walls partially reconstructed and completed with steel structures

Die Stützwirkung dieser Mauern war aufgrund der vielfach großen Hangneigungen eher gering. Allerdings sind diese Mauern bis heute zu einem großen Teil erhalten. Die Schäden und notwendigen Sanierungen sind hauptsächlich im Kronenbereich entstanden, wo der Schneedruck große mechanische Belastungen verursacht.

Als weitere wesentlich umfangreichere Maßnahme wurden von der Arlbergbahn sogenannten „Arlbergrechen“ errichtet. Von dieser Bautype wurden insgesamt 22 km hergestellt.

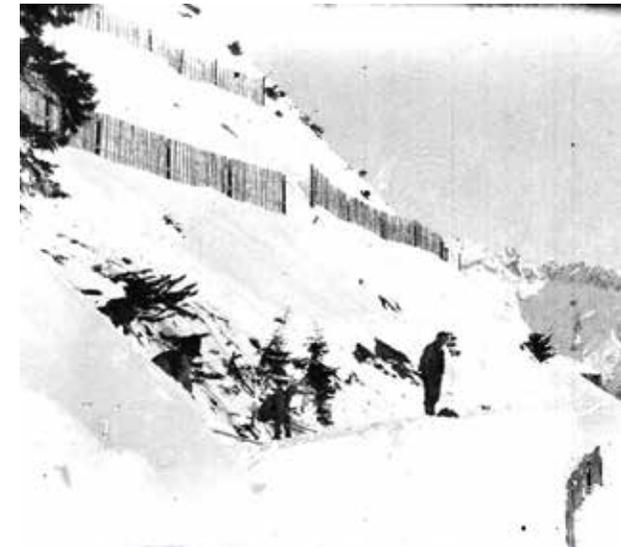


Abb. 2: Arlbergrechen - ein Teil von 22 km zum Schutz der Arlbergbahn (Quelle: Archiv Museumsverein Klosters)tal)

Fig. 2: Arlbergrechen (snow rake) - a part of 22 km to protect the Arlberg railway

Der Arlbergrechen besteht aus einem lotrechten Holzrost, der auf Drahtbündel aufgehängt wird. Diese Drahtbündel werden von Eisenbahnschienen getragen, die lotrecht eingemauert sind. Es erfolgt eine bergseitige, sowie seitliche Abspannung. Diese Abspannungen werden gegen den Setzungsschneedruck durch lotrechte Hölzer gestützt. Diese Bautype diente auch der Wildbach- und Lawinenverbauung für die erste Stützverbauung in Blons im Großen Walsertal. Es wurden im Anbruchgebiet der Hüggenlawine von 1906 bis 1908 1.200 lfm Arlbergrechen aufgestellt.



Abb. 3:
Arlbergrechen 1907
im Anbruchgebiet der
Hüggenlawine

Fig. 3:
Arlbergrechen (snow rake)
1907 in the starting zone of
the Hüggenavalanche

Für diese Bautype standen keine Bemessungsgrundlagen zur Verfügung, sodass diese einen hohen Instandhaltungsaufwand erforderten. Insbesondere den großen Schneedrücken auf den südexponierten tiefgründigen Grashängen waren die Bauwerke nicht gewachsen.

Parallel zu den technischen Verbauungen wurden 20.000 Zirben und 15.000 Fichten aufgeforstet.

Die Aufforstungen, die sich anfangs erfolgsversprechend entwickelten, sind zum Großteil den enormen Schneebelastungen zum Opfer gefallen. Nach einer aus den 20er-Jahren überlieferten Sanierung der technischen Verbauung ist diese bis Anfang der 50er-Jahre durch die Schneebelastungen großteils zerstört worden.



Abb. 4:
Zirben-Aufforstung
im Anbruchgebiet der
Hüggenlawine

Fig. 4:
Cembra pine afforestation
in the starting zone of the
Hüggen-Avalanche



Abb. 5: Zerstörter Arlbergrechen im Anbruchgebiet der
Hüggenlawine Anfang 1950

Fig. 5: Destroyed Arlbergrechen (snow rake) in the starting
zone of the Hüggen-Avalanche in the beginning 1950's

In der Folge konnte durch diese desolate Verbauung im Lawinenwinter 1954 auch in diesem Anbruchgebiet ein Lawinenabgang nicht verhindert werden. Es verstarben in Blons allein durch die Hüggenlawine 36 Personen. Insgesamt forderten in Blons 2 Lawinen 57 Todesopfer. In ganz Vorarlberg starben 125 Menschen.

Voraussetzung für die Entwicklung der modernen Bautypen:

- 1.) Die Lawinenkatastrophe von 1954 zeigte einen hohen Schutzbedarf auf und war Anlass für zahlreiche Verbauungsprojekte.
- 2.) In etwa zur selben Zeit erschienen in der Schweiz 1955 die vorläufigen Schweizer Richtlinien für den Anbruchverbau. Diese

Richtlinien schufen die Voraussetzung dafür, dass mit entsprechenden Bemessungsgrundlagen Bautypen mit höherer Lebenserwartung und geringerem Erhaltungsaufwand geschaffen werden konnten. Anfangs wurden Hänge-Schneebrücken als Weiterentwicklung des Arlbergrechens gebaut. Diese wurden entsprechend den Richtlinien bemessen und sind heute noch weitestgehend wirksam. Diese Werke bestehen aus einer horizontalen Bedielung aus Holz oder Stahl. Die Träger werden bergseitig abgespannt und verankert. Die Neigung der Bauwerke mit ca. 15° bergseitig zum Hang bewirkt, dass in sonnenexponierten Lagen im Frühjahr, wenn die größten Gleitschneebewegungen auftreten, durch die Sonneneinstrahlung bereits ein Abschmelzen des Schnees am Rost eintritt und es so zu einer Entlastung führen kann.

- 3.) Die Entwicklung der Stahlschneebrücken, Bautype der Österreichisch-Alpine Montangesellschaft (ÖAM), heutige Voestalpine, ist als weiterer Meilenstein zu nennen. Diese Bautype wird heute abgesehen von der Fundierung nahezu baugleich wie vor 60 Jahren verwendet. Ein Rost besteht aus omega-artig gewalzten Stahlprofilen, (teilweise aus Kostengründen auch aus imprägnierten Rundhölzern). Die Profile werden mit den Stahlträgern verschraubt. Der Rost ist ca. 10° aus der Hangsenkrechten Richtung Tal geneigt. Die Abstützung erfolgt durch Stahlprofile, die mit ca. 60° zum Rost über Bolzen angeschlossen werden. Die Verankerung besteht zum überwiegenden Teil aus Ortbeton. Im Lockermaterial wurden die Träger auf eine Länge von ca. 1,0 m in ein ca. 1,5 m langes Betonfundament im Boden einbetoniert. Bei anstehendem



Abb. 6: Überblick Hüggenlawine mit verschiedenen Bautypen

Fig. 6: Overview of the Hüggen-Avalanche with different types of structures

oder seichtem Fels wurden kleinere Betonfundamente mit gekürzten Trägern und Felsankern hergestellt. Anfänglich wurde auch eine Bautype mit gelenkigem Trägeranschluss verwendet. Die Fundierung der Stützen erfolgte mit Betonfundamenten, bestehend aus einer Ort betonplatte mit aufgesetztem Betonzylinder, an dem die Stütze über Bolzen angeschlossen wurde.

Eine Weiterentwicklung der Fundamente erfolgte in den 70er-Jahren, als der in Tirol entwickelte Sprenganker zur Verankerung der Träger eingesetzt wurde. Mit Hilfe dieser Sprenganker war es möglich, die massiven Betonfundamente zu reduzieren, da die Zugkräfte zu einem Teil über die Sprenganker abgeleitet werden konnten. Ein Teil der Zugkräfte und die hangparallelen Kräfte wurden weiterhin über das Betonfundament aufgenommen. Anfang der 90er-Jahre erfolgte eine

weitreichendere Umstellung der Fundierung auf das aktuell verwendete System. Das Trägerfundament besteht nun aus einem Pfahlbock mit einem Zug-Pfahl, der 10° aus der Horizontalen geneigt ist und einem Druckpfahl, der lotrecht eingebaut wird. Die Verbindung zum Träger bilden Pfahlköpfe, die durch Rohre den erforderlichen Korrosionsschutz, sowie die entsprechende Aussteifung der Fundamente herstellen. Die Fundierung der Stützen wird über Stahlgrundplatten geschaffen.

Aufgaben für die Zukunft

Die in den vergangenen 60 Jahren gebauten 110 Kilometer Schneebrücken stellen im Bezirk Bludenz für den Siedlungsraum ein hohes Sicherheitsniveau bereit. Für die Zukunft stehen folgende Aufgaben an:

- 1.) Weniger wirtschaftliche Lawinensicherungen in großen Einzugsgebieten und exponierten Standorten.
- 2.) Kombinationen von Stützverbauungen mit Maßnahmen der künstlichen Lawinenauslösung. Bei der Entwicklung stationärer Anlagen für die künstliche Lawinenauslösung wurden in den letzten 20 Jahren große Fortschritte erzielt und Erfahrungen gesammelt. Der Druck auf die rasche Freigabe von Verkehrswegen und Ski-Räumen hat zu weitverbreiteter Installation von Lawinensprenganlagen und zur Ausweitung von Helikoptersprengungen geführt. Damit rückte die temporäre Sicherung durch Lawinen-

sprengungen mehr in die Nähe von Siedlungen. Um negative Auswirkungen durch Lawinenabgänge in Siedlungsnähe zu verhindern, können Teilverbauungen in Anbruchgebieten eine brauchbare Lösung darstellen.

- 3.) Instandhaltung von 110 km Stützverbauung. Zur Abschätzung des Aufwandes wurden die Kosten der letzten 20 Jahre ermittelt.

Die durchschnittlichen jährlichen Kosten für die Instandhaltung von ca. 100 km Schneebrücken von 1996 bis 2016 betragen ca. € 100.000 jährlich. Das ergibt bei grober Abschätzung der Gesamtkosten ohne Verzinsung, Valorisierung und

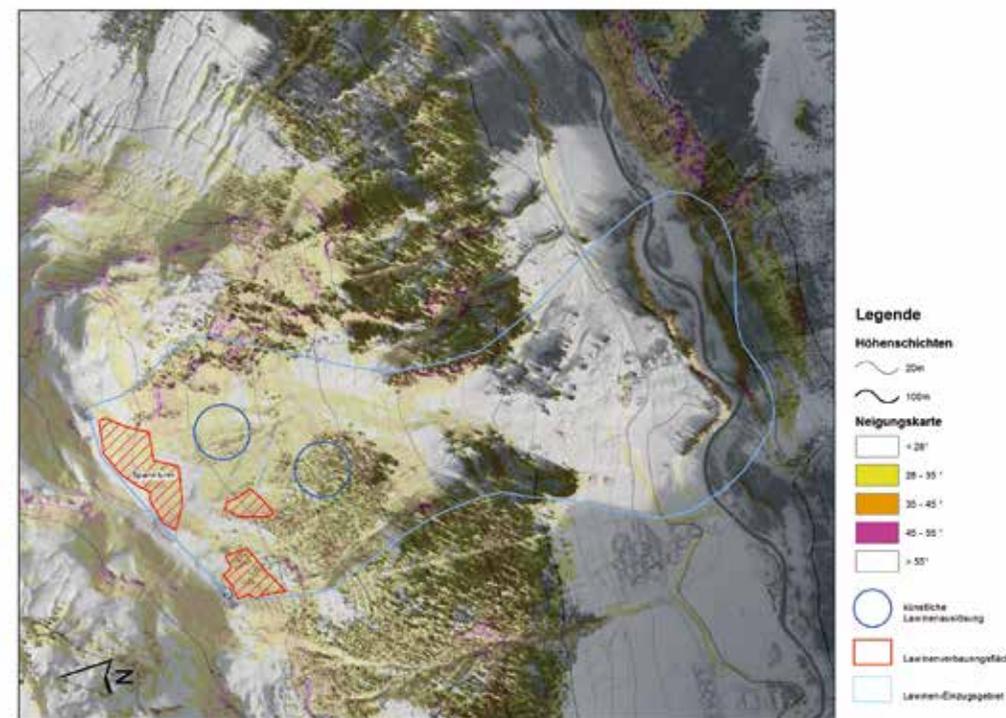


Abb. 7: Einzugsgebiet der Kriegerhorn SW-Hanglawine mit teilweiser Verbauung und Anbruchgebieten die künstlich ausgelöst werden

Fig. 7: Starting Zone of the Kriegerhorn SW-Hanglawine with planned avalanche defence works and parts which will be artificially released



Abb. 8:
Steinschlagschaden nach
Fehleinschätzung der
Steinschlaggefährdung

Fig. 8:
Damage due to rock fall as
result of an unrecognized
rock fall hazard

Wertminderung ca. 0,1 % der Gesamtverbauungskosten. Aus der Sicht des Autors erscheinen diese Aufwendungen eher gering, was sich wie folgt begründen lässt:

- Verwendung von robusten einfachen Bautypen,
- weitgehende Beachtung der Schweizer Richtlinien,
- zusätzlicher Input durch eigene Überlegungen und Erfahrungen,
- sorgfältige Ausführung.

Die Ursachen für Instandhaltungsmaßnahmen sind bei Planungsfehlern, Baumängeln und geringfügig auch in der Abnutzung zu suchen. Den überwiegenden Anteil verursachen Planungsfehler durch Verbauungen in rutschgefährdeten Bereichen, steinschlaggefährdeten Hängen und durch Unterschätzung der Schneelasten.

- Jede Stützverbauung, sofern sie im Bereich der potentiellen Waldgrenze geplant ist, wird mit Aufforstungen

begleitet, die langfristig die Schutzwirkung als Waldbestand sicherstellen sollen. Die Betreuung dieser Aufforstungen erfordert ähnlich hohe Aufwendungen, wie die Instandhaltung der technischen Verbauung. Eine Auswertung der letzten 5 Jahre (2012 bis 2016) hat Betreuungskosten für:

- Weidezäune,
- Schutz vor Wildschäden,
- Nachbesserung mit Forstpflanzen und
- Schädlingsbekämpfung
- Pflege

in der Größenordnung von € 130.000 jährlich ergeben. Das sind ca. 0,12 % der oben angeschätzten Gesamtverbauungskosten.

Neben der mechanischen Belastung und der Beeinträchtigung durch Pilze in den Hochlagen stellen die Wildschäden aufgrund überhöhter Wildstände das Hauptproblem für Aufforstungen und für die Entwicklung der Schutzwälder dar.



Abb. 9:
Eingezäunte Probefläche
mit Naturverjüngung ohne
Wildeinfluss

Fig. 9:
Fenced area with natural
regeneration without the
influence of game

Die seit Jahrzehnten vorhandenen überhöhten Wildstände führten in weiten Bereichen zum Ausfall der natürlichen Verjüngung standortsgemäßer Waldbestände. In der Folge sind Nutzungen in Objektschutzwäldern zur Verjüngung der Bestände vielfach nur noch mit anschließenden

Stützverbauungen möglich. Diese Maßnahmen zur Kompensation der natürlichen Verjüngungsfähigkeit erfordern Kosten in der Höhe von € 50.000 bis € 500.000 pro Hektar.

Angesichts dieser Entwicklung ist die Wiederherstellung und Erhaltung der Verjün-



Abb. 10:
Schneemauer zur
Abstützung der
Schneedecke (Quelle:
Archiv Museumsverein
Klostertal)

Fig. 10:
Snow-wall to stabilize the
snowcover

gungsfähigkeit von Objektschutzwäldern, sowie die Erhaltung deren Schutzwirkung die weit größere Herausforderung als die Instandhaltung bestehender Stützverbauungen.

Zum Schluss möchte ich noch einmal auf die eingangs erwähnten Lawinenuauern mit ihrer begrenzten Stützwirkung zurückkommen. Dieses Problem wurde durch die ÖBB zumindest teilweise mit temporären Maßnahmen gelöst. Nach Schneefällen sind die Arbeiter der Lehnenpartien in die Anbruchgebiete aufgestiegen und haben mit der Errichtung von Schneemauern die Schutzwirkung der Steinmauern erhöht.



Abb.11: Nach getaner Arbeit blickt der Mann in die Ferne auf der Suche nach neuen Herausforderungen! (Quelle: Archiv Museumsverein Klostertal)

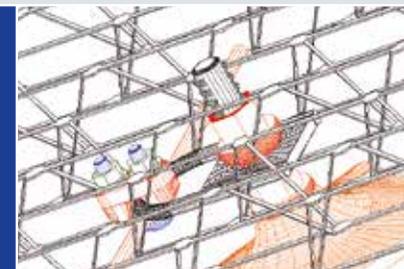
Fig. 11: A man's view for new challenges after accomplishing his tasks!

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Wolfgang Schilcher
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Bregenz
Oberfeldweg 6
6700 Bludenz
Wolfgang.schilcher@die-wildbach.at

Wir sichern und kultivieren die Erde

Steilwälle
Wasserbau
Entwässerung
Sonderkonstruktionen



Hang- u.
Böschungssicherung
Steinschlagschutz
Stützbauwerke



J. Krismer | Bundesstraße 23
A - 6063 Innsbruck - Rum
www.krismer.at | office@krismer.at



PETER BEBI, MANFRED KREINER, JOSEF FUCHS

Schutzwald bei veränderten Umweltbedingungen

Protection forest under the aspect of change in environmental condition

Zusammenfassung:

Schutzwälder sind ständigen Umweltveränderungen (Klimawandel) ausgesetzt. Die Schutzwirkung an kältelimitierten Standorten wird sich künftig verbessern, an trockenheitslimitierten Schutzwäldern wird hingegen die Mortalität der Bäume zunehmen. Großflächige Störungen im Wald durch Feuer, Windwurf oder Borkenkäferkalamitäten werden vermehrt auftreten. Lawinenschutzfunktionen werden in tieferen Lagen seltener, in der subalpinen Stufe bleiben sie bis Ende des 21. Jahrhundert von Bedeutung. Vorverjüngung und ein angepasstes Baumartenspektrum können den negativen Folgen des Klimawandels entgegen wirken. Wald- und Wildmanagement müssen gemeinsame Ziele verfolgen. Klimawandel wird in der Bevölkerung und unter Forstfachleuten thematisiert, jedoch findet ein darauf abgestimmtes waldbauliches Handeln noch nicht statt. Modellierungen können helfen, notwendige prioritäre Flächen sichtbar zu machen. Förderprogramme müssen künftig dort ansetzen. Entscheidungsträger und Bevölkerung sind entsprechend zu sensibilisieren.

Stichwörter: Schutzwald, Klimawandel, Lawinen

Abstract:

Protection forests are underlying permanent environmental changes. Climate change is likely to improve protective function at temperature-limited sites. Whereas sites which are characterised by drought forests may lose the protective function due to higher mortality of the trees and loss of soil. Disturbances by forest fire, bark beetle and wind will increase. Avalanche protection

function will lose importance on lower sites but will still play a major role in the subalpine belt during the 21st century. Pre-regeneration under mature stands and the choice of adapted tree species can compensate the negative effects of climate change. Climate change is known within the general public and of course forest professionals. Even though silvicultural practice in the sense of climate change is not common use yet. Computer modelling combining relevant data can help to outline sites with high priority impact to ensure the protective function of the forests. Forest funding programmes must focus on serving high priority impact sites first. Decision makers and the public have to be sensitised to that topic.

Keywords: Protection forests, climate change, avalanche

Auswirkung des Klimawandels auf den Schutzwald

Auch ohne Betrachtung des Klimawandels ändern sich Schutzwälder ständig. Nach jahrhundertelanger Übernutzung haben sich viele Schutzwälder im Alpenraum seit dem Ende des 19. Jahrhundert dank aktiver und passiver Aufforstung stark ausgedehnt und verdichtet. Als Folge hat sich zwar die Lawinenschutzfunktion vielerorts verbessert, allerdings nicht immer dort, wo der Schutz am nötigsten ist (Bebi et al. 2016). Eine Folge dieser Nutzungsgeschichte ist auch der große Anteil gleichaltriger Schutzwälder mit steigendem Vorrat an lebendem und totem Holz. Nur schon aufgrund dieser Rahmenbedingungen ist mit einer weiteren Zunahme der Mortalität bei nicht überall gewährleisteter Waldverjüngung zu rechnen, was das Schutzwaldmanagement zu einer sehr anspruchsvollen Optimierungsaufgabe macht. In dieser Situation von sich stark verändernden Schutzwäldern wirkt nun der Klimawandel in verschiedener Hinsicht auf die Lawinenschutzwirkung ein: Einerseits wirkt er sich direkt auf die Schnee- und Lawinensituation aus, und andererseits bewirken klimabedingte Änderungen von Waldstruktur und Artenzusammensetzung Veränderungen der Schutzleistungen.

Direkte Auswirkung von sich veränderter Schneesituation

In Zukunft sind in allen Höhenstufen weniger mächtige Schneedecken zu erwarten (Schmucki et al. 2017). Im Wald anreißende Lawinen treten vor allem bei Schneemächtigkeiten von mindestens 50 cm auf (Teich et al. 2012). Die Anzahl der Tage mit solchen «kritischen» Schneemächtigkeiten dürfte sich in Höhenlagen von 1400 bis 1700 m bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (gegenüber der Referenzperiode von 1983 bis 2010) halbieren und beträgt am Ende des 21. Jahrhundert wohl nur noch wenige Tage. Die höheren Temperaturen werden durch eine Zunahme der Winterniederschläge nicht kompensiert werden (Schmucki et al. 2017). Daher nehmen wir an, dass der Lawinenschutz in höhergelegenen Wäldern über die nächste Jahrhundertwende hinaus wichtig bleiben, in tieferen Lagen aber im Vergleich zum Schutz gegenüber anderen Naturgefahren an Bedeutung verlieren wird.

Waldlawinen treten vor allem während zwei typischen Schnee- und Witterungssituationen auf, entweder nach Neuschneefällen bei kalten und häufig stürmischen Wetterbedingungen ohne Stabilisierung der Waldschneedecke durch

Sonneneinstrahlung (Neuschnee-Waldlawinen) oder nach starker Erwärmung und Sonneneinstrahlung bei durchfeuchteter Schneedecke (Gleit- und Nassschneelawinen, Abb. 1). Im Fall der Neuschnee-Waldlawinen ist ein zukünftiger weiterer Rückgang der Häufigkeit kritischer Situationen plausibel. Bei höheren Temperaturen dürften die für solche Lawinen typischen Bedingungen mit viel kaltem, kohäsionsarmem Neuschnee seltener auftreten. Zudem werden die dafür anfälligen aufgelösten subalpinen Wälder aufgrund höherer Wüchsigkeit häufig dichter (Bebi et al. 2012). Trotzdem müssen wir zumindest in der subalpinen Stufe weiterhin mit solchen Lawinen rechnen. Der Anteil an Nassschnee- und insbesondere Gleitschneelawinen dürfte sich gegenüber anderen Lawinentypen erhöhen (Perzl und Kammer-

lander 2010). Während Nassschneelawinen in verschiedensten Höhenstufen und Expositionen auftreten, sind Gleitschneelawinen vor allem in südwest- bis südostexponierten Laub- und Mischwäldern der montanen Stufe typisch, wo der Schnee bei durchfeuchteter Schneedecke und warmer, glatter Bodenoberfläche abgleiten kann. Wenn es wärmer wird, sind solche Bedingungen vermehrt auch in höheren Lagen zu erwarten, was waldbaulich bedeutend ist, da Gleitschneelawinen bei durchfeuchteter Schneedecke und geringer Bodenrauigkeit auch in relativ schmalen Lücken direkt auf dem Waldboden abgleiten und bereits eine geringfügig erhöhte Bodenrauigkeit einen großen Beitrag zu deren Verhinderung leistet (Bebi et al. 2012).



Abb. 1:
Nassschneelawine mit
Waldschaden

Fig. 1:
*Wet snow avalanche and
forest damage*

Wirkungen des Klimawandels auf die Waldstruktur und Waldzusammensetzung

Gemäß aktuellen Klimaszenarien wird das zukünftige Klima – vor allem in den Sommermonaten – im Vergleich zu heute wärmer und wahrscheinlich auch trockener. Extreme Witterungsereignisse sowie sommerliche Hitze- und Trockenperioden dürften häufiger auftreten. Im Winter wird ein größerer Anteil des Niederschlags als Regen fallen und die Dauer der Schneebedeckung abnehmen (Remund et al. 2016). Diese Änderungen werden sich längerfristig auf Waldstruktur und Baumartenzusammensetzung sowie die Störungsregime im Wald auswirken, wobei wir je nach Standort differenzieren müssen. In der Folge unterscheiden wir drei verschiedene Situationen: (1) zurzeit bezüglich Baumwachstum kältelimitierte Standorte, (2) zurzeit trockenheitslimitierte Standorte und (3) mittlere Standorte, bei denen die Hauptwirkung des Klimawandels darin besteht, dass natürliche Störungen zunehmen.

An kältelimitierten Standorten höherer Lagen tragen schlechte Wachstumsbedingungen und lang anhaltende Schneebedeckung vielfach zu einer offenen und räumlich heterogenen Waldstruktur bei (Ott et al. 1997). Wärmere Temperaturen können an solchen kältelimitierten Standorten ein besseres Wachstum und eine Verdichtung des Waldes bewirken, wodurch sich die Schutzwirkung verbessert. Allerdings gibt es eine Reihe von anderen Faktoren (z.B. lange andauernde Schneebedeckung, Vegetationskonkurrenz, Wildverbiss), welche die Verbesserung der Schutzwirkung in höheren Lagen und insbesondere an der oberen Waldgrenze stark verzögern können (Motta et al. 2006, Bebi et al. 2012). Wenn Biomasse und Dichte von bisher kältelimitierten Wäldern durch verbessertes Wachstum stark zunehmen, kann dies längerfristig aber auch problematische Ent-

wicklungen nach sich ziehen, da (1) die Regenerationsfähigkeit bei starker Konkurrenz um Licht abnehmen und da (2) durch zunehmende Verbindungen und Interaktionen zwischen dichtstehenden Bäumen bereits kleinere Störungen Kaskaden von weiteren Störungen auslösen können (vgl. Drever et al. 2006, Abb. 4.1.1).

Eine trockenheitsbedingte Erhöhung der Mortalität der Bäume wurde in verschiedenen Studien weltweit bereits nachgewiesen (Allen et al. 2010). Auch für stark trockenheitslimitierte Waldstandorte in den Alpen zeigen Felduntersuchungen und Modellrechnungen, dass verstärkter Hitze- und Trockenstress diese Mortalität in Zukunft weiter erhöhen und Schutzleistungen gegenüber Naturgefahren längerfristig reduzieren werden (Rigling et al. 2012). Eine Analyse für die Region Visp hat gezeigt, dass einheimische Baumarten, insbesondere die Waldföhre und teils auch die Fichte durch die Folgen des Klimawandels in den trockensten Lagen an ihre physiologischen Grenzen stoßen, was in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu einer starken Reduktion der Schutzwirkung gegenüber Naturgefahren führen könnte. Durch eine Anpassung von Baumartenzusammensetzung und Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche den Wasserverbrauch vermindern, lässt sich die Widerstandskraft der Bäume gegenüber Trockenheit vorübergehend erhöhen (Rigling et al. 2012). Langfristig weiterhin zunehmende Trockenheit bedeutet an solchen Standorten aber eine große Gefahr für den Schutzwald (Bebi et al. 2016).

Der Einfluss von natürlichen Störungen hat in den letzten Jahrzehnten in Europas Wäldern bereits deutlich zugenommen und wird unter dem Einfluss des Klimawandels weiter steigen (Seidl et al. 2014). Wie sich die veränderten Störungsregime auf die Schutzwälder auswirken, hängt dabei stark von den noch unsicheren Niederschlagsze-

narien ab (Bebi et al. 2012). Borkenkäferkalamitäten werden unter dem Einfluss des Klimawandels und bei steigenden oder gleichbleibenden Fichtenvorräten auch in höher gelegenen Wäldern vermehrt auftreten, da höhere Temperaturen und geringere Niederschläge die Widerstandskraft der Wirtsbäume schwächen und eine raschere Entwicklung der Käfer ermöglichen (Pezzatti et al. 2016). Waldbrände werden bei einer Zunahme der Häufigkeit von Dürreperioden, mehr brennbarer Biomasse im Wald sowie einer Abnahme der Schneebedeckungsdauer häufiger auftreten – und zwar auch in Gebieten, wo Waldbrände bisher selten waren (vgl. Pezzatti et al. 2016). Eine klimabedingte Erhöhung der Sturmgefährdung ist bei weiterhin steigenden Holzvorräten und Winterstürmen bei vermehrt nicht gefrorenem Boden

ebenfalls möglich (Usbeck et al. 2010). Schneebruchereignisse könnten in Abhängigkeit von der Höhenlage aufgrund vermehrter Nassschneefälle vorübergehend zunehmen, dürften längerfristig aber wieder abnehmen (Bebi et al. 2012). Kleinere Streuschäden durch Windwürfe und Borkenkäfer sowie die meisten Schneebruchereignisse wirken sich ohne größere Folgestörungen meist nicht negativ auf die Schutzwirkung des Waldes aus und bieten unter Umständen auch Chancen zur Anpassung an den Klimawandel, wenn bei der nachfolgenden Verjüngung besser geeignete Baumarten gefördert werden können. Je großflächiger und intensiver die Störungen und je kleiner die Resilienz (im Sinn von zerstörter oder nicht vorhandener Verjüngung), desto größer werden die Einbußen im Naturgefahrenschutz.



Abb. 2: Der Klimawandel bewirkt an bisher kältelimitierten Standorten ein langsames Ansteigen der Waldgrenze, kann aber auch in höheren Lagen zu Borkenkäferschäden führen.

Fig. 2: At temperature-limited sites, climate change causes a slow rise of the tree line and also bark beetle damages in higher regions.

Zwischen den Wirkungen von Trockenheit, Wachstum bzw. Konkurrenz und verschiedenen Störungen gibt es eine Vielzahl von Wechselwirkungen. Beispielsweise kann Trockenstress die Gefährdung durch Waldbrand auch auf bisher schon trockenheitslimitierten Standorten weiter erhöhen. Um die Schutzwirkung in Zukunft auch unter dem Einfluss des Klimawandels zu erhalten, ist es deshalb wichtig, mehr über diese Wechselwirkungen zu wissen und die Prioritäten im Schutzwaldmanagement so zu optimieren, dass sich die Schutzwirkung nicht großflächig verschlechtert.

Schlussfolgerung für das Schutzwaldmanagement

Das Schutzwaldmanagement hat sich in den letzten 150 Jahren erfolgreich vom möglichst raschen (Wieder)-Aufbau in Richtung einer Verbesserung der Regenerationsfähigkeit des Waldes durch Bestandesöffnungen entwickelt. Der Klimawandel wird zu Prioritätsverschiebungen innerhalb des Schutzwaldmanagements führen, wobei je nach Standort und Naturgefahrensituation unterschiedliche Maßnahmen im Vordergrund stehen:

Auf kältelimitierten Standorten erwarten wir eine weitere Waldausdehnung und Vorratszunahmen. Dies ist vor allem dort willkommen, wo zusätzlicher Naturgefahrenschutz nötig ist. Andererseits sollte der fortschreitenden Entwicklung von bisher offenen Gebirgswäldern in dichte und einschichtige Bestände frühzeitig entgegen gewirkt werden. Subalpin schränken die weiterhin relevante Lawinenschutzfunktion und Gefährdungen durch Nassschnee den Spielraum für rasche Klimaanpassung im Baumartenspektrum ein. Wo sich neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Baumartenvielfalt ergeben, sollte dies ausgenutzt werden.

Auf bereits trockenheitslimitierten Standorten gehören waldbauliche Eingriffe kombiniert

mit Waldbrandprävention, der Förderung von an Trockenheit angepassten Baumarten, zu den wichtigsten Steuerungsinstrumenten zur Erhaltung der Schutzwirkungen. Wo einheimische Baumarten als Folge von verstärkter und langanhaltender Trockenheit nicht mehr überlebensfähig sind, müssten im Schutzwald längerfristig auch Pflanzungen anderer Baumarten sowie im Extremfall technische Verbauungen zur Unterstützung des Naturgefahrenschutzes ins Auge gefasst werden.

Wo zurzeit weder Kälte noch Trockenheit die Hauptlimitierungen darstellen, sind Verjüngungshiebe das wichtigste Steuerungsinstrument zur Erhöhung der Vorverjüngung und damit der Resilienz von Schutzwaldbeständen bezüglich natürlicher Störungen. Im Sinn der Klimaanpassung sollte dies auch genutzt werden, um die Baumartenanteile an die Anforderungen des zukünftigen Klimas anzupassen. Vor allem in Fichtenwäldern, welche aufgrund der Standortgegebenheiten einen höheren Tannen- und Laubholzanteil aufweisen könnten, sollte der Tannen- und Laubholzförderung im Sinne der Klimaanpassung höchste Priorität gegeben werden. Neben Verjüngungshieben bieten natürliche Störungen Gelegenheit zur Anpassung an den Klimawandel, wobei die Pioniervegetation gezielt mit klimaangepassten Pflanzungen ergänzt werden kann. Zudem ist es nach natürlichen Störungen von Bedeutung, die positive Wirkung von Totholz für den Schutz gegen Lawinen und Steinschlag und zur Steigerung der Resilienz auszunutzen, sofern dadurch nicht unverhältnismäßige Risiken durch Folgeschäden eingegangen werden. Im Bereich von potentiell durch Waldbrand gefährdeten Schutzwäldern sind Maßnahmen zur Verringerung der Waldbrandgefährdung und zur Verbesserung der Waldbrandbekämpfung von zunehmender Bedeutung.

Bestände, die heute begründet werden, schützen in 100–200 Jahren unter anderen kli-

matischen Bedingungen und zum Teil vor anderen Naturgefahren. Zumindest subalpin bleibt Lawinenschutz in den nächsten Jahrzehnten wichtig, wobei Nassschnee-/Gleitschneesituationen vermehrt auch in höheren Gebirgswäldern vorkommen werden. In tieferliegenden Gebirgswäldern wird der Lawinenschutz längerfristig allerdings gegenüber dem Schutz vor anderen Naturgefahren eher an Bedeutung verlieren.

Möglichkeiten einer praktischen Umsetzung der Adaptionsstrategien in Tirol

Rahmenbedingungen

Der Tiroler Wald ist in etwa auf 35.000 Waldbesitzer und Waldbesitzerinnen verteilt. Jeder zweite bewirtschaftet eine Waldfläche von weniger als einem Hektar. Regelmäßige Einkommen aus der Waldbewirtschaftung lassen sich für viele daher nicht erzielen. Zwei von drei Bäumen in Tirol stehen im Schutzwald. Dem Schutz des Menschen bzw. menschlicher Siedlungen kommt besondere Bedeutung zu. Nur 12 % der Tiroler Landesfläche sind besiedelbar. Die wesentlichen Hebel des Landesforstdienstes sind bei der Schutzwaldbewirtschaftung die Beratung und Förderung der Grundeigentümer und Grundeigentümerinnen. Eine vorausschauende Waldbehandlung mit der Bereitstellung überwirtschaftlicher Waldfunktionen durch die Grundeigentümer und Grundeigentümerinnen soll damit nachhaltig sichergestellt werden.

Ist Klimawandel und Schutzwaldbewirtschaftung bereits in der Bevölkerung verankert bzw. Teil unsers täglichen forstlichen Handelns?

Dass Klimawandel stattfindet, wird in der Gesellschaft bereits wahrgenommen. Am Beispiel eines Pilotprojektes einer Klimastudie in Lienz wurde

bis zum Jahr 2100 vorausgeblickt. Die Prognose: Mehr Tropentage und Naturkatastrophen – weniger Schnee (Oblasser, C.; Tiroler Tageszeitung vom 3. Jänner 2017). Dafür gilt es sich heute schon zu rüsten und es wurden von Fachexperten mögliche Maßnahmen abgeleitet. Vorschläge zur Abhilfe bei vermehrten niederschlagsbedingten Naturgefahren wurden vielfach nur in einer nachsorgenden Betrachtung dargestellt, wo Notfallpläne geändert oder größer dimensionierte Schutzbauten angedacht werden. Auch raumplanerische Ansätze wie Änderungen der Gefahrenzonenplanung sind angeführt. Der Wald als vorbeugender Schutzschild blieb hingegen unerwähnt. Lediglich die Waldbrandbekämpfung wurde als künftig wichtig erachtet.

Auch in der täglichen Arbeit des Forstdienstes, in der Beratung und Förderung der Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen, lassen sich notwendige Maßnahmen allein mit dem Klimawandel nicht begründen. Wald und auch landwirtschaftliche Flächen sind jedoch aufgrund ihrer Flächenausdehnung relevant. In Tirol sind immerhin 41 % der Landesfläche mit Wald bedeckt. Eine vorausschauende Bewirtschaftung der genannten Flächen, im Sinne von Schutz und Erhaltung der Böden als Grundlage für Wasserspeicherfähigkeiten und eine gute Baumartenmischung, hat sich noch nicht etabliert. Dass auf guten Böden heute leichter klimafitte Wälder begründet werden können, ist noch besser zu positionieren.

Ist der Schutzwaldbegriff aus Sicht des Praktikers/Sachverständigen zu weit gefasst?

Grundlagen für die Ausscheidung von Schutzwald finden sich im § 21 Forstgesetz, hier ist Schutzwald genau definiert. In der Richtlinie zum Waldentwicklungsplan sind die im Forstgesetz genannten Schutzwälder fachlich anhand von messbaren

Kriterien näher erläutert. Zusätzlich ist aufgrund der Zuteilung zu einer Wertziffer der Schutzfunktion eine Art Priorisierung festgeschrieben, die den jeweiligen Sachverständigen in seiner Argumentation unterstützt. Grundsätzlich ist damit sichergestellt, dass vor allem direkt schutzfunktionale Wälder mit hoher Treffsicherheit von verschiedenen Sachverständigen gleich zugewiesen werden.

Grenzen sind hingegen bei der Festlegung indirekter Schutzfunktionen schnell erreicht. Diese führen in der praktischen Umsetzung zu diametralen Zuweisungen bei Sachverständigen, wobei diese dennoch meist fachlich nachvollziehbar und gut begründet sind. Alleine aus § 1 Forstgesetz ließe sich aus der Erhaltung der Produktionskraft des Bodens in dem Sinne, dass die Waldwirkungen gesichert sind, fachlich oftmals Schutzfunktion begründen. Ob dann beispielsweise beinahe den gesamten Tiroler Waldböden eine Wasserrückhaltefunktion für die Donau bis hin nach Wien und darüber hinaus zukommt, führt in der Sachverständigenbeurteilung durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Kann uns Modellierung zu besseren Ergebnissen verhelfen?

In der jüngeren Vergangenheit gewinnt man manchmal den Eindruck, dass mit Modellierung alles möglich und eine Sachverständigenbeurteilung in der Natur nicht mehr oder nur eingeschränkt notwendig sei. Es wird gerne übersehen, dass optimale Modelle Naturprozesse nur teilweise und sehr vereinfacht abbilden können. Modellierungen werden zusätzlich mit klassischen terrestrischen Kartierungen verwechselt. Die Ergebnisse werden dann vielfach als falsch abgetan und in der Praxis zu wenig oder gar nicht verwendet.

Dennoch bieten Modellierungen auch Vorteile und Chancen, die es zu nutzen gilt. Dazu

zählt, dass für jedes Modell die Regeln genau definiert sein müssen - und zwar vollständig. Eine Bestimmung nach „Bauchgefühl“ ist dem Computer nicht möglich. Ein Übergehen unangenehmer Bereiche, indem sie einfach undefiniert bleiben, gibt es ebenfalls nicht. Es gilt jede definierte Regel für den gesamten modellierten Bereich in gleicher Weise. Ein weiterer Vorteil der Modellierung ist, dass neue Erkenntnisse bzw. neue Grundlagen relativ schnell bzw. günstig in die Modellierung aufgenommen und in der gesamten Fläche umgesetzt werden können.

Modellierungen von Schutzwald bzw. Schutzfunktion im Wald können die Praxis unterstützen Grundlagen auf raumplanerischer Ebene zu schaffen. Mit einfachen Modellen können beispielsweise österreichweit gleiche Grundlagen für eine Rahmenplanung geschaffen werden. Innerhalb dieser Rahmenkulisse kann sich der Sachverständige und Praktiker auf die Umsetzung der fachspezifisch notwendigen Detailmaßnahmen konzentrieren und dies möglichst ohne weitere bürokratische Hürden.

Was braucht die Praxis und wer kann dies liefern?

- **Pilotprojekte in Testgebieten:** Es müssen in Testgebieten Modelle entwickelt und geprüft werden. Hier sind vor allem Forschungseinrichtungen gefordert, die Brauchbarkeit verschiedener Parameter zu testen. Grundlagen wie Laserscandaten sind von Bund und/oder Ländern bereitzustellen. Bereits im Pilotprojekt ist zu prüfen, ob die geeigneten Eingangsparameter für das Modell auf großer Fläche verfügbar sind.
- **Umsetzung der Modelle auf großer Fläche – Ableitung einer Kulisse:** Der Schwerpunkt liegt vorerst in der Datensammlung und möglichst landeswei-

ten Zusammenführung dieser Daten in einheitlicher Form, über beispielsweise ganz Österreich, so wie es in der Schweiz in den letzten Jahren mit dem Projekt Silvaproject erarbeitet wurde (Losey und Wehrli 2013). Der Umgang mit unterschiedlichen Datenstrukturen und verschiedenen Zeitreihen ist hier die Hauptarbeit. Ebenfalls ist der Umgang mit Datenlücken oder -fehlern eine große Herausforderung. Beispielsweise wurde beim Projekt GRAVIPROFOR (Perzl und Huber 2014) eine österreich-

weite Modellierung der direkten Objektschutzfunktion des Waldes hinsichtlich Steinschlag und Lawinen durch das BFW umgesetzt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass allein die Berechnung beinahe ein Jahr Zeit in Anspruch nimmt. Das entstandene Produkt einer Kulisse mit Hinweis auf Objektschutzfunktion für Steinschlag und Lawinen war österreichweit erstmalig. Diese kann als Grundlage für einen künftig noch besseren Waldentwicklungsplan genutzt werden.

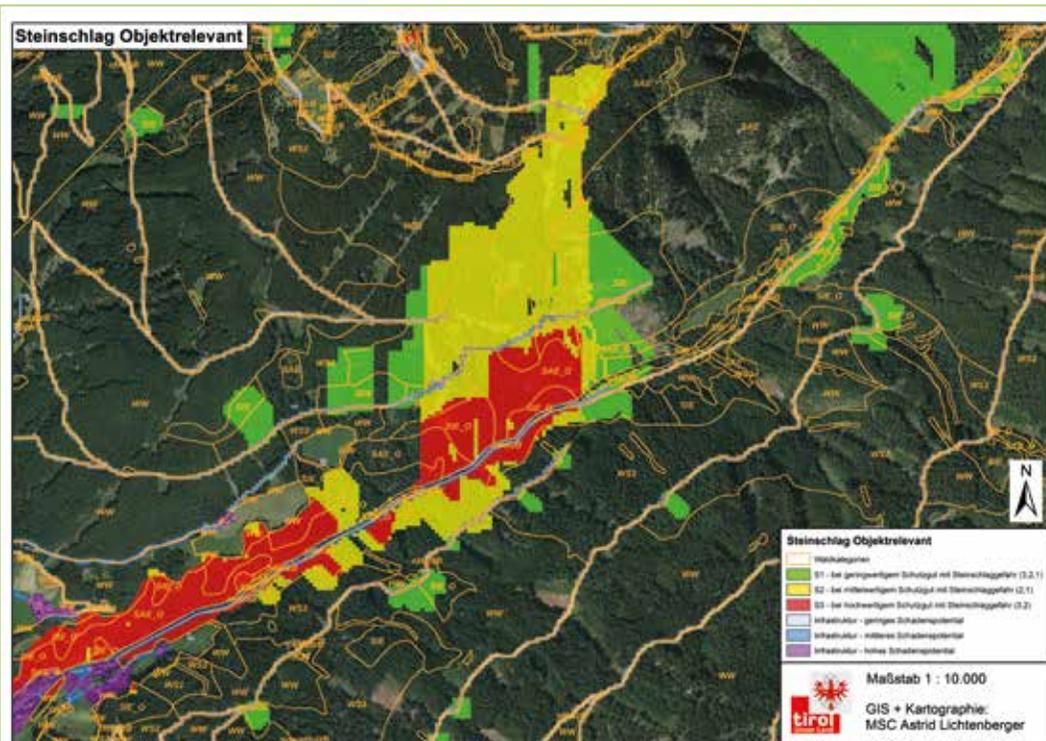


Abb. 3: Rot gefärbte Flächen weisen auf hohe bzw. mittlere Steinschlagwahrscheinlichkeit und auf hochwertige Schutzobjekte hin; gelbe Bereiche zeigen mittlere und niedere Steinschlagwahrscheinlichkeit und mittelwertige Objekte; grün eingefärbt stellen hohe, mittlere und niedrige Steinschlagwahrscheinlichkeit und niederwertige Objekte dar: Wertigkeit und Farbzueweisung bzw. dadurch die Priorisierung lassen sich je nach Schwerpunktsetzung anpassen – der größte Vorteil ist die österreichweite Verfügbarkeit!

Fig. 3: Red areas indicate a high or medium rock fall probability and high quality protection function of the forest; yellow areas have a medium and lower rock fall probability and medium protection function. In the green areas, the rock fall probability is high, medium or low whereas the forest protection function is low. This map is available for the entire Austrian area.

- **Die Waldtypisierung Tirol** ist eine Modellierung der potentiell natürlichen Waldgesellschaft (Hotter, M., Simon, A., Vacik, H. et al., 2015). Neben anderen werden Vorschläge für die geeignete Baumartenwahl, das Naturverjüngung begünstigende Nutzungsverfahren sowie die Befahrbarkeit und Auswirkung von Biomasseentzug auf die Standorte beschrieben.
- **Strukturparameter zur Priorisierung in der Kulisse:** Künftig müssen Strukturparameter des Waldes auf großer Fläche und möglichst einheitlich abgeleitet werden. Damit werden die aktuelle Waldwirkung bzw. entsprechende Defizite aufgezeigt. Das ist eine Grundlage für eine objektive Dringlichkeitsreihung. Werden zusätzlich noch Auswirkungen von Klimawandelszenarien auf den Wald mitberücksichtigt, lenken wir unseren Blick auf den künftigen Umgang mit dem Schutzwald.

- **Nachvollziehbare Unsicherheiten und Grenzen von wissenschaftlichen Modellen:** Damit Modelle in der Praxis sinnvoll eingesetzt werden können, ist es wichtig, dass seitens der Wissenschaft möglichst klar kommuniziert wird, wo die Grenzen der verwendeten Modelle sind und vor allem welche Unsicherheiten vorliegen.
- **Waldförderprogramme auf die Kulisse aufsetzen:** Künftige Waldförderprogramme setzen an prioritären Flächen an. Bund und Länder legen gemeinsam die Schwerpunkte fest. Bürokratische Prozesse können dann schlank gehalten werden, wenn in der freigegebenen Kulisse die erlaubten Maßnahmen definiert sind. Hohe fachliche Qualität ist gewährleistet, weil der Förster als Fachmann vor Ort für eine qualitativ hochwertige Umsetzung garantiert.

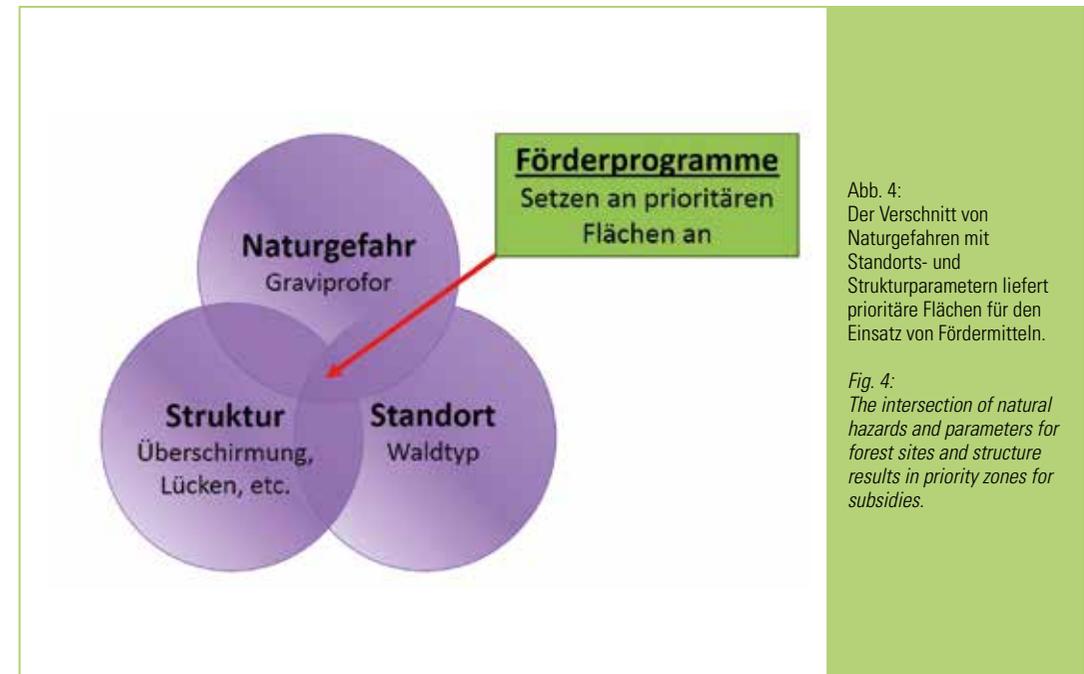


Abb. 4: Der Verschnitt von Naturgefahren mit Standorts- und Strukturparametern liefert prioritäre Flächen für den Einsatz von Fördermitteln.

Fig. 4: The intersection of natural hazards and parameters for forest sites and structure results in priority zones for subsidies.

- **Weiterbildung der Fachexperten vor Ort:**

Einerseits wird in der regulären forstlichen Ausbildung dem Bergwaldmanagement zu wenig Beachtung geschenkt. Andererseits muss der Fachmann vor Ort aber die Lücken der Modellierung ausfüllen. Fachliche Weiterbildung muss daher berufsbegleitend erfolgen. Es müssen aber auch Schwerpunkte auf die Kommunikation und Weitergabe des Wissens im Sinne der Beratung der Waldeigentümer gelegt werden.

- **Sensibilisierung von Bevölkerung bzw. Eigentümern:**

Sensibilisieren in dem Sinne, dass Wald und (Schutz-)Waldbewirtschaftung als präventive Maßnahmen einen wichtigen Beitrag leisten, ist notwendig. Präventive Maßnahmen im Wald sind rund 15mal billiger als nachsorgende sanierende Maßnahmen. Harte technische Maßnahmen kosten sogar das 145-fache (RH; 2015). Vorausschauend zu arbeiten zahlt sich aus - wirtschaftlich, schutzwaldtechnisch und auch bei geänderten Rahmenbedingungen.

Ausblick

Der Klimawandel stellt eine zusätzliche große Herausforderung für die Schutzwaldbewirtschaftung im Alpenraum dar. Um den natürlichen Naturgefahrenschutz des Waldes auch in Zukunft zu gewährleisten, sind weit vorausschauende Entscheide und gute Planungsgrundlagen wichtig, welche die sich ändernden Umweltbedingungen berücksichtigen. Wissenschaftliche Untersuchungen und Modelle können dabei wertvolle Beiträge leisten. Es ist dabei wichtig, dass die Möglichkeiten und Grenzen dieser Grundlagen möglichst transparent sind und dass der Umgang mit solchen Grundlagen zusammen mit Erfahrungswissen der

Praxis möglichst gut kombiniert wird. Dies setzt eine enge und konstruktive Zusammenarbeit zwischen Forschung und Schutzwaldpraxis voraus. Bereits heute können und müssen wir auf prioritären Flächen in eine möglichst gute Struktur und Baumartenvielfalt der Waldbestände investieren. Damit wird sichergestellt, dass die künftig verlangte Schutzleistung rechtzeitig bereitgestellt wird. Wenn der Anteil der vorrangigen Flächen in Zukunft gleich hoch, optimaler Weise geringer als heute ausfällt, dann muss auch in Zukunft die Finanzierung dieser präventiven Maßnahmen mit Unterstützung der öffentlichen Hand leistbar sein. Wesentlich wird auch sein, dass angepasste Rahmenbedingungen für die notwendige Waldverjüngung bestehen. Wildmanagementziele und Schutzwaldziele dürfen sich nicht entgegenstehen.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dr. Peter Bebi
WSL Institut für Schnee und Lawinenforschung
Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos
bebi@slf.ch

DI Manfred Kreiner
Gruppe Forst Tirol
Bürgerstraße 36, A-6020 Innsbruck
manfred.kreiner@tirol.gv.at

DI Josef Fuchs
Gruppe Forst Tirol
Bürgerstraße 36, A-6020 Innsbruck
josef.fuchs@tirol.gv.at

Literatur / References:

BEBI P., BUGMANN H., LÜSCHER P., LANGE B., BRANG P. (2016). Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren. In: Pluess AR., Augustin, S., Brang, P. (Hrsg.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, 269-286

BEBI P., TEICH M., SCHWAAB J., KRUMM F., WALZ A., GRET-REGAMEY A. (2012). Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht. Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern und der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 86 S.

DREVER CR., PETERSON G., MESSIER C., BERGERON Y., FLANNIGAN M. (2006). Can forest management based on natural disturbances maintain ecological resilience. Can. J. For. Res. 36: 2285–2299.

HOTTER M., SIMON A., VACIK H. et al. (2015). Waldtypisierung Tirol. Amt der Tiroler Landesregierung

LOSEY S., WEHRLI A. (2013). Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. p. 29 und Anhänge. Bundesamt für Umwelt, Bern.

MOTTA R., MORALES M., NOLA P. (2006). Human land-use, forest dynamics and tree growth at the treeline in the Western Italian Alps. Ann. For. Sci. 63, 739–747.

OBLASSER C. (2017). Tiroler Tageszeitung; Printausgabe vom 3.1.2017; „Zukunft von Lienz ist heiß und trocken“

OTT E., FREHNER M., FREY HU., LÜSCHER P. (1997). Gebirgsnadelwälder. Praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 287 S.

PERZL F., KAMMERLANDER J. (2010). Schneehöhe und Lawinengefahr einst und im Jahre Schnee. BFW Praxisinformation 23, 8–10.

PERZL F., HUBER A. (2014); Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung, Synthese und Zusammenfassung; Projektbericht im Auftrag des BMLFUW

PEZZATTI, GB., DE ANGELIS, A., CONEDERA, M. (2016). Potenzielle Entwicklung der Waldbrandgefahr im Klimawandel. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Hrsg.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Bern, Stuttgart, Wien. 223–245.

REMUND J., VON ARX G., GALLIEN L., REBETEZ M., HUBER B., ZIMMERMANN NE. (2016). Klimawandel in der Schweiz –Entwicklung walddrelevanter Klimagrößen. In: Pluess AR., Augustin S., Brang P. (Hrsg.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 23–37.

RH (2015) Bericht des Rechnungshof, Österreich, Schutz- und Bannwälder in Salzburg, Tirol und Vorarlberg; Bund 2015/17, S 303

RIGLING A., ELKIN C., DOBBERTIN M., EILMANN B., GIUGGIOLA A., WOHLGEMUTH T., BUGMANN H. (2012). Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp. Schweiz. Z. Forstwes. 163, 481–492.

SCHMUCKI E., MARTY C., FIERZ C., WEINGARTNER R., LEHNING M. (2017). Impact of climate change in Switzerland on socioeconomic relevant snow indices. Theor. Appl. Climatol. 127: 875. doi:10.1007/s00704-015-1676-7

TEICH M., MARTY C., GOLLUT C., GRET-REGAMEY A., BEBI P. (2012). Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. Cold Reg. Sci. Technol. 83–84, 77–88.

USBECK, T., WOHLGEMUTH T., DOBBERTIN M., PFISTER C., BURGI A., REBETEZ M. (2010). Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. Agric. For. Meteorol. 150: 47–55

ARNI JONSSON, CHRISTIAN JAEDICKE

Avalanches in Longyearbyen Svalbard 2015 and 2017

Lawinen in Longyearbyen Svalbard 2015 und 2017

Abstract:

Longyearbyen, the administrative centre of the Svalbard archipelago, is facing most types of natural hazards under a changing Arctic climate. The first indication in meteorological data of a change in climate was a heavy rainfall midwinter 1995/96, years before global warming of the Arctic was documented.

The worst-case scenario in Longyearbyen will be a change towards present day Norwegian Coastal climate with corresponding large and more frequent geological processes. In December 2015 and in February 2017 avalanches hit buildings at the Lia residential area.

There were two fatalities in the 2015 incident and caused extensive structural damages in 2015 and 2017 incidents.

Keywords: Avalanches, Longyearbyen, Svalbard, Buildings, Fatalities

Zusammenfassung:

Longyearbyen, der Verwaltungssitz des Svalbard Archipels, ist den meisten Naturgefahren ausgesetzt, die im Zuge des sich ändernden arktischen Klimas auftreten können. Lange bevor die globale Erwärmung in der Arktis nachgewiesen werden konnte gab es schon die ersten meteorologischen Anzeichen des sich ändernden Klimas in Form von Starkniederschlägen im Winter 1995/1996.

Das Worst-Case-Szenario für Longyearbyen wäre eine Entwicklung des Klimas hin zu einem norwegischen Küstenklima mit großflächigen und immer häufiger auftretenden geologischen Prozessen.

Im Dezember 2015 und Februar 2017 waren Gebäude im Siedlungsgebiet Lia von Lawinen betroffen. Der Lawinenabgang 2015 forderte zwei Todesfälle und durch die Ereignisse beider Jahre entstanden beträchtliche Sachschäden.

Stichwörter: Lawinen, Longyearbyen, Svalbard, Gebäude, Todesfall

Introduction

Longyearbyen is located at 78° north and is an isolated town with approximately 2000 inhabitants during winter. The town was established in 1906 in a side valley of the wide Advent Valley in the centre of Spitsbergen. The site was chosen due to its close location to the coalmine that gave birth to the settlement. Buildings and houses have been moved in the valley from the location of one coalmine to another, but since the 1970's almost all new buildings were established close to the mouth of the valley. The available space for buildings and houses has always been limited to a small strip of land between the river and the mountains on both sides of the valley. The town is surrounded by steep mountain sides reaching up to almost flat plateau mountains. These plateaus give an almost endless fetch for drifting snow (Vogel et al., 2012).

This article is based on reports and articles written by NGI colleagues in the last year or so after the avalanche in 2015. Less information is available for the avalanche in February 2017 at the moment.

Climate

Longyearbyen is located in an arctic desert climate. The observed annual precipitation at the airport is less than 200 mm in the period 1976–2016. The climate on Svalbard has changed significantly in recent years. The annual mean temperature has increased by 3 °C since 1990. Especially the winter temperatures have increased with 2–3 °C per decade. This leads to more frequent warm spells with rain in the winter. In addition, the amount of precipitation has increased by 20–30 % in Longyearbyen since 1990 (Vikhamar-Schuler et al., 2016). There is generally little snow on the ground. The maximum snow height at the airport

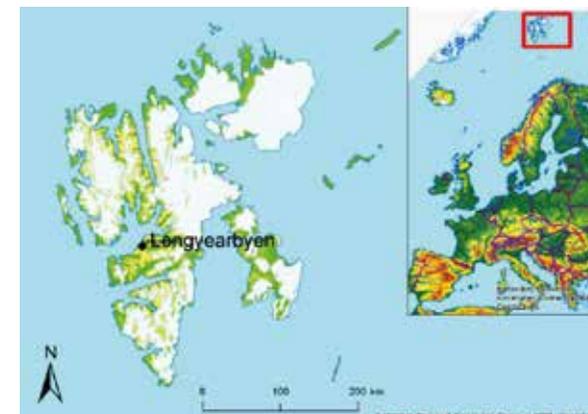


Fig. 1. Location of Longyearbyen in the Arctic.

Abb. 1: Lage von Longyearbyen in der Arktis

was 56 cm in 1986-04-26 (snow height data is missing 1995–2008). Due to the lack of vegetation, wind speeds are high and drifting snow is usually apparent (Jaedicke and Sandvik, 2002).

The avalanche accident on December 19th 2015

Weather

Starting on 17th December 2015 an intensive low pressure formed by two separate low pressures joining paths in the Norwegian Sea. The centre of the system increased in intensity while it moved towards the Svalbard archipelago. The low-pressure system was followed closely by the meteorologists and on the 17th December at 11:45 a first weather awareness warning was issued for the Svalbard Islands. The warning was "Spitsbergen: On Friday evening storm from east, night to Saturday possibly hurricane force. Locally gusts up to 40–45 m/s. Saturday morning decreasing wind, first in southern parts." The highest wind speeds were measured during the night from the 18th to 19th December. The lowest pressure of 966 hPa was measured on 19th December at 06:00.

The storm prior to the fatal avalanche

started on 17th December 2015 around 12:00 and ended in the morning of the 19th December, approximately three hours prior to the avalanche. Dominating wind direction was from east and wind velocities up to 25 m/s and gusts up to 30 m/s were measured at the airport. The mean temperature during the storm was -5.8 °C, with a maximum of -0.6 °C and minimum of -15.3 °C before the storm started. The temperature increased from -12 °C to -2 °C within 24 hours. The wind velocities at the mountain station Gruevfjellet were in the same range as at the airport. The valley station Adventdalen southeast of the town recorded the highest wind velocities with 26 m/s and with gusts up to 33 m/s.

The unofficial observed storm precipitation was approximately 30 mm, while the official record shows 18 mm in the morning on the 19th. Reliable snow precipitation measurements in these wind speeds are almost impossible. The meteorological forecast model HIRLAM 12 predicted a total of 45 mm for Friday 18th and Saturday 19th (Meteorological Institute, 2016).



Fig. 2.
The avalanche site during the rescue operation. Photo: Svalbardposten.no.

Abb. 2:
Lawinengebiet während des Rettungseinsatzes.

Avalanche

The avalanche was released approximately at 10:24 in the morning of December 19th 2015. It was a dry-snow avalanche with a drop height of about 90 m and a run-out angle of only 16° released from the northern shoulder of Sukkertoppen above the outskirts of Longyearbyen. The fracture height exceeded 3 m at some points and was close to 2 m on average, giving a estimated release volume of 15,000 m³ and a fracture depth (normal to the terrain) of approx. 1.5 m. This was due to drifting snow under persistent strong southeasterly winds. The avalanche width was approx. 200 m and the maximum horizontal run-out approx. 300 m.

The avalanche hit eleven of the landmark "spisshus" (pointed-gable houses) from the 1970s and stopped against a few larger two-story houses to the southwest without damaging them. The four spisshus in the uppermost row were displaced by up to 80 m. In total, 19 persons were inside the houses during the event. Eight of them had to be hospitalized, an adult and a toddler died. Inhabit-

ants of similarly exposed houses in Longyearbyen were subsequently evacuated. All eleven houses had to be dismantled afterwards.

The avalanche has been back-calculated with a dynamical model RAMMS::AVALANCHE v.1.6.20 to estimate the spatial pressure distribution. There are uncertainties about the snow avalanche density, the thickness and velocity. The first estimation of the velocity is that it might have been between 10 and 15 m/s when it hit the first row of houses and the density might have been between 100 and 200 kg/m³. The peak pressure would then have been 15–45 kPa (against wide solid walls).

Due to permafrost, most buildings in Svalbard are built on posts and horizontal wooden beams (the foundation). The "spisshus" are built of rigid segments and connected to the foundation with thin metal stripes. When the avalanche hit the buildings, it was relatively easy task for the

avalanche to rip apart the metal stripes and displace the buildings.

The buildings suffered various degree of damage during the displacement. Table 1 gives an indication on the displacement, rotation and fatalities. It also gives "serviceability" of the building i.e. how well a building serves as a shelter for the residents when it is hit by rapid mass flows/movements (e.g. snow avalanches, slushflow, debrisflow, rockfall etc.). Our evaluation on "serviceability" is based on field a report which is short and incomplete. "Serviceability" is graded into five grades S1 to S5 or percentile where low percentile denotes "bad serviceability".

It is important to note that the victims were in the appendix/shelter between the rigid buildings when the avalanche hit. The shelters were much weaker construction than the main buildings. That might explain the why there were fatalities.

Bld. #	Location [line of houses]	Displacement [m]	Rotation Cw [°]	Fatalities	Serviceability [S/%]
Bld. no 36	1st	36	-6.1	1	2 nd S1/90, 1 st S2/80
Bld. no 34	1st	45	7.3	1	2 nd S3/40, 1 st S4/10
Bld. no 32	1st	54	-33.1	0	2 nd S1/90, 1 st S2/60
Bld. no 30	1st	82	-2.5	0	2 nd S1/100, 1 st S1/100
Bld. no 28	2nd	6	-5.7	0	2 nd S1/90, 1 st S2/60
Bld. no 26	2nd	13	7.1	0	2 nd S1/90, 1 st S2/60
Bld. no 24	2nd	15	-16.3	0	2 nd S2/70, 1 st S3/40
Bld. no 22	2nd	31	-7.7	0	2 nd S1/100, 1 st S2/80
Bld. no 20	2nd	55	NA	0	2 nd S1/100, 1 st S2/90
Bld. no 18	2nd	40	39.4	0	2 nd S1/100, 1 st S2/70
Bld. no 16	2nd	5	6.9	0	2 nd S1/100, 1 st S2/70

Here: 1st : first floor and 2nd : second floor. NA: not available.

Tab. 1. Overview over displacement, rotation and serviceability.

Tab. 1: Überblick über die Gebäudeschäden durch das Lawineneignis 2015.

The avalanche accident on February 21st 2017

Weather

The period from February 5th to February 12th had warm weather and approx. 28 mm rain. On Feb. 12th the temperature fell and the precipitation was slush and snow. The period Feb. 13th to Feb. 20th was cold with temperature at lowest at approx. -21 °C. Between Feb. 19th and Feb. 20th there was a light snow fall but in the afternoon on the Feb. 20th the wind increased. The weather forecast for Longyearbyen for Tuesday Feb. 21st indicated strong easterly winds with some snow showers.

Avalanche

It is assumed that the initial release of the avalanche on the right in Figure 3 was at the top and

the secondary release was in this rather shallow depression to the left (red area). The time of release of the avalanche to the left (release area from 2015) is not known. An avalanche release from the top of Sukkertoppen (e: Sugartop) (approx. 370 m above sea level) has been noted earlier by local observers but the avalanches stopped on a small shelf high up in the mountainside. Also in the lower elevations in the mountainside several smaller avalanches have been registered. Apparently, the avalanche in February 2017 was the first to reach all the way from top to bottom in this slope after the area was inhabited. However, some reports have indicated that a release from the mountaintop is possible.

There were no fatalities when the avalanche hit the buildings. It destroyed one building with three apartments but other buildings were almost intact (Figure 4).

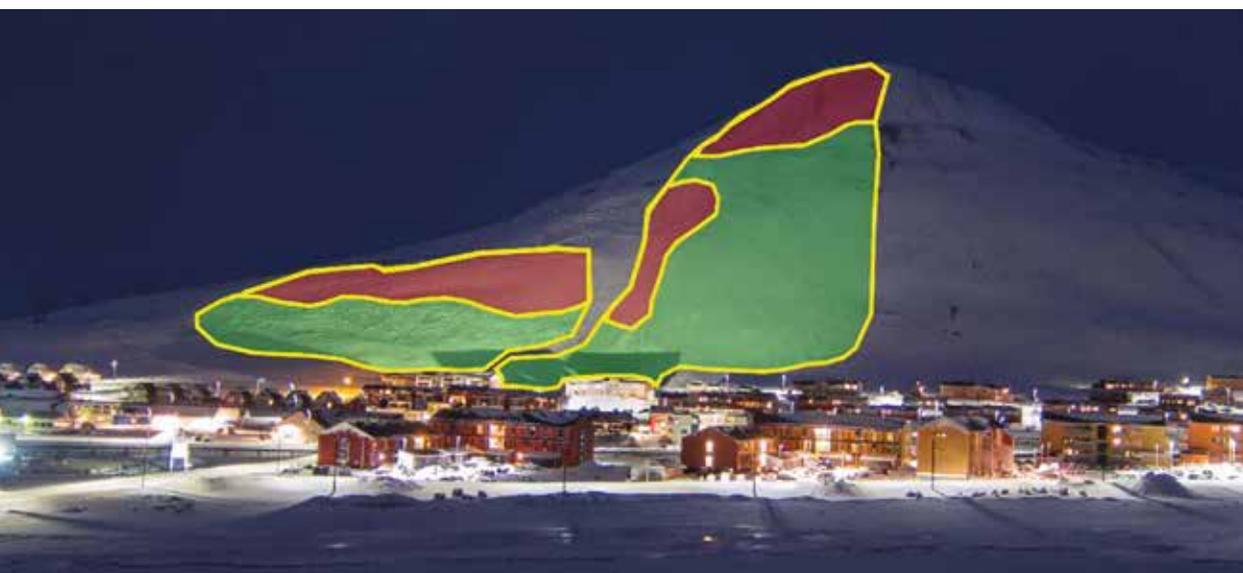


Fig. 3: Avalanches registered on Feb. 21st 2017. The red areas are estimated to be the release areas and the green is registered path and run-out zone. The area on the left is almost the same area as avalanched in Dec. 2015. Photo taken Feb. 22nd 2017 by Arnt Rennan at the Governor's office (adapted from (NVE, 2017)).

Abb. 3: Dokumentiertes Lawinereignis vom 21. Februar 2017. Die roten Flächen stellen die angenommenen Anbruchgebiete dar, die grünen Flächen den Lawinenpfad und die Auslaufzonen. Die linke Fläche ist fast identisch zu der aus dem Jahr 2015.

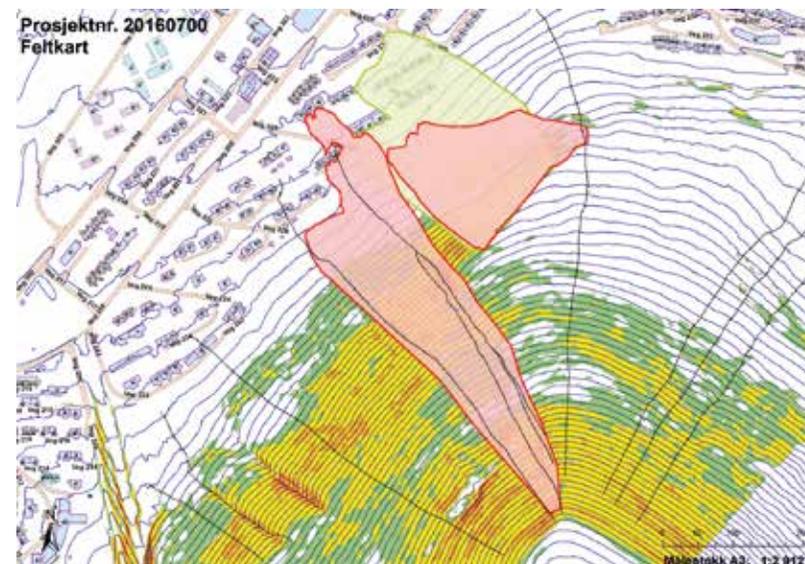


Fig. 4: Overview over the avalanches from Feb. 2017 (in red) and Dec. 2015 (light green). Black lines indicate fall-line (shortest line). Slope map: green indicates 27°–30°, yellow to red is steeper. Contour line equidistance is 5 m. Adapted from (NVE, 2017).

Abb. 4: Übersicht beider Ereignisse. 2017 in rot und 2015 in hellgrün. Die schwarzen Linien stellen die Falllinie dar. Hangneigungskarte: grün: 27° - 30°, gelb bis rot steiler. Höhenschichtenlinien im 5m-Abstand.

Epilog

Shortly after the avalanche in 2015, the authorities initiated a new hazard mapping work for several regions in Svalbard. The work was finalized in the fall 2016 and the hazard map was presented with three hazard zones i.e. annual nominal frequency 1/5000, 1/1000 and 1/100. The avalanche from Feb. 2017 reached the 1/5000 zone and the avalanche from Dec. 2015 is indicated to have return period between 500 and 1000 years. This information raises some questions about the validity of these maps.

The authorities have also initiated a mitigation work. The first phase is the avalanche site from Dec. 2015. Due to lack of apartments/houses for the inhabitants, the authorities want to reclaim the site, which was deemed hazardous after the avalanche. NGI has been awarded the contract to plan and design mitigation measures for the site.

Author's address / Anschrift des Verfassers:

Civ. Eng. Arni Jonsson
Norwegian Geotechnical Institute
Sognsveien 72, NO-0806 Oslo.
arni.jonsson@ngi.no

References / Literatur:

- HESTNES, E., BAKKEHØI, S. AND JAEDICKE, C. (2016). Longyearbyen, Svalbard – vulnerability and risk management of an Arctic settlement under changing climate – a challenge to authorities and experts. In Proc. of the International Snow ScienceWorkshop 2016, Breckenridge.
- ISSLER D., JONSSON, A., GAUER, P. AND DOMAAS, U. (2016). Vulnerability of houses and persons under avalanche impact – The avalanche at Longyearbyen on 2015-012-19. In Proc. of the Intl. Snow ScienceWorkshop 2016, Breckenridge.
- JAEDICKE, C., HESTNES, E., BAKKEHØI, S., MØRK, T., and BRATTLIEN, K. (2016). Forecasting the fatal Longyearbyen avalanche: Possibilities and challenges. In Proc. of the Intl. Snow ScienceWorkshop 2016, Breckenridge.
- JAEDICKE, C., SANDVIK, A.D., (2002). High resolution snow distribution data from complex arctic terrain - A tool for model validation. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2, 147–155.
- METEOROLOGICAL INSTITUTE, (2016). Report after the prechristmas storm Svalbard, met.no info.
- NVE (2017) Gjennomgang og evaluering av skredhendelsen i Longyearbyen 21.02.2017. NVE Rapport nr 31-2017. Oslo
- VIKHAMAR-SCHULER, D., FØRLAND, E.J., HISDAL, H., (2016). Short overview over climate change and consequences on Svalbard, NCCS report.
- Vogel, S., Eckerstorfer, M., Christiansen, H.H., (2012). Cornice dynamics and meteorological control at Gruvfjellet, Central Svalbard. Cryosph. 6, 157–171.

HUBERT AGERER, ANDREAS DREXEL, CHRISTIAN IHRENBERGER, THOMAS MICHL

Adaptierung von Stahlschneebrücken in Tirol – Versuch einer Anpassung an den Stand der Technik

Adaption of snowbridges made of steel in Tyrol – an attempt to adjust to the state of the art

Zusammenfassung:

Unter Beibehaltung der seit Jahrzehnten bestehenden und bis dato nicht nur in Tirol erfolgreich eingesetzten Konzeption der untereinander kompatiblen Stahlschneebrückenbauteile erfolgt deren statische und konstruktive Anpassung an die neuen Richtlinien und Normen. Neben der Darstellung der Einwirkungen sowie der sich daraus ergebenden Dimensionierungsgrundlagen werden die entsprechenden Änderungen beschrieben. Die geänderten Absteckungskriterien führen weiters zu Konsequenzen für den Einsatz der Stahlschneebrücken, insbesondere im Hinblick auf die Gleitfaktoren.

Stichwörter: Lawinen, Lawinenverbauung, Anbruchverbauung, Stahlschneebrücken, Dimensionierung

Abstract:

Snow supporting structures in the starting area are in use for decades. These systems must be adapted to the actual engineer standards. Beside the description of the forces influencing snow bridges and the dimensioning, the appropriate modifications will be shown in this article. The change in the distance between rows of structures in the line of slope due to new standards in combination with the glide factor will also be discussed.

Keywords: *Avalanche, avalanche control, snow supporting structures, snow bridges made of steel, design*

Einleitung

In Tirol wurden erstmals in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts Stahlschneebrücken zur Sicherung des Siedlungsraumes bzw. von Straßenverbindungen vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung errichtet. Während in weiterer Folge für die Verbauungen vor allem Werkstypen zum Einsatz kamen, die in Zusammenarbeit mit der damaligen VOEST-Alpine Zeltweg konstruiert wurden und deren Dimensionierung die Schweizer Richtlinien für den „Lawinenverbau im Anbruchgebiet“ zugrunde lagen, wurden in den 70er Jahren im Dienstzweig Werkstypen entwickelt, die untereinander als kompatibles Baukastensystem kleinstflächig kombiniert werden konnten. Diese gelangen im Oberbau bis dato mit geringfügigen Adaptierungen nach wie vor zum Einsatz und davon wurden nicht nur in der Sektion Tirol, sondern auch in den benachbarten Bundesländern Salzburg und Kärnten insgesamt mehrere 100 Kilometer errichtet. Lediglich im Bereich der Fundierung erfolgte ungefähr um die Jahrtausendwende eine Abkehr vom seinerzeitigen Parallelstabanker hin zum Mikropfahlbock in verschiedensten Ausführungsvariationen. Nachdem es in Österreich bis vor kurzem keine eigenen Richtlinien für die Lawinenverbauung gab, erfolgte die Dimensionierung wie auch die Bauausführung im Wesentlichen immer entsprechend jener der Schweiz.

Durch die Herausgabe der ÖNORM-Regeln 24805, 24806 und 24807, die in enger Zusammenarbeit mit Experten des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung erstellt wurden, durch die neuen Stahlbaunormen sowie auch durch die jahrzehntealten, in sich nicht mehr harmonisierenden, zum Teil sogar widersprechenden Unterlagen und Zeichnungen

ergab sich die Notwendigkeit einer Adaptierung der Werkstypen sowie der Plan- und Ausführungsunterlagen.

Ziel in der Praxisempfehlung Tirol (Agerer et al, 2017) genannten Abhandlung, deren Inhalt in diesem Beitrag verkürzt wiedergegeben werden soll, ist die Verdichtung der Inhalte der den Lawinenschutz behandelnden ONR sowie der sonstigen bezüglichen Regelwerke ohne bloßes Anführen von Überschriften oder Kapitelnummern und nicht inhaltlichen Verweisen auf die jeweiligen Quellen und die Zusammenführung des seit Jahrzehnten im Dienstzweig in der Lawinenverbauung erworbenen Wissens für die im permanenten technischen Lawinenschutz tätigen Praktiker, sprich Projektanten und Projektantinnen, Lokalbau- und Partieführer. Die erforderlichen Unterlagen für die Ausschreibung der Stahlschneebrücken und Zwischenbalkengarnituren (Bauteilzeichnungen, Stücklisten) sowie für die Projektierung (Typenzeichnungen) sollen aktualisiert und für den täglichen Gebrauch wichtige Informationen (Stützenlängen- und -dimensionen, Stützenplattengrößen, Gewichte, Pfahllängen und Belastungen, etc.) in einem Übersichtsblatt zusammengefasst werden.

Bezeichnungen, Materialqualitäten, Festigkeiten und Kennwerte

In der o.a. Praxisempfehlung erfolgt neben normgerechten Konstruktionszeichnungen eine klare und durchgängige Bezeichnung der einzelnen Bauteile sowie deren Abkürzungen und Materialqualitäten. Hier soll nur darauf verwiesen werden, dass die Kombination von Schneemächtigkeit (Dk) und Gleitfaktor (N) in der Folge mit „System“ bezeichnet wird, bspw. System 1: SSBr 3,0-1,8; System 2: SSBr 3,0-2,4; System 10: SSBr 5,0-2,4.

Konstruktive Grundgedanken und Gestaltung

Die vorgeschlagenen Adaptierungen der Stahlschneebrücken (Werke) und Zwischenbalkengarnituren (Zwischenwerke) erfolgen unter Beibehaltung des seit mehr als 40 Jahren im Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung bewährten Baukastensystems. Die Balken- sowie Zwischenbalkengeometrien, Lochbilder (Träger, Balken), Schrauben- und Bolzendurchmesser sowie Laschenabstände und -stärken bleiben im Wesentlichen gleich. Dies gewährleistet auch, dass in der Zukunft allenfalls erforderliche Instandsetzungen bzw. Ergänzungen bestehender Anbruchverbauungen mit kompatiblen Bauteilen bzw. Werkstypen erfolgen können.

Neben kürzeren Trägern ergeben sich zum Teil Änderungen in Geometrie, Festigkeit bzw. Stahlqualität einzelner Bauteile und Fertigprodukte. Bei der Konzipierung bzw. Dimensionierung der einzelnen bodennahen Bauteile wurde der Abrostungszuschlag berücksichtigt, sodass hin künftig kein Verzinken mehr erforderlich ist. Davon ausgenommen sind die feuerverzinkten Schrauben. Bei den bodennahen Balken und Zwischenbalken erfolgt kein Abrostungszuschlag, da diese im Bedarfsfall relativ leicht ausgetauscht werden können.

Die wesentlichen Adaptierungen betreffen die:

- Anpassung der Trägerlängen an den Mikropfahlbock bzw. die Lage des Verbindungsbolzens im Schnittpunkt Träger – Geländeoberfläche; dies auch unter Berücksichtigung der Vorgabe der ONR 24806:2011 (Pkt. 7.2.4.2), wonach der Freiraumabstand zwischen Geländeoberfläche und unterstem Balken nicht größer als 250 mm gewählt werden darf.
- Auflassung der Doppelträger sowie -stüt-

zen und damit auch der Doppelbalken und -stützenplatten; statt dessen kommen zum einen stärkere Träger und Stützen zur Ausführung, zum anderen sollen anstelle der aus statischen Gründen beim System 8 (SSBr 4,5-2,4) bzw. 10 (SSBr 5,0-2,4) rechnerisch erforderlichen B12 zwei B08 übereinander gelegt werden.

- Aufgrund der Auflassung der Doppelträger bzw. -stützen und der neuen Dimensionierung der zehn Systeme auf Basis der neuen Richtlinien und Normen sind je nach System und Länge HEA-Profile der Dimension 120 bis 260 erforderlich. Durch die zum Teil stärkeren IPE-Profile (Träger) ergeben sich für die Laschen im Bereich des Stützenanschlusses an den Träger größere Knicklängen, was höhere Blechstärken bedingt.
- Durch die stärkeren Profile bzw. die größeren Flanschabstände der Stützenplatten ergeben sich auch für die Anschlüsse Stütze – Träger sowie Stützenplatte – Stütze mit 280 bzw. 340 mm höhere Bolzenlängen. Durch die höheren Belastungen zum einen und die größeren Längen zum anderen soll die Stahlqualität der Bolzen durchgängig von bisher S235J2 auf S355J2 erhöht werden. Damit kann mit Ausnahme des Stützenanschlusses an den Träger beim System 10, wo Bolzen der Festigkeit 6.8 verwendet werden müssen, das Auslangen gefunden werden.
- Die bisherigen Balken- und Zwischenbalkendimensionen werden beibehalten. Im Zuge von räumlichen Berechnungen der unterschiedlichen Systeme konnten nunmehr auch die Seitenkräfte,

die bisher nicht berücksichtigt wurden, erfasst und bei der Dimensionierung der Schrauben angesetzt werden. Je nach System und Lage der Balken sind pro Befestigungspunkt zwei bzw. vier Schrauben SM 16x45 der Festigkeitsklasse 4.6 erforderlich.

- Die drei untersten Zwischenbalken sollen bei den Systemen 8 und 10 mit der Stärke ZB10 verlegt werden.
- Im Bereich des Anschlusses der Zwischenbalken an die Balken kommt es beim Übergang der drei untersten Balken auf den vierten von unten aufgrund der „Doppellage“ zu einem „Höhensprung“, der dadurch überwunden werden soll, dass für die drei untersten Balken eigene Klemmschienen (KS 1,5) mit längeren Schrauben und für die restlichen für das System 8 die Klemmschienen KS 3,0 für die Systeme 1 und 2, sowie für das System 10 die Klemmschienen KS 3,5 für die Systeme 3 und 4, jeweils mit den herkömmlichen Schraubenlängen, verwendet werden können.
- Vergrößerung sowie Erweiterung der Stützenfundierung; zum einen soll der derzeit bestehende SP 635 auf SP 650 und der SP 800 auf SP 850 vergrößert werden und wird zusätzlich eine neue Stützenplatte SP 1 200 mit den Abmessungen 1,20 x 0,85 m vorgeschlagen. Für den Fall, dass aufgrund der Bodenbeschaffenheit bzw. der großen Stützenkräfte mit den vorhandenen Stützenplatten nicht das Auslangen gefunden werden kann, wird empfohlen, auf eine Mikropfahlbockfundierung (MPB-R) umzusteigen.

- Während der Mikropfahlbock (MPB) als solcher beibehalten werden soll, sollen seine Einzelkomponenten, d.h. der Druckpfahlkopf (DPK) sowie der Zugpfahlkopf (ZPK) im Wesentlichen den statischen Erfordernissen entsprechend adaptiert werden. In diesem Zusammenhang wurden unter Vertauschung der jeweiligen Art der Kraftein- und -ableitung zwei Varianten auskonstruiert bzw. statisch dimensioniert.

Bemessung

Vorbemerkungen

Je nach Lage der Stahlschneebrücke in einer Werksreihe ergeben sich die aus der nachstehenden Abb. 1 die ersichtlichen Belastungsfälle 1 bis 4.

Der Belastungsfall 1 steht für eine einzelne Stahlschneebrücke oder für eine Schneebrücke in einer Werksreihe, die in der Niveaulinie von der nächsten mehr als 2 m entfernt ist. Die erhöhten Randkräfte ($S'R_a$) wirken an beiden freien Werkkrändern (Werkendfeld).

Der Belastungsfall 2 tritt ein, wenn einem Werk am freien Verbauungsrand nach einem Zwischenraum von 2 m das nächste Werk folgt und wirkt hier am freien Rand wiederum die erhöhte Randkraft ($S'R_a$); am Innenrand zum nächsten Werk hin ist die Randkraft ($S'R_i$) geringer.

Steht eine Stahlschneebrücke allein in einer Werksreihe und sind die Nachbarwerke nur 2 m entfernt, so liegt der Belastungsfall 3 vor. Als seitliche Randkraft ist beidseitig $S'R_i$ zu berücksichtigen.

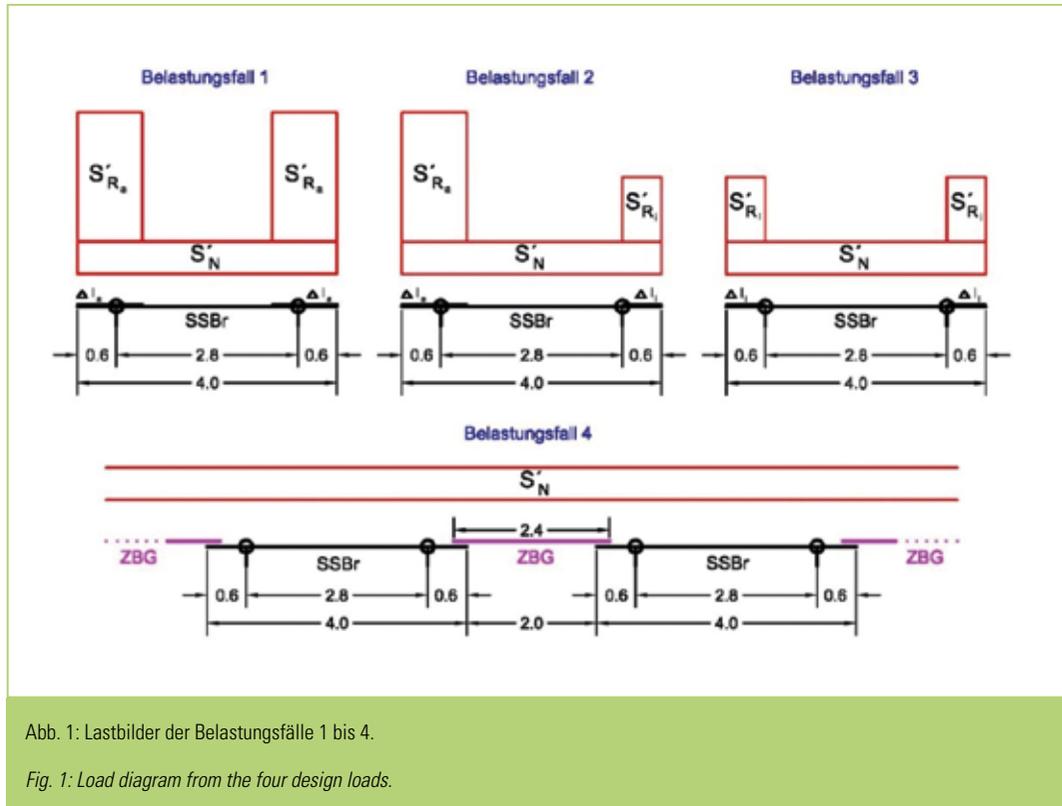


Abb. 1: Lastbilder der Belastungsfälle 1 bis 4.

Fig. 1: Load diagram from the four design loads.

Der Belastungsfall 4 schließlich betrachtet ein Werk in einer geschlossenen Werksreihe, d.h. es schließt unmittelbar beidseitig an eine Stahlschneebrücke jeweils eine Zwischenbalkengarnitur an. Es wirken hier keine Randkräfte und ergeben sich unter Berücksichtigung der Einwirkungsanteile der Zwischenwerke für den Gleitfaktor $N = 1,8$ ab einer Hangneigung ψ von ca. 35° in Summe für die Schneebrücke die geringsten Einwirkungen aller vier Belastungsfälle. Unterhalb der vorerwähnten Hangneigung liegt für $N = 1,8$ der resultierende Schneedruck des Belastungsfalles 4 um ca. 3 % bis 4 % über jenem des Belastungsfalles 3. Beim Gleitfaktor $N = 2,4$ ergibt sich für alle Neigungen, dass der resultierende Schneedruck des Belastungsfalles 3 höher als jener von 4 ist.

Der Dimensionierung der Stahlschneebrücken und Zwischenbalkengarnituren im Rahmen der Praxisempfehlung (Agerer et al, 2017) wird der Belastungsfall 3 als maßgebend zugrunde gelegt. Dies vor allem auch deshalb, da die dieser Belastung entsprechende Anordnung der Stahlschneebrücken und Zwischenbalkengarnituren in der Praxis am häufigsten vorkommt. Die Ausführungen im vorigen Absatz im Zusammenhang mit dem höheren resultierenden Schneedruck unter 35° Hangneigung beim Gleitfaktor $N = 1,8$ sind diesbezüglich insofern nicht relevant, als dass der Dimensionierung der einzelnen Systeme ja eine Hangneigung von 45° unterstellt wird (Abb. 2).

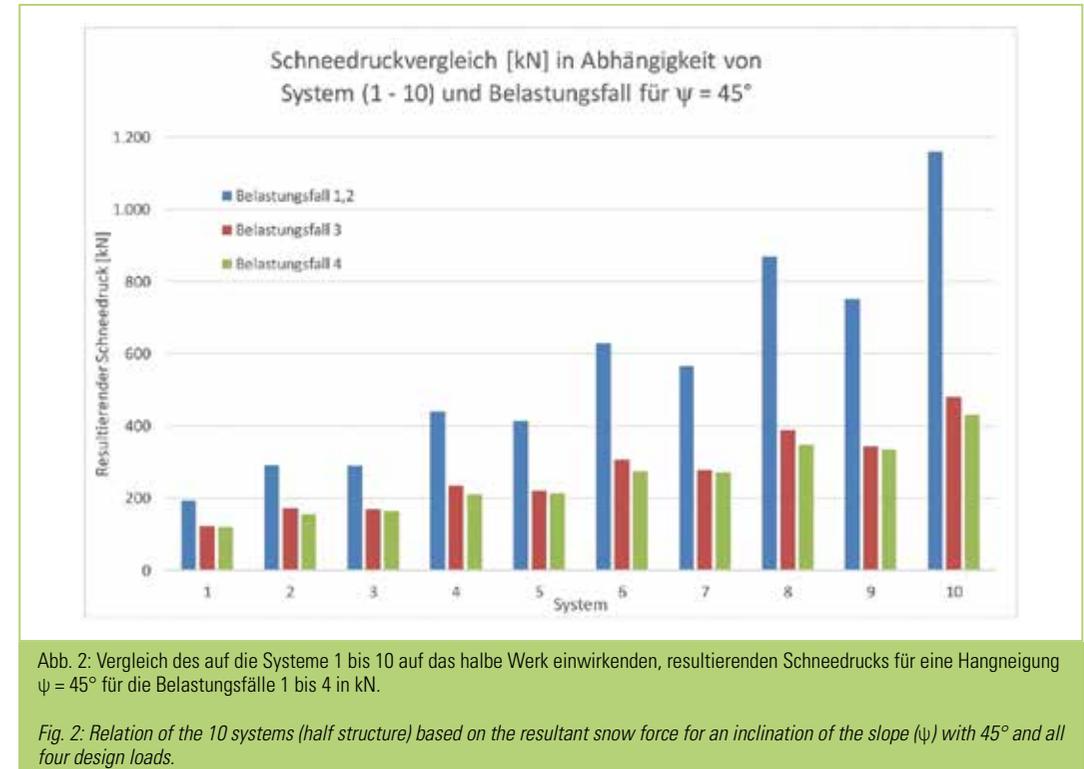


Abb. 2: Vergleich des auf die Systeme 1 bis 10 auf das halbe Werk einwirkenden, resultierenden Schneedrucks für eine Hangneigung $\psi = 45^\circ$ für die Belastungsfälle 1 bis 4 in kN.

Fig. 2: Relation of the 10 systems (half structure) based on the resultant snow force for an inclination of the slope (ψ) with 45° and all four design loads.

Korrosion

Im Gegensatz zu der in der ONR 24806:2011 nur bildlich (Abb. 9) dargestellten, nicht aber textlich beschriebenen Wiederverfüllung des Lockergesteinsausbaus für die Stützenfundierung, wird eine solche aus Gründen einer möglichen Korrosion der Stützen sowie und einer nicht durchführbaren Inspektion aufgrund der Wiederverfüllung, nicht empfohlen.

Generell wird bezugnehmend auf die ONR 24806:2011 (Pkt. 7.2.5.4) auf einen Korrosionsschutz verzichtet und in den notwendigen Bereichen nachfolgend angeführter Abrostungszuschlag für die betroffenen Bauteile angesetzt. Für die vorliegenden Umgebungsbedingungen wird die Korrosivitätsklasse C2 unterstellt bzw.

hinsichtlich des Untergrundes ein Boden nach Zeile 1 der ONR 24806:2011, Tabelle 15, angenommen. Die bodennahen Balken und Zwischenbalken werden als austauschbar eingestuft.

Unter Zugrundelegung einer Lebensdauer der Stahlschneebrücken und Zwischenbalkengarnituren in Analogie zu der Richtlinie „Kosten-Nutzen-Untersuchung“ des Dienstzweiges (BMLFUW, 2005) von 80 Jahren ergibt sich ein Abrostungszuschlag für diesen Zeitraum von 1,0 mm je Oberfläche.

Einwirkungen

Neben den nach Margreth (2007) ermittelten Schneelasten wird nur das Eigengewicht des Oberbaus des jeweiligen Stahlschneebrückensystems berücksichtigt.

Der als maßgeblich gewählte Belastungsfall 3 deckt eine Vielzahl an vorhandenen Einbausituationen ab. Er inkludiert auch den mit obigen Ausnahmen günstigeren Belastungsfall 4 und erfolgt die Wahl des Belastungsfalles 3 auch aus Sicherheitsgründen, da in der Praxis die Werksreihen nicht „unendlich“ lang sind, sondern diese vielfach derart unterbrochen werden, als dass einfach eine Zwischenbalkengarnitur ausgelassen wird.

Der Belastungsfall 2 kann bspw. durch die Errichtung einer zusätzlichen Werksreihe mit 10 m Länge (zwei Stahlschneebrücken und eine Zwischenbalkengarnitur) zum unverbauten Anbruchgebiet hin in halbem Falllinienabstand zwischen zwei Werksreihen oder durch seitliche Trennwände am freien Verbauungsrand vermieden werden. Der Belastungsfall 1 tritt im Allgemeinen eher selten auf und soll im Folgenden nicht berücksichtigt werden. Im Bedarfsfall sind entsprechende Berechnungen durchzuführen und Sonderkonstruktionen zu wählen.

Nachdem, wie weiter unten noch ausführlich dargelegt wird, auslastungsbedingt durch die geringeren Werksabstände lediglich bei $D_k = 3,0$ m Stahlschneebrücken und Zwischenbalkengarnituren mit einem Gleitfaktor von 2,4 erforderlich sind und bei allen anderen Schneemächtigkeiten mit dem Gleitfaktor 1,8 das Auslangen gefunden werden kann, können bei niedrigen Gleitfaktoren und $D_k > 3,0$ m beim Belastungsfall 3 die stärkeren Systeme mit dem Gleitfaktor 2,4 verwendet werden.

Die Belastung ist entsprechend Margreth (2007) in zwei alternativen Lastfällen (LF1 über die gesamte Höhe und LF 2 über eine auf 77 % reduzierte Höhe) anzusetzen. Die Resultierende (Summe der Einwirkung über die Höhe) ist beim LF 2 gleich wie beim LF 1 anzunehmen.

Es sind damit folgende Lastkomponenten zu berücksichtigen:

- SN hangparallele Schneedruckkomponente [kN/m]
- SQ hangsenkrechte Schneedruckkomponente [kN/m]
- G Gewicht des Schneep Prismas (lotrecht) [kN/m]
- SRi erhöhte Randkräfte (zusätzlich zu SN) [kN/m]

Nach Margreth (2007) werden durch das Anhängen der Schneedecke unterhalb eines Werkes die Stützen durch talwärts gerichtete Schneedruckkräfte belastet, deren Größe stark vom Einflussfaktor η abhängt, wobei starkes Schneegleiten diesen Einflussfaktor erhöht. Die Schneedruckkräfte werden als gleichmäßig verteilte Linienlast q_s auf die Stütze angesetzt. Die der Berechnungen unterstellte Einwirkungen sind der Abb. 3 zu entnehmen.

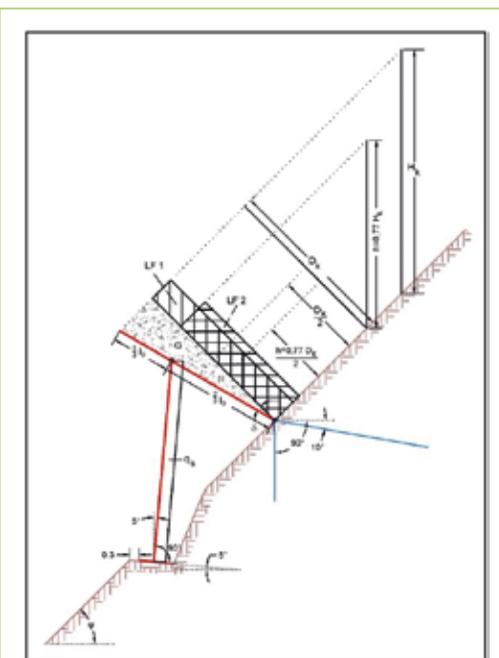


Abb. 3: Lastkomponenten auf eine Stahlschneebrücke.

Fig. 3: Loads on a snow bridge.

Für das „Regelwerk“ werden folgende Schneelasten (Abb. 3) für den Lastfall 1 für $N = 1,8$ und $N = 2,4$ für eine Seehöhe von einheitlich 2.000 m SH bei einer Hangneigung ψ von 45° angegeben, die schneeabhängige Verhältniszahl a wurde mit 0,50 angesetzt. Durch die gleichbleibend konstante Balkenaufteilung aller Systeme ergeben sich gegenüber den Berechnungen mit den unterstellten „theoretischen“ Schneemächtigkeiten mit jeweils 0,5 m Stufen geringfügige Abweichungen, die jedoch über die Teilsicherheitsbeiwerte abgedeckt sind.

Alle Lastangaben sind gleichverteilt angesetzt, aufsummierte Lastwerte über die jeweilige Schneemächtigkeit D_k . Die Einheit „pro Meter“ bezieht sich auf die Breite der Stahlschneebrücke, ausgenommen bei der Stütze, hier pro Laufmeter Stützenlänge.

System		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_k	[m]	3,0		3,5		4,0		4,5		5,0	
N	[-]	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4
S_N	[kN/m]	35,6	47,5	48,5	64,7	63,4	84,5	80,2	107	99	132
S_Q	[kN/m]	9,90		13,5		17,6		22,3		27,5	
G	[kN/m]	2,56		3,48		4,55		5,76		7,11	
S_{Ri}	[kN/m]	74,5	118	101	160	132	210	168	265	207	327
S_s	[kN]	3,56	4,75	4,85	6,47	6,34	8,45	8,02	10,7	9,9	13,2
q_s	[kN/m]	0,76	2,03	1,04	2,76	1,42	3,77	1,68	4,49	1,73	4,62

Tab. 1: Unterstellte Einwirkungen auf die Stahlschneebrücken der Systeme 1 bis 10 für eine Hangneigung $\psi = 45^\circ$.

Tab. 1: Forces influencing support structures (system 1 to 10) at the design inclination of the slope ($\psi = 45^\circ$).

In weiterer Folge soll zur Erzielung einer genügenden Seitensteifigkeit der Stahlschneebrücken im Gegensatz zu bisher eine in der Niveaulinie parallel und beidseitig wirkende Seitenkraft SS berücksichtigt werden. Der Angriffspunkt wird nach Margreth (2007) in halber Werkshöhe und die Last als gleichmäßig über die Höhe verteilt angenommen.

Hubkräfte infolge bergwärts gerichteter Windkräfte werden bei der Dimensionierung der Stahlschneebrücken nicht berücksichtigt und wären im Bedarfsfall diesbezügliche Berechnungen durchzuführen bzw. die Stützenfundierung bspw. mit einem Mikropfahlbock entsprechend anzupassen.

Ausführungsklasse

Gemäß ONR 24807:2010, Pkt. 3.6, „ist eine Bauwerksgruppe (Maßnahmengruppe) eine Zusammenfassung von bau- oder funktionsgleichen Standardbauwerken einer Gruppe, wobei die Bauwerke durch die gleichen Prozesse in annähernd gleicher Intensität beansprucht werden“.

Entsprechend Pkt. 5.2.2 der vorzitierten ONR „sind Standardbauwerke Bauwerke, deren Versagen nur mittlere oder geringe (lokale) Auswirkungen auf die Maßnahmengruppe bzw den Maßnahmenverband bzw auf die geschützten Bereiche hat“ und weiter „Bauwerke, die in die Schadensfolgeklassen CC1 und CC2 fallen, dürfen als Standardbauwerke betrachtet werden, wie z.B. Stahlschneebrücken [und Zwischenbalkengarnituren].“

Nachdem durch derartige Verbauungen Siedlungsräume und Verkehrsinfrastrukturen geschützt werden sollen, ergeben sich für diese Schutzmaßnahmen gesamtheitlich gesehen, d.h. für die Bauwerksgruppe (Maßnahmengruppe) die Schadensfolgeklassen CC2 (mittlere Folgen für Menschenleben) und CC3 (hohe Folgen für Menschenleben). In Analogie zur EN 1990:2013, Pkt. B.3.1 (3), wonach „je nach Tragwerksart und Bemessungsstrategie verschiedene Teile eines Tragwerks der gleichen, einer höheren oder niederen Schadensfolgeklassen zugewiesen werden kann, wie das Gesamttragwerk“, wird im Folgenden als Gesamttragwerk die Maßnahmengruppe und das einzelne Werk bzw. die Zwischenbalkengarnitur als Teile des Gesamten angesehen.

In diesem Zusammenhang wird auch auf die ÖNORM B 1990-2:2016, Pkt. B.2, verwiesen, der zufolge „Brücken (Straßenbrücken, Eisenbahnbrücken, Grünbrücken, Fußgängerbrücken, Radwegbrücken, Feldwegbrücken und Rohrbrücken) und ähnliche Kunstbauwerke grundsätzlich

der Schadensfolgekategorie CC2 zuzuordnen sind“, und dass „die Schadensfolgekategorien im Einzelfall vom Bauherrn festzulegen sind, wobei bei Abweichung von der Schadensfolgekategorie CC2 und bei Vorliegen besonderer Verhältnisse die Anwendung der Kriterien gemäß Tabelle B.1 empfohlen wird“. Nach dieser vorerwähnten Tabelle B.1 sind „Brücken mit maximal 10 m Stützweite für Fußgänger, Radfahrer, Feld- oder Forstwege“ der Schadensfolgekategorie CC1 zuzuordnen.

Unter Berücksichtigung obiger Darlegungen und der Tatsache, dass, wie die jahrzehntelange Erfahrung in der Verwendung der Anbruchverbauungen mittels Stahlschneebrücken – auch im Hinblick auf Schadereignisse (BMLFUW, 2013) – zeigt, das Versagen einer Stahlschneebrücke bzw. Zwischenbalkengarnitur keine oder nur geringe Auswirkungen auf die Maßnahmengruppe bzw. den -verband zur Folge hat, ergibt sich die Schadensfolgekategorie CC1. Diese und die für die Herstellung der Schweißkonstruktionen für die Stahlschneebrücken verwendeten Stahlqualitäten (S355J2) und -dimensionen (größtenteils $d \leq 12$ mm) bedingen iSd Bestimmungen der EN 1090-2:2012 mit Ausnahmen ($d \geq 14$ mm) die Ausführungskategorie EXC1.

Regelstatik

In der gegenständlichen Untersuchung werden die Schneebrücken ausschließlich in der Bemessungssituation BS1 mit der in Abb. 3 enthaltenen Einwirkung aus Schnee und Eigengewicht betrachtet. Die Schadensfolgekategorie gemäß ÖN EN 1990 wird für die Bemessungen mit CC1 angenommen, da nur ein Einzelwerk betrachtet wurde. Die geotechnische Kategorie (GK) wird nach ONR 24806:2011 für Anbruchverbauungen mit GK 1 angenommen.

Die maßgeblichen Schnittgrößen erge-

Lastfall	Einwirkung / LK	Beschreibung / Kombination
1	Eigengewicht g_1	
11	Schnee	Lastfall 1 nach Richtlinie
12	Schnee	Lastfall 2 nach Richtlinie
20	Schnee	Schneedruck auf Stütze
1001	LK Theorie I. Ordnung	mit Schnee – LF 1
1002	LK Theorie I. Ordnung	mit Schnee – LF 2
2001	LK Theorie II. Ordnung	mit Schnee – LF 1
2002	LK Theorie II. Ordnung	mit Schnee – LF 2

Tab. 2: Übersicht über die Lastfälle und Lastfallkombinationen in der EDV-Berechnung

Tab. 2: Overview of the design loads and the load combinations for the calculation.

ben sich aus den Einwirkungen in Kombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten, wobei verschiedene Einwirkungskombinationen berücksichtigt wurden.

Den Berechnungen werden folgende Lastfälle und Lastfallkombinationen unterstellt (Tab 2).

Die aus den o.a. Einwirkungen sich aus

den Berechnungen ergebenden Schnittkräfte für die Stützenplatten sowie den Zug- und Druckpfehl des Mikropfehlbockes sind in nachstehender Übersicht (Tab. 3) angeführt. Sie bilden u.a. die Grundlage für die Bemessung der Stützen und der entsprechenden Fundierungen sowie auch der erforderlichen Abnahmeprüfungen für die Pfehle.

System	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_k [m]	3,0		3,5		4,0		4,5		5,0	
Gleitfaktor	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4
F_{sd} [kN]	156	219	213	300	278	394	355	500	439	621
Z_{sd} [kN]	106	164	148	229	196	306	256	396	321	497
D_{sd} [kN]	58	76	80	104	106	138	137	178	171	220

Tab. 3: Übersicht über die Schnittkräfte für die Stützenfundierung (F_{sd}) sowie für den Zug- und Druckpfehl (Z_{sd} und D_{sd}) des Mikropfehlbockes je System bei einer Hangneigung von $\psi = 45^\circ$

Tab. 3: Overview of the internal forces (F_{sd} means the foundation of the support; Z_{sd} and D_{sd} means the foundation (train and pressure) of the girder. All values based on an inclination of the slope with 45° .

Die Kombination der IPE-Profile (Träger) mit den HEA-Profilen (Stützen) mit den Stahlqualitäten S355J2 (Träger) und S235J2 (Stützen) hat sich vor allem im Hinblick auf die geometrischen Verhältnisse des Träger-Stützenanschlusses bestens bewährt und wird diese daher beibehalten.

Durch die Anpassung der Trägerlängen an den Mikropfahlbock bzw. die Lage des Verbindungsbolzens im Schnittpunkt Träger – Geländeoberfläche und der Vorgabe der ONR 24806:2011 (Pkt. 7.2.4.2), wonach der Freiraumabstand zwischen Geländeoberfläche und unterstem Balken nicht größer als 250 mm gewählt werden darf, werden die Trägerlängen generell 11 cm kürzer.

Durch die Auflassung der Doppelträger sowie – stützen und damit auch der Doppelbalken und – stützenplatten kommen stärkere Träger und Stützen zur Ausführung.

Während für die Stützen bis einschließlich der Dimension HEA 180 Laschen mit einer Stärke von 12 mm verwendet werden, gelangen für die höheren Stützendimensionen solche mit 14 mm zum Einsatz. Angemerkt wird, dass sämtliche Laschen die Stahlqualität S355J2 aufweisen.

Aus Tab. 4 ergeben sich aus der Kombination der Träger- und Stützendimensionen theoretisch vier Gruppen. Aus statischen und im Hinblick auf die Anschlusslaschen auch aus konstruktiven Gründen sollen für das System 5 keine St 200 und für die Systeme 8 bis 10 keine St 180 verwendet werden und sind auch keine solchen vorgesehen.

Die bisherigen Balken- und Zwischenbalkendimensionen werden beibehalten. Im Zuge der räumlichen Berechnung der unterschiedlichen Systeme konnten nunmehr auch die Seitenkräfte, die bisher nicht berücksichtigt wurden, erfasst und

System	Träger [IPE/S355]	Stütze NSd [kN]	LSYS [m]	Regelstatik [HE-A/S235]	Grenzlängen [m] für Stütze HE...A [S235]								
					120	140	160	180	200	220	240	260	
1	3,0/1,8	180	156	3,81	120	4,20	5,25	---	---	---	---	---	---
2	3,0/2,4	200	219	3,81	140	3,10	4,00	4,85	---	---	---	---	---
3	3,5/1,8	220	213	4,33	140	3,50	4,50	5,60	---	---	---	---	---
4	3,5/2,4	240	300	4,33	180	---	3,30	4,10	4,90	5,75	---	---	---
5	4,0/1,8	240	278	4,85	160	---	3,80	4,85	5,80	---	---	---	---
6	4,0/2,4	330	394	4,85	200	---	---	---	4,10	5,00	5,90	---	---
7	4,5/1,8	330	355	5,37	200	---	---	---	5,10	6,10	7,25	---	---
8	4,5/2,4	360	500	5,37	220	---	---	---	---	4,30	5,30	6,10	---
9	5,0/1,8	360	439	5,89	220	---	---	---	---	5,40	6,50	7,70	---
10	5,0/2,4	400	621	5,89	260	---	---	---	---	3,60	4,50	5,40	6,10

Tab. 4: Träger- und Stützendimensionen für das Regelwerk ($\psi = 45^\circ$) sowie Grenzlängen der HEA-Stützen für die Systeme 1 bis 10.

Tab. 4: Dimension of the girder and supports based on the different systems and an inclination of the slope with 45° .

bei der Dimensionierung der Schrauben angesetzt werden. Je nach System und Lage der Balken sind pro Befestigungspunkt zwei bzw. vier Schrauben SM 16x45 der Festigkeitsklasse 4.6 erforderlich. Entsprechende Hinweise sind in den Typenzeichnungen enthalten.

Konstruktive Details dafür werden in der Praxisempfehlung ausführlich diskutiert und in den dazu gehörenden Konstruktionszeichnungen berücksichtigt.

Die Nachrechnung der Stützenplatten ergab, dass auch unter Berücksichtigung des erforderlichen Abrostungszuschlages mit dem Profil [140/60/7] die erforderlichen Nachweise erbracht werden können. Davon ausgenommen ist jedoch die neu vorgeschlagene SP 1 200, bei der Profile der Dimension [200/75/8,5] verwendet werden sollen.

Im Rahmen der Regelstatik erfolgte gem. ONR 24806:2011 (Pkt. 7.2.5.1) die Bemessung der Stützenplatten im Hinblick auf das innere Versagen der Bauteile (STR). Nachweise gegenüber dem Stabilitätsverlust des Baugrundes (GEO) wurden in den vorerwähnten Berechnungen nur dahingehend durchgeführt, als dass anhand der Stützenkräfte, der vorhandenen Geometrien und der zu erwartenden Baugrundwiderstände in Lockergestein ($q_{k,90^\circ}$) die erforderlichen Stützenplattengrößen bzw. allenfalls notwendige Sondergründungen (Mikropfahlbock) in einem Diagramm für den Praktiker (Abb. 3) für den täglichen Gebrauch dargestellt werden. Für Festgestein kann dieses Diagramm linear erweitert werden.

Grundbruchsicherheitsnachweise wurden im Rahmen der Regelstatik nicht durchgeführt.

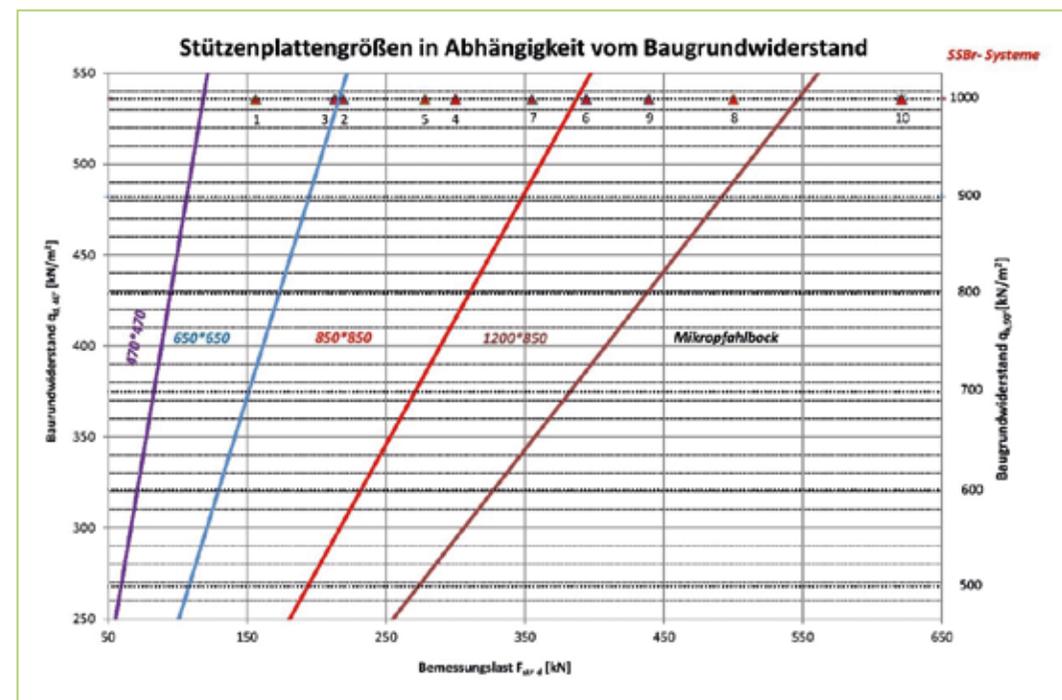


Abb. 4: Stützenplattengrößen für Lockergestein in Abhängigkeit vom Baugrundwiderstand; die Stützenkräfte der Systeme 1 bis 10 für $\psi = 45^\circ$ sind als rote Dreiecke am oberen Rand dargestellt.

Fig. 4: Design dimensions of the lower foundation based on the different systems, an inclination of the slope with 45° and the foundation ground.

Während der Mikropfahlbock (MPB) als solcher beibehalten werden soll, sollen seine Einzelkomponenten, d.h. der Druckpfahlkopf (DPK) sowie der Zugpfahlkopf (ZPK) im Wesentlichen den statischen Erfordernissen entsprechend adaptiert werden. Mit den bisherigen, von einem Flachstahl zu U-förmigen Teilen (Gabeln) gebogenen Pfahlköpfen konnten zum einen vor allem die auftretenden Zugkräfte mit vertretbaren Dimensionen (Korrosionszuschlag) nicht aufgenommen werden und hätte zum anderen ein Flachstahl verwendet werden müssen, der nur mehr sehr schwer biegsam ist.

In Anpassung an die fast um den Faktor 5 zwischen den einzelnen Systemen divergierenden Zugkräfte des Mikropfahlbockes sowie die deshalb drei oben vorgeschlagenen Zugglieddimensionen (SAS 550, dm 28 und 32 sowie SAS 670, dm 35) sollen die drei in ihrer Größe unterschiedlichen Zugpfahlköpfe in ihrer Anzahl beibehalten

werden. Anstelle der Grundplatte sowie den beiden seitlichen Laschen würde hier über eine zentrale Lasche, die im Mikropfahlbock zwischen den beiden Trägerlaschen zu liegen käme, die Zugkraft – ebenfalls über ein Anschweißstück – direkt in das Zugglied eingeleitet werden.

Für die Herstellung der Trägerfundierung sind entsprechende Eignungsprüfungen durchzuführen; zufolge dieser sind die Zug- und Druckpfahllängen entsprechend anzupassen. Die in dieser Praxisempfehlung im Zuge der durchgeführten Berechnungen (Regelstatik) ermittelten und in den entsprechenden Abbildungen (Abb. 5 und 6) dargestellten Pfahllängen dienen als Anhaltswerte. Der erste Meter Pfahllänge darf nicht in Rechnung gestellt werden. Der Erstellung der vorerwähnten Diagramme für die Zug- bzw. Druckpfähle wurden charakteristische Werte für die Pfahlmantelreibung gem. ONR 24806:2011 (Tabelle B 1) zugrunde gelegt.

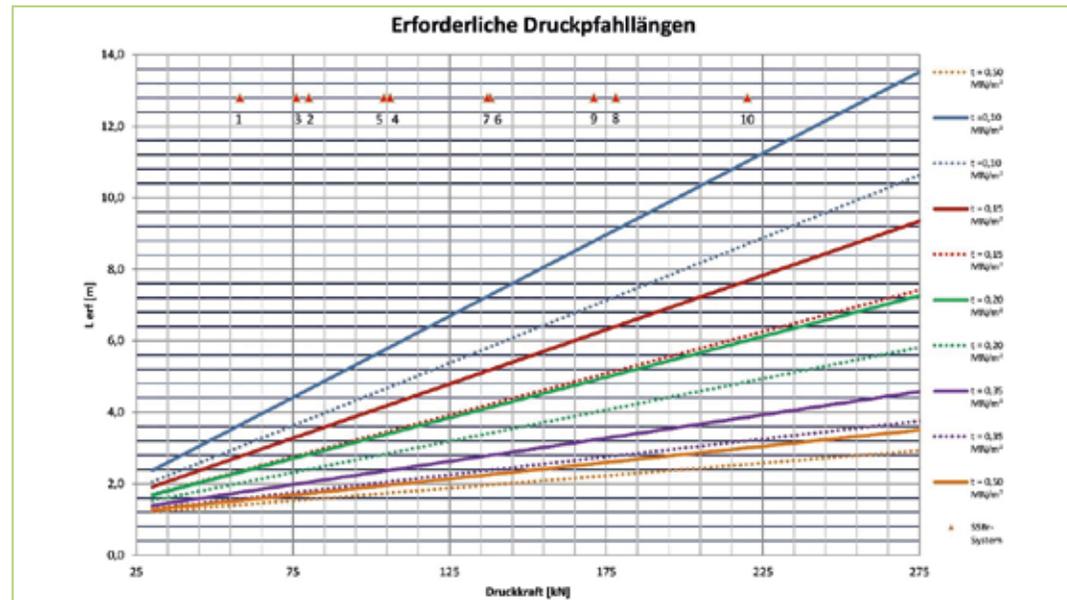


Abb. 5: Erforderliche Druckpfahllängen (L_{eff}) in Abhängigkeit von der Mantelreibung (τ_j). Die durchgehenden Linien ergeben sich mit und die punktierten ohne Berücksichtigung des Modellfaktors $\eta_{p,c}$. Die Mikropfahldruckkräfte der Systeme 1 bis 10 für $\psi = 45^\circ$ sind als rote Dreiecke am oberen Rand dargestellt.

Fig. 5: Necessary pressure pile length, based on an inclination of the slope with 45° and difference jacket frictions (τ_j). The full lines are with and the dotted lines without the design factor $\eta_{p,c}$. The ten systems are seen as red triangle in the upper frame.



Abb. 6: Erforderliche Zugpfahllängen (L_{eff}) in Abhängigkeit von der Mantelreibung (τ_j). Die durchgehenden Linien ergeben sich mit und die punktierten ohne Berücksichtigung des Modellfaktors $\eta_{p,t}$. Die Mikropfahlzugkräfte der Systeme 1 bis 10 für $\psi = 45^\circ$ sind als rote Dreiecke am oberen Rand dargestellt.

Fig. 6: Necessary tension pile length, based on an inclination of the slope with 45° and difference jacket frictions (τ_j). The full lines are with and the dotted lines without the design factor $\eta_{p,t}$. The ten systems are seen as red triangle in the upper frame.

Wie oben dargelegt, ist die Dimensionierung sämtlicher Systeme bzw. Bauteile auf eine Hangneigung von 45° abgestellt. Gemäß nachstehender Abb. 6 ergeben sich für geringere Hangneigungen zum Teil wesentliche geringere Einwirkungen (dargestellt am resultierenden Schneedruck) und daraus natürlich auch geringere Schnittgrößen. Für größere Neigungen ist naturgemäß das Gegenteil der Fall.

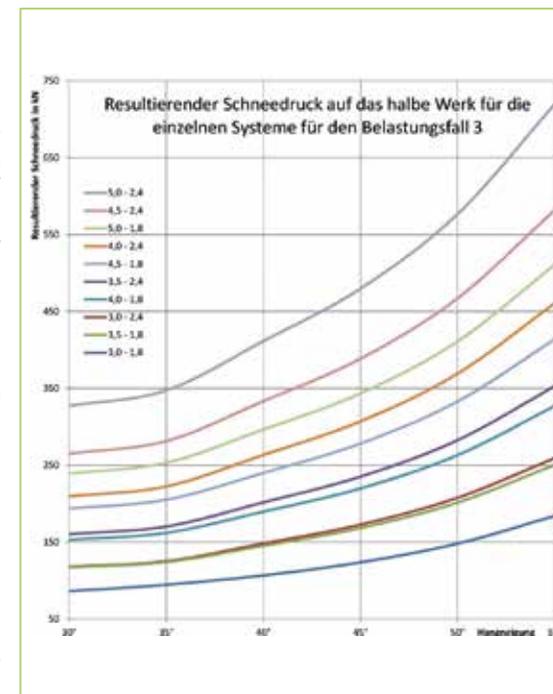


Abb. 7: Auf das halbe Werk einwirkender, resultierender Schneedruck der zehn untersuchten Systeme für den Belastungsfall 3 in Abhängigkeit von der Hangneigung ψ .

Fig. 7: The resultant snow forces of the ten systems for the design load „3“, depending on the inclination of the slope. All values for a half snow bridge.

Entsprechende Einsparungspotentiale im Zusammenhang mit geringeren Hangneigungen sowie Ausführungsvorschläge für Verbauungen an steileren Hängen werden in der Praxisempfehlung (Agerer et al., 2017) erörtert.

Bauausführung

Absteckung und Gleitfaktor

Der Abstand der obersten Werksreihe vom Grat (Wechtenbildung, etc.) wird mit 60 % (Mittelwert aus 2/3 bzw. 50 % aus „früher geübter Praxis“) des entsprechenden Werksreihenabstands festgelegt. Die Absteckung der weiteren Werksreihen erfolgt gemäß Bild 7 der ONR 24806:2011.

Nach Margreth (2007) sind vor allem in flacheren Verbauungsbereichen wesentlich

höhere Werkabstände zulässig. Damit sind nach der vorerwähnten Richtlinie bemessene Werke bei einer Absteckung nach ONR 24806:2011 zum Teil deutlich überdimensioniert. Dies erklärt sich durch den geringeren Tafeldruck.

Der Werkabstand nach Margreth (2007) definiert den Sicherheitsgrad einer Anbruchverbauung und soll die Standsicherheit eines Werkes gegenüber der Belastung aus der abgleitenden Schneetafel gewährleisten. Da die Formel für den hangparallelen Schneedruck ($S'N$) im Gegensatz zum Tafeldruck ($S'T$) keine Angaben zum Werkabstand beinhaltet, wurde für nachstehende Überlegungen der zulässige Werkabstand aus der Gleichsetzung von Schnee- und Tafeldruck ermittelt. Da beide aber nur bei einem Gleitfaktor $N = 2,7$ identisch sind und bei kleineren Gleitfaktoren der Tafeldruck bis zum Zweifachen des

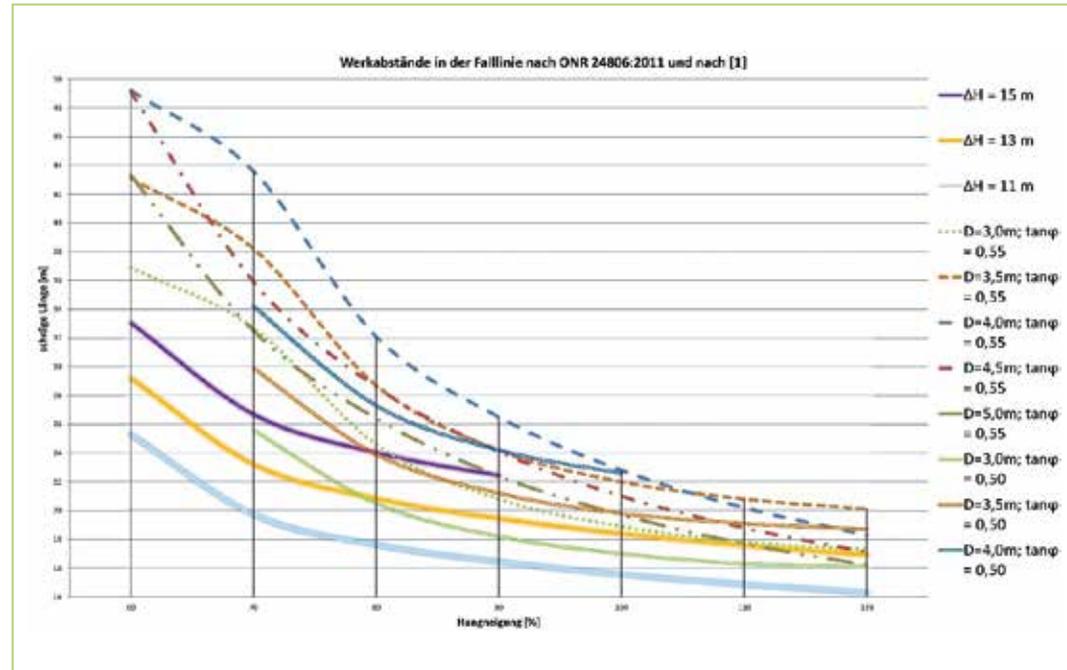


Abb. 8: Vergleich der schrägen Werkabstände nach ONR 24806:2011 und Margreth (2007)

Fig. 8: The comparison of the distance in the line of slope between the Austrian engineer rule (ONR 24806:2011) and the Swiss Technical Guidelines for Avalanche in the starting zones (Margreth 2007).

Schneedrucks ansteigen kann, erfolgte, um die auftretenden Tafeldrücke mit den Schneedrücken gleichsetzen zu können, eine aliquote Zuordnung der Gleitfaktoren (N) zu den Reibungswinkeln Schnee-Boden ($\tan \phi$).

Aus den durchgeführten Berechnungen ergeben sich nachstehende Schlussfolgerungen:

- Die Ermittlung der hangparallelen Werkabstände nach ONR 24806:2011 führt vor allem bei Hangneigungen $\psi \leq 90$ % zu wesentlich geringeren Werksabständen.
- Bei einem geringeren Werkabstand nimmt die Belastung aus dem Tafeldruck ab, womit die Werke überdimensioniert sind, was im verringerten Auslastungsgrad ($S'T / S'N$) zum Ausdruck kommt.
- Würden bei der Ermittlung der Werkabstände nach ONR 24806:2011 nur mehr Werke mit einem Gleitfaktor $N = 1,8$ verwendet, wären außer bei der Schneemächtigkeit $D_k = 3,0$ m die Auslastungsgrade nicht höher als bisher. Bei $D_k = 3,0$ m würde der Auslastungsgrad dabei einen Spitzenwert von 1,4 (bisher 1,3) erreichen.

Aus diesen Schlussfolgerungen ergeben sich nachfolgende Empfehlungen:

- Generell können für Schneemächtigkeiten $D_k \geq 3,5$ m Stahlschneebrücken mit einem Gleitfaktor von $N = 1,8$ verwendet werden.
- Für die Schneemächtigkeit $D_k = 3,0$ m können bis zu einer Hangneigung $\psi \leq 80$ % Stahlschneebrücken mit $N = 1,8$ verwendet werden.
- Für die Schneemächtigkeit $D_k = 3,0$ m sollten ab einer Hangneigung $\psi > 80$ % Stahlschneebrücken mit $N = 2,4$, wo diese auch bisher verwendet wurden, eingebaut werden.

- Aus organisatorischen und baustellenlogistischen Gründen wird vorgeschlagen bei $D_k < 3,5$ m für alle Hangneigungen Stahlschneebrücken mit $N = 2,4$ einzubauen, wo diese auch bisher verwendet wurden.

Ausblick

Im Zuge der richtliniengemäßen Berücksichtigung aller Einwirkungen, d.h. auch der Seitenkräfte, die in den bis dato im Bereich der Sektion Tirol zum Einsatz gelangten Stahlschneebrücken nicht erfolgte, sowie der normgemäßen statischen Berechnungen ergaben sich für alle Systeme, insbesondere für jene mit größerer Schneemächtigkeit und größerem Gleitfaktor zum Teil deutlich höhere Träger- und Stützendimensionen mit damit verbundenen höheren Bauteilgewichten und letztendlich auch höheren Kosten. Letzteres nicht nur im Zusammenhang mit den höheren Bauteilkosten, sondern vor allem infolge des erhöhten Manipulations- und Transportaufwandes.

Diesbezügliche Einsparungspotentiale werden zum einen in der Nichtberücksichtigung der Seitenkräfte, und zum anderen in der Unterstellung einer Hangneigung von $\psi = 40^\circ$ für die Ermittlung der Einwirkungen gesehen. Während ersteres damit begründet werden kann, dass in den vielen Jahrzehnten, in denen in Tirol Stahlschneebrücken errichtet wurden, keine diesbezüglichen Schäden beobachtet wurden, hat auch die vorerwähnte Zeitspanne gezeigt, dass Hänge, an denen Stahlschneebrücken errichtet wurden, eher selten Neigungen aufwiesen, die steiler als 40° waren.

Mittlerweile durchgeführte Berechnungen haben gezeigt, dass sich bei den Trägern der einzelnen Systeme Einsparungen gegenüber den im gegenständlichen Beitrag vorgeschlagenen Dimensionen von jeweils einer Profildimension

ergeben. Die Einsparungen bei den Stützen wirken sich lediglich in den höheren zulässigen Längen bzw. zum Teil in der geänderten Dimension für die einzelnen Systeme aus.

In weiterer Folge ist nun vorgesehen, die Konstruktions- sowie Systemzeichnungen für die einzelnen Bauteile entsprechend zu adaptieren sowie die Praxisempfehlung (Agerer et al, 2017) zu ergänzen und diese dem Dienstzweig zur Verfügung zu stellen.

Nicht unerwähnt soll schließlich noch bleiben, dass, nachdem die Berücksichtigung der Seitenkräfte bei der Dimensionierung der Schneebrücken Inhalt der ONR 24806:2011 ist, eine diesbezügliche Änderung in der neuen ONR über den Permanenten Technischen Lawinenschutz vorzunehmen sein wird, um den Anspruch der nach den vorerwähnten Vorgaben dimensionierten Stahlschneebrücken als dem Stand der Technik entsprechend gerecht zu werden.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Hubert Agerer
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Oberes Inntal
Langgasse 88, 6460 Imst
hubert.agerer@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Andreas Drexel
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Bregenz
Rheinstraße 32, 6900 Bregenz
andreas.drexel@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Christian Ihrenberger
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern
Buchenort 2a, 6600 Lechaschau
christian.ihrenberger@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Dr Thomas Michl
Baumann + Obholzer Ziviltechniker GmbH
Technikerstraße 32, 6020 Innsbruck
t.michl@baumann-obholzer.com

Literatur / References:

AGERER H., DREXEL A., IHRENBERGER C.:
Praxisempfehlung Stahlschneebrücken. In Ausarbeitung, 2017.

BMLFUW:
Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinerverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz 1985, 2005.

BMLFUW:
Lawinenschutzbauwerke, Schadensbericht der Wildbach- und Lawinerverbauung, 2013.

MARGRETH, S.:
Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, 2007.

ÖNORM B 1990-2:
Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 2: Brückenbau. Ausgabe 2016-01-01

ÖNORM EN 1090-2:
Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken. Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Ausgabe 2012-01-01.

ÖNORM EN 1990:
Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung. Ausgabe 2013-03-15.

ONR 24806:
Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung. Ausgabe 2011-12-15

ONR 24807:
Permanenter technischer Lawinenschutz – Überwachung und Instandhaltung. Ausgabe 2010-03-01



Ingenieurkonsulent • Ingenieurbüro

Forst- und Holzwirtschaft
Wildbach- und Lawinenschutz
Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
www.perzplan.at

2630 Ternitz
3100 St. Pölten
8600 Bruck/Mur
office@perzplan.at



ZT für WLW -, Studien, Projekte, Gutachten, Ausschreibungen,
Baubegleitung, Sicherheitsanalysen, Wildbachbegehungen...

Standort Ost Langseitenrotte 19 3223 Wienerbruck	Standort West Saurweinweg 5 6020 Innsbruck	T: +43 2728 20404 M: +43 664 2047240 Web: www.tiwald.at
---	---	---

ARTHUR VOGL

GZP Galtür – Die schwierige Frage der Evaluation von Schutzbauten gegen Lawinengefahren

Hazard map Galtür - The difficulties in evaluating protective measures against avalanches

Zusammenfassung:

Für die Revision des Gefahrenzonenplanes Galtür war die Bewertung bestehender Schutzbauten notwendig. Da sich im Gemeindegebiet Galtür eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen des permanenten technischen Lawinenschutzes befindet, war deren Bewertung mit einem großen Aufwand verbunden. Jede Maßnahme musste je nach Bautyp und unterstellter Einwirkung beurteilt werden. Auch die Auswirkung auf den Siedlungsraum musste, je nach erfolgter Einzelbewertung der Maßnahmen erfolgen. In diesem Artikel soll mit Hilfe verschiedener Fallbeispiele die Bewertung veranschaulicht werden.

Stichwörter: Bewertung, Lawinenschutzmaßnahmen, Schneebrücken, Lawinendämme

Abstract:

The evaluation of existing protective structures was necessary for the revision of the hazard zone map Galtür. Since a large number of different measures of permanent technical avalanche protection is located in the municipal area of Galtür, their assessment was associated with a great deal of effort. Each measure had to be assessed according to the building type and the assumed influence. The impact on the settlement area also had to be carried out according to the individual assessment of the measures. In this article the evaluation is to be illustrated by means of various case study.

Keywords: Evaluation, avalanche control measures, snow bridge, avalanche dam

Einleitung

Im Zuge der Gefahrenzonenplanrevision für die Gemeinde Galtür war es notwendig, bestehende permanente technische Lawinenschutzbauten zu erfassen und zu bewerten. Diese Evaluation war nicht einfach, da eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen aus unterschiedlichen Verbauungs-epochen in Galtür existiert. Beispielsweise wurden die ersten Anbruchverbauungen in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts errichtet. Die ersten Direktschutzmaßnahmen, wie Spaltkeile, wurden bereits im 16. Jahrhundert gebaut und gelten als eine der ersten dokumentierten Maßnahmen gegen Lawinen überhaupt.

Schwierig ist eine systematische Beurteilung, da gerade bei Anbruchverbauungen viele Faktoren, wie beispielsweise die Gesamtschneehöhe, sehr schwer bestimmbar ist. Wichtig sind Beobachtungen, welche Rückschlüsse auf die Schutzwirksamkeit zulassen. Die Erhebung der Chronik sollte immer auch im Hinblick auf die Schutzwirksamkeit bestehender Maßnahmen erfolgen.



Abb. 1:
Auszug aus dem aktuellen Gefahrenzonenplan.

Fig. 1:
Extract from the current hazard zone map.

GZP Galtür - Fakten

Der erste Gefahrenzonenplan von Galtür wurde in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgearbeitet und 1995 ministeriell genehmigt. Die Revision des ersten Gefahrenzonenplanes wurde im November 2009 ministeriell genehmigt. Notwendig wurde diese Revision, da nach dem Großereignis von 1999 zahlreiche Schutzmaßnahmen errichtet und bestehende ergänzt wurden. In Galtür sind von den insgesamt 40 Einzugsgebieten 24 raumrelevant. Von diesen 24 sind 23 Lawineinzugsgebiete und nur ein Einzugsgebiet ist ein Wildbach. Dies zeigt, wie prioritär der Schutz vor Lawinen in Galtür sind. Die Ablagerungsgebiete überschneiden sich mancherorts in Galtür massiv (Abbildung 1). Damit ist eine einzugsgebietsweise Abgrenzung sehr schwierig, da zusätzlich noch die einzelnen Anbruchgebiete oft zusammenhängen und nicht räumlich getrennt sind.

Systematik für die Bewertung von Schutzbauwerken

Schutzbauwerke gegen Lawinen sind Bauwerke des permanenten technischen Lawinenschutzes, die den von Lawinen hervorgerufenen Gefahren entgegenwirken oder die Entstehung von Lawinen verhindern (ONR 24805:2010).

In Anlehnung an die ONR 24806:2011 sind folgende Maßnahmen des permanenten technischen Lawinenschutzes relevant:

Anbruchgebiet:

- Lawinenanbruchverbauung (Schneebrücke, Schneerechen oder Schneenetz)
- Verwehungsverbauungen
- Steinmauern und Mauerterrassen

Sturzbahn:

- Lawinenbrecher
- Lawinenauffangdämme (Karschwellen)
- Leit- und Ablenkdämme
- Lawingalerien
- Ebenhöhen

Ablagerungsgebiet:

- Auffangdämme
- Bremshöcker
- Spaltkeile

Über die GIS Anwendung des digitalen Wildbach- und Lawinenkatasters des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung kann der Zustand jedes Bauwerkes erfasst und bewertet werden (Abbildung 2). Eine Bewertung von ganzen Verbauungsverbänden, wie zum Bei-

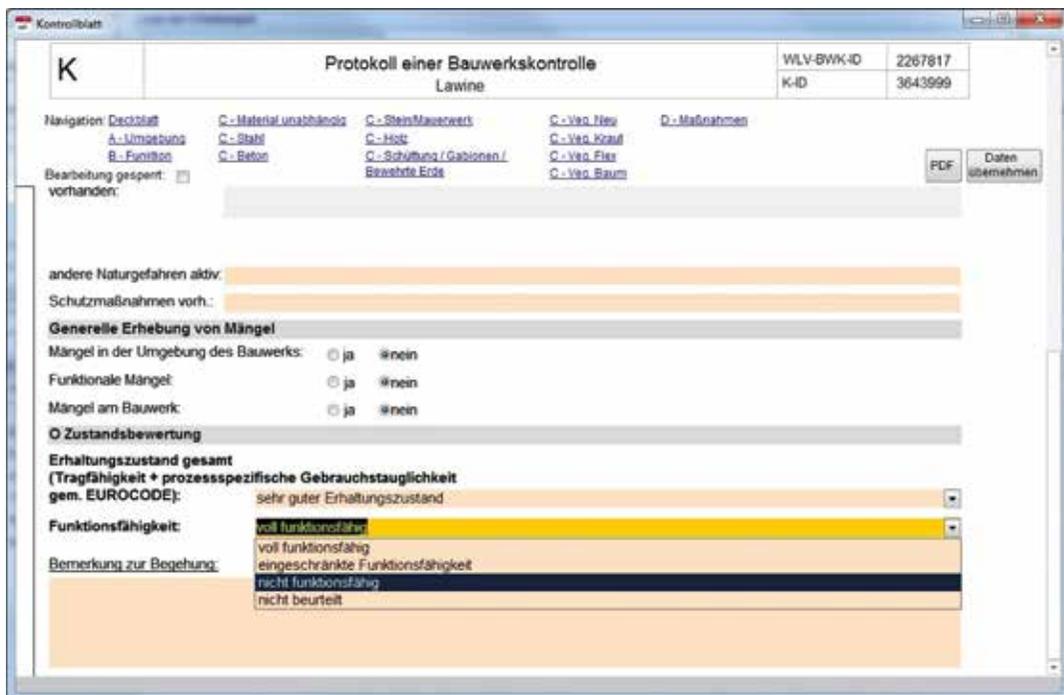


Abb. 2: Bewertung des Zustandes im GIS gestützten Wildbach- und Lawinenkataster (WLK).

Fig. 2: Evaluation of the condition in the GIS-supported torrent and avalanche cadastre (WLK).

		Stand der erprobten Praxis	Stand der Technik	Stand der Wissenschaft
Auffang- und Leitdämme			Dammhöhe gem. ONR 24806	Dammhöhe gem. Schockwellentheorie (Satsie 2009)
	Schneehöhe		Werkshöhenermittlung gem. ONR mit Höhengradient	Gesamtschneehöhe gem. Leichtfried
Stütz-verbauung	Werksabstände	Max. Werksabstände > 30m	Max. Werksabstände max 30m gem ONR	
	Verankerung	Zugplatte (vergl. Abb. 6)	Doppelstabanker Sprenganker	Aufgelöfter Anker Mikropfahl
		Stand der erprobten Praxis	Stand der Technik	Stand der Wissenschaft

ROT ... mit negativ Beispiel
GRÜN ... kein negativ Beispiel bekannt

Tab. 1: Ausgewählte Bauwerke und deren funktionale Bewertung.

Tab1: Functional assessment of selected structures.

spiel einer ganzen Anbruchverbauung, kann nicht einheitlich erfasst werden.

Mit Hilfe des Wildbach- und Lawinenkatasters kann man sich die unterschiedlichen Erhaltungszustände visualisieren lassen und bekommt dadurch schnell einen Gesamtüberblick über ein gesamtes Einzugsgebiet. Grundvoraussetzung ist jedoch eine aktuelle und vollständige Bewertung aller Bauwerke.

Die Bewertung von Schutzbauwerken muss auch die Einwirkung auf das Bauwerk selbst mitberücksichtigen. Beispiele dafür sind die maßgeblichen Gesamtschneehöhen oder die Lawinenkräfte, welche sich aus der Einwirkungsrichtung, Geschwindigkeit, Fließhöhe und der Lawinenmasse ergeben. Neben dieser Einwirkung von außen ist auch die Bausubstanz selbst zu bewerten. Bei der Bausubstanz gibt es neben den sichtbaren Bauwerksteilen auch Bauteile, welche sich im Verborgenen befinden und daher sehr schwer zu beurteilen sind.

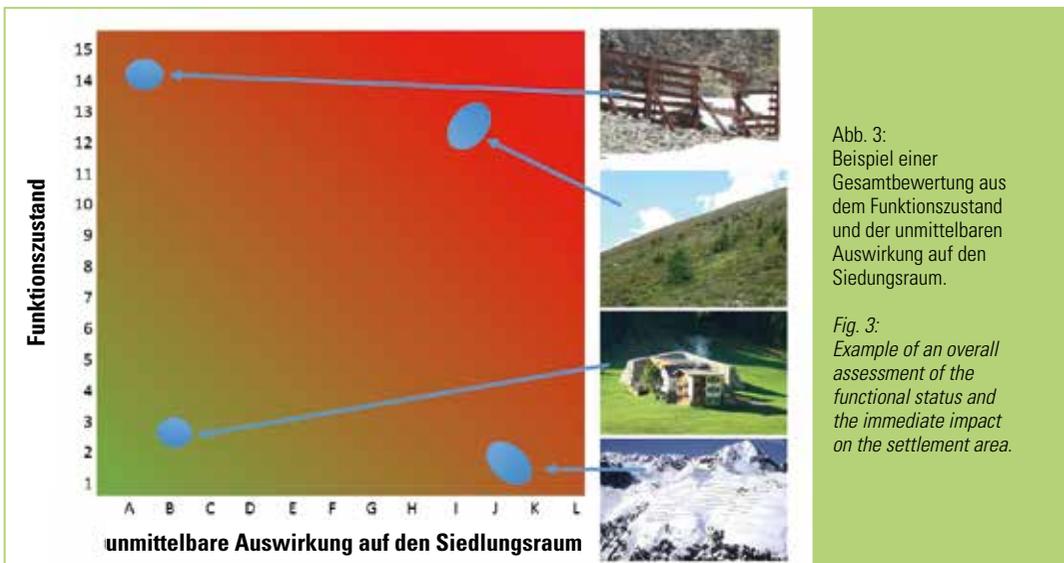
Um eine Bewertung durchführen zu können, muss man sich auch mit der Frage befassen,

inwieweit das Bauwerk dem Stand der Technik entspricht. Der Stand der Technik wird im §12a Abs. 1 Wasserrechtsgesetz 1959 definiert. Dabei muss zum einen die Funktionalität erprobt oder bewiesen sein und zum anderen muss das Verfahren auf einschlägig anerkannten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen.

Die Klassifizierung in Tabelle 1 stellt einen Versuch dar, die Bauwerke in ihrer Funktionalität zu bewerten.

Um eine Bewertung durchzuführen, muss zuerst der Stand der Technik definiert werden. Leider ist der Stand der Technik nicht immer eindeutig festzustellen, daher befinden sich einige Maßnahmen in der Tabelle 1 im Übergangsbereich zwischen Stand der erprobten Praxis, Stand der Technik und Stand der Wissenschaft.

Die Gesamtbewertung ergibt sich aus der Abhängigkeit zwischen baulichem Gesamtzustand und der Auswirkung im Falle eines Versagens auf den Siedlungsraum. Ausgewählte Beispiele werden nachfolgend in der Abbildung 3 dargestellt.



Bewertung von Schutzbauwerken

Anbruchverbauung

Schwierig ist die Beurteilung von Oberlawinen aufgrund von überschneiten Anbruchverbauungen. Es stellt sich die Frage: Wie mächtig ist die Überschneidung und welche Flächen können betroffen sein? Meist reagiert man erst, wenn dokumentierte Oberlawinen abgegangen sind



Abb. 4: Im Jahr 1982 wurde die bestehende Anbruchverbauung der Großstal-Lawine großflächig überschneit. Im Zuge eines Ergänzungsprojektes wurden die Stahlschneebrücken erhöht.

Fig. 4: In 1982, the existing snowpack-stabilizing works of the Grosstal-avalanche was covered over a large area with snow. In the course of a supplementary project the steel snow bridges were increased.



oder wenn großflächig überschneite Anbruchverbauungen sichtbar wurden. Das Beispiel der Großstal-Lawine aus dem Jahr 1982 zeigt, dass die Stahlschneebrücken großflächig überschneit waren (Abbildung 4). Als Reaktion darauf, wurden die bestehenden Anbruchverbauung erhöht (Drexel, 2010).

Aber auch Anbrüche innerhalb von aufgelösten Verbauungen wurden dokumentiert (Abbildung 5).



Abb. 5: Lawinenanbruch innerhalb einer aufgelösten kombinierten Verbauung im Bereich der Großstal-Lawine in Galtür 1987.

Fig. 5: Avalanche within a dissolved combined technical constructions of the Grosstal-avalanche in Galtür 1987.

Trägerfundierungen von Stahlschneebrücken sind nur im Einzelfall prüfbar, da man die Anker im Untergrund nicht visuell kontrollieren kann. Daher müssten Ankerzugversuche durchgeführt werden, um genau Aussagen über die Belastbarkeit treffen zu können. Aus dem Ergebnis dieser Einzelprüfung müsste man dann gutachterlich Rückschlüsse auf die gesamten Maßnahmen ziehen. Die flächige Beurteilung muss gutachterlich über Richtwerte der Einzelprüfung erfolgen.

Bei den historischen Bauwerken aus den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden sogenannte Zugplatten errichtet (Abbildung 6). Die Zugkräfte werden dabei durch das Gewicht der Überschüttung aufgenommen. Diese Fundierung ist hinsichtlich von Oberflächennahen Erosionen und Hangbewegungen sehr empfindlich, da die Wirkungstiefe der Zugplatten mit rund einem Meter sehr gering ist.



Abb. 6a: Historische Stahlschneebrücken der Großstal-Lawine in Galtür mit den sogenannten Zugplatten als Fundierung. Abb. 6b: Versagen der Zugplatten infolge von Erosionen am Predigtberg in Galtür.

Fig. 6a: Historic steel snow bridges of the Grosstal-avalanche in Galtür with "Zugplatten" as foundation. Fig. 6b: Failure of the "Zugplatten" due to erosion at the Predigtberg in Galtür.

Durch Überlastung können auch ganze Träger versagen und knicken. Diese Schadbilder zeigen sich oft bei aufgelösten Anbruchverbauungen, welche einer größeren Druckeinwirkung ausgesetzt sind (Abbildung 7).

Einfacher ist die Beurteilung des Oberbaues. Meist sind diese Schäden leicht erkennbar und können leicht klassifiziert werden. Stehen Stützen fast lotrecht und nicht in einem Winkel

von 60–70° zum Träger, ist dies oft ein Hinweis, dass die Zugverankerung Schäden aufweist und die gesamte Stahlschneebrücke verdreht wurde. Es können aber auch ganze Stahlschneebrücken infolge Steinschlag beschädigt sein (Abbildung 8). Diese Schäden sind jedoch meist nur kleinflächig und zeigen für den Siedlungsraum oft nur geringe Auswirkungen.



Abb. 7:
Geknickter Träger infolge Überlastung.

Fig. 7:
Geknickter Träger infolge Überlastung.



Abb. 8:
Beschädigung von Stahlschneebrücken infolge eines Steinschlages.

Fig. 8:
Damage to steel snow bridges due to rockfall.

Zustandsstufe	Tragsicherheit ^a	Gebrauchstauglichkeit ^b	Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden	Beispiele für Stahlschneebrücken
0	–	–	–	–
2	gegeben	gegeben	> 5 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> – verbogene Rostbalken, – Erosion um Fundamentsockel, kleiner 10 cm bis 20 cm, – Materialansammlung auf Rost mit Mächtigkeit von weniger als 50 cm, – gleichmäßige Flächenkorrosion (Rosten).
4	eingeschränkt	eingeschränkt	2 bis 5 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> – freigelegte Verankerungen, zwischen 20 cm und 40 cm (noch intakt), – eingedrückte Mikropfahlverankerung, – leicht gekrümmte Stützen.
5	sehr eingeschränkt (Einsturzgefahr)	sehr eingeschränkt (keine oder stark eingeschränkte abstützende Wirkung)	1 Jahr	<ul style="list-style-type: none"> – ausgeknickte Stützen, – stark deformierte bis gebrochene Träger, – gebrochene oder herausgezogene Anker, – ausgeknickte Mikropfähle.

^a zum Aufnahmezeitpunkt (= Sicherheit gegenüber dem Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit, Verlust der Gesamtstabilität des Stützwerkes)

^b zum Aufnahmezeitpunkt (= Funktionstüchtigkeit des Schutzbauwerkes)

Abb. 9: Zuordnung der Zustandsstufen für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für das Auftreten von Folgeschäden (ONR 24807: 2010).

Fig. 9: Assignment of the state levels for stability and usability for the occurrence of consequential damage (ONR 24807: 2010).

In der ONR 24807 sind Beispiele angeführt, welche die Zuordnung der Zustandsstufen für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zum Aufnahmezeitpunkt und den Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden klassifizieren (Abbildung 9).

Leit- und Auffangdämme

Bei der Bewertung von Leit- und Auffangdämmen stellen sich gleich mehrere Fragen: Entsprechen die Einwirkungen (Richtung, Fließhöhe und Geschwindigkeit) dem Stand der Technik? Wie wurden die Einwirkungen für die Dammhöhenberechnung ermittelt? Wurden sie gutachterlich festgelegt oder waren Simulationen die Grundlage? Welche Simulationen wurden verwendet?

Entsprechen die Simulationen dem Stand der Technik? Eine Nachrechnung mit den aktuellen Modellen ist empfehlenswert. Die Dammhöhenberechnung kann gemäß ONR 24806:2011 durchgeführt werden. Neuere Erkenntnisse beruhen auf der sogenannten Schockwellentheorie, welche besagt, dass durch die Ausbildung dieser Welle der erforderliche Damm höher sein muss als mit der Berechnung gemäß ONR 24806:2011. In Österreich wurden viele Dämme erst nach dem Lawinenwinter von 1999 gebaut, seitdem wurden viele Dämme nicht mehr beaufschlagt. Das bedeutet, dass viele Dämme noch keinen wirklichen Stresstest absolviert haben.

Eine weitere Unsicherheit birgt die Festlegung der unterstellten Vorverfüllung, diese muss gutachterlich festgelegt werden. Hilfreich ist hier

die Überlegung der unterstellten Frequenz für Lawinen, welche das Dammvorfeld erreichen können. Bei den Leitdämmen sind auch die Neigungsverhältnisse im Dammbereich wesentlich. In Bezug auf die Vorverfüllung sind sicherlich Leitdämme, welche im Übergangsbereich zum Ablagerungsgebiet situiert sind, heikel. Bei kleinen Lawinen beginnt die Verzögerung nicht wie bei den Großlawinen bei $8,5^\circ$ (vergl. $\arctan m$ von 0,15 gemäß User Manual v1.5 Avalanche Handbuch RAMMS Tabelle Anhang), sondern je nach Lawinengröße, Höhenlage und Morphologie kann die Verzögerung bereits bei 21° beginnen (vergl. $\arctan m$ von 0,39 gemäß User Manual v1.5 Avalanche Handbuch RAMMS Tabelle Anhang). Auch die Nachrechnung, ob das unterstellte Lawinenvolumen hinter dem Auffangdamm Platz hat, ist mit dem laut vorgeschlagenem Lawinenschüttwinkel gemäß ONR 24806 von 5 bis 10° sehr unsicher, da eine gleichmäßige Befüllung des gesamten Ablagerungsraumes sehr unwahrscheinlich ist. Man muss jedoch einen Verdichtungsfaktor zwischen $1,5$ und 2 berücksichtigen. Eine Verifizierung dieser Annahmen wäre mit Hilfe mehrerer Ereignisse eigentlich schon lange hinfällig.

Fazit

Die Evaluation bestehender Schutzbauten gegen Lawinengefahren ist eine subjektive Angelegenheit, da sie meist von der eigenen Meinung und Erfahrung geprägt ist. Umso wichtiger ist daher eine nachvollziehbare Begründung der Bewertung. Die Evaluation der Schutzbauten als Zusammenschau zwischen „Funktionalität“ und „Auswirkung auf den Siedlungsraum“ (Abbildung 3)

zu sehen, ist ein Versuch mehr Objektivität in die Bewertung einfließen lassen zu können. Da diese Evaluation kein Fixum ist, sondern sich mit dem Stand der Technik und dem Bauzustand über die Zeit verändert, ist es eine große Herausforderung, und nur mit einem angemessenen Personaleinsatz zu schaffen, die Bewertung aller Schutzbauten im Wildbach- und Lawinenkataster aktuell halten zu können.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Arthur Vogl
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Tirol
Wilhelm Greil Straße 9/6020 Innsbruck
arthur.vogl@die-wildbach.at

Literatur / References:

BARTEL, P., BUEHLER, Y., CHRISTEN, M., DEUBELBEISS, Y., SALZ, M., SCHNEIDER, M., SCHUMACHER, L., (2013): RAMMS rapid mass movements simulation User Manual v1.5 Avalanche Handbuch.

DREXEL, A. (2014): Konstruktive und statische Problemstellung bei der Anpassung bestehender Anbruchverbauungen am Beispiel der Großtal-Lawine in Galtür. Wildbach- und Lawinenverbau Stand der Technik – Innovationen der Ingenieurpraxis 174 (2014):134-149.

LEICHTFRIED, A. (2010): Empfehlung für die Ermittlung der Schneemächtigkeit in Anbruchgebieten von Lawinen für Tirol und Vorarlberg. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG Innsbruck 2010.

ONR 24805 (2010): Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen: Ausgabedatum 2010-06-01.

ONR 24806 (2011): Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung: Ausgabedatum 2011-12-15.

ONR 24807 (2010): Permanenter technischer Lawinenschutz – Überwachung und Instandhaltung 2010-03-01.

i.n.n. | naturraum - management
ingenieurgesellschaft
geoinformatik
geotechnik
risk-management recht

i.n.n.
ingenieurgesellschaft für
naturraum - management mbH & Co KG
tel (fax): 0043-512-342725 (11)
mail: office@inn.co.at
grabenweg 3a
A-6020 innsbruck

Unsere Leistungen im Naturgefahren-Management:
Regional- und Gefahrenzonenplanung Schutzkonzepte Gutachten
Einreichplanung Ausschreibungen Umsetzungsbegleitung /-kontrolle

Weitere Bereiche: Umwelttechnik und Sportstättenplanung

PATRICK JOSEF SIEGELE

Bewertung historischer Lawinenschutzbauten auf der Schwager Gonde im Paznauntal

Evaluation of historical avalanche control structures on the Schwager Gonde in Paznaun valley

Zusammenfassung:

Stein- und Materialterrassen sind bedeutende Ergebnisse einer traditionellen Bauweise und stellen eine wesentliche Etappe in der Entwicklung des technischen Lawinenschutzes dar. Aufgrund der schwerwiegenden Auswirkungen des Lawinenwinters 1950/51 wurde im Anbruchgebiet „Schwager Gonde“ in den Jahren von 1954 bis 1961 eine Terrassenverbauung errichtet. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden der bauliche Zustand und die Wirkung der historischen Bauwerke bewertet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Steinterrassen noch einigermaßen gut erhalten sind. Die Materialterrassen hingegen befinden sich aufgrund von Setzungserscheinungen überwiegend in einem schlechten Zustand. Im Rahmen der Wirkungsbeurteilung stellte sich zudem heraus, dass die Bauwerkshöhen zu gering und die Werkabstände zu groß gewählt wurden.

Stichwörter: Lawinenanbruchverbauung, Lawinenschutzbauwerke, Mauerterrassen

Abstract:

Masonry terraces are valuable results of a traditional way of construction and represent an important stage in the development of the technical avalanche protection. Due to the negative effects of the avalanche winter in 1950/51, masonry terraces were built in the area of "Schwager Gonde". Within the context of a master thesis, the structural condition and the protective effect of the historical buildings were assessed. The results showed that the masonry terraces are fairly well preserved and the material terraces are mainly in a bad condition because of subsidence formation. Furthermore, the efficacy assessment showed that the construction heights are too low and the distances between the terraces were chosen too big.

Keywords: *Avalanche protection, avalanche control structures, masonry terraces*

Historische Entwicklung der Terrassenverbauung

In Tirol wurden technische Maßnahmen gegen Lawinen bis in die Zeit nach dem Ersten Weltkrieg nur vereinzelt und überwiegend zum Schutz von Verkehrswegen, wie etwa der Arlbergbahn, errichtet. Der erste nachweisliche Direktschutz (steingeschlichteter Ablenkkeil) für eine Einzelsiedlung geht auf das Jahr 1613 zurück und wurde zum Schutz des Weilers Birche in der Gemeinde Galtür errichtet (Aulitzky et al., 1984). Während des Beginns der Lawinenverbauung und in den Jahren danach wurden in den Anbruchgebieten etliche Kilometer Mauer- und Erdterrassen errichtet (Rudolf-Miklau & Sauer Moser, 2011). So wurden zum Beispiel in der Schweiz in den Jahren 1876 bis 1938 rund 1.000 km Stützwerke errichtet, wobei es sich zu 95 % um Mauern und Terrassen handelte (SELVA, 1972). Sie waren damals „Stand der Technik“. Die ersten dokumentierten Erdterrassen in Österreich wurden im Jahr 1925 zum Schutz des Weilers Mitteregg (Gemeinde Berwang, Tirol) errichtet (Rudolf-Miklau & Sauer Moser, 2011).

Bereits im Jahr 1910 stellten Schweizer Experten wie Forstmeister Johann Coaz fest, dass die anfänglich erbauten Terrassen eine zu geringe Höhe aufwiesen. Dies führte in weiterer Folge zum Bau von Mauern mit einer Höhe von bis zu 9 m (Rudolf-Miklau & Sauer Moser, 2011). Im Blassegg-Gebiet, oberhalb des Bahnhofes von Langen am Arlberg, reichten aufgrund der hohen Schneemengen an manchen Stellen die Mauerhöhen ebenfalls nicht aus. Zur Lösung dieses Problems wurden die Mauern dort während Schönwetterperioden mit Schneeziegeln aufgestockt (Rödel, 2016). Diese Schneedämme froren zusammen und bildeten gemeinsam mit der festgestampften Schneehinterfüllung ausreichend Widerstand. Auf

diese Weise wurden die Mauern allmählich und mit gutem Erfolg erhöht, in einzelnen Fällen sogar um bis zu 15 m (Strele, 1950).

Die Lawinenkatastrophen zu Beginn der 1950-er Jahre führten zu einem Umdenken im Technischen Lawinenschutz und setzten umfangreiche Verbauungstätigkeiten in Gange. Auch in Österreich wurde erkannt, dass durch die Errichtung von nahezu hangsenkrechten Stützbauwerken aus Holz, Stahl oder Drahtseilen, wesentlich bessere Erfolge erzielt werden konnten, als mit den bisher üblichen Terrassen oder Mauern (Rudolf-Miklau & Sauer Moser, 2011).

Ausgangslage im Projektgebiet

Im Winter des Jahres 1950/51 suchten schwere Lawinenkatastrophen den Alpenraum heim. Dabei wurde auch das Paznauntal nicht von deren Folgen verschont. Neben Schäden an Gebäuden, Wäldern und landwirtschaftlichen Kulturgründen waren auch Menschenleben zu beklagen. Einen wesentlichen Beitrag zu den Lawinenunglücken leistete die schon seit Jahrhunderten fortschreitende Entwaldung. Durch Bau- und Brennholzentnahme, Rodung für die Landwirtschaft, Alpvergrößerung, Lawinen und Steinschlag verschlechterte sich der Zustand der Waldbestände drastisch. Nach den schwerwiegenden Auswirkungen des Lawinenwinters 1950/51 häuften sich bei den Gebietsbauleitungen die Ansuchen der Gemeinden um Verbauung zahlreicher Schadlawinen.

Im Jahre 1953 wurde seitens der Wildbach- und Lawinenverbauung ein generelles Schutzprojekt zur Sanierung der Südhänge des vorderen Paznauntales ausgearbeitet. Dieses kann als eines der Ersten dieser Art bezeichnet werden und umfasste sechs gefährliche Lawinenzüge. Bereits im Jahr 1954 wurde mit dem Bau der

ersten Terrassen auf der Schwager Gonde begonnen. Parallel dazu wurde eine Hochlagenaufforstung angelegt, Schneehöhenbeobachtungen durchgeführt und rund 5,2 km Drahtgeflechtzaun errichtet. Im Zeitraum zwischen 1954 bis 1961 wurden insgesamt 87 Terrassen (davon 25 Stein- und 62 Materialterrassen) mit einer Gesamtlänge von 2.375 m und einer Schneerückhaltefläche von 6.850 m² errichtet. Auf einer Seehöhe von 1.400 m bis 2.350 m wurde mit rund 345.280 Forstpflanzen eine Fläche von 46 ha aufgeforstet.



Abb. 1: Arbeiter bei der Errichtung einer Steinterrasse im Jahr 1954 (Quelle: WLV)

Fig. 1: Workers during the construction of a stone terrace in 1954 (source: WLV)

In der Sturzbahn der Glittstein-Lawine wurden zudem 2 Abweisdämme errichtet. Aufgrund der fehlenden Erschließung wurde damals die kostengünstigere Terrassenvariante gegenüber der Variante mit gegliederten Stützwerken bevorzugt. Sämtliche Werkzeuge und Materialien wurden durch Träger vom Weiler Schrofen aus in einem 2-stündigen Fußmarsch ins Projektgebiet transportiert. Der Lohn für die Trägerdienste betrug damals 1,3 Schilling je Kilogramm Last. Baumaschinen kamen keine zum Einsatz.



Abb. 2: Fertiggestellte Materialterrasse samt Aufforstung Anfang der 60-er Jahre (Quelle: WLV)

Fig. 2: Completed masonry terrace at the beginning of the 1960's (source: WLV)

Problemstellung

Bei günstigen Standorten und Umweltbedingungen können Mauern und Terrassen selbst nach einer Nutzungsdauer von 100 Jahren noch einen guten Zustand aufweisen (Margreth & Blum, 2011). Aufgrund des ausgesetzten Geländes und der zahlreichen Felsbänder, von denen sich Felsblöcke lösen können, ist auf der Schwager Gonde vermutlich mit einer verringerten Lebensdauer zu rechnen. Zudem sind Terrassenbauwerke nur dann voll wirksam, wenn sie die Schneedecke durchstoßen. Aufgrund der vielfach zu gering gewählten Werkhöhen und der mit Schnee ausgefüllten Stützfläche ist ihre abstützende und auffangende Funktion im Vergleich zu gegliederten Stützwerken meist stark eingeschränkt (Margreth, Burkard, & Buri, 2008).

Heute, rund 60 Jahre nach Baubeginn stellt sich somit die Frage, in welchem baulichen Zustand sich die Stein- und Materialterrassen auf der Schwager Gonde befinden und wie deren Wirkung hinsichtlich Lawinenanbrüchen (Gefahr von Oberlawinen) ist.

Um dies beantworten zu können wurde

im Rahmen einer Masterarbeit die Bewertung der Terrassen nach den Vorgaben der Praxisanleitung „Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen“ von Stefan Margreth und Martin Blum (2011) durchgeführt. Auch die Bewertung des Aufforstungserfolges und die Planung eines Sanierungs- bzw. Ergänzungskonzeptes samt deren Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung waren Teil der Masterarbeit, werden in diesem Artikel allerdings nicht näher ausgeführt.

Ergebnisse der Bauwerksbewertung

Zustand der Bauwerke

Zur Erfassung der Bauwerksschäden erfolgte eine visuelle Kontrolle der einzelnen Terrassen. Gleichzeitig wurde eine Bewertung gemäß ONR durchgeführt. Dabei wurden die Bauwerke in eine der vier Zustandsstufen (Bauwerk ist entbehrlich, guter, mangelhafter und schlechter Erhaltungszustand) gemäß ONR 24807 eingeordnet. Um die Bedeutung der Zustandsstufen konsistent zu halten, wurden dabei dieselben Nummern wie in der ONR 24803 verwendet, welche sieben

Zustandsstufen beinhaltet. Die Zustandsbeurteilung umfasst eine Prognose der Entwicklung der Standsicherheit und Funktionserfüllung in Abhängigkeit zu der Lebensdauer und den einwirkenden Prozessen. Eine Einteilung erfolgt dabei nach dem Zustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und dem Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden (ONR 24807).

Im Rahmen der Schadensbewertung zeigte sich, dass die 25 Steinterrassen einen durchaus guten baulichen Zustand aufweisen und vorwiegend durch Geröllablagerungen beeinträchtigt sind. Daraus lässt sich ableiten, dass die Bauwerke außerdem einen bestimmten Schutz gegen kleinere Steinschlagereignisse bieten. Wo nicht ausreichend Steine zur Errichtung von trockenge-mauerten Steinterrassen zur Verfügung standen, wurden gemischte Materialterrassen errichtet. Die 62 Materialterrassen sind mehrheitlich aufgrund

starker Setzungserscheinungen beeinträchtigt. Mehrere Materialterrassen wurden von Grundlawa-nen bereits hangparallel abgesichert. Auch Setzungen im Bereich der Terrassenkronen, welche im Schnitt 20 cm tief waren, konnten sehr häufig beobachtet werden. Hervorgerufen werden diese Schäden durch Schneedruck und Abschmelzwasser im Frühjahr. Daraus resultiert, dass diese Bauweise bestehend aus wechselnden Lagen von Steinen und Rasenziegeln oder Polstern von Zwergstrauchheiden nicht in der Lage ist, den Schneedruckkräften Stand zu halten.

In der folgenden Übersichtskarte (Abbildung 3) werden die Erhaltungszustände gemäß ONR farblich dargestellt. Die Grafik zeigt, dass sich die 25 weiß umrandeten Steinterrassen im Nordosten in einem wesentlich besseren Zustand als die Materialterrassen im südwestlichen Bereich der Schwager Gonde befinden.

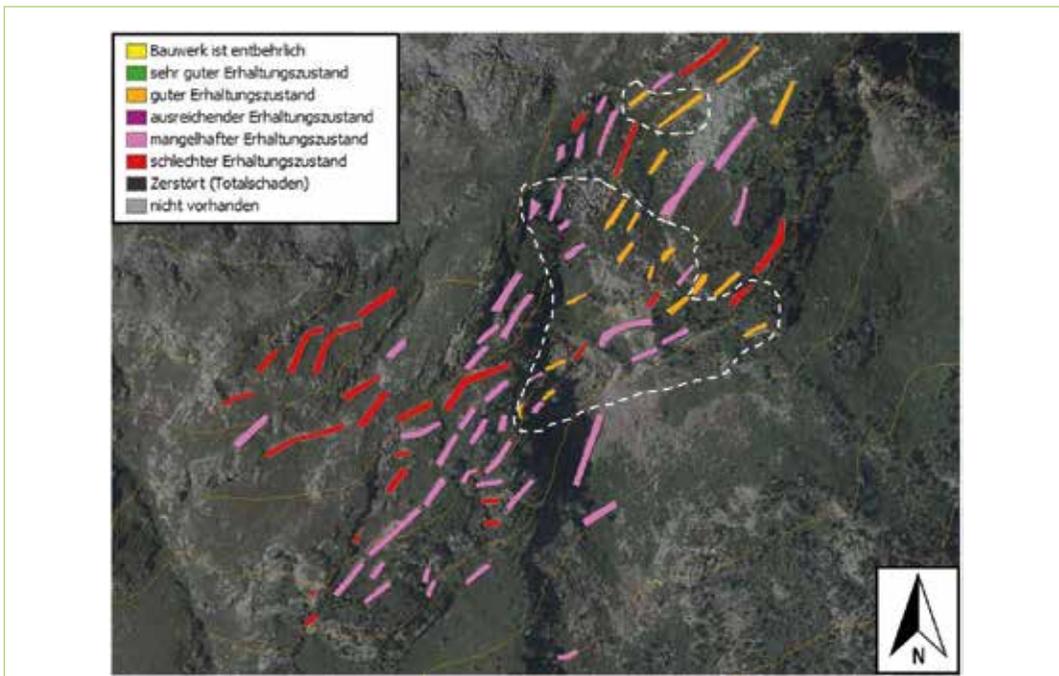


Abb. 3: Farbliche Darstellung der Erhaltungszustände der Steinterrassen (weiß umrandet) und der Materialterrassen gemäß ONR 24807

Fig. 3: Illustration of the structural conditions of stone terraces (white-rimmed) and masonry terraces according to ONR 24807

Wirkungsbeurteilung der Bauwerke

Als zentraler Aspekt im Beurteilungsschema von Material- und Mauerterrassen gilt die Wirkungsbeurteilung. Hierbei wird geprüft, ob die vorhandene Wirkung der Bauwerke ausreicht, um die geforderten Schutzziele zu erfüllen. In weiterer Folge wird beurteilt, ob von den Bauwerken gegebenenfalls eine negative Wirkung ausgehen kann, wie etwa Steinschlag durch Zerfall einer Mauer. Bei Terrassen ist wegen der häufig ungenügenden Werkhöhe meist der Fall des Anbruchs einer Oberlawine entscheidend. Um letztlich die Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine bestimmen zu können, müssen die effektiven Werkhöhen und die effektiven Werkabstände ermittelt werden (Margreth & Blum, 2011).

• Effektive Werkhöhen

Weil jede Terrasse beim Bau individuell an das Gelände angepasst wurde und nicht überall eine konstante, lotrechte Werkhöhe aufweist, wurde die Höhe

jeder Terrasse an mindestens zwei bis drei Stellen gemessen und daraus der Mittelwert gebildet. Mit der an jedem Terrassenstandort bestimmten Hangneigung wurde anschließend eine Reduktion der gemessenen Werkhöhe zur effektiven Werkhöhe ($H_{k,eff}$) durchgeführt. Bei einer Hangneigung unter 35° erfolgt dabei eine Reduktion durch Multiplikation mit dem Faktor 0,6 und über 35° Hangneigung mit dem Faktor 0,4.

Nach der Gegenüberstellung der effektiven Werkhöhen mit der für das Anbruchgebiet ermittelten extremen Schneehöhe (H_{ext}) gemäß Tabelle 1 zeigte sich, dass alle Bauwerke eine absolut ungenügende Bauwerkshöhe aufweisen. Eine Zuordnung zu dieser Kategorie findet dann statt, wenn die Differenz aus extremer Schneehöhe und effektiver Werkhöhe mehr als 2 Meter beträgt.

Beurteilung Werkhöhen		Kriterium
Absolut ungenügend (--)		$(H_{ext} - H_{k,eff}) > 2 \text{ m}$
Ungenügend (-)		$0 < (H_{ext} - H_{k,eff}) \leq 2 \text{ m}$
Genügend (+)		$H_{ext} \leq H_{k,eff}$

Beurteilung Werkabstände	Hangneigung	
	$< 40^\circ$	$> 40^\circ$
Ungenügend (-)	$L'_{eff} > 1,25 L'$	$L'_{eff} > 1,15 L'$
Knapp genügend (+/-)	$1.1 L' < L'_{eff} \leq 1,25 L'$	$1.05 L' < L'_{eff} \leq 1,15 L'$
Genügend (+)	$L'_{eff} \leq 1,1 L'$	$L'_{eff} \leq 1,05 L'$

Tab. 1: Beurteilung der effektiven Werkhöhen $H_{k,eff}$ und der effektiven Werkabstände L'_{eff} (Margreth & Blum, 2011)

Tab. 1: Evaluation of the effective construction heights $H_{k,eff}$ and distances L'_{eff} (Margreth & Blum, 2011)

• Effektive Werkabstände

Die Messung der effektiven Werkabstände (L'_{eff} = hangparallele Schrägdistanz in Falllinie) zwischen den bestehenden Terrassen wurde mit einem Laserentfernungsmessgerät (TruPulse 200) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Hangneigung wurden die gemessenen effektiven Werkabstände mit den erforderlichen Werkabständen (L) nach ONR 24806 verglichen und gemäß Tabelle 1 der entsprechenden Kategorie zugeordnet. Die Auswertung zeigte, dass knapp zwei Drittel der Bauwerke einen ungenügenden Werkabstand aufweisen. Zudem wurden die Terrassen nicht regelmäßig angeordnet, sondern je nach Geländegegebenheiten (Verflachungen) und Vorhandensein von Baumaterialien. Dies hat zu Folge, dass die Abstände sehr

stark variieren und keineswegs einer systematischen Verbauung gemäß derzeit geltenden Richtlinien entsprechen.

• Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine

Da die Werkhöhen erfahrungsgemäß unzureichenden sind, ist bei Terrassenbauwerken meist der Fall des Anbruchs einer Oberlawine maßgebend. Für das Interessensgebiet wurde die Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung (d_0) auf Grundlage der Publikation von Schellander (2004) bestimmt. Die Bestimmung der Anbruchmächtigkeit einer möglichen Oberlawine ($d_{0,R}$) wurde gemäß Tabelle 2 durchgeführt. Dabei legen die Ergebnisse aus der Beurteilung von Werkhöhe und Werkabstand fest, welche Formel zur Berechnung herangezogen wird. Im selben Zug kann für jede Terrasse die relevante Wirkung und die Wirkungsklasse (WK) ermittelt werden.

Beurteilung Werkhöhe	Beurteilung Werkabstand		Anbruchmächtigkeit Oberlawine $d_{0,R}$	WK	Rel. Wirkung	
Genügend (+)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	$d_{0,R} = 0$	1	Ja	
Genügend (+)	Ungenügend (-)		$d_{0,R} = 0,5 d_0$	2	Bedingt	
Ungenügend (-)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	$d_{0,R} = H_{\text{ext}} - H_{\text{K,eff}}$ und $0,5 d_0 \leq d_{0,R} < 0,75 d_0$	3	Bedingt	
Ungenügend (-)	Ungenügend (-)		$d_{0,R} = 0,75 d_0$	4	Nein	
Absolut ungenügend (--)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	Ungenügend (-)	$d_{0,R} = d_0$	5	Nein

Tab. 2: Bestimmung der Wirkungsklasse (WK) von Terrassen und der Anbruchmächtigkeit von Oberlawinen $d_{0,R}$ in Funktion der Werkhöhe, des Werkabstandes und der Anbruchmächtigkeit im Ausgangszustand d_0 (Margreth & Blum, 2011)

Tab. 2: Determination of the protective effect of the terraces and the slab thickness of surface-layer slab avalanches $d_{0,R}$ as function of construction height, distance and slab thickness in the initial state d_0 (Margreth & Blum, 2011)

Aufgrund der Tatsache, dass alle Terrassen der Schwager Gonde eine zu geringe Werkhöhe aufweisen und daher in die Kategorie „Absolut ungenügend“ eingestuft wurden, darf keine Reduktion der Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine vorgenommen werden. Der Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung d_0 entspricht damit der Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine $d_{0,R}$. Sämtliche Terrassen bieten demzufolge entsprechend der Bewertung nach Margreth & Blum (2011) keine relevante Schutzwirkung.

• Berechnung einer Jährlichkeit für die Verbauungsmaßnahmen

Erfahrungsgemäß kann davon ausgegangen werden, dass die historischen Bauwerke nicht für ein Ereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 150 Jahren ausgelegt wurden. Deshalb wurde im Umkehrschluss versucht aufzuzeigen, für welche Ereignisse einer bestimmten Jährlichkeit die Terrassen Schutz bieten.

Zu Beginn wurde hierfür eine extremwertstatistische Auswertung der Maximalschneehöhen mit Hilfe vom EVA+ Tool (Extreme Value Analysis enhanced) der ZAMG durchgeführt. Das Tool generiert eine Tabelle, aus der die Jährlichkeit und die dazugehörigen maximalen Schneehöhen abgelesen werden können. Da sich die gewählten Stationen in See im Paznauntal auf 1.040 m (HD) bzw. auf 1.070 m (FLIRI) Seehöhe befinden, wurden die Ergebnisse mittels Höhengradienten von jeweils 0,10 cm/m und 0,20 cm/m auf die Seehöhe der Schwager Gonde angepasst. Abschließend wurden die gemessenen Werkhöhen mit den angepassten Maximalschneehöhen verglichen und einer entsprechenden Jährlichkeit zugeordnet.

Die Auswertung zeigt, dass fast alle Bauwerke einem Ereignis mit einer Wiederkehrdauer von einem Jahr zugeordnet werden müssen. Teilweise liegen die Bauwerkshöhen deutlich unter der Maximalschneehöhe eines jährlichen Ereignisses. Lediglich einzelne Terrassen sind für größere Ereignisse ausgelegt. Aufgrund der sehr geringen Werkhöhen wirken sich die unterschiedlichen Höhengradienten nur unwesentlich auf die Zuordnung zu einer Jährlichkeit aus. Die Auswertungen der beiden Messstationen (FLIRI und HD) unterscheiden sich zudem nur gering, was auf eine hohe Zuverlässigkeit der beiden langen Messreihen schließen lässt. Das Ergebnis wurde durch Bilder aus Befliegungen und den Gegenhangbeobachtungen vergangener Jahre bekräftigt. Auch in durchaus schneearmen Wintern konnten nur mehr einzelne Terrassen die Schneedecke durchstoßen.

Resümee

Die Stein- und Materialterrassen sind interessante Ergebnisse einer traditionellen Bauweise und stellen eine wesentliche Etappe in der Entwicklung des technischen Lawinenschutzes dar. Aufgrund der fehlenden Erschließung der Schwager Gonde wurde damals die Terrassenvariante gegenüber einer Verbauung durch Stahlschneebrücken bevorzugt. Eine Anbruchverbauung ist jedoch nur dann voll wirksam, wenn die Bauwerke die Schneedecke durchbrechen. Die Wirkungsbeurteilung zeigte, dass die Werkhöhen zu gering und die Werkabstände zu groß gewählt wurden. Bei einem Großteil der Terrassen sind die Bauwerkshöhen deutlich niedriger als die Maximalschneehöhe für ein jährlich wiederkehrendes Ereignis. Die Bilder aus den Befliegungen und den Gegenhangbeobachtungen vergangener Jahre bestätigen dieses Ergebnis.

Die Terrassen wurden je nach Geländegegebenheiten und Vorhandensein von Baumaterialien angeordnet. Dies hat zu Folge, dass die Abstände sehr stark variieren und keineswegs einer systematischen Verbauung gemäß derzeitigen Richtlinien entsprechen. Des Weiteren zeigte die Schadensbewertung, dass sich die Steinterrassen in einem recht guten Zustand befinden und lediglich durch Geröllablagerungen beeinträchtigt sind. An den Materialterrassen haben die vergangenen 60 Jahre deutliche Spuren hinterlassen. Das Hauptproblem sind hierbei die starken Setzungserscheinungen.

Schlussendlich muss festgehalten werden, dass die historischen Terrassen auf der Schwager Gonde im Sinne der Bewertung von Margreth und Blum (2011) keine relevante Schutzfunktion haben. In der derzeit gültigen Fassung des Gefahrenzonenplanes für Kappl aus dem Revisionsjahr 2016 wurden die Verbauungsmaßnahmen nicht berücksichtigt. Entsprechend den Ergebnissen aus der Zustandsbewertung und der Wirkungsbeurteilung scheint diese Entscheidung durchaus gerechtfertigt zu sein.

Das bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass die Terrassen überhaupt keine Wirkung haben bzw. umsonst errichtet wurden. Nach der Fertigstellung der Verbauungsmaßnahmen waren noch einige Lawinenabgänge zu verzeichnen. Allerdings beschränkten sich die Schäden überwiegend auf Waldbestände und Kulturgründe. Ohne die historische Verbauung auf der Schwager Gonde wären die negativen Auswirkungen, auch für den Siedlungsraum, vermutlich schwerwiegender gewesen.

Die Terrassenverbauung beeinflusst maßgeblich die Gleit- und Kriechprozesse der Schneedecke. Die Bauwerke reduzieren die schneemechanischen Kräfte und tragen dadurch wesentlich zum Erfolg der Aufforstung bei. Unterhalb einer

Seehöhe von circa 1.950 m besitzt der Wald bereits die volle Lawinenschutzfunktion. An günstigen Standorten reicht der lawinenschutzwirksame Wald sogar bis auf eine Seehöhe von rund 2.150 m.

Umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an den Terrassen hätten jedoch nur einen unwesentlichen Einfluss auf deren Wirkung, da die Werkhöhen eindeutig zu gering sind. Erst durch die Errichtung einer flächigen Stützverbauung entsprechend den derzeit gültigen Richtlinien könnte ein dauerhafter Schutz des Siedlungsbereiches und der Verkehrswege im Tal erzielt werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Patrick Josef Siegele
Forsttechnischer Dienst für Wildbach
und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberes Inntal
Langgasse 88, 6460 Imst
patrick.siegele@die-wildbach.at

Literatur / References:

AULITZKY, H., FISCHER, A., FORSTNER, A., HANAUSEK, E., HOFFMANN, F., KETTL, W., KONRAD, A. (1984). 100 Jahre Wildbachverbauung in Österreich. Universitätsdruckerei Klagenfurt: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

MARGRETH, S., & BLUM, M. (2011). Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen, Anleitung für die Praxis. Bundesamt für Umwelt. Bern: Umwelt-Wissen Nr. 1109.

MARGRETH, S., BURKARD, A., & BURI, H. (2008). Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Schweiz: Schweizerische Eidgenossenschaft.

ONR 24806. (2011). Permanenter technischer Lawinenschutz - Bemessung und konstruktive Ausgestaltung. Heinestraße 38, 1020 Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON).

ONR 24807. (2010). Permanenter technischer Lawinenschutz - Überwachung und Instandhaltung. Heinestraße 38, 1020 Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON).

RUDOLF-MIKLAU, F., & SAUERMOSENER, S. (2011). Handbuch technischer Lawinenschutz. Berlin: Ernst und Sohn.

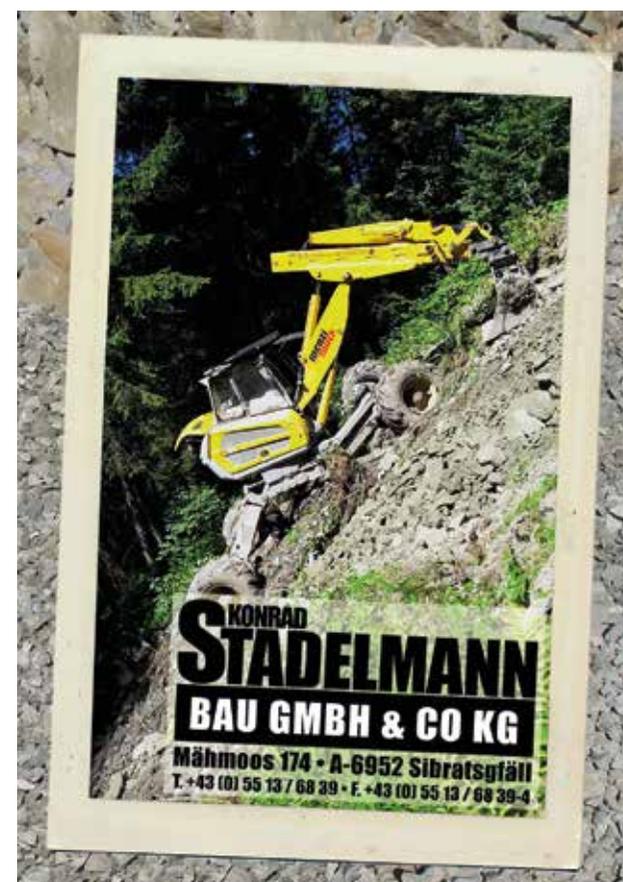
RÖDEL, B. (2016). Die Schneeräumung auf der Arlbergbahn (Teil 1). <http://www.arlbergbahn.at/schneeraeumung-01.html> (Zugriff, am 15.10.2016)

SCHELLANDER, H. (2004). Die Bestimmung von mittleren Anbruchhöhen für Lawinen in Tirol. ZAMG. SELVA. (1972). Lawinenschutz in der Schweiz. Bahnhofstraße 8, 7000 Chur: Bündnerischer Forstverein und SELVA.

STRELE, G. (1950). Grundriß der Wildbach- und Lawinenverbauung (Vol. 2). Wien: Springer Verlag.

WLV. (1958). Lawinenverbauung Kappl im Paznauntal, Detailprojekt für das Gebiet V, Lawinen bei Glittstein. Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Innsbruck.

WLV. (1963). Kollaudierungsoperat 1963 für die Lawinenverbauung Kappl (Lawinen bei Glittstein); Baujahre 1954-1961: Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Tirol; Gebietsbauleitung Imst.



LUKAS SCHROLL, MATTHIAS RAUTER, WOLFGANG FELLIN, JAN-THOMAS FISCHER, MATTHIAS GRANIG

Zur Berechnung von Lawinendrücken aus Bauwerksschäden

Determination of avalanche pressures from destroyed structures

Zusammenfassung:

Die Versagensanalyse zerstörter Strukturen, wie z.B. eines Hauses, ist ein beliebtes Verfahren zur Abschätzung der Schadwirkung von Lawinen. Hier werden die Ergebnisse von Abschätzungen des für die Zerstörung notwendigen Druckes für ein bekanntes Beispiel aus Galtür zusammengefasst. Diese mit verschiedenen, plausiblen mechanischen Modellen ermittelten Drücke streuen stark. Die Analyse von Schadensfällen ist deshalb nur bedingt für die Optimierung von Lawinensimulationen geeignet.

Stichwörter: Zerstörungsdruck, Statik, Lawinensimulation

Abstract:

The failure analysis of damaged structures, e.g. a destroyed building, is a popular approach for estimating the damage potential of avalanches. The results of such an estimate are summarized here for a well-known example in Galtür. The analysis shows considerable variations in pressures resulting from different mechanical model approaches. Thus, the analysis of damaged structures is of limited suitability for the optimization of avalanche simulations.

Keywords: Destructive pressure, structural analysis, avalanche simulation

Einleitung

Die Ermittlung der Druckwirkung von Lawinen ist ein zentraler Bestandteil einer Gefahrenzonenplanung und der entsprechenden Bemessung von Bauwerken. Lawinendrücke werden heutzutage oft mittels Computersimulationen abgeschätzt. Die Genauigkeit von Simulationsergebnissen ist aber begrenzt, und vor allem von in der Berechnung verwendeten Parameter abhängig. Um die notwendigen Parameter möglichst genau zu wählen, eignen sich in erster Linie Vergleiche zwischen rechnerischen und gemessenen Drücken. Da allerdings bis auf wenige Ausnahmen, wie die großskaligen Lawinentestgelände Vallée de la Sionne (Sovilla et al., 2008) oder Ryggfönn (Gauer et al., 2008), kaum Messungen existieren, hat man sich schon sehr früh auf die Rückrechnung von Bauwerksschäden gestützt, z.B. Voellmy (1955), Tschom (1984), Tschom (1986) und Tschom (2000). Was man von solchen Berechnungen erwarten kann, wird im Folgenden ausgeführt.

Lawinendruck und Zerstörungsdruck

Der Lawinendruck bzw. dynamische Druck wird aus Prozessvariablen der Lawine (Schneedichte, Geschwindigkeit, etc.) ermittelt und ist abhängig von der Zeit. Deshalb wird der größte Druck über den Zeitraum des Abgangs einer Lawine an einer bestimmten Stelle als dynamischer Spitzendruck bezeichnet. Als Lawinendruck wird üblicherweise sehr vereinfacht der Staudruck eines mit

der Geschwindigkeit vertikal auf ein starres Hindernis treffenden Stromes aus inkompressiblem Material mit der Dichte ρ definiert (ONR:24805, 2010). Der Prozess des Anprallens einer Lawine auf ein Bauwerk ist sehr komplex und hängt neben den Eigenschaften des Lawinenmaterials auch von den Eigenschaften der betroffenen Struktur ab. Nur im einfachsten Fall einer starren Struktur, eines inkompressiblen Lawinenmaterials und bei stationärer senkrechter Anströmung ist der Staudruck nach Gl. (1) der Druck auf das Bauwerk.

$$p = \rho v^2 \quad \text{Gl. (1)}$$

Es ist allerdings bekannt, dass in den ersten Millisekunden wesentlich höhere Drücke auftreten können (Rudolf-Miklau und Sauer Moser, 2011) und dass Lawinendrücke große Variationen in Abhängigkeit vom Fließtyp der Lawine zeigen (Sovilla et al., 2016). Der Zerstörungsdruck wird hingegen nicht mit Eigenschaften der Lawinen verbunden, sondern aus dem rechnerischen Versagen eines Bauteiles oder einer komplexen Struktur wie einem Haus abgeschätzt. Zur Berechnung dieses Zerstörungsdruckes benötigt man unter anderem den Versagensmechanismus der Struktur und die Abmessungen sowie die Materialkennwerte der beteiligten Bauteile. Für eine Berechnung eines Zerstörungsdruckes durch Lawinen müssen zusätzlich Annahmen über die Anströmrichtung und die Fließhöhe der Lawine sowie die Druckverteilung in den angeströmten Flächen gemacht werden.

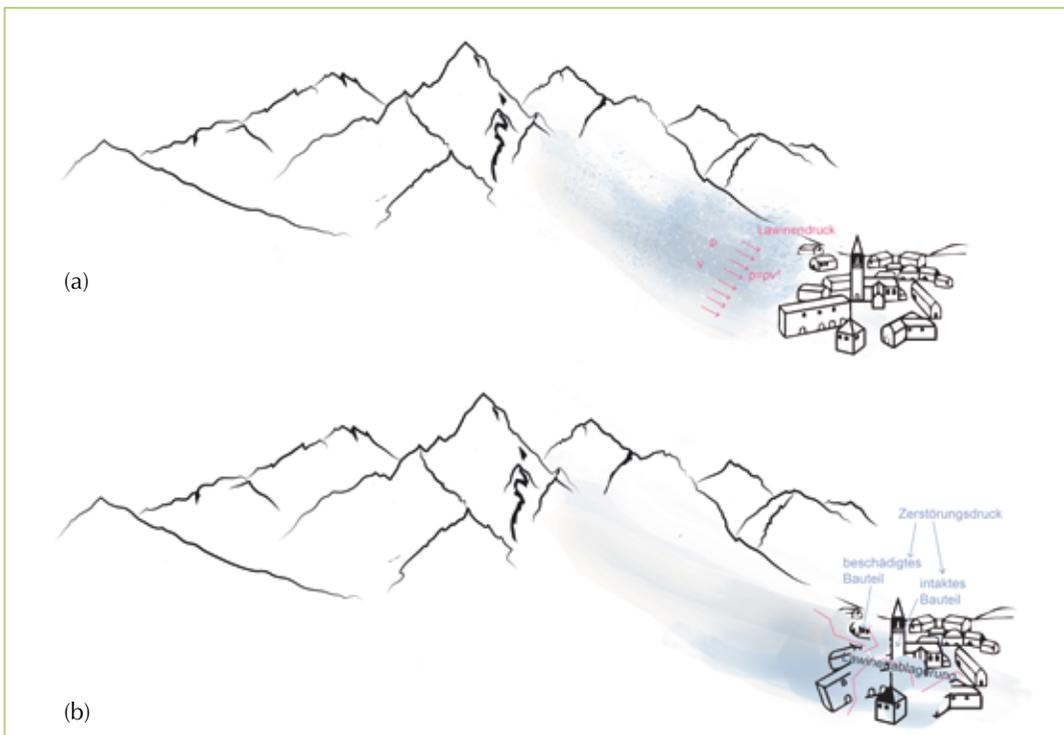


Abb. 1: Veranschaulichung der Begriffe (a) Lawinendruck und (b) Zerstörungsdruck.

Fig. 1: Sketch of (a) avalanche pressure and (b) destructive pressure.

Nach einem Lawinenereignis kann der Zerstörungsdruck von zerstörten und intakten Bauteilen ermittelt werden, siehe Abb. 1. Dieser Zerstörungsdruck ist aber in der Regel nicht gleich dem Lawinendruck. Wurde ein Bauteil durch eine

Lawine zerstört, war der Lawinendruck mindestens so groß, sehr wahrscheinlich größer als der Zerstörungsdruck. Blieb ein Bauteil intakt war der Zerstörungsdruck jedenfalls kleiner als der Lawinendruck, vgl. Abb. 2.

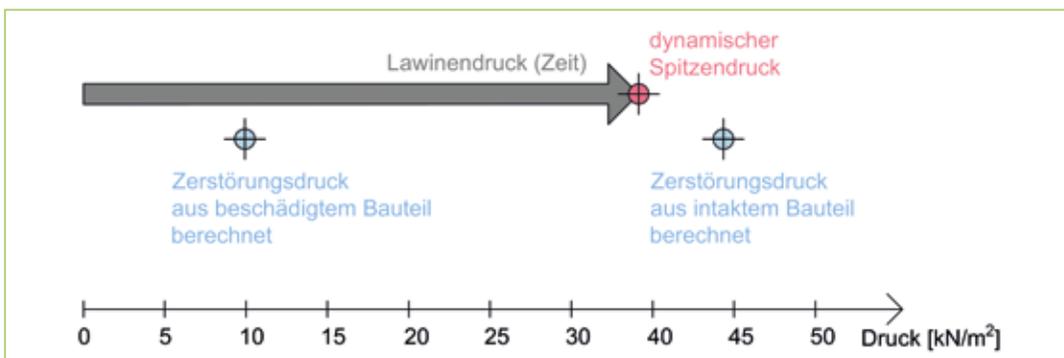


Abb. 2: Lawinendruck bzw. dynamischer Spitzendruck und Zerstörungsdruck.

Fig. 2: Avalanche pressure, peak pressure and destructive pressure.

Ermittlung des Zerstörungsdruckes

Hier werden exemplarisch die wesentlichen Modellierungsannahmen und die Ergebnisse der Ermittlung des Zerstörungsdruckes eines Hauses im Auslauf der Wasserleiterlawine in Galtür 1999 (Haus Zangerl) dargestellt. Details dazu, weitere detaillierte Rückrechnungen, sowie eine Zusammenstellung der Ergebnisse von anderen Rückrechnungen finden sich in Schroll (2015).

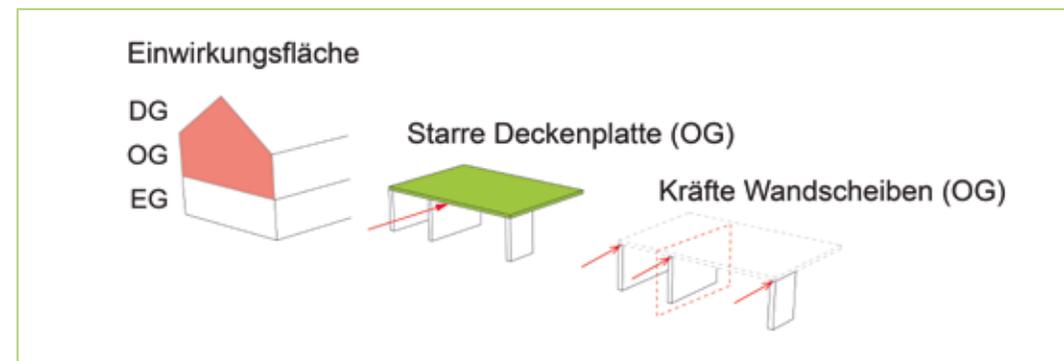


Abb. 3: Annahmen für die Berechnung des Zerstörungsdruckes.

Fig. 3: Assumptions for the calculation of the destructive pressure.

Versagensmechanismus

Zunächst muss die angeströmte Fläche abgeschätzt werden. Bei dem Lawinenereignis in Galtür wurde ein betroffenes Haus von der Lawine am Eck getroffen und dabei das komplette Obergeschoß zerstört. Im konkreten Fall wurde eine Anströmrichtung von etwa 45° rekonstruiert. Für die Rückrechnung des Zerstörungsdruckes wurde vereinfacht die gesamte Außenwandfläche des Ober- und Dachgeschoßes als Einwirkungsfläche angesetzt (Tschom, 2000), und dort eine Gleichverteilung des Druckes angenommen, vgl. Abb. 3. Es wurde weiter angenommen, dass die Außenwände den Druck unbeschädigt als Linienlast in die starre Deckenplatte einleiten konnten, und diese Decke die Kräfte auf die darunter liegenden

Wandscheiben verteilen konnte. Als Bruchursache für das System wurde dann das Versagen der am stärksten belasteten mittleren Wandscheibe definiert. Damit ist der Versagensmechanismus festgelegt. Es sind aber auch andere Szenarien denkbar, z.B. ein Eindringen der Außenwände, ein nachfolgendes Einströmen der Lawine in das Gebäude und damit eine völlig andere Beanspruchung der Wandscheiben.

Versagen der Wandscheibe

Für das Versagen der Wandscheibe sind die Geometrie, die Lagerungsbedingungen, die Art der Lasteinleitung und vor allem das Material der Wand entscheidend. Hier handelt es sich um eine Ziegelwand. Eine realitätsnahe Berechnung des Versagens einer aus Ziegeln und Mörtel bestehenden Wand ist zwar möglich (Furtmüller und Adam, 2011), allerdings numerisch sehr aufwändig. Darüber hinaus müssen für eine solche Berechnung Materialkennwerte von Ziegeln und Mörtel genau bekannt sein. Diese können im Einzelfall jedoch nur durch aufwendige Laborversuche an Proben des zerstörten Bauteiles bestimmt werden und fehlen daher bei üblichen Rückrechnungen. Um trotzdem Aussagen treffen zu können, bedient

man sich meist den in Normen – derzeit ÖNORM EN 1996-1-1 (2013) – angegeben vereinfachten Nachweisen und Materialkennwerten.

Allerdings sind auch hier große Unsicherheiten zu erwarten, denn oftmals ist beispielsweise nicht bekannt, welche Festigkeit der verwendeten Mörtel aufweist. Selbst wenn der Mörteltyp bekannt ist, kann die Festigkeit zum Zeitpunkt der Zerstörung wesentlich höher oder geringer sein als die für diesen Mörteltyp rechnerisch eingesetzte Festigkeit. Vom Hersteller werden lediglich Mindestfestigkeiten angegeben, welche der Mörtel nach 28 Tagen Aushärten erreicht haben muss. Bis zu dreifach höhere Festigkeiten sind leicht im Bereich des Möglichen (Jäger, 2007). Geringere Festigkeiten können auftreten, wenn bei der Errichtung nicht ordnungsgemäß gearbeitet wurde.

Zerstörungsdruck aus Wandversagen nach Normmodell

Unter Anwendung der Regeln der Statik, lässt sich aus dem Versagen der mittleren Wandscheibe ein Zerstörungsdruck abschätzen (Tschom, 2000, Schroll, 2015). Die in den Normen für eine Bemessung festgelegten Teilsicherheiten auf Widerstand

und Einwirkung werden hier nicht angewendet, um eine charakteristische Bruchlast ohne ingenurmäßige Sicherheit zu erhalten. Durch die Anwendung verschiedener Regelwerke, hier auch durch die Änderung des Sicherheitskonzeptes und damit der Normen in den letzten Jahren ergeben sich Unterschiede des berechneten Zerstörungsdruckes. So berechnete Tschom (2000) den Zerstörungsdruck für das Obergeschoß zu $19,4 \text{ kN/m}^2$ und Schroll (2015) denselben auf Basis der aktuellen Normen zu $10,8 \text{ kN/m}^2$.

Zerstörungsdruck aus
Finite Elemente Berechnung der Wand

Weiters wird in Schroll (2015) eine vereinfachte Finite Elemente Berechnung ausgeführt. Hier wird die Mauer nicht durch diskrete Ziegel mit Mörtelfugen, sondern mit einem verschmierten Material mit einem Mohr-Coulomb-Versagenskriterium modelliert. Die Parameter für das Versagenskriterium werden aus den von Tschom (2000) angenommenen Mörtelfestigkeiten berechnet. Dabei ergeben sich realistische Versagenszonen im Vergleich zu den klaffenden Fugen einer auf Schub versagenden Ziegelwand, Abb. 4.

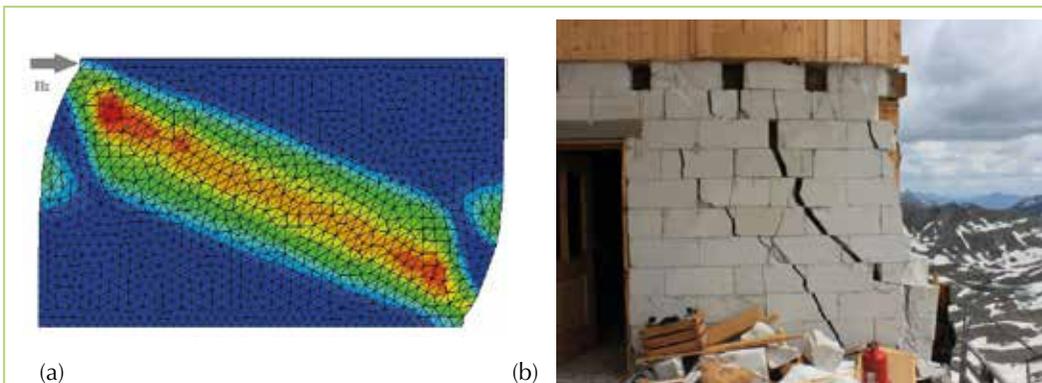


Abb. 4: Versagen einer Wand: (a) maximale plastische Verzerrungen in der FE-Berechnung bei biegesteifer Platte, (b) Wandscheibenversagen nach Lawineneignis bei der Stettiner Hütte, aus Platzer (2014).

Fig. 4: Failure of a wall: (a) plastic strains computed with a finite element calculation, (b) damaged wall of Stettiner hut, from Platzer (2014).

Allerdings ist die Grenzlast stark abhängig von der Biegesteifigkeit der Geschoßplatte und damit auch vom Verbund der Wand mit dieser. Als zwei Grenzwerte wurden eine biegesteife und eine biege-weiche Platte, jeweils mit vollständigem Verbund berechnet. Als Kontrolle wurde eine Berechnung mit zwei Starrkörpern mit einer Scherfuge in der Neigung der Scherzone der FE-Berechnung durchgeführt. Die Ergebnisse sind gemeinsam mit den Normberechnungen in Abb. 5 zusammengefasst.

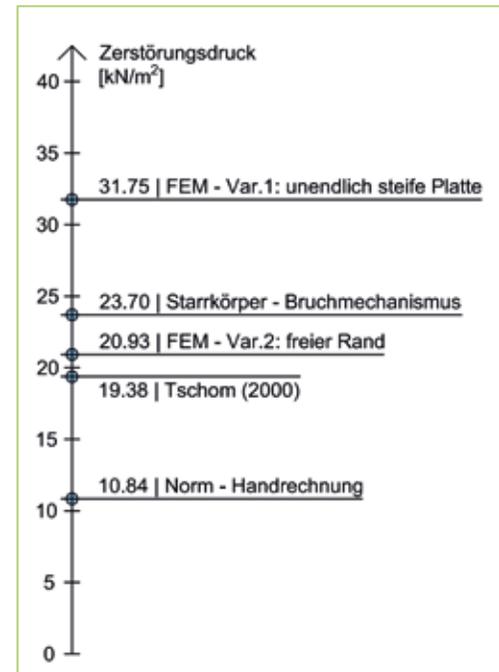


Abb. 5: Werte des Zerstörungsdruckes für verschiedene Berechnungen.

Fig. 5: Destructive pressures for different approaches.

Bewertung der Ergebnisse

Die Schwankung der Abschätzungen des Zerstörungsdruckes, selbst bei möglichst gleichen Annahmen für Geometrie und Materialkennwerte ist für die verschiedenen Modelle groß, in etwa ein Faktor 3. Rechnet man noch die möglichen Schwankungen der Materialkennwerte dazu,

kann sich das leicht zu einem Faktor 9 ausweiten. Zusätzlich ist damit nur festgelegt, dass der Lawinendruck mindestens der Zerstörungsdruck war, also mindestens 10 bis 90 kN/m^2 .

Schlussfolgerung

Im hier exemplarisch dargestellten Beispiel eines durch eine Lawine schwer beschädigten Hauses ergeben sich große Streuungen des abgeschätzten Zerstörungsdruckes. Gründe für die Streuung sind einerseits relativ große Unsicherheiten bei den Eingangsparametern der Rechnung, wie z.B. den oft nur geschätzten Festigkeiten der verbauten Materialien. Andererseits ist aber meistens auch der genaue Vorgang des Versagens bei komplexen Strukturen unbekannt.

Rückrechnungen von Zerstörungsdrücken eignen sich deshalb zwar gut zur Abschätzung der Größenordnung des Lawinendruckes, aber nur bedingt zur Kalibrierung von Lawinensimulationen.

Danksagung: Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) im Rahmen des Projektes bDFA – beyond dense flow avalanches. Quantifying the destructive reach of snow avalanches beyond the dense flow regime.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Lukas Schroll
Negrellistraße 18, 6020 Innsbruck
l.schroll@icloud.com

Dipl.-Ing. Matthias Rauter
Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau
Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck
Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck
matthias.rauter@uibk.ac.at

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Fellin
Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau
Institut für Infrastruktur
Universität Innsbruck
Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck
wolfgang.fellin@uibk.ac.at

Dipl.-Phys. Dr. Jan-Thomas Fischer
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Schnee und Lawine
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1, 6020 Innsbruck
jt.fischer@bfw.gv.at

Dipl.Ing. Matthias Granig
Stabstelle Schnee und Lawinen
Wildbach- und Lawinerverbauung
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
matthias.granig@die-wildbach.at

Literatur / References:

- FURTMÜLLER T., ADAM C. (2011). Numerical modeling of the in-plane behavior of historical brick masonry walls. *Acta mechanica*, 221 (1-2): 65-77.
- GAUER P., LIED K., KRISTENSEN K. (2008). On avalanche measurements at the norwegian full-scale test-site ryggfönn. *Cold Regions Science and Technology*, 51: 138-155.
- JÄGER W. (2007). *Mauerwerk Kalender 2007*. Ernst und Sohn Berlin.
- ÖNORM EN 1996-1-1 (20013). Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk (konsolidierte Fassung). Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 2013-01-01.
- ONR 24805 (2010). *Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen*. Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 2010-06-01.
- PLATZER M. (2014). *Neubau bzw. Wiederaufbau der Stettiner Hütte, Lawinen - Gutachten. are - alpine risk engineering*.
- RUDOLF-MIKLAU F., SAUERMOSENER S. (2001). *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Ernst und Sohn Berlin.
- SCHROLL L. (2015). *Schadwirkung von Lawinen, Diplomarbeit, Universität Innsbruck*. <http://diglib.uibk.ac.at/ulbtirolhs/download/pdf/812555>
- SOVILLA B., SCHAER M., KERN M., BARTELT P. (2012). Impact pressures and flow regimes in dense snow avalanches observed at the Vallée de la Sionne test site. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 113(F1):1-14(F01010)

SOVILLA B., FAUG T., KÖHLER A., BAROUDI D., FISCHER J.-T., THIBERT E. (2016). Gravitational wet-avalanche pressure on pylon-like structures. *Cold Regions Science and Technology* 126:66-75.

TSCHOM H. (1984). Rückrechnungen des Zerstörungsdruckes bei der Gidis-Portrinnerlawine, Moosbachlawine, Madleinlawine, Schiltlawine. Interne Unterlagen der Stabstelle Schnee und Lawinen (SSL) der WLV.

TSCHOM H. (1986). Rückrechnungen des Zerstörungsdruckes bei der Verwalllawine. Interne Unterlagen der Stabstelle Schnee und Lawinen (SSL) der WLV.

TSCHOM H. (2000). Rückrechnungen des Zerstörungsdruckes bei der Wasserleiterlawine mit nachvollziehbarem Berechnungsbeispiel. Interne Unterlagen der Stabstelle Schnee und Lawinen (SSL) der WLV.

VOELLMY A. (1955). Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweizerische Bauzeitung*, 73(12,15,17,19): 159-165, 212-217, 246-249, 280-285.







Lösungen für die Geologie/Geotechnik Temporäre Maßnahmen oder dauerhafte Überwachung von Massenbewegungen, Brücken, Straßen oder Seilbahnen. Messen, Aufzeichnen und Sichern mit Sensoren und Anlagen von SOMMER MESSETECHNIK. www.sommer.at

Spezialsensorik · Anlagenbau · Systemintegration · Beratung · Planung



SOMMER MESSETECHNIK
Straßenhäuser 27, A 6842 Koblach / Vorarlberg
Tel.: +43 5523 55989 | office@sommer.at | www.sommer.at

KORBINIAN SCHMIDTNER, RUDOLF SAILER, WOLFGANG FELLIN,
JAN-THOMAS FISCHER, MATTHIAS GRANIG, KARL-MICHAEL HÖFERL

Praktische Anwendung von Lawinensimulationen – der Faktor Mensch

Application of avalanche simulation models – the human factor

Zusammenfassung:

In den letzten Jahren haben sich Lawinensimulationsmodelle als ein Standardinstrument im modernen Gefahrenmanagement etabliert. Mit ihnen lassen sich Aussagen über die räumlichen Ausmaße und Intensitäten einer Lawine treffen. Lawinenmodelle repräsentieren wie alle Modelle in vereinfachter Weise die Realität, wobei bestimmte Aspekte des zu betrachtenden Systems berücksichtigt und andere vernachlässigt werden. Maßgeblich ist das Ergebnis abhängig von der zugrundeliegenden Modelltheorie, deren Implementierung, den Eingangsvariablen und Randbedingungen, welche alle mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind. Angesichts dieser Unsicherheiten müssen die Ergebnisse solcher Simulationen eingehend analysiert werden, um nützliche Informationen über den Prozessbereich der Lawine zu gewinnen. Insbesondere die Wahl der Eingangsvariablen und die Umsetzung der Ergebnisse unterliegt individuellen subjektiven Kriterien. Daher ist es äußerst interessant den Simulationsprozess aus der Sicht der Anwenderinnen und Anwender zu betrachten. Zu diesem Zwecke wurde im Rahmen des Projektes bDFA eine internationale Online-Umfrage unter Lawinenexperten durchgeführt. Aus der Umfrage lässt sich folgende Diskrepanz erkennen: Eingangsparametern werden relativ große Unsicherheiten mit mäßig bis starkem Einfluss auf das Simulationsergebnis zugeschrieben, aber gleichzeitig werden die betreffenden Ergebnisse als recht verlässlich erachtet. Hier kommt die Bedeutung des Gesamtprozesses einer Simulation zum Ausdruck. Es werden demnach verschiedene Annahmen und Szenarien getestet, woraufhin die Ergebnisse unter Zuhilfenahme zusätzlicher Informationen abgeglichen werden. Das Endresultat dieses komplexen Prozesses erscheint dann als plausibles Simulationsergebnis. Weiters wurde in der Online-Umfrage abgefragt, welche Lawinendrucke die Experten für ein Bauwerk aus den in einem Praxisbeispiel enthaltenen Simulationsergebnissen ableiten. Die Interpretation der Befragungsergebnisse lässt den Schluss zu, dass diese als Belastungen für das Bauwerk angegebenen Drücke stark an die jeweiligen national geltenden Druckbereiche, welche den Gefahrenzonen zugrunde gelegt werden, ausgerichtet wurden.

Stichwörter: Lawinensimulation, Lawinenmodellierung, Expertenbefragung

Abstract:

In recent years, numerical avalanche simulations have become a standard approach for modern hazard management. They allow an estimation of the spatial extend as well as of the intensity of an avalanche. Avalanche models are a simplified representation of the real phenomenon as every other model, i.e. certain aspects or effects are modelled others are neglected. The result of an avalanche simulation depends on the underlying model theory, its numerical implementation, the input variables and boundary conditions, which are all subject to certain errors and uncertainties. According to these uncertainties, model users are in charge to draw useful information on the avalanche process from their simulations. Hence, it seems worthwhile to have a closer look at the simulation strategy from the application point of view. For that reason, an international online survey among avalanche experts has been conducted within the framework of the bDFA project. From that survey, a discrepancy could be identified. Model input parameters are considered to show high uncertainties and a fairly strong influence on the model result. However, the results are considered to be reliable. This finding highlights the importance of the simulation strategy and the way how the experts employ simulations. The credibility of the simulations is the result of a comprehensive study, where simulations with different assumptions are computed and the various model results are compared with supplemental data. Furthermore, the survey posed the question on the avalanche pressure acting on a building, which the experts should determine from a practical example with three different simulation results. It seems that the resulting pressures are aligned to the pressure limits of the national hazard maps more than to the simulation model results.

Keywords: Avalanche simulation, avalanche modelling, expert survey

Einleitung

Mittlerweile gehört der Einsatz von Lawinensimulationen zum Stand der Technik im Naturgefahrenmanagement (Granig 2012). Simulationsergebnisse bilden eine wichtige Grundlage für die Ausweisung von Gefahrenzonen (Arnalds et al. 2004, Sauermoser 2006), Vulnerabilitätsanalysen und Risikoabschätzungen von Gebäuden, Personen und Verkehrswegen (Barbolini et al. 2004a, Barbolini et al. 2004b, Cappabianca et al. 2008, Fuchs et al. 2005, Bründl et al 2004) sowie für die Planung von permanenten und temporären Maßnahmen (Schlicher et al 2011, Sailer und Schaffhauser 2008). Lawinensimulationen gehören zu

den entscheidenden Innovationen im technischen Lawinenschutz (Sauermoser und Rudolf-Miklau 2011). Angesichts dieser Entwicklung scheint es interessant, den Arbeitsprozess, in welchem Lawinensimulationen eingebettet sind, genauer zu untersuchen und letztendlich der Frage nachzugehen, inwieweit sich aus Computersimulationen neue Kenntnisse über den Lawinenprozess gewinnen lassen bzw. zu Fortschritten in der Gefahrenzonenplanung beitragen. Diese Frage lässt sich nicht allein aus einer rein mathematischen oder modelltheoretischen Perspektive heraus beantworten, sondern reicht in den gesamten Simulationsprozess (Winsberg 2001) hinein. Insofern sind Computersimulationen mehr als eine reine Technik zur Verarbeitung großer Datenmengen,

sondern sie umfassen ein komplexes Zusammenspiel aus Modellbildung, Implementierung, Anwendung, Auswertungen, Interpretationen und Schlussfolgerungen mit dem Ziel eine Modelltheorie in spezifisches Wissen über einen physikalischen Prozess – beispielsweise Lawinen – zu transformieren (Winsberg 1999).

Um einen Einblick in die praktische Anwendung von Lawinensimulationsmodellen zu gewinnen, wurde innerhalb des von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Rahmen des Earth System Sciences (ESS) Programms geförderten Projektes bDFA (beyond Dense Flow Avalanches) eine Online-Umfrage unter internationalen Lawinenexperten durchgeführt. Hierbei sollte ein Überblick darüber gewonnen werden, i) wie Simulationsmodelle in der Praxis angewendet werden, ii) welche Unsicherheiten und Nutzen die Anwendung von Simulationsmodellen mit sich bringt, sowie iii) wie deren Einfluss auf die Gefahrenbeurteilung einzuschätzen ist. In diesem Artikel sollen insbesondere zwei wichtige Ergebnisse der Umfrage präsentiert werden. Dies betrifft zum einen die Einschätzung der Experten bezüglich der Eingangsdaten, Modellparameter und Simulationsergebnisse. Zum anderen wird

Modell	Häufigkeit der Verwendung [%]	
RAMMS	53	Tab. 1: Gängige Modelle zur Lawinensimulation. Die Häufigkeit der Verwendung gibt die durchschnittliche Verwendung in Prozent von der Gesamtzahl aller Lawinenbeurteilungen an.
SamosAT	21	
Alpha-Beta	21	
AVAL 1D	15	
Voellmy-Salm	-	
Elba+	11	Tab. 1: Prevalent avalanche simulation tools. The frequency of the usage is the average value as percentage of the total number of avalanche assessments.
PCM	2	
Andere	~2	

diskutiert, inwieweit Simulationsergebnisse eines Praxisbeispiels bei der Dimensionierung von Gebäuden unterschiedlich beurteilt werden und welchen Einfluss nationale Rahmenbedingungen auf die Interpretation von Simulationsergebnissen haben können.

Ausgewählte Ergebnisse der Online-Umfrage

Insgesamt nahmen 51 Vertreter aus 13 verschiedenen Nationen mit einer überwiegenden Mehrheit aus Österreich und der Schweiz an der Umfrage teil. Dabei gaben etwa 92 % der Befragten an Lawinensimulationsmodelle zu benutzen. 35 % der Befragten stammen dabei aus dem privatwirtschaftlichen Sektor (z.B. Ziviltechniker, Ingenieurbüros), 43 % aus dem öffentlich-rechtlichen Bereich sowie 22 % aus Universitäten oder privaten Forschungseinrichtungen. Einen Überblick über die eingesetzten Modelle bei der Gefahrenbeurteilung gibt Tabelle 1.

Überdurchschnittlich häufig werden die Modelle RAMMS, SamosAT und Alpha-Beta sowie die Kombinationen RAMMS – AVAL 1D (zwanzig Nennungen), SamosAT – Elba+ (zwölf Nennungen), SamosAT bzw. Elba+ – Alpha-Beta

(jeweils zehn Nennungen) und RAMMS – Alpha-Beta (acht Nennungen) eingesetzt. Eine kleinere Gruppe von Experten verwendet drei Modelle, wobei die Modellkombination SamosAT, Elba+ und Alpha-Beta mit neun Nennungen hervorsticht. Fünf Experten geben an, dass sie mehr als drei Modelle in Verwendung haben.

Es sind deutliche länderspezifische Präferenzen bei den Modellkombinationen erkennbar. Alle mit SamosAT oder Elba+ zusammenhängenden Kombinationen bzw. auch die gemeinsame

Verwendung von RAMMS und Alpha-Beta werden nahezu ausschließlich von österreichischen Experten genannt. Alpha-Beta wird überwiegend in Österreich (zehn Nennungen), Norwegen (zwei Nennungen) und Italien (eine Nennung) verwendet. Demgegenüber werden RAMMS, AVAL 1D und Kombinationen daraus überwiegen in der Schweiz genützt, wobei aus der Befragung eine deutlich breitere internationale Streuung dieser Modelle abgeleitet werden kann.

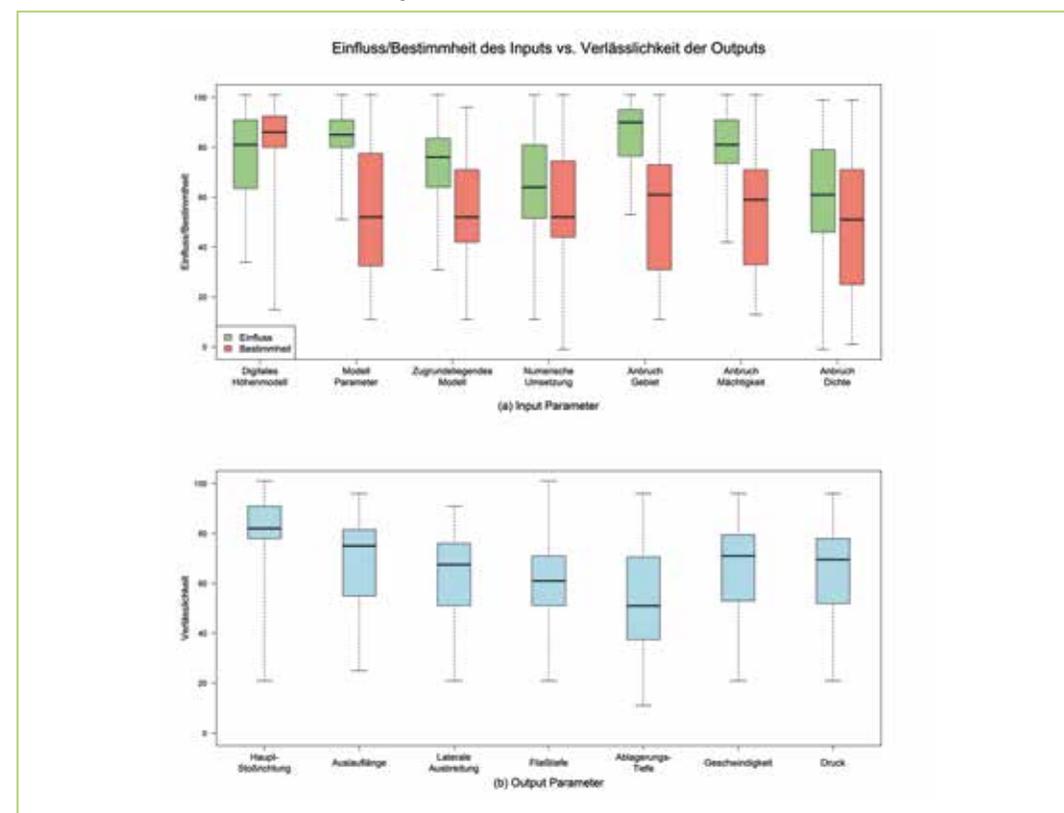


Abb. 1: Beurteilung des In- und Outputs von Lawinensimulationen. a) Die Eingabeparameter (Input) werden bezüglich ihres Einflusses auf die Simulationsergebnisse (0=kein Einfluss, 100=großer Einfluss) und ihrer Bestimmtheit (0=sehr unbestimmt, 100=genau bestimmbar, sicher) bewertet. b) Die Modellergebnisse (Output) werden nach ihrer Verlässlichkeit eingestuft (0=nicht vertrauenswürdig, 100=sehr verlässlich). Boxplotuntergrenze: erstes Quartil; Boxplotobergrenze: drittes Quartil; Schwarzer Querstrich: Median. Die gestrichelten Linien geben Minimum und Maximum an.

Fig. 1: Evaluation of avalanche simulation input and output. The input parameters are rated with respect to their influence on the model result (0=no influence, 100=large influence) and with respect to their uncertainty (0=very uncertain, 100=very reliable). For the simulation output, reliability is appraised (0=not trustworthy, 100=very reliable). The boxes of the plot span from the first to the third quartile with the black cross line as the median. The dashed lines reach to the minimum and maximum values.

Ein zentrales Anliegen der Befragung war es, die Einschätzung der Experten bezüglich Bestimmtheit und Einfluss der Inputdaten und die Verlässlichkeit des Outputs abzufragen. Das Ergebnis dieser Abfrage ist in Abbildung 1 zusammengefasst. Hier sollte zum einen die Bestimmtheit verschiedener Inputdaten sowie deren Einfluss auf das Modellergebnis bewertet werden. Zum anderen wurden die Experten gebeten, eine Einschätzung zur Verlässlichkeit verschiedener Simulationsergebnisse abzugeben. Bemerkenswert ist hierbei, dass die Bestimmtheit der Eingangsparameter (rote Balken Abbildung 1a), mit Ausnahme des Höhenmodells, als nur mäßig gut (50 bis 60 von 100 Punkten) bestimmt werden können. Demgegenüber wird der Einfluss der Eingangsparameter auf die Simulationsergebnisse (grüne Balken Abbildung 1a) insgesamt als relativ hoch eingeschätzt. Das legt die Vermutung nahe, dass hohe Unsicherheiten in den Eingangsparametern, denen ein hoher Einfluss auf das Simulationsergebnis zuerkannt wird, zu einer geringen Verlässlichkeit der Ergebnisse führen sollten. Wie aus Abbildung 1b hervorgeht, ist jedoch eher ein gegenteiliges Bild zu erkennen. Die Verlässlichkeit der Ergebnisse wird im Durchschnitt als eher verlässlich angesehen. Bestärkt wird die Wahl der hohen Verlässlichkeitswerte durch eine recht hohe Einschätzung der Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit Chroniken, die durchschnittlich mit ca. 74 % beziffert wird. Der recht hohe Verlässlichkeitswert ist dadurch zu erklären, dass Experten im Vorfeld und im eigentlichen Simulationsprozess routinemäßig auf ergänzende Informationen zurückgreifen. In diesem Zusammenhang werden Chroniken und Dokumentationen über vergangene Ereignisse, Befragungen mit Betroffenen, die Kartierung stummer Zeugen, Geländebegehungen und die Auswertung von Orthofotos häufig genannt und deren Wichtigkeit betont. Erst durch

das Austesten verschiedener Annahmen und der Berechnung verschiedener Szenarien im Abgleich mit diesen Informationen können valide Simulationsergebnisse generiert werden. Diese werden dann auch mit einer durchschnittlichen Nützlichkeit von 77 (0=nutzlos, 100=sehr nützlich) bewertet. Die Gründe für die hohe Nützlichkeit lassen sich in 5 Kategorien zusammenfassen. In erster Linie wird in der (i) Möglichkeit Prozessgrößen räumlichen/kartographisch darstellen zu können ein hoher Nutzen gesehen. Mithilfe der Simulationen lassen sich Gefahrenbereiche kartieren und Punktinformationen (z.B. stumme Zeugen) in die Fläche umlegen. Des Weiteren wird ein großer Nutzen in der Bereitstellung (ii) dynamischer Größen wie Drücke, Geschwindigkeiten für Planungsaufgaben gesehen. Als weitere Kategorie sind (iii) seltene Ereignisse zu erwähnen, die mit Hilfe von Simulationsmodellen besser (re)konstruiert und auch besser nachvollzogen werden können. Als ein weiterer Nutzen wird oft die (iv) Nachvollziehbarkeit genannt, da Ergebnisse stets auf Eingangsdaten und Parameterkombinationen zurückgeführt werden können. Als letzte Kategorie (v) wäre noch die Erstellung von Szenarien zu nennen. Der Einfluss auf die Gefahrenbeurteilung wird generell als ziemlich hoch angegeben. So schätzten 53 % den Einfluss, den Simulationsergebnisse auf die Gefahrenzonenplanung haben, als hoch ein, 32 % als mittel und keiner der Befragten als gering.

Zum Abschluss der Befragung wurde um eine gutachterliche Beurteilung am Beispiel der Gleirsch Lawine bei St. Sigmund im Sellrain gebeten. Dazu wurde in einer der Befragung beigelegten Beschreibung (erstellt von der Wildbach- und Lawinenverbauung, Innsbruck) ein Überblick über die Lawinenchronik, der Anbruchgebiete und den Schneemächtigkeiten gegeben und dann Simulationsergebnisse der Modelle Elba+,

RAMMS, SamosAT und Alpha-Beta zur Verfügung gestellt. Die Experten wurden gebeten, die Größe des Druckes auf einzelne Gebäudeteile anzugeben, welche sie in einer gutachterlichen Stellungnahme festlegen würden. Das Ergebnis der Abfrage ist in Abbildung 2 dargestellt. Generell ist bei der Einschätzung eine relativ starke Streuung festzustellen. Insbesondere bei der lawinenzugewandten West-Front ist eine sehr große Streuung der gutachterlich gewählten Drücke gegeben. Bei diesen Werten ist die stark abweichende Einschätzung der Befragten aus Österreich und der Schweiz bemerkenswert. Für die Teilnehmer aus Österreich liegt der Median nahe bei 10 kPa, wohingegen die Teilnehmer aus der Schweiz eher zu 30 kPa tendieren. Dies sind genau jene Werte, die als Abgrenzung für die „Rote Zone“ in den

jeweiligen Ländern dienen. Es scheint, dass hier die Einschätzung sich weniger an den Modellergebnissen orientiert, sondern vielmehr intuitiv an die Druckgrenzen der Zonen angepasst wird. Bei der Einschätzung der anderen Gebäudeseiten sowie beim Dach sind die Einschätzungen wieder überraschend ähnlich. Es ist möglich, dass der Einfluss der nationalen Richtlinien hauptsächlich bei der Einschätzung der lawinenzugewandten Seite eine Rolle spielt und sich die Einschätzung der anderen Seiten stärker an den Modellergebnissen orientiert. Für die anderen Nationen kann – auch wenn die Analyse der Ergebnisse obige Aussagen stützen würden – aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs keine statistisch fundierte Aussage getroffen werden.

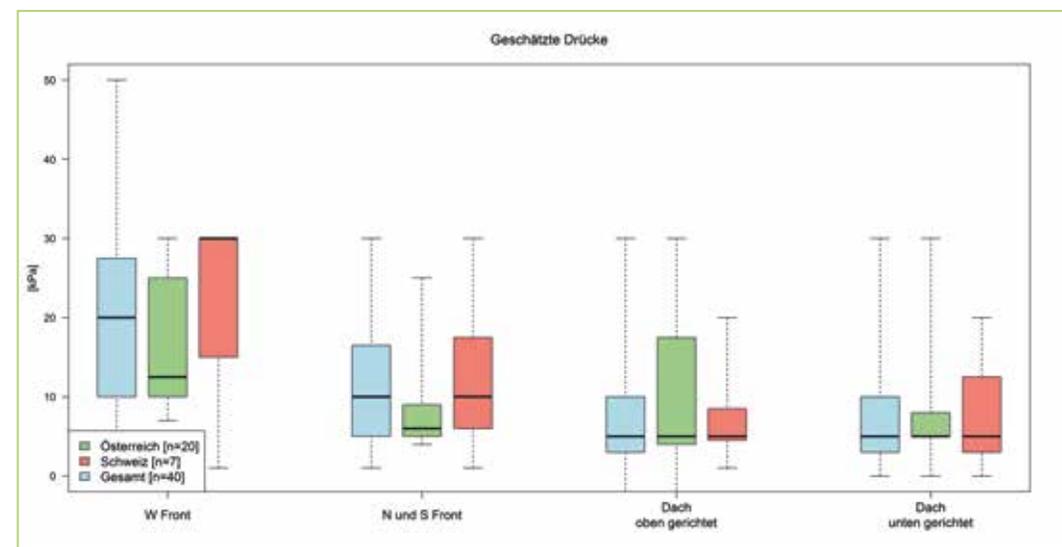


Abb. 2: Drücke, festgelegt durch die befragten Experten: **W Front**: Druck auf westliche Gebäudefront, lawinenzugewandte Seite; **N und S Front**: Druck auf die nördliche und südliche Gebäudefront, parallel zur Fließrichtung; **Dach oben gerichtet**: Sogwirkung auf das Dach; **Dach unten gerichtet**: Druckwirkung auf das Dach.

Boxplotuntergrenze: erstes Quartil; Boxplotobergrenze: drittes Quartil; Schwarzer Querstrich: Median. Die gestrichelten Linien geben Minimum und Maximum an.

Fig. 2: Assigned pressures: **W front**: Pressure on the west side of the building, avalanche facing side; **N and S front**: Pressure on the north and south sides, parallel to the flow direction; **Roof upwards**: Suction; **Roof downward**: Pressure on the roof. The boxes of the plot span from the first to the third quartile with the black cross line as the median. The dashed lines reach to the minimum and maximum values.

Fazit

Die im Rahmen des bDFA Projektes durchgeführte Umfrage zeigt deutlich, dass Lawinensimulationsmodelle einen bedeutenden Beitrag bei der gutachterlichen Tätigkeit leisten. 92 % der Befragten verwenden Simulationsmodelle bei der Erstellung von Expertisen. Da die Online-Befragung im Rahmen des Lawinenworkshops vorgestellt wurde, mag es sein, dass ein großer Teil des Rücklaufes von Experten kommt, die ohnehin einen sehr starken Bezug zu Lawinensimulationsmodellen haben. Trotzdem dürfte das Befragungsergebnis den generellen Trend zu einem vermehrten Einsatz von Simulationsmodellen in der Erstellung von Lawinengutachten widerspiegeln. Diese Aussage stützt sich zum einen auf persönliche Erfahrungen der Autoren des vorliegenden Berichtes und zum anderen bilden die Teilnehmer des Lawinenworkshops eine repräsentative Gruppe von Lawinenexperten im deutschsprachigen Alpenraum. Zudem ist die Gruppe der nichtdeutschsprachigen Umfrageteilnehmer nach Ansicht der Verfasser ebenfalls als repräsentativ anzusehen, um Rückschlüsse auf die allgemeine Verwendung von Lawinensimulationsmodellen ziehen zu können. Generell ist ein deutlicher Trend zur Verwendung von mehrdimensionalen Simulationsmodellen wie beispielsweise RAMMS (von 53 % der Anwender) oder SamosAT (von 21 % der Anwender) erkennbar. Auch das statistisch basierte Alpha-Beta Modell wird national wie international vielfach (21 % der Anwender) noch für die Plausibilisierung von Modellergebnissen aber auch im Bereich der Risikoanalysen (Beispiel Island) verwendet. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass naturgemäß jene Simulationsmodelle den Vorzug

erhalten, welche von den zuständigen Dienststellen offensichtlich als vertrauenswürdig erachtet werden. Im Wesentlichen betrifft dies die vorgenannten Simulationsmodelle. Die Studie zeigt ebenso, dass vermehrt nicht nur ein bestimmtes Simulationsmodell, sondern mehrere eingesetzt werden, um ein möglichst gut abgesichertes Resultat in die Gefahrenzonenplanung einfließen lassen zu können. Hier sind vor allem die 2D – 1D Modellkombinationen RAMMS – AVAL 1D, SamosAT – Elba+, SamosAT – Alpha-Beta und Elba+ - Alpha-Beta hervorzuheben. Dabei lassen sich auch länderspezifische Trends erkennen. In Österreich werden laut Umfrage überwiegend SamosAT, Elba+ und Alpha-Beta kombiniert, wohingegen in der Schweiz Kombinationen mit RAMMS und AVAL 1D überwiegen.

Ein Großteil der befragten Experten ist sich grundsätzlich darüber einig, dass Simulationsmodelle einen wertvollen Beitrag leisten, insbesondere aber die Bestimmung von – für die Modellierung notwendigen – Eingangsgrößen mit Unsicherheiten behaftet ist. Eine Ausnahme stellen Geländemodelle dar, welchen nach Ansicht der Experten sowohl ein hoher Einfluss als auch eine hohe Verlässlichkeit zugeschrieben wird. Letzteres ist wohl ein Ergebnis der in jüngster Vergangenheit nahezu ausschließlichen Verwendung von aus Laserscandaten abgeleiteten digitalen Geländemodellen. Die größte Diskrepanz ergibt sich bei der Festlegung der Anbruchgebiete und der -mächtigkeiten, die laut Umfrageergebnis relativ schwer bestimmbar sind, aber einen großen Einfluss auf die Modellergebnisse haben. Die Experten sind sich dieses Problembereiches bewusst und verwenden daher oftmals Variantenstudien bzw. Szenarienberechnungen.

Die an der Umfrage beteiligten Experten sind sich auch darüber einig, dass die Ergebnisse der Simulationsmodelle grundsätzlich als verlässlich anzusehen sind. Das betrifft alle relevanten Größen, insbesondere Geschwindigkeiten und Drücke wie auch Wirkungsbereiche (Auslauflänge und -breite) der modellierten Lawinen.

Ein doch überraschendes Ergebnis liefert die Frage nach der gutachterlichen Festlegung der Gleichlasten aus dem von der Wildbach- und Lawinenverbauung vorbereiteten Praxisbeispiel. Demnach scheinen nationale Rahmenbedingungen zur Zonenfestlegung einen größeren Einfluss auf die gutachterliche Festlegung zu haben, wie die im Praxisbeispiel zur Verfügung gestellten Simulationsergebnisse. Diese hier geäußerte Annahme scheint grundsätzlich plausibel, muss aber in weiterer Folge – sofern für die Praxis relevant – detailliert erforscht und verifiziert werden.

Abschließend ist zu erwähnen, dass laut Expertenbefragung die Qualität von Simulationsergebnissen direkt mit einer qualitativ hochwertigen Analyse der lawinenrelevanten Rahmenbedingungen im Vorfeld des eigentlichen Simulationsprozesses korreliert.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) im Rahmen des Projektes bDFA – beyond dense flow avalanches. Quantifying the destructive reach of snow avalanche beyond the dense flow regime. Des Weiteren gilt der Dank dem Vizerektorat für Forschung der Universität Innsbruck für die Gewährung eines Doktoratsstipendiums.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Korbinian Schmidtner, MSc
Institut für Geographie
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
korbinian.schmidtner@uibk.ac.at

Dr. Rudolf Sailer
Institut für Geographie
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
rudolf.sailer@uibk.ac.at

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Fellin
Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau
Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck
Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck
wolfgang.fellin@uibk.ac.at

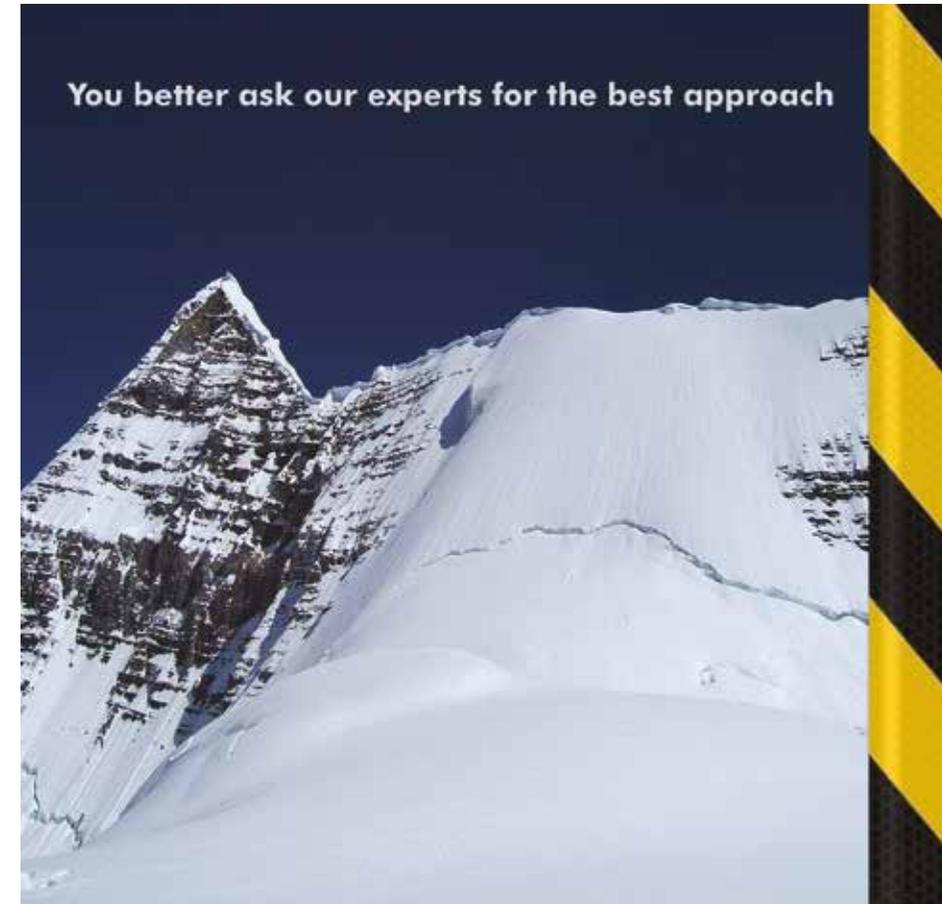
Dr. Jan-Thomas Fischer
Institut für Naturgefahren - Schnee und Lawine
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1, 6020 Innsbruck
jt.fischer@bfw.gv.at

DI Matthias Granig
Stabstelle Schnee und Lawinen
Wildbach- und Lawinenverbauung
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
matthias.granig@die-wildbach.at

Dr. Karl-Michael Höferl
Institut für Geographie
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
Karl-Michael.Hoefler@uibk.ac.at

Literatur / References:

- ARNALDS, P., JÓNASSON, K., SIGURÐSSON, S., (2004).
Avalanche hazard zoning in Iceland based on individual risk. *Ann. Glaciol.* 38, 285–290.
- BARBOLINI, M., CAPPABIANCA, F., SAILER, R., (2004a).
Empirical Estimate of Vulnerability Relations For Use In Snow Avalanche Risk Assessment. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 77.
- BARBOLINI, M., CAPPABIANCA, F., SAVI, F., (2004b).
Risk assessment in avalanche-prone areas. *Ann. Glaciol.* 38, 115–122.
- BRÜNDL, M., ETTER, H.-J., STEINIGER, M., KLINGLER, C., RHYNER, J., AMMANN, W.J., 2004.
IFKIS - a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 4, 257–262.
- CAPPABIANCA, F., BARBOLINI, M., NATALE, L., (2008).
Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. *Cold Reg. Sci. Technol., Snow avalanche formation and dynamics* 54, 193–205.
- FUCHS, S., KEILER, M., ZISCHG, A., BRÜNDL, M., (2005).
The long-term development of avalanche risk in settlements considering the temporal variability of damage potential. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 5, 893–901.
- GRANIG, M., (2012).
Grundlagen und Anwendung von Lawinensimulationsmodellen. Ver. DIPLOMINGENIEURE Wildbach - Lawinerverbauung Österr., Modellierung von Naturgefahren-Prozessen Modeling of natural hazard processes 76, 68–76.
- SAILER, R., SCHAFFHAUSER, A., (2008).
Lawinensimulationsmodelle im Risiko- und Krisenmanagement. *BFW Prax.* 15, 7–10.
- SAUERMOSE, S., (2006).
Avalanche hazard mapping - 30 years' experience in Austria, in: Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop in Telluride, 1-6 October. Telluride, pp. 314–321.
- SAUERMOSE, S., RUDOLF-MIKLAU, F., (2011).
Zusammenfassung und Ausblick, in: Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. (Hrsg.), *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, pp. 433–434.
- SCHILCHER, W., MARGRETH, S., SAUERMOSE, S., SKOLAUT, C., MÖLK, M., RUDOLF-MIKLAU, F., (2011).
Permanenter technischer Lawinenschutz: Schutzsysteme und Bautypen, in: Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. (Hrsg.), *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, pp. 159–205.
- WINSBERG, E., (2001).
Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and Their Representations. *Philos. Sci.* 68, S442–S454.
- WINSBERG, E., (1999).
Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation. *Sci. Context* 12, 275–292.



You better ask our experts for the best approach

software
maps
geostatistics
reporting
data

"That's it."

Gregor Ortner, CTO UNIDATA

UNIDATA GEODESIGN GMBH
Gärtnergasse 3 Top 6, 1030 Vienna
+43(1) 96 901 78
office@unidata.at
www.unidata.at

unidata
geo
design

MATHIAS HOFER

FARFALLA Böschung – Verbauungssystem der Fa. Mair

Das FARFALLA Verbauungssystem ist eine schirmförmige Stahlkonstruktion mit der Möglichkeit der Verankerung mittels Totmannplatte bzw. Mikropfahlanker. Das System besteht aus einem Kreuz aus HEA-Trägern mit doppelter Netzauflage aus Sechseckgeflecht.

Die Verankerungsart richtet sich nach der Verwendung des Systems bzw. nach der vorhandenen Bodenklasse. Das System FARFALLA-Böschung wird in zwei Größen angeboten. FARFALLA - mini mit den Maßen 2,00 m x 2,50 m und FARFALLA mit den Maßen 3,45 m x 3,86 m. Beide Varianten können entweder mit Totmannplatte, als auch mit einem Mikropfahl verankert werden. Die Variante mini wird, wenn eine Verankerung mittels Totmannplatte vorgesehen ist, mit einer Zugstange mit fixer Länge angeboten. Beim größeren Element ist eine Teleskopstange vorgesehen, sodass die Länge variiert werden kann. Die Neigung des Schirmes sollte etwa 15° betragen und die Totmannplatte wird senkrecht eingebaut. Das Hinterfüllmaterial sollte eine Korngröße aufweisen, dass ein Durchrieseln durch die Netzauflage nicht möglich ist. Dies gewährleistet ebenso, dass kein Stauwasser entstehen kann. Das Material sollte schichtweise eingebaut und verdichtet werden.

Sollte ein Materialaushub für den Einbau nicht möglich sein, kann die Verankerung wie erwähnt mit einem Mikropfahlanker erfolgen. Diese Einbauvariante ist besonders bei sanierungsbedürftigen Böschungssicherungen wie Holzkrainerwänden empfehlenswert, da die bestehende Krainerwand nicht entfernt und erneuert werden muss. Das Element kann vor die Böschungssicherung platziert und mittels Bohranke verankert werden.

Die wesentlichen Vorteile dieser Verbauungsvariante sind das sehr geringe Gewicht gegenüber herkömmlichen Maßnahmen wie Grobsteinschichtungen, die gute Wasserdurchlässigkeit sowie die lange Lebensdauer. Ein weiterer Vorteil ist der einfache Einbau mit ein bis zwei Mann und einem Bagger sowie der geringe Zeitaufwand. Die Kosten pro Flächeneinheit können etwas höher angenommen werden, als für die Errichtung einer GSS.

Anschrift der Verfasser

Ing. Mathias Hofer
Wildbach- und Lawinerverbauung
Gebietsbauleitung Mittleres Inntal
Josef-Wilbergerstr. 41, 6010 Innsbruck
mathias.hofer@die-wildbach.at



Abb. 1: Farfalla Böschungssicherung bei Wegbau in schwierigem Gelände

OTTO UNTERWEGER

Neue Werkstypen für den Gleitschneeschutz

Immer wieder standen wir vor dem Problem, für Lawinerverbauungen in tieferen Lagen mit potentiellen Schneehöhen unter 2 m oder in lückigen Wäldern keine passenden Werkstypen zur Verfügung zu haben. Wir wandten uns daher an 2 Firmen in Südtirol, mit denen wir schon für „Standardprodukte“ regen Kontakt hatten. Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit waren 2 Werkstypen, die sich in den vergangenen Jahren hervorragend bewährt haben.

Mit der Fa. Mair in St. Lorenzen entstand ein Lawinenwerk Dk = 1,83. Die Vorteile dieses Typs liegen im geringen Gewicht, der verstellbaren Druckfundierung und der größeren Breite von Haupt- und Zwischenwerk. Die Folge sind geringe Einheitspreise: ca. 200,- €/m² bzw. ca. 360,-€/lfm. Dazu ist aber anzumerken, dass die Geländebedingungen in den Rajacher Wiesen optimal waren. Auch im lückigen Wald an der Kampfzone im Bereich der Hochberg Lawine/Gde. Innervillgraten wurden diese Werke erfolgreich zum Schutz der Aufforstung eingesetzt.

Mit der Fa. Betonform in Gais wurde ein „Lawinenschirm“ konstruiert. Dieser deckt Schneemächtigkeiten bis 2,4 m ab. Die Tatsache, dass nur ein Ankerpunkt ausreichend ist, macht dieses System besonders flexibel einsetzbar und die Montagezeiten sind besonders niedrig.

Das Restrisiko des Versagens ist aber etwas höher. Daher wurde dieser Werkstyp vor allem für Temporären Lawinenschutz (Notweg Felbertauernstraße) und in Verbindung mit Hochlagenaufforstungen eingesetzt. Folgende Einheitspreise wurden erzielt: ca. 180,- €/m² bzw. ca. 435,- €/lfm.

Anschrift des Verfassers

DI Otto Unterweger
Wildbach- und Lawinerverbauung
Gebietsbauleitung Osttirol
Kärntnerstr. 90, 9900 Lienz
otto.unterweger@die-wildbach.at



Abb. 2: Lawinenwerk Dk 1,83 als Gleitschneeschutz oberhalb einer Straße



Abb. 1: Lawinenschirm als Gleitschneeschutz

BFW Aktuelle Projekte

Project r.avaflow aims at creating a free software supporting experts in managing hazards from geophysical mass flows such as avalanches of snow or rock, or flows of debris or mud.

Link: <http://avaflow.org/>

Projekt gefördert von FWF und DFG

Project bDFA – beyond dense flow avalanches.

Quantifying the destructive reach of snow avalanches beyond the dense flow regime

Link: <https://www.uibk.ac.at/geographie/nat-gef/projects/bdfa/bdfa.html>

Projekt gefördert von ÖAW

Wald in der Lawinensimulation

Schutzwälder können die Entstehung und Größe, sowie teilweise auch die Richtung und Reichweite von Lawinen beeinflussen. Die Berücksichtigung der Schutzwirkung von Waldbeständen in physikalisch-numerischen Simulationsmodellen ist deshalb ein wichtiges Thema in der Gefahrenbeurteilung von Lawinen.

<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=10055>

Projekt Evameth, gefördert von BMFLUW LE

CoSiCa - Lawinen in der Endlosschleife

In der Lawinenforschung wird Simulationssoftware als Hilfswerkzeug zur Gefahrenzonenkartierung und Maßnahmenplanung eingesetzt. Um eine Lawinensimulation durchzuführen, müssen Anfangs- und Randbedingungen (z.B. Anbruchgebiete und Schneeverteilung) sowie Prozessparameter definiert werden. Eine exakte Messung von entscheidenden Parametern, wie beispielsweise Materialeigenschaften, welche das Reibungsverhalten von Schnee beschreiben, ist an realen Lawinen bisher nur eingeschränkt möglich. Daher müssen diese Parameter mit geeigneten Verfahren ermittelt werden.

<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=9870>

Projekt CoSiCa, gefördert von WLW, BMFLUW

Kann man mit Drohnen im alpinen Gelände Schneehöhen kartieren?

Ein aktuelles Forschungsprojekt von BFW, SLF & WSL gibt Antworten – Publikationen online frei verfügbar:

Adams, M.S., Y. Bühler, R. Boesch, R. Fromm, A. Stoffel, and C. Ginzler. 2016. Investigating the Potential of Low-Cost Remotely Piloted Aerial Systems for Monitoring the Alpine Snow Cover (RPAS4S-NOW). Final Project Report, 82. Innsbruck, Austria: ÖAW – Austrian Academy of Sciences. DOI: 10.1553/ESS-01

Bühler, Y., M.S. Adams, R. Bösch, and A. Stoffel. 2016. Mapping Snow Depth in Alpine Terrain with Unmanned Aerial Systems (UASs): Potential and Limitations. The Cryosphere 10 (3): 1075–1088.

Bühler, Y., Adams, M.S., Stoffel, A., and Boesch, R. 2017. Photogrammetric reconstruction of homogeneous snow surfaces in alpine terrain applying near-infrared UAS imagery, International Journal of Remote Sensing, pp. 1–24.

Projekt gefördert von der ÖAW

Masterarbeiten am BFW 2015-2016

Rauter M. 2015: Entwicklung eines neuen Sohlreibungsmodells für Lawinen. Masterarbeit, Univ. Innsbruck, 83S.

Schroll L. 2015: Schadwirkung von Lawinen. Masterarbeit, Univ. Innsbruck

Hellweger V. 2016: Stochastic methods for parameter estimation in avalanche modelling. Masterarbeit, Univ. Innsbruck,

Baumgärtner S. 2016: Analyse der Einflussparameter auf das Schneegleiten. Masterarbeit, Univ. Innsbruck, 83S.

Bodisch A. 2016: Early warning systems in snow safety management - Assessment of liquid water content in the snowpack related to snow gliding at the Wildkogel Ski Arena- Austria. Masterarbeit, Univ. Innsbruck, 85 S.

KILIAN HEIL

Masterarbeit: „Flow behaviour of snow in a rotating drum“

Die Änderung der Temperatur, der Dichte und des volumetrischen Flüssigwassergehalts von fließendem Schnee beeinflussen die Dynamik einer Lawine maßgeblich.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, das Fließverhalten in Abhängigkeit der Eigenschaften von Schnee zu erforschen und dadurch die Dynamik von Lawinen besser zu verstehen.

Dafür wurde erstmalig in einer vertikal rotierenden Trommel mit 2,45 m Durchmesser und 0,45 m breitem Querprofil stationäres Fließen von Schnee erzeugt.

Die Versuche wurden mit ca. 100 L Schnee bei Temperaturen im Labor zwischen -5 °C und +9 °C durchgeführt. Neben der Temperatur des fließenden Materials wurden auch das Längsprofil der "Lawine", die Dichte, der volumetrische Flüssigwassergehalt sowie die Normalspannung am Untergrund gemessen.

Bei den Experimenten wurde unter anderem die Erwärmung des Schnees aufgrund von Reibung analysiert. Interessant war auch die Beobachtung der Umwandlung

von lockerem Schnee zu faustgroßen Knollen bei einer internen Temperatur nahe 0 °C, wie sie auch bei Nassschneelawinen in der Natur vorkommt.

Diese und weitere Ergebnisse sollen einerseits zum besseren Verständnis der physikalischen Eigenschaften von Schnee beitragen und können andererseits einen innovativen Beitrag zur Weiterentwicklung von Programmen zur Lawinensimulation (speziell von Nassschnee) leisten.

Anschrift des Verfassers

Kilian Heil
Universität für Bodenkultur
Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)
Peter-Jordanstr. 82
1190 Wien
kilian.heil@students.boku.ac.at

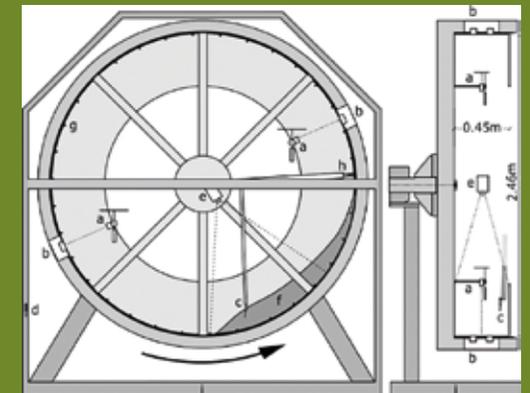


Abb. 1: Links: Schneetrommel und beteiligte Wissenschaftler; Oben: Schema der Trommel:

- a) Laser zur Messung der Fließhöhe,
- b) Sensoren für Normal- und Schubspannung,
- c) Thermocouple im Schnee,
- d) Thermocouple an der Luft,
- e) Kamera,
- f) fließendes Material
- g) PVC Gitter (Höhe = 2 mm) und Rauigkeitselemente (Höhe = 10 mm alle 0.2 m) entlang des Fließbettes,
- h) Besen
- i) Stahlrahmen

GIOVANNA CARAMUTA

Master thesis: "Granular flow on a chute: avalanche simulations on a rough inclined plane"

With the name avalanche, one refers to a rapid snow mass movement downwards on a slope that takes place when the gravity force is bigger than the cohesion forces within the snowpack and the frictional forces with the ground. The dynamic of these events is still not well understood. In course of this master thesis decided to simulate avalanches on a laboratory channel by means of glass beads (ballotini) and we studied their flow and runouts.

We varied channel slope, ballotini size and volume discharged in order to study which parameter mostly influences the flow. Our setup was formed by a tilted rough chute and the material was held in a hopper at the upper end of the chute.

Flow velocity and runout features differed a lot between the two sizes of ballotini. In all the experiments, we did not observe a uniform flow. Small ballotini flow height was always bigger; we assumed that the slip velocity at the bottom of the flow was nearly zero due to the roughness and this caused the stretch of avalanches in downstream direction. We presumed that velocity profiles

were influenced by the different friction of the two sizes of ballotini with the rough surface. Small ballotini runouts were always more elongated, wider and less steep than big ballotini ones most likely due both to the lower internal friction angle of small ballotini and to the deposition of the head of small ballotini avalanches right at the end of the channel. The latter allowed the body of the avalanche to slip over the deposited ballotini and travel further.

We performed the D-D model with our data and it showed good performances especially using big ballotini and the Colorado calibration.

Anschrift der Verfasser

Giovanna Caramuta
Universität für Bodenkultur
Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)
Peter-Jordanstr. 82
1190 Wien
giovanna.caramuta@gmail.com



TRUMER
Schutzbauten
GmbH

- Steinschlagschutz
- Lawinenschutz
- Fels- und Hangsicherung



SICHERHEIT DURCH KOMPETENZ

Weißbach 106 · A-5431 Kuchl · Tel.: +43 (0)6244-20325 · Fax: +43 (0)6244-20325-11
E-Mail: office@trumerschutzbauten.com · www.trumerschutzbauten.com

2. Fachtagung für Wissenschaft, Praxis und Wirtschaft

„Stand der Technik im Naturgefahren-Ingenieurwesen“

Ort: Universität für Bodenkultur, Wien, Zeit: 21. bis 23. Februar 2018

Zum Inhalt der Tagung:

Maßnahmen und Ingenieurbauwerke des Schutzes vor Naturgefahren sind außergewöhnlichen Einwirkungen ausgesetzt und erfüllen ihre Funktion unter extremen Umweltbedingungen. Von der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Anlagen hängt die Sicherheit von Menschenleben, Sachwerten, Kulturgütern und der Umwelt ab. Es ist daher essentiell, den „Stand der Technik“ des Naturgefahren-Ingenieurwesens ständig weiter zu entwickeln und den neuesten naturwissenschaftlichen und technologischen Erkenntnissen anzupassen. Im Jahr 2014 fand die erste Tagung zu diesem Themenkomplex an der Universität für Bodenkultur in Wien statt, bei der die Standardisierungs- und Normungsprozesse in der Gefahren- und Risikoanalyse sowie der Planung, Konstruktion, Bemessung und des Betriebes von Schutzanlagen im Mittelpunkt standen.

In den letzten Jahren haben sich Wissen und Technologie des Schutzes vor Naturgefahren rasant weiterentwickelt. Ebenso haben sich Normen und technische Standards – wie beispielsweise die ON-Regeln 24800-Serie (Wildbach, Lawine, Steinschlag) – in der Ingenieurpraxis international etabliert und stehen nun vor einer Weiterentwicklung.

Im Rahmen der 2. Fachtagung sollen daher neben den klassischen Themenstellungen des Naturgefahren-Ingenieurwesens in Planung, Umsetzung und Erhaltung – insbesondere Hochwasserschutz, Wildbachverbauung, Lawinerverbauung, technischer Steinschlagschutz, temporärer Lawinenschutz, Monitoring sowie die „grünen“ Technologien des Schutzes vor Naturgefahren – auch folgende wichtige Querschnittsthemen auf der Tagesordnung stehen:

- Bemessungsereignis und Sicherheitsgrenzen
- Umgang mit Unsicherheiten in Prognose und Planung
- Qualität und Nachhaltigkeit der Schutzleistung

Die Tagung bringt Vertreter der Wissenschaft, der Ingenieurpraxis und der Wirtschaft auf einem Marktplatz des Wissens und der Technologie des Schutzes vor Naturgefahren zusammen. Es wird ein Rahmen für den Wissenstransfer und den Austausch von Erfahrungen geboten. Weiters steht die Initiierung neuer Technologieentwicklung und Standardisierungsinitiativen im Fokus der Veranstaltung.

Veranstalter:

- Institut für Alpine Naturgefahren, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft/Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung
- Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT

Mit Unterstützung von:

- Austrian Standards Institute (ASI)
- Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)
- Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung

Anmeldung unter:

<http://www.interpraevent.at/anmeldung-fachtagung/>



Programm

Mittwoch, 21. 02. 2018	13:00	Begrüßungsworte	
	im Anschluss	Session I Bewertung der Auswirkungen von Naturkatastrophen	
	15:30 – 18:00	Session II Monitoring: Stand der Technik, Messfehler und Unsicherheiten	Session III Schutzwirksame Wälder
Donnerstag, 22. 02. 2018	09:00 – 12:00	Session IV Integrale Betrachtung von Lawinenschutzsystemen	Session V Technische Schutzmaßnahmen: Definition – Konstruktion – Funktion – Wirkungsweise
	13:30 – 15:30	Session VI Rutschungen – Prozess- und Gefahrenanalyse für die Raum- planung	Session VII Extremereignisse und Überlastfälle aus dem Blickfeld Gefahren-zonenplanung und Hochwasser-risikomanagement
	16:00 – 18:00	Session VIII Der Stand der Technik bei der Fundierung von Steinschlag- schutznetzen und Lawinestütz- verbauungen	Session IX Krisen- und Katastrophen- management im nationalen und internationalen Umfeld
Freitag, 23. 02. 2018	09:00 – 11:30	Session X Sachverständigenleistungen im Naturgefahren- management: Qualität und Haftung	Session XI Risikomanagement für den Baubestand
	12:00 – 13:00	Session XII Die Tagung auf den Punkt gebracht – Take Home Messages	
	im Anschluss	Abschluss	

Inserentenverzeichnis

Firma	Inserat Seite
MEVA Schalungs-Systeme Ges.mbH/ Alzner Baumaschinen Gesellschaft mbH	6
alpinfra, consulting + engineering gmbh	13
Gebrüder RUF Bau und Transport GmbH & Co KG	8
Geolith Consult	131
Gunz ZT GmbH	159
Heli Austria GmbH	4
Ingenieurbüro Illmer Daniel e. U.	85
i.n.n.	215
Inauen-Schätti AG	99
Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH	25
J. Krismer HandelsgmbH	169

Firma	Inserat Seite
Mair Wilfried GmbH	121
Moser-Jaritz & Partner Ziviltechniker GmbH	159
PERZPLAN Ingenieurbüro	205
Skolaut NATURRAUM	131
Sommer GmbH	233
Konrad Stadelmann Bau GmbH und Co KG	225
DI Werner Tiwald ZT-Ges.m.b.H.	205
Trumer Schutzbauten GmbH	249
UNIDATA GEODESIGN GMBH	243
Wechselberger + Flörl	U4
Wyssen Avalanche Control AG	69

Piccardbrücke am Gurgler Ferner errichtet 2016 in Kooperation mit Berger&Brunner

B+B WECHSELBERGER+FLÖRL
ALPINE BAUARBEITEN

WECHSELBERGER+FLÖRL
ALPINE BAUARBEITEN

www.wechselberger-florl.at

