Wildbach- und Lawinenverbau

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

ISSW Innsbruck Winter 2018/19

verein der diplomingenieure der wildbach und lawinenverbauung österreichs

ISBN: 978-3-9504159-7-1 83. Jahrgang, Juni 2019, Heft Nr. 183

Wildbach- und Lawinenverbau

Impressum:

Herausgeber: Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, A-6900 Bregenz

Schriftleiter: HR DI Siegfried Sauermoser Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol, Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck; +43 512 584288-60, +43 6641456506; schriftleitung@die-wildbach.at; s.sauerm.sz@aon.at

Redaktion: Dipl.-Geogr. Susanne Mehlhorn, Dipl.-Ing. Claudia Sauermoser Layout & graphische Gestaltung: Studio Kopfsache – Kommunikation & Design, A-5310 Mondsee Druck & Versand: Friedrich Druck und Medien GmbH, A-4020 Linz Titelbild: Nasschneelawinenablagerung Kaunertal

verein der diplomingenieure der wildbach und lawinenverbauung österreichs

ISBN: 978-3-9504159-7-1 83. Jahrgang, Juni 2019, Heft Nr. 183 Verstärkung – 3. Bell 212/412 – zur optimalen Abdeckung des Bedarfs unserer Kunden



- Rettungsflüge Film- und Fotoflüge
 - Montagen Tierbergungen
- Lawinensprengungen · 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 183

Editor

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema: ISSW 2018

ial
Jan-Thomas Fischer, Marc Adams, Paul Dobesberger, Reinhard Fromm, Andreas Gobiet, Christoph Mitterer, Patrick Nairz, Christian Tollinger, Matthias Walcher und Matthias Granig: ISSW 2018 – Österreich im Zentrum der Schnee- und Lawinenforschung
Felix Oesterle, Andreas Kofler, Jan-Thomas Fischer: Verwendung von Wahrscheinlichkeiten in der Gefahrenzonenplanung
Betty Sovilla, Michael Kyburz, Mark Schaer, Stefan Margreth: Messung von Lawinendrücken auf ein schmales Hindernis im SLF Versuchsgelände Vallée de la Sionne
Marc Adams, Jan-Thomas Fischer, Andreas Kofler, Christian Tollinger, Armin Graf, Reinhard Fromm: Dokumentation und Analyse von Lawinenablagerungen mittels Drohnen-Photogrammetrie
Engelbert Gleirscher, Andreas Kofler, Thomas Gigele, Armin Graf, Matthias Granig, Jan-Thomas Fischer: Überwachung von Schneenetzen: Bewertung von kurz- und langfristigen Einflüssen
Engelbert Gleirscher, Gernot Stelzer, Daniel Illmer, Ahren Bichler: Snowcatcher – Lawinentestfeld im Stubaital
Wataru Takahashi, Yusuke Harada, Masaru Matsuzawa: Changes in snow pressure on snow bridges in the Hokkaido region of Japan
Mark Schaer, Katharina Fischer, Stefan Margreth: Wie zuverlässig können Lawineneinwirkungen bestimmt werden?

Eine systematische Abschätzung ihrer Unsicherheit.

Seite 10

Seite 14

Seite 32

Seite 38

Seite 48

Seite 60

Seite 66

Seite 74

Seite 82



StarTec, die Mehrbereichsschalung Sicher schalen. Sicher bauen.

Mit Teamwork am Murbrecher Klausgraben sorgen wir gemeinsam für eine sichere Zukunft: MEVA Schalungs-Systeme. Alzner Baumaschinen. Wildbach- und Lawinenverbau, GBL Lungau.

Wir danken allen Beteiligten für Ihren Einsatz und die hervorragende Zusammenarbeit.



meva

MEVA Schalungs-Systeme Ges. mbH Tel. +43 2252 209000 www.meva.net

Alzner Baumaschinen G.m.b.H. Tel. +43 6219 8065 www.alzner.at

Inhalt Heft 183

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema: ISSW 2018

Arni Jonsson, Ørjan Nerland, Einar John Lande Øyvind Skeie Hellum: Technischer Lawinenschutz in Spitzbergen – b	, Stian Bue Kanstad, <mark>esondere Herausforderungen</mark>
Harald Riedl, Robert Zach: Temporäre Lawinensicherung der Großtallawi Die Erfolgsgeschichte eines Pilotprojektes	ne in Ischgl –
Christian W. Rachoy, Stefan Ortner: Der Lawinenwarndienst der Österreichischen eines innovativen Sicherheitskonzepts	Bundesbahnen – Entwicklung
Brian Gould, Cam Campell, Andi Buechi: Cougar Corner – The largest snow net installat the western hemisphere	ion in
Andreas Drexel: Blons in Vorarlberg, Österreich - 60 Jahre nacl Erfahrungen, Rückschläge und Erkenntnisse	nhaltiger Lawinenschutz,
Yusuke Harada, Hiroki Matsushita, Akito Kanaz An Attempt to Create a Soundness Evaluation	zawa: for Snow Bridges
Elena Muntán, Pere Oller: Historic snow avalanches in the Pyrenees: the of the small village of Àrreu (Pallars Sobirà)	destruction
Andreas Gobiet, Sven Kotlarski, Prisco Frei, Jan Deborah Verfaillie, Samuel Morin, Marc Olefs: Klimawandel – Was bedeutet er für den Schne	Rajczak, e in den Alpen?
Peter Höller: Winterperioden mit einer hohen Aktivität von Charakteristika und Vorbedingungen	Gleitschneelawinen –

Seite 94

Seite 104

Seite 114

Seite 120

Seite 130

Seite 140

Seite 152

Seite 162

Seite 174



www.ib-illmer.at

Industriegelande Zone C11, A-6166 Fulpmes | Tel. +43 (0) 664 8831 7711 | E-Mail: office@ib-ilmer.at

Inhalt Heft 183

Alexander Radlherr, Michael Winkler, Manfred Bauer: Meteorologische Analyse der intensiven Schneefallperiode im Jänner 2019
Patrick Nairz, Bernhard Grüner, Clara Bertel, Rudi Mair: Schnee- und Lawinensituation in der ersten Jännerhälfte 2019 in Tirol
Michael Schiffer: Lawinenwinter 2019 – 30 Jahre Lawinenschutz im Salzkammergut (1989–2019)
Andrea Kreisler, Rolf Rindler, Dorian Shire, Markus Moser, Helmut Habersack: Erkenntnisse aus der direkten und indirekten Geschiebemessung an der Urslau
Georg Ebenbichler, Klaus Auffinger, Christian Mayr, Christian Vacha: Anliegen und Forderungen des Naturschutzes an die WLV oder Mindeststandards bei der Planung und Umsetzung von Bauvorhaben in Naturschutzverfahren
Michael Schiffer: Schutzprojekt Kaltenbach – Multifunktionales Schutzkonzept mit stark ökologischer Ausrichtung
Jörg Heumader: Versuchsaufforstungen mit nicht-heimischen subalpinen Baumarten in Hoch- lagenaufforstungen der Region Oberes Inntal/Tirol – ein Erfahrungsbericht
GEOBRUGG: Flexible Murgangbarrieren: Seit 10 Jahren weltweit erfolgreich im Einsatz
Bürgergruppen im Naturgefahrenmanagement – ein digitales Handbuch zur Verteilung von Rollen und Aufgaben

Seite 182

Seite 190

Seite 202

Seite 258

S. 266

S. 270



Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

Wir haben die vorliegende Ausgabe mehrheitlich dem Thema Lawinen gewidmet. Erstens hat im vergangenen Herbst in Innsbruck der weltgrößte Lawinenkongress, der Internationale "Snow Science Workshop" (ISSW) stattgefunden, zweitens hat der vergangene Winter wieder einmal gezeigt, dass Lawinen trotz Klimawandel auch künftig eine reale Herausforderung für alle verantwortlichen Institutionen sein werden. Verbauungs- und Sicherungspotential gibt es auch in Zukunft noch genügend, die Sicherung der Funktionsfähigkeit von Verbauungen zählt zu den vornehmsten Aufgaben der Wildbach- und Lawinenverbauung.

ISSW: Die ISSW fand vom 7.–12. Oktober in Innsbruck statt. Diese aus Amerika kommende Veranstaltung fand zum dritten Mal in Europa statt und es war klar, dass nach Davos und Grenoble die dritte Lawinenhauptstatt der Alpen an die Reihe kommen würde. Veranstalter waren das Land Tirol vertreten durch den Lawinenwarndienst Tirol und der Bund vertreten durch das BFW und die WLV, welche die Veranstaltung ausgezeichnet organisierten und abwickelten. Immerhin waren mehrere Hundert Lawinenexpertinnen und -experten nach Tirol gekommen. Nur ein geringer Teil der weltweiten Beiträge befassten sich naturgemäß mit dem Technischen Lawinenschutz. Einige dieser interessanten Beiträge haben wir noch einmal gesammelt und möchten sie den Leserinnen und Lesern unseres Fachjournals in dieser Ausgabe vorstellen. Dabei haben wir die englischen Beiträge bewusst in der Originalsprache belassen, aber jeweils mit einer ausreichenden deutschen Zusammenfassung ergänzt. Man wird erkennen, dass Technischer Lawinenverbau, Erhaltung von Bauwerken etc. keine reinen österreichischen Probleme sind, bewusst haben wir zu diesem Thema zwei Beiträge aus Japan ausgewählt, die sich mit der Alterung von Lawinenverbauungen oder der Veränderung von Belastungen auf Lawinenwerken, verursacht durch den Klimawandel, befassen.



AarteLink[®] – Quantensprung im Naturgefahrenalarm

AarteLink[®] – das Naturtalent. Naturgefahrenalarm für Steinschlag, Murgang, Lawine und Hochwasser.

Dank Funklösung ist AarteLink[®] schnell und flexibel einsetzbar und überzeugt durch die enorme Batterielebensdauer und hohe Funkreichweite.

Mehr Informationen auf www.aartelink.ch | www.aartesys.ch



Dass man nun auch am Rodgerspass in Kanada, der wohl lawinengefährdetsten Straße von Nordamerika, technische Maßnahmen in Form von Verbauungen errichtet hat, zeigt wohl deutlich auch die Grenzen des temporären Lawinenschutzes, mit dessen Methoden man seit Jahrzehnten versuchte, den Pass zu sichern. Brian Gould hat darüber einen ausgezeichneten Beitrag gestaltet, den wir auch hier natürlich mit Genehmigung des Autors und des ISSW wiedergeben. Alle Beiträge der Tagung sind übrigens unter www.issw2018. com nachzulesen.

Winter 2018/2019: Einen Teil der Beiträge haben wir dem letzten Winter gewidmet. Dieser war außerordentlich schneereich und dementsprechend lawinengefährlich. Nicht umsonst mussten in mehreren Bundesländern für einige Tage die Lawinenwarnstufe fünf ausgegeben werden. Patrik Nairz vom Lawinenwarndienst Tirol hat dazu einen ausgezeichneten und aktuellen Beitrag gestaltet, Alexander Radlherr hat gemeinsam mit Kollegen von der ZAMG in Innsbruck die meteorologische Situation für uns aufbereitet. Das Thema Klimawandel und Lawinen ist ein spannendes, Andreas Gobiet von der ZAMG in Graz hat uns dazu einen Beitrag gestaltet, der für die Wildbach- und Lawinenverbauung sicher sehr interessant ist.

Sonstiges: So wie in jeder Ausgabe unseres Fachjournals, gibt es auch Beiträge, die mit dem Generalthema des Heftes nichts zu tun haben. Häufig sind es Beiträge, die sich noch auf das letzte Thema beziehen und keinen Platz mehr in der letzten Ausgabe finden konnten. Wir möchten ihnen diese interessanten Beiträge aber nicht vorenthalten. Vor allem die Anliegen und Forderungen des Naturschutzes bei der Planung von Schutzbauten, welche die Mitarbeiter der Abt. Umweltschutz des Amtes der Tiroler Landesregierung, formuliert haben, ist eine wichtige Information für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Wildbach- und Lawinenverbauung.

Die Ausgabe 183 unseres Fachjournals hat somit einiges zu bieten. In der nächsten Ausgabe im Herbst werden wir uns dem Generalthema Gefahrenzonenplanung widmen.

Wir wünschen Ihnen viel Interesse beim Lesen und Studieren der Beiträge. Wenn Sie Anregungen für uns haben, welche Themen besonders interessant wären oder wie man unser Fachjournal noch besser gestalten könnte, so würde es mich freuen, von Ihnen zu hören

DI Siegfried Sauermoser Schriftleiter



Das im Jahre 1948 durch Herrn Josef Rüf sen. gegründete Unternehmen wird heute in der zweiten und dritten Generation durch Bruno, Christoph und Josef jun. geleitet. Unsere höchst motivierten und bestens ausgebildeten Mitarbeiter, unterstützt durch den modernen und technisch auf neuestem 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.

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

Mehr über uns: www.ruefbau.com





Im Forst 469 . 6883 Au/Bregenzerwald

office@ruefbau.com . www.ruefbau.com



Gebrüder Rüf Bau und Transport GmbH & Co KG

der Schnee- und Lawinenforschung

Seite 15

JAN-THOMAS FISCHER, MARC ADAMS, PAUL DOBESBERGER, REINHARD FROMM, ANDREAS GOBIET,

CHRISTOPH MITTERER, PATRICK NAIRZ, CHRISTIAN TOLLINGER, MATTHIAS WALCHER UND MATTHIAS GRANIG

ISSW 2018 – Österreich im Zentrum der Schnee- und Lawinenforschung

ISSW 2018 – Austria in the center of snow and avalanche research

Zusammenfassung:

Der ISSW (International Snow Science Workshop) ist die weltweit größte Fachkonferenz zum Thema Schnee und Lawinen. Ihr Erfolg liegt im Motto: "Forschung für die Praxis – Praxis für die Forschung". Sie findet alle zwei Jahre statt und wurde bisher vor allem in Nordamerika und Europa veranstaltet. Vom 7.-12.10.2018 gastierte der ISSW zum ersten Mal in Österreich und wurde im Congress Innsbruck in Kooperation vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), dem Lawinenwarndienst Tirol und der Wildbach- und Lawinenverbauung organisiert.

Zahlreiche Innovationen aus allen Bereichen der Schnee- und Lawinenwelt wurden vorgestellt. Diese reichten von technischen Fragestellungen in Bezug auf Schneemanagement über neue Methoden zur Sicherung von Skigebieten bis hin zur zentralen Bedeutung der menschlichen Gefahrenbeurteilung. Mehr als 1000 nationale und internationale Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Wissenschaft und Praxis nutzten die Chance zum internationalen und fachübergreifenden Austausch zwischen SchneeexpertInnen, ProfessionistInnen oder EntscheidungsträgerInnen. Mit über 420 Fachbeiträgen aus 27 Ländern war der ISSW 2018 einer der bisher größten Veranstaltungen seiner Art und wurde von einer Fachmesse, sowie entsprechenden Fortbildungskursen und Fachexkursionen begleitet. Zusätzlich wurde in Kooperation mit der EUSALP-Gruppe diese Veranstaltung auch für die breite Fach-Öffentlichkeit geöffnet. Im Rahmen des "Public Day" diskutierte das Publikum mit Politikerinnen und Politikern sowie lokalen und internationalen Expertinnen und Experten über Fragen, wie z.B. "Nachhaltige Sicherung des Lebensraumes in den Alpen – aber wie?".

Stichwörter: ISSW 2018, Schnee, Lawinen, Konferenz

Abstract:

The International Snow Science Workshop (ISSW) has a long-standing tradition in North America, where it has been held bi-annually since 1982. The ISSW 2018 in Innsbruck is the 22nd overall and third European ISSW, after Davos (Switzerland) in 2009 and Grenoble (France) in 2013.

The program of the ISSW 2018 featured 420 contributions from 27 different countries, underlining the international character of the conference. These contributions were assigned to 19 sessions, distributed over eight 'General Topics' and eleven 'Special Topics'. In addition, ten 'Field Trips' and eight 'Training Courses' underpinned the ISSW motto 'A Merging of Theory and Practice', promoting knowledge transfer between scientists and practitioners.

Keywords: ISSW 2018, snow, avalanche, conference

Themen und Inhalte

Das Programm des ISSW 2018 beinhaltete 420 Beiträge, aufgeteilt auf 140 Vorträge und 280 Poster. Die Beiträge wurden auf 19 ,General Topics' und 'Special Topics' verteilt und zum größten Teil auf Englisch präsentiert oder simultan in eine der weiteren Konferenzsprachen Französisch, Italienisch oder Deutsch übersetzt. Um ein qua-

litativ hochwertiges abwechslungsund reiches Programm zu bieten, wurde bei dem ISSW 2018 Wert auf ein transparentes Bewertungs- und Planungskonzept gelegt. 130 Gutachter aus internationalen der Schnee- und Lawinengemeinde bewerteten Einreichungen die vorgegebenen nach Kriterien (Originalität, Relevanz und Qualität) und unter dem ISSW

Motto "Forschung für die Praxis – Praxis für die Forschung". Dass dieses Motto auf dem ISSW auch gelebt wird, spiegelte sich in dem ausgewogenen Verhältnis aus Theorie und Praxis wider: 42 % der Beiträge wurden als eine ausgewogene Kombination aus Theorie und Praxis bewertet, 21 % als entweder mehr Praxis oder Theorie bezogen, 10 % der Beiträge als hauptsächlich Praxis fokussiert und 6 % als theoretische Arbeiten (Siehe Abbildung 1).





Abb. 2: Graphic Recording – eine graphische Zusammenfassung der ISSW 2018 Inhalte, Montag 08.10.2019 *Fig. 2: Graphic Recording – a graphical summary of the ISSW 2018 topics, Monday 08.10.2019.*

Der ISSW startete am Montag mit den Themen "snow and avalanche dynamics; protection measures: risk management and engineering solutions" (Abbildung 2). Beiträge reichten von der klassischen Lawinendynamik bis hin zu den Schutzmaßnahmen und waren von besonderem Interesse für Ingenieure und Sicherheitsverantwortliche. Highlights der Session waren neue Simulationsmodelle, die zur Berechnung Computermodelle aus der Filmindustrie verwenden, sowie neue Anwendungen von probabilistischen Methoden - also solchen, die sich Wahrscheinlichkeiten zu Nutze machen, um Unsicherheiten in Lawinensimulationen abzuschätzen. Auch bei der Messung von fließendem Schnee zeigten sich große Fortschritte: während bei Experimenten im Labor der genaue Temperaturverlauf in fließendem Schnee gemessen wurde, finden nunmehr Sensorknoten - die mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet sind, und mit Lawinen mitfließen – Einzug in die Vermessung der Lawinenbewegung. Andere zentrale Themen beinhalteten die Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen in der Gefahrenzonenplanung. Die angewandte Fernerkundung war nicht nur in ihrer klassischen Anwendung, zur Erstellung von dreidimensionalen Modellen mit Hilfe von Laserscannern mehrmals an der ISSW vertreten. So wurden beispielsweise auch Möglichkeiten aufgezeigt, um Schutzbauwerke durch Drohnen oder durch Verwendung von Satellitendaten zu beurteilen. Zudem können Fernerkundungsmethoden auch eingesetzt werden, um den Zustand der Schneedecke einzuschätzen oder wie hoch die Lawinenaktivität ist.

Für den ISSW teils neu waren die Themenbereiche "snow hydrology, sustainabilitiy and climate change; snow making and ski resort management" (Abbildung 3). Es wurden neben Schneehydrologie und der technischen Erzeugung



Abb. 3: Graphic Recording – eine graphische Zusammenfassung der ISSW 2018 Inhalte, Dienstag 09.10.2019. *Fig. 3: Graphic Recording – a graphical summary of the ISSW 2018 topics, Tuesday 09.10.2019.*



Abb. 4: Graphic Recording – eine graphische Zusammenfassung der ISSW 2018 Inhalte, Mittwoch 10.10.2019. *Fig. 4: Graphic Recording – a graphical summary of the ISSW 2018 topics, Wednesday 10.10.2019.*

von Schnee auch die Auswirkungen des Klimawandels behandelt. Dazu gehörten zeitgemäße Methoden und aktuelle Projekte zum effizienten Management, der technischen Erzeugung, und dem sog. "Snow farming", sowie aktuelle Entwicklungen zu Maßnahmen wie Lawinensprengungen. Dass jeder Einzelne einen Beitrag zu Forschung und Zukunft leisten kann, wurde am Beispiel einer Citizen-Science-Kampagne zur Erhebung von Schneehöhendaten veranschaulicht.

Auch die Schneedecke und Lawinenwarnung war mit dem Themenblock "snowpack: stability and variability; avalanche forecasting" vertreten (Abbildung 4). Im Bereich der Schneedeckenstabilität wurden neue, quantitative Vergleichsmethoden für Schneeprofile oder auch die unterschiedlichen Auswirkungen von vertikaler und seitlicher Belastung auf Schwachschichten in Schneedeckentests vorgestellt. Auch zur Diskussion standen die genaue Definition von Lawinengrößen, die Quantifizierung von Schlüssel-Elementen zur Bestimmung der Lawinengefahrenstufe, die Harmonisierung der regionalen Lawinenvorhersage, sowie internationale Unterschiede bei rechtlichen Folgen von Lawinenunfällen.

Der Umgang mit Risiko im Feld wurde im letzten Themenblock "human factors: risk and strategies; education and rescue" behandelt (Abbildung 5). Thema war unter anderem, ob Lawinenkurse ein neuer Hochrisikosport sind, wie GPS-Messungen zur Untersuchung der entscheidungsbeeinflussenden Faktoren im freien Gelände beitragen können oder wie die Verlässlichkeit und Genauigkeit von Gefahrenprognosen einzuschätzen ist. Neueste Erkenntnisse zur schnellen Bergung wurden präsentiert. Bei der Kommunikation von Gefahren waren Konsistenz, Genauigkeit und Wahrnehmung Begriffe, die in mehreren Beiträgen zu finden waren. Auch moderne Kommunikationsmethoden in den sozialen Medien wurden berücksichtigt. Insbesondere auf diesem Gebiet entwickelt sich die Forschung derzeit stark, sodass beim nächsten ISSW neue Erkenntnisse und Trends zu erwarten sind.

Die thematischen Schwerpunkte des ISSW wurden traditionsgemäß mit abwechslungsreichen Feldexkursionen abgerundet. Insgesamt zehn Exkursionen führten in verschiedene Regionen von Tirol und ins angrenzende Vorarlberg. Diese reichten von Halbtagsausflügen (bspw. auf der Nordkette zum Thema integrales Lawinenrisiko-management), bis zu Ganztagesexkursionen nach Galtür, Ischgl, Stubai oder Lech, wo insbesondere die lange Geschichte des Umgangs mit dem Lawinenrisiko oder innovative Lösungen in modernen Skigebieten gezeigt wurden. Insgesamt nahmen über 350 Personen an den verschiedenen Exkursionen teil.

Erstmals in der Geschichte der ISSW wurde auch ein PUBLIC DAY – ein Tag der Offenen Tür – organisiert. Eingeladen waren neben der interessierten Öffentlichkeit vor allem Entscheidungsträger aus Politik, Praxis und Wissenschaft. Am frühen Nachmittag fanden mehrere Führungen durch den Poster- und Messebereich der ISSW für interessierte Personen, Studenten sowie Schüler und Lehrer verschiedener Schultypen und Schulstufen statt. Insgesamt nahmen dort etwa 250 Personen teil. Anschließend fand in Kooperation mit der Tiroler Präsidentschaft der EU-Alpenstrategie (EUSALP) und der EUSALP-Aktionsgruppe 8, die sich mit Naturgefahren-management im Alpenraum beschäftigt, eine hochkarätig besetzte Diskussion unter dem Titel "Sicherer Lebensraum durch neue Wege im Risikomanagement" statt. Mehrere Vorträge gaben Einblicke in kooperative Ansätze, wie man den Lebens- und Wirtschaftsraum Alpen für die nachhaltige Entwicklung gemeinsam schützen kann. Dabei diskutierte das Publikum mit Politikerinnen und Politikern sowie lokalen und internationalen Expertinnen und Experten über Fragen wie "Nachhaltige Sicherung des Lebensraumes in den Alpen - aber wie?". Ein Lösungsansatz wurde mit dem neuen, grenzüberschreitenden Lawinenwarnprojekt ALBINA präsentiert (www.lawine.report), das in Zukunft die harmonisierte und mehrsprachige

Gefahrenbeurteilung im zentralen Alpenraum (Tirol, Südtirol, Trentino) erlaubt.

Danksagung

Die Mitglieder des ISSW 2018 Programmkommitees bedanken sich bei dem Organisationskommittee und den Sponsoren der ISSW, die diese Konferenz erst ermöglicht haben. Weiterer, ganz besonderer Dank geht auch an alle Helfer und Unterstützer, insbesondere den Organisatoren der ,Field Trips' und ,Training Courses', sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Congress Innsbruck, ohne deren helfende Hände dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre!

Weiterführende Informationen

Weitere Informationen über den International Snow Science Workshop 2018 in Innsbruck finden sich im "program", den "abstracts" und den entsprechenden "proceedings" (siehe Abbildung 6); unter anderem sind diese auch online zu finden: unter www.issw2018.com und http://arc.lib.montana.edu/snow-science sowie dem Konferenztrailer: www.youtube.com/watch?v=88fWvTcises Im Anhang wird noch ein Überblick über die vielfältigen und spannenden Exkursionen, welche im Rahmen der ISSW durchgeführt wurden, gegeben.



∆hh 5 Graphic Recording - eine graphische Zusammenfassung der ISSW 2018 Inhalte. Donnerstag 11.10.2019.

Graphic Recording – a graphical summary of the ISSW 2018 topics, Thursday

Publikationen Publications ISSW 2018:

program, abstracts and proceedings







ISSW 2018: Programm, Abstracts und Proceedings Fig. 6:

Abb. 6:

FT1 - Ski resort safety management **Innsbruck – Nordkette**



Description

Nordkette is the name of the mountain chain located north of Innsbruck. The Nordkette ski resort, just above the city, is directly accessible via cable car from Innsbruck's city center, from where one can travel to the highest point (Hafelekar at 2250 m a.s.l.) in approximately 40 min. Once at the top, visitors have a spectacular view over the Inn Valley and as far south as the Dolomites. In wintertime, the steep slopes of the Nordkette give rise to avalanche danger, affecting skiers and local residents alike, thus requiring a continuous and professional safety management. Participants of this excursion will visit the ski area and learn about the transport management, avalanche mitigation, access control, as well as the well-planned guidance system for the local recreation area on the Nordkette.



Looking at the Nordkette showing an artificial avalanche release



Looking down the Nordkette ski resort, with Innsbruck and the Main Alpine Ridge in the background

Event Information

Destination	Innsbruck Nordkette
Duration	Half day [08:00 – 13:00]
Means of transport	Short ride with public transport (bus / gondola), mostly hiking on trails / gravel roads
Required equipment	Hiking shoes, rain coat and appropriate clothing
Language	English

organized by: () BFW.









R ORTOVOX

FT2 – Integral avalanche risk management **Stubai Valley**

Description

The Stubai Valley is characterized by high-altitude mountains reducing the available area for settlements to the narrow valley bottom and further causing avalanches. endangering settlements and infrastructure. Stubai's ski areas and the picturesque scenery attract large amounts of winter tourists and thus a lot of traffic; the approximately 15,000 permanent inhabitants cater to almost 1,1 Mio, overnight stays every season. As an example more than 100 avalanche paths cross the access road to the Stubai glacier ski area located at the head of the valley. However, only few of these avalanche catchments feature mitigation measures like snow bridges, catching or deflecting dams. The excursion will visit interesting locations and viewpoints along the valley giving an overview of the challenges regarding avalanche risk management. The pictures below show different imp







October 07-12









Event Information Destination Stubai Valley Half day [08:00 - 12:00] Means of trans Bus transport with occasional stops and short walks along the way Required equipmen Sturdy shoes and rain coat Primary: German // Secondary: English Language









FT3 - Water and snow mgmt. in modern ski resorts

Innsbruck – Patscherkofel



Description

The Patscherkofel is an iconic mountain located south of Innsbruck. It is situated on the doorstep of the city. The ski resort is equipped with a modern snowmaking system that provides runs for all ability levels. In addition, the snow park near the mountain station is a hotspot for the Innsbruck freestyle scene and international guests. In the base area at 1.000 m a.s.l., the "Kinderland" offers facilities for kids to learn to ski or to improve their skills with professional guidance. Three days a week, slopes are illuminated for night-skiing.



Looking over the water storage into the Stubai valley

LOBEW.

Event Information

organized by:

Destination	Innsbruck Patscherkofel
Duration	Half day [08:00 – 12:00]
Means of transport	Short ride with public transport (bus / gondola), mostly hiking on trails / gravel roads
Required equipment	Hiking shoes, rain coat and appropriate clothing
Language	Primary: German // Secondary: English



ਵਾ

ORTOVOX

FT4 – Avalanche defense structures **Innsbruck – Seegrube**

Description

Innsbruck, the provincial capital of Tyrol, is endangered by ter avalanches paths. The past events cadaster shows that some avalanches have reached outskirts of the city. After a big avalanche in 1935, the WLV started building mitigation neasures in different avalanche naths. In the runout area of the Arzleralm avalanche avalanche breaking mounds and small dams were erected. After the avalanche events in 1968, the avalanche catching dam was enlarged to its current height of 25 m. Some steel supporting structures were constructed in the release areas of the Rastlboden. Gerlehner and Gerso avalanche





October 07-12



the avalanche path of the Mühlauerklamm avalanche, two avalanche breakers have been constructed during the last years. Beside these technical measures, some afforestations were mplemented to improve the protective effect of the forests. We will visit these sites and learn more about the avalanche defense nuctures protecting Innsbruck





Event Information Destination Duration

Innsbruck Seegrube All day [08:00 - 17:00] // lunch included **Required equipment** Hiking shoes, rain coat and appropriate clothing Means of transport Short ride with public transport (funicular), mostly hiking on trails/ gravel roads English



Language









presenting sponsor:

A view into the ski area pumping station

making and grooming.

A 10-passenger- cabin ropeway provides access

up to 1950 m.a.s.l.. The wide range of activities on

Patscherkofel requires professional water and snow management. Careful use of water and

energy resources is one of the main guidelines for

the ecological and economic success of the ski

area. During this excursion, participants will be



FT5 – A history of avalanche mitigation Galtür

Description

This field trip leads the participants to the community of Galtür in Western Tyrol. It offers an insight into the century-old struggle of the valley community in Paznaun against avalanche danger and shows how to deal with the current challenges of risk management. The field trip will be accompanied by Galtür's mayor Anton Mattle











October 07-12



Figure 1: Avalanche protection structures in Galtür, 1613 - 2018 Figure 2: Hard and dangerous work in high Alpine areas Figure 3: Steel snow bridges with historic foundation Figure 4: Heightened snow bridges due to cornices Figure 5: Avalanche deflecting- and catching dams Figure 6: Historical snow net Figure 7: First preventive works from the 1950s Figure 8: Meteorological weather station for current information Figure 9: Avalanche wedge at the farmhouse 'Bircha' from 1613 Figure 10: Alpinarium, a multifunctional building for times of threat

Construction: Since 1972 (1613)

16 km snow bridges; 240 m snowfences; 1,3 km avalanche dams and -walls; 10 splitters and retarding mounds; 25 ha afforestation with 6 ha array of pales; 12,5 km access road works € 30 Mio. (58% Austria, 19% Tyrol, 10% Galtür, 4% Ischgl, 1% European Union, 8% common summary)

Costs:

Measures:

Event Information Destination Galtür, Paznaun Valley Duration Full day [08:00 - 17:00] // lunch included Means of transport Bus transport with occasional stops and short walks along the way Please bring sturdy shoes and rain coat **Required equipment** Language Primary: German // Secondary: English











WVSSB7



FT6 - Hazard and risk mapping Innsbruck - Mühlau

October 07-12

Description

interaction is an analyzed to assess long momentum experies of the Nominetic, a long received right parts of the long that has a finite to the basis of the long to the long t enteres and similar developed for full approximation of the parallel to content for your parallel and specified and more data of enteresteries and the developed of a 112 part more press. As address and far parameters of the effects of the entryptic resources, which are united facing the descender period. During the sources or ad least sheet they the residuate tested togging by broken and ranked and they all new and have also being and tested appropriate and the analysis of the analysis Photo, we have a long to the logs of Neuroberts to see the instrumented scree het considerers have and descess her finitings.





















F					7	Ŧ		F		==					
	122	5		1.	6	-	1.5	14		H	2.2	ы		M	5
	-	F		-40	4	π.	d,		*		1	þ.	F	ŧ.	ŀ
	1.00	H	-	-	4	+	-	ja	+		4	l-	F	٠	ŀ
	-	Ŀ.				4	6				¥	þ.	ŀ.	÷	ŀ
	- 101						4	+	×.		+	F	E	÷	Ŀ
	-	Г			Г	F.	1	+	÷	7	٠	F	F	÷	F
ſ		5		-	14	6	-			÷	1	ŀ	-	÷.	ŀ
	**				Г	P	4	10	٠		+	F	F	×	ŀ
	1	<u> </u>			_										

Destination

Means of transport

Duration

Language

Event Information Invabruck Mühlau - Hafelekar

All day [58:00 - 17:50] // Junch included

Short ride with public transport (bus / funicular), mostly hiking on trails / gravel roads

Required equipment Hiking shoes, rain coat and appropriate clothing

English











October 07-12

R

CREDVOX

FT7 – Temporary avalanche control and detection systems **Paznaun Valley**

Description

In this excursion the framework of a temporary avalanche control, from its first steps to the operation will be shown by three examples. The engineering part of such a project as well as the administrative framework will be explained by two examples of avalanche control missions securing the only access road to the Paznaun Valley (Tyrol). Several sections of the road have to be closed regularly due to high avalanche risk. As the main economic activity of the Paznaun Valley is winter tourism, closing the only access road is very expensive for the region. Therefore, several remote avalanche control systems (RACS) and two avalanche radar units have been installed for the protection of two key sections of this road, endangered by avalanche from the Ulmicherbachl, Großtal and Hoher Zug avalanche paths.

The operational part of avalanche control will be explained by an example of the ski resort lschgl (Tyrol). The trails and ski lifts in the resort are endangered by a vast number of avalanches and the avalanche control has to be done as quickly as possible to allow a timely start of the ski operation. Therefore, the avalanche control team uses a variety of tools for hazard assessment and different procedures of artificial release methods ranging from hand charges, over heli-bombing to different types of RACS.





Lionicinioniation	
Destination	Paznaun Valley
Duration	All day [08:00 – 17:00] // lunch included
Means of transport	Bus transport with occasional stops and walks along the way
Required equipment	Sturdy shoes, rain coat and sunblock
Language	English
organized by:	presenting sponsor: avalanche safety sponsor
	control

FT8 – Snow safety management Stubai Glacier



Description

The ski resort Stubai Glacier is the biggest glacier ski resort in Austria with 108 kilometers of ski-runs. 26 lifts and cable cars and a transport capacity of approx. 40,000 persons per hour. Partly built on an increasingly shrinking glacier, snow management is highly important for the existence of the ski resort. While until 2002 the glacier could also be used for summer skiing, nowadays the ice is artificially covered during the summer months in order to minimize glacier retreat. Besides the problems and risks faced due to global warming, crevasses still pose severe risks for guests and employees - alongside avalanches. This excursion on the one hand focuses on safety management practices with regard to crevasse and

avalanche hazards in the ski resort. On the other hand, it addresses the production and management of technical snow. Additionally, the Mountain Rescue Service Tyrol will present a bipod and a tripod for crevasse rescue on the glacier and will simulate a typical avalanche rescue scenario.







ರಾ

ORTOVOX

Panorama view at Gamsgarten [Photo: Andre Schönherr]

Panoramic view at Daunjoch [Photo: Andre Schönherr]

Event Information Destination Stubai Glacier Duration All day [08:00 - 17:00] // lunch included Means of transport Short ride (bus and ski lift), mostly hiking on trails / snow **Required equipment** Hiking shoes, rain coat, appropriate clothing and sunblock Language Enalish









FT9 – IT networks and decision making in ski resorts Lech am Arlberg



Description

The participants of this excursion will visit one of the most historical and famous hotspots for skiing in the Alps. From the origin of sporty and stylish skiing at beginning of 20th century to the development of the first avalanche blasting masts in the 80's, progress has now arrived the digital age. Smartphones, social networks and IT communication are used in the Lech ski area to support risk analyses and decision making of snow and avalanche safety management. The participants will learn about the current IT state-of-the-art in Lech, and how cooperation and communication between different organizations in a very large ski resort are managed.



Ski resort Lech am Arlberg [Photo: LZT]

Documentation of avalanche blasting

App solutions for outdoor observation

Snow and avalanche networking platforms used by ski and

mountain guides are presented, which are connected to

documentation applications of avalanche commissions and

ski patrols, allowing the exchange of data and human

observations via apps in real time. Potentials and difficulties

for communication platforms amongst decision makers in

Event Information

Destination					
Duration					
Means of transport					
Required equipmen					

Required equipment Language

organized by:





English



Lech am Arlberg (1400- 1900 m.a.s.l.)

All day [08:00 - 17:00] // lunch included



Bus ride and funicular, mostly hiking on trails / gravel roads

Hiking shoes, rain coat, appropriate clothing and sunblock



snow



R

FT10 – Transport infrastructure and avalanches St. Anton am Arlberg

Description

Linear transport infrastructure is the lifeline of Alpine regions. Roads and railways transport people and essential goods along the valleys and over mountain passes. In tourist areas, arrival and departure traffic often causes congestion, especially on the weekends. The Arlberg was already made accessible to tourism in 1884, by the construction of the railway line. Later, in addition to the Arlberg Pass road, a high-level road connection through the Stanzer Valley was built. All these infrastructure lines are seriously endangered by avalanches.



October 07-12

Aerial view of the Stanzer Valley, showing different kinds of transport infrastructure and the village St. Anton am Arlberg in the background [Photo Norbert Rüf, ÖBBI

The participants of this excursion will be introduced to the organizational avalanche protection concepts of the infrastructure operators and tourism communities in the Stanzer Valley, Western Tyrol. The avalanche warning service of the Austrian Federal Railways (ÖBB), the ASFiNAG expressway administration, the provincial road administration as well as the largest tourism community in the Stanzer valley, Sankt Anton am Arlberg, will present their common approach to assess avalanche danger. The use of Alpine meteorological data and various mitigation measures are also discussed during the field trip.

all a	2)
	and the
See See	1

Snow clearing on the Arlberg railway track and on the federal road after an avalanche event [Photo: ÖBB]

Event Information Destination St. Anton am Arlberg Duration

All day [08:00 - 17:00] // lunch included Means of transport Bus transport with occasional stops and short walks along the way **Required equipment** Sturdy shoes and rain coat Language English









Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Jan-Thomas Fischer Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck jt.fischer@bfw.gv.at

Marc Adams Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck Marc.Adams@bfw.gv.at

Paul Dobesberger Wyssen Austria GmbH Archenweg 52, A-6020 Innsbruck paul@wyssen.com

Reinhard Fromm Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck Reinhard.Fromm@bfw.gv.at

Andreas Gobiet ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Klusemannstraße 21, 8053 Graz andreas.gobiet@zamg.ac.at Christoph Mitterer Abteilung Zivil- und Katastrophenschutz Lawinenwarndienst Eduard-Wallnöfer-Platz 3, 6020 Innsbruck chris.mitterer@tirol.gv.at

Jan-Thomas Fischer et al.: ISSW 2018

Patrick Nairz Abteilung Zivil- und Katastrophenschutz Lawinenwarndienst Eduard-Wallnöfer-Platz 3, 6020 Innsbruck patrick.nairz@tirol.gv.at

Christian Tollinger Wildbach- und Lawinenverbauung Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck Christian.Tollinger@die-wildbach.at

Matthias Walcher Abteilung Zivil- und Katastrophenschutz Lawinenwarndienst Eduard-Wallnöfer-Platz 3, 6020 Innsbruck matthias_walcher@hotmail.com

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



www.geobrugg.com/lawinenschutz



SPIDER® Avalanche Lawinenprävention

DER EFFIZIENTE SCHUTZ VOR LAWINEN

Geobrugg AG | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com



Safety is our nature

FELIX OESTERLE, ANDREAS KOFLER, JAN-THOMAS FISCHER

Verwendung von Wahrscheinlichkeiten in der Gefahrenzonenplanung

Towards a probabilistic avalanche simulation strategy for hazard mapping.

Zusammenfassung:

Lawinensimulationen sind ein wichtiges Werkzeug für die Gefahrenzonenplanung. Ihre Anwendung ist in Standardprozeduren geregelt und mittels vorgegebenen, getesteten Einstellungen transparent und nachvollziehbar. Allerdings ist bekannt, dass diese Simulationen mit Unsicherheiten behaftet sind, die aus unterschiedlichen Quellen, wie beispielsweise unsichere Eingangsparameter oder Modellimplementation, entstehen. Im Hinblick auf die praktische Anwendung in der WLV wird eine Methode präsentiert, um eine Abschätzung der relativen Wichtigkeit einzelner Parameter zu ermitteln. Weiters wird ein erster Prototyp einer möglichen Simulationsstrategie gezeigt, der eine Aussage über Wahrscheinlichkeiten der Auslauflänge ermöglicht.

Stichwörter: Lawinensimulation, Gefahrenzonenplanung, Unsicherheiten, SamosAT

Abstract:

Computer simulations are a common tool for assessing the potential hazard associated with avalanches. Their application is straightforward and setup guidelines exist for hazard mapping and engineering issues, making them transparent and easy to replicate. Being aware of uncertainties within models, as well as those for input data, we investigated the main sources for the simulation tool SamosAT. Prioritizing in regard to practical application leads to a base set of parameter variations to include in a first prototype. We highlight the necessity to accept inherent uncertainties of input data and simulation tools. Handling these is necessary for future advancement of avalanche simulations in engineering applications and our presented strategy is a first step towards this goal.

Keywords: Avalanche simulation, hazard mapping, uncertainty, SamosAT

Einleitung

Für die WLV ist im Bereich Lawinen die Gefahrenzonenplanung (GZP) eine der zentralen Hauptaufgaben. Neben Chronikereignissen, Felderhebungen und Expertenwissen spielt die Verwendung von Modellen, insbesondere von Lawinensimulationen eine große Rolle bei der Erstellung von GZPs. Die aktuelle Standardvorgehensweise stellt ein "Poor man's ensemble" dar, indem verschiedene Modelle/Methoden (SamosAT (Sampl, 2007), RAMMS (Christen et al, 2010), Alpha-Beta (Wagner et al, 2016)) verwendet und verglichen werden. Zusätzlich werden verschiedene Szenarien pro Modell untersucht. Dies reicht von Fliesslawinen bis zu Staublawinen, mit unterschiedlichen Variationen für Anbruch-, Entrainment- und Widerstandsgebiete. Dies ermöglicht dem Nutzer eine Information über den möglichen Auslaufbereich zu bekommen.

Bisher wurde versucht, eine bestmögliche Kalibrierung der Modellparameter zu gewinnen, mit der alle Beobachtungen möglichst gut abdeckt sind (Oberndorfer et al., 2007, Gruber et al., 2007). Neuere Entwicklungen versuchen über multivariate Optimierungen die möglichen Bereiche der Parameter und Ergebnisvariablen auszuloten und einzugrenzen (Fischer et al. 2015). Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Hauptursachen für Modellunsicherheiten zu dokumentieren und ihre jeweilige Wichtigkeit zu bestimmen. Anstatt zu versuchen einen einzigen Wert für eine Modellkalibrierung zu finden, untersuchen wir die Ergebnisvariation, die sich aus verschiedenen Szenarien ergeben. Wir setzen diese Variation dann in Bezug zu ausgewählten Eingangsgrößen, um festzustellen welche Bandbreite der Eingangsgrößen zu einer ähnlichen Variation führen. Im vorliegenden Projekt werden folgenden Einschränkungen verwendet: es wird das SamosAT Fließmodell angewendet, außerdem werden nur Eingangsgrößen verwendet die für den Endnutzer relevant und nachvollziehbar sind.

Modellunsicherheiten

Die vorliegende Methode verwendet SamosAT -DFA, Version v2017_07_05 (Parameter Standard Std:03_2017). Unsicherheiten in diesem Modell haben verschiedene Wurzeln. Grob können wir sie auf die folgenden Ursachen zurückführen:

- Abschätzung von Eingangsgrößen (Anbruch, Entrainment)
- Modellunsicherheit (Modellannahmen und Vereinfachungen)
- Ungenaue Prozessparameter vs. Materialparameter (physikalische Parameter)
- Implementierungsunsicherheiten (numerische Unsicherheiten der Modellimplementierung)
- Unsicherheiten aus dem Vergleich von Ergebnisvariablen zu Beobachtungen

Methode

Wir konzentrieren uns auf die beiden Eingangsgrößen Anbruchmächtigkeit d_{rel} (als Beispiel für Anfangsbedingungen) und den Bettreibungswinkel μ (als Beispiel für das Prozessmodell). Eine detaillierte Untersuchung der numerischen Implementation und Extrahierung der Ergebnisvariablen wird nicht durchgeführt, wird aber in zukünftigen Projekten untersucht werden.

Als maßgebendes Simulationsergebnis wird die projizierte Auslauflänge betrachtet, welche über das Ergebnis des dynamischen Druckes bestimmt wird und als der 1 kPa runout definiert ist. Zur Ermittlung der Auslauflänge werden die flächigen Simulationsergebnisse in ein mit dem zentralen Fließpfad ausgerichtetes Koordinatensystem projiziert und in diesem ausgewertet (AIMEC siehe Fischer et al. 2013). Die Auswirkungen der unten aufgeführten Szenarien werden einer Referenzsimulation gegenübergestellt. Aus der resultierenden Abweichung folgt somit die Unsicherheit aus dem jeweiligen Szenario.

Im Rahmen dieser Arbeit wird festgelegt, das Ausmaß der praktisch relevanten Unsicherheiten der Simulationsergebnisse anhand von operationellen Szenarien des Standardprozederes des Fachzentrums für Geologie und Lawinen (FZGL) abzuleiten. Diese sind:

- Lawinengröße, beziehungsweise Anbruchvolumen (über Größe des Anbruchgebietes A_rel+/-25)
- Einfluss von Entrainment (aus / 30 cm an)
- Einfluss der Topographieauflösung (5 m × 5 m / 10 m × 10 m)

Um relevante Ergebnisvariationen untersuchen zu können, werden vier verschiedene Testlawinen verwendet. Für jede Lawine wird das derzeitige Standprozedere der WLV durchgeführt, sprich die aktuelle Vorgehensweise im Rahmen der Gefahrenzonenplanung. Dies stellt die Referenzsimulation dar und beinhaltet die 3-Tagesneuschneesumme als Anbruchmächtigkeit, eine Topographie mit 5 m Auflösung und von Experten ausgewiesene Anbruchgebiete.

Die Beispiele, anhand welcher die Unsicherheiten in SamosAT untersucht werden sind:

- generische Topographie glatt
- generische Topographie kanalisiert
- Arzleralm-Lawine
- Gidis-Lawine

Die generischen Topographien werden aus früheren Projekten (OPTIMOS, CoSiCa, siehe Fischer et al., 2013) für die vorliegende Untersuchung verwendet. Die horizontalen Auslauflängen für die Referenzsimulationen bewegen sich im Bereich 1600–2400 m, die Anbruchmächtigkeiten im Bereich von 1.0–1.5 m.

Dies führt zu den praktisch relevanten Unsicherheiten in der Auslauflänge von

- Szenario Anbruchfläche: ≈ -30 m bis
 + 70 m
- Szenario Entrainment: ≈ +20 m bis
 + 95 m.

Um eine Vergleichbarkeit verschiedener Lawinen und Szenarien zu ermöglichen wird der Auslaufgradient Δ eingeführt. Dieser hält fest wie groß die Änderung der jeweiligen Eingangsgröße sein muss, um eine Änderung der Auslauflänge von +100 m zu bewirken.

Für die Arzleralm wurde eine Unsicherheit von nur ≈ +5 m beim Szenario Anbruchfläche beobachtet, was mit dem Damm in der Sturzbahn zu begründen ist. Daher wurde dieses Beispiel für die gemeinsame Auswertung der Unsicherheiten nicht berücksichtigt. Die Arzleralmlawine stellte vor allem in Bezug auf Randbedingungen und Topographieeffekte (Damm, mehrere Lawinenarme, etc.) ein interessantes Beispiel dar.

Im nächsten Schritt wurde ausgehend von den Referenzsimulationen jeweils eine der beiden (gewählten) Eingangsgrößen in den Bereichen $\mu \epsilon$ [0.1, . . , 0.4] und $d_{rel} \epsilon$ [0.5 m, . . . , 2.5 m] variiert, während die andere konstant gehalten wurde. Die Auslauflängen variierten dabei bei μ von \approx -700 m bis +200 m und bei d_{rel} von \approx -40 m bis +400 m.

Somit können die praktisch relevanten Unsicherheiten (aus den Szenarien kommend) auf die Variation der beiden Eingangsgrößen μ und d_{rel} übertragen werden. Dadurch lässt sich die praktisch relevante Variationsbreite dieser Eingangsgrößen abschätzen.

Um zum Beispiel die unterschiedli-

chen Auslauflängen des Szenario Entrainment über die Eingangsparameter zu erreichen, kann μ im Bereich 0.13 bis 0.16 bzw d_{-1} im Bereich von 0.8 - 2 m variiert werden. Dies entspricht z. Bsp. für d_{ral} einem Auslaufgradienten Δ von +2.84 m/+100 m. Dies zeigt, dass in der aktuellen Implementierung des Prozessmodells SamosAT DFA das Ergebnis sehr stark vom Reibungsmodell, welche über die Definition des Prozessparameters µ gesteuert wird, abhängt. Im Gegensatz dazu hat die Anbruchmasse, die über die Anbruchmächtigkeit d_{1} , variiert werden kann, einen vergleichbar kleinen Einfluss. Allerdings hat die Anbruchmächtigkeit einen großen Einfluss, wenn neben den Auslauflängen auch die Geschwindigkeiten mituntersucht werden. Zudem kommt der Identifikation des Anbruchgebietes eine bedeutende Rolle zu, da die Verteilung der Anbruchmasse im potentiellen Anbruchgebiet einen bedeutenden Einfluss auf das Simulationsergebnis hat.

Operationaler Prototyp

Basierend auf obiger Methode wurde ein Prototyp zur Behandlung von Unsicherheiten in der Gefahrenzonenplanung entwickelt. Um die Methode anwendbar und schnell zu halten, wurde ein

Abb. 1: Visualisierung der 10 kPa Linien des Maximaldruckes mehrerer Simulationen. Blau: Szenarien/Variationen. Orange: Referenzsimulation (Standardprozedur FZGL).

Fig. 1: Simple visualization of the 10kPa peak pressure contour of multiple simulation results. Blue: scenarios/variations. Orange. reference run (standard procedure). Limit von maximal 50 Fließlawinensimulationen gesetzt. Dies bedeutet eine maximale Laufzeit von ungefähr 20 min (auf einer Multiprozessormaschine). Der Bereich der Eingangsgrößen wurde entsprechend den Voruntersuchungen gesetzt, mit der Einschränkung, dass ein Anwender z.B. den Bereich der Anbruchmächtigkeit gegebenenfalls modifizieren kann.

Ausgehend von der Referenzsimulation (aktuelles WLV Standardprozedere) werden diese Variationen simuliert:

- Variation der Anbruchmächtigkeit d_rel von +/- 20 %,
- Entrainment und Widerstand an/aus,
- Bettreibungswinkel μ von 0.142 bis 0.160,
- Verschiedene Kombinationen der Anbruchgebiete (von Anwender bestimmt)

Abbildung 1 zeigt ein Beispielergebnis des Prototyps. Um die Methode so transparent wie möglich zu halten, werden derzeit alle 1 kPa und 10 kPa Linien aller Simulationen, sowie die hervorgehobene Referenzsimulation dargestellt. Wenn die Methode erprobt und weiterentwickelt wurde, ist geplant diese Ergebnisse als Wahrscheinlichkeitskarten darzustellen.



Seite 37

Zusammenfassung

Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Identifikation von Unsicherheitsquellen, die bei Lawinensimulationen mit SamosAT DFA auftreten. In Anlehnung an das Standardprozedere des Fachzentrum Geologie und Lawine (vormals Stabstelle Schnee und Lawinen) der WLV wurden die praxisrelevanten Unsicherheiten in der Szenarienbildung für Lawinensimulationen und die daraus resultierenden Unsicherheiten in den Ergebnissen anhand der projizierten Auslauflänge (1 kPa Auslauf) veranschaulicht. Diese können über Variationen der zwei Eingangsgrößen µ und d_{re} mit den resultierenden Differenzen in den Auslauflängen verglichen werden. Daraus können schließlich Wertebereiche der Eingangsgrößen abgeleitet werden, die die Unsicherheiten der Szenarienbildung widerspiegeln. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wird der Auslaufgradient Δ / + 100 m eingeführt. Dieser deutet darauf hin, wie stark die jeweilige Eingangsgröße μ oder d_{μ} variiert werden muss, um eine Auslauflängenvariation von +100 m zu erreichen. Dieser bewegt sich im Bereich von - 0.09/+ 100 m für μ und + 2.5/+ 100 m für d_{rot} Die verwendeten Szenarios beinhalten Variationen der Anbruchfläche, Entrainment und Änderungen des Höhenmodelles.

Sowohl die verwendeten Parameter als auch die Szenarios konzentrieren sich auf die Verständlichkeit und Relevanz für den Anwender. Es ist natürlich klar, dass hierdurch einige, eventuell auch essentielle, Parameter nicht betrachtet werden. Die wird/muss in zukünftigen Projekten weiter untersucht werden.

Wir wollen mit der vorliegenden Arbeit die Anwendung der Modellergebnisse adaptieren. Das aktuelle, erprobte und funktionierende System wird weiterentwickelt, um dadurch das Bewusstsein für Modellierungsunsicherheiten zu schaffen und Umgangsweisen mit (bekannten) Modellungenauigkeiten zu entwickeln. Wir empfehlen eine Abkehr von einer rein deterministischen Denkweise, hin zu probabilistischen Methoden und der damit verbundenen Akzeptanz von Unsicherheiten und unvermeidbaren Restrisiken. Hierzu werden Werkzeuge und Strategien benötigt, die eine Beurteilung dieser Unsicherheiten und Risiken ermöglichen. Dies wird bereits in anderen Bereichen angewendet, z.B. in der Steinschlagsimulierung. Für die praktische Modellanwendung sollten Diskussionen sich nicht um schwer nachvollziehbare und theoretische Modellparameter drehen, sondern sich auf die Unsicherheiten der Eingangsparameter und deren Bandbreiten konzentrieren. Des Weiteren heißt eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung auch, dass deterministische Modelle weiterhin gebraucht werden, da diese die Basis darstellen. Und jede Verbesserung der Basis macht auch die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung besser.

Anschrift der Verfasser / Authors´ adresses:

Felix Oesterle

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Alpine Naturgefahren/ Wildbach und Lawinenverbauung Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck Felix.Oesterle@die-wildbach.at

Andreas Kofler

Planungsgemeinschaft in.ge.na. Schlachthofstrasse 57, 39010 Bozen andreas.kofler@ingena.info

Jan-Thomas Fischer Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck jt.fischer@bfw.gv.at

Literatur / References

CHRISTEN, M., KOWALSKI, J., and BARTELT, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in threedimensional terrain. Cold Regions Science and Technology, 63:1–14.

FISCHER, I.-T. (2013).

A novel approach to evaluate and compare computational snow avalanche simulation. Natural Hazards and Earth System Science, 13(6):1655–1667.

FISCHER, J. T., KOFLER, A., FELLIN, W., GRANIG, M., AND KLEEMAYR, K. (2015).

Multivariate parameter optimization for computational snow avalanche simulation. Journal of Glaciology, 61(229):875–888.

GRUBER, U. and BARTELT, P. (2007).

Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS. Environmental Modelling & Software, 22(10):1472–1481.

OBERNDORFER, S. and GRANIG, M. (2007). Modellkalibrierung des Lawinensimulationsprogramms SamosAT. Interner Bericht, Forsttechnischer Dienst für Wildbach-und Lawinenverbauung, Stabstelle Schnee und Lawinen, Schwaz.

SAMPL, P. (2007).

SamosAT Modelltheorie und Numerik. Technical report, AVL List GMBH.

WAGNER, P., TOLLINGER, C., SEIWALD, J., and GRANIG, M. (2016).

Überarbeitung des α-β-modells für das Ermitteln der Auslauflänge von Lawinen. Technical Report, Stabstelle für Schnee und Lawinen, WLV.

Geologie - Wasser - Umwelt

Ihr kompetenter Partner für Baugrund, Wasser und Umwelt

Steinschlag - Felssturz - Rutschung

Geländeaufnahme, Sicherungs- und Sanierungsplanung, Steinschlagsimulation (2D + 3D), Ausschreibung und Bauaufsicht

Wasserversorgung und -entsorgung sowie Forstwegebau

Quellkartierung, Brunnenstandorte, Schutzgebietsausweisung, wasserwirtschaftliche Beweissicherung, geologische Beratung Forstwegtrassen, Beurteilung Standsicherheit

GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH Ingenieurbüro für Geologie, Kulturtechnik und Wasserwirtschaft A-5020 Salzburg, Bayerhamerstraße 57 Tel.: +43 (0)662 876360-0 - http://www.gwu.at

BETTY SOVILLA, MICHAEL KYBURZ, MARK SCHAER, STEFAN MARGRETH

Messung von Lawinendrücken auf ein schmales Hindernis im SLF Versuchsgelände Vallée de la Sionne

Avalanche pressure on a narrow obstacle measured at the Vallée de la Sionne test site

Zusammenfassung:

Die Festlegung des einwirkenden Lawinendrucks ist bei der Planung von Bauwerken im lawinengefährdeten Gelände sehr wichtig. Druckmessungen an einem schmalen Mast im SLF-Versuchsgelände Valleé de la Sionne in der Schweiz zeigen, dass die größten langanhaltenden Biegemomente bei feuchten Lawinen und Nassschneelawinen wirken, welche über große Fließhöhen eine konstante Last für Dutzende von Sekunden ausüben. Andererseits tritt im Übergangsbereich des dichten Fließkerns zur Suspensionsschicht, der für den Frontbereich einer großen Staublawine charakteristisch ist, das größte kurzzeitig wirkende Biegemoment auf. Der Fließanteil von großen Staublawinen und mitgeführten festen Objekten verursachten den maximalen lokalen Druck und den Spitzendruck auf den Mast. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung vergleichen wir diese Messungen mit Standardberechnungsverfahren und diskutieren deren Relevanz für die Bemessung von Bauwerken.

Stichwörter: Lawinendruck, Nassschneelawinen, Staublawinen

Abstract:

The assessment of the impact pressure exerted by avalanches on structures is an important task in avalanche engineering. Impact pressure measurements performed on a narrow pylon at the Valleé de la Sionne test site, in Switzerland, show that the highest long-lasting bending moment is exerted by warm/wet avalanches, which exert a constant load for tens of seconds, over large depths. Conversely, the intermittency region coupled with a dense basal layer, which characterizes the front of large powder avalanches, exerts the highest short-lasting bending moment. Finally, the maximum local pressure and peak pressure are exerted by the basal layer of large powder snow avalanches and by heavy objects transported into the flow. We compare these measurements to standard calculation procedures and discuss their relevance in term of structure design.

Keywords: Avalanche impact pressure, wet avalanche, powder avalanche

Einleitung

Um die Kenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Lawinen und Bauwerken zu verbessern, werden seit 1998 im SLF-Versuchsgelände Vallée de la Sionne (VdIS) in der Schweiz Drücke und andere dynamische Variablen wie Geschwindigkeiten, Fließhöhen oder Fließdichten gemessen (Ammann, 1999). In diesem Zeitraum haben wir Lawinenereignisse mit einer maximalen Wiederkehrperiode von ungefähr 10–20 Jahren sowie häufigere Ereignisse gemessen, deren Wiederkehrperiode ein Jahr oder weniger beträgt. Insgesamt haben wir Drücke von rund 50 Lawinen mit den unterschiedlichsten Fließverhalten und Schneeverhältnissen gemessen.

Die neusten hochauflösenden Radarmessungen im VdlS (Köhler et al., 2018) haben gezeigt, dass Lawinen in verschiedene Fließregimes eingeteilt werden können. Dies deutet darauf hin, dass Lawinen nicht einfach in Fließ- und Staublawinen unterteilt werden können, wie das bisher bei Lawinenberechnungen gemacht wurde, sondern, dass ihr Fließverhalten deutlich komplexer ist (Faug et al., 2018). Insbesondere zeigen die Messungen, dass "dichte und warme", "dichte und kalte", sowie "intermittierende" Fließregimes für den Lawinendruck relevant sind. Die verschiedenen Fließregimes können auch innerhalb einer Lawine koexistieren. Die Fließregimes können wie folgt beschrieben werden:

Das "dichte und warme" Fließregime tritt auf, wenn die Schneedeckentemperatur im Anrissgebiet und entlang der Lawinenbahn isotherm oder leicht unter 0 °C ist. Fließlawinen mit einem "dichten und warmen" Fließregime haben eine relativ geringe Geschwindigkeit. Die Kohäsion zwischen den Schneeknollen ist groß, so dass diese zusammenkleben können. Dies führt zu großen Fließhöhen und einer Schneeart, die als gleitender, feststoffähnlicher Block ("plug flow") fließt und keine oder nur wenig Scherverformung erfährt.

Das "dichte und kalte" Fließregime tritt bei Schneetemperaturen unter -2 °C auf. Die entsprechenden Fließlawinen bewegen sich mit einer hohen Geschwindigkeit. Dabei hat der fließende Schnee eine sehr geringe Kohäsion und die Strömung zeichnet sich durch große Scherung und geringe Fließhöhe aus.

Das "intermittierende" Fließregime, vergleichbar mit einer Saltationsschicht, wird ebenfalls bei Schneetemperaturen unter -2°C beobachtet und ist typisch für die Front von Staublawinen. Bei diesem Strömungsverhalten werden typischerweise ausgeprägte Schwankungen der Anprallund Luftdrücke sowie der Geschwindigkeit und Dichte beobachtet. Die Schwankungen werden durch raum-zeitlich organisierte Ansammlung von Schneepartikeln, so genannte kohärente Strukturen, verursacht. Die Größe dieser Strukturen entspricht in etwa der Höhe der Lawinenfront (Sovilla et al., 2018b).

Unser Ziel ist es zu verstehen, welche dieser Fließregimes in Bezug auf den Aufpralldruck auf Hindernisse maßgebend ist, genauer gesagt, welches das größte Biegemoment und welches den höchsten lokalen Druck auf den Mast im VdIS erzeugt.

Um einen Vergleich mit einem Referenzdruck zu haben, berechnen wir auch die Einwirkungen auf den Mast für Lawinen mit 30 und 300 jährlicher Widerkehrdauer gemäß dem heutigen Standardverfahren.

Versuchsstandort, Methoden und Daten

Das SLF-Versuchsgelände Vallée de la Sionne befindet sich in der Westschweizer Gemeinde Arbaz. Lawinen starten von drei primären Anrissgebieten und folgen einer teilweise kanalisierten Sturzbahn. Die Ablagerungszone beginnt unmittelbar unter dem kanalisierten Bereich. Die Höhendifferenz der Lawinenbahn beträgt mehr als 1000 m.



Abb. 1: Der 20 m hohe instrumentierte Stahlmast im VdIS Versuchsgelände. a: Gesamtansicht mit der Lage der piezoelektrischen Druckmesszellen (Piezo) und Nahaufnahmen der optischen Sensoren, Kapazitäts- und Fließhöhensensoren. b: Querschnitt durch den Mast mit den geometrischen Details der Sensorinstallation.

Fig. 1: The 20 m high, VdIS instrumented pylon. Panel a shows an overview with the pressure sensors (piezo) and close-up views of optical sensors, capacitance probes and flow height sensors. Panel b shows a cross section of the pylon with the geometrical details of the sensor installation

Die Messungen innerhalb der fließenden Lawine erfolgen an einem 20 m hohen, 0,59 m breiten und 1,58 m langen, ovalen Mast, der aus Stahl gefertigt ist (ETH 1). Der Lawinendruck wird mit sechs piezoelektrischen Druckmesszellen gemessen. Diese sind auf der Bergseite des Masts in einer Höhe von 0,5 bis 5,5 m über dem Boden in einem vertikalen Abstand von 1 m installiert. Die Abtastfrequenz beträgt 7,5 kHz und die Sensoren haben einen Durchmesser von 0,10 m.

Unter der Annahme, dass die Messung jeder Druckmesszelle für einen erweiterten Bereich um den Sensor repräsentativ ist, wird das maximale Biegemoment am Mast M_{max} unter Verwendung von Gleichung Gl. (1) berechnet:

$$M_{max} = \sum_{h=0.5}^{5.5} h F_h$$
 GI. (1)

Dabei ist h die Höhe der Druckmesszelle über Boden und F_{L} die gemessene Kraft. Die Kraft wird durch Multiplikation des mit den kleinen Zellen gemessenen Drucks und der gesamten Aufpralloberfläche zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zellen berechnet. Dieses Verfahren kann zu einer Überschätzung des auf den Stahlmast wirkenden Moments führen, wenn ein lokaler Stoß, wie der Aufprall eines Steins, von einer der oberen Zellen gemessen wird. In erster Näherung gehen wir davon aus, dass dieser mögliche Fehler vom Mangel an Druckmessungen im oberen Teil des Stahlmasts kompensiert wird, da wir für h > 5,5 m $q_{\epsilon} = 0$ einsetzten. Optische Sensoren ermöglichen zusätzlich die Herleitung von Strömungsgeschwindigkeiten bis zu einer Höhe 6 m.

Die Mehrheit der Lawinen, die den Mast im VdlS erreichen, sind gemäß der kanadischen Lawinenklassifikation "groß" (Jamieson, 2000). Im Folgenden untersuchen wir die Drücke von zwei Lawinen, die die größten Biegemomente und Maximaldrücke am Mast ausgeübt haben.

Lawinendrücke für ein 30- und 300-jährliches Szenario

Um eine Referenz für den Vergleich der Messungen zu haben, haben wir die Lawinendrücke auf den Mast mit Lawinenberechnungen und dem in Margreth et al. (2015) beschriebenen Praxisansatz berechnet. Diese Methode stellt ein reproduzierbares und standardisiertes Vorgehen dar, um Lawinenendrücke auf Masten zu berechnen. Die erforderlichen Eingangsgrößen für die Berechnung der Lawineneinwirkungen wie Geschwindigkeit, Fließhöhe, Schneehöhe und Schneedichte sind das Resultat einer Gefahrenbeurteilung. Eine Gefahrenbeurteilung besteht typischerweise drei Schritten: Geländeanalyse, Untersuchung von beobachteten Lawinen und Lawinensimulationen. Die zu erwartende Genauigkeit einer Gefahrenbeurteilung hängt stark davon ab, ob die verschiedenen Beurteilungsschritte stark divergieren oder ähnliche Resultate ergeben. Eine der größten Schwierigkeiten besteht darin, die Fläche und Lage der Anrissgebiete für die zwei Szenarien festzulegen. Oft ist es möglich, die Verlässlichkeit von Lawinensimulationen durch die Nachrechnung von beobachteten Lawinen zu verbessern.

RAMMS, das von den meisten Schweizer Praktikern verwendete Lawinenberechnungsprogramm, berechnet trockene Fließlawinen als Voellmy-Fluid. Die wichtigsten Berechnungsergebnisse sind die Fließhöhe d_F und die Fließgeschwindigkeit v_F für jeden Punkt der Lawinenbahn (Christen et al., 2010).

Wir haben RAMMS-Berechnungen für ein 30-jährliches und ein 300-jährliches Lawinenszenario durchgeführt. Am Mast betragen die berechneten Lawinengeschwindigkeiten v_{f} =40 m/s bzw. 50 m/s. Die entsprechenden Fließhöhen d_{ϵ} lagen bei 3,5 m bzw. 5 m.

Die Höhe der bestehenden Schneedecke

 $d_{A'}$ auf welcher die Lawine gleitet, muss geschätzt werden. Die Schneedecke setzt sich aus dem natürlich abgelagertem Schnee, Windablagerungen und möglicherweise Ablagerungen von vorangehenden Lawinen zusammen. Für unser Szenario haben wir eine Höhe der Schneedecke d_A von 2 m bzw. 4 m angenommen.

Gemäß Margreth et al. (2015) wird der Lawinendruck auf einen Mast mit einem Dreischichtmodell berechnet (Abbildung 2): Die erste Schicht ist die Schneedecke d_A . Es wird angenommen, dass keine Lawinenkräfte über die Schneedecke auf den Stahlmast übertragen werden.

Die zweite Schicht ist die Fließlawine selbst. Die Höhe dieser Schicht entspricht der berechneten Fließhöhe d_F . Innerhalb dieser Schicht wirkt $q_F = c \rho v_a^2/2$ auf den Masten, wobei ρ die Dichte des Lawinenschnees ist. Wir haben eine Standarddichte ρ von 300 kg/m³ angenommen. Der Faktor c ist ein Widerstandsbeiwert, der den Wert 1 für einen Kreisquerschnitt, 1,5 für einen Dreieckquerschnitt und 2 für einen Rechteckquerschnitt annimmt. Der Mast in VdlS hat einen rechteckigen Querschnitt mit abgewinkelten Kanten (Abbildung 1). Wird der c-Faktor zwischen 1,25 und 1,75 variiert, so variiert der berechnete Lawinendruck für das 30- und 300-jährliche Szenario zwischen $q_F = 250-420$ kPa und 391–656 kPa.

Die dritte Schicht beschreibt die Stauhöhe d_{Stau} der Lawine am Hindernis. Der Standardansatz zur Berechnung von d_{Stau} ist in Salm et al. (1990) angegeben, wonach die kinetische Energie zur Höhe der äquivalenten potentiellen Energie umgerechnet wird. Dieses Verfahren liefert bei großen Geschwindigkeiten und schmalen Hindernissen oft unrealistisch große Werte. So ergibt dieser Ansatz mit einem Energiedissipationsfaktor $\lambda = 1,5$ Stauhöhen am Mast von 8,5 bzw. 9,2 m für das 30- und 300-jährliche Szenario. Daher haben wir uns für den von Margreth et al. (2015) vorgeschlagenen alternativen Ansatz entschieden und die Stauhöhe als 10 % der berechneten Lawinengeschwindigkeit definiert. Die Stauhöhe d_{Stau} beträgt folglich für die beiden Szenarien 4 m und 5 m. Innerhalb der Stauhöhe wird davon ausgegangen, dass der Lawinendruck linear von q_F am unteren Ende der Schicht auf 0 am oberen Ende abnimmt.

Obwohl bei einer Gefahrenbeurteilung versucht wird, die Eingangsgrößen für die Lawinen- und Druckberechnung so objektiv wie möglich festzulegen, müssen viele subjektive Entscheidungen durch den Lawinenexperten getroffen werden. Die vielleicht wichtigste und kritischste dieser Entscheidungen ist die Definition der Größe und Lage der Anrissfläche. Ein Lawinenanrißgebiet kann sich über ein großes Gebiet erstrecken, das unter Umständen keine offensichtlichen topographischen Grenzen für die Rissausbreitung in Strömungs- oder Querrichtung aufweist. Wenn in einem solchen Fall eine Lawinenberechnung mit einem Anrissgebiet durchgeführt wird, das das gesamte potentielle Einzugsgebiet umfasst, kann ein unrealistisch langer Auslauf oder eine zu hohe Geschwindigkeit resultieren. Um ein realistischeres Ergebnis zu erzielen, muss für die Berechnung oft eine kleinere Anrissfläche gewählt werden, die nicht das gesamte potentielle Einzugsgebiet umfasst. In Situationen wo keine beobachteten Ereignisse zur Nachrechnung



Abb. 2: Lawineneinwirkungen auf einen Mast gemäß dem Praxisansatz von Margreth et al. (2015). Das angenommene Dreischichtmodell besteht aus der Schneedecke mit der Mächtigkeit $d_{A'}$ der Fließhöhe dF und der Stauhöhe d_{Stau} . Der Lawinendruck q_F ist innerhalb der Fließhöhe gleichförmig verteilt und nimmt innerhalb der Stauhöhe auf null ab.

Fig. 2: Avalanche actions on a mast according to the practical approach of Margreth et al. (2015). The assumed three-layer model consists of the snow cover with the thickness dA, the flow height d_F and the energy height d_{Stau} . The avalanche pressure q_F is uniformly distributed within the flow height and decreases to zero within the energy height.

herangezogen werden können, kann eine von verschiedener Experten durchgeführte Gefahrenbeurteilung stark variieren. Wir schätzen, dass im Falle des Lawinenzuges im VdIS die von verschiedenen Experten berechneten Biegemomente am Mastfuß um einen Faktor 2 bis 4 variieren können.

Maximal gemessenes "langanhaltendes" Biegemoment

Das maximale "langanhaltende" Biegemoment

(statische Ersatzlast) tritt am Fuße des Masts beim Aufprall einer Fließlawine auf, welche das Bauwerk für eine Dauer von Dutzenden von Sekunden belastet. Unsere Untersuchung der Archivdaten des VdlS hat gezeigt, dass das maximale langanhaltende Biegemoment durch die Lawine #20103003 ausgeübt wurde, die am 30. Dezember 2009 spontan niedergegangen ist. Am Mast wies die Lawine ein "dichtes und warmes" Fließregime auf, die maximale Geschwindigkeit betrug etwa 10 m/s und die maximale Fließhöhe etwa 7 m.



Abb. 3: Lawine #20103003. Die obere Abbildung zeigt den Lawinendruck, gemessen in verschiedenen Höhen über dem Boden. Die untere Abbildung zeigt das aus den obigen Messungen resultierende maximale Biegemoment (schwarze Linie), sowie das maximale Biegemoment, welches auftreten würde, wenn die Lawine über eine Schneedecke von dA = 4 m geglitten wäre, wie in unserem Expertenszenario angenommen. Das violette und blaue horizontale Band zeigen das maximale Biegemoment entsprechend den 30- und 300-jährlichen Szenarien, wobei der Faktor c zwischen 1.25 und 1,75 variiert wurde.

Fig. 3: Avalanche #20103003. The upper panel shows the avalanche pressure measured at different heights above the ground. The lower panel shows the corresponding maximum bending moment (black line), and the maximum bending moment that could have happened if the avalanche had slid over a snow deposit of dA = 4 m as assumed by our expert scenario. Horizontal violet and blue dashed bands show the maximum bending moment corresponding to the 30- and 300-year scenarios (1,25 < c < 1,75), respectively.

Der maximale Druck wurde in Bodennähe, knapp über der Gleitfläche der Lawine, gemessen (Abbildung 3). Das maximale Biegemoment M_{max} war kleiner als das für das 30-jährliche Szenario berechnete Biegemoment. Unter der Annahme, dass die Lawine über eine Schneedecke von $d_A = 4$ m gleitet, wie in unserem Expertenszenario angenommen, wäre das maximale Biegemoment Mmax, also lokal größer als die Bemessungslast für das 30-jährliche Szenario gewesen.

Maximal gemessenes, "kurzzeitiges" Biegemoment

Das maximale "kurzzeitige" Biegemoment (statische Ersatzlast) tritt an der Basis des Masts bei einer Lawine mit einem "intermittierenden" Fließregime auf. Diese Belastung wirkt auf eine große



Oberfläche, belastet aber den Mast nur für den Bruchteil einer Sekunde, wie im Falle des Einwirkens von kohärenten Strukturen und Stößen, die für den Kopf einer voll entwickelten Staublawine charakteristisch sind (Sovilla et al., 2015, 2018b).

Das maximale "kurzzeitige" Biegemoment im VdlS wurde durch die Lawine #7226 ausgeübt, die am 22. Januar 2005 spontan niedergegangen ist. Am Mast war die Lawine durch einen frontal intermittierenden Bereich gekennzeichnet, der mit einer dünnen basalen, dichten Schicht gekoppelt war. Die basale Schicht hatte eine Geschwindigkeit von etwa 30 m/s und eine Fließhöhe von 1–1,5 m. Die von den kohärenten Strukturen mitgeführten Partikel hatten Geschwindigkeiten von bis zu 60 m/s und erreichten bis zu 5,5 m Höhe über Grund.

> Abb. 4: Lawine #7226. Die obere Abbildung zeigt den Lawinendruck. gemessen in verschiedenen Höhen über dem Boden. Die untere Abbildung zeigt das aus den obigen Messungen resultierende maximale **Biegemoment (schwarze Linie)** sowie das maximale Biegemoment, welches auftreten würde, wenn die Lawine über eine Schneedecke von $d_{A} = 4$ m geglitten wäre, wie in unserem Expertenszenario angenommen. Das violette und blaue horizontale Band zeigen das maximale Biegemoment entsprechend den 30- und 300-iährlichen Szenarien, wobei der c-Faktor zwischen 1.25 und 1.75 variiert wurde.

Fig. 4: Avalanche #7226. The upper panel shows the avalanche pressure measured at different heights above the ground. The lower panel shows the corresponding maximum bending moment (black line), and the maximum bending moment that could have happened if the avalanche had slid over a snow deposit, $d_A = 4$ m, as assumed by our expert scenario. Horizontal blue and violet bands show the maximum bending moment corresponding to the 300- and 30-years scenarios (1.25 < c < 1.75), respectively. Die Gleitfläche der Lawine befand sich rund 1 m über dem Boden. Der maximale Druck der basalen Schicht wurde in einer Höhe zwischen 1–2,5 m ausgeübt (Abbildung 4). Sehr hohe lokale Druckspitzen wurden bis zu einer Höhe von 5,5 m über Grund, also von allen Sensoren, gemessen. Das maximale Biegemoment M_{max} blieb unter dem Wert des 30-jählichen Szenarios. Unter der Annahme, dass die Lawine über eine Schneedecke von $d_A = 4$ m gleiten würde, wie im Expertenszenario angenommen wurde, hätte das maximale Biegemoment M_{max} jedoch lokal den Wert des 300-jährlichen Szenarios erreichen können.

Maximal gemessener Druck

Die Druckverteilung entlang des Masts variiert je nach Fließregime. Im Frontbereich großer Staublawinen wird durch die dichte Basalschicht ein maximaler, "langanhaltender" Druck ausgeübt. Abbildung 4 zeigt, dass der maximale "langanhaltende" Druck für die Lawine #7226 in der Größenordnung von 800-1000 kPa lag. Die Basalschicht dieser Staublawine zeichnet sich durch ein Schergeschwindigkeitsprofil aus, das eine geschätzte Höhe von etwa 1–1,5 m hatte. Äste, Steine und Eisknollen, die von der Lawine mitgeführt werden, können große lokale Druckspitzen erzeugen. Abbildung 4 zeigt, dass der maximale Spitzendruck für die Lawine #7226 in der Größenordnung von 1600 kPa liegt.

Fließregime und Druck

Die Bemessung eines schmalen Bauwerks, das Lawinen ausgesetzt ist, erfordert die Kenntnis der vertikalen Lastverteilung sowohl für die Berechnung des Biegemoments als auch für die Definition der maximalen lokalen Lasten. Die Analyse der Messungen im VdlS über einen Zeitraum von 20 Jahren zeigt, dass das maximale "langanhaltende" Biegemoment am Mast durch eine Lawine mit "dichtem und warmem" Fließregime (Nassschneelawine) ausgeübt wurde, die eine relativ geringe Geschwindigkeit (bis zu 10 m/s) und große Fließhöhe (bis zu 7 m) aufweist.

Die Messungen zeigen, dass Nassschneelawinen trotz der niedrigen Geschwindigkeit in der Lage sind, sehr grosse Kräfte auf ein schmales Objekt auszuüben. Diese Kräfte resultieren aus der lokalen Verzögerung des Lawinenschnees in einem Volumen um den Mast, welche die Kräfteübertragung sowie die scheinbare Frontalfläche des Hindernisses beeinflussen (Sovilla et al., 2016; Kyburz et al., in review). Langsam fließende Nassschneelawinen üben Kräfte aus, welche hydrostatischen Drücken ähneln und somit von der Fließhöhe abhängig sind. So können Lawinen wie die Lawine #20103003, die langsam aber mit großer Fließhöhe fließen, je nach Situation maßgebend werden.

Im Gegensatz dazu bewegen sich "dichte und kalte" Fließlawinen schnell. Normalerweise ist aber die Fließhöhe im Vergleich zu Nassschneelawinen klein, so dass ihr maximales Biegemoment meist klein ist. Dennoch sind kalte Lawinen nach wie vor relevant, da sie sehr hohe lokale Drücke von bis zu 1600 kPa (Abbildung 4) ausüben können. Diese Lawinen können Bauwerke lokal beschädigen und dadurch ihre Stabilität gefährden. Zudem haben kalte Lawinen im Vergleich zu Nassschneelawinen meist eine längere Auslaufstrecke und können dadurch Bauwerke erreichten, die außerhalb des Einflussbereiches von Nassschneelawinen liegen.

Das "dichte und kalte" Fließregime ist besonders kritisch, wenn es mit dem "intermittierenden" Regime gekoppelt ist, wie es normalerweise im Kopfbereich großer Staublawinen der Fall ist. Die für das "intermittierende" Regime charakteristischen kohärenten Zonen können Geschwindigkeiten aufweisen, die bis zu 60 % grösser sind als die Frontgeschwindigkeit der Lawine. Diese Zonen können auch dichtere Schneeansammlungen und einzelne Schneeknollen direkt vom Fließanteil oder der Schneedecke in größere Höhen transportieren und somit sehr große Kräfte auch über dem Fließanteil verursachen (Sovilla et al., 2015). Weil diese Kräfte starken Schwankungen unterworfen sind, wirken sie jedoch lediglich für einen Bruchteil einer Sekunde auf das Bauwerk ein.

Aktueller Praxisansatz für die Berechnung von Lawineneinwirkungen

Nach dem aktuellen Praxisansatz werden Lastverteilung und maximale lokale Lawinendrücke mit Lawinendynamikmodellen berechnet, welche die Bewegung einer idealisierten Fließlawine nachbilden. Unsere Analyse zeigt, dass sich diese idealisierte Fließlawine, die als Grundlage für die Berechnung dient, insbesondere hinsichtlich Geschwindigkeit, Fließhöhe und Dichte erheblich vom realen Prozess unterscheiden kann.

Es ist wichtig zu beachten, dass der Praxisansatz nicht nur eine Berechnung der Lawinendrücke vorgibt sondern auch eine Lastverteilung, bei der für die Berechnung des Biegemoments am Mastfuß insbesondere die Mächtigkeit der Schneedecke und die Stauhöhe relevant sind. Vergleiche mit Feldmessungen zeigen, dass der Praxisansatz die Stauhöhen an schmalen Bauwerken oft überschätzt. Die Messungen im VdlS haben sogar gezeigt, dass in einigen Fällen gar keine Stauhöhe aufgetreten ist. Mehrmals haben Lawinen die Schneedecke im Bereich des Masts erodiert, so dass ihre Gleitfläche praktisch am Boden war. Beim Praxisansatz nimmt man in der Regel an, dass die Lawine über eine Schneedecke fließt, deren Mächtigkeit einer Wiederkehrdauer von 30 Jahren entspricht. Dadurch werden bei der Anwendung des Praxisansatzes die im Vergleich zu den Messungen eher zu kleinen Lawinendrücke bei der Berechnung des Biegemomentes am Mastfuß kompensiert.

Es ist auch wichtig zu beachten, dass der Druck, der durch das "intermittierende" Fließregime ausgeübt wird, beim Praxisanasatz nicht explizit berücksichtigt wird. Da die rechnerische Stauhöhe in etwa eine ähnliche vertikale Ausdehnung aufweist wie die kohärenten Zonen im "intermittierenden" Fließregime, kann dieses Fließregime als indirekt berücksichtigt angesehen werden.

Schließlich ist es sehr wichtig zu beachten, dass Druckspitzen durch den Anprall von Steinen oder Objekten, die von der Lawine mitgeführt werden, die Bauwerke beschädigen resp. zerstören können, nachdem lokale Verformungen das Widerstandsmoment des Profils reduziert haben. Fensterscheiben oder dünnwandige Stahlprofile reagieren besonders empfindlich auf den Anprall von Einzelobjekten. Gleiches gilt für das "dichte und kalte" Fließregime, welches oft mit dem "intermittierenden" Fließregime im Kopf der Staublawine gekoppelt ist.

Schlussfolgerungen

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass die Lawinenberechnungen, die gemäß dem Praxisansatz für die Bestimmung der Lawineneinwirkungen auf einen Mast verwendet werden (Margreth et al., 2015), einer idealisierten Lawine entsprechen, die sich deutlich von den beobachteten physikalischen Prozessen unterscheiden kann. Andererseits ist der heute verwendete Praxisansatz ein konservatives Verfahren, das bei korrekter Anwendung die meisten der im VdIS gemessenen Lawinendrücke abdeckt. Daher können Verbesserungen am bestehenden Verfahren, die auf tatsächlichen Beobachtungen basieren, heikel sein. Das bedeutet, dass z.B. die Stauhöhe der Lawine nicht reduziert werden kann, ohne den Maximaldruck anders festzulegen. Es ist wichtig, dass zukünftige Lawinendynamikmodelle und Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Lawineneinwirkungen die Prozesse realitätsnäher abbilden, damit die Verfahren optimiert und an die jeweilige Situation angepasst werden können. Schließlich ist es auch wichtig, dass diese Resultate, die für schmale Bauwerke gelten, auf Objekte mit anderen Formen und Größen ausgedehnt werden (Sovilla et al., 2018a).

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dr. ETH Ing. Betty Sovilla WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung SLF Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf, Schweiz sovilla@slf.ch

MSc Ing. ETH Michael Kyburz WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung SLF Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf, Schweiz kyburz@slf.ch

Dipl. Ing. ETH Mark Schaer WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung SLF Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf, Schweiz schaer@slf.ch

Dipl. Ing. ETH Stefan Margreth WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung SLF Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf, Schweiz margreth@slf.ch

Literatur / References:

AMMANN W. (1999). A new Swiss test site for avalanche experiments in the Vallée de la Sionne/ Valais. Cold Reg. Sci. Technol. 30: 3–11.

CHRISTEN M., KOWALSKI J., BARTELT P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in threedimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol 63(1): 1 – 14.

FAUG T., TURNBULL B., GAUER P. (2018). Looking beyond the powder/dense flow avalanche dichotomy. J. Geophys. Res. Earth Surf. 123(6): 1183–1186. Jamieson B. (2000). Backcountry Avalanche Awareness. Canadian Avalanche Association.

KYBURZ M., SOVILLA B., GAUME J., ANCEY C. (In prep). Decoupling the role of inertia and cohesion in dense granular avalanche pressure build-up on obstacles. To be submitted to J. Geophys. Res. Earth Surf.

KÖHLER A., MCELWAINE J. N., SOVILLA B. (2018a). GEODAR data and the flow regimes of snow avalanches. J. Geophys. Res. Earth Surf. 123(6): 1272–1294.

MARGRETH S., STOFFEL L., SCHAER M. (2015). Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruck-gefährdung bei Seilbahnen. Technical report, WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF.

SALM B., BURKARD A., GUBLER H. U. (1990). Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung fuer Praktiker mit Beispielen. Mittlg. No. 47, Eidg. Institut f. Schnee- und Lawinenforschung, CH–7260 Davos Dorf.

SOVILLA B., MCELWAINE J. N., LOUGE M. Y. (2015). The structure of powder snow avalanches. C. R. Phys. 16(1): 97–104.

SOVILLA B., FAUG T., KÖHLER A., BAROUDI D., FISCHER J.-T., THIBERT E. (2016).

Gravitational wet avalanche pressure on pylon-like structures. Cold Reg. Sci. Technol 126: 66-75.

SOVILLA B., KYBURZ M., SCHAER M., MARGRETH S. (2018a). Avalanche pressure at the Vallée de la Sionne test site: comparison of maximum measured loads with design loads. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, October 7–12, 2018, pp. 21–25.

SOVILLA B., MCELWAINE J. N., KÖHLER A. (2018b). The intermittency regions of powder snow avalanches, J. Geophys. Res. Earth Surf. 123.

Abstract:

Unmanned aerial system photogrammetry (UAS-P) is increasingly becoming a commonplace tool to generate orthophotos and measure surface elevation with ground sampling distances in the centimetre-range. In this contribution, we present results from a UAS-P mission to map an avalanche event, which occurred near the city Innsbruck in Western Austria. The main objective of the campaign was to document avalanche extent and volume, as well as investigate avalanche interaction with different types of defence structures, located in the track and runout area. The results of this case study showed that in total, 70.000 m³ of snow and debris were deposited. The highest deposition depths (> 5 m) were reached where a rocky outcrop reduced the width of the track from 40 to 15 m, and near the deposition terminus, where the avalanche impacted several concrete wedges, catching and deflection dams. A comparison between slope angles and deposition depths showed, that the main part of the deposition volume originated from medium deposition depths (2.1-2.2 m) at slope angles between 15-25°, which covered ~62% of the total deposition area. The combination of orthophoto interpretation and spatial deposition analysis revealed that terrain variations such as channelisation and defence structures locally dominate the deposition pattern. Knowledge of these local effects is of major importance to understand the interaction of avalanches with defence structures and optimise their design.

Keywords: Snow depth distribution, mitigation measures, unmanned aerial vehicle

Einleitung

Unbemannte Luftfahrzeuge (auch als Drohnen bezeichnet) eröffnen aus wissenschaftlicher und ingenieurtechnischer Sicht vollkommen neue Möglichkeiten, um Daten aus der Luft zu erheben (Colomina und Molina, 2014). Im Gegensatz zu Modellfliegern aus dem Freizeitbereich, haben Drohnen einen Sensor (z. B. Digitalkamera), sowie Navigationsinstrumente und einen Autopiloten an Bord. Damit ist es möglich Bilder, Videos oder andere Daten aus der Luft aufzunehmen. Je nach Ausstattung, sind Drohnen auch in der Lage selbstständig Hindernissen auszuweichen oder automatisch einem vorprogrammierten Flugpfad zu folgen. Aufgrund ihrer flexiblen Einsetzbarkeit und der geringen Anschaffungskosten schließen Drohnen die Lücke zwischen bemannter Luftfahrt und bodengestützten Aufnahmen (Briese et al., 2013). Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Verfügbarkeit einer großen Vielfalt drohnen-spezifischer Sensoren: Diese reichen von hochauflösenden Tageslicht- oder Thermalkameras, bis hin zu speziellen Instrumenten für die Messung von Schneedichte oder zur Detektion von Lawinenverschütteten. Bei der Erhebung von Luftbildern mittels Drohnen können aufgrund der niedrigen Flughöhe (max. 150 m ü. G.) Bodenauflösungen im Millimeterbereich erzielt werden. Damit können kleinste Veränderungen, etwa das Verfärben von Kiefernnadeln aufgrund von Schädlingsbefall, über Flächen von mehreren Quadratkilometern systematisch erfasst werden. Neben den rasanten Entwicklungen in der Drohnentechnologie, haben auch große Fortschritte

MARC ADAMS, JAN-THOMAS FISCHER, ANDREAS KOFLER, CHRISTIAN TOLLINGER, ARMIN GRAF, REINHARD FROMM

Dokumentation und Analyse von Lawinenablagerungen mittels Drohnen-Photogrammetrie

Documentation and analysis of avalanche deposits with unmanned aerial systems photogrammetry

Zusammenfassung:

Drohnen-Photogrammetrie ist ein etabliertes Werkzeug zur Erzeugung von Orthophotos und zur hochaufgelösten Messung von Oberflächenhöhen. In diesem Beitrag präsentieren wir die Ergebnisse eines Drohneneinsatzes zur Kartierung eines Lawinenereignisses, welches im Bereich der Arzler Alm nahe Innsbruck (Tirol) im Jänner 2018 stattfand. Das Hauptziel der Kampagne bestand darin, das Ausmaß und das Volumen der Lawine zu dokumentieren und die Wechselwirkung zwischen der Lawine und den verschiedenen Arten von Verbauungen im Bereich von Lawinensturzbahn und -auslauf zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Fallstudie zeigten, dass insgesamt ca. 70.000 m³ Schnee und Fremdmaterial abgelagert wurden. Die höchsten Ablagerungstiefen (> 5 m) wurden dort erreicht, wo das Gelände die Breite der Sturzbahn von 40 auf 15 m reduzierte, und im Auslaufbereich, wo die Lawine durch eine Reihe von Brems-, Leit- und Auffangbauwerken zum Stillstand kam. Ein Vergleich zwischen Geländeneigung und Ablagerungshöhen zeigte, dass der Hauptteil des Ablagerungsvolumens aus mittleren Ablagerungshöhen (2,1-2,2 m) bei Neigungswinkeln zwischen 15 und 25° stammt, die ca. 62% der Gesamtfläche ausmachen. Die Kombination aus der Interpretation von Orthophotos und räumlicher Analyse der Ablagerung demonstriert, dass kleinräumige Geländestrukturen das Ablagerungsmuster lokal bestimmen. Die Analyse dieser lokalen Effekte ist von wesentlicher Bedeutung, um die Wechselwirkung zwischen Lawinen und Hindernissen zu verstehen und die Gestaltung von Lawinenschutzbauwerken zu optimieren.

Stichwörter: Schneehöhenverteilung, Verbauungen, unbemannte Luftfahrzeuge

in der Datenprozessierung zum sprunghaften Anstieg von wissenschaftlichen und ingenieurstechnischen Drohneneinsätzen beigetragen: Während man für die seit Jahrzehnten etablierte klassische Photogrammetrie (Erläuterung: Verfahren zur Bestimmung der dreidimensionalen Form oder räumlichen Lage eines Objekts aus Fotografien) teure Großformatkameras benötigte, erzielen neue Algorithmen vergleichbare Resultate mit handelsüblichen Digitalkameras. In diesem Beitrag möchten wir Methodik und Ergebnisse eines Drohneneinsatzes zur Kartierung einer Lawinenablagerung im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) darlegen.

Generell hat die Erfassung des Ausmaßes und der Höhe einer Lawinenablagerung entlang der Sturzbahn und in der Auslaufzone hohen Stellenwert in der Ereignisdokumentation. Die Dokumentation liefert wichtige Informationen zum Prozessverständnis, zur Bewertung der Wirksamkeit von Verbauungsmaßnahmen, sowie in der Entwicklung und Optimierung von computergestützten Lawinensimulationen. Im Jänner 2018 ereignete sich im Bereich der Arzler Alm (oberhalb von Innsbruck) ein Lawinenabgang. Eine Drohne des Instituts für Naturgefahren des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) kam zum Einsatz, um die Ablagerungshöhen und Ausbreitung dieser Lawine zentimetergenau aufzuzeichnen. Ziel unserer Studie war es, mit Hilfe der drohnengestützten Luftbilder, die Ablagerung systematisch zu dokumentieren, sowie Erkenntnisse über die Interaktion von Lawinen mit den in der Sturzbahn und dem Ablagerungsbereich befindlichen Verbauungen zu gewinnen.

Arzler Alm Lawine

Das Stadtbild von Innsbruck ist durch die Nordkette geprägt, einem Gebirgszug, der nördlich der Stadt bis in eine Seehöhe von ca. 2.600 m emporragt. Auf den südexponierten Hängen sind mehrere Lawinenstriche bekannt, wovon einige nachweislich bis in den Siedlungsraum vorstoßen können. Die Arzler Alm Lawine ist eine der größten dieser Lawinen. Ihre Anbruchgebiete befinden sich zwischen der Hafelekarspitze (2.334 m ü. A.) und der Gleirschspitze (2.317 m ü. A.). Vom ausgebreiteten Anbruchgebiet führen drei mögliche Sturzbahnen zum Bereich der Arzler



Abb. 1: Talwärtsgerichteter Blick auf die Lawinenverbauungen im Bereich Arzler Alm, Nordkette (Bildquelle: BFW).

Fig. 1: Valley-facing view of the avalanche mitigation structures at the Arzler Alm, Nordkette (source: BFW).

Alm (1.067 m ü. A.), wo sich diese vereinigen. Der Großteil der Lawinenabgänge erreicht ihren maximalen Auslauf im Bereich der Verflachung der Hungerburgterrasse (ca. 950 m ü. A.). Unter extremen Schnee- und Witterungsverhältnissen können Lawinen jedoch durch das Duffbachtal bis in das besiedelte Gebiet des Innsbrucker Stadtteils Mühlau vordringen.

In den Jahren 1923 und 1935 verursachten Abgänge der Arzler Alm Lawine erhebliche Sachschäden. Seitdem wurden Brems-, Leit- und Auffangbauwerke in Form von Kegeln, Keilen, Mauern und Dämmen errichtet und erhalten, die sich vor allem bei Nassschneelawinenereignissen bewährt haben. Nachdem eine große Staublawine 1968 die damals bestehenden Schutzbauwerke überfuhr, wurde von 1973 bis 1977 ein etwa 20 m hoher Auffangdamm errichtet, der die gesamte Sturzbahn überspannt (Bednarz, 2003). Abbildung 1 zeigt den zentralen Teil der Verbauungen im Bereich Arzler Alm, sowie den (bewaldeten) Damm im unteren Teil der Sturzbahn.

Am 21. Jänner 2018 löste sich nach starkem Schneefall im Einzugsgebiet der Arzler Alm spontan eine Lawine. Das Anbruchgebiet (Größe: 8,6 Hektar, mittlere Hangneigung: 41°) befand sich zwischen 1.940 und 2.240 m ü. A. (Abbildung 2). Die Lawine teilte sich auf die drei Sturzbahnen auf: Durch das Ochsental (orographisch rechter Graben) flossen kleinere Teile der Lawine und kamen auf Höhe der Alm zum Stillstand. Der Großteil der Lawine floss durch den mittleren und den orographisch linken Graben (Almtal und Brunnental) und erreichte den zentralen Bereich der Verbauungen, die teilweise über- und umflossen wurden, bis die Lawine im Bereich des Retentionsbeckens vor dem Auffangdamm liegenblieb. Abbildung 3 zeigt einen Überblick der Ablagerungen am 24. Jänner 2018 von der Arzler Alm Richtung Osten schauend.



Abb. 2: Aufnahme des Einzugsgebiets der Arzler Alm Lawine am 24. Jänner 2018 von einem bemannten Hubschrauber aus; das Anbruchgebiet ist Magenta eingefärbt (Bildquelle: WLV). *Fig. 2: Catchment area of the Arzler Alm avalanche on 24 January 2018, documented from a manned helicopter; the release area is coloured magenta (source: WLV).*



Abb. 3: Panoramaaufnahme der Lawinenablagerung im Bereich Arzler Alm am 24. Jänner 2018 (Bildquelle: BFW). Fig. 3: Panorama of the avalanche deposit near the Arzler Alm on 24 January 2018 (source: BFW).

Datenerhebung und -prozessierung

Als sich am 24. Jänner 2018 – drei Tage nach dem Lawinenabgang - eine Wetterbesserung einstellte, wurde der untere Teil der Sturzbahn des Almtals, sowie der zentrale Bereich der Ablagerung mit einer Drohne des BFW beflogen. Das Überfluggebiet hatte eine Größe von 60 Hektar und reichte vom Auffangdamm bis etwa 300 hm oberhalb der Alm. Für diese Befliegung kam ein zertifizierter, speziell adaptierter Flächenflieger (Modellbasis: Multiplex Mentor) zum Einsatz. Diese Drohne war mit einer handelsüblichen Sony NEX5 Digitalkamera, sowie einer Navigations- und Autopiloteinheit ausgestattet. Start und Landung erfolgten manuell. Nach Erreichen der vorgegebenen Flughöhe von 140 m ü. G., folgte die Drohne einem vordefinierten Flugpfad; dabei wurde das Gebiet in mehreren Flugstreifen abgeflogen. Dies war für die weitere Verarbeitung der Luftbilder notwendig. Während des Fluges nahm die Bordkamera Serienbilder im zeitlichen Abstand von 1,5 Sekunden auf. Daraus ergab sich eine Überlappung der Luftbilder von 85 % in Flugrichtung und 80 % jeweils zwischen zwei Flugstreifen. In Summe wurden über 1.200 Luftbilder aufgenommen und photogrammetrisch ausgewertet. Um eine hohe Genauigkeit der Resultate sicherzustellen, wurden am Boden photogrammetrische Messtafeln als Referenzpunkte ausgelegt und deren Position eingemessen. Für weitere Informationen und technische Details der eingesetzten Drohne und Kamera siehe www.bfw.ac.at/drohnen.

Die photogrammetrische Auswertung erfolgte mit einer Structure-from-Motion-Software (Agisoft Photoscan, v1.4). Diese Software ist in der Lage aus einer Vielzahl sich gegenseitig überlappender Luftbilder ein geometrisch entzerrtes Gesamtluftbild (Orthophoto) des Zielgebiets zu erstellen. Dazu wurden zunächst in allen Bildern (Abbildung 4, oben links) automatisch gemeinsame Punkte (Passpunkte) gesucht, anhand deren die Bilder miteinander verknüpft werden konnten (Abbildung 4, unten links). Nachdem diese Punkte verifiziert wurden, verdichtete die Software diese zu einer 3D-Punktwolke (Abbildung 4, oben rechts) mit einer Dichte von etwa 40 Punkten pro Quadratmeter. Dies erlaubte die Erstellung eines Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 0,04 m. Abschließend konnte die photogrammetrisch gewonnene 3D-Information zusätzlich dazu genutzt werden, die absolute Höhe (Seehöhe) der Schneeoberfläche im gesamten überflogenen Gebiet zu berechnen und in einem digitalen Oberflächenmodell (DOM), bzw. einem 3D-Modell darzustellen (Abbildung 4, unten rechts). Nach-



Lawinenablagerung zugeschnitten wurde, konnte die Höhe der Ablagerung durch Vergleich mit den vor dem Ereignis aufgenommenen Geländehöhen berechnet werden. In diesem Fall wurden als Referenzdaten die Ergebnisse einer Airborne Laser Scanning Kampagne des Amts der Tiroler Landesregierung herangezogen. Die Berechnung der Ablagerungshöhen erfolgte in der Geoinformationssoftware SAGA LIS Pro 3D (v 3.0.7).



Abb. 4: Screenshots von der photogrammetrischen Auswertung der Drohnenluftbilder; Position der georeferenzierten Luftbilder, dargestellt als blaue Kugeln (oben links); Passpunkte im Zielgebiet als erstes Zwischenergebnis (unten links); verdichtete 3D-Punktwolke des zentralen Ablagerungsbereichs (oben rechts); 3D-Modell des gleichen Bereichs, das zur Berechnung des DOMs herangezogen wurde (unten rechts) (Bildguelle: BFW).

Fig. 4: Screenshots of the photogrammetric processing of the UAS images; position of the georeferenced images shown as blue spheres (top left); sparse point cloud of the target area as the first intermediate result (bottom left); dense point cloud of the central deposition area (top right); 3D model of the same area used to calculate the DSM (bottom right) (source: BFW).

Abb. 6:

BFW).

Fig. 6:

Resultate

1) Umriss und Volumen der Lawinenablagerung

Der Umriss der Lawinenablagerung wurde aus dem Drohnen-Orthophoto kartiert (Abbildung 5). Die Ablagerungsfläche hat eine Größe von etwa 50 x 610 m (etwa 3 Hektar; rotes Polygon in Abbildung 5). Ein Forstweg, der ca. 100 hm oberhalb der Alm verläuft, definiert die obere Grenze des



Abb. 5: Ausschnitt des Drohnen-Orthophotos, welcher den Umriss der Lawinenablagerung (rot), die verschiedenen Verbauungstypen im Auslaufbereich der Lawine (Graustufen), sowie die im Text beschriebenen Lokalitäten zeigt (links): Ausschnitte des Orthophotos in zwei Zoomstufen. welche den Detailreichtum des Bildmaterials zeigen (rechte Spalte) (Bildquelle: BFW).

Fig. 5: Section of the UAS orthophoto showing the outline of the avalanche deposit (red), the different types of avalanche mitigation structures (grayscale), and the localities described in the text (left); excerpts of the orthophoto in two zoom levels, which show the richness of detail of the imagery (right column) (source: BFW)

Ablagerungsgebiets; hier hat die Sturzbahn etwa eine Breite von 40 m. Etwa 80 m unterhalb dieser Straße befindet sich das oberste Bremsbauwerk der Arzler Alm Lawine – ein Betonkeil. Ca. 120 m unterhalb des Keils führt ein steiler Felsvorsprung (> 60° Neigung) auf der orografischen rechten Seite zu einer Engstelle, die die Sturzbahn auf eine Breite von 15-20 m reduziert. In diesem Abschnitt ist die Sturzbahn weiterhin seitlich durch größtenteils steile (> 35°) bewaldete Hänge begrenzt.





Unterhalb der Engstelle kreuzt die Lawine einen weiteren Forstweg; darunter wird das Gelände etwas flacher (von 20-25° auf 15-20°) und mündet in ein großes Becken. Hier befindet sich auch der überwiegende Teil der Brems-, Leit- und Auffangbauwerke (Abbildung 5).

Die Ablagerungshöhe variiert stark innerhalb des beobachteten Gebiets - sie wird in Abbildung 6 dargestellt. Ein erstes kleines lokales Maximum befindet sich in der Nähe des einzelnen Keils in der oberen Sturzbahn, wo Ablagerungshöhen von 3-5 m erreicht werden. Ein

Großteil der Ablagerungen befindet sich in der Verengung, in der Höhen von > 5 m gemessen wurden. Weiter talwärts sind im zentralen Auslaufbereich vor den Betonkeilen kleine Anhäufungen zu sehen. Die Lawine kam schließlich durch eine Reihe von Brems- und Auffangbauwerken im unteren Auslaufbereich zum Stillstand, wobei die maximalen Ablagerungshöhen 11 m betrugen. Insgesamt wurden ca. 70.000 m3 Schnee abgelagert, was zu einer mittleren Ablagerungshöhe von 2.4 m führte.



II. Die obere Ablagerungsgrenze wurde

aus der Interpretation des Orthophotos

bestimmt, wo keine deutlichen Spuren von

Schneeerosion mehr zu sehen waren. Eine

Verschiebung dieser Grenze würde jedoch

zu einer Änderung des Ablagerungsvolu-

tisch überwacht, weshalb möglicherweise

aufgetretene vorherige (kleinere) Lawi-

nenereignisse zum erfassten Gesamtvolu-

men des beobachteten Ereignisses beige-

III. Das Einzugsgebiet wurde nicht systema-

mens führen.

tragen haben.

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

 Die lokale Schneehöhe vor dem Ereignis war nicht bekannt, konnte jedoch anhand der ungestörten Schneedecke im Bereich der Alm auf 0,5–1 m geschätzt werden (Abbildung 6). Die seitlichen und unteren Grenzen des Ablagerungsbereichs wurden aus der Kartierung von ungestörter Schneedecke und Lawinenablagerung abgeleitet. Da die Lawine möglicherweise im Auslauf den ungestörten Schnee überdeckt und nicht mitgerissen hat, sollte das o. g. Ablagerungsvolumen als Maximalwert betrachtet werden.



Curvies Lawire Lawies-Bauwerke Aufangbauwerk Brembauwerk Hangneigung ['] 415 15-25 25-35 35-43 45-55 55

Abb. 7: Statistische Darstellung der Ablagerungshöhen [m] in Abhängigkeit von der Hangneigung (links oben); darunter die in 5°-Abständen gruppierten relativen Häufigkeiten [%] der

Hangneigung; Boxplots (links oben), bilden Median (orange Linie), das obere und untere Quantil (Box), sowie die Ausreißer (Antenne, Minimum und Maximum der Daten) ab; rechts ist die Neigung des Geländes [°] im Auslaufbereich ohne Vegetation dargestellt (Bildquelle: BFW, Geländemodell TIRIS 2018).

Fig. 7: Statistical representation of the deposition heights [m] as a function of the slope (top left); including the relative frequency [%] of the slope, grouped in 5 ° intervals; boxplots (top left) show the median (orange line), the upper and lower quantile (box), and the outliers (antenna, minimum and maximum of the data); on the right, the inclination of the terrain [°] in the outlet area without vegetation is shown (source: BFW, terrain model TIRIS 2018).

2) Ablagerungshöhe versus Geländeneigung

Die räumliche Verteilung der Ablagerungshöhen im Vergleich zur Geländeneigung zeigt, dass die Ablagerungshöhe im Allgemeinen umgekehrt proportional zum Neigungswinkel des Geländes ist (Abbildung 7). Dies steht im Einklang mit Beobachtungen von anderen Studien (z. B. Sovilla et al., 2010) und bedeutet, dass die Ablagerung an steilen Hängen geringer ist als an flachen Hängen. Obwohl diese negative Korrelation bei der Analyse der Ablagerung der Arzler Alm Lawine deutlich erkennbar ist, gibt es hier ein besonderes Merkmal: Es bestehen nämlich zwei lokale Maxima in der Verteilung der Ablagerungshöhen. Die höchste mittlere Ablagerung (3,8 m) tritt in Gebieten mit einer Neigung von 0–5° auf; ein weiteres Maximum (2,3 m) befindet sich auf 30-35° steilen Gebieten. Das zweite Maximum kann der Stau- und Bremswirkung der Lawinenbauwerke zugeordnet werden, da 30-35° der typische Neigungswinkel des Geländes oberhalb dieser Bauwerke im Auslaufbereich ist. Hierbei ist zu beachten, dass die höchsten Ablagerungen zwar bei geringen Neigungswinkeln unter 5° beobachtet werden, diese jedoch nur geringfügig zum Gesamtvolumen (etwa 1%) beitragen (Abbildung 7, links). Der Hauptteil des Ablagerungsvolumens stammt aus mittleren Ablagerungshöhen (2,1-2,2 m) bei Neigungswinkeln zwischen 15 und 25°, die ca. 62 % der Gesamtfläche ausmachen (Abbildung 7, links). Bei Neigungswinkeln zwischen 25 und 40° (die ca. 23 % der Fläche mit einer Ablagerungshöhe von 2 m abdecken) wurde ein starker Abfall der Ablagerungshöhe beobachtet. Bei einer Neigung von 50° tritt keine nennenswerte Ablagerung mehr auf.

Schlussfolgerungen

Dieser Beitrag zeigt, wie mit Hilfe der Drohnen-Photogrammmetrie das Ausmaß und das Volumen der Ablagerung eines Lawinenereignisses erfasst werden können. Diese Daten können als Grundlage für die Analyse der Interaktion zwischen Lawinen sowie Brems-, Leit- und Auffangbauwerken dienen. Die Kombination aus der Interpretation von Orthophotos und räumlicher Analyse der Ablagerung demonstriert, dass kleinräumige Geländestrukturen das Ablagerungsmuster lokal überwiegen. Das Wissen um diese lokalen Effekte ist von wesentlicher Bedeutung, um die Wechselwirkung zwischen Lawinen und Hindernissen zu verstehen und die Gestaltung von Brems-, Leit- und Auffangbauwerken zu verbessern. Das Lawinenereignis der Arzler Alm-Lawine vom Jänner 2018 wurde mit dem Lawinenmodell SamosAT unter Einbezug der gesetzten Maßnahmen als Widerstandsgebiete nachgerechnet. Dabei konnten im Abgleich mit den Daten aus der Drohnen-Photogrammetrie wichtige Informationen und Erkenntnisse zum Umgang mit Brems- und Leitbauwerken in der Lawinenmodellierung gewonnen werden (Kofler, 2018).

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Natalie Brozova und Klaus Suntinger (beide BFW) für die Unterstützung bei den Feldarbeiten, bei Peter Höller (BFW) für das gründliche Korrekturlesen dieses Beitrags, sowie bei den TIRIS-Mitarbeitern (Amt der Tiroler Landesregierung) für die Bereitstellung der Referenzdaten herzlich bedanken.

Weiterführende Informationen

Dieser Artikel wurde unter dem Titel 'Investigating Avalanche Interaction with Defence Structures using Unmanned Aerial System Photogrammetry' auf dem International Snow Science Workshop 2018 (www.issw2018.com) in Innsbruck präsentiert und in englischer Sprache im entsprechenden Tagungsband publiziert (siehe: http://arc.lib.montana.edu/snow-science/workshops.php); weiters wurde dieser Artikel in einer ähnlichen Form in der Fachzeitschrift bergundsteigen unter dem Titel ,Drohnen für die Lawinenforschung' in der Ausgabe #105 publiziert.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Mag. Marc Adams Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck marc.adams@bfw.gv.at

Dr. Jan-Thomas Fischer Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck jt.fischer@bfw.gv.at

DI Andreas Kofler Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck andreas.kofler@bfw.gv.at Ing. Mag. Christian Tollinger Wildbach- und Lawinenverbauung Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck christian.tollinger@die-wildbach.at

Armin Graf

Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck armin.graf@bfw.gv.at

Mag. Reinhard Fromm

Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren Rennweg 1, 6020 Innsbruck reinhard.fromm@bfw.gv.at

Literatur / References:

BEDNARZ, R. (2003). Lawinenauffang-, Leit- und Ablenkdämme sowie Bremsbauwerke in der Gebietsbauleitung Mittleres Inntal. Wildbach- und Lawinenverbau 150: 124-132.

BRIESE, C., FORTNER, R., SAGER, P., PFEIFER, N. (2013). Vom Modellflughobby zu unbemannten Flugsystemen f
ür die Geodatenerfassung. Österreichische Zeitschrift f
ür Vermessung und Geoinformation (VGI), 101, 2+3: 64-74.

COLOMINA, I., MOLINA, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92: 79–97.

SOVILLA, B., MCELWAINE, J. N., SCHAER, M., VALLET, J. (2010). Variation of deposition depth with slope angle in snow avalanches: measurements from Vallée de la Sionne. Journal of Geophysical Research, 115: F02016.

KOFLER, A., TOLLINGER, C., JENNER, A., GRANIG, M., AND ADAMS, M. S. (2018). Breaking mounds in avalanche simulations – a SamosAT case study. International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria – 2018.

alpinfra consulting + engineering gmbh :: Internationale Ingenieurkompetenz

Innovative Lösungen und Baustellenführung im anspruchsvollen alpinen Umfeld

- Statische und dynamische Strukturanalysen f
 ür 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

von kurz- und langfristigen Einflüssen

ENGELBERT GLEIRSCHER, ANDREAS KOFLER, THOMAS GIGELE, ARMIN GRAF, MATTHIAS GRANIG, JAN-THOMAS FISCHER

Überwachung von Schneenetzen: Bewertung von kurz- und langfristigen Einflüssen

Monitoring forces in steel wire rope nets: Evaluation of short and long term influences

Zusammenfassung:

In Anbruchgebieten werden flexible Schneenetze als Schutzmaßnahmen eingesetzt. Der Zweck dieser Maßnahmen liegt in der Verhinderung eines Lawinenanbruchs. Netzsysteme werden durch die bergseitige Schneedecke belastet, was zu Druck-, Zug- und Scherkräften in verschiedenen Teilen der Struktur führt. Im Testgelände "Hafelekar" (Tirol, Österreich) auf 2.254 m ü.M. wurden von 2006 bis 2017 Kräfte gemessen. Darüber hinaus messen zwei automatische Wetterstationen kontinuierlich Lufttemperatur und Schneehöhe im Testgelände. Die gemessenen Daten liefern eine zeitliche Entwicklung von Kräften in der Struktur während Winterperioden. Da Schneenetze extremen Schneehöhen standhalten müssen, wird ein Vergleich zwischen charakteristischen berechneten Kräften und den gemessenen Kräften gegeben.

Stichwörter: Schneenetz, Schutzmaßnahme, Lawine, Monitoring, Anbruchgebiet

Abstract:

Flexible steel wire rope nets are used as mitigation measures in avalanche starting zones. The purpose of these measures lies in the prevention of an avalanche release. Net systems are loaded by the uphill snowpack which results in pressure, tensile and shear forces in various parts of the structure. At the "Hafelekar" test site (Tyrol, Austria) at 2.254 m a.s.l. forces were measured from 2006 to 2017. Furthermore two automatic weather stations provide continuous measurements of air temperature and snow height in the test site. The recordings provide the temporal evolution of forces over winter periods. Since mitigation measures are dimensioned to withstand extreme values, a comparison between characteristic forces and the measured forces is given.

Keywords:

Steel wire rope nets, protection measure, avalanche, monitoring, avalanche starting zone

Einleitung

Schneenetze sind flexible tragende Strukturen im Anbruchgebiet von Lawinen, welche den Abgang einer Lawine verhindern sollen. In den letzten Jahrzehnten hat sich diese Art der Verbauung etabliert und bewährt. Die modulare Form macht eine flexible Anpassung an spezifische topographische Bedingungen möglich. Weiters sind Schneenetze im Vergleich zu klassischen Schneebrücken weniger empfindlich gegenüber Steinschlag. Nachdem der Schutz der Natur und damit auch die Sichtbarkeit von Schutzmaßnahmen kontinuierlich an Bedeutung gewinnen, werden Maßnahmen bevorzugt, die sich möglichst unauffällig in die Landschaft einfügen. Schneenetzsysteme, hergestellt aus verzinktem Stahl sind oft weniger auffällig als Schneebrücken, die aufgrund von Korrosion braun gefärbt sind und dadurch vor allem im Felsgelände deutlich hervorstechen. Abbildung 1 zeigt das Testgelände auf dem Hafelekar nahe Innsbruck. Abbildung 1(a) hebt die Unauffälligkeit von Schneenetzen im Vergleich zu Schneebrücken hervor. Die Entwicklung und Dimensionierung von Schneenetzen war im Grunde empirisch und es gibt nur wenige Ansätze, um die Bemessung von Schneenetzsystemen zu verbessern (z.B. Nicot et al., 2002; Boutillier et al., 2004; Margreth und Roth, 2007). 1954 stellte Haefeli eine einfache grafische Methode zur Berechnung von Kräften in Schneenetzen vor, welche noch immer die Grundlage für die Bemessung dieser flexiblen Strukturen ist. Margreth (1995) arbeitete an der Validierung von Haefelis Vorschlag durch Feldmessungen. Hier zeigen wir die zeitliche Entwicklung von Kräften in zwei Winterperioden mit überdurchschnittlicher Schneehöhe. Hervorgehoben werden dabei die gemessenen Maximalwerte. Die Planung von Schneenetzen stößt weiterhin auf die Frage der zu unterstellenden Bemessungskräfte. Wir vergleichen Kräfte, die auf

der Grundlage von Richtlinien berechnet werden mit gemessenen Kräfte in der Struktur. Schließlich zeigen wir eine Tauwetterperiode und untersuchen die täglichen Schwankungen der Kräfte.

Richtlinien versus Kraftmessungen

In Rainer et al. (2008) wird ein Vergleich von gemessenen Kräften in Schneenetzen und theoretische Berechnungen unter Berücksichtigung gemessener Schneehöhen angestellt. Die gemessenen Schneehöhen lagen allerdings deutlich unter dem Bemessungsszenario. Schutzmaßnahmen wie Schneenetze sind jedoch für extreme Belastungen auszulegen. Die hier verwendete theoretische Berechnungsmethoden richtet sich nach Haefeli (Haefeli, 1954) und den Schweizer Richtlinien "Lawinenverbau im Anbruchgebiet" (Margreth, 2007), bzw. den Österreichischen Richtlinien (ONR-24805, 2010; ONR-24806, 2011). Man unterscheidet in den Richtlinien zwei Lastfälle (Margreth, 2007). Der Lastfall 1 beinhaltet eine Schneemächtigkeit analog zur effektiven Schneehöhe des Schneenetzes (DK) und einer Schneedichte von 270 kg/m³. Die Schneemächtigkeit für Lastfall 2 beträgt 77 % der Mächtigkeit des Lastfalls 1 wobei die Schneedichte bei 400 kg/ m³ liegt. Die Richtlinien setzen den Lastfall 2 als Standard zur Dimensionierung flexibler Netzstrukturen. Beim Testfeld am Hafelekar ist ein Netz mit einer effektiven Höhe von 3,5 m (DK = 3,5) installiert. Die mittlere Geländeneigung liegt bei 38°. Damit ergibt sich nach den Richtlinien eine axiale charakteristische Kraft von 243 kN in der Randstütze und 170 kN in der Mittelstütze. Von 2006 bis 2017 wurden im Testfeld die axialen Kräfte einer Randstütze als auch einer Mittelstütze gemessen. Weiter liefern zwei automatische Wetterstationen des Lawinenwarndienstes kontinuierliche Messung der Lufttemperatur und der Schneehöhe im Testgelände. Zwar gibt es Messungen aus

mehreren Jahren, aber nur wenige zeigen Schneehöhen die als extreme Werte bezeichnet werden können. Daher werden nur ausgewählte Aufzeichnungen mit den berechneten Werten nach den Richtlinien verglichen. Die Perioden mit den höchsten akkumulierten Schneehöhen und daher jene Perioden mit den höchsten aufgezeichneten Kraftwerten sind die Winterperioden der Jahre 2008/09 und 2011/12. In diesen Wintern war die Netzstruktur zeitweise vollständig gefüllt, d.h. die Schneemächtigkeit war größer als 3,5m. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Axialkraft in der Randstütze der Struktur. Niederschlagsereignisse führen zu einer kontinuierlichen Zunahme in der axialen Kraft der Stütze. Die maximale Kraft wird



Abb. 1: Lage des Testfeldes für Schneenetze am Hafelekar nahe Innsbruck

Fig. 1: Test site at the Hafelekar close to Innsbruck





Abb. 2: Schneehöhenverlauf und resultierende Kräfte in der Randstütze

Fig. 2: Course of snow height and resulting forces in the edge strut

stets im Frühjahr erreicht, wenn die Schmelzpe-
riode beginnt. Die größte Kraft gemessen in der
Randstütze beträgt 300 kN im Winter 2008/09telsti
sehr
Randstütze beträgt 300 kN im Winter 2008/09und 330 kN im Winter 2011/2012. Leider fehlt
ein Teil der Messung im März 2012. In dieser
Zeitspanne wären die Kräfte wahrscheinlich noch
weiter angestiegen, was eine Unterschätzung des
Maximalwertes für den Winter 2011/2012 bedeu-
tet. Die (a) Hafelekar Testfeld Berechnung nach
den gebräuchlichen Richtlinien (Lastfall 2) liefert
NiederNeber

eine Kraft von 243 kN als Bemessungswert für die Randstütze, der die gemessenen Werte zu unterschätzen scheint. Eine Berechnung nach Lastfall 1 liefert einen Wert von 360 kN, was besser mit den gemessenen Kräften übereinstimmt. Für die Mit-



telstütze stimmen die Messungen der Axialkräfte sehr gut mit den berechneten Werten gemäß Lastfall 2 überein. Der maximal gemessene Wert beträgt 169 kN wobei die Richtlinie einen Wert von 170 kN liefert.

Tageszeitliche Schwankungen

Neben den saisonalen Veränderungen infolge Niederschlag und Verdunstung zeigen die gemessenen Kräfte im Frühjahr während der Schneeschmelze auch Schwankungen im Tagesverlauf. Bei der Analyse der Kräfte fällt auf, dass die Kräfte in der Nacht zunehmen, während sie am Tag abnehmen obwohl die Schneehöhe während dieses Zeitraums nahezu konstant bleibt. Diese Schwankungen treten typischerweise am Beginn der Schmelzperiode im Frühjahr auf. Die Schwan-



(a) Vergleich Stützenkraft – Temperaturverlauf (Woche)



Abb. 3: Täglicher Verlauf von Kräften, Lufttemperatur und Schneehöhe

Fig. 3: Diurnal variations of forces, air temperature and snow height

kungen korrelieren stark mit dem Lufttemperaturverlauf (Abbildung 3(a) und 3(b)). Möglicherweise führen Schmelz- und Gefrierprozesse in der Schneedecke zu unterschiedlichen Belastungen in der Anbruchverbauung. Abbildung 3 (a) zeigt den Kräfteverlauf in einer Randstütze (Axialkraft) im Zeitraum einer Woche im März 2012. Abbildung 3 (b) zeigt ein 2-Tages-Intervall im Detail. Vergleicht man den Kraftverlauf und den Verlauf der Lufttemperatur einer nahe gelegenen Wetterstation am Hafelekar (2.270 m a.s.l.), so ist eine Analogie zwischen beiden Verläufen zu erkennen. Die Kräfte zeigen ein tägliches Maximum genau dann wenn die Lufttemperatur minimal ist. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt wenn die Lufttemperatur um den Gefrierpunkt liegt (Schmelzperiode, Frühling). Die Abbildungen 3 (c) und (d) zeigen, dass die Schwankungen nahezu unabhängig von der



(b) Vergleich Stützenkraft – Temperaturverlauf (2 Tage)



Schneehöhe sind. Vielleicht führen temperaturabhängige Bindungsprozesse in der Schneedecke (Kohäsion, Sintern, Gefrieren) zu einem variierenden Schneevolumen, welches auf die Netzfläche wirkt. Schmelzprozesse führen zum Verlust von Verbindungen zwischen Schneekörner wodurch die Schneekubatur abnimmt, welche auf das Netz wirkt. Womöglich tragen auch Seillängenveränderungen infolge von Temperaturdifferenzen zu diesem Phänomen bei. Die Schwankungsbreite der Kräfte durch diese Vorgänge liegt in einem Bereich von ca. 30 kN (Axialkraft Randstütze) und liegt damit in einer Größenordnung von ungefähr 10% der Gesamtkraft in der Stütze.

Fazit

Das vorgestellte Projekt zeigt die zeitliche Entwicklung von Kräfte in den Stützen eines instrumentierten Schneenetzes im Testgelände "Hafelekar" in der Nähe von Innsbruck. Messungen von zwei überdurchschnittlich scheereichen Winterperioden zeigen maximale Kräfte welche in Rand- und Mittelstützen aufgetreten sind. Werden die gemessenen Kräfte mit den theoretischen charakteristischen Kräften verglichen findet sich eine gute Übereinstimmung bei Kräften in der Mittelstütze. Messungen in der Randstütze liefern höhere Werte als die Vorgaben der Richtlinien. Werden aber die Kräfte nach dem ungünstigen Lastfall (Lastfall 1 nach Schweizer Richtlinien) berechnet, so liegt man bei der Bemessung wieder auf der sicheren Seite. Weiter zeigen die kontinuierlichen Messungen eine tageszeitliche Variation der Kräfte in den Stützen der Schneenetze. Schneehöhen und Lufttemperaturen in ausgewählten Zeiträume wurden analysiert und mit den Kraftmessungen verglichen. Die festgestellten Änderungen zeigen eine starke Korrelation mit der Lufttemperatur besonders bei Temperaturen um den Gefrierpunkt. Wir vermuten die Ursache der Kraftschwankungen in Schmelz- und Gefrierprozessen der Schneedecke.

Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), welche diese Studie ermöglicht hat.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Engelbert Gleirscher DI Andreas Kofler Thomas Gigele Armin Graf Dr. Jan-Thomas Fischer Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) Rennweg 1, 6020 Innsbruck engelbert.gleirscher@bfw.gv.at

DI Matthias Granig

Wildbach und Lawinenverbauung Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck matthias.granig@die-wildbach.at

Literatur / References:

BOUTILLIER, B., NICOT, F., MEYSSONNIER, J., GAGLIARDINI, O., and DARVE, F. (2004). Interaction between a snowpack and a snow net system. In Interpraevent Riva/Trento.

HAEFELI, R. (1954).

Vorschläge zur Konstruktion und Berechnung von Netzwerken. Technical report, Davos, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Externer Bericht Nr. 2112. MARGRETH, S. (1995).

Snow pressure measurements on snow net systems. In Proceedings of the ANENA Symposium Chamonix, May 30 – June 03., pages 241–248. ANENA Symposium.

MARGRETH, S. (2007).

Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Bundesamt für Umwelt, Bern.

MARGRETH, S. and ROTH, A. (2007). Interaction of flexible rockfall barriers with avalanches and snow pressure.

Cold regions science and technology, 51(2):168-177.

NICOT, F., GAY, M., and TACNET, J. (2002). Interaction between a snow mantel and a flexible structure: a new method to design avalanche nets. Cold Regions Science and Technology, 34(2):67– 84.

ONR-24805 (2010).

Permanenter technischer Lawinenschutz - Benennung und Definition sowie statistische und dynamische Einwirkungen. ONR-24806 (2011). Permanenter technischer Lawinenschutz - Bemessung und konstruktive Ausgestaltung.

RAINER, E., RAMMER, L., and WIATR, T. (2008). Snow loads on defensive snow net systems. In International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches Egilsstadhir, Iceland.



Halbeisen & Prast KG

Transporte - Erdbau



Seite 67

ENGELBERT GLEIRSCHER, GERNOT STELZER, DANIEL ILLMER, AHREN BICHLER

Snowcatcher – Lawinentestfeld im Stubaital

Snowcatcher – full-scale test site in the Stubai Valley

Zusammenfassung:

Schutzbauwerke wie Schneebrücken, Schneerechen und Schneenetze in Anbruchgebieten sowie Lawinenauffangdämme oder Umlenkstrukturen im Auslauf- und Ablagerungsgebiet werden seit vielen Jahren erfolgreich für den Lawinenschutz eingesetzt. In den letzten Jahren entstand die Idee, flexible Netze als leichte, platzsparende und wirtschaftliche Alternativen zu verwenden, um die Auslauflängen von Lawinen zu verkürzen. Der Prototyp einer solchen Struktur, der sogenannte Snowcatcher, wurde in Ranalt im Stubaital errichtet und mit mehreren Messzellen instrumentiert, welche die durch eine Lawine erzeugten dynamischen Kräfte aufzeichnen. Mehrere Lawinenereignisse wurden bisher registriert und ermöglichen sowohl die Untersuchung der zeitlichen Kraftentwicklung als auch die Feststellung der aufgetretenen Spitzenwerte. Anhand zweier Ereignissen werden Unterschiede in den Messergebnissen beider Lawinen aufgezeigt. Die Größe und die Struktur der Lawinen sowie das Vorhandensein von Fremdmaterial in der Lawine sind für die beobachteten Kräfte von großer Bedeutung. Das Fremdmaterial verklaust die Netzfläche, macht sie undurchlässig und verhindert, dass Schneeteile die Netzfläche durchfließen können. Ferner führt der Aufprall des Fremdmaterials zu Spitzenkräften, die Teile der Struktur beschädigen können.

Stichwörter: Schneenetz, Auffangnetz, Schutzmaßnahme, Testfeld, Kraftmessung

Abstract:

Avalanche protection structures such as snow bridges, rakes and nets in release zones, as well as dams for catchment or deflecting structures in run-out and deposition zones, have been successfully employed for many years. More recently, the idea of using flexible-net catchment fences as lightweight, space saving and economic alternatives, aimed at shortening the run-out distance of avalanches, has been proposed. A full-scale structure, the so-called Snowcatcher, was installed and instrumented with several load measuring pins, which record the dynamic forces caused by an avalanche. Several avalanche events were recorded and allow to investigate the temporal force evolution and observed peak values. The results indicate significant differences in the measurement results. It appears that the difference in size and structure-avalanche interaction as well as the existence of debris material in the avalanche flow is of major importance for the observed forces. This additional debris material blocks the net surface, making it impermeable and prevent snow particles from passing the net surface. Further the debris – structure impact leads to peak forces that may damage parts of the structure.

Keywords: Steel wire rope nets, protection measure, test field, force measurement

Einleitung

Permanente Maßnahmen zum Schutz vor Lawinen werden entweder im Anbruchgebiet (z. B. Schneebrücken) oder in der unteren Sturzbahn/ Auslaufgebiet (z. B. Lawinenschutzdämme) errichtet (Rudolf-Miklau und Sauermoser, 2011; Pudasaini und Hutter, 2007). Unter bestimmten topographischen Bedingungen liegt ein Vorteil von Maßnahmen im Auslaufgebiet verglichen mit jenen im Anbruchgebiet in der Verringerung der Baulängen aufgrund einer oft geringeren Lawinenbreite durch die Kanalisierung im unteren Lawinenpfad. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf das Projekt, insbesondere im Hinblick auf Platz-, Zeit-, und Kosteneinsparungen. Zudem sind die ökologischen Auswirkungen durch die reduzierte Baulänge meist deutlich geringer. Derzeit sind Lawinenschutzdämme die gebräuchlichste Methode um Lawinen aufzuhalten, abzulenken oder abzubremsen (z. B. Baillifard, 2007; Domaas et al., 2002; Hákonardóttir, 2004; Johannesson et al., 2009). Flexible Netze zum Schutz vor Steinschlag wurden bereits mehrfach untersucht (Gottardi und Govoni, 2010; Peila und Ronco, 2009;

Volkwein, 2005) und haben sich mittlerweile durchaus bewährt. Während Steinschlagschutznetze zur Absorption hoher punktueller Aufprallenergien optimiert sind, wirkt der Lawinendruck über einen viel größeren Bereich und über einen längeren Zeitraum (Margreth und Roth, 2008). Ergebnisse von Steinschlag- und Lawinenexperimenten an flexiblen Netzen sind daher kaum miteinander zu vergleichen. Eine Verbauungsstruktur gegen Muren, hergestellt aus steifen Rahmen und flexiblen Netzen, ähnlich dem hier vorgestellten Prototyp, wird in Bichler et al. (2012) vorgestellt. Im gegenständlichen Beitrag wird eine neue Schutzmaßnahme gegen Lawinen vorgestellt. Für Gebiete, die durch kleinere Lawinen gefährdet sind, bietet der Snowcatcher eine attraktive Alternative zu Lawinenschutzdämmen. Um die neuartige Struktur zu testen, wurde ein Prototyp des Snowcatchers mit mehreren Lastmesszellen instrumentiert, welche die durch eine Lawine verursachten dynamischen Kräfte aufzeichnen. Ziel dieser Messungen ist, (i) die durch eine Lawine resultierenden Kräfte in der Struktur zu untersuchen und (ii) den Einfluss der Netzstruktur auf die Lawine festzustellen.

Snowcatcher Testfeld

Ein Hauptziel unseres Projekts ist es, die Wirksamkeit einer neuen Schutzmaßnahme gegen Lawinen zu analysieren. Dafür musste zunächst ein Platz gefunden werden, der mehrere Anforderungen erfüllt. Ein Lawinenpfad im Stubaital (ca. 35 km von Innsbruck entfernt) wurde als Standort mit Vorteilen hinsichtlich Lawinenhäufigkeit, Lawinengröße und Erreichbarkeit betrachtet. Der Standort ermöglicht einen einfachen Zugang, da er sich in der Nähe einer Forststraße auf 1.300 m ü.M. befindet (siehe Abbildung 1). Das Anbruchgebiet der Lawine liegt zwischen 2.000 und 2.400 m ü.M., was zu Fallhöhe von mehr als 700 m bis zum Snowcatcher führt. Die Größe der erwarteten Lawinen liegt im Bereich von mehreren hundert m3 bis zu 35.000 m3, was einer maximalen Größe von 3-4 auf der 5-teiligen europäischen Skala entspricht.



Abb. 1: Übersicht Testfeld Snowcatcher

Fig. 1: Test site overview

Snowcatcher Aufbau

Der Prototyp des Snowcatchers wurde für Aufpralldrücke bis 50 kN/m² konzipiert. In unseren numerischen Simulationen entspricht das einer Lawine mit einem Anbruchvolumen von ca. 7000 m³ und einer Schneedichte von 300 kg/m³. Die Struktur des Snowcatcher besteht aus folgenden Teilen:

- **Omega-Netz:** Dieses Strukturelement bremst die Lawine bzw. hält die Lawine auf. Es ist ein speziell geflochtenes Netz mit einer Maschenweite von ca. 185 mm und einem Drahtdurchmesser von 9 mm.
- Seile: Trag- und Mittelseile spannen das Netz auf und leiten die Zugkräfte in die seitlichen Anker. Stabilisierungsseile dienen der seitlichen Stabilität der Struktur.
- **Bremselemente:** Durch ihre Ausdehnung ab einem bestimmten Wert begrenzen sie die Kraft in Seilen und Ankern während eines Lawinenereignisses.
- Tragkonstruktion: Die Rahmen werden als Dreigelenkrahmen in Form eines λ (Lambda Rahmen) ausgeführt.
- Anker: Hohlstabanker IBO R51 wurden verwendet, um Lasten von Seilen und Rahmen in den Boden zu übertragen. Die Länge jedes Ankers beträgt ungefähr 9 m.



Im Testfeld sind vier Lambda-Rahmen mit einem Abstand von jeweils 4 m errichtet, sodass der Snowcatcher eine Gesamtlänge von 12 m erreicht. Die effektive Höhe des Systems beträgt 5,3 m und der Anstellwinkel der Netzfläche zum Gelände beträgt ca. 85°, während die durchschnittliche Geländeneigung 25° aufweist. Niedrigere Winkel zwischen Netzfläche und Gelände reduzieren die effektive Höhe des Systems und erschweren die Schneeräumung von Lawinenablagerungen bergseitig des Snowcatchers. Im Gegensatz zu den derzeit genutzten Netzstrukturen sind keine bergseitigen Abspannseile vorhanden, was eine maschinelle Räumung nach einem Lawineneintrag problemlos ermöglicht.

Instrumentierung

Im System sind mehrere Lastmesszellen verbaut, um die von einer Lawine ausgeübten dynamischen Kräfte zu erfassen. Zwei Lambda-Rahmen (Rahmen #1 am Rand und Rahmen #2 in der Mitte) sind mit Lastmessbolzen (4 Stück) ähnlich wie bei Rainer et al. (2008) ausgestattet. Die Pfeile (Abbildung 1b) geben die Richtung der Kraftmessung im Snowcatcher an. 8 Schäkel erfassen Zugkräfte in ausgewählten Seilen des Systems. Datenlogger erfassen sämtliche Daten der Sensoren mit einer Rate von 100 Hz. Weiter sind zwei Kameras installiert, um die Lawineninteraktion mit dem Snowcatcher aufzuzeichnen. Die Kamera #1 befindet sich 30 m seitlich der Struktur und die Kamera #2 ist 250 m entfernt. Die Aufnahmerate beider Kameras beträgt 100 Bilder pro Sekunde.

Lawinenereignisse

In diesem Beitrag konzentrieren wir uns auf zwei verschiedene Lawinen, die in einem Lawinenzyklus im Januar 2019 den Snowcatcher getroffen haben. Eine Lawine ereignete sich am 13.01.2019 um 14:42 Uhr und die andere am folgenden Morgen des 14.01.2019 um 04:34 Uhr. Die Lawinen unterscheiden sich in der Größe, dem zugehörigen Volumen und der Interaktion mit der Struktur. Lawinenablagerungen führen zu Änderungen des Fließpfades und ändern damit Aufprallrichtung und Lage der Angriffsfläche der Lawine.



(a) Lawine vor Aufprall



(b) Lawine während Aufprall



Abb. 2: Bilderfolge der Staublawine vom 13.01.2019 Fig. 2: A sequence of the powder avalanche from 2019-01-13

Ereignis 13.01.2019 14:42

Nach einem heftigen Schneefall führte ein Lawinenabgang zu einer Staublawine, die den Snowcatcher traf (siehe Abbildung 2). Die maximale Zugkraft in den Seilen erreichte einen Wert von 33 kN (Abbildung 3a). Die höchste Druckkraft wurde im Bolzen #3 (Kraftkomponente 3x) am Fuß des Lambda Rahmens #1 gemessen. Die Kraft erreicht hier einen Wert von 63 kN (Abbildung 3b). Das Video der Kamera #1 lässt eine Frontgeschwindigkeit von ca. 25-30 m/s errechnen, bevor die Staublawine den Snowcatcher trifft. Turbulenzen und eine sich seitlich ausbreitende Staubwolke führen zu schlechten Sichtverhältnissen und machen die Bewertung der Geschwindigkeit nach der Interaktion mit dem Snowcatcher unmöglich. Dennoch zeigt das Video der Kamera #2 eine ablenkende und verzögernde Wirkung des Snowcatchers auf die Lawine. Die Bilder zeigen, dass die Netzoberfläche durchlässig bleibt, und dass Partikel während des Ereignisses durch die Netzoberfläche strömen. Dies entspricht den Ergebnissen von Gleirscher und Fischer (2013) in deren Laborexperimenten. Während des Ereignisses wurde ein Kabel von Schäkel #5 beschädigt,



(a) Zugkräfte in den Stabilisationsseilen

Abb. 3: Kraftmessung während der Staublawine am 13.01.2019

Fig. 3: Force measurement of the powder avalanche event 2019-01-13

daher ist keine Messung dieses Sensors vorhanden. Das Volumen der Lawinenablagerung wird auf ca. 1.000 m³ geschätzt, was einer Lawinengröße 2 entspricht.

Ereignis 14.01.2019 4:34 Uhr

Diese Lawine löste sich am frühen Morgen. Die Dunkelheit macht die vorhandenen Videoaufnahmen unbrauchbar. Das Ablagerungsvolumen wird auf ungefähr 5000 m3 geschätzt, was einer Lawinengröße von 3 entspricht. Diese Lawine ist demnach deutlich größer als jene vom Vortag. Weiters sind in der Lawinenablagerung viele Äste zu erkennen, was zu einer Verklausung der durchlässigen Netzfläche geführt hat (Abbildung 4). Die maximale Verformung der Netzfläche wurde im Feld zwischen Rahmen #1 und Rahmen #2 festgestellt, wobei die maximale Kraft im Rahmen #2 registriert wurde. Das führt zu der Annahme, dass hier die Einwirkung der Lawine am größten war. Die maximale Zugkraft in den Seitenstabilisierungsseilen erreichte einen Wert von 190 kN, während in den Trag- bzw Mittelseilen Maximalwerte von 83 kN gemessen wurden (Abbildung 5b). Die Trag- und Mittelseile sind mit Bremsele-





(a) Äste im Netz

menten ausgestattet welche ab einer Zugkraft von 20 bis 30 kN plastisch gedehnt werden und daher die Kraft in Seilen und Anker begrenzen. Die Stabilisierungsseile werden hingegen ohne Bremselemente befestigt. Während des Lawinenereignisses ist das Stabilisierungsseil Nr. 4 gebrochen. Unmittelbar vor dem Bruch zeigt die Messung in diesem Seil einen Kraftanstieg von 40 kN auf 190 kN innerhalb von 10 Millisekunden (Abbildung 5a), was auf einen Treffer mit einem Baumstamm schließen lässt. Die Messungen in den Bolzen #1 und #2 zeigen ähnliche Verläufe (Abbildung 5c). Die Axialkraft hat ein negatives Vorzeichen, was auf eine Zugkraft im Balken hinweist. Die gemessenen Werte im Bolzen #1 (Rahmen #1, siehe Abbildung 5) sind erheblich größer als im Bolzen #2. Die größten Absolutwerte in Axial- und hangparalleler Richtung sind -142 kN und 137 kN in Bolzen #1. Abbildung 5d zeigt eine deutlich höhere Druckkraft (298 kN) im Bolzen #4 (Rahmen #2), verglichen zum Bolzen #3 (174 kN,



(b) Lawinenablagerung

Abb. 4: Testfeld nach dem Lawinenabgang vom 14.01.2019

Fig. 4: The test site after the avalanche event from 2019-01-14

Rahmen #1). Vermutlich führte die bestehende Lawinenablagerung zu einem höheren vertikalen Kraftangriffspunkt im Rahmen #2 als im Rahmen #1. Aufgrund der Hebelwirkung resultierten daraus für den Rahmen #2 kleinere Kräfte im bergseitigen Fußpunkt aber größere Kräfte im talseitigen Fußpunkt.

Zusammenfassung

In dieser Studie versuchen wir, die Wechselwirkung von Lawinen mit flexiblen Netzstrukturen besser zu verstehen. In einem Lawinenpfad im Stubaital wurde der Prototyp einer neuartigen Schutzmaßnahme gegen Lawinen mit mehreren Lastmesssensoren bestückt, um Kräfte während eines Lawinenereignisses zu erfassen. Wir analysieren Kräfte, die in Teilen dieser neuartigen Struktur wirken. Hier werden zwei Lawinenereignisse untersucht, die sich in Größe und in der Interaktion mit dem Snowcatcher unterscheiden. Die
Wechselwirkung einer Staublawine (Größe 2) mit dem Snowcatcher führte zu maximalen Seilkräften von 33 kN und zu maximalen Druckkräften von 63 kN in den Messbolzen. Ein weiteres Lawinenereignis (Größe 3) resultiert in deutlich größeren Kräften in der Struktur. Bei diesem Ereignis kam es zu einer plastischen Verformung einiger Teile der Struktur. Ein Stabilisierungsseil brach wahrscheinlich aufgrund eines Aufpralls eines Baumstammes bei einer Spitzenlast von 190 kN. Weitere sechs Bremselemente wurden bleibend gedehnt. Die maximale Kraft wurde am Fußpunkt des Rahmens #2 in Bolzen #4 aufgezeichnet. Dabei erreichte die Druckkraft einen Wert von 298 kN.



(a) Zugkräfte in Stabilisationsseilen





Abb. 5: Kraftmessung während der Lawine vom 14.01.2019

Fig. 5: Force measurement of the avalanche event 2019-01-14

Danksagung

Wir danken unserem Projektpartner FREY Austria GmbH für die Planung und Installation des Datenerfassungssystems in unserem Projekt. Weiters möchten wir uns bei der Wildbach und Lawinenverbauung Sektion Tirol für die Unterstützung dieses Projekts bedanken.



(b) Zugkräfte in Trag- Mittelseilen



Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Engelbert Gleirscher

Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U / Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) Industriegelände Zone C11, 6166 Fulpmes / Rennweg 1, 6020 Innsbruck Engelbert.gleirscher@ib-illmer.at Engelbert.gleirscher@bfw.gv.at

Gernot Stelzer

Trumer Schutzbauten GmbH Weissenbach 106, 5431 Kuchl

Daniel Illmer Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U. Industriegelände Zone C11, 6166 Fulpmes

Ahren Bichler

Trumer Schutzbauten Canada Ltd 720-999 West Broadway, Vancouver, Canada

Literatur / References:

BAILLIFARD, M.-A., 2007. Interaction Between Snow Avalanches and Catching Dams. (PhD thesis) ETH Zurich. BICHLER, A., YONIN, D., STELZER, G., 2012. Flexible debris flow mitigation: introducing the 5.5 mile debris fence. Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society Through Improved Understanding, pp. 1209–1214.

DOMAAS, U., HARBITZ, C., BAKKEHØI, H., 2002. The EU CADZIE database for extreme and deflected snow avalanches. Nat. Hazard. Earth Syst. Sci. 2, 227–238.

GLEIRSCHER, E., FISCHER, J.-T., Retarding avalanches in motion with net structures, Cold Regions Science and Technology (2013)

GOTTARDI, G., GOVONI, L., 2010. Full-scale modelling of falling rock protection barriers. RockMech. Rock. Eng. 43 (3), 261–274.

HÁKONARDÓTTIR, K., 2004. The Interaction Between Snow Avalanches and Dams. (PhD thesis) University of Bristol, School of Mathematics, Bristol, England.

JOHANNESSON, T., GAUER, P., ISSLER, D., LIED, K. (Eds.), 2009. The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments. European Commision. Directorate General for Research (M. Barbolini and U. Domaas and C. B. Harbitz and T. Johannesson and P. Gauer and D. Issler and K. Lied and T. Faug and M. Naaim and F. Naaim-Bouvet and K. M. Hakonardottir and L. Rammer).

MARGRETH, S., ROTH, A., 2008. Interaction of flexible rockfall barriers with avalanches and snow pressure. Cold Reg. Sci. Technol. 51, 168–177.

PEILA, D., RONCO, C., 2009. Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline. Nat. Hazard. Earth Syst. Sci. 9 (4), 1291–1298.

PUDASAINI, S.P., HUTTER, K., 2007. Avalanche Dynamics: Dynamics of Rapid Flows of Dense Granular Avalanches. Springer, Berlin, New York.

RAINER, E., RAMMER, L., WIATR, T., 2008. Snow loads on defensive snow net systems. International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches, Egilsstair, Iceland.

RUDOLF-MIKLAU, F., & SAUERMOSER, S. (Eds.). (2011). Handbuch Technischer Lawinenschutz. John Wiley & Sons.

Volkwein, A., 2005. Numerical simulation of flexible rockfall protection systems. Proc. Computing in Civil Engineering.



WATARU TAKAHASHI, YUSUKE HARADA, MASARU MATSUZAWA

Changes in snow pressure on snow bridges in the Hokkaido region of Japan

Veränderungen des Schneedrucks auf Stahlschneebrücken in Hokkaido, Japan

Abstract:

The design guidelines for snow bridges of Japan are based on 'Technical Guideline for Defense Structures in Avalanche Starting Zones' developed in Switzerland in 1961. There have been concerns about snow conditions changing as a result of the higher winter temperatures of recent years. Accordingly, snow pressure was premeasured at slopes that were measured in the previous examination about 30 years ago. The results show that the premeasured values of snow pressure do not exceed those of the design snow pressure but exceed the originally measured values. This is thought to be affected by the differences in snow depths and winter temperatures between the years of examinations.

Keywords: Snow bridges, Snow pressure, Unit weight of snowpack, Snow depth

Zusammenfassung:

Die Konstruktionsrichtlinien für Stahlschneebrücken in Japan basieren auf den Schweizer Richtlinien "Lawinenverbau im Anbruchgebiet" aus dem Jahr 1961. In den letzten Jahren kamen Bedenken hinsichtlich der veränderten Schneebedingungen in Folge der höheren Temperaturen im Winter auf. Dementsprechend wurde der Schneedruck auf den selben Hängen, die bereits vor 30 Jahren aufgenommen wurden, gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass die gemessenen Schneedrücke nicht jene des Bemessungswertes überschreiten, aber sie übertreffen jene, die vor 30 Jahren gemessen wurden. Dies Ergebnis scheint allerdings von den Unterschieden in der Schneehöhe und den Wintertemperaturen innerhalb der Versuchsjahre beeinflusst zu sein.

Stichwörter: Stahlschneebrücken, Schneedruck, Schneelast, Schneehöhe

Introduction

In Japan, the design procedures for snow bridges are based on the Switzerland National Construction Specifications (hereafter referred to as the "Switzerland Specifications"), which were formulated in 1961 (Road Engineering & Management Review, 1966). However, the snow guality in Japan is more dense and wet than that in Switzerland, and such snow has damaged many snow bridges in heavy snow years (Public Works Research Institute, Ministry of Construction and Steel Club, 1989). Therefore, the Civil Engineering Research Institute for Cold Region and other organizations measured the snow pressure on snow bridges in many places in Japan. As a result, a glide factor applied for snow bridges in Honshu, Japan, of 1.5 times was obtained (Snow Research Center, 1993). On the other hand, it was confirmed that the value specified in the Switzerland Specifications was satisfactory in Hokkaido, Japan (Abe et al. 1994), and the conventional glide factor is applied in Hokkaido (Snow Research Center, 1993).

There is concern about snow quality change due to recent climate warming in Hokkaido. Therefore, the snow pressure was measured using the same method and the same slope used 30 years ago to evaluate the change in snow pressure and the adequacy of the snow bridges design procedures. This report shows the measurement results and discussions following the report by Harada et al. (2014) which describes the design procedure for snow bridges and its evolution in Japan, in addition to the measurement results.

Approach of the Design Load of Snow Bridges in Japan

The snow pressure, which acts on snow bridges derived from the Switzerland Specifications, is based on Haefeli's snow pressure theory (Japan construction Mechanization Association, 1968). Components SN parallel to and SQ vertical to the slope of theoretical values of the snow pressure.

$$S_N = \gamma_s \frac{H_s^2}{2} KN \qquad EQ. (1)$$

$$S_Q = \frac{a}{N \tan \varphi} S_N \qquad EQ. (2)$$

$$a = \frac{1 - 2V_s}{2(1 - V_s)} \qquad V_s = 0.04\gamma_s$$

Where, H_s is the depth of snowfall (m), K is the creep factor, N is the glide factor, γ_s is the unit weight of snowpack (kN/m³), φ is the gradient of the slope (degree), and a is the coefficient of snowfall, obtained from the compression Poissons ration V_s and unit weight of snowpack γ_s of the fallen snow using the following equations.

As mentioned before, the glide factor applied in Honshu is 1.5 times the values specified in the Switzerland Specifications, but the factor applied in Hokkaido is the value specified in those specifications. In many cases, 3.5 kN/m^3 is used for the unit weight of snowpack γ s in Japan.

Many hanging fences are adopted for snow bridges in Hokkaido. They are supported by anchorages through a wire cable, which is advantageous from the view of design and construction and adopted widely in Hokkaido. The snow prism load is not taken into consideration because the hanging fences are installed vertically to the slope.

Measurement and Collected Data

The snow pressure was measured in the winter of 2012-13 to 2014-15 at the cut slope of general national road No.230 near Nakayama Pass, Sapporo, Hokkaido (N42°52'20", E141°8'27", 760m a.s.l.; Figure 1). The measurement scene was the same slope where Abe ea al. (1994) measured the snow pressure in the winters of 1988-89 to 1993-94. The slope of the measurement area and the construction situation of the snow bridges and the design snow depth are shown in Table 1. Measured items were the snow pressure acting on the snow bridges, snow depth, grain shape and size of each layer, and unit weight of snowpack.



Fig. 1: Snow pressure measurement point *Abb. 1: Messpunkt des Schneedrucks*

Hanging fences are adopted for the snow bridges at the site. Tensile load cells (Type LU-5TE made by Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd.) were attached to three wire cables that support the hanging fence, and the tensile load was recorded on the data logger every hour (Figure 2). The total of the tensile load of each wire cable is the load (kN) that acts on the snow bridges, and the value obtained by dividing the total load by the snow bridges width (W=5.5m) is the snow pressure SN (kN/m) of the component parallel to the slope. Measurements of the slope snow depth and unit weight of snowpack were performed between the snow bridges where the snow pressure was measured and the upper snow bridges. Moreover, the temperature and snow depth were collected with the Higashi Nakayama telemeter, Hokkaido Development Bureau (830 m a.s.l.) located 4 km southwest from measurement point.

Nakavama-Pass

Gradient	42° (1:1.1)
Ground conditions	grass-covered concrete slope fames
Exposure	south
Distance between structures in the line of slope	13 m
Width of hanging fence	5.5 m
Height of hanging fence	2.0 m
Maximum snow depth in he return period of 30 years	3.5 m
Creep factor	0.791
Glide factor	2.4
Unit weight of snowpack	3.5kN/m ³
Tab. 1: Characteristics of the measuren	nent point
Tab. 1: Merkmale des Messpunktes	



Fig. 2: Tension load cells Abb. 2: Zugbelastungs-Messgerät

Measurement Result

Seasonal Data of the

Snow Pressure Acting on the Hanging Fences

Seasonal data from 2012-13 to 2014-15 winter of the snow pressure obtained by the measurement is shown in Figure 3. The figure shows the design snow pressure (40.8 kN/m), which was obtained from EQ. (1), substituting the conditions of Table 1. The snow pressure increased immediately after the start of measurement and attained the maximum on March 14 to 25, decreasing thereafter. During the measurement in 2014-15 mechanical trouble occurred, making it difficult to measure the snow pressure. The maximum snow pressure in the measurement period was 15.3 kN/m in 2014-15, which did not excess of the design snow pressure.

Physical Properties of the Snow on the Slope

Figure 4 shows the results of unit weight of snowpack measurement. The unit weight of snowpack between snow bridges was 2.25–3.78 (kN/m³), which was not greatly excess of the design unit weight of snowpack of 3.5 (kN/m³) of Table 1. The difference in the snow unit weight of snowpack between snow bridges was little. On the other hand, the difference between measurement days was observed. The measurement on March 24, during the snowmelt season, was 3.33 (kN/m³) on average, about 10% larger than those of other days.

Figure 5 shows the observed snow profile observation performed between fences. On March 23, 2015, the upper layer was Melt Forms, the lower layer was Rounded Grains, and the middle layer was a mixture of those snow types. The site was measured during the snowmelt season, and after the measurement, the snowmelt progressed further.

Discussions

Comparison with Past Measurements

Figure 6 shows the results of snow pressure measurements obtained in the winters of 1988-89 to 1990-91 (Kurokawa et al. 1992). Records of the snow pressure at those times remain (hereafter referred to as "this time").





Fig. 4: Results of unit weight of snowpack measurements at Nakayama pass $% \left({{{\rm{AS}}} \right) = 0} \right)$

Abb. 4: Ergebnisse der Schneelast-messungen am Nakayama Pass



Abb. 5: Beobachtetes Schneeprofil am Nakayama Pass (23. März 2015)

The maximum snow pressure measured this time was 15.3 kN/m (2014-15), which was larger than 10.0 kN/m (1990-91) measured last time. Moreover, the maximum snow depth was 269-282 cm this time, which was somewhat deeper than that of 172-240 cm of last time.

The average temperature during the measurement period was -4.9 to -7.7 (degree) this time and -4.9 to -5.2 (degree) last time (Table 2). The average temperature during this winter measurement period was somewhat lower than that last time. Although the snow quality is greatly affected by the temperature, it is not decided only by the temperature. It is not certain how much the temperature affected the snow pressure for the measurement this time.

Relationship between the Snow Depth and Snow Pressure

Figures 7 and 8 show the relationship between the measured daily average snow pressure and snow depth, which were obtained this both time and last time. Those figures show the snow pressure calculated from EQ. (1). However, the values of γ s, K, and N are referred to Table 1. The results show that the measurements of snow pressure both this time and last time did not exceed the calculate snow pressure. Furthermore, there was no tendency in the change of the relationship between the measured snow pressure and the snow depth.



Fig. 6: Snow pressure measurements at Nakayama Pass (1988-89 to 1990-91)

Abb. 6: Schneedruckmessungen am Nakayama Pass (1988-89 to 1990-91)



Fig. 7: Relationship between the snow pressure and snow depth (Nakayama pass, 2012-13 to 2014-15)

Abb. 7: Zusammenhang zwischen Schneedruck und Schneehöhe (Nakayama Pass, 2012–13 to 2014–15)



Fig. 8: Relationship between the snow pressure and snow depth (Nakayama pass, 1988-89 to 1990-91)

Abb. 8: Zusammenhang zwischen Schneedruck und Schneehöhe (Nakayama Pass, 1988–89 to 1990–91)

		This time			Last time	
Year	2012-13	2013-14	2014-15	1988-89	1989-90	1990-91
Maximum snow pressure (kN/m)	14.4	12.8	15.3	2.9	8.0	10.0
Maximum snow depth (cm)	281	282	269	-	172	240
Average temperature (°C)	-7.7	-6.3	-4.9	-4.9	-5.2	-5.0

Tab. 2: Maximum snow pressure, maximum snow depth, and average temperature (The snow depth at Nakayama pass in 1988 was unknown due to an instrument malfunction)

Tab. 2: Max. Schneedruck, max. Schneehöhe und durchschnittliche Temperatur (die Schneehöhe am Nakayama Pass in 1988 ist aufgrund eines Messfehlers nicht bekannt)

Conclusions

This study aimed to examine the change in snow pressure acting on current snow bridges and to verify the adequacy of the design of the fences in Hokkaido, by measuring the snow pressure acting on the snow bridges as those of last time. The results show snow pressure in excess of the design snow pressure. It is not considered necessary to make any immediate changes to the present design procedures. Because it was confirmed that the measured snow pressure did not exceed the design snow pressure and there is no report of frequent collapses of snow bridges in Hokkaido. Note that the tendency of the snowfall situation differs largely by the year and area, and the results obtained by this study were based on the measurements conducted in three winter seasons at Nakayama pass. However, the need for measuring the snow pressure is considered important as one of the means to verify the design adequacy of snow bridges with due consideration of climate change in winter seasons from now on.

Authors' addresses / Anschrift der Verfasser:

Wataru Takahashi

Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute 1-3-1-34 Hiragishi Toyohira-ku Sapporo Hokkaido, 062-8602 JAPAN takahashi-w22aa@ceri.go.jp

Dr. Yusuke Harada

Snow Avalanche and Landslide Research Center, Public Works Research Institute 2-6-8 Nishiki Myoko Niigata, 944-0051 JAPAN y-harada@pwri.go.jp

Dr. Masaru Matsuzawa Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute 1-3-1-34 Hiragishi Toyohira-ku Sapporo Hokkaido, 062-8602 JAPAN masaru@ceri.go.jp

ABE H., ISHIMOTO K., KUROKAWA K. (1994).

HARADA Y., MATSUSHITA H., MATSUZAWA M. (2014).

Supporting Structures in Japan, ISSW 2014: 1014-1020.

Snow Protection Engineering Handbook: pp.47-178.

References / Literatur:

KUROKAWA K., MEIKE T. (1992).

vention Facilities (No.1): 73. (in Japanese)

SNOW RESEARCH CENTER (1993).

Fences: 28 pp. (in Japanese)

ROAD ENGINEERING & MANAGEMENT REVIEW (1966).

(in Japanese)

tion (In Japanese)

AND STEEL CLUB (1989).

Wataru Takahashi, Yusuke Harada, Masaru Matsuzawa

Snow Pressure and Load Distribution Acting on the Snow Bridges in Hokkaido. Proceedings of Cold Region Technology Conference 10: 123-126.

Changes in Design Standards and Regional Characteristics of Avalanche

Measurements of the Snow Pressure Acting on Hanging Fences for Snow Bridges, 35th (FY1991) Hokkaido Development Technical Research Exhibi-

PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE MINISTRY OF CONSTRUCTION

Joint Research Report on the Design and Establishment of Avalanche Pre-

Design Manual of Avalanche Defense Structures (No.1) -Avalanche Control in the Birthplace – (Translation and Commentary of the Switzerland National Construction Specifications) 301: 63-73 (in Japanese)

Design and Establishment Guidelines of Snow Bridges and Hanging

JAPAN CONSTRUCTION MECHANIZATION ASSOCIATION (1968).

Mehr als Seilbahnen



Sicherheit in jeder Situation



Lawinenauslösesysteme der Inauen-Schätti AG

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

bestimmt werden? Eine systematische Abschätzung ihrer Unsicherheit

MARK SCHAER, KATHARINA FISCHER, STEFAN MARGRETH

Wie zuverlässig können Lawineneinwirkungen bestimmt werden? Eine systematische Abschätzung ihrer Unsicherheit.

How reliable are design avalanche loads? A systematic approach to estimate their uncertainty.

Zusammenfassung:

Die Beurteilung von Lawineneinwirkungen hängt zum Teil von fundierten Fakten wie z.B. beobachteten Lawinen oder der Hangneigung ab, aber der Lawinenexperte muss in der Regel auch viele Entscheide rein aufgrund seiner persönlichen Erfahrung fällen. Dies gilt insbesondere für Lawinenzüge mit komplexen Anrissgebieten und für die Beurteilung von Lawinen mit langer Wiederkehrdauer, bei denen wenig empirische Daten vorliegen. Ein Ingenieur benötigt jedoch präzise Angaben zu den Einwirkungen, z.B. für die Bemessung einer Lawinengalerie. Wir präsentieren eine Studie, in der wir eine Lawinenschutzgalerie unterhalb eines gut dokumentierten Lawinenzugs in Davos analysiert haben. Um die Unsicherheit der Lawineneinwirkungen auf die Galerie abzuschätzen, haben wir die wichtigsten Eingabeparameter variiert, um numerische Lawinensimulationen systematisch durchzuführen. Drei Experten haben die Wahrscheinlichkeit für jeden Parameterwert abgeschätzt. Mehrere tausend lawinendynamische Simulationen mit der Software RAMMS wurden durchgeführt, um alle möglichen Parameterkombinationen abzudecken und die Lawineneinwirkung auf die Galerie wurde für jede Simulation berechnet. Aus den geschätzte Wahrscheinlichkeiten für die Eingabeparameter haben wir die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Lawineneinwirkung und die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der rechnerischen Tragfähigkeit der Lawinengalerie ermittelt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind: (a) Obwohl die beteiligten Experten alle über eine langjährige Erfahrung und einen ähnlichen beruflichen Hintergrund verfügen, resultieren ihre Schätzungen für die 300-jährliche Wiederkehrdauer in einer Variation der maßgebenden Lawineneinwirkung um einen Faktor von 2,8. (b) Für die Lawinengalerie resultiert eine rechnerische Versagenswahrscheinlichkeit in der Größenordnung von 1E-3 pro Winter. Diese Zahl ist mit der geringen Zahl der dokumentierten Schadenfälle vereinbar, liegt aber unter den Anforderungen der Eurocode-Normen, die je nach Konsequenzklasse eine jährliche Versagenswahrscheinlichkeit deutlich unter 1E-3 fordern.

Stichwörter: Lawineneinwirkungen, Lawinenschutzgalerie, probabilistischer Ansatz, Tragwerkbemessung, Versagenswahrscheinlichkeit

Abstract:

The assessment of avalanche loads depends partly on well-founded facts such as observed avalanches, but the avalanche expert generally also has to make many assumptions that are difficult to base on objective evidence. This is particularly true for avalanche tracks with complex release zones and for the assessment of avalanches with a long return period, where little empirical data is available. However, an engineer requires precise load values for example for the design of a snow shed. We present a study where we analyzed a well-documented avalanche track in Davos that has a snow shed at the bottom. To estimate the uncertainty of the avalanche loads on the snow shed, we varied the decisive input parameters to perform numerical avalanche simulations systematically and asked three experts to estimate the probability of each parameter value. Several thousand avalanche-dynamic simulations with the software RAMMS were performed to cover all possible parameter combinations and the avalanche load on the snow shed was computed for each run. Using the probabilities that were estimated for the input parameters, we calculated the probability distribution for the avalanche load and the probability for the load exceeding the bearing capacity of the structural system of the snow shed. The main conclusions are: (a) Although the involved experts have all a long experience and a similar professional background, their estimations varied by a factor of 2.8 for the maximum load related to a 300-year return period. (b) For the snow shed, we got a failure probability in the order of 1E-3 per winter. This number is compatible with the low number of documented snow shed collapses, but below the requirements of European building codes which require an annual failure probability of 1E-5 or lower, depending on the consequence class.

Keywords: Avalanche load, snow shed, probabilistic approach, design of load-bearing structures, failure probability

Einleitung

Für die Bemessung lawinengefährdeter Bauwerke sehen die in der Schweiz angewendeten Richtlinien (z. B. Margreth et al., 2015; ASTRA, 2007) vor, dass Lawinen mit zwei Wiederkehrdauern (meist 30 Jahre und 300 Jahre) bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Diese Lawineneinwirkungen entsprechen beim Tragfähigkeitsnachweis gemäß SIA 260 (2013) resp. EN 1990 (2013) einer veränderlichen und einer außergewöhnlichen Einwirkung.

Die Richtlinien beschreiben die Fälle,

die bei der Bemessung zu berücksichtigen sind, geben aber nicht an, wie die Lawinenszenarien festzulegen sind. Das Handbuch "Berechnung von Fließlawinen" (Salm et al., 1990) enthält Regeln, wie zum Beispiel die Anrisshöhe in Abhängigkeit der Wiederkehrdauer bestimmt werden kann. Abgesehen von Anpassungen als Folge neuer numerischer Modelle hat sich seit 1990 an den Verfahren zur Definition von Lawinenszenarien wenig geändert. Der problematischste Punkt bei Lawinensimulationen ist die Tatsache, dass der Experte viele Eingabeparameter wie z.B. die Anrissfläche subjektiv bestimmen muss, da es schwierig ist, reproduzierbarer Regeln hierfür festzulegen. Abgesehen von dieser Unsicherheit ergeben lawinendynamische Berechnungen in vielen Lawinenzügen nur plausible Ergebnisse, falls Eingabeparameter gewählt werden, die weit von den Empfehlungen für den Normalfall abweichen.

Jeder Experte wird sich der Unsicherheit und Zufälligkeit seiner Simulationen sehr wohl bewusst sein. Da es nicht realistisch ist, Simulationen durchzuführen, die den gesamten Bereich der möglichen Eingabeparameter abdecken, konzentriert sich der Experte für die analysierte Wiederkehrdauer auf ein einziges "wahrscheinliches" Szenario. In unserer Analyse versuchen wir, die Unsicherheit bei der Bestimmung von Lawineneinwirkungen zu quantifizieren, indem wir die relevanten Eingabeparameter systematisch variieren.

Untersuchungsgebiet, Methode und Daten

Das Einzugsgebiet des Lawinenzugs ,Salezer' in Davos (CH) beträgt rund 600'000 m². Es reicht von 1558 bis auf 2536 m Meereshöhe (siehe Abbildung 1). Oberhalb von 1700 m ist etwa 60 % des Gebietes steiler als 30° und somit potentielles Anrissgebiet. Das Gelände ist inhomogen. Geländestufen mit einer Neigung von deutlich mehr als



Abb. 1: Übersicht des Lawineneinzugs Salezer mit der Straßengalerie (rote Linie). Wir haben fünf potenzielle Lawinenanrissgebiete (blaue Polygone) identifiziert und gehen davon aus, dass Lawinen in einem kleinen (dunkelblauen), mittleren (blauen) oder großen (hellblauen) Teil dieser Gebiete anreißen können.

Fig. 1: Map of the Salezer avalanche track, with the snow shed protecting the road (red line). We have identified five potential avalanche release zones (blue polygons) and assume that avalanches can start from a small (dark blue), mid-size (blue) or large (light blue) part of these release zones.

30° wechseln sich ab mit Abschnitten, die flacher als 20° sind, und Bereichen in denen sich die Neigung kleinräumig zwischen steilen und flachen Bereichen ändert. Die Abgrenzung von Lawinenanrissgebieten ist im Falles dieses Lawinenzuges daher nicht einfach.

Die meisten Lawinen aus dem Einzugsgebiet Salezer werden in der V-förmigen Bachrinne des Salezertobels kanalisiert. Bei 1700 m mündet die Bachrinne in einen 15° geneigten Schwemmkegel. Die Hauptzufahrtsstraße nach Davos kreuzt diesen Schwemmkegel auf 1510 m Meereshöhe. Sie wird durch eine 400 m lange Lawinengalerie geschützt. Wir haben die Fließund die Ablagerungshöhe am Standort der Lawinengalerie verwendet, um die Unsicherheit der Lawineneinwirkungen zu quantifizieren.

Die wichtigsten Eingabeparameter haben wir von drei Lawinenexperten festlegen lassen (siehe Abbildung 2). Diese Experten sind seit mehreren Jahrzehnten als Berater am SLF tätig. Sie führen regelmäßig Lawinengefahrenbeurteilungen durch und können als sehr erfahren betrachtet werden.



Abb. 2: Workflow für die Lawinensimulationen und die stochastische Analyse. Wir haben die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Lawineneinwirkungen für vier in ASTRA (2007) definierte Fälle berechnet: (1) Lawinenabfluss über schneefreiem Galeriedach, (2) Lawinenabfluss über eine Schneedecke im Winter, (3) Lawinenabfluss über alte Lawinenablagerungen und (4) statische Belastung der Lawinenablagerungen. Kombinationen von mehreren Lawinen (Eingabeparameter C) sind nur für die Fälle 3 und 4 relevant.

Fig. 2: Workflow for the avalanche dynamic simulations and stochastic analysis. We calculated load-probability distributions for four load cases defined in ASTRA (2007): (1) avalanche flow over bare ground, (2) avalanche flow over a winter snow cover, (3) avalanche flow over old avalanche depositions and (4) static load of the avalanche depositions. The combination of several avalanches (input parameter C) is only used for load cases 3 and 4.

	jährlio	che Überschreitu	Ingswahrscheinli	chkeit
Wiederkehrdauer T	e _{t1}	e _{t2}	e _{t3}	
gemäß Vorgabe	0.1	0.033	0.0033	
	absol	ute Überschreitu	Ingswahrscheinlic	hkeit
Anrissszenario R	e _{r1}	e _{r2}	e _{r3}	e _{r4}
Schätzung Experte 1	0.65	0.5	0.25	0.1
Schätzung Experte 2	0.7	0.5	0.2	0.1
Schätzung Experte 3	0.4	0.3	0.2	0.1
Ausganswert der Anrisshöhe H	e _{h1}	e _{h2}		
Schätzung Experte 1	0.6	0.5		
Schätzung Experte 2	0.5	0.4		
Schätzung Experte 3	0.3	0.1		
Triebschneeeintrag W	e_{w1}	e_{w2}		
Schätzung Experte 1	0.7	0.4		
Schätzung Experte 2	0.7	0.3		
Schätzung Experte 3	0.8	0.2		
		Wahrscheinlich	nkeit pro Klasse	
Reibung in der Sturzbahn F	p _{f1}	P _{f2}	p _{f3}	p_{f4}
für alle Experten	0.16	0.28	0.28	0.28
Reibung im Auslaufgebiet S	p _{s1}	<i>P</i> _{<i>s</i>2}	p _{s3}	
für alle Experten	0.34	0.33	0.33	

Kombinationsszenarien C	e _{c1}	 	е _{с15}
Schätzung Experte 1	0.05	 	0.0020
Schätzung Experte 2	0.05	 	0.0022
Schätzung Experte 3	0.07	 	0.0028

Tab. 1: Geschätzte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingabeparameter

Tab. 1: Estimated probability distribution of the input parameters.

die Parameterwerte s1, s2 und s3 und deren Wahrscheinlichkeitsverteilung mit p_{s1} bis p_{s3} modelliert.

Kombination mehrerer Lawinen C

In den Fällen 3 und 4 der Richtlinie "Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien (ASTRA, 2007), bei denen eine Lawinenablagerung auf der

Die Lawinendynamiksimulationen wurden mit RAMMS (Christen et al., 2010) durchgeführt. Wir haben die RAMMS Version 1.6 verwendet, die es ermöglicht, Batch-Berechnungen durchzuführen und das Anreißen von Sekundärlawinen zu berechnen.

Das verwendete Rechengitter von 5 m basiert auf dem Geländemodell swissALTI3D. Die Input-Files für die Batch-RAMMS-Berechnungen wurden mit einem Bash-Shellskript erstellt. Für die Nachbearbeitung und die statistische Analyse haben wir ArcGIS, Python und Bash-Shellskripte verwendet.

Es wurden Simulationen für Wiederkehrdauern T von t1 = 10, t2 = 30 und t3 = 300 Jahren durchgeführt. Die jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Lawinen der jeweiligen Wiederkehrdauern betragen e_{t1} , e_{t2} und e_{t3} .

Wir haben die wichtigsten Eingabeparameter (siehe Abbildung 2 und die folgende Liste) variiert, um den Parameterbereich abzudecken, den ein Experte wählen könnte. Da keine Informationen zu gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Eingabeparametern vorlagen, wurde angenommen die Parameter seien nicht korreliert.

Anrissgebiet R

Die Wahl der Lage und Größe des Anrissgebiets ist wahrscheinlich die wichtigste Entscheidung in einer Lawinensimulation. Jeder Experte wählte rechnerische Anrissgebiete für vier Fälle: für einen eher optimistischen (r1), einen realistischen (r2), einen eher pessimistischen (r3) und einen sehr vorsichtigen (r4) Fall. Für jeden Fall und jede Wiederkehrdauer definierten die Experten, in welchen Gebieten sie den Anriss einer primären oder einer sekundären Lawine annehmen.

Weiter schätzte jeder Experte für jeden Fall die Wahrscheinlichkeit, dass ein Anrissgebiet größer ist, als er angenommen hatte (die Überschreitungswahrscheinlichkeiten e_{r1} bis e_{r4} , siehe Tabelle 1).

Anrisshöhe H

Wir haben Simulationen für zwei Fälle durchgeführt: h1 ist die Anrisshöhe nach den Schweizer Richtlinien (Salm et al. 1990), h2 ist ein etwas konservativerer Wert. Für h2 ist die Anrisshöhe im Durchschnitt 10 % größer als nach Salm et al. (1990). Beachte: Für beide Fälle, h1 und h2, variiert die gewählte Anrisshöhe in Abhängigkeit von der Wiederkehrdauer, der Meereshöhe und der Geländeneigung des Anrissgebiets.

Jeder Experte schätzte die Überschreitungswahrscheinlichkeiten e_{h_1} und e_{h_2} von der Anrisshöhe H.

Windeinfluss W

In exponiertem Gelände können Triebschneeablagerungen das Anrissvolumen erhöhen. Die Simulationen wurden ohne Windeinfluss (w1) und mit Windeinfluss (w2) durchgeführt. Der durchschnittliche Anstieg des Lawinenvolumens durch Wind betrug 30 %.

Auch für den Windeinfluss W wurden die Überschreitungswahrscheinlichkeiten e_{w1} und e_{w^2} von jedem Experten geschätzt.

Reibung in der Sturzbahn F

Die Reibungsparameter hängen vom Charakter der Sturzbahn und dem Lawinenvolumen, sowie von der Schneeart ab. Die größten Lawineneinwirkungen auf die Galerie treten nicht zwingend bei kleiner Reibung auf. Wir modellieren die Variabilität der Reibung F um vier Werte, f_1 bis f_4 und schätzen ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung p_{f1} bis p_{f4} .

Reibung im Auslaufgebiet S

Nasse oder feuchte Schneeverhältnisse im Auslauf können zu einem plötzlichen Anhalten der Lawine und hohen Lawinenablagerungen auf der Galerie führen. Die Möglichkeit solcher Nassschneebedingungen im Auslauf wird durch Analyse der Fälle 1 und 2 gemäß ASTRA (2007):

Beim Fall 1 fließt eine Lawine auf dem schnee-

freien Galeriedach und beim Fall 2 auf dem

schneebedeckten Galeriedach. Für jeden Lawi-

nenkennwert (Fließhöhe, Geschwindigkeit, Abla-

gerungshöhe) wurde eine multivariate Interpola-

tion für alle R, H, W-Werte unter Berücksichtigung

der Überschreitungswahrscheinlichkeiten e_{μ} , e_{μ}

und e_{W} durchgeführt, um die Wahrscheinlich-

keitsverteilung der Lawineneinwirkungen für jede

von 12 möglichen Kombinationen von F und

S-Werten zu bestimmen. Dann wurden diese 12

Verteilungen mit ihren jeweiligen Wahrschein-

lichkeiten $(p_r \times p_c)$ gewichtet, um die Verteilung

für jeden Experten und jede Wiederkehrdauer

zu erhalten (farbige Linien in Abbildung 3). Die

Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die 30- und

300-jährlichen Wiederkehrdauern wurden dann

verwendet, um die Gesamtwahrscheinlichkeits-

verteilung der Fließhöhe abzuschätzen (d.h. die

Stochastische Analyse

Galerie besteht, kann beim Lawinenzug Salezer auch die Situation von mehreren großen Lawinen innerhalb eines Winters relevant sein. Um die Wahrscheinlichkeitsverteilung solcher Mehrfachabgänge abzuschätzen, haben wir ein Set von fünfzehn möglichen Kombinationen definiert. Zur Veranschaulichung: Eine Kombination ist "drei Lawinen mit einer Wiederkehrdauer von 10 Jahren im gleichen Winter und eine andere Kombination ist "zwei Lawinen mit einer Wiederkehrdauer von 30 und 10 Jahren in einem Winter".

Jeder Experte schätzte dann die Wiederkehrdauer (oder Überschreitungswahrscheinlichkeit e_c) für jede dieser Kombinationen.

Nach der Definition aller Eingabeparameter führten wir RAMMS-Simulationen durch, um die Kennwerte für die Geschwindigkeit, die Fließhöhe und die Ablagerungshöhe auf dem Galeriedach für alle möglichen Parameterkombinationen zu bestimmen. Aus diesen Werten wurden die Einwirkungen für alle in ASTRA (2007) definierten Fälle berechnet.



Abb. 3: Fließhöhe auf dem Galeriedach in der Achse des Lawinenzugs Salezer für eine Wiederkehrdauer von 300 Jahren. Die Verteilung der Fließhöhen gemäß den Experten 1, 2 und 3 ist blau, rot und grün dargestellt. Der Durchschnitt der drei Verteilungen ist schwarz. Die horizontale Achse ist die Fließhöhe in Metern und die vertikale Achse zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Überschreiten dieser Fließhöhe. Die Punkte zeigen den ,best estimate' für jeden Experten und die gestrichelte Linie ist die durchschnittliche Fließhöhe.

Fig. 3: Avalanche flow height in a central part of the Salezer snow shed for a 300 year return period. The distribution of the flow height according to expert 1, 2 and 3 is drawn in blue, red and green respectively. The average of the three distributions is in black. The horizontal axis is the flow height in meters and the vertical axis is the probability that an avalanche does not exceed this flow height. The dots show the best estimate for each expert and the dotted line is the average flow height. Extremwertverteilung der jährlichen Maxima, aus der sich die Einwirkungen in Funktion der Wiederkehrdauer ablesen lassen, wie in Figur 5 dargestellt).

Analyse der Fälle 3 und 4 gemäß ASTRA (2007): Beim Fall 3 fließt die Lawine über abgelagerten Lawinenschnee und beim Fall 4 besteht eine ruhende Lawinenablagerung. Das Analyseverfahren war im Wesentlichen das gleiche wie bei den Fällen 1 und 2. Der Hauptunterschied bestand darin, dass die Lastverteilungen für Kombinationsszenarien mit jährlicher Überschreitungswahrscheinlichkeit e_C (gemäß den von den Experten geschätzten Wiederkehrdauern für jede Kombination mehrerer Lawinen) und nicht für die klassischen Szenarien mit festen Wiederkehrdauern von 10, 30 und 300 Jahren berechnet wurden. Die Abbildung 4 zeigt als Beispiel die berechnete Lastverteilung für Experte 1 und Fall 4.



Abschätzung der Versagenswahrscheinlichkeit

An dieser Stelle sei betont, dass das Ziel unserer Studie nicht darin bestand, die Versagenswahrscheinlichkeit für eine bestimmte Lawinengalerie zu ermitteln. Ein solcher Wert hätte für andere Standorte wenig Bedeutung. Daher konzentrieren wir uns darauf, die allgemeine Abhängigkeit der Versagenswahrscheinlichkeit von der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Lawineneinwirkungen aufzuzeigen und Schätzfehler für die Bemessungslast zu ermitteln. *Hinweis: Da wir die effektive Tragfähigkeit der Lawinengalerie Salezer und die bei der Planung angenommenen Bemessungslasten nicht analysiert haben, ist die Versagenswahrscheinlichkeit ein theoretischer und kein für diese Lawinengalerie wirklich gültiger Wert.*

Da es sich bei den Bedingungen, die die Größe einer Lawine definieren (bzw. den Eingabe-

Abb. 4:

Ablagerungshöhe auf dem Galeriedach durch mehrere Lawinen (Fall 4). Die Schneehöhenverteilung für fünfzehn Kombinationsszenarien ist für den Experten 1 dargestellt. Die horizontale Achse ist die Ablagerungshöhe in Metern und die vertikale Achse ist wie in Abbildung 3 als Verteilungsfunktion definiert. Die Linienfarben zeigen die vom Experten geschätzte Wiederkehrdauer (Jahre) für jede Kombination an. Beachten Sie, dass eine größere Wiederkehrdauer nicht immer zu höheren Ablagerungen auf dem Galeriedach führt; der hauptsächliche Ablagerungsbereich von großen und schnellen Lawinen liegt erst unterhalb der Galerie.

Fig. 4: Deposition height on the shed by multiple avalanches (load case 4). The height distribution for fifteen combination scenarios is shown for expert 1. The horizontal axis is the total deposition height in meters and the vertical axis is defined as cumulative distribution function, as in Figure 3. The line colors indicate the return period (years) that has been estimated by the expert for each combination. Note that an increasing return period does not always result in increasing heights. parametern für die numerische Simulation einer Lawine), um Zufallsvariablen handelt, haben auch Lawineneinwirkungen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Allerdings berechnen Lawinenexperten in der Regel für die Lawineneinwirkungen keine Wahrscheinlichkeitsverteilungen und geben stattdessen nur einen einzige "repräsentativen" Wert an.

Es ist offensichtlich, dass eine breitere Wahrscheinlichkeitsverteilung (d.h. mehr Ereignisse, die größer als die "repräsentative" Einwirkung sind) bei gleicher repräsentativer Einwirkung zu einer höheren Versagenswahrscheinlichkeit führt.

Es ist auch evident, dass eine Lawinengalerie eine höhere Versagenswahrscheinlichkeit hat, wenn sie nach den Angaben eines optimistischen Experten (der die repräsentativen Einwirkungen unterschätzt hat) bemessen wurde als bei einem pessimistischen Experten.

Die Versagenswahrscheinlichkeit wurde mit Hilfe von Methoden der strukturellen Zuver-



lässigkeitsberechnung ermittelt. Neben den Einwirkungen wurde hierfür auch der Tragwerkswiderstand als Zufallsvariable modelliert, wofür probabilistische Modelle gemäß JCSS (2001) verwendet wurden. Ein Versagen tritt ein, wenn der zufällige Widerstand geringer ist als die zufällige Einwirkung.

Als Modellannahme postulieren wir, dass der Durchschnitt der drei Verteilungen (die schwarze Linie in Abbildung 3) der durch die Experten ermittelten Lawineneinwirkung die "wahre " Lawineneinwirkung sei. Wir nehmen ferner an, dass die Galerie mit einem Sicherheitsfaktor von 1,0 für den 300-Jahres-Wert dieser "wahren" Einwirkung (die durch den schwarzen Punkt in Abbildung 5 angegebene Einwirkung) ausgelegt wurde. Um klarzustellen, dass diese "Wahrheit" eine Modellannahme und nicht die Realität ist, werden wir immer "wahr" in Apostrophen schreiben. Anhand der Gesamtwahrscheinlichkeit für die Lastverteilung (die schwarze Linie in Abbildung 5, aufgrund unserer Modellan-

Abb. 5:

Extremwertverteilung für die jährlichen Maxima der Fließhöhe (Fall 1 Lawine auf schneefreiem Galeriedach in ASTRA (2007)). Die horizontale Achse ist die Fließhöhe in m. Die vertikale Achse ist die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit dieses Werts. Wie in Abbildung 3 entsprechen die Farben verschiedenen Experten. Die Werte für die 30-jährliche und die 300-jähliche Wiederkehrdauer sind mit einem Kreuz bzw. einem Stern gekennzeichnet

Fig. 5:

Extreme value distribution for the annual maximum of the flow height (load case 1 in ASTRA (2007)). The horizontal axis is the flow height in m. The vertical axis is the corresponding annual exceedance probability. As in Figure 3 the colors indicate the different experts. The values for the 30-year and the 300-year return periods are marked with a cross respectively a star.

nahme ist dieser Wert auch "wahr") konnten wir dann die Versagenswahrscheinlichkeit schätzen. Die schwarzen Kreise in Abbildung 6 zeigen diese Wahrscheinlichkeit für den Versagensmechanismus von Betonstahl.

Das blaue, rote und grüne Kreuz zeigen die Versagenswahrscheinlichkeit für eine Lawinengalerie, welche nach den von den Experten 1, 2 bzw. 3 angegebenen Lasten und nicht auf die "wahren" Lasten (schwarzer Punkt) bemessen wurde. Im Vergleich zur "Wahrheit" war z.B. die Schätzung durch Experte 3 eher optimistisch, weshalb die Bemessung auf diesen Wert für die Zuverlässigkeit der Galerie eher ungünstig ist.



Abb. 6: Versagenswahrscheinlichkeit des Betonstahls für den Fall 1 (Lawine auf schneefreiem Galeriedach in ASTRA (2007)). Die vertikale Achse zeigt die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit. Jede der vertikalen schwarzen Linien zeigt einen anderen Abschnitt entlang der Galerie an. Die schwarzen Kreise zeigen die Versagenswahrscheinlichkeit für die Bemessung nach der (gemäß Postulat) "wahren" Last und die blauen, roten und grünen Kreuze zeigen die Versagenswahrscheinlichkeit für eine Lawinengalerie, die nach den Experten 1, 2 oder 3 bemessen ist. Für die meisten Abschnitte der Lawinengalerie liegt die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit um 1E-3 und variiert von Experte zu Experte um eine Größenordnung

Fig. 6: Failure probability of the concrete steel for loading case 1 (avalanche on bare ground). The vertical axis shows the annual failure probability. Each of the vertical black lines indicates a different section along the shed. The black circles show the failure probability for design according to the (postulated) 'true' load and the blue, red and green crosses show the failure probability for a snow shed that has been designed according experts 1, 2 or 3 respectively. For most sections of the snow shed, the annual probability of failure is of order 1E-3 and it varies by an order of magnitude from expert to expert.

Diskussion und Schlussfolgerungen

- (1) Ein Vergleich der Ergebnisse der Experten zeigt, dass sehr unterschiedliche Eingabeparameter gewählt wurden und in der Folge auch die berechneten Lawineneinwirkungen stark variieren. Für eine 300-jährliche Wiederkehrdauer und die Mitte der Lawinengalerie variierten die repräsentativen Einwirkungen um den Faktor 2,8.
- (2) Unsere Beurteilung zeigt, dass das Bemessungsverfahren für Lawinengalerien nach ASTRA (2007) keine prinzipiellen Mängel beinhaltet. Die Bemessung auf variable Einwirkungen mit dem 30-jährigen Ereignis und einem Lastbeiwert von 1,5 ist gemäß unserer Untersuchung nicht ausreichend sicher, allerdings wird im Allgemeinen die Bemessung für außergewöhnliche Lawineneinwirkungen mit dem 300-jährigen Ereignis maßgebend (daher haben wir die Bemessung auf variable Lawineneinwirkungen hier nicht dargestellt).

Wir bewerten eine typische Versagenswahrscheinlichkeit von 1E-3 für den Fall von Lawinengalerien als knapp zufriedenstellend. Bei Galerien ist die Variabilität und Unsicherheit der Einwirkungen groß, die Kosten der Tragkonstruktion sind hoch und die Folgen eines Versagens sind eher gering.

Im Vergleich zur empirischen Versagenswahrscheinlichkeit (uns ist kein Versagen einer nach ASTRA (2007) bemessen Galerie durch Lawineneinwirkungen bekannt) gehen wir auch davon aus, dass unsere Schätzungen eher pessimistisch sind. Dies ist durch so genannte "versteckte Sicherheiten" wie z.B. konservative Annahmen im Rahmen der Bemessung zu erklären, die in unseren Modellen nicht vorhanden sind.

- (3) Problematischer ist eine rechnerische Versagenswahrscheinlichkeit von 1E-3, wenn eine vorhandene Lawinengalerie nach dem risikobasierten Verfahren gemäß SIA 269
 (2011) untersucht wird. In unserem Fall wird die Versagenswahrscheinlichkeit für den optimistischen Experten deutlich über den zulässigen Werten liegen (welche je nach Kosten und Konsequenzklasse deutlich unter 1E-3 liegen können).
- (4) Aufzeichnungen über vergangene Lawinenaktivitäten würden eine Plausibilitätsprüfung der Eingabeparameter und berechneten Lawineneinwirkungen ermöglichen und zu einer besseren Abschätzung der repräsentativen Belastung führen. In der Praxis ist die Qualität der dokumentierten Lawinen jedoch für eine eingehende Analyse im Allgemeinen unzureichend. Obwohl sich der Salezer Lawinenzug aufgrund seiner Nähe zum SLF und seiner jahrzehntelangen intensiven Überwachung und Analyse gut für die Analyse eignet, liegen nur wenige auswertbare Daten von beobachteten Anrissgebieten, Anrisshöhen oder der Ablagerungshöhen vor.

Ausblick

Unsere Analyse erlaubt es nicht, eine Empfehlung abzugeben, wie vorzugehen ist, wenn der Sicherheitsnachweis nach SIA 269 (2011) für eine bestehende Lawinengalerie fehlschlägt.

In der Schweiz ist ein Planer verpflichtet, das Nutzen-Kosten-Verhältnis von baulichen Lawinenschutzmaßnahmen zu bewerten, wie in BAFU (2015) und Wilhelm (1999) geregelt. Es können nur Maßnahmen realisiert werden, die gemäß diesen Vorschriften wirtschaftlich sind (siehe Bründl et al., 2009). Unserer Meinung nach könnte auch eine Nutzen-Kosten-Analyse zur Bewertung der Instandhaltungskosten bestehender Maßnahmen durchgeführt werden.

Derzeit arbeiten wir an weiteren Fallstudien, um besser fundierte Empfehlungen für einen solchen Fall erarbeiten zu können.

Danksagung

Die Autoren danken dem Forschungsbereich des Bundesamtes für Straßen ASTRA für die Finanzierung und Begleitung des Projektes.

Weiter danken wir der Forschungsgruppe RAMMS am SLF für die Unterstützung bei der Durchführung der Lawinensimulationen.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Mark Schaer WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF 7260 Davos Dorf, Schweiz schaer@slf.ch

Katharina Fischer Matrisk GmbH 8910 Affoltern am Albis, Schweiz fischer@matrisk.com

Stefan Margreth WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF 7260 Davos Dorf, Schweiz margreth@slf.ch

Literatur / References:

ASTRA (2007). Richtlinie Einwirkungen auf Lawinenschutzgalerien. Bundesamt für Strassen ASTRA + SBB AG Infrastruktur.

BAFU (2015). EconoMe 4.0 Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

BRÜNDL, M., ROMANG, H. E., BISCHOF, N., and RHEINBERGER, C. M. (2009).

The risk concept and its application in natural hazard risk management in switzerland. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(3):801–813.

CHRISTEN, M., KOWALSKI, J., and BARTELT, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Regions Science and Technology, 63(1):1–14.

EN 1990 (2001). Eurocode 0: Basis of structural design. European Committee for Standardization.

JCSS (2001). Probabilistic Model Code. Joint Committee on Structural Safety JCSS.

MARGRETH, S., STOFFEL, L., und SCHAER, M. (2015). Berücksichtigung der Lawinen und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen. WSL Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, WSL Berichte, Heft 28.

SALM, B., BURKARD, A., und GUBLER, H. (1990). Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker; mit Beispielen. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Mitteilung Nr. 47.

SIA 260 (2013). SIA-Norm 260:2013: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA.

SIA 269 (2011). SIA-Norm 269:2011: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.

WILHELM, C. (1999). Praxishilfe Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen: Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

ARNI JONSSON, ØRJAN NERLAND, EINAR JOHN LANDE, STIAN BUE KANSTAD, ØYVIND SKEIE HELLUM

Technischer Lawinenschutz in Spitzbergen – besondere Herausforderungen

The Challenges of Mitigation Measures in Longyearbyen Svalbard

Abstract:

The Arctic regions are facing changes in climate; warmer weather and more intense precipitations are thought to be the consequences. Longyearbyen in Svalbard is one of those places where warmer weather has been influencing the daily life of inhabitants. It is unclear if climate change was the primary contributor to the dry snow avalanche in December 2015 which caused two fatalities, and in February 2017 with no fatalities in Longyearbyen. Structural damages were significant. The avalanche in 2015 was released from a small mountain side with about 80 m vertical drop, and damaged or destroyed 11 buildings. The avalanche in February 2017 came from Sukkertoppen mountain and hit and destroyed two buildings. The initial plan for mitigation measures was protection of the remaining buildings below Lia, as well as for the reclaim of the "lost" area. A snow drift fence was planned above the Lia and supporting structures in the starting zone. Permafrost and active layer have been a challenge for the design and construction of the mitigation measures. Frost heave, creeping of the active layer and bad rock quality has resulted in quite robust subsurface structures.

Keywords: Svalbard, Longyearbyen, Sukkertoppen, Mitigation measures

Zusammenfassung:

Die arktische Region wie Spitzbergen ist vom Klimawandel besonders stark betroffen. Wärmeres Wetter und höhere Niederschläge werden dort in Zukunft erwartet. Ob die Lawinenereignisse aus den Jahren 2015 und 2017 mit dieser Entwicklung zusammenhängen ist aber nicht klar. Im Dezember 2015 löste sich eine Lawine von einem 80 m hohen Berg oberhalb einer Siedlung und zerstörte 11 Häuser, zwei Personen kamen dabei ums Leben. Im Feburar 2017 brach eine weitere Lawine vom Sukkertoppen Mountain ab und zerstörte zwei Gebäude, Opfer waren keine zu beklagen. Die beiden Ereignisse führten zu intensiven Überlegungen über technische Schutzmaßnahmen. Sowohl die lokale als auch die nationale Regierung von Norwegen waren bestrebt, Schutzbauten zu finanzieren. Arktische Rahmenbedingungen wie zunehmend auftauende Permafrostböden sorgen allerdings für besondere Herausforderungen bei der Planung von technischen Maßnahmen. Im Bereich des ersten Lawinenabganges wurden mittlerweile Schneezäune und eine Stützverbauung errichtet, wobei die Fundierungen in Permaforstböden besondere Beachtung findet. Die getroffenen Maßnahmen werden in dem Beitrag beschrieben.

Stichwörter: Svalbard, Longyearbyen, Sukkertoppen, Schutzmaßnahmen

Introduction

The avalanche danger in Longyearbyen (Figure 1) has been known for a long time and has been described by Erik Hestnes and others in several NGI reports such as (Norges Geotekniske Institutt NGI, 2001). There are several reasons why mitigating measures have not been carried out previously, but it will not be detailed here.

Two snow avalanches in Longyearbyen, one in December 2015, which caused two fatalities at the landmark "Spisshus" (pointed-gable houses) area, and one in February 2017 with no fatalities, hit the residence area located just above the center of town. Structural damages were significant, eleven buildings were damaged or destroyed in 2015 avalanche and two buildings in the 2017 avalanche.

The incidence in 2015 was a wake-up call for the local and national authorities to plan for increased safety for the inhabitants living in the run-out zone for snow avalanches, and slush-and debris flows.

In early 2016 the national authorities (Norwegian Water Resources and Energy Directorate, NVE) and local authorities (Longyearbyen lokalstyre, LL) called for tender for hazard mapping of the Longyearbyen area and the vicinity.



Fig. 1: Red rectangle shows the location of Svalbard. *Abb.1: Das rote Rechteck zeigt die Lage von Svalbard*



year 2016 is marked with red dot. Source: (Isaksen and others, 2017).

Abb. 2: Jährliche Durchschnittstemperatur, Svalbard Flughafen. Das Jahr 2016 ist mit einem roten Punkt markiert (Isaksen et.al 2017)

besondere Herausforderungen

Final document with a hazard map was released late in 2016 (Multiconsult AS, 2016). After the February 2017 incident a question was raised if the hazard zoning was reliable as the avalanche passed 1/1000 zone easily. At the same time in fall 2016 a case study on arctic design in Longyearbyen was released (Larsen, 2016). The case study proposed supporting structures in the starting zone in Lia and a snow drift fence above the supporting structures, similar mitigation solutions as NGI had proposed several times earlier.

In early 2017 NVE called for tender for mitigation measures in Lia and referred to the case study as preliminary design of measures. NGI was awarded the contract and this paper summarizes the work which is described further in the project reports (Norges Geotekniske Institutt NGI, 2018a; b).

The Climate

Longyearbyen is in one of the driest areas in Svalbard. The observed annual precipitation in the period from 1961-1990 was just about 300 mm, but in recent years the temperature has been increasing and less sea ice is observed which is thought to increase the moisture and precipitation. The monthly mean temperature on Svalbard has been over the normal from November 2010 to summer 2018. Figure 2 shows the annual mean temperature at Svalbard airport for the last hundred years and Figure 3 shows the Arctic anomaly compared to global anomaly.

It is becoming more common to see the average day temperature to rise over 0° C midwinter with periods of rain instead of snow. Such warm weather spells have caused slush flows down Vannledningsdalen, the last one in 2012. Wind observations indicate slight decrease in the frequency of strong winds over the last 40 years at Svalbard airport. There are large variations in wind between years. Model simulations indicate increased temperature on Svalbard next decades (Isaksen and others, 2017).

Avalanche problems

Sukkertoppen mountain is a known avalanche site in Longyearbyen but in recent years avalanches have not, except for 2015 and 2017, hit the buildings located at the foot of the mountain. Accu-





Abb.4: Windverteilung Svalbard Flughafen vom Nov. bis April in der Periode 1975 – 2016; die Windstärke ist in der Beaufort scala angegeben (Isaksen et. al 2017)

mulation of snow into release areas is primarily from South-East-winds out Adventdalen (valley), as shown in Figure 4.

Ground conditions

Svalbard is in the permafrost belt north of 64° N. During summertime the depth of the active layer is between 1 and 2 m in most places in Longyearbyen, and it is expected to increase in the order



of tens of centimeters in the next decades due to warmer climate (Instanes AS, 2017)

In 1981 three "inclination" channels were installed close to Hilmar Rekstensvei (road) to monitor the creep of the active layer (the solifluction) in sloping terrain between 13° and 25°. The depth was 10 m. In 1995, after fourteen years, measurements showed a creep of 8 to 50 cm of the surface layer and diminishing creep to 3 m depth, where no creep was registered (Norges Geotekniske Institutt NGI, 1983).

Detailed and spatially distributed information on ground properties are essential for construction planning and design. The thickness of the active layer, depth to rock surface, ice content and material quality, are amongst the properties needed for the design of mitigation measures in Longyearbyen.

The area at the drainage canal and snow fence was accessible for a drilling rig but at the supporting structures the terrain was too steep for a drilling rig, and it was considered to be too expensive to use other drilling gear. Eighteen holes were drilled into ground to find the depth of the active layer and depth to rock (Sintef, 2017).

Geophysical investigations comprising of Electrical Resistivity Tomography (ERT) and ground penetrating radar (GPR) were chosen for

> Fig. 5: Resistivity values from the ERT-profile P1-5. Black dots are boundary layer from GPR interpreted as the permafrost table. Source: NGI, 2017.

Abb 5: Widerstandswerte von ERT-Profilen P 1-5. Schwarze Punkte markieren die Permafrostlage (NGI) Fig. 6:
Schem
of mit
Aerial
Polar IIAbb.6:
Schem
der Sc.
Luttbil
Institut

Fig. 6: Schematic figure of location of mitigation measures. Aerial photo: Norwegian Polar Institute.

Abb.6: Schematische Darstellung der Schutzmaßnahmen, Luftbild: Norwegian Polar Institute

the supporting structure area (Norges Geotekniske Institutt NGI, 2017) but also for the other areas in order to compare and calibrate the geophysical results. Figure 5 shows resistivity values from the ERT-profile P1-5, which is the middle row of supporting structures.

The site investigation was carried out in middle to late September 2017 to ensure maximum thickness of the active layer.

Mitigation measures

The plan for mitigation measures was outlined in compendium prepared by Jan Otto Larsen (Larsen, 2016). The plan is more or less coherent with earlier proposals from NGI for the same area i.e. snow fences above the starting zone and supporting structures in the starting zone, Figure 6.



One of the design criteria from NVE was a S2 class i.e. frequency of incident should be less than 1/1000 a year after building of mitigation measures.

During the design phase NVE proposed a drainage canal below Sukkertoppen to collect ground- and surface water and divert it to east past of the residential site.

Snow fences

Drifting snow is one of the main and increasing problems in Longyearbyen in wintertime and expected increase in precipitation due to climate change is considered to further increase the drifting snow problems as well as the frequency of other weather-related processes. The avalanche in December 2015 showed that it was time to consider mitigation to stop the drift into avalanche starting zones above the residential areas in Longyearbyen. The snow accumulation area above Lia is over 1000 m long, open and suitable for snow transport.

A plan for snow fences has been drafted before "somewhere" above the "Spisshus" starting zone. During the NGI work we found out that it was not possible to place the snow fence in "safe" area. Drafted plans for snow fence did either place the fence in snow avalanche prone area or the snow fence could increase the amount of snow in the release area for snow avalanches. In 2016 Multiconsult (Multiconsult AS, 2016) placed most of the snow drifting area in hazard zones 1/100 and 1/1000 due to risk for debris flows. It was possible to move the snow fence from the release area of snow avalanches, but it was not possible to move it out of possible debris flow area.

The terrain inclination at the snow fence (Figure 7) varies from approx. 15° to approx. 25° and it has relatively even surface. During design the client asked for ski lift in the area which resulted in splitting the snow fence into two fences with approx. 20 m wide opening for the lift.

Concerns were raised about the snow fence material and expected lifetime. There were uncertainties related to the ground conditions, i.e. solifluction, depth of active layer, and thickness and properties of soil material above bedrock, plus climate, i.e. weathering and corrosion. The aim was to minimize the maintenance cost, so zinc coated steel material was chosen for the snow fence. The structure was founded on steel tube piles (\emptyset 140×8 mm) which are drilled into competent rock, acting as a cantilever beam to resist load from soil creep in the active soil layer.

To determine the embedded pile length for the snow fences and supporting structures, it was necessary to account for the upward loads (tension forces) from wind and snow acting on the snow fences, and uplift forces from frost heaving acting in the active layer. The thickness of the active layer was increased from 1-2 m (measured today) to 3 m to account for predicted climate change during the service lifetime of the structure. Based on this the design uplift force on a 140 mm pile was calculated to be 330 kN, approx. 10 times the upward loads from wind and snow. Steel rod anchors were drilled and grouted into competent rock, with a minimum depth 2.6 m below the pile tip, to account for the uplift forces. One of the main challenges for the contractor during installation was to determine the transition between frozen soil, low quality bedrock and competent bedrock. Due to the uncertainty associated with this, the pile was embedded minimum 4.5 m into the ground, to ensure a robust design.

The height of the snow fence is approx. 4 m and total length 217 m. Due to environmental issues the construction work had to be done while ground was frozen.

The contractor proposed 5 m wide elements without connecting elements. To compensate for variations in terrain inclination between elements and possible creep and damages it was decided to make opening of approx. 25 cm between elements.

Drainage canal

The purpose of the drainage canal (Figure 8) is to collect and divert ground- and surface water from Sukkertoppen past the habitation area along road 232 in Gruvedalen. It also helps to reduce the solifluction and risk for debris flow released below the drainage canal.

Several criteria that had to be considered while designing the drainage canal on this approx. 400 m long stretch. Limited options are to divert the water through the habitation and therefore it was essential to be able to divert the water from planned supporting structures above Lia to east past the cold-water tank and to existing small stream. A cultural heritage, an old coal cable way, is at the mountainside were the canal was planned and strict rules apply when working near it. The third criteria were aesthetic i.e. how visible the canal and small berm/access road would be from centre of town. The fourth was to ensure "tight" canal i.e. how to prevent ground water in the active layer to seep through and how to consider warmer climate and increasing thickness of the active layer in the future.

To tighten the drainage canal, it was decided to excavate minimum two meters below planned canal bottom and minimum one meter into "future" permafrost layer to place a tight 1.5 mm thick polypropylene FPP membrane covered with fabrics on both sides for protection. The membrane trench will be backfilled with existing material.

The depth of the canal is approx. 1 m from the berm/access road and bottom width is 1 m. The width of the berm is 3 m. All excavated organic material will be reused on berm- and canal side slopes for revegetation.

Supporting structures

Prior to the work on supporting structure there were limited information available on snow height in the starting zone. One measurement with unknown position had been done in Lia decades ago and it indicated snow height of approx. 5 m.

Few minutes before the release of the avalanche in the morning of December 22nd, 2015 photographer Tommy Dahl Markussen was taking pictures of the new snow that poured down during the night. His valuable photos have helped assessing the snow height in the north-western part of the release zone. The observed snow height indicates some 5-6 m snow at northwest but snow height for the south east part is more uncertain, here it is assumed to be 1-2 m. It was estimated that the form of the slope hardly could accumulate more snow than approx. 6 m at the northwest part of the Lia. The estimation of max snow height for the southeast part is uncertain due to little available information, there it is estimated to be approx. 4 m.

The initial plan for supporting structures was three lines of Dk 5 m (perpendicular to terrain surface) but after re-evaluation the first row (the lowest one) was removed and instead decided to build a small catching dam in the run-out zone. During field trip to the site, a 56 m long line was added above previous topline at the southeast. Total length of supporting structures was 468 m.

It is not yet known how much effect the snow fences will have on the snow accumulation in the starting zone above the "Spisshus" but Dk 5 m for the supporting structures is considered to be on the safe side.

There is no experience with supporting structures in permafrost in Norway and therefore Stefan Margreth at the Institute for Snow and Avalanche Research SLF was contacted and asked for advice and pros and cons of different types used in the Alps.

One of the concerns in Longyearbyen was the visual effect of the structures so close to the centre of town and how aging would visually affect the structures for instance if the solifluction would cause damages to parts of the structures. Another visual concern was the corrosion coating.

It was opened for two alternatives in the tender documents, rigid steel bridges and net constructions and both types were to be zinc coated. After evaluation of the tenderer documents the conclusion was to build rigid steel bridges founded on micro-piles at upper and



Drainage canal (to the left) and berm (in the middle) at completion

Abb. 8: Entwässerungsgraben und Berme bei der Fertigstellung



Supporting structures Dk 5 at completion October 2018.

Abb.9: Stützverbauung Dk 5 nach Fertigstellung, Okt 2018

Civ. Eng. Øyvind Skeie Hellum

Longyearbyen Lokalstyre, LL

Næringsbygget NO-9170 Longyearbyen, Norway

Literatur / References:

INSTANES AS (2017) Forventede klimaendringers påvirkning på byggegrunn i Longyearbyenområdet. Delrapport 2 i oppdraget «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig Klimaperspektiv». Rapport nr. IAS2171-1.

ISAKSEN K, FØRLAND EL DOBLER A, BENESTAD R, HAUGEN IE and MEZGHANI A (2017) Klimascenarioer for Longyearbyen-området, Svalbard. Delrapport 1, Statsbygg oppdrag: «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv», 15/2017,

LARSEN JO (2016) Skredsikring og fundamentering i permafrost. Case: Arktiske strøk - Longyearbyen, Svalbard. Kompendium: 2016-12. Almaviva AS, Drammen

MULTICONSULT AS (2016) Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard. .713416-RIGberg-RAP-001. Multiconsult AS, Tromsø

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI (1983) Utvalg for Permafrost. Helningskanaler i H. Rekstens vei, Longyearbyen, Svalbard. Installasjon og resultater av foreløpige målinger. Rapport nr. 52701-6. Norges Geotekniske Institutt, Oslo

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI (2001) Vannledningsdalen-Gruvedalen, Longvearbyen. Skredfarevurdering. 20011167-1. Norges Geotekniske Institutt, Oslo

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI (2017) Detaljprosjektering sikringstiltak - Lia mellom veg 228 og 230. Geofysisk kartlegging av permafrost og dybde til berg ved hjelp av ERT og Georadar. 20170299-03-R. Norges Geotekniske Institutt NGI, Oslo

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI (2018a) Detaljprosjektering av sikringstiltak - Lia mellom veg 230 og 228 Prosjekteringsrapport for snøsamleskjerm og avskjærende grøft/voll. 20170299-01-R. Norges Geotekniske Institutt NGI, Oslo

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI (2018b) Detaljprosjektering av sikringstiltak - Lia mellom veg 230 og 228. Prosjekteringsrapport for støtteforbygninger. 20170299-05-R. Norges Geotekniske Institutt NGI, Oslo

SINTEF (2017) Snøsamleskjerm og dreneringskanal ovenfor spisshusene i Longyearbyen. Feltrapport - Grunnudersøkelser. Trondheim

lower foundation, like the solution used for the snow fence. Total length of the steel tube piles (Ø90x8 mm) was 3 m, presuming at least 0.5 m depth in competent rock. Additional rock anchors (Ø32-Ø35 mm) was drilled and grouted into rock with a depth 4.0 m below the pile tip, to account for the tension forces. The foundation work was completed in mid-August 2018 and the superstructure was completed in October 2018.

Next steps

The work outlined here is only the first step of mitigation work in Longyearbyen. Next step is to protect the residential area under Sukkertoppen and alongside Vannledningsdalen. The planning and design work started late summer 2018 and will continue in 2019.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Civ. Eng. Arni Jonsson

Norwegian Geotechnical Institute, now at HNIT Consulting Haaleitisbraut 58-60, IS-180 Reykjavik, Iceland arni@hnit.is

Civ. Eng. Ørjan Nerland and Civ. Eng. Einar John Lande Norwegian Geotechnical Institute, NGI Sognsveien 72, NO-0806 Oslo, Norway

Civ. Eng. Stian Bue Kanstad Norwegian Water Resources and Energy Directorate, NVE Kongensgate 14-18, NO-8514 Narvik, Norway







software maps geostatistics reporting data

"That's it." Gregor Ortner, CTO UNDATA

UNIDATA GEODESIGN GMBH Görtnergasse 3 Top 6, 1030 Vienna 1+43(1) 96 901 78 office i Quaidate at www.unidata.ot



HARALD RIEDL, ROBERT ZACH

Temporäre Lawinensicherung der Großtallawine in Ischgl – Die Erfolgsgeschichte eines Pilotprojektes

Temporary avalanche protection of the Großtal avalanche in Ischgl – The success story of a pilot project

Zusammenfassung:

Das Projekt der temporären Sicherung der Großtallawine im Gemeindegebiet von Ischgl im Jahr 2012 war eines der ersten seiner Art in Tirol und wurde somit auch von allen beteiligten Institutionen als Pilotprojekt für die vorbeugende Auslösung von Lawinen zur Sicherung von Straßen in Tirol gesehen. Um für nachfolgende Projekte dieser Art ein Unterstützungsinstrument parat zu haben, wurden im Zuge dieses Pilotprojektes auch die Praxisempfehlungen für den Einsatz von temporären Schutzmaßnahmen gegen Lawinen durch das Amt der Tiroler Landesregierung ausgearbeitet. Seit der Einführung dieser Richtlinien stellen diese den primären Leitfaden für temporäre Sicherungsprojekte in Tirol dar, welche durch Lawinen gefährdet sind und mittels automatischen Auslöseanlagen gesichert werden sollen. Neben dem generellen Aufbau der Richtlinien und den enthaltenen Informationen werden in diesem Beitrag aber vor allem die gewonnenen Erfahrungen der letzten 7 Jahre anhand des Projektes Großtallawine dargelegt.

Stichwörter:

temporärer Lawinenschutz, präventive Lawinenauslösung, Lawinendetektion, Richtlinien

Abstract:

The project for the temporary protection of the Großtallawine in the municipality of Ischgl in 2012 was one of the first of its kind in Tyrol and was therefore seen by all participating institutions as a pilot project for the artificial release of avalanches to protect roads in Tyrol. In order to have a guideline ready for subsequent projects of this kind, the practical recommendations for

the use of temporary avalanche protection measures by the Office of the Tyrolean Provincial Government were also developed in the course of this pilot project. Since the introduction of these guidelines, these have been the primary guide for temporary security projects in Tyrol, which are at risk from avalanches and should be secured by automatic tripping systems. In addition to the general structure of the guidelines and the incorporated information, the experience of the last 7 years of the project Großtallawine will be presented in this article.

Keywords:

Temporary avalanche protection, preventive avalanche triggering, avalanche detection, guidelines

Einleitung

Tirol ist, infolge seiner Lage in Mitten der Alpen, eines der am stärksten von alpinen Naturgefahren betroffenen Bundesländer in Österreich. Nur 12 % der Gesamtfläche des Bundeslandes sind als Dauersiedlungsraum geeignet. Neben Hochwassern, Muren, Steinschlag und Rutschungen gefährden vor allem Lawinen den Siedlungsraum sowie die Verkehrsachsen in Tirol. Aufgrund seiner geographischen Lage ist Tirol zum Einen ein Transitland für Personen- und Warenverkehr und zum Anderen eine äußerst beliebte Tourismusregion. Seit den 1950er Jahren wurden im Alpenraum große Summen investiert, um den Siedlungsraum sowie die Hauptverkehrsachsen lawinensicher zu machen. Dennoch kommt es

infolge von starken Schneefällen und/oder einem ungünstigen Schneedeckenaufbau immer noch zu teils tagelangen Sperren von Straßen und Bahnverbindungen sowie zu Lawinenabgängen auf diese Verkehrsinfrastrukturen. Wenn man zum Beispiel das Verkehrsnetz in Tirol mit den Lawinen-Gefahrenzonen verschneidet, kommt man auf über 600 km Straßen und Wege verschiedener Ränge, die in Tirol durch Lawinen gefährdet sind (Tabelle 1). Aufgrund der gesellschaftlichen Entwicklung sowohl der Bevölkerung als auch der Touristen in Verbindung mit der immer stärkeren Abhängigkeit unserer Gesellschaft von einem stetig verfügbaren Personen- und Warenverkehr, sind längere Sperren von Hauptverkehrsachsen, aber auch von einzelnen Talschaften im letzten Jahrzehnt zunehmend zu einem nicht tragbaren Zustand geworden. Da die finanziellen Mittel der

Gefahrenzonen	hochrangige Straßen	sonstige Straßen/Wege
gelb	61 km	204 km
rot	50 km	285 km

Tab. 1: Durch Lawinen gefährdete Straßen und Wege verschiedener Ränge in Tirol. Datenquelle Land Tirol.

Tab. 1: Roads exposed to avalanches in Tyrol; data source Regional Government Tyrol

öffentlichen Hand sowie die objektive Betrachtung von geplanten Sicherungsprojekten mittels Kosten-Nutzenrechnungen den weiteren Ausbau von permanenten Schutzmaßnahmen wie Tunnel, Galerien oder Anbruchverbauungen erschweren, wurde seit dem Jahrtausendwechsel in Tirol auch zunehmend auf die vorbeugende Auslösung von Lawinen zur Sicherung von potentiell lawinengefährdeten Verkehrsachsen zurückgegriffen. Eines der ersten Projekte in Tirol und auch eines der ersten in Österreich, war die Sicherung der beiden Lawinenzüge Großtal und Hoher Zug im Gemeindegebiet von Ischgl.

Um diesem Trend Rechnung zu tragen und auch um den Verantwortlichen in den Tiroler Gemeinden und Bezirksverwaltungsbehörden einen Leitfaden für die Projektierung und Umsetzung solcher Projekte bereitzustellen, wurde seitens der Tiroler Landesregierung parallel die Praxisempfehlung zur Sicherung von Straßen durch die vorbeugende Lawinenauslösung entwickelt (Amt der Tiroler Landesregierung 2013).

Diese Richtlinie ist in Österreich einzigartig und umfasst sämtliche Maßnahmen - von der Vorbereitung der notwendigen Antrags- und Projektunterlagen, über die einzuholenden Genehmigungen für den Bau und Betrieb von Lawinensprenganlagen bis hin zu Mustervorlagen und Checklisten.

Zusätzlich zur Tatsache, dass diese Richtlinien als klar strukturierter Leitfaden für neue Projekte in diesem Bereich dienen, wurde durch die Herausgabe dieser Richtlinien durch das Land Tirol das präventive Auslösen von Lawinen zum Schutz von Verkehrswegen von offizieller Seite als gleichwertige Alternative zu permanenten Schutzmaßnahmen wie Tunnel, Galerien und Stützverbauungen freigegeben.

Tirol ist nicht nur ein von Lawinen stark gefährdetes Bundesland, sondern auch jenes Bundesland in Österreich mit den meisten Lawinenkommissionen. Knapp 250 Lawinenkommissionen mit rund 1.400 Mitgliedern arbeiten Winter für Winter in Tirol, um die Bürger und Touristen vor Lawinen zu schützen. Bis Dato waren die temporären Maßnahmen zur Minderung der Lawinengefahr jedoch auf die Sperre von gefährdeten Bereichen und Straßenabschnitten beschränkt. Mit der präventiven Auslösung von Lawinen und der damit einhergehenden portionsweisen Entladung von Lawinenstrichen, erweiterte sich die Palette der zur Verfügung stehenden und finanziell stemmbaren Werkzeuge für die betroffenen Gemeinden immens.

Basis eines jeden Programms zur temporären Lawinensicherung ist jedoch weiterhin die stetige Beurteilung der aktuellen Lawinensituation durch die örtliche Lawinenkommission. Deshalb wurden neben der stetigen Verbesserung des Schulungsangebotes des Landes Tirols für Lawinenkommissionsmitglieder auch dem Themenbereich der vorbeugenden Lawinenauslösung entsprechend Platz eingeräumt (vergleiche z.B. Amt der Tiroler Landesregierung 2012 und 2017).

Die Richtlinien für den Einsatz temporärer Schutzmaßnahmen gegen Lawinen sind in die Themenbereiche "Rechtliche Grundlagen", "Allgemeine Grundlagen", "Sicherheitskonzept" und "Einsatzkonzept und Entscheidungsschema" gegliedert. Im nachstehenden Abschnitt wird die Umsetzung des Pilotprojektes Großtal in Anlehnung an die Richtlinien des Land Tirol beschrieben und die dabei gewonnen Erkenntnisse aufgezeigt.

Anwendung der Richtlinien am Beispiel Großtal/Hoher Zug

Die Paznauntalstraße B188 ist im Winter die einzige Zufahrtsstraße in das stark touristisch genutzte Paznauntal und führt durch die Ortschaften See, Kappl und Ischgl bis nach Galtür am Ende des Tals. Große Teile der Straße wurden seit den 1950er Jahren durch Anbruchverbauungen, Galerien oder Tunneln permanent gegen Lawinen gesichert. Dennoch musste die Paznauntalstraße im Ortsgebiet von Ischgl während der Wintermonate immer wieder infolge drohender Lawinenabgänge aus den beiden Lawinenstrichen Großtal und Hoher Zug (Abbildung 1) gesperrt werden. Durch diese Sperren waren die taleinwärts gelegenen Ortsteile von Ischgl sowie das gesamte Gemeindegebiet von Galtür komplett von der Außenwelt abgeschnitten. Neben der Landestraße B188 gefährden Lawinen aus diesen beiden Einzugsgebieten zusätzlich eine Gemeindestraße sowie eine Langlaufloipe.

Konzepte, um diesen Straßenabschnitt permanent gegen Lawinen zu sichern gab es schon länger, die Realisierung scheiterte jedoch an den hohen Errichtungs- und Unterhaltskosten dieser Maßnahmen. Um die Sperrzeiten der B188 in diesem Bereich dennoch zu minimieren, kam man, nicht zuletzt durch die positiven Erfahrungen der Silvrettaseilbahn AG mit dem präventiven Auslösen von Lawinen, auf die Idee, die Lawinenzüge Großtal und Hoher Zug mittels ferngesteuerter Lawinenauslösung zu sichern. Nach eingehender Prüfung des Projektes entschied sich die Gemeinde Ischgl zusammen mit der Landesstraßenverwaltung zur Sicherung der beiden Lawinenstriche ein Pilotprojekt in Bezug auf die vorbeugende Lawinenauslösung zum Schutz von Verkehrswegen in Tirol zu starten. Erste positive Erfahrungen mit dieser Art der temporären Lawinensicherung wurden in den Wintern 2009/10 und 2010/11 mittels Hubschraubersprengungen gemacht und somit auch wichtige Erkenntnisse zu den optimalen Sprengpunkten gesammelt. Durch die Abhängigkeit dieser Sprengmethode von Flugwetter und guten Sichtbedingungen schied sie jedoch für eine dauerhafte Lösung aus.

Da die beiden Lawinenstriche Großtal und Hoher Zug außerhalb des raumrelevanten Bereichs liegen (Abbildung 1), gab es für diese beiden Lawinenstriche auch keine Gefahrenzonenpläne der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) worauf man sich im Zuge des Projektes hätte stützen können.



Lawinenstriche Großtal und Hoher Zug (blau) im Gemeindegebiet von Ischgl. Schwarz umrandet ist der raumrelevante Bereich der Gemeinde Ischal eingezeichnet mit den ausgewiesenen Lawinengefahrenzonen (rote und gelbe Bereiche). Quelle: Tiris, 08/2018.

Avalanche release areas Großtal and Hoher Zug in the area of Ischgl. Framed in black is the spatial relevant area of the hazard map with red and vellow hazard zones. (Data source: Tiris 08/2018)

Fig. 1:

inkludiert ist.

Sicherung von 25 ha mit Wyssen Lawinen-Sprengmasten*	ca. € 720.000,-
Sicherung von 25 ha mit Stahlschneebrücken	ca. € 10.000.000,-
Errichtung einer Lawinenschutzgalerie mit 1000 m Länge	ca. € 13.000.000,-
Errichtung eines Tunnels mit 1000 m Länge	ca. € 18.000.000,–

Tab. 2: Vergleich von verschiedenen Sicherungsvarianten im Projekt Großtal. Datenquelle Land Tirol. *zusätzlich zu den Sprengmasten wurde noch ein Wyssen Lawinen-Radar (LARA) installiert, welches in diesen Kosten bereits

Tab. 2: Comparison of different mitigation methods in the Großtal avalanche. Data source Tyrol; * in addition to the blasting tower a Wyssen Avalanche Radar was installed, what is included in the total costs

Somit wurden die Charakteristika der Lawinenstriche sowie historische Ereignisse im Zuge des Pilotprojektes als Ausgangslage für die weiteren Betrachtungen zusammengestellt. Darauf aufbauend wurden Simulationen zu den potentiellen Auslauflängen und Lawinendrücken durch die zuständige Gebietsbauleitung der Wildbach und Lawinenverbauung erstellt und im Anschluss verschiedene mögliche Sicherungsvarianten (Anbruchverbauungen, Galerie und Tunnel) ausgearbeitet. Diese drei in Frage kommenden Varianten wurden in Bezug auf die jeweiligen Gesamtkosten (Errichtung und Betrieb) und die dadurch erzielte Risikominderung für die drei betroffenen Infrastrukturobjekte (Landesstraße, Gemeindestraße, und Langlaufloipe) verglichen. Hierbei zeigte sich wiederum deutlich, dass die präventive Auslösung von Lawinen mittels fern-



auslösbarer Lawinen-Sprengmasten in Bezug auf Kosten und Nutzen in diesem konkreten Fall die mit Abstand beste Lösung darstellte (Tabelle 2).

In einem weiteren Schritt wurden anschließend verschiedene Typen von automatisierten Sprenganlangen miteinander verglichen und in Hinblick auf ihre Tauglichkeit für das konkrete Projekt evaluiert. Da es sich vor allem bei dem Einzugsgebiet der Großtallawine um flächige Anbruchgebiete handelt, entschied man sich für den Wyssen Lawinen-Sprengmasten LS12-5.

Nachdem die Entscheidung zu Gunsten der ferngesteuerten Lawinenauslösung gefallen war und mit dem Lawinen-Sprengmasten LS12-5 der Firma Wyssen Avalanche Control (Abbildung 3) auch die Systementscheidung getroffen war, wurden mehrere Begehungen im Gelände durchgeführt. Hierbei wurde zusammen mit Vertretern der lokalen Lawinenkommission, den Vorsitzenden der Lawinenkommission des Skigebietes Silvrettaseilbahn AG, Experten der Wildbach- und Lawinenverbauung, dem Projektleiter der Spezialbaufirma und Vertretern des Herstellers die optimalen Standorte in Hinblick auf die nachstehenden Aspekte eruiert.

- Auslösewahrscheinlichkeit von Lawinen (Hot-Spots)
- optimale Auswirkung des Wirkungsbereiches der Sprengmasten
- Gefahr von Sekundärlawinen und Fernauslösungen
- Beschaffenheit des Untergrundes für die Fundation der Sprengmasten
- sowie die Gefährdung der Maststandorte durch Schnee- und Lawinendruck oder Steinschlag

Um die Verifikation von erfolgreich ausgelösten Lawinen sowie von natürlichen Lawinenabgängen auch während der Nacht oder bei schlechter Sicht zu gewährleisten, wurde zudem entschieden, zusätzlich zu den Sprengmasten ein Wyssen Lawinen-Radar vom Typ LARA zu installieren (Abbildung 3). Mit Hilfe dieses Radars können die Verantwortlichen vor Ort zum einen in Echtzeit den Abgang von Lawinen detektieren und zum anderen werden sie automatisch über den Abgang von natürlich ausgelösten Lawinen informiert.

Die rechtlichen Grundlagen für die präventive Auslösung von Lawinen zum temporären Schutz von Verkehrsachsen in Tirol findet sich in der Straßenverkehrsordnung, dem Tiroler Katastrophenmanagementgesetz, dem Gesetz über die Lawinenkommissionen in Tiroler Gemeinden, dem Katastrophenfondsgesetz und der Sprengarbeitenverordnung.

Als ersten Schritt musste die Gemeinde Ischgl bei der zuständigen Straßenverwaltungsbehörde (Bezirkshauptmannschaft Landeck) um die Genehmigung ansuchen, die Straße im betroffenen Abschnitt während der Lawinenauslösearbeiten sperren zu dürfen.

Da die Gemeinde Ischgl bereits über eine mit Bescheid bestellte Gemeindeeinsatzleitung sowie Lawinenkommission verfügte, die auch bereits die Lawinensituation in den beiden Lawineneinzugsgebieten Großtal und Hoher Zug beurteilte, fielen diese Schritte im gegenständlichen Projekt weg.

Des weiteren wurden mit den Grundstückseigentümern in den Anrissgebieten, der Sturzbahn sowie im Auslaufbereich der Lawinen Vereinbarungen über die Nutzung dieser Flächen (Standorte der Anlagen), sowie über die Abgeltung etwaiger Flur-, Forst- und Wildschäden bzw. notwendiger Räumungs- und Säuberungsarbeiten getroffen. Hierbei empfiehlt es sich, diese Parteien möglichst früh in den Prozess einzubinden und nicht erst vor mehr oder weniger vollendete Tatsachen zu stellen. Zudem sollte man auch bereits in diesem Schritt die Möglichkeit von Sekundär-



- Magazinkasten mittels Hubschrauber abnehmbar, ca 600 kg
- 12 Ladungen zu je 5 kg
- autarke Stromversorgung und Datenübertragung via GPRS und RF Funk (Backup)
- 1x1 m Fundament mit 4 vertikalen und einem horizontalen Anker (Mikropfähle)
- Steuerung der Anlage und Visulaisierung der Daten via WAC.3



- gepulster Dopplerradar mit 5° Öffnungswinkel
- Reichweite bis 2.000 m
- Fixe Stromversorgung und Datenübertragung via GPRS
- Alarmierung via SMS und E-Mail
- Visualisierung via Liveviewer

Abb. 3: Wyssen Lawinen-Sprengmast LS12-5 (links) und Wyssen Lawinen-Radar LARA (rechts).

Fig. 3: Wyssen Avalanche-Blasting tower LS12-5 (left) and Wyssen Avalanche Radar LARA (right)

lawinen in Betracht ziehen und auch mit den in diesen Fällen betroffenen Grundstückseigentümern entsprechende Verträge abschließen. Auch die Jägerschaft in dem betroffenen Revier wurde bezüglich der geplanten Maßnahmen informiert und frühzeitig in das Projekt involviert. Für die Durchführung der Sprengarbeiten wurde seitens der Gemeinde Ischgl ein Generalauftrag für diese Arbeiten an die zuständigen Sprengbefugten vergeben. Eine Haftpflicht- oder Unfallversicherung für diese Arbeiten musste im konkreten Beispiel nicht extra abgeschlossen



Abb. 4: Absperrplan der Gemeinde Ischgl während der vorbeugenden Auslösung von Lawinen aus den Lawinenstrichen Großtal und Hoher Zug.

Fig. 4: Map of restricted areas in the municipality of Ischgl. The area is closed during artificial avalanche release

werden, da es hierfür einen ausreichend Haftungs- und Versicherungsschutz seitens des Landes Tirol gibt.

Der Kostenverteilungsschlüssel für die Sicherung der beiden Lawinenstriche wurde zwischen der Gemeinde Ischgl und der Straßenverwaltungsbehörde wie folgt ausverhandelt: Für die Errichtung der Lawinen-Sprengmasten, des Lawinen-Radars und des Sprengstoffbunkers übernahm das Land Tirol 85 % der Kosten, die Gemeinde trug die restlichen 15 %. Die Betriebskosten der Anlagen hingegen trägt die Gemeinde Ischgl zu 100 %.

Für die Ausarbeitung des Sicherheitskonzeptes sowie des Einsatzkonzeptes inkl. Entscheidungschema und Absperrplan, wurde ein externes Ingenieurbüro beauftragt. Dieses arbeitete zusammen mit der Gemeinde Ischgl, den beiden Lawinenkommissionen der Gemeinde und des Skigebiets, der Wildbach- und Lawinenverbauung und dem Hersteller der Anlagen die Unterlagen im Detail aus und sorgte zudem für eine leicht verständliche graphische Umsetzung der wichtigsten Schemata und Pläne.

Ein Kernstücke des Einsatzkonzeptes ist hier vor allem der Absperrplan (Abbildung 4), indem genau festgelegt ist, welcher Bereich vor der Lawinensprengung kontrolliert werden muss, wo welche Art von Sperren notwendig sind (Hinweisschilder, Schranken oder Absperrposten)



Abb. 5: Organigramm der Gemeinde Ischgl für den Informationsfluss sowie die Aufgabenverteilung im Zuge der vorbeugenden Auslösung von Lawinen aus den Lawinenstrichen Großtal und Hoher Zug. Erläuterung der Abkürzungen: LK – Lawinenkommission, G – Gemeinde, P – Polizei, SB – Sprengbefugter.)

Fig. 5: Organisation chart of the municipality of Ischgl. Information flow and distribution of tasks during artificial avalanche blasting from the Großtal and Hoher Zug is shown. LK-Avalanche commission, G-municipality, P-Police, SB-demolition expert

und welche Hauseigentümer und Betreiber vorsorglich verständigt werden müssen. Zudem ist im Organigramm (Abbildung 5) genau festgelegt, wer welchen Zuständigkeitsbereich innehat und wer bezüglich der aktuellen Situation und der geplanten Lawinensprengungen informiert werden muss.

Conclusio

Mit der präventiven Auslösung von Lawinen in den Lawinenstrichen Großtal und Hoher Zug konnte das Restrisiko für die gefährdeten Infrastrukturen mit einem für die Gemeinde Ischgl und das Land Tirol stemmbaren Einsatz an finanziellen Mitteln auf ein vertretbares Minimum reduziert werden. Seit der Fertigstellung der Anlagen zum ferngesteuerten Auslösen von Lawinen vor dem Winter 2011/12 musste die B188 in diesem Bereich, außer für die Dauer der Lawinensprengarbeiten, nicht mehr gesperrt werden. Durch den Einsatz moderner Auslöseanlagen, die eine Mehrfachauslösung von allen Anlagen im Anbruchgebiet zulassen, in Verbindung mit einem sichtunabhängigen System zur Verifikation des Auslöseerfolgs, werden für die gesamten Arbeiten nicht mehr als 15 Minuten benötigt. Somit kommt es selbst während starken Urlauberverkehrs zu keinen größeren Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses.

Aufgrund dieser positiven Aspekte und der guten Erfahrungen, die mit der Realisierung des Pilotprojektes Großtal gesammelt werden konnten, wurde zwei Jahre später ein weiteres Projekt im Paznauntal zur Sicherung der B188 im Gemeindegebiet von Kappl angegangen. Konkret wurde in Kappl die Ulmicherbachllawine mit drei Wyssen Lawinen-Sprengmasten und einem Wyssen Lawinen-Radar gesichert. Zusätzlich wurde im Auslaufbereich noch ein Ablenkdamm errichtet, um den angrenzenden Siedlungsraum zu sichern. Auch in diesem Projekt erwies sich die bewährte Kombination aus vorbeugender Lawinenauslösung und Lawinendetektion als äußerst erfolgreich und somit musste die B188 auch in diesem Bereich seit der Umsetzung des Projektes außer für die Sprengarbeiten nicht mehr gesperrt werden.

Da sich die Systeme in den letzten 7 Jahren mehr als nur bewährt haben und auch in den vergangenen beiden Extremwintern 2017/18 und 2018/19 die Bereich mittels temporärer Lawinensicherung perfekt gesichert werden konnten, wird aktuell in den beiden Gemeinden Ischgl und Kappl angedacht, noch weitere Lawinenstriche, die die Paznauntalstraße gefährden, mittels Lawinen-Sprengmasten und Detektionsanlagen zu sichern.

Die Richtlinien des Landes Tirol für den Einsatz temporärer Schutzmaßnahmen gegen Lawinen stellen hierbei für die Projektierung, die Umsetzung sowie den Betrieb einen wichtigen Leitfaden für alle Beteiligten dar. Durch das strukturierte Abarbeiten des Projektes anhand dieses Leitfadens, sowie durch die Zuhilfenahme der bereitgestellten Vorlagen, Checklisten und Schemata wird der administrative Aufwand eines solchen Projektes deutlich reduziert und zudem gewährleistet, dass alle in Tirol umgesetzten Projekte zur Sicherung von Verkehrswegen durch die ferngesteuerten Auslösung von Lawinen den selben hohen Standard erfüllen.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Harald Riedl Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Zivil und Katastrophenschutz Leiter Ausbildung Lawinenkommissionen

Robert Zach Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Straßenbau, Rennweg 1, 6020 Innsbruck robert.zach@tirol.gv.at

Rennweg 1, 6020 Innsbruck

harald.riedl.@tirol.gv.at

Literatur / References:

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, ABT. ZIVIL- UND KATASTROPHENSCHUTZ, LAWINENKOMMISSIONS-ANGELEGENHEITEN (HRSG.), 2013: Richtlinien für den Einsatz temporärer Schutzmaßnahmen gegen Lawinen.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, ABT. ZIVIL- UND KATASTRO-PHENSCHUTZ, LAWINENKOMMISSIONSANGELEGENHEITEN (HRSG.), 2012:

Praxisempfehlung Lawinenkommissionsarbeit.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, ABT. ZIVIL- UND KATASTRO-PHENSCHUTZ, LAWINENKOMMISSIONSANGELEGENHEITEN, 2017 (Hrsg.):

Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen.

Bundesbahnen – Entwicklung eines innovativen Sicherheitskonzepts

CHRISTIAN W. RACHOY, STEFAN ORTNER

Der Lawinenwarndienst der Österreichischen Bundesbahnen – Entwicklung eines innovativen Sicherheitskonzepts

The Avalanche Warning Service of the Austrian Railways – Development of an Innovative Safety Concept

Zusammenfassung:

Naturereignisse wie Lawinen, Wildbäche, Hochwasser oder Steinschlag haben Auswirkungen auf die Sicherheit und die Verfügbarkeit von Eisenbahnstrecken. Laut Eisenbahngesetz ist die ÖBB-Infrastruktur AG (ÖBB) als Betreiber der Bahnstrecken für alle Sicherheitsaspekte auf einem Streckennetz von 5.000 Km in Österreich verantwortlich. Mehr als 1.000 Lawinenstriche berühren das Bahnnetz. Die Lawinensicherheit stellt daher eine besondere Herausforderung dar. Der ÖBB-Lawinenwarndienst ist für die Beurteilung der Lawinengefahr an definierten Streckenabschnitten im österreichischen Schienennetz und die Empfehlung vorbeugender Maßnahmen verantwortlich. Diese Einheit setzt sich aus 65 Mitarbeitern zusammen und ist in 13 Lawinenkommissionen organisiert. Die Lawinenexperten in den Kommissionen arbeiten hauptberuflich und sind für die nachvollziehbare, standardisierte Beurteilung der Lawinensituation und Dokumentation verantwortlich. Das Vorgehen der Experten bei der Beurteilung der Lawinengefahr ist in einem Sicherheitskonzept geregelt.

Dieser Beitrag geht auf die innovative Entwicklung einer neuen Methodik zur Entscheidungsfindung und Dokumentation ein. Die Ortskenntnis und das Erfahrungswissen der Experten in den Lawinenkommissionen spielt bei der Beurteilung der Lawinengefahr eine zentrale Rolle. Während bisher die Entscheidungsfindung in einem analogen Prozess stattfindet, steht auf Basis der neuen Entwicklung ein digitales System zur Verfügung, das den Prozess der Analyse, der Beurteilung, der Dokumentation und der Kommunikation besser strukturiert und vereinfacht. Das neue Sicherheitskonzept des ÖBB-Lawinenwarndienstes wird seit letztem Winter gemeinsam mit ausgewählten Lawinenkommissionen getestet und laufend evaluiert. Ziel ist es, im nächsten Winter diese Methode flächendeckend für alle ÖBB-Lawinenkommissionen einzusetzen und nachhaltig im Unternehmen zu implementieren.

Stichwörter: Schutzkonzept, Lawinenwarndienst, Eisenbahnstrecken

Abstract:

Natural phenomenon like avalanches, torrents, floods or rock falls have impacts on the safety and operational abilities of railway lines. According to the railway act the Austrian Railways Infrastructure Plc. (OEBB) is the operating company of the railway lines and thus responsible for all safety aspects on the route network of 5000 km in Austria. More than 1000 avalanche zones touch the railway net. That is why avalanche safety represents a particular challenge. The Avalanche Warning Service of OEBB is responsible for assessing the avalanche risk in specified railway sections of the Austrian railway network and for recommending preventive measures. This unit is composed of 65 employees and organised in 13 avalanche committees. The avalanche experts in the committees are employed full-time and are responsible for the standardised evaluation and documentation of the avalanche situation. The experts assess the avalanche risk according to a special safety concept.

This article illustrates the innovative development of a new methodology in decision making and documenting. The knowledge of the area and the experience of the experts in the avalanche committees play a crucial role in evaluating the avalanche danger. Whereas decision making has been an analogue process so far, the base of our new development is a digital system which structures and simplifies the process of analysis, evaluation, documentation, and communication. In collaboration with selected avalanche committees, the new safety concept of the Avalanche Warning Service of OEBB was tested and evaluated continually throughout last winter. The aim is to use this method for all Austrian Railways avalanche committees next winter and sustainably implement it into the company.

Keywords: Safety concept, Avalanche warning service, Railway infrastructure

Einleitung

Der Schutz der Eisenbahnanlagen vor Lawinen erfolgt in erster Linie mit technischen Schutzverbauungen und mit der Bewirtschaftung von Schutzwäldern.

Dort wo technische Verbauungen nicht möglich sind oder das Schutzziel erhöht werden soll, kommen vorbeugende Maßnahmen, wie die reduzierte Streckenverfügbarkeit oder Streckensperren zum Einsatz. Die Kombination aus technischen, forstlichen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz vor Lawinen hat sich seit der Errichtung von alpenquerenden Eisenbahnstrecken bewährt.

Die Beobachtung von Wetterdaten und der Beschaffenheit der Schneedecke wird vom Eisenbahnpersonal seit über hundert Jahren zur Sicherung der Bahnstrecken vor Lawinen durchgeführt.

In Österreich hat sich die Gefahrenbeurteilung durch Lawinenkommissionen bewährt. In diesem Sinne hat sich die ÖBB im Jahr 2015 entschlossen – aufbauend auf bereits vorhandene Strukturen – einen einheitlich organisierten und strukturierten, betriebseigenen Lawinenwarndienst zu gründen.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Tätigkeit der Lawinenkommissionen ist die Ausund Weiterbildung zur Förderung und Erhaltung des Expertenwissens. Die Lawinenexperten der ÖBB besuchen sowohl die Ausbildungskurse der amtlichen Lawinenwarndienste als auch einen jährlich stattfindenden ÖBB-Lawinenkurs. Neben der fachlichen Ausbildung wird auf die Kommunikation und Vernetzung großen Wert gelegt. Während bei den amtlichen Kursen eine regionale Vernetzung mit den Lawinenkommissionen der Gemeinden und den Landesbediensteten stattfindet, steht beim ÖBB-Lawinenkurs die bundesweite, ÖBB-interne Kommunikation im Vordergrund

Der ÖBB-Lawinenwarndienst

Ziel des ÖBB-Lawinenwarndienstes ist es, mit einheitlichen Abläufen und definierten Durchführungsverantwortlichen die Sicherheit des Eisenbahnbetriebs zu gewährleisten und die Streckenverfügbarkeit zu optimieren.

Der Lawinenwarndienst ist für die nachvollziehbare, standardisierte Beurteilung der Lawinengefahr an definierten Streckenabschnitten verantwortlich. 65 betriebsangehörige Lawinenexperten in 13 Lawinenkommissionen beobachten die Lawinensituation und beraten die Entscheidungsträger (Betriebsleiter). Aus der Beurteilung der Gefährdung werden Maßnahmen abgeleitet. Die Mitarbeiter des Lawinenwarndienstes haben dabei Sachverständigenstatus und sind in ihren Beurteilungen weisungsfrei. Der Leiter des Lawinenwarndienstes ist für die Ausrüstung und Ausbildung der Experten verantwortlich.

Zu Mitgliedern der Lawinenkommissionen dürfen nur Mitarbeiter bestellt werden, die über eine entsprechende Ortskenntnis verfügen und aufgrund ihrer Kenntnisse und Fähigkeiten in besonderem Maße geeignet sind, drohende Lawinengefahren zu erkennen, zu beurteilen sowie bei der Abwehr von Lawinengefahren tätig zu sein.

Ein Sicherheitskonzept dient als umfassende Grundlage für die Arbeit des ÖBB-Lawinenwarndienstes. Im Allgemeinen wird in Form einer Situationsanalyse die Entwicklung der Schneedecke vom ersten Schneefall des Winters bis zur Ausaperung im Frühling verfolgt. Während nicht kritischer Situationen ist ein generelles Verfolgen der Lage durch Beobachtung der Wetterentwicklung mit Hilfe von Wetterstationsdaten und Wetterprognosen sowie des amtlichen Lawinenlageberichtes ausreichend. Wenn es die Sichtverhältnisse zulassen, führen die Lawinenexperten Geländebeobachtungen zur Lawinenaktivität durch. Das Ergebnis der Situationsanalyse ist eine Gefahrenabschätzung und eine Entscheidung, ob Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind.

Das bestehende Sicherheitskonzept wird seit 13 Jahren erfolgreich angewendet. Aufgrund neuer Erkenntnisse und vor allem einer rasanten technologischen Entwicklung, ist es an der Zeit die Lawinenexperten in ihrer schwierigen und verantwortungsvollen Tätigkeit mit neuen Methoden zu unterstützen. Die Aufbereitung von Erfahrung und Wissen für zukünftige Generationen nimmt dabei einen hohen Stellenwert ein.

Dieser Beitrag geht in Folge auf die innovative Entwicklung einer neuen Methodik zur Entscheidungsfindung und Dokumentation ein.

Das neue Sicherheitskonzept

Die Ortskenntnis und das Erfahrungswissen der Experten in den Lawinenkommissionen spielt bei der Beurteilung der Lawinengefahr eine zentrale Rolle. Während bisher die Entscheidungsfindung in einem analogen Prozess stattfindet, steht auf Basis der neuen Entwicklung ein digitales System zur Verfügung, das den Prozess der Analyse, der Beurteilung, der Dokumentation und der Kommunikation besser strukturiert und vereinfacht.

Lawinenstrich-Datenbank

Grundlage bzw. Basis des neuen Konzeptes ist eine digitale Lawinenstrichdatenbank in der alle, die Bahnstrecke betreffende, Lawinenstriche verortet und in ihrer besonderen Charakteristik beschrieben sind. Dabei geht es nicht nur um den räumlichen Bezug, sondern ganz wesentlich um die Art der auftretenden Lawinen, die Lawinengrößen, den Schadensbereich, den Zustand von technischen Schutzverbauungen und um die Höhe jener zentralen Schwellenwerte bei deren Überschreitung die jeweilige Lawine potentiell gefährlich werden kann.

Als Parameter der Schwellenwerte dienen: Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Lufttemperatur, Neuschneemenge und Neuschneeprognose, Gesamtschneehöhe, Regenmenge und die regionale Lawinenwarnstufe, wobei die Wetter- und Schneedaten pro Lawinenstrich an drei verschiedenen, in der Höhe gestaffelten, Punkten erfasst werden.

Voraussetzung für ein funktionierendes System bzw. die sinnvolle Befüllung der Datenbank sind exzellente Lokalkenntnisse was die einzelnen Lawinenstriche und die Lawinentätigkeit betrifft. Dieses Wissen ist bei den gut ausgebildeten und erfahrenen Mitgliedern der ÖBB-Lawinenkommissionen in hohem Maße vorhanden und so bereitet das Ausfüllen der Lawinenstammblätter keine Probleme. Ein Vorteil dieser Methodik liegt auch darin begründet, dass in die Beschreibung der Lawinenstriche bzw. in die Festlegung von kritischen Schwellenwerten, das Wissen von jahrzehntelanger Tätigkeit als Lawinenkommissionsmitglied einfließt und auch nach einem Ausscheiden des Mitarbeiters im System erhalten bleibt.

Täglicher Basis-Check

Während des gesamten Winters werden täglich und vollautomatisch in jedem Lawinenstrich die meteorologischen und nivologischen Parameter gemessen, berechnet bzw. erhoben und auf eine Schwellenwertüberschreitung hin geprüft.

Kommt es zu einer Schwellenwertüberschreitung, wird das über eine APP am Smartphone der ÖBB-Lawinenkommissionsmitglieder angezeigt, was dazu führt, dass eine "erweiterte Beobachtung" vor Ort (am jeweiligen Lawinenstrich) erforderlich wird.

Voraussetzung für das Funktionieren des Basischecks ist neben zutreffenden Schwellenwerten (die sich natürlich jederzeit anpassen lassen) die Bereitstellung zuverlässiger Mess- bzw. Prognosedaten. Diese Daten werden von einem Wetterdienstleister bzw. den amtlichen Lawinenwarndiensten bereitgestellt. Sowohl über eine APP als auch über eine Webapplikation sind die Wetter- und Schneedaten für jeden Mitarbeiter der Lawinenkommission zugänglich. Piktogramme bzw. Icons erleichtern dabei die Zuordnung der jeweiligen Daten und die Kommunikation der Werte. Natürlich werden alle Mess- und Prognosedaten im System gespeichert und sind somit für eine Dokumentation oder eine Auswertung jederzeit verfügbar.

Erweiterter Check

Bei jeder Schwellenwertüberschreitung sind die Experten der ÖBB-Lawinenkommission aufgefordert sich ein eingehendes Bild von den tatsächlich herrschenden Bedingungen bzw. von der lokalen Lawinengefahr zu machen. Dieser detaillierte Check vor Ort erfolgt wieder mit Hilfe der innovativen APP, die für eine strukturierte Vorgehensweise bei der Erfassung und Beurteilung (= Analyse) der Schnee- und Lawinensituation sorgt.

Am Lawinenstrich werden Wetterdaten (Temperatur, Niederschlag, Wind, Bewölkung) und Schneedaten (Schneehöhe, Schneequalität, Schneebeschaffenheit, Schneefeuchte, Stabilitätstest) erhoben und auch das Einzugsgebiet, die Sturzbahn, die Schutzmaßnahmen und die Gefahrenzeichen beurteilt.

Die Datenerfassung am Smartphone spart Zeit, läuft intuitiv und dient nicht nur als Beurteilungsgrundlage, sondern auch zur Dokumentation der Arbeit vor Ort. In Echtzeit werden auch alle ermittelten Daten in das System eingespeist.

Die Gefahrenbeurteilung – der mit Sicherheit anspruchsvollste Teil der Arbeit einer Lawinenkommission – erfolgt über ein 10 Punkte umfassendes heuristisches System, womit das lokale Lawinengefahrenpotential bestimmt wird. Zusätzlich werden Aussagen über die Art, die Größe und die Auslösewahrscheinlichkeit der einzelnen Lawine getroffen, sowie Angaben über die lokale Wetter-, Schnee- und Lawinensituation gemacht.

Voraussetzung für ein zutreffendes Ergebnis der Beurteilungsheuristik sind allgemeines Wissen und lokale Kenntnisse zur Schneeund Lawinensituation, wobei auch der Aspekt der Intuition bzw. des Erfahrungswissens berücksichtigt wird.

Beschlussfassung

Entsprechend der Ergebnisse des erweiterten Checks und unter Berücksichtigung der Geschäftsordnung der ÖBB-Lawinenkommission kommt es zu einer Empfehlung einer Lawinen-Alarm-Stufe (LAS) für den aktuellen Tag, für die nächsten 24 Stunden sowie die nächsten 48 Stunden. Diese LAS-Stufen sind jeweils mit konkreten Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Schadensabwehr verknüpft:

- LAS 1: Es werden keine Verfügbarkeitseinschränkungen oder Schäden erwartet. Mögliche Maßnahmen sind die verstärkte Lagebeobachtung durch die Lawinenexperten und ein täglicher Erweiterter Check mit Beschlussfassung.
- LAS 2: Verfügbarkeitseinschränkungen sind möglich. Schäden an Fahrzeugen werden aufgrund der vorbeugenden Maßnahmen nicht erwartet. Mögliche Maßnahmen sind die Geschwindigkeitsreduktion, Aufklärungsfahrten, temporäre Betriebseinschränkungen, Erkundungsflüge sowie das künstliche Auslösen von Lawinen.
- LAS 3: Verfügbarkeitseinschränkungen werden erwartet. Schäden aufgrund von Lawinenereignissen sind wahrscheinlich. Das Betreten und Befahren der lawinengefährdeten Abschnitte ist verboten. Mögliche Maßnahmen sind die Streckensperre, Evakuierungen, Erkundungsflüge, sowie das künstliches Auslösen von Lawinen.

Im Web-Teil der neuen Applikation muss jeder LAS-Beschluss von mindestens 3 Lawinenkommissionsmitgliedern unterzeichnet werden, was mittels passwortgeschütztem Zugang passiert. Der LAS-Beschluss wird unmittelbar an den Streckenverantwortlichen weitergeleitet, der für eine Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen sorgt. Alle Schritte der Beschlussfassung werden im System dokumentiert und gleichzeitig an die Entscheidungsträger kommuniziert. Die Aufhebung der Lawinenalarmstufen erfolgt durch einstimmigen Beschluss der Lawinenkommission.

Zusammenfassung

Im Gegensatz zu geogenen Naturgefahren wie Steinschlag oder Hangrutschungen gibt es bei Scheelawinen aufgrund von Prognosen und Beobachtungen die Möglichkeit den Auslösezeitpunkt abzuschätzen. Diese Tatsache lässt es zu, vorbeugende Maßnahmen, meist in Kombination mit technischen Schutzanlagen und einem nachhaltigen Schutzwaldmanagement, anzuwenden. Wenn es um den Schutz von linearer Verkehrsinfrastruktur geht, dann gewährleistet die vorbeugende Sperre von Verkehrswegen eine Minimierung der Präsenzwahrscheinlichkeit von Fahrzeugen und damit ein sehr geringes Restrisiko. Da Verkehrswege, abhängig von ihrer Bedeutung, jedoch prinzipiell verfügbar sein sollen, gilt es die Sperrzeiten möglichst gering zu halten. Ein Team von Experten, die Lawinenkommission, beurteilt die Gefahrenlage und gewährleistet eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Verkehrswege. Es ist zu beachten, dass organisatorische Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren, Menschenleben schützen, die Schäden an der Infrastruktur jedoch nicht zur Gänze verhindern können. Die Lawinengefahr entlang der alpenquerenden Bahnstrecken in Österreich wird von den Experten des ÖBB-Lawinenwarndienstes beurteilt.

Aufgrund neuer Erkenntnisse entwickelt der Lawinenwarndienst der ÖBB ein neues, innovatives Sicherheitskonzept. Das Ziel ist die Vereinfachung und Verbesserung des Analyse- und Entscheidungsprozesses bei gleichzeitiger Verbesserung der innerbetrieblichen Kommunikation. Erfolgskriterien der entwickelten Methodik sind die grundsätzliche Optimierung der Abläufe bei gleichzeitiger Verbesserung der Kommunikation, Transparenz in der Beurteilung und Entscheidungsfindung sowie die Einbindung und Berücksichtigung aktueller Wetterdaten und Beobachtungen vor Ort in Echtzeit. Die strukturierte Vorgehensweise von der Beurteilung vor Ort bis zur Ausgabe der Lawinenalarmstufen inkl. der zugehörigen Maßnahmen und die automatisierte Dokumentation aller Aktionen sind für eine hohe Rechtssicherheit maßgeblich. Der Aufbau einer Know how - Datenbank unterstützt die Sicherung von Erfahrungswissen von langjährigen Mitarbeitern für die Zukunft.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Christian Rachoy ÖBB-Infrastruktur AG 10. Oktoberstrasse 20 9500 Villach christian.rachoy@oebb.at

Mag. Stefan Ortner Lo.La Peak Solutions GmbH Starres 8 6152 Trins hello@lo-la.info

Literatur / References:

SAUERMOSER, C., 2014: Analyse des ÖBB-Lawinenwarndienstes. Master Thesis. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.

RACHOY, C., BACHER, M., SCHEKULIN, C., HÜBL, J., 2008: Avalanche safety concept for a railway station in Austria – technical and temporary measures – a hazard analyses. INTERPRAEVENT 2008, Conference Proceedings, Vol. 2.

BRIAN GOULD, CAM CAMPELL, ANDI BUECHI

Cougar Corner – The largest snow net installation in the western hemisphere

Cougar Corner – das größte Schneenetzfeld in der westliches Hemisphäre

Zusammenfassung:

Seit über einem halben Jahrhundert ist das Rogers Pass Gebiet im Glacier National Park, British Columbia, das Epizentrum der Lawinenprävention in Kanada. Es sind über 134 Lawinenzüge bekannt, welche den Trans-Canada-Highway gefährden, eine wichtige Transportroute, die sich über den Pass schlängelt. Seit den frühen 1960er Jahren beinhaltet der Lawinenschutz für den Highway eine Mischung aus Lawinengalerien, Ablenkdämmen, Bremshügel und einem Schutzkonzept, das laufende Vorhersage und artilleriebasierte Kontrolle mit 105 mm Haubitzen der kanadischen Streitkräfte beinhaltet.

Während die Kombination dieser Maßnahmen gut funktioniert hat, hat das steigende Verkehrsaufkommen und die geringere Toleranz gegenüber Straßenschließungen zu einem Bedarf an neuen Schutzmaßnahmen geführt. Eine dieser neuen Maßnahmen ist das Schneenetz System am Cougar Corner, das mit fast 2 km Länge die größte permanente Anrissverbauung in der westlichen Hemisphäre ist. Über zwei Sommer (2016 und 2017) wurde dieses Schneenetz-System in den Cougar Corners 6, 7 und 8 installiert - drei steile Lawinenzüge aus komplexem und felsigem Gelände.

Die Planung und die Absteckung des Systems beinhaltete eine Desktop-Geländeanalyse mit GIS, eine GPS-Vermessung vor Ort und mehrere Tage Abstecken in schwierigem Gelände, welches nur über eine Kombination aus vertikalen Seilen und festen Traversensystemen, vom Typ «Klettersteig», erreicht wurde. Es wurden Bemessungsgrundlagen aus der Schweiz adaptiert. Schwieriges Gelände, wie übersteile Flanken und tief eingeschnittene Runsen, erschwerte die Installation der Schneenetze. Innovative Lösungen zur Bewältigung dieser Herausforderungen waren unter anderem der Einsatz von drei Murgang-Barrieren in einer dieser Runsen, die zu stark eingeschnitten war, um traditionelle Schneenetze zu installieren. Die Installationsbedingungen während des Sommers waren anspruchsvoll und gefährlich und erforderten das Fachwissen und Zusammenspiel aller Beteiligten, wie Ingenieurbüros, Bergführern, Bohrfachleuten sowie Sicherheits- und Hubschrauberlogistik, um das Projekt abzuschließen.

Dieser Beitrag untersucht die Planung, das Layout und die Installation des Cougar Corner Systems und enthält eine Zusammenfassung verschiedener Methoden und Techniken, die integriert wurden. Herausforderungen an das Projekt, die innovative Lösungen erforderten, werden beschrieben. Die bisherigen Rückmeldungen aus zwei Wintern mit überdurchschnittlicher Schneehöhe deuten darauf hin, dass das Schneenetz-System sehr gut funktioniert.

Stichwörter: Lawinenschutztechnik, Anrissverbau, Schutzmaßnahme, Schneenetze, Murgänge

Abstract:

For over half a century, the Rogers Pass area in Glacier National Park, British Columbia has represented the epicenter of avalanche mitigation in Canada. Over 134 avalanche paths are known to affect the Trans-Canada highway, a major transportation route that winds its way through the pass. Since the early 1960s, avalanche protection for the highway has involved a mixture of snow sheds, diversion berms, retarding mounds, and an operational program that includes ongoing fore-casting and artillery-based control using 105 mm Howitzers operated by the Canadian Armed Forces.

While the combination of these measures has functioned well, increasing traffic volumes and de-creased tolerance for road delays has resulted in a need for new mitigation measures. One of these new measures is the Cougar Corner snow net system, which at almost 2 km in length, is the largest installation of snowpack supporting structures in the western hemisphere. Over two summers (2016 and 2017), this snow net system was installed in Cougar Corner 6, 7, and 8 - three steep avalanche paths involving a steep, complex, and rocky terrain.

The design and layout of the system involved desktop terrain analysis using GIS, on site GPS survey, and numerous days of hands on measuring in complex terrain accessed via a combination of vertical ropes and via ferrata-type fixed traverse systems. Swiss-based design parameters were incorporated. Challenging terrain for snow net installation encountered during the layout process included sloping benches and incised gullies. Innovative solutions employed to overcome these challenges included the use of three debris flow barriers in a gully that was too incised to accommodate traditional snow nets. The site conditions during summer construction were complex and hazardous requiring the expertise of engineering consultants, mountain guides, drilling experts, as well as safety and helicopter logistics to complete the project. This abstract explores the design, layout, and installation of the Cougar Corner system and includes a summary of various methods and techniques that were incorporated. Challenges to the project that required innovative solutions are described. Feedback to date from two winters with above average snowpack height, indicate the snow net system is performing wellhis document contains proposals for authors concerning the composition and formatting of an article. Articles have to be written in German language, articles in English language can only be accepted if explicitly invited with the "call for papers" for the actual issue of the journal. The articles always have to start with abstracts in German and English language. The length of the abstracts must not exceed 750 characters including spaces. The abstract should contain short but precise information about the aims, methods, results and conclusions of the article.

Keywords: Avalanche protection engineering, snowpack supporting structures, protection measure, snow net, debris flow

Introduction

Project overview

When the Trans-Canada Highway opened in 1962, snow sheds and earthworks were constructed to protect travellers from the most frequent avalanche paths. These measures have since been supplemented by operational avalanche mitigation which incorporates temporary closures, and highway-based Howitzers (operated by the Canadian Armed Forces) to trigger avalanches when the hazard is high. In recent years, increasing traffic volumes and decreasing tolerance for travel delays has led to a demand for more robust avalanche mitigation measures.

Recently, a large installation of 'snow net' snow-pack supporting structures was commissioned by Parks Canada in Glacier National Park to protect an exposed section of the Trans-Canada Highway (TCH) near Rogers Pass. The designbuild project involved extremely challenging terrain, both from a design and installation perspective. This paper discusses the methodology used and presents some of the challenges encountered

The snow net project is located approximately 9 km west of Rogers Pass between Golden and Revelstoke in southern British Columbia. Rogers Pass is well known for its heavy snowfall, with an average of 14 m of snow falling annually at treeline elevations (J. Goodrich, personal communication, 18 July 2017). The section of high-way over the Rogers Pass travels through the tracks and runout zones of approximately 134 avalanche paths, several of which impact the highway annually, resulting in closures and sometimes lengthy traffic delays.

The three avalanche paths designated for the installation of snow nets are Cougar Corner 6, 7, and 8 (Figures 1-2). The starting zone elevation of the three avalanche paths range between 1400 m and 1700 m. The approximate areal extent of all three starting zones is 24,726 m², as illustrated in Figure 2



Fig. 1: Overview of snow net location. Abb. 1: Überblick über die Verbauungsbereiche



Fig. 2: Cougar Corner (CC) paths.

Abb. 2: Cougar Corner (CC) Lawinenanbruchgebiete The Cougar Corner site is steep, rugged, and rocky with limited tree cover or vegetation except in Cougar Corner 8 (Figure 3). Terrain is primarily non-planar with several complex rock features interrupting the continuity of the slope.



Fig. 3: Cougar Corner site with snow nets installed in 2016 & 2017. Paths outlined in red.

Abb. 3: Cougar Corner mit Schneenetzen, errichtet 2016/2017. Die Anbruchgebiete sind rot markiert

Methods

The Swiss Guidelines

The "Technical Guidelines for Avalanche Defense Structures in Avalanche Starting Zones" published in 1990 and revised in 2007 (Margreth, 2007) serve as the basis for the development and approval in Switzerland. The Cougar Corner snow nets were designed according to these 'Swiss Guidelines', which have become the international standard for snow supporting structures in avalanche starting zones. These guidelines specify:

> Fundamental principles for general arrangement and coverage in order to effectively stop large avalanches from releasing, including minimum fence height and maximum separation bet-

- ween adjacent fence segments in a row.
- Maximum distance between rows of fences down a slope, in order to withstand static snow creep and glide forces.

Initial Desktop Design

The goals of the initial desktop terrain analysis and snow net layout included:

- Estimation of material needed to within ten percent of the final as-built layout.
- Identification of areas where field-layout will be straight forward and closely match the initial desktop layout.
- Identification of terrain features that pose challenges for layout and require detailed field investigations and fitting.

A high resolution (1 m) Digital Elevation Model (DEM) acquired through LiDAR survey of the site when it was snow free, was used to determine slope shape and incline, identify constraining terrain features, and plan an initial layout (Figure 4).

> Fig. 4: Screenshot of the initial deskton snow fence layout drawing for Cougar Corner 7 showing the avalanche starting zone boundary (red line), post type and locations (green, yellow and pink squares) uphill toe-edge of the Spider nets (black hashed line), and proposed debris flow net locations (orange and green lines) Abb.4: Screenshot der

generellen Planung der Anordnung der Schneenetze für Cougar Corner 7. Rot dargestellt ist das Lawinenanbruchgebiet, die grünen, gelben und rosa Quadrate zeigen

die Standorte der Stützen, die schwarzen Linien markieren die obere Begrenzung der Netze, die orangen und grünen Linien zeigen die vorgeschlagenen Netze gegen Muren. Gumbel extreme value analysis of historical snow depth data from nearby weather stations was used in conjunction with analysis of snow drifting patterns in historical photographs to determine minimum fence heights. Avalanche starting zone boundaries were delineated from initial outlines provided by Parks Canada and detailed terrain analysis using the 1 m DEM and terrain photographs.

Field Investigations and Layout

Initial field investigations involved analysis of both the large features that were noticed during the desktop phase, and micro-features such as small steps, overhangs, and grooves that generally were not recognizable. These micro-features perhaps posed the most significant challenge on the project, as snow net systems require a certain degree of terrain uniformity and consistent (and competent) rock for the high strength anchors required to sustain the high snow creep and glide forces.

In addition to providing a challenge for the design and layout of the snow nets, the steepness and ruggedness of the terrain presented significant safety risk for personnel on site due to both falling, and rockfall from above. As a result, fall protection (primarily rope access) and rockfall management systems, including extensive scaling, were employed anywhere these hazards exist, which included approximately 75 % of the project site. Although these safety systems resulted in reduced speed and increased time to complete the project, they ensured a safe worksite for the many drillers, installers, and engineers that were on site on a daily basis.

As is typical with snow nets, layout was completed using a combination of cable jigs provided by Geobrugg, measuring tape, inclinometers, and rangefinders. A high-accuracy Global Positioning System (GPS) with base station incorporating correction was used regularly to position the layout crew in locations designated on the initial desktop design. Dimensions for layout require accuracy for the snow nets to be supported properly in the terrain. Final layout relied extensively on judgement and experience of snow and avalanche engineers, and Geobrugg's technical representatives.

Quality Control

Ongoing quality control occurred during the field layout phase to ensure the layout conformed to the Swiss Guidelines and Geobrugg specifications. The high-accuracy GPS system was used to survey anchor and post locations that were laid out in the field according to the methods outlined in Section 3.3. These coordinates were analyzed using a Geographical Information System (GIS) to determine spacing between points, distance between rows of fences, separation between adjacent fence segments and inflection angles at post locations (Figure 5).



Fig. 5: Screenshot of the layout drawing for the lower section of the Cougar Corner 7 starting zone (red outline) showing post (green and pink squares) and anchor (red and blue circles) locations with spacing distances between points (black numbers (m)) and post inflection angles (red numbers (°)).

Abb.5: Screenshot der Anordnung der Schneenetze im unteren Bereich von Cougar Corner 7. Die Lage der Stützen ist durch grüne und Quadrate markiert, die Lager der Anker durch rote und blaue Kreise, die Entfernungen zwischen den einzelnen Standorten sind durch schwarze Zahlen beschriftet. Der Neigungswinkel der Stützen ist durch rote Nummern gekennzeichnet. These parameters were then compared to the Swiss Guidelines and Geobrugg specifications and areas that needed adjustment in the field were highlighted. This was an ongoing iterative process with feedback to the field layout crew and new survey points to the GIS technician on a daily basis.

Challenges

Although several challenges were encountered throughout the design, drilling, and installation of the snow nets, there were a few design situations that required innovative thinking, and concepts that had not been used previously. These challenges mainly revolved around the complexity of the terrain that included several discontinuous features, and an incised gully.

Discontinuous Terrain

Initial field investigations discovered extensive discontinuous terrain, sloping benches, rock fins and ribs, and other complex micro-terrain fea-



Fig. 6: Continuous snow net system. *Abb. 6: Durchgehende Netzreihe*

tures that would not allow for a continuous snow net system (Figure 6). In order to adapt to the discontinuous terrain, as well as wildlife permeability and practical installation considerations, fence segments of 7 to 30 m in length, were used. However, there were several isolated slope features that would only accommodate a single central panel of net with two triangle end panels, which was referred to as a 'two-post system' (Figure 7).





Fig. 8: Use of debris flow net barrier in CC7 gully.
Abb.8: Anwendung von Murgangnetzen in CC7 Lawinenbahn

Although these 7 m two-post systems had isolated use previous to this project, Cougar Corner incorporated 23 such systems, which accounted for 24 % of the rows.

CC7 Gully

The central section of Cougar Corner 7 path is a narrow converging gully that is over 5 m deep and 10 to 15 m wide at its narrowest point. Terrain investigations determined that standard snow nets were not suitable for this location. After discussing with the manufacturer's technical representatives, it was realized that a debris flow barrier system could effectively be employed. The system is designed for significant loading from debris flow mass, which is much denser and heavier than even the densest snow pack. And the debris flow nets could act as a catchment for any loose snow sloughs that occur between rows of nets. The final installation is illustrated in Figure 8.

Conclusion

The Cougar Corner snow net project represents a milestone for avalanche mitigation in Canada and the world. Not only is it the installation significant in size, it also incorporates innovative design con-



Fig. 9: Cougar Corner 7 and 8 path snow nets, March 2018.

Abb.9: Cougar Corner 7 und 8 mit Schneenetzen, März 2018

cepts that would not have been possible without the collaborative effort that ensued on the project. Installations have successfully protected the TCH throughout winters of 2016-17 and 2017-18 (Figure 9).

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the following primary organizations and companies that were involved in the Cougar Corner snow net project:

- Parks Canada the owner.
- McElhanney Consulting Inc. & Dynamic Avalanche Consulting Inc. – the owner's engineer.
- BAT Construction the prime contractor.
- · Geobrugg AG the snow net manufacturer.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Brian Gould Cam Campell Alpine Solutions Avalanche Services Box 417, Squamish, BC, Canada bgould@avalancheservices.ca

Andi Buechi Geobrugg AG Western Geohazard Solutions Inc. 4924 Silver Stag Ct, Kelowna BC V1W 5L3, Canada

Literatur / References:

MARGRETH, S. (2007): Defence structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to enforcement. Environment in Practice no. 0704. Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos. 134 pp.



www.helixcopter.de

Transportflüge mit Helix

- kompetent
- erfahrensicher
- zuverlässig
 leistungsstark
 preisgünstig



HELIX Fluggesellschaft mbH Öhringer Str. 12 D-74632 Neuenstein Tel +49 7942 4481 Fax +49 7942 2069 Mobil +49 171 771 3226 Email info@helixcopter.de Web www. helixcopter.de





ANDREAS DREXEL

Blons in Vorarlberg, Österreich – 60 Jahre nachhaltiger Lawinenschutz, Erfahrungen, Rückschläge und Erkenntnisse

Blons in Vorarlberg, Austria – 60 years sustainable avalanche protection, experience, setbacks and lessons learned

Zusammenfassung:

Im Jahre 1954 kam es in der kleinen Walsergemeinde Blons in Vorarlberg zum größten Lawinenunglück in der Geschichte der zweiten österreichischen Republik. Die Lawinenkatastrophen in den Jahren 1951 und 1954 läuteten den modernen Lawinenschutz in den Alpen ein. Neben der Entwicklung diverser, teilweise noch heute im Einsatz befindlicher Stützbauwerke in den Lawinenanbruchgebieten wurde im Gemeindegebiet von Blons besonderes Augenmerk auf den "grünen Schutzwall" - den Schutzwald oberhalb der Siedlungsräume - gelegt. Nachhaltiger Lawinenschutz ist bei einem exponierten Alpental als permanente Aufgabe zu verstehen. Kompetenz, konsequentes Handeln und der Faktor Zeit sind besonders bei der Umwandlung von überalterten Schutzwäldern und deren Neubegründung der Weg zum Erfolg. Um schutzwirksame Bestände, nahe der oberen Waldgrenze zu begründen, reichen oftmals 100 Jahre nicht aus. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die naturräumlichen Gegebenheiten des Großen Walsertales (Vorarlberg/Österreich) und erläutert die Ereignisse des Jahres 1954. Anschließend wird über die im Laufe der Zeit getätigten forstlichen und technischen Schutzmaßnahmen und den damit verbundenen Gefahreneinschätzungen berichtet.

Stichwörter:

Nachhaltiger Lawinenschutz, Schutzwald, Lawinenkatastrophe von Blons/Vorarlberg

Abstract:

In 1954, the largest avalanche accident in the history of the second Austrian Republic occurred in the small Walser community of Blons in Vorarlberg. The avalanche disasters of 1951 and 1954 heralded modern avalanche protection in the Alps. In addition to the development of various support structures in the avalanche starting zone, some of which are still in operation

today, special attention was paid to the "green protective wall" - the protective forest above the residential areas in the municipality of Blons. Sustainable avalanche protection is a permanent task for an exposed alpine valley. Competence, consistent action and the factor time are the way to success, especially in the conversion of overgrown protection forests and their refoundations. 100 years are often not enough to build protective stocks near the upper timberline. This article provides an overview of the natural conditions of the Great Walser Valley (Vorarlberg / Austria) and explains the events of the year 1954. Subsequently it describes the forest and technical protection measures taken over time and the associated risk assessments.

Keywords:

Sustainable Avalanche Protection, Protection Forest, Avalanche Hazard in Blons/Vorarlberg

Einleitung

Im Lawinenwinter 1954 kamen in Vorarlberg 125 Menschen ums Leben, 57 davon in Blons im Großen Walsertal. Insgesamt gingen hier 13

Lawinen ab. Die Lawinenzüge sind im Ereignisbild von 1954 dargestellt (Abbildung 1). Im Laufe der letzten 60 Jahren wurden technische, forstliche und raumplanerische Maßnahmen zum Schutz von Blons gesetzt, diese werden nachfolgend erläutert.



Walser und das Große Walsertal

Im 13. Jahrhundert zogen die Walser, eine alemannische Volksgruppe aus dem Wallis, in das nunmehr nach ihnen benannte "Große Walsertal". Die Wanderbewegung fiel in die mittelalterliche Warmzeit, die Walser rodeten die steilen Hänge und errichteten ihre klassischen Streusiedlungen und Almen. Durch die nachfolgende Klimaverschlechterung in der kleinen Eiszeit sind erste Lawinenunglücke bereits im Jahr 1497 in der Chronik registriert.

Das Walsertal ist zu den niederschlagreichen Westwetterlagen (Atlantik) ausgerichtet und dadurch oft von große Schneemengen und Neuschneesummen betroffen. Wenngleich die Errichtung der einzelnen Höfe an begünstigten Standorten erfolgte, wurde der verbliebene, nicht gerodete Schutzwald durch die Überbevölkerung und Übernutzung im Laufe der Zeit immer weiter zurückgedrängt.

Die höchste Erhebung der Lawineneinzugsgebiete der Gemeinde Blons stellt der Falvkopf mit 1849 m ü. M. dar. Die potentielle natürliche Waldgrenze liegt im Großen Walsertal im Bereich von ca. 1900 m ü. M. Die Lawinenanbruchgebiete sind somit potentiell bewaldbar.

Die natürlichen Waldgesellschaften werden in der montanen Stufe durch Fichten–Tannen-Buchenwald und Fichten–Tannenwald gebildet. In der subalpinen Stufe im Bereich ab 1500 m ü. M. herrscht der subalpine Fichtenwald, häufig mit Hochstauden im Unterwuchs vor. Diese in den 1970er und 1980er Jahren größtenteils überalterten Bestände sind aufgrund der starken Konkurrenzvegetation nur sehr schwer verjüngbar (Abbildung 2).



Abb. 2: Überalterte Schutzwälder in der hochmontanen/subalpinen Höhenlage sind in der Zerfallsphase und sehr schwer verjüngbar. [Quelle: WLV Vorarlberg]

Fig. 2: Outmoded protection forests in the high montane/subalpine altitude are in the decay phase and very difficult to rejuvenate [Source: WLV Vorarlberg].

Das Gemeindegebiet von Blons wird aus Gesteinen des Vorarlberger Flysches aufgebaut. Die Gesteine sind leicht verwitterbar und neigen zur Erosion.

Fast die gesamte Waldfläche muss daher neben dem Lawinenschutz auch als Boden- und Erosionsschutzwald betrachtet werden. Ein tiefreichender und verzahnter Durchwurzelungshorizont der darauf stockenden Bestände ist deshalb gerade in steileren Lagen von hoher standortschutztechnischer Bedeutung. Das heißt, langfristig kann die standörtliche Nachhaltigkeit in Bezug auf die lokale Bodenerosionsanfälligkeit nur durch eine ausreichend stabilisierende Bestockung gewährleistet werden.

Die Weißtanne mit ihrem tiefreichenden Pfahlwurzelsystem (bis 2 m) ist als einzige Baumart in dieser Höhenlage in der Lage, eine ausreichend tiefreichende Stabilisierung des Bodengefüges solch bindiger Bodentypen sicherzustellen. Das Wurzelsystem der Fichte reicht auf solchen Standorten, besonders auf Mergelschiefer bzw. Mergelstein, selten tiefer als 50 cm. Es bildet dafür jedoch eine dichte Oberbodendurchwurzelung aus.

Gefahrensituation

Abbildung 3 zeigt die Bewaldungssituation der Walser Streusiedlung um 1958. Die Abbildung 4 zeigt die Bewaldungssituation im Jahre 2006.

Die Hauptlawinenzüge "Hüggenlawine", "Eschtobellawine" und "Mont Calf-Lawine" erstrecken sich über die gesamte, südexponierte Talflanke der Gemeinde Blons. Bei der "Hüggen" und der "Mont-Calf-Lawine" handelt es sich um Flächenlawinen während die "Eschtobellawine" (der Lawinenzug deckt sich mit dem Graben in der Bildmitte) eine kanalisierte Lawinenbahn aufweist.



 Abb. 3: Das Gemeindegebiet Blons 1958 mit geringer Bewaldung. [Quelle: WLV Vorarlberg]

 Fig. 3: The municipality of Blons 1958 with low afforestation [Source: WLV Vorarlberg]



Abb. 4: Die Lawineneinzugsgebiete von Blons im Jahre 2006. Die Zunahme der Bewaldung ist gut zu erkennen. [Quelle: WLV Vorarlberg]

Fig. 4: The avalanche catchment areas of Blons in 2006. The increase of forest cover is easy to see. [Source: WLV Vorarlberg]

Der Lawinenwinter 1954

Zwischen dem 10. und 12. Jänner 1954 ereigneten sich etliche Lawinenunglücke in Vorarlberg. Auslöser waren extreme Schneefälle von über 2 m Neuschnee binnen 24 Stunden. Dabei wurden 280 Personen verschüttet, 125 von ihnen starben. In der Gemeinde Blons wurde ein Drittel der Häuser zerstört und ein Drittel der Dorfbevölkerung, insgesamt 57 Menschen, verloren ihr Leben. Die Lawinenkatastrophe führte zu einer noch nie dagewesenen Welle der Hilfsbereitschaft und Solidarität. Die erste Luftbrücke in der Geschichte Österreichs wurde in Blons errichtet. Darüber hinaus führten die beiden Lawinenwinter von 1951 und 1954 durch ihre zahlreichen Personen- und Sachschäden, zur Entwicklung und Etablierung des modernen Lawinenschutzes.

Die technischen Schutzmaßnahmen

Bei den ersten Lawinenschutzmaßnahmen in Blons handelte es sich vermutlich um Objektschutzmaßnahmen wie Ebenhöhen und Spaltkeile. Genaueres ist darüber jedoch nicht bekannt. Erste organisierte Lawinenschutzmaßnahmen in den Anbruchgebieten von Blons wurden zwischen den Jahren 1906 und 1908 errichtet. Es handelte sich um Arlbergrechen auf einer Länge von 1,2 km. Abbildung 5 zeigt diese Bautype mit einer Wirkungshöhe von 2–2,5 m. Die teilweise bereits maroden Stützwerke wurden im Lawinenwinter 1954 weitestgehend zerstört.

Die Sicherung der "Hüggenlawine" wurde 1954 wiederaufgenommen. Dabei wurden weitere Bautypen entwickelt. Die sogenannten "Schneehängebrücken" und daran anschließend



die Grundstruktur der noch heute gebräuchlichen Stahlschneebrücken. Wesentliche Entwicklungsschritte bei dieser Bautype sind in der Fundierung zu verzeichnen. So haben sich die ursprünglich betonierten Fundierungen zu Mikropfahlfundierungen und Flachgründungen entwickelt (Abbildung 6). In den Hauptanbruchgebieten von Blons wurden bis heute rund 6,5 km Anbruchverbauungen (Stahlschneebrücken, Hängewerke, kombinierte Stahl-Holz-Werke, etc.), 315 Gleitschneeböcke und 745 lfm Verwehungszäune errichtet.



Abb. 6: Bautype moderner Stahlschneebrücken nach dem aktuellen Stand der Technik. [Quelle: WLV Vorarlberg]

Fig. 6: Construction type of modern state-of-the-art snow bridges [Source: WLV Vorarlberg]



Abb. 7: Die überlasteten Stützwerke in den Anbruchgebieten der Hüggenlawine und der Etschtobellawine im Februar 1999. [Quelle: WLV Vorarlberg]

Fig. 7: The overloaded support structures in the avalanche starting zones of the Hüggenlawine and the Etschtobellawine in February 1999 [Source: WLV Vorarlberg]

Die Stützverbauungen im Anbruchgebiet haben sich in den letzten 60 Jahren bewährt. In den schneereichen Wintern 1967 und 1999 konnte die Funktionsfähigkeit der Anbruchverbauung unter Beweis gestellt werden. Jedoch wurde die Wirkungshöhe der Verbauung im Lawinenwinter 1999 überschritten (Abbildung 7). Ein nachhaltiger Lawinenschutz ist in bewaldbaren Anbruchgebieten nur mit einer entsprechenden Bestockung zu erreichen.

Neben den angeführten Schutzmaßnahmen im Anbruchgebiet wurden auch Schutzmaßnahmen im Transportgebiet und im Ablagerungsbereich gesetzt (Dämme und Objektschutzmaßnahmen), auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen wird.

Nachhaltiger Lawinenschutz

In Österreich ist der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung seit seiner Gründung im Jahre 1884 für den Schutz vor alpinen Naturgefahren zuständig. Die Maxime des dort angesiedelten Naturgefahrenmanagements ist die einzugsgebietsweise Betrachtung und Bearbeitung der Problematik.

Permanenten technischen Schutzmaßnahmen wird eine begrenzte Lebensdauer unterstellt. Um einen nachhaltigen Lawinenschutz zu erreichen, ist eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen wie raumplanerische und Landnutzungsansätze (Forstwirtschaft) notwendig.

Im Anbruchgebiet der Hüggenlawine wurde bereits in den Jahren 1906 bis 1908 20.000 Zirben und 15.000 Fichten gepflanzt. Die Hochlagenaufforstungen waren zu dieser Zeit völlig neue Arbeitsfelder. Es gab kaum Erfahrungswerte für solch exponierte Aufforstungsstandorte. Heute ist festzustellen, dass von dieser ersten Aufforstungsaktion ca. 90-99 % der Pflanzen ausgefallen sind. Weitere Aufforstungsbemühungen wurden nach dem Lawinenwinter von 1954 durchgeführt. Großflächig wurden die Blößen aufgeforstet und überalterte Schutzwälder mit künstlicher Aufforstung saniert. Häufig wurde die Verjüngung im Schutz technischer Verbauungen eingeleitet.

Im Gemeindegebiet von Blons wurden in den letzten 60 Jahren rund eine halbe Million Forstpflanzen gepflanzt. Vier Fünftel davon sind Fichten (Picea abies), die natürliche Hauptbaumart in diesem subalpinen Bereich. Die Waldfläche in Blons konnte von etwa 520 ha im Jahr 1971 auf 601 ha im Jahr 2009 erhöht werden.

Erfahrungen und Rückschläge

Vergleicht man die Waldbestände der Abbildung 3 und 4, so scheinen die Aufforstungsoffensive und 60 Jahre der ständigen Betreuung erfolgreich zu sein. Jedoch weisen die Aufforstungsflächen kaum schutzwirksame Bestände auf.

Folgende Probleme sind hier zu nennen:

- Falsche Provenienz in den frühen Aufforstungen und die Verwendung von großen, rasch wachsenden Pflanzen (siehe die Folgen im Gleitschneeproblem).
- Schwarzer Schneeschimmel (Herpotrichia nigra, H. juniperi): Durch die zu Beginn der großen Aufforstungen übliche Flächenpflanzung mit ca. 10.000 Pflanzen/ Hektar wurde das Kleinrelief zu wenig beachtet. Dies führte zu einer großflächigen Ausbreitung des Schneeschimmels.
- Gleitschnee: Schneekriechen und Gleiten führen zu folgenden Schadbildern in den Aufforstungen
- Schneebruch
- Ausziehen des Wurzelballens
- Stammrisse (Abbildung 8)

Besonders Stammrisse stellen große Probleme für die weitere Bestandesentwicklung dar, da diese Stammschädigung mögliche Sollbruchstellen für späteren Schnee- oder Windbruch bietet. Aktuelle Erhebungen im Zuge einer Masterarbeit (Ganaus, 2018) an der Universität für Bodenkultur (Institut für Waldbau) veranschaulichen die Schäden in den Hochlagenaufforstungen von Blons. 70–80 % der untersuchen Pflanzen weisen Schäden auf. Ca. 60 % der Pflanzen weisen mit ihrem ausgeprägten Säbelwuchs oder auch Stammrisse auf die Schneebewegungen hin. Dies obwohl seit gut 60 Jahren versucht wird, Gleit- und Kriechbewegungen des Schnees zu unterbinden.

> Schalenwild: "Ein naturnaher Waldbau ist ohne die der Natur angepassten Schalenwildbestände nicht möglich." (Lederle und Scheier, 2002) Das Schalen

wild verbeißt (besonders muss hier auf den selektiven Verbiss der Tanne (Abies alba) hingewiesen werden), schlägt, fegt und schält die Forstpflanzen. Nur mit konsequentem Wildtiermanagement sind die Verjüngung von montanen Mischwäldern und das Aufbringen subalpiner Fichtenwälder realisierbar. Die Lösung des bestehenden Interessenkonfliktes zwischen Jagd und Forst, das sogenannte "Wald-Wild-Problem" stellt die Politik vor große Herausforderungen. Insbesondere das Schalenwild stellt für die Weißtanne einen limitierenden Faktor dar, sodass es bisher nicht gelungen ist, einen ausreichenden Weißtannenanteil von 20-30 % in den begründeten Waldbeständen zu erzielen.



 Abb. 8: Stark ausgeprägter Stammriss, für gewöhnlich sind diese kürzer als 60 cm. [Quelle: WLV Vorarlberg]

 Fig. 8: Strongly drawn trunk cracks, usually these are shorter than 60 cm [Source: WLV Vorarlberg]

Gefahreneinschätzung

Grundlage der Gefahreneinschätzung für Gefährdungen durch Wildbäche, Lawinen und Erosion ist in Österreich der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung. 1975 wurde dieses flächenhafte Gutachten im Forstgesetz als Teil der forstlichen Raumplanung verankert. Die Gefahrenbereiche werden hier in zwei Intensitätsklassen unterschieden. Im Falle der Lawinengefährdung ist lediglich der Parameter des Lawinendrucks maßgebend. Bei einem Lawinendruck über 10 kPa ist eine hohe Intensität gegeben und diese Bereiche werden als "Rote Zone" ausgewiesen. Die "Gelbe Zone" weist eine geringe Gefährdung auf und stellt Bereiche zwischen 1 und 10 kPa dar. (vgl. BMLFUW, 2011)

Die Gefahrenzonenplanung ist ein wichtiges Planungsinstrument. Dies gilt sowohl für



Die Gefahrenzonen werden nur für den sogenannten "Raumrelevanten Bereich" ausgewiesen. Eine Überprüfung der Gefährdung ist zumindest 15 jährlich oder nach Veränderungen in den Einzugsgebieten vorgesehen. (vgl. BMLFUW, 2011)

Der Gefahrenzonenplan von Blons



wurde 2011 überarbeitet. Mit Hilfe von modernen Lawinensimulationsprogrammen konnten Gefahrenszenarien, wie das teilweise Versagen der technischen Anbruchverbauungen, simuliert werden. (vgl. GZP Blons, 2011)

Resümee

Abb.9: Siedlungskonzentration am lawinentechnisch sichersten Platz in Blons. Die rot umrahmten Flächen sind die Wohngebäude mit Stand 2016. Das Luftbild stammt aus den 1950er Jahren. Die türkisen Linien stellen Höhenschichten dar. [VOGIS]

Fig. 9: Settlement concentration at the avalanche technically safest place in Blons. The red framed areas are the residential buildings of 2016. The aerial photo is from the 1950s. The turquoise lines represent contour lines. [VOGIS]

Der Forsttechnische Dienst für Wildbachund Lawinenverbauung, eine Dienststelle des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus verfolgt einen nachhaltigen Lawinenschutz in Österreich. Unabhängig vom politischen Willen und der damit verbundenen Bereitstellung von finanziellen und personellen Ressourcen für den (kostspieligen) Lawinenschutz sind die folgenden drei Punkte maßgeblich für eine nachhaltige Gefahrenvorbeugung:

1. Kompetenz

Wie zuvor beschrieben erfordert die Umsetzung von nachhaltigen Schutzmaßnahmen ein hohes Maß an technischem und forstlichem Wissen. Dies setzt ein kompetentes und engagiertes Personal sowie entsprechende Fortbildungen voraus. Einige Erkenntnisse zeigen sich jedoch erst in der praktischen Umsetzung der Maßnahmen im Laufe eines Berufslebens. Es ist unabdinglich, diesen Erfahrungsschatz weiterzugeben. So stellte man beispielsweise in Blons im Laufe der Jahre fest, dass eine falsche Provenienz bzw. unzureichender Gleitschneeschutz der Forstpflanzen zu kaum schutzwirksamen Beständen führt.

2. Konsequentes Handeln

Erfolge in der Hochlagenaufforstung und bei der Schutzwaldsanierung erfordern eine konsequente und ständige Betreuung. Der Erfolg lässt sich jedoch oft erst nach Jahrzehnten messen. Umso wichtiger sind klare Bewirtschaftungsziele, die sowohl den einzelnen Baum als auch den Schutzwald als Ganzes betrachten. Diese Ziele müssen auch in der nächsten Generation konsequent umgesetzt werden. Bei der Berücksichtigung der Naturgefahren in der Raumplanung ist ein hohes Maß an Durchsetzungsvermögen erforderlich. Es gilt Konflikte zu lösen, die durch den Eingriff in die Besitzrechte der Bevölkerung entstehen.

3. Faktor Zeit

Der Faktor Zeit muss in Zusammenhang mit

einer nachhaltigen Gefahrenvorbeugung gesehen werden. Wie am Beispiel der Aufforstung und Schutzwaldbewirtschaftung in Blons zu sehen ist, konnten über einen Zeitraum von 60 Jahren größere Anbruchgebiete mit Forstpflanzen, hauptsächlich Fichte, bestockt werden. Diese Flächen sind aber aufgrund der schlechten Qualität (Stammrisse, etc.) noch nicht in der Lage dem Schneedruck stand zu halten. Bis diese Flächen wirkungsvoll bestockt sind, muss mit einer weiteren vergleichbar langen Periode, permanenter Aufforstung- und Schutzwaldbewirtschaftung inkl. der Instandhaltung und Wartung der technischen Schutzinfrastruktur gerechnet werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Andreas Drexel Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Bregenz Rheinstraße 32/4 6900 Bregenz andreas.drexel@die-wildbach.at

Literatur / References:

BMLFUVV, 2011: Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung, Fassung vom 04. Februar 2011, BMLFUV- LE.3.3.3/0185-IV/5/2007

GANAUS, K. 2018:

Waldbauliche Analyse der Hochlagenaufforstung im Anbruchgebiet der Hüggenlawine am Falvkopf (Vorarlberg), Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau.

LEDERLE, H. 2017:

Erfahrungen in der Hochlagenaufforstung und Schutzwaldsanierung. Ein Praxisbericht. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, 81. Jahrgang, Dezember 2017, Heft Nr. 180, 154- 167pp. ISBN: 978-3-9504159-4-0

LEDERLE, H. und SCHEIER, G. 2002:

Ökoorientierte Bewirtschaftung von Wäldern in Einzugsgebieten (VBG.). Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, Sonderheft 2002 Vorarlberg, Heft Nr. 148, 110- 119pp.

REVISION GZP Blons 2011, Archiv der Gebietsbauleitung Bludenz

VOGIS, 2018: Vorarlberg GIS, Land Vorarlberg- data.vorarlberg.gv.at, (Abfrage 31. Juli 2018)

YUSUKE HARADA, HIROKI MATSUSHITA, AKITO KANAZAWA

An Attempt to Create a Soundness Evaluation for Snow Bridges

Der Versuch einer Zustandsbewertung von Stahlschneebrücken

Abstract:

The authors collected examples of damage and material aging for avalanche defense structures and summarized the points for their inspections based on related studies. In addition, they carried out a field inspection of 30-50 years old snow bridges during both non-snowy and snowy periods based on variation levels describing their superstructure and foundation. The field inspection indicates that serious conditions are caused primarily by damage rather than material aging. Snow bridges without deformation confirm the mitigation effects of snow creep and glide on a slope even though they are corroded. Based on the result of inspections, the authors describe an idea to evaluate the soundness of snow bridges.

Keywords: soundness evaluation, maintenance, snow bridges

Zusammenfassung:

Die Autoren sammelten Beispiele von Schäden und Materialalterung von Lawinenverbauungen und verglichen diese Erhebungen mit verwandten Studien. Zusätzlich führten sie Felduntersuchungen an 30 – 50 Jahre alten Stützverbauungen sowohl im Sommer als auch im Winter durch und beschrieben die Ergebnisse basierend auf Schadensklassen sowohl für Fundierung und Überbau. Die Felduntersuchungen zeigten, dass weniger die Materialalterung als mehr Schäden an Verbauungen zum Verlust der Funktion führen können. Schneebrücken ohne Schäden erfüllen ihre Funktion nach wie vor, auch wenn Teile davon korrodiert sind. Basierend auf den Ergebnissen der Erhebungen wird eine Idee beschrieben, wie man die Zuverlässigkeit von Schneebrücken evaluieren kann.

Stichwörter: Zustandsbewertung, Erhaltung, Stahlschneebrücken

Introduction

Examples of damages and deterioration of avalanche defense structures were collected and summarized. Field inspections of 30-50 years old snow bridges were conducted during both nonsnowy and snowy periods. In addition, a soundness evaluation for snow bridges, based on vari-

Term	Details
Function	The function that facilities should have in order to prevent an avalanche disaster.
Performance	The strength and stability that must be maintained for a facil- ity to fulfil its function.
Soundness evaluation	Decreased function and performance degradation are confirmed based on inspection results, facility characteristics, and facility material. The soundness evalu- ation of a facility is determined in accord- ance to these.
Variation levels	The degree of the vari- ation for each compo- nent of a facility.
Deterioration	Progressive decrease in material perfor- mance.
Damage	Decrease in material performance that is not caused by deterio- ration.
Tab. 1: The definition of terms Guideline for inspection of eros (MILT, 2014b).	used in this paper referred to sion control facilities (draft)

 Tab. 1: Die Definition von Begriffen welche in diesem

 Beitrag verwendet werden, basierend auf den Richtlinien

 für Inspektion von Einrichtungen für Erosionskontrolle (MILT,

 2014b)

ation levels describing their superstructure and foundation, was considered. Table 1 shows the definitions of the terms used in this paper.

Classification of Damage and Deterioration of Avalanche Defense Structure

Based on the materials concerning the inspection of the avalanche defense structures in Japan and some other countries (Machida, 2009; Margreth, 2007; MAFF, 2018; MILT, 2014b, 2014c; Niigata Prefecture, 2013, 2014; ÖNORM-Regel 24807, 2010; Rudolf-Miklau et al., 2015), as well as the variation levels and soundness evaluations for each of the facilities (JSSC, 2013; MLIT, 2013, 2014a, 2014d; RTRI, 2007a, 2007b, 2007c), the authors arranged the factors of damage and deterioration for each component of the ten types of avalanche defense structures. Table 2 and Figure 1 show the results for the steel snow bridge.



Fig. 1: Cross section of a snow bridge

Abb. 1: Querprofil durch eine Schneebrücke

			P	henor	mena	that o	ause	dam	lage a	and deterioration
27	a the	P. Sand	Snov	v pres	sure	(hear	vy sn	owfal	l, avai	lanche)
	and the second	- Alestan		Rock	fall, Li	andsli	de, S	edime	nt(hea	avy rain, typhoon)
					Runr	ning v	vater	(heav	vy rair	n, typhoon)
						Fatig	ue (h	eavy	rain,	typhoon)
25 53							Wat	er per	netrat	ion and freezing
247								Agin	g	
Facility	Part	Damage,							Eart	hquake
· county		Deterioration								Others
		Moving, Turnover, Deformation	•	•					•	
	All	Significant deformation of supporting surface		•						Entangled vegetation
	Crossbeams	Deformation, Breakdown, Falling	•	•						
		Corrosion						•		
Oteal	Girder	Deformation, Dreakdown	•	•						
steel	Support	Corrosion						•		
bridge		Moving, Turnover	•	•					•	
	Foundation	Lifting, Settlement	•							
	Poundation	Scouring			٠					
		Crack, Defect	•				•			
		Loosen or Loss of bolt	٠	•		•				
	Connection	Corrosion						•		Easy to accumulate rainwater

Tab. 2: The definition of terms used in this paper referred to Guideline for inspection of erosion control facilities (draft) (MILT, 2014b).

Tab. 2: Die Definition von Begriffen welche in diesem Beitrag verwendet werden, basierend auf den Richtlinien für Inspektion von Einrichtungen für Erosionskontrolle (MILT, 2014b)

Evaluating Levels of Variation

Table 3 and Table 4 show the levels of variation and soundness evaluation framework referred to above-mentioned literature. The relationship between the general situation and variation levels are described using the existing literature on deformation, breakdown, scouring, and loosening or loss of bolts, as shown in Tables 5 to 8

(MILT, 2014d; Niigata Prefecture, 2013, 2014; ÖNORM-Regel 24807, 2010;Rudolf-Miklau et al., 2015). Figure 2 shows the evaluation of the variation levels by corrosion of the steel structure based on previous literature (MILT, 2014d; Niigata Prefecture, 2013, 2014). Table 9 shows a general situation in which the corrosion depth and area are standard for evaluation (MILT, 2014d; Niigata Prefecture, 2013, 2014).

Variatio	n levels	Conditions			Variation levels	General situation
i	a	Normality, damage, or deteriora	minor ation		a	Nothing
1	b	There is dat deterioratic functions a	mage or on, but re intact.		b	Slightly deformed (e.g. Deformed center of a crossbeam)
c There is da deterioratio functions a intact.		image or on, and are not		С	Local deformation (e.g. A structure is de bent more than its th	
(Rema Tab. 3: Levels	rkable) of variation and	corresponding cc	onditions.		C+	Remarkably deforme sharply Significant compone (Girder or support) a
Tab. 3: Qualită Soundness evaluation	ätsstufen und der Basic idea	ren Beschreibung	Index		Tab. 5: Variati Tab. 5: Bandbi	on levels of deformation (draf reite von Schäden
Unneces- sary measures	Decreased and degrad facility due or deterior obse	d function ation of the to damage ation is not rved	A		Variation levels	General situation
Unneces- sary measures	Decreased and degrad facility due or deterior obse It is not y	d function ation of the to damage ation is not rved. ret neces-	A		Variation levels	General situation Nothing
Unneces- sary measures	Decrease and degrad facility due or deterior obse It is not y sary to tak against d deteriora it will m be necess fut	d function ation of the to damage ation is not rved. et neces- e measures amage or tion, but ost likely ary in the ire.	A B		Variation levels a b	General situation Nothing Slightly cracked com (not linear), paint cla (cross-section change welded joint, etc.)
Unneces- sary measures	Decrease and degrad facility due or deterior obse It is not y sary to tak against d deteriora it will me be necess fut Due to da deteriorat is a conce	d function ation of the to damage ation is not rved. et neces- e measures amage or tion, but ost likely ary in the ure. mage and ion, there rn that the dagraded	A B C		Variation levels b c	General situation Nothing Slightly cracked com (not linear), paint cla (cross-section change welded joint, etc.) Liner crack or deep of
Unneces- sary measures	Decrease and degrad facility due or deteriora obse It is not y sary to tak against d deteriora it will mo be necess futu Due to da deteriorat is a conce facility is and the pe stability ar redu	d function ation of the to damage ation is not rved. et neces- e measures amage or tion, but ost likely ary in the ure. mage and ion, there rn that the degraded et of strength ced.	A B C C+		Variation a b c c+	General situation Nothing Slightly cracked com (not linear), paint cla (cross-section change welded joint, etc.) Liner crack or deep of Breaking of structure
Unneces- sary measures Follow-up Required measures (Required measures (Remark- able)	Decrease and degrad facility due or deterior. obse It is not y sary to tak against d deteriora it will me be necess futu Due to da deteriorat is a conce facility is and the pe stability ar redu	d function ation of the to damage ation is not rved. et neces- e measures amage or ition, but ost likely ary in the ure. mage and ion, there rn that the degraded et strength ced.	A B C C+		Variation a b c c+ Tab. 6: Variation	General situation Nothing Slightly cracked com (not linear), paint cla (cross-section chang welded joint, etc.) Liner crack or deep of Breaking of structure

Variation levels	General situation			
a	Nothing			
b	Slightly deformed (e.g. Deformed center of a crossbeam)			
с	Local deformation (e.g. A structure is deformed and bent more than its thickness.)			
C+	Remarkably deformed, bent sharply Significant components (Girder or support) are deformed.			
Tab. 5: Variati Tab. 5: Bandb	on levels of deformation (draft). reite von Schäden			
Variation levels	General situation			
Variation levels a	General situation Nothing			
Variation levels a b	General situation Nothing Slightly cracked component (not linear), paint clacking (cross-section change part, welded joint, etc.)			
variation levels a b c	General situation Nothing Slightly cracked component (not linear), paint clacking (cross-section change part, welded joint, etc.) Liner crack or deep cracks in paint			
Variation a b c c+	General situation Nothing Slightly cracked component (not linear), paint clacking (cross-section change part, welded joint, etc.) Liner crack or deep cracks in paint Breaking of structure			
Variation levels	General situation		Variation levels	General situation
---	--	----------	---	---
a	Nothing		a	Nothing
b	Slightly scoured (shallow and local)	с		Loosening or falling of bolts occurred, but the percentage of affected facilities is small.
				(e.g. Less than 5% of the facilities.)
С	Scoured due to running water.	g water.		Loosening or falling of bolts occurred, and the percentage of
C+	Remarkably scoured due to running water.		C+	affected facilities is large. (e.g. More than 5% of the facilities.)
Tab. 7: Variation levels of scouring (draft).			Tab. 8: Variation levels of loosening or loss of bolts (draft).	
Tab. 7: Bandbreite von Auskolkungen			Tab. 8: Bandbreite von Lockerung oder Verlust von Bolzen	



Fig. 2: Evaluation of the variation levels due to corrosion (draft).

Abb. 2: Bewertung der Bandbreiten von Korrosion

An Attempt to Create a **Soundness Evaluation for Snow Bridges**

Visual field inspections of 30-50 years old steel snow bridges were conducted. Based on the inspection results, the soundness evaluation framework of steel snow bridges was demonstrated.

Area of corrosion	General situation	
Large	Rust has occurred overall, or ther are a number of rusty areas.	
Small	The rusty area is small and local.	
Depth of corrosion	General situation	
Large	Significant expansion has occurred on the surface of the steel, or a clear board thickness is conformed.	
Small	Rust is superficial, and board thickness is not conformed.	
Tab. 9: Area and depth of corrosion and corresponding general situation.		

Tab. 9: Bereiche und Tiefe von Korrosion und davon abgeleitet die generelle Situation

Method

The inspection was conducted at 145 steel snow bridges that had installed slopes along a road in Niigata prefecture, Japan (N38°30'39-43", E139°35'17-39", 80-135m a.s.l.). The snow bridges were divided into 4 groups I-IV (Table 10). This road section was closed 19 years ago. Visual inspections for the 145 snow bridges were carried out in November 1995. The authors conducted visual inspections to judge the variation levels using criteria described in Tables 5 to 9 and Figure 2 in November 2017 before the snowy season. The visual proximity inspection items were all damage items from Table 2, and the visual inspection items from road were superstructure damage items from Table 2, with the exception of their corrosion and loosening or loss of bolts (Table 10). In addition, the authors conducted the inspection to confirm effect of the snow bridges to snowpack on a slope in February 2018 during snowy season.

	Construction	Visual in			
Group	Year	From road N	Proximity N	Coating	
I	1967-1968	42	0	Painting	
П	1970-1972	39	10	Painting	
ш	1977-1982	24	16	Painting	
IV	1985	14	0	Hot dip galvanizing	
Total		119	26		

Tab. 10: Condition of the snow bridges in the inspection.

Tab. 10: Zustand der Schneebrücken bei der Inspektion

Results

9 snow bridges of group III that removed by 2017 inspection were selected, which were assumed due to moving or turnover. Figure 3 shows the variation levels for each component of the 1995 inspection (15-20 years after construction). The results indicated that the variation levels of c+ for scouring of foundation were confirmed for more than 60 % of the inspected bridges (Figure 4). On the other hand, variations of girder and support were not observed. In addition, the snow bridges were all installed in depressions, and about 1 m of sediment was deposited on the supporting surface of the 6 snow bridges inspected in 1995. There were variations of corrosion in each component, and there was deformation of the crossbeam.

19 snow bridges (N=4, group I; N=14, group II; N=1, group III) were selected due to collapsed or falling crossbeams (mainly lower site), which was more than 50 % of the inspected

bridges in the 2017 inspections. These bridges were installed in depressions, and sediment had flowed down under them or deposited on their supporting surfaces (Figure 5). Avalanche flow traces were observed for 15 snow bridges during the 2018 winter inspection. Variation levels for each component of the 1995 inspection (16, 23-28 years after construction) that significant deformed of supporting surface by 2017 inspection is shown in Figure 6. Damage of the crossbeams was confirmed for more than 50 % of the inspected bridges, and variation levels of c or c+ for corrosion of superstructures were confirmed for more than 80 %. In addition, upper deformations of the supporting surface due to fallen trees were confirmed for 3 of the inspected snow bridges.

The relationship between the variation levels of corrosion and years since construction for 26 of the snow bridges (N=10, group II; N=16, group III; both of painting) inspected of proximity



Fig. 3: Variation levels for each component of 1995 inspection (removed snow bridges by 2017 inspection).

Abb. 3: Bandbreite für jede Komponente bei der Inspektion 1995 (von Schneebrücken, die 2017 nicht mehr oder nur noch in Resten vorhanden waren) in both 1995 and 2017 (see Table 10) is shown in Figure 7. The result indicated that the corrosion of the crossbeam and the connection progressed than girder and support. The crossbeams mainly upper side of group I snow bridges were found to fall, or likely to fall, due to corrosion. On the other hand, the superstructures of group III snow bridges suffered from corrosion, but falling crossbeams due to corrosion were not observed. In addition, at the 2018 winter inspection, the mitigation effects of snow creep and glide on a slope were confirmed, with the exception of crossbeam falling or likely to fall. However, the deflection of the crossbeam caused by the snow pressure was observed for 3 snow bridges of group I.





Fig. 4: Removed snow bridges from 1995 to 2017 inspection (same snow fence). In 1995 inspection, the variation levels for scouring of foundation was of c+.

Abb. 4:

Vergleich Schneebrücke Inspektion 1995 – 2017. Im Jahre 1995 wurde die Schneebrücke bezüglich Kolkbildung mit c+ bewertet.

100%

0%

breakdown.

ģ

g

Corrosion

breakdo

breakdo

õ Crossbeam Girder

Corrosion

8

Variation levels



Connection



Foundation

□a □b □c ■c+ N=19

Fig. 7: Relationship between variation levels of corrosion and years since construction. The vertical bar shows the variable width of variation levels.

Abb. 7: Beziehung zwischen Bandbreite der Korrosion und Lebensjahren. Die vertikalen Balken zeigen die Bandbreite der Korrosion





Fig. 5: Deformation of supporting surface due to sediment deposition (same snow fence).

Abb. 5: Deformation von Stützwerken durch Sedimentablagerung (gleiche Schneebrücke)

Discussion

Based on the inspection results, the function, performance, and soundness evaluation of every snow bridge (draft) is shown in Table 11. According to the guideline for inspection of erosion control facilities (draft), soundness evaluation is described to be applicable to the entire defense structure in consideration of the variation levels of each component, the whole slope condition, and the surrounding environment (MILT, 2014b). Snow bridges are structures that protect slopes from avalanches by placing multiple structures in the avalanche starting zone. The effect of damage may be limited to the installation position when considering the whole slope. However, when snow bridges with evaluated soundness C+ (require measures) are located under the condition are shown in Table 12, considering priority measures may be necessary. In addition, with the exception of the snow bridges listed in Table 12, snow bridges that are installed at the top of an avalanche starting zone are susceptible to rock fall and sediment deposition. Endmost of snow bridges in installed area influence on end-effect load of snowpack on a slope. Therefore, sound-

Soundness evaluation	Function	Perfor- mance	Evaluation criteria
A : Unnecessary measures	Good	Good	• The construction is the initial installation, which is satisfactory.
B : Follow-up	Good	Good	• Although there is confirmed damage and deterioration, the appearance is like that of the original installation. (Variation level for each part: b)
C : Required measures	Deterio- ration	Deterio- ration	 Variation levels of crossbeam and connection : c (The measure priority of the crossbeam is lower than upper.) Variation levels of foundation: c Sediment deposition on the supporting surface: more than 0.5 m
C+ : Required measures (Remarkable)	Loss	Loss	 Moving, turnover of snow bridge Significant deformation of supporting surface Variation level of girder and support: c or c+ Variation level of crossbeam, connection and foundation: c+

Tab. 11: Soundness evaluation of every snow bridge (draft)

Tab. 11: Zuverlässigkeitsbewertung von jeder Schneebrücke (Konzept).

Located (C+ snow bridges) condition	Concern (if an avalanche release the located (C+ snow bridges) area)		
From top to bottom located longitudinally in part of the avalanche starting zone (e.g. ava- lanche path, depressions).	An avalanche has a potential to reach facilities to be protected (e.g. houses, roads).		
Located continuously up and down, left and right in part of the avalanche starting zone.	Lower snow bridges are expose to the possibility of being damaged due to avalanche flow.		
Tab. 12: Located condition and concern of snow bridges with evaluated soundness C+ (require measures).			

Tab. 12: Standort der Schneebrücke und Beziehung zur bewerteten Zuverlässigkeit C+ (Maßnahmen erforderlich)

ness evaluation of snow bridges in the whole slope should be comprehensively considered terrain, vegetation and snow conditions from installed area of snow bridges to facilities to be protected. It is important to record the history and installed position of the snow bridges with soundness evaluations.

Future work

The authors have conducted the points of Soundness Evaluation for avalanche defense structures in the starting zone, avalanche path and deposition zone. From now on, they are going to create the inspection manual put together abovementioned results, inspection sheets and sample images of damage and deterioration to contribute efficient and effective maintenance of avalanche defense structure.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dr. Yusuke Harada Snow Avalanche and Landslide Research Center, Public Works Research Institute 2-6-8 Nishiki Myoko Niigata, 944-0051 JAPAN y-harada@pwri.go.jp

Dr. Hiroki Matsushita

Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute 1-3-1-34 Hiragishi Toyohira-ku Sapporo Hokkaido, 062-8602 JAPAN matsushita-h@ceri.go.jp

Akito Kanazawa

Snow Avalanche and Landslide Research Center, Public Works Research Institute 2-6-8 Nishiki Myoko Niigata, 944-0051 JAPAN a-kanazawa@pwri.go.jp

Literatur / References:

Japanese Society Of Steel Construction (JSSC) (2013). Inspection, Diagnosis and Measure Technic of Steel Infrastructure (FY 2013): 371 pp. (in Japanese)

Machida M. (2009).

Maintenance and Management of the Anti-avalanche Structures in order to Sustain their Function and Effect. snow Engineering of Japan, Vol.25, No.4: 276-279. (in Japanese)

Margreth, S. (2007).

Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to en-forcement, Environment in Practice No.0704, Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland: 134 pp.

Ministry Of Agriculture, Forestry And Fisheries (MAFF). (2018). Manual of plan for forestry facilities: 207pp. (in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2013). Guideline for general inspection (draft) - road slope protection work and civil structure - Reference: 32 pp. (in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2014a). Guideline for inspection and Diagnosis of Ports and Harbours facilities (draft) (Part 1): 19 pp. (in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2014b). Guideline for inspection of erosion control facilities (draft): 138 pp. (in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2014c). Guideline for long-life plan of erosion control facilities (draft): (in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2014d). Guideline for Periodic Road Bridge Inspection: 38 pp. (in Japanese)

Niigata prefecture. (2013). Guideline for inspection of snow and rockfall protection facilities in Niigata pre-fecture (draft): 40pp. (in Japanese)

Niigata Prefecture. (2014). Guideline for Periodic snow shed and shelter Inspection in Niigata prefecture: 106 pp. (in Japanese)

Niigata Prefecture. (1996). Report of Inspection of snow bridge in FY1995: 225 pp. (in Japanese) ÖNORM-Regel 24807. (2010).

Permanenter technischer Lawinenschutz –Überwachung und Instandhaltung, Ausgabe: 2010-06-01

Railway Technical Research Institute (RTRI). (2007a). Standard of maintenance for railway structure (Concrete structure), Maruzen Publishing inc.: 291 pp. (in Japanese).

Railway Technical Research Institute (RTRI). (2007b). Standard of maintenance for railway structure (Foundation structure and earth pressure protec-tion), Maruzen Publishing inc.: 218 pp. (in Japanese).

Railway Technical Research Institute (RTRI). (2007c). Standard of maintenance for railway structure (steel and composite structure), Maruzen Publishing inc.: 208 pp. (in Japanese)

Rudolf-Miklau, F., S. Sauermoser and A. Mears (eds.). (2015). The Technical avalanche protection handbook, Ernst & Sohn: 408 pp.

ELENA MUNTÁN, PERE OLLER

Historic snow avalanches in the Pyrenees: the destruction of the small village of Àrreu (Pallars Sobirà)

Historische Lawinen in den Pyrenäen; die Zerstörung der kleinen Siedlung von Àrreu (Pallars Sobirà)

Abstract:

Our objective was to reconstruct the historic event which devastated the small village of Àrreu (Pallars Sobirà, Pyrenees) in 1803. We combined several methodologies. Search in historical documents rendered the background information: when and where it occurred, and how many people were killed. Field inspection and dendrogeomorphology allowed us to identify several events of various sizes, and to estimate frequency at different elevations, but due to the short age of the trees, we did not detect evidence of the most extreme event. Finally, with all the data we simulated the 1803 event and reproduced the most likely trajectory which could have destroyed the old village.

Keywords: Historic snow avalanches, Pyrenees, dendrogeomorphology, snow-avalanche modeling

Zusammenfassung:

Unser Projekt hatte die Aufgabe, die Lawine zu rekonstruieren, welche im Jahre 1803 die kleine Ortschaft Àrreu zerstörte. Um dieses Ziel zu erreichen kombinierten wir verschiedene Methoden wie die Suche nach historischen Dokumenten, Geländebegehungen und dendrochronologische Untersuchungen. In den historischen Dokumenten konnten wir vor allem Angaben über die Hintergründe und Anzahl der Opfer finden. Mithilfe dieser Methoden konnten wir mehrere Ereignisse dokumentieren, allerdings war auf Grund des geringen Alters der Bäume das gesuchte Extremereignis von 1803 nicht dabei. Über die unterschiedliche Reichweite der Lawinen versuchten wir die Jährlichkeiten abzuschätzen. Mittels Lawinensimulationsmodellen versuchten wir auf Basis der erhobenen Daten die Katastrophenlawine und den wahrscheinlichsten Verlauf zu rekonstruieren, welcher zur Zerstörung der Ortschaft geführt hatte.

Stichwörter: Historische Lawinen, Pyrenäen, Dendrogeomorphologie, Lawinenmodellierung

Introduction

Several historic snow avalanches which occurred in the past have destroyed villages in the Catalan Pyrenees. They correspond to the more than 100years return period category. These events are kept in the collective memory of the people, but have not been studied from the avalanche-dynamics point of view to this day. On this occasion our objective was to reconstruct the event which took place in Àrreu.

In 1803, a snow avalanche devastated the small village of Àrreu. According to historical documentation, 17 people were killed and their houses destroyed (Madoz, 1845-1850). Previous to the occurrence, a document written in 1790 explains that the village consisted of 7 houses and



42 souls, and was oriented to the west (Zamora, 1790). After the disaster, the people of Àrreu decided to move the village to a safer place. To the present day, after 215 years, there is no evidence of a similar phenomenon in the proximity of the ruins of the old village. The story of the catastrophe remains like something legendary in the valley's collective memory, as a circumstance belonging to the past, unlikely to occur nowadays.

Study area

Àrreu is an abandoned village of Pallars-Sobirà district in the Pyrenees. Before 1803 the placement of this village was some 500 m to the west of the present location (now called Bordes d'Àrreu) (Fig. 1).



Fig. 1: New (left) and former (right) villages of Àrreu, now both abandonned. Abb. 1: Neue (links) und alte (rechts) Siedlung von Àrreu, heute beide verlassen



Abb. 2: Einzugsgebiet Barranc de Monars

The river, which flows past both sites is Àrreu river. To this main stream a lateral torrent is Barranc de Monars. This mountain torrent has a broad watershed (Fig. 2), and a narrow gorge between 16501400 m a.s.l. where it discharges into Àrreu river. The highest elevation is Muntanyó Peak (2454 m a.s.l.) (Fig. 3).



Fig. 3: Map of the study area. The avalanche path is nested in Monars torrent watershed (in orange colour). Violet arrow: most likely avalanche trajectory to Bordes d'Àrreu (old Àrreu). Blue arrow: dense and relatively frequent avalanche trajectory. Red circles indicate the location of Bordes d'Àrreu (old Àrreu) and Àrreu (new Àrreu).

Abb. 3: Karte des Untersuchungsgebietes. Die Lawinenbahn ist eingebettet in das Wildbacheinzugsgebiet Monars. (orange Farbe). Der violette Pfeil zeigt die wahrscheinlichste Lawinenrichtung nach Bordes d'Àrreu (old Àrreu). Der blaue Pfeil zeigt die Richtung von relativ häufigen Fließlawinen. Die roten Kreise zeigen die alte Siedlung (Bordes d'Àrreu) und die neue Siedlung (Àrreu)

Methodology

To explore the background of the 1803-catastrophic event, information about avalanche activity in the surroundings of Àrreu was gathered from:

- Historical documents
- Photointerpretation
- · Field inspection
- Dendrogeomorphology

Interviews to locals living in the villages nearby were carried out, but no relevant data was retrieved. From the Avalanche Data Base of Catalonia (BDAC, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) (Oller et al, 2006) we retrieved the record of a major avalanche event during winter 1995-1996 in Bc. de Monars, which reached Àrreu river at 1375 m a.s.l.

Finally, the 1803 event was simulated with statistical and dynamics models (α - β model, RAMMS, SL1D).

Search in historical documents

Three historical documents were most determining in finding out from where the destructive avalanche had descended and to realize the devastating effects on buildings and the amount of lives lost.

The reissued Zamora questionnaire of 1790 (Zamora, 1997) contributes to draw the picture of Àrreu before the calamity. According to this text, the village was composed of 7 houses. It was located close to Àrreu river, and all houses were placed in the same unity. The air of this description is optimistic: the village celebrates its holiday the first Sunday of October, which lasts three days, with musicians. The place has forests, plenty of pasture for all kinds of livestock, and fruits as in the rest of the valley. Consequently, one could say that the village of Àrreu was somehow prosperous a few years before the event in 1803. Later, Madoz (1845-1850) refers the snow avalanche disaster in Àrreu. It explains that the village was placed a quarter of an hour to the north before 1803, but due to the descent of a huge mass of snow which destroyed the 10 houses (supposedly, the whole village) and killed 17 people, it was rebuilt at the current location sheltered from these catastrophes.

From the prayer Goigs de la Mare de Déu de la Neu d'Àrreu (from Urgell Diocese) devoted to the Virgin of the Snows (literally translated) placed in a shrine close to the village, we found out that the avalanche had occurred in Bc. de Monars. The prayer is basically a plea to the Virgin to defend the lives of the villagers from snow avalanches, and it was composed some time after the disaster.

Photointerpretation

The topographic profile of the most frequent trajectory of avalanches (Fig. 3 and 4) begins with a 29° slope at the starting zone, followed by a track zone with a mean slope angle of 20°, which is broken by a steep scarpment at 1600 m a.s.l., and becomes very steep (37°-27°) until Àrreu river. The run-up has -9° for a 10 m vertical drop, and a wide and low angle slope (9°) in the direction of Bordes d'Àrreu (old Àrreu).

The potential starting zone is 850 m wide and attains an area of 73 ha. Two sub-starting zones can be identified, N and S, being the northern one the largest and probably more active, oriented towards ESE, with a good configuration for N and NW wind loading. The track can reach 80 m wide in its wider part (1750 m a.s.l.). Once at Àrreu river, evidence on the forest is less clear.

The orthoimage taken in 1997 allowed mapping the 1996 avalanche reaching 1375 m a.s.l., 120 m downstream from the confluence of Monars torrent and Àrreu river. Elena Muntán, Pere Oller: Historic snow avalanches in the Pyrenees: the



Fig. 4: Topographic profile of the most likely trajectory of the avalanche that reached Bordes d'Àrreu (old Àrreu) in 1803. Abb. 4: Längsprofil der wahrscheinlichsten Lawinenbahn, der Lawine, die die Ortschaft Bordes d'Àrreu im Jahre 1803 zerstörte.

Field inspection

A field inspection covering the main avalanche path along Bc. de Monars was carried out during autumn 2015. Evidence of past snow avalanches on vegetation was recorded. Thus the lateral limits of avalanches were observed and noted, as well as an estimation of the frequency of events along the path.

At present, Monars watershed is forested to a great extent, but the survey revealed that trees are young, in general. Most trees are less than 60 years old, and no tree was found to reach more than 200 years. Therefore, the possibility of detecting any dendrochronological evidence of the event in 1803 was soon discarded.

From 1600 to 1900 m a.s.l., the main tree species are: mountain pine (Pinus uncinata Ramond ex DC. in Lam et DC.) and birch (Betula L. sp.). Below, Scotts pine (Pinus sylvestris L.) and ash (Fraxinus L. sp.) are also present. All these tree species can be used to dendrochronologically date geomorphological processes (Stoffel et al, 2010), and consequently, disturbance evidence was noted and georeferenced to prepare the following dendrochronological campaign.

A recent avalanche occurrence was identified throw forest damage on the track. After reviewing the orthoimages, this event could have taken place between summer 2013 and summer 2014. Dendrogeomorphological analysis confirmed that the avalanche took place in winter 2013/14. This event reached 1630 m a.s.l., above the waterfall at Monars torrent. The width of this avalanche event could be measured at 1750 m a.s.l., and was 15 m. The only major occurrence in recent decades in this avalanche path is known to have happened in 1995-1996 and had been 30-40 m wide at the same elevation. Other older evidences were observed during the field inspection at both sides of the track, over the waterfall, which revealed a wider path of around 80 m for less frequent events.

Snow-avalanche evidence from dendrogeomorphology

Dendrochronological samples from 20 selected trees were gathered and analysed to date disturbance events recorded in their tree rings (Fig. 5). The analysis was carried out following the methodology described in Muntan et al. (2004). Trees showed evidence of several events along the avalanche path (Fig. 6), most of which had not reached below the waterfall in the torrent gorge. Only 1995-96 event was known before this dendrogeomorphological study. Thus, dendrogeomorphology increased our knowledge on the avalanche activity of this path. Even so, trees were not old enough to have recorded the event in 1803.



Fig. 5: Graph of the trees with growth-disturbance evidence per year. The most likely winters with avalanche occurrences are noted. Only 1995-96 was known before the dendrogeomorphological analysis.

Abb 5:

Schäden an Bäumen durch Lawinen. Das Diagramm zeigt die wichtigsten Lawinenwinter, vor der Untersuchung war nur der Winter 1995/1996 bekannt.



Fig. 6: Trees sampled along the avalanche path (circles). Blue circles indicate frequency of avalanche events as explained in the text: from dark blue (infrequent) to light blue (very frequent). Green circles correspond to sampled trees which have not displayed clear avalanche evidence.

Abb. 6: Entlang der Lawinenbahn gesammelte Baumproben. Blaue Kreise zeigen die Häufigkeit von Lawinen von dunkelblau (häufig) bis hellblau (selten). Die grünen Kreise zeigen Standorte von Baumproben, welche keine klaren Hinweise auf Lawinen gegeben haben. Even though the number of sampled trees was not high, from the dated events, an estimate of the frequency of the process at different elevations could be inferred.

In Figure 6 the gradation of blue colour from light to dark corresponds to the more frequent to the less frequent avalanche event occurrence. This is a rough estimate of the periodicity of avalanche events along Monars avalanche path.

The tree at the highest position (1850 m a.s.l.) showed 1 event every 5 years. This tree, as many others at this elevation in the avalanche path, is young (29 years old), suggesting that the frequency of events does not allow an old forest to develop.

Descending along the track, the next group of trees (1750 m a.s.l.) show one event every 6 years. Having dated the recent event in 2013-14, which, after the results of the field inspection, stopped at 1630 m a.s.l., we consider that most events have their runout between 1750 and 1630 m a.s.l., just above Monars

waterfall, as the torrent becomes a narrow gully downstream.

Below the waterfall and till 1400 m a.s.l. at the confluence of both torrents, Monars and Àrreu, an estimate of the periodicity of avalanches is 1 event every 15 years. Not much farther below, at 1360 m a.s.l, evidence of two major events is found (1971-72 and 1995-96), and the periodicity can be established in one event every 25 years. Here, sampled trees are approximately 50 years old. The periodicity of the most extreme event in 1803, one event every more than 215 years, attains the place of Bordes d'Àrreu (1350 m a.s.l.).

Simulation of the snow avalanche which destroyed the old village of Àrreu

To start with, the α - β model (Lied and Bakkehoi, 1980) was used to obtain a first approach to the runout distance (Fig. 7). We used parameters obtained by Furdada and Vilaplana (1998) for the Catalan Pyrenees.



Results show that the old village of Àrreu lied around the α point. So, according to the α - β model, the old village could be attained by an extreme avalanche (T>100 years). However, this calculation is not fully reliable, for the topographic profile is not parabolic, it follows Monars ravine and Àrreu river bed, but there is a scarpment at 1600 m a.s.l. The result reproduces a maximum runout of a flow that follows Àrreu river. One limitation of this model is that it cannot simulate the run up of the avalanche on the opposite slope. In any case, this result is a first estimation of the avalanche runout, showing a long runout distance downstream of Àrreu river.

Subsequently, RAMMS (Christen et al., 2010) was used to simulate the dense part of the avalanche. After analysing the avalanche path and the avalanche inventory and considering that 1803 avalanche could correspond to a T300 major scenario (being this avalanche the largest known since that date in this path, 215 years), and it having occurred in the LIA-transition climatic context, the following premises were taken into

- A broad starting zone (31 ha), based on the evidences on vegetation from 1995-96 known major avalanche occurrence.
- A release snow depth of 172 cm (base value, d₀^{*}), resulting from the 300-year snow depth increase in 3-days value of 142 cm (ΔHS300) (from the close-by nivometeorological station, Bonaigua) and the elevation and wind accumulation corrections, assuming an extreme event (Salm et al., 1990).
- A release volume amounting to 495,000 m³, which is considered a large avalanche.
- Density of the snow in the starting zone was set in 300 kg/m³, as recommended by the SLF.
- Regarding cohesion, our experience in the Pyrenees is that 50 Pa is a coherent value to start iteration, but results showed that the avalanche did not reach Bordes d'Àrreu even after assigning a 0 value.



Fig. 8: RAMMS simulation result: the avalanche gets very close to the place Bordes d'Àrreu (old Àrreu), but the model fails to reproduce the extent of the 1803 avalanche event, which devastated the old village.

Abb. 8: RAMMS Simulation: Die Lawine geht nahe an die alte Siedlung Bordes d'Àrreu, erreicht sie aber nicht.

destruction of the small village of Àrreu (Pallars Sobirà)

RAMMS results (Fig. 8) show how the avalanche, flowing through Monars ravine, crosses Àrreu river and overflows the left side of the valley, and just reaching the limits of the old village of Àrreu, returns to the river bed. Simulations adding other smaller starting zones, assuming very extreme and fragile release conditions, gave similar results. For this reason, SL1D was used to simulate the powder part of the avalanche (Fig. 9). At the site where the houses were located, the initial pressure would have been 2 kPa to 1,5 kPa up to 10 m high. This pressure would not have been high enough to destroy the houses walls.

In the end, the simulations could not completely explain the event, and for that reason, the conditions of the avalanche which destroyed the old village of Àrreu are still not well understood.

Conclusion

All information sources were useful to rebuild the 1803-avalanche scenario, but although the simulation reproduced a similar event, it did not succeed to completely reconstruct the one which destroyed the former village of Àrreu. In this regard, we question whether an avalanche in the LIA transition could respond to extraordinary conditions, and perhaps conditions considered for a T300 avalanche are not the most adequate for an avalanche occurred under that climatic regime (e.g. different friction conditions, higher release snow depth, etc).

Consequently, research is still to be done, these and other possibilities have to be checked, for Àrreu 1803-catastrophe is still an open case.



Fig. 9: SL1D results: maximum pressure profile at Bordes d'Àrreu location.

Abb. 9: SL1D Resultat: Maximaler Staublawinendruck bei Bordes d'Àrreu

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Elena Muntán

Freelance Dendrochronology Consultant St. Joan, 1 – 3. St. Pere de Vilamajor, 08458 Barcelona, Spain emuntanbordas@gmail.com

Pere Oller GeoNeu Risk Av. Pompeu Fabra 19-21, Esc. A, Pral. 1a., 08024 Barcelona, Spain geoneurisk@geoneurisk.com

Literatur / References:

ANONYMOUS, (s. XIX?) Goigs de la Mare de Déu de la Neu d'Àrreu (from Urgell Diocese)

i.n.n.

CHRISTEN, M., J. KOWALSKI, J., BARTELT, P. (2010) RAMMS: numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol., 63(1–2), 1–14. FURDADA, G., VILAPLANA, J.M. (1998) Statistical pre-diction of maximum avalanche run-out distances form topographic data in western Catalan Pyrenees (NE Spain), Annals of Glacionlogy, 26, 285-288.

LIED, K., BAKKEHOI, S. (1980) Empirical calculations of snow-avala nc he runout distance based on topographic parameters. J. Glacial., 26(94), 165-177.

MADOZ, P. (1845-1850) Diccionario geográfico, estadístico e histórico de España y sus posesiones de ultramar.

MUNTÁN, E., ANDREU, L., OLLER, P., GUTIÉRREZ, E., MARTÍNEZ, P. (2004)

Dendrochronological study of the Canal del Roc Roig avalanche path: first results of the Aludex project in the Pyrenees. Annals of Glaciology 38, 173-179.

OLLER, P., MUNTÁN, E., MARTURIÀ, J., GARCÍA, C., GARCÍA, A., MAR-TÍNEZ, P. (2006) The avalanche data in the Catalan Pyrenees. 20 years of avalanche map-

ping. Proceedings of the International Snow Science Workshop. Telluride, Colorado (EUA). p. 305-313.

STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M., BUTLER, D.R., LUCKMAN, B.H. (Eds.) (2010) Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-the-Art, Advances in Global Change Research 41, Springer Science+Business Media B.V., 505 pp.

ZAMORA, F. de. (1790) Diario de los viajes hechos en Cataluña.

SALM, B., BURKARD, A., GUBLER, H., (1990) Berechnung von Fliesslawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Eigdenössichen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Davos).

ingenieurgesellschaft für naturraum - management GmbH & Co KG

Unsere Leistungen im Naturgefahren – Management:

Regional- u. Gefahrenzonenplanungen, Schutzkonzepte, Gutachten, Einreichplanungen, Ausschreibungen, Umsetzungsbegleitung /-kontrolle

Weitere Bereiche:

Umwelttechnik, Rohstoff- u. Deponieprojekte, Freizeitinfrastruktur- u. Sportstättenplanungen



Maria-Theresien-Straße 42a, A - 6020 Innsbruck Tel.: ++43(0)512/342725-0 Mail: office@inn.co.at Web: www.inn.co.at

ANDREAS GOBIET, SVEN KOTLARSKI, PRISCO FREI, JAN RAJCZAK, DEBORAH VERFAILLIE, SAMUEL MORIN, MARC OLEFS

Klimawandel – Was bedeutet er für den Schnee in den Alpen?

Climate change – What does it mean for the snow in the Alps?

Zusammenfassung:

Die Alpen sind von Klimawandel stark betroffen. Seit 1880 hat die Temperatur um zwei Grad zugenommen, was dem doppelten der globalen Temperaturzunahme entspricht. Das betrifft nicht nur die Jahresmitteltemperatur, sondern annähernd gleichermaßen auch die Wintertemperaturen und die Temperaturen an hochalpinen Standorten und hat wichtige Auswirkungen auf den natürlichen Schnee. Auswertungen von Messdaten und Klimaszenarien zeigen, dass die Schneedeckendauer bereits in allen Höhenlagen abgenommen hat und in Zukunft weiter abnehmen wird. Es wird erwartet, dass das mittlere Schneewasseräquivalent bis zur Mitte des Jahrhunderts um 20% abnimmt und sich danach entweder stabilisiert, falls das "2 Grad Ziel" erreicht wird (Treibhausgasszenario RCP2.6), oder um insgesamt 85% unter 1500 m und 50% über 2500 m weiter abnehmen wird, falls keine Klimaschutzmaßnahmen getroffen werden (Treibhausgasszenario RCP8.5).

Stichwörter: Klimawandel, Schnee, Alpenraum

Abstract:

The European Alps are strongly affected by climate change. Since 1880 the average temperatures rose by 2°C, which is about twice the global mean warming. This refers not only to annual mean temperature, but nearly as much also for winter temperatures and temperatures on high mountain sites and has important consequences for natural snow. The analysis of measured data and climate scenarios shows that snow cover duration is already shortening at all altitude levels and will continue to decrease in future. Average snow water equivalent is expected to further decrease by 20% until 2050. After that, the decrease might be stabilised, if the RCP2.6 scenario ("+2 degree goal") becomes reality, or might further decrease by around 85% below 1500 m und 50% above 2500 m until the end of the century, if greenhouse gasses are further emitted without mitigation (scenario RCP8.5).

Einleitung

Klimawandel - ein Thema, das erst kürzlich durch den neuen "1.5 Grad-Bericht" des Weltklimarates (http://www.ipcc.ch/report/sr15/) wieder stärker in das Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt wurde. Der Bericht zeigt auf, dass die derzeit geplanten Klimaschutz-Bemühungen bei weitem nicht ausreichen, um die weltweite Erwärmung, verglichen mit vorindustriellen Zeiten, unter +1.5 Grad Celsius zu halten. Die Atmosphäre hat sich bereits um ein Grad erwärmt, und ein gewisses Maß an weiterer Erwärmung ist selbst bei radikalen Klimaschutzbemühungen nicht mehr vermeidbar. Wir entscheiden heute also längst nicht mehr darüber, ob wir den Klimawandel vermeiden wollen, sondern vielmehr darüber, wie stark sich das Klima ändern wird. Die Spannweite reicht nach heutigen Schätzungen von den angesprochenen +1.5 Grad bis etwa +5 Grad weltweiter Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.

Was bedeutet nun aber "weltweite Erwärmung" für den Alpenraum? Wir wissen zum Beispiel, dass die Temperaturen in der Vergangenheit im Alpenraum doppelt so schnell gestiegen sind wie im weltweiten Mittel (+2 Grad seit 1880: Auer et al., 2007). Das ist zum größten Teil der "Kontinentalität" der Alpen geschuldet, also der Entfernung zu den großen Ozeanen. Weiters wissen wir, dass die Kryosphäre (Eis und Schnee) im Alpenraum sehr sensibel auf Erwärmung reagiert (z.B. Beniston et al., 2018). Ein Beispiel ist der Gletscherrückgang, der für Österreich im jährlichen Gletscherbericht des Alpenvereins sehr gut dokumentiert wird (https://www.alpenverein. at/portal/service/presse/2018/gletscherbericht. php), ein anderes Beispiel ist das vermehrte Auftauen von Permafrost und die damit einhergehende Destabilisierung von Gipfeln und Hängen. Allgemeiner betrachtet hat die Kryosphäre im Alpenraum eine große ökologische und wirtschaftliche Bedeutung: Sie speichert Wasser, und durch Änderungen in diesem Wasserspeicher – sei es nun durch die geänderte Menge des gespeicherten Wassers, oder durch den geänderten Zeitpunkt der Schnee- und Gletscherschmelze – verändert sich auch die saisonale Wasserverfügbarkeit für Wasserkraft, Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung. Außerdem ist Schnee eine wichtige Grundlage für den Wintertourismus. In diesem Zusammenhang sei betont, dass sich dieser Artikel ausschließlich mit Naturschnee befasst und die Frage der technischen Schneeerzeugung ausklammert. Wir reden hier also nicht von der Schneesicherheit in Skigebieten, wo durch Technik viel ausgeglichen werden kann.

Um die langjährige Entwicklung des Schnees im Alpenraum besser verstehen zu können, betrachten wir zuerst die zwei wichtigsten meteorologischen Zutaten für Schnee: tiefe Temperaturen (unter etwa +2 Grad Celsius Tagesmitteltemperatur) und Niederschlag.

Wintertemperaturen

Wie schon erwähnt, sind die Temperaturen im Alpenraum bereits um +2 Grad gestiegen. Das ist ein Jahresmittelwert für den gesamten Alpenraum und bezieht sich – gemäß des Flächenanteils der unterschiedlichen Höhenstufen – hauptsächlich auf tiefere Lagen. Aber wie sieht es dort aus, wo es für Schnee besonders interessant ist? Steigt die Temperatur auch im Winter und auf den Bergen?

Die Antwort ist knapp und klar: Ja, auch im Winter und auf den Bergen steigt die Temperatur. Und zwar ebenfalls um etwa +2 Grad (in den vergangenen 90 Jahren). Allerdings ist die natürliche Variabilität der Wintertemperaturen, also das "Auf und Ab" von Jahr zu Jahr sehr groß. Diese natürliche Variabilität maskiert den langjährigen Erwärmungstrend und macht ihn teilweise unkenntlich.



Abb. 1: Wintertemperaturen (Dezember, Januar, Februar) Sonnblick seit 1927/28. Foto: Michael Staudinger

Fig. 1: Winter temperatures (December, January, February) Sonnblick since 1927/28. Photo: Michael Staudinger.

Die Wintertemperaturen am Sonnblick (gemessen in 3105 m über dem Meer) demonstrieren diesen Sachverhalt sehr deutlich (Abb. 1): Innerhalb der letzten 90 Jahre beträgt der Temperaturanstieg 1.9 Grad. Dieser Trend ist statistisch signifikant und passt sehr gut in das allgemeine Bild des Klimawandels im Alpenraum. Betrachtet man aber 30-jährige Zeitfenster isoliert (violett in Abb. 1), ergeben sich alle möglichen unterschiedlichen "Trends", je nachdem wo genau man das Zeitfenster positioniert. Statistisch gesprochen sind das gar keine Trends, sondern Zufallsergebnisse, deren Ursache in der natürlichen Variabilität zu suchen ist. Sehr ähnliche Ergebnisse finden sich überprüfter weise an allen qualitativ hochwertigen und homogenisierten Bergstationen der Ostalpen. Sie sind im Verlauf fast deckungsgleich,

und die langjährigen Trends betragen: Schmittenhöhe (1973 m): +2.2 °C; Patscherkofel (2251 m): +2.1 °C; Zugspitze (2962 m): +2.4 °C; Obergurgl-Vent (1938 m): +2.2 °C; Säntis (2502 m, genau genommen schon in den Westalpen): +2.1 °C (Gobiet et al., 2017).

Was lernen wir daraus? Einerseits, dass sich die globale Erwärmung auch im hochalpinen Winter deutlich und signifikant als langjähriger Erwärmungstrend niederschlägt und andererseits, dass wegen der natürlichen Variabilität für klimatologisch kurze Zeiträume (also z.B. für die kommenden 10 Jahre) keine konkreten Vorhersagen möglich sind. In anderen Worten: Die Bergwinter des kommenden Jahrzehnts könnten kälter ausfallen als die des vergangenen Jahrzehnts (etwas wahrscheinlicher ist jedoch das Gegenteil). Die Bergwinter der kommenden 30 Jahre werden aber mit ziemlicher Sicherheit wärmer sein als die der vergangenen 30 Jahre. Die betrachtete Zeitskala bestimmt also, ob die unvorhersagbare natürliche Variabilität oder der vorhersagbare langjährige Erwärmungstrend überwiegt.

In der Aussage über die kommenden 30 Jahre steckt implizit die Annahme, dass künftig im Alpenraum ein ähnlicher Erwärmungstrend wie in der Vergangenheit herrschen wird. Zahlreiche wissenschaftliche Studien, Klimamodelle und das Wissen über die physikalischen Zusammenhänge im Klimasystem bestätigen diese Annahme. Abb. 2 zeigt, wie sich nach heutigen Abschätzungen die Wintertemperaturen (zum Vergleich auch die Sommertemperaturen) im Ostalpenraum in Abhängigkeit von unterschiedlichen Annahmen über zukünftige menschliche Treibhausgasemissionen ("Treibhausgasszenarien") weiter entwickeln werden. Bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts wirken sich die Unterschiede zwischen den betrachteten Treibhausgasszenarien kaum aus. Wir können, so oder so, mit etwa einem Grad zusätzlicher Erwärmung im Alpenraum rechnen. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts treten die Unterschiede der Treibhausgasszenarien aber deutlich zutage: Bei intensiven Klimaschutzbemühungen kann die weitere Temperaturzunahme im Vergleich zu heute auf ein Grad beschränkt werden (grün, Treibhausgasszenario RCP2.6). Insgesamt beträgt die Temperaturzunahme im Alpenraum ab 1880 dann etwa +3 Grad. Wenn wir keinerlei besondere Klimaschutzmaßnahmen ergreifen, muss hingegen mit einem weiteren



Abb. 2: Erwartete Änderung der Winter- (Dezember, Januar, Februar) und Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) gegenüber dem Mittelwert 1981-2010 im nordöstlichen Alpenraum für drei unterschiedliche Treibhausgasszenarien getrennt dargestellt (sieht in anderen Bereichen der Alpen sehr ähnlich aus). Diese reichen vom sehr ambitionierten Klimaschutzszenario ("2 Grad Ziel", grün, RCP2.6) über ein immer noch ambitioniertes "mittleres" Klimaschutzszenario (blau, RCP4.5) bis hin zum "Weitermachen wie bisher"-Szenario (orange, RCP8.5). Die dicken Linien entsprechen dem Mittelwert über eine Vielzahl von Modellen, die dünnen Linien sind die einzelnen Modelle. Die Punkte in der rechten Abbildung beziehen sich auf das Ende des 21. Jahrhunderts (2070-2099). Der große Punkt entspricht jeweils der besten Schätzung für das Szenario, die kleinen Punkte sind einzelne Modellergebnisse, also ebenfalls mögliche Varianten. Quelle: MeteoSchweiz

Fig. 2: Expected change of winter (December, January, February) and summer (June, July, August) temperatures, compared to the 1981-2010 average in the north-eastern alpine area for three different greenhouse-gas emission scenarios (other regions of the alpine area feature similar results). Green: RCP2.6 (corresponds to the "+2 degree goal"); blue: RCP4.5 ("average" mitigation scenario); orange: RCP8.5 ("business as usual" scenario). The dots in the right panel show the changes that the end of the 21st century (2070-2099). The large dot is the best estimate; the small dots show single model results. Source: MeteoSwiss.

Temperaturanstieg von +4 Grad gerechnet werden (orange, Treibhausgasszenario RCP8.5), also insgesamt etwa +6 Grad im Vergleich zu 1880. Das ist nun doch ein beachtlicher Unterschied und hat, wie wir später sehen werden, starke Auswirkungen auf den Schnee.

Winterniederschlag

Beim Niederschlag ist die Situation weniger eindeutig als bei der Temperatur: Die regionalen Unterschiede sind größer, die natürliche Variabilität ist größer, die Messungen sind weniger verlässlich (insbesondere im Winter auf den Bergen) und auch Klimamodelle sind beim Niederaschlag Fehleranfälliger als bei der Temperatur. Langjährige Messungen der Winterniederschlagssumme in unterschiedlichen Regionen im Alpenraum zeigen keinen einheitlichen Trend (Abbildung 3: Beispiel Österreich). Allerdings wissen wir, dass sich anderswo in Europa durchaus etwas ändert: In Nordeuropa wurde es in den letzten Jahrzehnten deutlich nässer, im Mittelmeerraum wurde es trockener. Der Alpenraum liegt ziemlich genau zwischen diesen zwei Bereichen. Bei genauerer Betrachtung der Niederschlagsänderungsmuster zeigt sich, dass sich die Zone mit mehr Niederschlag im Winter nach Süden ausdehnt und im Sommer nach Norden zurückzieht. Wenn man nun annimmt, dass dieses Muster etwas mit den steigenden Temperaturen zu tun hat, dann ist es naheliegend, dass es sich



Abb. 3: Langjährige Winterniederschlags-Anomalien in unterschiedlichen Regionen Österreichs. Quelle: ZAMG.

Fig. 3: Anomalies of winter precipitation in different regions of Austria. Source: ZAMG



in Zukunft verstärken wird. Für den Alpenraum würde das, vereinfacht gesagt, bedeuten: Mehr Niederschlag im Winter, weniger Niederschlag im Sommer. Die neuesten Klimaszenarien (z.B. in der Schweiz CH2018, in Österreich ÖKS15) erhärten diesen Verdacht, insbesondere was den vermehrten Niederschlag im Winter angeht. Über den Alpenraum gemittelt kann unter Annahme des extremsten Emissionsszenarios (RCP8.5) bis zum Ende des Jahrhunderts mit etwa 20% mehr Niederschlag gerechnet werden. Allerdings ist die Unsicherheit dieser Abschätzung im Vergleich zur Temperatur sehr hoch. Abbildung 4 zeigt diese vermutliche Zunahme künftiger Winterniederschläge. Im Sommer zeigen die Szenarien übrigens tatsächlich eine Tendenz zu weniger Niederschlag und in allen Jahreszeiten eine Zunahme der Extremniederschläge.

Abb. 4: Änderung der Niederschlagssumme im Sommer (oben) und im Winter (unten) bis Ende des 21. Jahrhunderts. Annahme: Kein Klimaschutz (Szenario RCP8.5).

Fig. 4: Change of total precipitation in summer (upper panel) and winter (lower panel) until the end of the 21st century. Emission scenario: RCP8.5.

Schnee in der Vergangenheit

Schnee wird natürlich von Niederschlag und Temperatur beeinflusst und dieser Einfluss ist zusätzlich abhängig von der Höhenlage. Wenn es sehr kalt ist (z.B. -10 °C, typischer Weise in größeren Höhen), machen 2 Grad mehr für den Schnee wenig Unterschied. Wenn wir uns aber nahe dem Gefrierpunkt befinden (z.B. -1 °C, typischer Weise in geringeren Höhen), kann jedes zusätzliche Grad dafür sorgen, dass es regnet statt schneit oder die Schneedecke schmilzt. (Den Faktor Strahlung, der insbesondere für die Schneeschmelze wichtig ist, lassen wir hier der Einfachheit halber beiseite). Die Frage ist also: Wann und wo führt Erwärmung zu weniger Schnee? Beziehungsweise: Wann und wo bringt mehr Niederschlag mehr Schnee?

Andreas Gobiet et al.: Klimawandel -



Abb. 5: Korrelationskoeffizient zwischen mittlerer Gesamtschneehöhe (Nov. bis Apr.) und Temperatur (links) bzw. Niederschlagssumme (rechts) in Österreich für den Zeitraum 1961/62 bis 2016/17. Quelle: ZAMG.

Fig. 5: Correlation coefficient between average snow height (Nov. to Apr.) and temperature (left panel) or precipitation sum (right panel) in Austria between 1961/62 and 2016/17.

Qualitativ lässt sich das "Wo?" leicht beantworten: In größeren Höhen ist es kälter, hier ist der Niederschlag wichtiger und in tieferen Lagen ist es wärmer, hier ist die Temperatur wichtiger. Aber wo genau sind nun die "größeren Höhen"? Einen Hinweis dazu liefert eine Studie der ZAMG über Schneehöhen in Österreich seit 1961. Abbildung 5 zeigt die Stärke des Zusammenhangs zwischen Schneehöhe und Temperatur (links) und Schneehöhe und Niederschlag (rechts) in verschiedenen Höhenstufen. "0" bedeutet: kein Zusammenhang. "1" bzw. "-1" bedeuten: sehr starker Zusammenhang. Man sieht, dass der Einfluss der Temperatur auf die mittlere Schneehöhe bis in Höhen von etwa 2000 m mehr oder weniger konstant bleibt (Korrelationskoeffizient -0.5 bis -0.6) und darüber deutlich abnimmt. Andererseits ist der Einfluss des Niederschlags bereits ab ca. 1300 m größer als der der Temperatur (Korrelationskoeffizient 0.6). Für die Vergangenheit lässt sich also sagen: Schnee in Höhenlagen unter etwa 2000 m reagiert relativ empfindlich auf höhere Temperaturen, über etwa 1300 m kann das aber durch zusätzlichen Niederschlag (falls vorhanden) wettgemacht werden. Oberhalb von 2000 m spielt die Temperatur eine untergeordnete Rolle.

Auch auf das "Wann?" lässt sich qualitativ ziemlich leicht antworten: Typischerweise zu Beginn der Schneesaison führt zusätzliche Wärme dazu, dass es öfter regnet statt schneit und am Ende der Saison dazu, dass der Schnee schneller schmilzt. Je nach Höhenlage betrifft das andere Zeiträume, aber die Länge der Saison sollte nach dieser Überlegung in allen Höhenlagen abnehmen. Eine Studie aus der Schweiz (Klein et al., 2016) hat gezeigt, dass das zumindest in der Schweiz auch der Fall ist: An allen untersuchten Stationen (die einen Höhenbereich von 1139 m bis 2540 m Seehöhe abdecken) hat sich die Schneesaison seit 1970 um etwa einen Monat verkürzt.

Auch in Österreich wurde die Schneedeckendauer zwischen November und April untersucht, und auch hier wurden signifikante Abnahmen gefunden. Abbildung 6 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse dieser Unter-



Abb. 6: Trends der Schneedeckendauer (Nov. – Apr.) an qualitätsgeprüften, homogenisierten Schneemessstationen in Österreich. Die Stationen decken den Höhenbereich von 161 m bis 2140 m ab. Rot: signifikant abnehmende Schneedeckendauer; grau: keine signifikante Änderung; blau: signifikant zunehmende Schneedeckendauer. Quelle: ACRP Projekt SNOWPAT, aktualisiert von R. Koch (ZAMG).

Fig. 6: Trends of snow cover duration (Nov. – Apr.) on quality controlled and homogenized stations in Austria. The altitude range is 161 m to 2140 m. Red: significantly decreasing snow cover duration; grey: no significant trend; blue: significantly increasing snow cover duration. Source: ACRP project SNOWPAT, updated by. R. Koch (ZAMG).

suchung: Mit Ausnahme weniger Stationen (wo keine Trends gefunden wurden) hat die Schneedeckendauer seit 1961 signifikant abgenommen. Dabei muss aber betont werden dass in diesem Fall die meisten Stationen relativ tief liegen. Der höchste Standort ist die Villacher Alpe (2140 m). Auch hier wurde eine signifikante Verkürzung der Schneesaison gefunden.

Schnee in der Zukunft

Bevor wir das bisher Gesagte zusammenfassen, möchten wir noch zwei Studien erwähnen, die auf Basis aufwändiger Klima- und Schneemodelle die Zukunft des Schnees in den Alpen untersucht haben. Météo France hat die Auswirkungen der unterschiedlichen Treibhausgasszenarien auf die zukünftige mittlere Schneehöhe (Dez. – Apr.) im Mont-Blanc-Massiv untersucht (eine genauere Beschreibung der Methodik ist in Verfaillie et al. (2018) zu finden). Das Ergebnis ist in Abbildung 7 dargestellt und lautet zusammengefasst:

Bis 2050 muss mit einem Rückgang der mittleren Schneehöhe zwischen etwa 30 % bis 50 % in tiefen Lagen (1200 m) und 5 % bis 10 % in hohen Lagen (3000 m) gerechnet werden. Bis zum Ende des Jahrhunderts kommt es dann sehr stark darauf an, wie schnell sich die Menschheit dazu entschließt, drastische Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen: Wenn wir es schaffen, das "2 Grad-Ziel" einzuhalten (Treibhausgasszenario RCP2.6), dann bleibt es bei den Werten von 2050. Wenn wir aber in puncto Klimaschutz weitermachen wie bisher (Treibhausgasszenario RCP8.5), dann sehen die Abnahmen etwa folgendermaßen aus: 1200 m: -85 %, 2100 m: -65 % und 3000 m: -30 %.



	1200 m	2100 m	3000 m
REF 1995	0,45	1,50	2,68
RCP 2.6 2050	0,32 (-29%)	1,23 (-18%)	2,40 (-10%)
RCP 8.5 2050	0,23 (-49%)	1,08 (-28%)	2,51 (-6%)
RCP 2.6 2090	0,31 (-31%)	1,26 (-16%)	2,57 (-4%)
RCP 8.5 2090	0,07 (-84%)	0,51 (-66%)	1,84 (-31%)

Abb. 7: Mittlere Schneehöhe in 1200 m, 2100 m und 3000 m Seehöhe im Mont-Blanc-Massiv. Blau: RCP2.6; orange: RCP4.5; rot: RCP8.5; grau: Vergangenheit. In der Tabelle unten sind die Schneehöhen in Meter und in Klammer die prozentualen Änderungen im Vergleich zu einer 15-jährigen Periode um 1995 dargestellt. Quelle: Météo France.

Fig. 7: Mean snow heights in 1200 m, 2100 m and 3000 m above sea level in the Mount-Blanc massive. Blue: RCP2.6; orange: RCP4.5M; red: RCP8.5; grey: past. The table shows teh snow heights [m] and in brackets the relative change [%] compared to a 15 years period centered around 1995. Source: Meteo France.

Eine Untersuchung der MeteoSchweiz, die mit etwas einfacheren Mitteln (nur Klimamodelle, kein detailliertes Schneemodell) die zukünftige Schneeverfügbarkeit im gesamten Alpenraum analysiert hat, kam zu einem sehr ähnlichen Ergebnis. Das ist ein Hinweis darauf ist, dass die Ergebnisse für das Mont-Blanc-Massiv repräsentativ für die typischen Verhältnisse im Alpenraum sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 8 zu sehen.



Abb. 8: Modellierte Änderung des mittleren Schneewasseräquivalents (Dez.-Mai) im Alpenraum im 21. Jahrhundert für die Szenarien RCP2.6 (hellgrün, , dunkelgrün) und RCP8.5 (gelb, orange). Ohne Klimaschutz (RCP8.5) sind bis zum Ende des Jahrhunderts Abnahmen von rund -85% unter 1500 m und -50% über 2500 m zu erwarten. Wird das 2 Grad Ziel eingehalten (RCP2.6), kann die Reduktion auf etwa -20% begrenzt werden.

Fig. 8: Modelled change of mean snow water equivalent (Dec. – May) in the alpine area in the 21st century for RCP2.6 (light and dark green) and RCP8.5 (yellow, orange). Without mitigation (RCP8.5) decreases around -85% below 1500 m und -50% above 2500 m are expected until the end of the century. If the 2 degree goal is reached, the reduction can be limited to -20%.

Resümee

Zusammenfassend lässt sich sagen: Klimawandel findet auch im Winter auf den Bergen statt. Die Temperaturen sind bereits um +2 Grad gestiegen und werden bis 2050 um etwa ein weiteres Grad ansteigen. Auch am Naturschnee ist der Klimawandel bereits ablesbar: Die Schneesaison wird in allen Höhenlagen kürzer. Die Menschheit hat es aber in der Hand, diesen Rückgang zu begrenzen: Zwar werden wir bis 2050 voraussichtlich mit einer weiteren Reduktion von (je nach Höhenlage) -10 % bis -30 % leben müssen, aber das bedeutet lediglich, dass die Naturschneesaison etwas später beginnt und früher endet. Wie es in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts weitergeht, hängt ganz von uns ab: Vernachlässigen wir den Klimaschutz und machen weiter wie bisher, verschwindet der

Andreas Gobiet et al

Naturschnee in tiefen Lagen fast vollständig und selbst über 2500 m muss noch mit Abnahmen von 50 % gerechnet werden. Schaffen wir es aber, das ambitionierte Ziel der Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf unter +2 Grad gegenüber vorindustrieller Zeit zu erreichen, dann können auch unsere Kinder und Enkelkinder noch verschneite Landschaften erleben.

Danksagung

Vielen Dank den KlimamodelliererInnen der EURO-CORDEX-Initiative für das zur Verfügung stellen der Resultate ihrer Klimamodelle. Die Mont-Blanc-Studie wurde im Rahmen der Projekte ADAMONT (GICC), Clim'Py (INTERREG OPCC2) und Trajectories (CDP, Univ. Grenoble Alpes IDEX) vorbereitet. Deborah Verfaillies Arbeit wurde durch des EU-Horizon2020 Projekt EUCP (H2020-SC5-2016-776613) finanziert. Die Analysen der Schneezeitreihen in Österreich wurden im Projekt SNOWPAT (ACRP) durchgeführt und von Roland Koch (ZAMG) aktualisiert. Die Auswertung der Klimaszenarien wurde von der CH2018 Initiative (www.ch2018.ch) unterstützt. Vielen Dank auch an Andreas Riegler (ZAMG) für die Sonnblick- Abbildung.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dr. Andreas Gobiet Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien Andreas.Gobiet@zamg.ac.at

Dr. Sven Kotlarski Meteo-Swiss, Schweiz Prisco Frei Meteo-Swiss ETH Zürich, Schweiz

Jan Rajczak Meteo-Swiss ETH Zürich, Schweiz

Deborah Verfaillie Univ. Grenoble Alpes Université de Toulouse Météo-France, CNRS, CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France, Barcelona Supercomputing Center, Barcelona, Spain

Samuel Morin

Univ. Grenoble Alpes Université de Toulouse Météo-France - CNRS, CNRM UMR3589 Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France

Marc Olefs

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

Literatur / References:

AUER, I., and COAUTHORS, 2007: HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. Int. J. Climatol., 27, 17–46, doi:10.1002/joc.1377.

BENISTON, M., and COAUTHORS, 2018: The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. The Cryosphere, 12, 759–794, doi:10.5194/tc-12-759-2018.

GOBIET, A., K. ULREICH, M. HOFSTÄTTER, A. PODESSER, M. OLEFS, J. VERGEINER, and G. ZENKL, 2017:

 $\label{eq:lambda} Langfristige Entwicklung Hochalpiner Wintertemperaturen. ZAMG-Newsletter (https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_news/2017/gobiet_etal-2017-hochalpinewintertemperaturen/at_download/file).$

VERFAILLIE, D., M. LAFAYSSE, M. DÉQUÉ, N. ECKERT, Y. LEJEUNE, and S. MORIN, 2018:

Multi-component ensembles of future meteorological and natural snow conditions for 1500\,m altitude in the Chartreuse mountain range, Northern French Alps. The Cryosphere, 12, 1249–1271, doi:10.5194/tc-12-1249-2018.

gazex

Sicher Schnell Zuverlässig

anlagen Weltweit

Die kontrollierten Lawinenauslösesysteme zur Sicherung von Verkehrswegen und Siedlungsräumen.



MND AUSTRIA Eduard-Bodem-Gasse 10 6020 Innsbruck - Austria mndaustria@mnd-group.com www.mnd-austria.com



Winterperioden mit einer hohen Aktivität von Gleitschneelawinen – Charakteristika und Vorbedingungen

Winter periods with high activities of glide avalanches – characteristics and preconditions

Zusammenfassung:

Von einer Gleitschneelawine spricht man, wenn sich unter starker Schmierwirkung durch Schmelzwasser das Schneegleiten zur Lawinenbewegung entwickelt. Gleitschneelawinen treten nicht regelmäßig auf; in manchen Winterperioden sind sie besonders häufig, in anderen sind sie kaum zu beobachten. Perioden mit einer hohen Aktivität an Gleitschneelawinen werden als Gleitschneewinter bezeichnet. Wesentliche Kriterien für einen Gleitschneewinter dürften starke Schneefälle zu Beginn des Winters sein, sowie ein vorangegangener warmer Herbst.

Stichwörter: Schneegleiten, Gleitschneelawine, Gleitschneewinter

Abstract:

Glide avalanches are defined as processes when – since well lubricated by meltwater – snow gliding turns into an avalanche movement. Winters with continuing snow gliding and a high activity of glide avalanches might be called `glide winters'; however, not all winter periods are dominated by glide avalanches in the same way. Main criterions for a glide winter might be a heavy snowfall at the beginning of winter and a warm autumn prior to the first snowfall. Aim of this paper is to consider these criterions in order to determine the prerequisites for a typical glide winter.

Keywords: Snow gliding, gliding avalanche, gliding snow winter

Schneegleiten und Gleitschneelawinen – Definitionen

Das Schneegleiten ist eine hangabwärts gerichtete Bewegung der Schneedecke auf dem Untergrund (In der Gand und Zupancic, 1966). Es wird durch eine glatte Bodenoberfläche (In der Gand und Zupancic, 1966; McClung und Schaerer, 2006) sowie einen bodennahen Wasserfilm begünstigt (In der Gand und Zupancic, 1966). Wenn sich unter starker Schmierwirkung durch Schmelzwasser das Schneegleiten zur Lawinenbewegung entwickelt, wird dieser Prozess als Gleitschneelawine bezeichnet (UNESCO, 1981).

Gleitschneelawinen werden durch zusätzliche Belastung infolge von Neuschnee, durch Regen, sowie durch Schneeschmelze ausgelöst (Jones, 2004). Sie sind sehr schwer voraussagbar (Lackinger, 1984; Stimberis und Rubin, 2004; McClung und Schaerer, 2006), lassen sich künstlich kaum auslösen (Clarke und McClung, 1999; Simenhois und Birkeland, 2010) und können beachtliche Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen bewirken.

Gleitschneelawinen treten nicht regelmäßig auf; in manchen Winterperioden sind sie besonders häufig, in anderen sind sie kaum zu beobachten. Perioden mit einer hohen Aktivität an Gleitschneelawinen werden als Gleitschneewinter bezeichnet (Höller, 2014).

Beurteilung von Gleitschneelawinen

Gerade der heurige Winter hat sehr deutlich gezeigt, wie schwierig eine Beurteilung von Gleitschneelawinen ist. Mehrere Unfälle mit Todesfolgen (Schäferblasse, Deutschland, 23.2.; Cran Montana, Schweiz, 19.2.) waren leider der traurige Beweis. Gleitrisse – häufig als Lawinen- oder Fischmäuler bezeichnet – können nicht als Indikatoren für Gleitschneelawinen angesehen werden (Simenhois und Birkeland, 2010); Nach Feick et al. (2012) entwickeln sich viele Gleitrisse nicht zu Gleitschneelawinen. 15 % der von Feick beobachteten Gleitrisse resultierten in der Auslösung von Gleitschneelawinen innerhalb der ersten Stunde, 40% innerhalb der ersten 5 Stunden nach dem Öffnen des Risses.

Nach McClung und Schaerer (2006) lösen sich Lawinen manchmal bereits kurz nach Öffnen eines Risses, es ist aber genauso gut möglich, dass dies mit großer Verzögerung erfolgt (auch erst nach Tagen oder sogar Monaten).

Auch muss eine schnelle Expansion von Rissen nicht notwendigerweise zur Auslösung von Gleitschneelawinen führen (van Herwijnen und Simenhois, 2012).

Die Abb. 1 zeigt, wie sich die Schneetafel (gleitende Schneedecke) unterhalb eines vorhandenen Lawinenmauls innerhalb eines Zeitraumes von 24 Stunden gelöst hat.

Ist schon die Beurteilung von Gleitschneelawinen eine Herausforderung, so wird es noch schwieriger, im Bedarfsfall geeignete Maßnahmen zu ergreifen, sind doch die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten eher begrenzt.

Bartelt et al. (2012a, 2012b) raten nach dem Öffnen eines Risses den Schnee aus der Gleitzone mechanisch (z.B. mit Pistenmaschinen) zu entfernen, sodass die Last vom Stauchwall reduziert wird. Die Gleitzone ist jener Bereich, der vom Riss bis zum Stauchwall reicht; sie ist zumeist durch eine leicht wellenförmige Schneeoberfläche gut erkenntlich (siehe auch Abb.1, oberes Bild). Der unterhalb der Gleitzone befindliche Stauchwall hat das Gewicht der gleitenden Schneedecke zu halten. Ein Wegschaffen des



Abb. 1: Gleitschneelawine unterhalb der Ottenspitze, Valsertal (Exp.: S bis SW; Seehöhe: 2000 m); Aufnahme: oberes Bild 19.1.2019, 10:30; unteres Bild 20.1.2019, 10:30. Die Schneetafel unterhalb des Lawinenmauls (oberes Bild) hat sich innerhalb des Zeitraums von 24 Stunden gelöst.

Fig. 1: Glide avalanche near to the Ottenspitze; Valsertal (aspect: S to SW, altitude: 2000 m); upper picture: 19.1.2019, 10:30; lower picture 20.1.2019, 10:30. The slab beneath the crack (upper picture) has released within a time span of 24 hours.

Schnees aus der Gleitzone [wie von Bartelt et al. (2012a; 2012b) empfohlen – siehe oben] entlastet den Stauchwall und kann so zu einer Verbesserung der Situation beitragen.

Eine Sprengung des Stauchwalls (um gleichsam die Auslösung der Gleitschneelawine zu erzwingen) kann bei einem negativen Ergebnis zu einer Schwächung des Stauchwalls führen, was die Wahrscheinlichkeit für eine unkontrollierte, verzögerte Auslösung erhöht (Bartelt et al. 2012a und 2012b). Das Sprengen des Stauchwalls ist so gesehen keine angemessene Maßnahme.

Wie überhaupt die gesamte künstliche Auslösung von Gleitschneelawinen äußerst problematisch ist und daher von derartigen Aktionen abgeraten wird, kommen doch viele Arbeiten (Clarke und McClung, 1999; Simenhois und Birkeland, 2010) übereinstimmend zu dem Schluss, dass Gleitschneelawinen künstlich nur sehr schwer ausgelöst werden können.

Anstehende Forschungsfragen

Um die Beurteilung von Gleitschneelawinen zu erleichtern, arbeitet das BFW intensiv an der Ermittlung geeigneter Indikatoren. Die Vermutung liegt nahe, dass insbesondere die Bodentemperaturen und die Bodenfeuchtigkeit, sowie die bodennahen Schneetemperatur- und Schneefeuchtigkeitswerte einen maßgeblichen Einfluss auf das Gleiten und die Entstehung von Gleitschneelawinen haben. Am Wildkogel (Pinzgau) wird mittels tatkräftiger Unterstützung der dortigen Liftgesellschaft sowie gemeinsam mit dem Lawinenwarndienst Salzburg und der Universität Innsbruck (Institut für Ökologie) an der Erkundung geeigneter Hinweiszeichen geforscht; solche Hinweiszeichen können gerade bei der lokalen Beurteilung die Prognose deutlich verbessern helfen.

Aber auch die Frage, welche Zeiträume

für eine hohe Aktivität an Gleitschneelawinen prädestiniert sind, wird immer wieder aufgeworfen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den sogenannten cold temperature events und den warm temperature events (Clarke und McClung, 1999). Während Zweitere im Frühjahr auftreten, wenn die Schneedecke isotherm ist, und so Wasser durch die Schmelze in die Schneedecke bis zur Grenzfläche Boden/Schnee (Clarke und McClung, 1999) einsickern und dort einen Wasserfilm bilden kann, ereignen sich Erstere im Hochwinter (über die Bedingungen siehe unten).

Daran schließt auch die für die Forschung relevante Frage, warum Gleitschneelawinen nicht regelmäßig vorkommen, in manchen Winterperioden gehäuft auftreten, während sie in anderen kaum zu beobachten sind. Höller (2014) hat Winterperioden mit einer hohen Aktivität an Gleitschneelawinen als Gleitschneewinter bezeichnet. Eine Charakterisierung derselben ist aber noch immer ausständig (Höller, 2014). U.a. dürften die Bedingungen im Spätherbst und Frühwinter verantwortlich sein; folgt einem warmen Herbst ein Wintereinbruch mit einer relativ raschen Zunahme der Schneedecke, so wird die im Boden gespeicherte Wärme an die untersten Schneeschichten abgegeben, wodurch Schmelzprozesse begünstigt werden und es in der Folge zur Ausbildung eines für das Schneegleiten notwendigen Wasserfilms kommen kann.

So haben schon Frutiger und Kuster (1967) in den 1960er Jahren festgestellt, dass ein wesentliches Kriterium für einen Gleitschneewinter ein starker Schneefall zu Beginn des Winters mit einem entsprechend ausgeprägten Anstieg ist. Wenn diesem Schneefall ein warmer Herbst vorausgegangen ist, dann ist nach Frutiger und Kuster (1967) das Schneegleiten stärker. Ein warmer Herbst vor dem ersten Schneefall kann jedenfalls ein Indikator für hohe Bodenoberflächentemperaturen und nicht gefrorenen Boden sein, wodurch die Bildung eines dünnen Wasserfilms an der Basis der Schneedecke und letztlich auch die Entstehung von Gleitschneelawinen begünstigt werden kann. Die in der Folge auftretenden Lawinen werden zu den sogenannten cold temperature events (Clarke und McClung (1999) gezählt (der Name bezeichnet Ereignisse, bei denen die Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt liegen). Die Autoren führen an, dass das Vorhandensein von Schmelzwasser im Grenzbereich Schnee/Boden (bedingt durch positive Bodentemperaturen) ein wesentlicher Auslösefaktor für cold temperature events sein dürfte. Der Wasserfilm bildet sich vermutlich an der Basisschicht der ansonsten trockenen und kalten Schneedecke durch Schmelzen der Schneedeckenbasis auf dem warmen Boden oder durch den Aufstieg des Wassers vom Boden in den Schnee aufgrund des unterschiedlichen Kapillardrucks (Mitterer und Schweizer, 2012).

Aktuelle Analysen und vorläufige Erkenntnisse

Mit Bezug zu Dreier (2013), die deutlich machte, dass prognostizierte Wetterparameter zukünftig verwendet werden können, um die Vorhersage von Gleitschneelawinen zu unterstützen, wurde versucht eine Verbindung zwischen den in den letzten 50 Jahren aufgetretenen Gleitschneewintern und jenen meteorologischen Faktoren im Spätherbst (bzw. am Beginn der Wintersaison) zu generieren, mit denen sich gegebenenfalls längerfristige Prognosen von Gleitschneelawinen erstellen ließen.

Um möglichst alle bekannten Gleitschneewinter in den letzten Jahrzehnten zu identifizieren, wurden sämtliche in einschlägigen Arbeiten zitierten Literaturangaben im Detail geprüft und gesichtet. Überdies wurden Langzeitmessungen des Schneegleitens analysiert. Für einen generellen Abgleich wurden zudem die Ergebnisse von Pielmeier et al. (2013) herangezogen.

Basierend auf diesen Quellen, zeigten die folgenden Winterperioden eine hohe Aktivität an Gleitschneelawinen: 1952/53, 1965/66, 1974/75, 1981/82, 1983/84, 1994/95, 2002/03, 2003/04, 2007/08, 2008/09. Der letzte bedeutende Gleitschneewinter in den Europäischen Alpen ereignete sich 2011/2012 (Pielmeier et al. 2012; Höller und Bilek, 2012); nach Pielmeier et al. (2012) entsprach das Gleiten der trockenen Schneedecke im Hochwinter 2011/12 einem rund 30-jährigen Ereignis. Nach derzeitigem Erkenntnisstand wird auch der Winter 2018/19 zu den Perioden mit hoher Gleitschneeaktivität zu zählen sein.

In einem zweiten Schritt wurden die Lufttemperaturen im Herbst bzw. Frühwinter (vor dem ersten Schneefall bzw. vor dem Beginn einer geschlossenen Winterschneedecke) an einigen repräsentativen Stationen mit langen Messreihen [Schmittenhöhe (Seehöhe ca. 2000 m), Hahnenkamm (Seehöhe ca.1800 m) und Feuerkogel (ca. 1600 m)] für den Zeitraum 1952 bis 2018 gesichtet, zudem der Verlauf der Schneehöhe nach dem Einschneien und der entsprechende Anstieg.

In den vier ausgeprägtesten Gleitschneewintern 1952/53, 1965/66, 1974/75 und 2011/12 lagen die maximalen Lufttemperaturen an den genannten Stationen in den 30 Tagen vor dem Beginn der Winterschneedecke mit wenigen Ausnahmen immer deutlich über dem Gefrierpunkt, an den Tagen vor dem Einschneien sogar sehr deutlich. Besonders eindrucksvoll zeigt sich das im Jahr 1965 als an allen drei genannten Stationen noch drei Tage vor Beginn der Winterschneedecke (11. Nov.) zweistellige Plusgrade herrschten. Auch 1974 war es kurz vor Wintereinbruch (der sich damals schon sehr früh und zwar bereits Ende Sept bis Anfang Okt. einstellte) noch sehr warm. Und selbst im Jahr 2011 wo das Einschneien erst am 5. Dez. stattfand, gab es die Tage vor diesem Zeitpunkt noch Temperaturen von 8–10 °C. Dies legt die Vermutung nahe, dass in den genannten Zeiträumen auch hohe Bodentemperaturen vorgelegen sein müssen.

Betrachtet man die Schneeverhältnisse so fällt auf, dass sich in allen erwähnten Perioden eine überaus mächtige Schneedecke entwickelte; nach In der Gand und Zupancic (1966) bedingt aber jede Erhöhung der Schneemächtigkeit und damit einhergehende Zunahme des Gewichts der Schneedecke einen Anstieg des Gleitens.

Wirft man einen Blick auf den Winter 2018/19, so zeigt sich, dass Anfang Jänner 2019 teilweise neue Rekorde bei den Neuschneesummen zu verzeichnen waren: Laut Radlherr et al. (2019) betrug etwa die 17-tägige Neuschneesumme in Seefeld 372 Zentimeter, in Hochfilzen gar 521 Zentimeter.

Auch die Lufttemperatur im Spätherbst 2018 verhielt sich ähnlich wie in den zuvor beschriebenen Zeiträumen; so lag die maximale Lufttemperatur auf der Schmittenhöhe (2000 m) in den 30 Tagen vor dem Einschneien (27.11.2018) mit Ausnahme des 19.11. immer deutlich im Plus und am 21.11 wurde sogar noch ein Wert von beinahe 8 °C erreicht. Die Annahme, dass der Boden zum Zeitpunkt des Beginns der Schneedecke noch nicht gefroren war, scheint also auch hier berechtigt.

Zusammenfassung

Die Einschätzung von Gleitschneelawinen ist äußerst schwierig; Indikatoren wie Gleitrisse oder die Ausweitung von Rissen sind für eine Beurteilung nicht ausreichend. Die Forschung untersucht derzeit weitere Hinweiszeichen (Bodentemperaturen, Bodenfeuchtigkeit...) die möglicherweise für eine Prognose besser geeignet sind.

Die meteorologischen Bedingungen am Anfang der Wintersaison (Beginn der geschlossenen Winterschneedecke) dürften einen maßgeblichen Einfluss auf die Aktivität von Gleitschneelawinen im darauffolgenden Winter haben (insbesondere auf die cold temperature events). In den vier ausgeprägtesten Gleitschneewintern 1952/53, 1965/66, 1974/75 und 2011/12 gab es eine lange warme Periode vor dem ersten Schneefall, welcher überdies durch einen sehr starken Anstieg charakterisiert war. Das scheint in Übereinstimmung mit den Annahmen von Frutiger and Kuster (1967) zu sein, die ja die Meinung äußerten, dass eine rasche Zunahme der Schneedecke als Hauptkriterium für einen Gleitschneewinter anzusehen ist.

Auch wenn die Arbeit noch als vorläufig zu betrachten ist, so scheint dieser erste Überblick doch wichtige Hinweise auf die Herausbildung von Gleitschneewintern zu enthalten; eine Analyse der Bodentemperaturen (an dem das BFW derzeit arbeitet) wird sicherlich mehr Klarheit verschaffen.

Dürften sich die Erkenntnisse bestätigen [dass nämlich bestimmte meteorologische Bedingungen am Beginn der Saison Indikatoren für einen Gleitschneewinter sind (zumindest für die cold temperature events)], so wäre insbesondere den lokalen Lawinenwarnern gedient, da dies ihre Entscheidungsfindung deutlich verbessern würde.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Priv. Doz. Dr. Peter Höller Bundesforschungszentrum für Wald Institut für Naturgefahren Rennweg 1 6020 Innsbruck peter.hoeller@bfw.gv.at

Peter Höller: Winterperioden mit einer hohen Aktivität von

Literatur / References:

BARTELT P., FEISTL T., BÜHLER Y., BUSER O. (2012a). Overcoming the stauchwall: viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. Geophys. Res, Let 39

BARTELT P., PIELMEIER C., MARGRETH S., HARVEY S., STUCKI T. (2012b). The understimated role of the Stauchwall in Full-Depth Avalanche Release. In ISSW 2012, International snow science workshop, Anchorage, Alaska, pp 127–133.

CLARKE J., MCCLUNG D., (1999). Full-depth avalanche occurrences caused by snow gliding, Coquihalla, British Columbia, Canada. J Glaciol 45(151):539–546.

DREIER L. (2013). Einfluss von Wetter und Gelände auf Gleitschneelawinen. Masterarbeit Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 795.

FEICK S., MITTERER C., DREIER L., HARVEY S., SCHWEIZER J. (2012). Automated detection and monitoring of glide snow events using satellite based optical remote sensing and terrestrial photography. In ISSW 2012, International snow science workshop, Anchorage, Alaska, 603–609.

FRUTIGER H., KUSTER J. (1967). Über das Gleiten und Kriechen der Schneedecke in Lawinenverbauungen. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen 10, 633–643.

HÖLLER P., BILEK H. (2012).

Lawinenunfälle in Österreich – Winter 2011/2012. Sicherheit im Bergland – Jahrbuch 2012. Österreichisches Kuratorium für alpine Sicherheit, pp 156–185.

HÖLLER P. (2014).

Snow gliding and glide avalanches - a review. Natural Hazards 71, 1259– 1288. In der Gand H., Zupancic M. (1966). Snow Gliding and Avalanches. IAHS-Publ. No. 69, 230–242.

JONES A. (2004).

Review of glide processes and glide avalanche release. Avalanche News 69, 53-60.

LACKINGER B. (1984).
Schnee- und Lawinenforschung am Institut f
ür Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 153, 155–173.

MCCLUNG D., SCHAERER P. (2006). The avalanche handbook. The Mountaineers Books, Seattle, 342S.

MITTERER C., SCHWEIZER J. (2012). Towards a better understanding of glide-snow avalanche formation. In ISSW 2012, International snow science workshop, Anchorage, Alaska, 610–616.

PIELMEIER C., DARMS G., TECHEL F. (2012). Wetter, Schneedecke und Lawinengefahr in den Schweizer Alpen – Hydrologisches Jahr 2011/12. WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung SLF, Davos, 32S.

PIELMEIER C., TECHEL, F., MARTY C., STUCKI T. (2013). Wet sow avalanche activity in the Swiss Alps – trend analysis for midwinter season. International Snow Science Workshop, Grenoble, France, 1240–1246.

RADLHERR A., WINKLER M., BAUER M. (2019). Schneereiche Zeiten und was unsere Hauseinfahrten mit Meteorologie zu tun haben. https://www.alpinmesse.info/de/Schneereiche-Zeiten---ein-Jaenner-wie-selten

SIMENHOIS R., BIRKELAND K. (2010).

Meteorological and environmental observations from three glide avalanche cycles and the resulting hazard management technique. In ISSW 2010, international snow science workshop, Squaw Valley, California, pp 846–853.

STIMBERIS J., RUBIN C. (2004).

Glide avalanche detection on a smooth rock slope; Snowqualmie Pass, Washington. In ISSW 2004, International Snow Science Workshop, Jackson Hole, Wyoming, 608–610

UNESCO (ed) (1981). Avalanche Atlas, Paris, 265S. van Herwijnen A., Simenhois R. (2012). Monitoring glide avalanches using

shop, Anchorage, Alaska, 899–903.

Ingenieurkonsulent • Ingenieurbüro

Foret- und Holzwirtschaft Wildbach- und Lawinenschutz Kulturtechnik und Wasserwirtschaft www.perzplan.at

2630 Ternitz 3100 St. Pölten 8600 Bruck/Mur office@perzplan.at



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

- Wildbachverbannngen
- · Schutzwasserbauten
- · Böschungssicherungen
- · Lawinenverbauungen
- in a racarter ou ana gea
- · Forst- und Güterwegen
- · Landschaftspflegerische Begleitplanung
- · Speicherteiche
- Schneeanlagengesamiplanung.
- Skipistenban
- Schneileitungssystemen
- Wasser- und Quellfassningen
- Wasserver- and cutsorgang
- sebiGIS[®] Infosystem für Skigebiete



www.klenkhart.at

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



Verlauf Synoptik

Der Dezember 2018 brachte variable Wetterlagen mit vor allem alpennordseitig zeitweiligen Schneefällen. Um die Monatsmitte stellte sich unter Kaltlufteinfluss eine vorübergehend recht winterliche Phase ein. Nachdem eine milde Westlage pünktlich das Weihnachtstauwetter brachte und sich der Winter in höhere Lagen zurückzog, berechneten die gängigen Wettermodelle zwischen den Weihnachtsfeiertagen und dem Jahreswechsel (und auch noch darüber hinaus) eine anhaltende, stabile Hochdrucklage über Mitteleuropa. Das mit milder Luft gefüllte Azorenhoch sollte bis in den Alpenraum ausgreifen, während das gegenspielende, kaltluftgefüllte Tiefdruckgebiet sich über dem europäischen Teil Russlands drehen sollte. Die Anzahl der steuernden Tiefdruckgebiete (Rossbywellen) auf der Nordhemisphäre lag bei etwa drei, was für ein längeres Bestehen von einer einmal etablierten Wetterlage bzw. sogar für eine langsame retrograde Wellenbewegung (also Bewegung nach Westen) sprach.

Um den Jahreswechsel wurden die Druckgebilde tatsächlich in den Prognosen von Modellauf zu Modellauf Stück für Stück nach Westen versetzt. Schlussendlich kam der Azorenhochausläufer nicht über Mitteleuropa, sondern über der Biskaya und das steuernde Tief nicht über dem westlichen Russland, sondern eher zwischen Baltikum und Schwarzem Meer zu liegen. Mitteleuropa befand sich zwischen den Druckgebilden daher in einer nordwestlichen Höhenströmung immer im Bereich der Luftmassengrenze zwischen maritim-polarer Kaltluft im Osten und maritim geprägter Luft subtropischen Ursprungs im Westen. Diese mäandrierende Luftmassengrenze überquerte die Alpen mehrere Male in Form von Kaltbzw. Warmfronten und jedes Mal wurden feuchte Luftpakete von Norden über die Alpen geschoben. Die Konstellation hatte schlussendlich etwa zweieinhalb Wochen Bestand. An der großräumigen Druckverteilung auf der Nordhemisphäre änderte sich zwar auch nach Ende der intensiven Schneefälle im Alpenraum kaum etwas, ein geringfügiges Nach-Westen-Wandern der Druckzentren ließ Österreich aber in den wettermäßig ruhigeren Bereich des Tiefdruckzentrums geraten. Das Azorenhoch befand sich schließlich am Atlantik, die turbulente Nordströmung sorgte daraufhin im Bereich des östlichen Atlantiks und der Iberischen Halbinsel für turbulentere Verhältnisse.

Die Staffel an Schneefallphasen zwischen Ende Dezember 2018 und Mitte Jänner 2019 wird im Folgenden näher aufgeschlüsselt.

Phase 1 (30.12. bis 01.01.)

Die Schneefallperiode wurde am 30.12.2018 von einer Okklusion eingeleitet, welche von Norden die Alpen überquerte. (Eine Okklusion ist ein "gealtertes" Frontensystem. Vereinfacht dargestellt, eine Front ohne Luftmassenwechsel: Die in die Kaltluft laufende Warmfront wurde bereits von der Kaltfront eingeholt. Am Boden wird somit nur Kaltluft durch Kaltluft ersetzt, wobei die beiden Kaltluftmassen nicht die identen Eigenschaften aufweisen müssen.) Der Niederschlagsschwerpunkt in den Nordstauregionen lag vom Raum Kitzbühel ostwärts, in den Tälern handelte es sich teils um Schneeregen bzw. sehr nassen Schnee, der kaum als Neuschnee wahrgenommen wurde. Nahtlos nahm eine atlantische Warmfront Einfluss auf den Ostalpenraum, die vor allem in den Staulagen recht ergiebigen Niederschläge hielten an. Die Schneefallgrenze stieg am Alpennordrand auf gut 1000 m, inneralpin konnte sie sich bis fast zum Ende dieser Niederschlagsstaffel in vielen Tälern halten. Hinter dieser Warmfront begann das neue Jahr im Ostalpenraum im so genannten Warmsektor unter schwachem Hochdruckeinfluss bei in der Höhe recht trockener und milder Luft.

ALEXANDER RADLHERR, MICHAEL WINKLER, MANFRED BAUER

Meteorologische Analyse der intensiven Schneefallperiode im Jänner 2019

Meteorological analysis of the intensive snowfall period during January 2019

Zusammenfassung:

Die erste Hälfte des Jänners 2019 brachte in kurzer Zeit eine Aneinanderreihung von Schneefallereignissen, wie sie nur selten vorkommt. An der Alpennordseite fielen verbreitet beachtliche Neuschneemengen, gebietsweise wurden bestehende Rekorde pulverisiert. Häufig lagen die Neuschneesummen in einer Größenordnung, wie sie nur alle 50 bis 100 Jahre vorkommt, regional sogar noch seltener. Im Verlauf dieser Periode erfolgten unter anderem großräumige Sperrungen von Hauptverkehrswegen, Evakuierungen von Wohngebieten sowie in einigen Regionen die Ausrufung der höchsten Lawinenwarnstufe. Mancherorts kam es durch die Schneemassen auch zu problematischen Belastungen von Gebäuden, Normwerte der Schneelast wurden erreicht bzw. teils sogar überschritten. Im Beitrag werden die Schneefallperiode meteorologisch seziert und die intensivsten Schneefallphasen genauer analysiert.

Stichwörter: Neuschneefall, Lawinensituation Jänner 2019

Abstract:

During the first half of the January 2019 a number of very intensive snowfall events occurred. Along the northern rim of the Alps the amount of new snow was so high, that existing record numbers were exceeded in several places. In some parts the recurrence period of the snowfall intensity was between fifty and hundred years, in some places even higher. During this intensive snowfall spacious road closures were necessary and in some places the evacuation of living houses were decreed. Avalange danger level five was declared in some regions along the Alps. In some places snowloads on buildings became problematic and the values of the Austrian snowload standard were exceeded. In this paper, the intensive snowfall period will be meteorologically investigated and in detail described.

Keywords: New snow fall, avalanche situation, January 2019

Niederschlagsmengen von typischerweise 30 bis 60 mm führten vielerorts zu 20 bis 70 cm Neuschnee (je nach Feuchtigkeitsgrad des Neuschnees), in höheren Lagen fielen teils über 100 cm. Die Schneehöhen stiegen in den Nordund Zentralalpen auf für die Jahreszeit durchschnittliche bis bereits leicht überdurchschnittliche Werte an.

Phase 2 (02.01. und 03.01.)

Der oben genannte Warmsektor wurde am 02.01.2019 von einer markanten, von Norden über die Alpen ziehenden Kaltfront abgelöst. Diese war kräftig ausgebildet, mit viel Dynamik, starken Höhenwinden sowie großen Druck- und Temperaturgegensätzen. In den Nord- und Zentralalpen fielen große Neuschneemengen und die Schneefallgrenze sank rasch bis in sämtliche Täler. Beiderseits des Alpenhauptkammes wehten stürmische Nordwestwinde. Diese trockneten allerdings die Luft vom Alpenhauptkamm südwärts föhnbedingt rasch ab. Nach einer nur kurz andauernden postfrontalen Beruhigung sorgte die anhaltende Zufuhr feucht-kalter Luft in der stürmischen Nordströmung am 03.01. für intensiven Nordstau mit ergiebigen Schneefällen.

Diese Phase brachte mit weiteren meist 40 bis 80 mm Niederschlag 40 bis 100 cm Neuschnee in viele Täler – auf den Bergen der Nordalpen kam das Eineinhalbfache bis Doppelte davon an Neuschnee dazu. Die Schneehöhen wurden in den Nord- und Zentralalpen verbreitet überdurchschnittlich.

Phase 3 (04. bis 07.01.)

Nach einer vorübergehenden Wetterberuhigung während des 04.01. sorgte bereits in der Folgenacht eine starke Warmfront für Feuchtenachschub in mehreren Staffeln. Mit stürmischen Höhenwinden aus Nordwesten wurde deutlich wärmere Luft subtropischen Ursprungs gegen die Alpen geführt, so dass die Schneefallgrenze bis gegen 1000 m und am Alpennordrand teils auch geringfügig höher anstieg. Wie für Warmfronten typisch, griffen die Niederschläge vom Nordstau her weit nach Süden aus, und damit waren auch die knapp südlich des Alpenhauptkamms gelegenen Regionen Osttirols und Kärntens von beachtlichen Neuschneemengen betroffen. Die Luftmassengrenze lag nahezu parallel in der starken Höhenströmung und streifte zunächst ostwärts über die Alpen. In der Nacht auf den 06.01. änderte sie ihre Richtung - sie wurde "rückläufig" - und wirkte nun als Kaltfront. Die starken Niederschläge setzten sich fort, die Schneefallgrenze sank vor allem in den östlichen Regionen wieder deutlich ab. Anschließend folgte mit einer neuen Tiefdruckentwicklung über der Nordsee von Westen her Warmluft nach. Damit stellte sich in den Tälern vorübergehend leichtes Tauwetter ein.

Erneut fielen verbreitet große Niederschlags- und Neuschneemengen zwischen 40 und 80 mm bzw. 40 und 100 cm. Gebietsweise fiel auch noch mehr, sogar in manchen Niederungen. Auf den Bergen der Nordalpen kam es zu Neuschneemengen zwischen 1 und 2 Metern.

Phase 4 (08. bis 10.01.)

Während der auslaufenden dritten Schneefallperiode wurde im Atlantik und auf der Nordsee schon der Grundstein für das vierte Schneefallereignis gelegt. Das nächste Tief entstand vor Neufundland und wurde an der Nordflanke des stark ausgeprägten Rückens des Azorenhochs rasch über den Nordatlantik in die Nordsee geführt. Dort scherte es aus dem Jetstream aus, zog über das südliche Skandinavien Richtung Süden und brachte am 08.01. sein okkludierendes Frontensystem von Norden her über die Alpen. Damit setzten erneut verbreitet Schneefälle ein, wobei die Schneefallgrenze praktisch überall wieder in den Niederungen lag. Auch nach Durchzug der eigentlichen Front stauten sich aus nördlichen Richtungen feucht-kalte Luftmassen maritimen Ursprungs an den Alpen, Staueffekte hielten die intensiven und teils schauerartigen Niederschläge aufrecht. Die Strömung drehte im Laufe des 09.01 und am 10.01. von Nordwest langsam auf Nordost, die Luftmassen wurden immer kälter. Zum 11.01. sorgte schwacher Zwischenhocheinfluss für eine Wetterberuhigung.

Auch während dieser Phase kamen in den Niederungen der Nordstauregionen oftmals 40 bis 70 mm bzw. 50 bis 100 cm Neuschnee zusammen. Auf den Bergen dementsprechend mehr.

Phase 5 (11. bis 15.01.)

In den Abendstunden des 11.01.2019 leitete eine Warmfront die letzte Phase dieser niederschlagsreichen Periode ein. Diese Front war jedoch nur in der Höhe wirksam und konnte die Kaltluft in den Niederungen nicht ausräumen, somit fiel überall Schnee bis in die Niederungen. Der 12.01. war in den österreichischen Alpen geprägt von trockener Luft. In der anhaltend starken Nordwestströmung formierten sich über dem Atlantischen Ozean die nächsten Frontensysteme. Als erstes brachte eine Okklusion in der Nacht auf den 13.01. wieder Neuschnee. Dahinter konnte der stürmische Höhenwind mancherorts in tiefere Lagen durchgreifen und sorgte gebietsweise für durchmischungsbedingte Erwärmung und Regen. Tagsüber folgte eine markant ausgeprägte Warmfront, die zunächst mit hohen Niederschlagsintensitäten noch Schnee bis in die meisten Niederungen brachte. Allerdings stieg die Schneefallgrenze nach und nach auf rund 1000 m und am Alpennordrand teils bis 1400 m an. Darunter sorgte intensiver Regen in der Folgenacht für eine massive Setzung der Schneedecke. Schon am 14.01. überquerte die zum selben Tiefdrucksystem gehörige Kaltfront die Alpen in zwei Staffeln. Damit einher gingen neben weiteren ergiebigen Schneefällen – die Schneefallgrenze lag meist in den Niederungen – auch schadensbringende Sturmböen. Am Folgetag schneite es staubedingt vielerorts zumindest noch zeitweise, bevor die Schneefälle schlussendlich überall ein Ende fanden.

Diese letzte Niederschlagsphase brachte oft zwischen 50 und 100 mm Niederschlag bzw. 50 bis 100 cm Neuschnee, wobei die Neuschneehöhen durch den zwischenzeitlich starken Regen bis in mittlere Höhenlagen gebietsweise deutlich reduziert wurden. Im Gebirge kamen oft zwischen 1,5 und 2,5 Metern Neuschnee zusammen.

Auswirkungen

Die Auswirkungen wurden im Laufe der Niederschlagsperiode in der ersten Jännerhälfte 2019 in weiten Teilen der Nordalpen signifikant und erreichten während der letzten Phase ihren Höhepunkt. Seitens der ZAMG wurden insgesamt drei Schneewarnungen höchster Stufe ("rot") ausgegeben - eine noch nie da gewesene Anzahl in einer so kurzen Zeitspanne. Damit einher ging die Einberufung von Kriseneinsatzstäben über die Landeswarnzentralen sowie erhöhte Bereitschaft bei den Katastrophenzügen beim Bundesheer. Schon um Dreikönig wurde in Teilen der Bundesländer Salzburg, Oberösterreich, Steiermark und Niederösterreich vorübergehend die höchste Lawinenwarnstufe ausgerufen, während der letzten Schneefallphase galt diese dann auch in Teilen Tirols und Vorarlbergs.

Das größte Problem neben der Lawinengefahr war Schneebruch. Unzählige umgestürzte Bäume verlegten Straßen und Schienen, beschädigten Stromleitung und andere Infrastruktur. Wiederholt traten starke Behinderungen im Verkehr auf, mit Fortdauer des Ereignisses wurden auch immer mehr hochrangige Verkehrswege (z.B. Fernpass, Felbertauern, Arlbergbahnstrecke, Brenner- und Tauernautobahn, Katschberg) gesperrt. Der Höchststand wurde am 14. und 15.1.2019 erreicht, wo 180 Straßensperren und 86 500 über Verkehrswege nicht erreichbare Personen gezählt wurden.

In Innsbruck saßen tausende Urlauber aufgrund ausfallender Flüge fest.

In Österreich waren mehrere Todesfälle, die mit den Wetterereignissen in Verbindung gebracht werden müssen, zu beklagen (Ersticken von Skifahrern im tiefen Schnee, Abstürze beim Abschöpfen von Dächern, Lawinen).

Neuschneesummen – Jährlichkeiten

Exkurs: Neuschnee vs. Schneehöhe

Aufgrund häufiger Missverständnisse bei der Kommunikation von Neuschneehöhen und Schneehöhen darf hier auf folgende Definitionen hingewiesen werden: In der Meteorologie wird mit "Neuschnee" in der Regel die in 24 Stunden gefallene Schneemenge bezeichnet. Meistens



Abb. 1: Differenz der Gesamtschneehöhe mit Setzung und Schmelze während der gesamten Periode, hier flächig berechnet mit dem ZAMG-internen Schneedeckenmodell SNOWGRID

Fig. 1: Difference of snow fall totals with settlement and snow melt during the whole period, calculated using the ZAMG snow cover model SNOWGRID

wird dafür der Zeitraum von 07 Uhr des aktuellen Tages bis 07 Uhr des Folgetages gewählt. Bei Betrachtung eines längeren Zeitraumes werden diese 24-h Werte summiert, es ergeben sich "Neuschneesummen". Die "Schneehöhe" ist die Höhe der gesamten Schneedecke. Letztere unterliegt einer ständigen Setzung, die auch weit über einen Tag hinaus anhält. Neuschneesummen entsprechen daher nicht der Schneehöhe.

Neuschnee während der gesamten Periode

In den Tälern der Nordalpen summierten sich die 24h-Neuschneehöhen während der gesamten Periode (17 Tage) oftmals auf 150 bis 250 cm, gebietsweise auch auf bis zu 350 cm. Einzelne höher gelegenen Talstationen brachten es auch auf summierte Neuschneehöhen von über 4 Metern. Auf den Bergen waren die Mengen rund doppelt so hoch, so konnte auf der Seegrube (auf etwa 1900m Seehöhe) oberhalb von Innsbruck eine Neuschneesumme von etwa 8,5 Meter gemessen werden. Im Bereich Innsbruck sind die räumlichen Differenzen bei Schneefällen aufgrund von Nordstaulagen besonders groß, da das obere und mittlere Inntal bei starken Winden aus nordwestlicher Richtung durch nordföhnige Effekte beeinflusst wird. Leebedingte Absinkvorgänge über dem parallel zur Windrichtung verlaufenden Inntal vermindern die Niederschläge im Tal auf einen Bruchteil der Niederschläge im unmittelbaren Stau der Berge. So wurden am Flughafen Innsbruck, 6 km von der Seegrube entfernt und gut 1300 Höhenmeter tiefer gelegen, im gleichen Zeitraum eine Neuschneesumme von "nur" 82 cm registriert. Nur ein kleiner Teil des Unterschiedes ist auf die Niederschlagsart zurückzuführen (also dass es im Tal zeitweise geregnet statt geschneit hat), den größten Anteil haben die Föhn- bzw. Staueffekte.

Jährlichkeiten und Rekorde

Eine Auswertung der Jährlichkeit dieses Niederschlagsereignisses (siehe Tabelle 1), also wie selten mit einem solchen Ereignis im Schnitt gerechnet werden muss, zeigt auf, dass diese rund 17-tägige Schneefallperiode gebietsweise als absolut außergewöhnlich einzustufen ist. Es war zwar die gesamte österreichische Alpennordseite von den intensiven Schneefällen betroffen, in der Auswertung der Jährlichkeit kommt aber zutage, dass dieses Ereignis im äußersten Westen (Vorarlberg, Tiroler Oberland) weniger ungewöhnlich war wie in den östlicheren Regionen. Besonders groß waren die Neuschneemengen etwa vom Seefelder Plateau bis ins Mariazellerland. Hier kamen besonders in den nordstauanfälligen Gebieten von Ende Dezember 2018 bis Mitte Jänner 2019 Neuschneesummen zusammen, die statistisch gesehen oft nur etwa alle 50 bis 100 Jahre auftreten, an einigen Standorten sogar noch seltener. Eine genauere Bestimmung dieser hohen Jährlichkeit wird hier durch die Länge der Neuschnee-Messreihen begrenzt, die nur an wenigen Standorten über 100 Jahre hinaus reicht.

Die einzelnen Ereignisse (Phasen) an sich brachten zwar jeweils hohe Neuschneesummen, die Jährlichkeiten für die Einzelereignisse liegen aber nur zwischen einem und fünf Jahren. Für die Außergewöhnlichkeit des Gesamtereignisses sorgte demnach die Aneinanderreihung mehrerer intensiver Einzelereignisse innerhalb kurzer Zeit.

Die Schneehöhen lagen zum Teil in Rekordnähe, was angesichts des frühen Auftretens Mitte Jänner bemerkenswert ist. Die Rekorde selbst wurden bei den Schneehöhen aber nirgendwo gebrochen.

Äußerst bemerkenswert ist hingegen die Zunahme der Schneehöhen in diesen zweieinhalb Wochen.

	Neuschneesumme [cm] 31.12. – 15.01.	Jährlichkeit der Neuschneesumme	Max. Schneehöhe [cm]
Bregenz	71	5	45
Schröcken	348	<5	220
Holzgau	212	10	87
Seefeld	371	>100	186
Innsbruck	82	15	47
Achenkirch	245	30	126
Hochfilzen	521	>100	245
Lofer	305	>100	105
Bad Ischl	170	50	80
Admont	267	>100	116
Bad Mitterndorf	373	>100	150

Tab. 1: Neuschneehöhen während der gesamten Schneefallperiode von West nach Ost und deren Jährlichkeiten (Rekorde bei Messwerten fett angegeben), dazu die höchsten Schneehöhen während der Periode.

Tab. 1: New snow fall heights during the whole snow fall period from West to East with return periods (record values in bold), and maximum snow heights during the period.

Mit Fortdauer der Schneefallperiode drängte sich ein sonst oft wenig beachtetes Thema immer weiter in den Vordergrund: die Schneelasten auf Gebäuden. Auch wenn die Niederschläge zwischenzeitlich in Form von Regen fielen und die Schneehöhen deutlich zurückgingen, wurde an Orten mit ausreichend mächtiger Schneedecke der größte Teil des flüssigen Niederschlages in der Schneedecke gespeichert. Der Schneewasserwert und somit die Schneelast nahm stetig zu.

Die als Richtwert geltenden Normen für die Schneelast auf Gebäuden wurden in den Nord- und Zentralalpen – insbesondere in einem Streifen vom Tiroler Unterland bis ins Mariazellerland – gebietsweise erreicht und bei besonders ungünstiger Kombination (viel Schnee an Orten,

mit relativ niedrigem Normwert liegen) auch mehr oder weniger deutlich überschritten. Der heikle Aspekt ist, dass kürzere Perioden mit Tauwetter bei mächtiger Schneedecke zwar zu oberflächlichem Abschmelzen und zunehmender Durchfeuchtung der Schneedecke führt. die Schneedecke aber ähnlich einem Schwamm große Mengen an flüssigem Wasser speichern kann. Erst bei einer Sättigung der Schneedecke rinnt eine nennenswerte Wassermenge aus der Schneedecke und die

die in einer Zone

Masse nimmt ab. Bis zum Stand Mitte Februar 2019 wurden in den Nordalpenregionen schon mehrere bedeutende Schäden an Gebäuden bekannt.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Alexander Radlherr Michael Winkler Manfred Bauer ZAMG Innsbruck Fürstenweg180, 6020 Innsbruck Alexander.Radlherr@zamg.ac.at Michael.Winkler@zamg.ac.at Manfred.Bauer@zamg.ac.at







- Triebschneewände
- Lawinenablenkwände
- Stahlteile für Schutzbauten

System Farfalla BöschungSystem Farfalla Bachverbauung



Mair Wilfried Gmbh | I-39030 St. Lorenzen | www.mairwilfried.it

PATRICK NAIRZ, BERNHARD GRÜNER, CLARA BERTEL, RUDI MAIR

Schnee- und Lawinensituation in der ersten Jännerhälfte 2019 in Tirol

Snow and avalanche situation in Tirol during the first half of January 2019

Zusammenfassung:

Der Winter 2018-19 geht in Nordtirol sowie im nördlichen Osttirol als schneereicher Winter in die Geschichte ein. Verantwortlich dafür waren intensive Niederschläge, beginnend ab dem 08.12.2018 mit Schwerpunkt in der ersten Jännerhälfte 2019. Letztere zählt laut ZAMG gebietsweise zu den niederschlagsreichsten Perioden der letzten 160 Jahre. Damit einhergehend stieg die Lawinengefahr an und erreichte am 14.01.2019 gebietsweise die höchste Gefahrenstufe "sehr groß". Ab dann besserte sich die Situation zusehends. Dieser Artikel beleuchtet die Hintergründe dieser neuschneereichen Zeit v.a. in Hinblick auf die Entwicklung des Schneedeckenaufbaus, der Lawinengefahr sowie der registrierten Lawinenabgänge.

Stichwörter:

Lawinensituation, Jänner 2019, Spontanabgänge, höchste Gefahrenstufe

Abstract:

For Tyrol and the northern parts of Eastern Tyrol winter-season 2018-2019 goes down in history as very snow-rich. This was due to intense precipitation, starting from the 8th of December 2018, reaching a peak in the first half of January 2019. The 15-day's amount of new-snowfall exceeded regionally the 160 year's maximum. Avalanche danger rose up to the highest level "very high" on January 14th 2019. Afterwards the avalanche-situation improved from day to day. This article deals with the development of the snowpack, the avalanche danger and the registered avalanches from the start of the winter-season till mid of January 2019.

Keywords:

Avalanche situation, January 2019; spontaneous avalanches; danger level very high

Einleitung

In der ersten Jännerhälfte 2019 brachten mehrere Niederschlagsstaffeln aus Nordwesten feuchte Luftmassen vom Atlantik zu den Alpen. Mit den ständig wachsenden Schneehöhen stieg auch die Lawinengefahr sukzessive an und erreichte am 14.01.2019 mit der Stufe 5 ("sehr groß") ihren Höhepunkt. Zahlreiche, zum Teil auch schadenbringende Lawinenabgänge waren die Folge.

Für eine detaillierte schnee- und lawinenkundliche Analyse dieser Situation erscheint es unabdingbar, nicht nur die Wetter- und Schneedeckenentwicklung während dieser Periode zu analysieren, sondern weiter auszuholen und auf relevante Entwicklungen ab Winterbeginn einzugehen.

Frühwinter

Erstmals wurde es im Gebirge bereits am 25.08.2018 weiß – eine Kaltfront beendete den fünftwärmsten August der Messgeschichte. Dieser Schnee schmolz sehr rasch dahin, was vielerorts auch bei den folgenden Schneefällen am 01.09., 07.09., 24.09. und am 01.10. der Fall war. Allerdings traf dies nicht für hochalpines, insbesondere vergletschertes und zudem schattiges Gelände

zu. Trotz des überdurchschnittlich sonnigen und warmen Oktobers (zehntwärmster der Messgeschichte) blieb Schnee dort liegen. An der Schneeoberfläche bildete sich dabei häufig eine mehr oder weniger dicke Schmelzkruste aus. Darunter begann sich der Schnee mitunter umzuwandeln, d.h. er wurde lockerer und bindungsloser – eine erste, mögliche persistente Schwachschicht für Lawinen.

Auf dieser Schwachschicht lösten sich während einer außergewöhnlichen Wetterlage Ende Oktober (beginnend ab dem 25.10.) spontane Schneebrettlawinen. Eine Südströmung brachte damals nicht nur intensive Niederschläge (samt Saharastaub), sondern auch Sturm auf den Bergen. Beachtlich waren zudem auch die großflächigen Windwürfe sowie Vermurungen und Überschwemmungen im Süden. Gleichzeitig hatte die Südströmung Auswirkungen auf die Bildung oberflächennaher Schwachschichten. Zwischen etwa 2500 m und 2800 m entstanden in allen Expositionen zwischen Schmelzkrusten zeitverzögert kantige Kristalle (Gefahrenmuster 4: kalt auf warm / warm auf kalt). Dies hatte mit Temperaturschwankungen während des Niederschlagsereignisses und der dadurch bedingten Abfolge von Regen und Schneefall zu tun.



Abb. 1: Niederschlag und Schnee am Pitztaler Gletscher (Ende September bis Ende Oktober 2018)

Fig. 1: Precipitation and snow at Pitztaler Glacier (End of September till end of October 2018)





Abb. 2: Schneeprofil Rettenbachferner – Ötztaler Alpen samt Zuordnung der Schichten zu den Witterungsereignissen. 03.11.2018; 2980m; NO; 34 Grad; © Ruetz, Höpperger, Raich

Fig. 2: Snow-profile Rettenbachferner – Oetztaler Alps. Layers developed during different weather-periods; November 3rd 2018; 2980m; NE; 34 degrees slope-angle

Die erste Novemberhälfte fiel neuerlich überdurchschnittlich warm aus. Dann wurde es kälter und wechselhafter. Relevant für die weitere Schneedeckenentwicklung waren häufige Schwankungen bei den Schneefallgrenzen, insbesondere auch mehrmaliger Regeneinfluss, dort wo Schnee liegen geblieben ist. Dies bedingte v.a. in Schattenhängen eine Abfolge von Krusten und kantigen Kristallen in Höhenbereichen zwischen etwa 2300 m bis 2800 m. Vorteilhaft für zukünftige Schneefälle war die meist nur kleinräumige Verbreitung dieser Schwachschichten aufgrund der meist unterdurchschnittlichen Schneehöhen in diesen Höhenbereichen.

Anfang Dezember fand man eine geschlossene Schneedecke v.a. in den Regionen entlang des Alpenhauptkammes von den Ötztaler Alpen bis zu den Hohen Tauern meist oberhalb rund 2200 m bis 2400 m vor. In den übrigen Landesteilen lag für Schneesport abseits der (ab etwa 17.11. beschneiten) Pisten häufig zu wenig Schnee.



Abb. 3: Schneeprofil Horbergkar – Tuxer Alpen; Kantige Kristalle und Schwimmschnee zwischen Krusten; 02.12.2018; 2400m; Nord; 30 Grad © Wechselberger

Fig. 3: Snow-profile Horbergkar – Tuxer Alps; Facets and depht-hoar adjacent to crusts; December 2nd 2018; 2400m; North; 30 degrees slope-angle © Wechselberger



Abb. 4: Verteilung der Gesamtschneehöhe in Tirol am 06.12.2018. Fig. 4: Distribution of the total snow-height in Tyrol on December 6th 2018.

Winterbeginn

Nach einer wärmeren Phase Anfang Dezember erfolgte der endgültige Startschuss für die Wintersaison in Nordtirol sowie dem nördlichen Osttirol am 08.12.2018. Eine stürmische West- bis Nordwestströmung brachte bei sukzessive sinkenden Temperaturen bis zum 11.12. viel Neuschnee. Verbreitet waren es in hohen Lagen 40 cm bis 100 cm mit Schwerpunkt in den typischen Nordweststaulagen von der Silvretta- und Samnaungruppe über die Verwallgruppe und die Allgäuer Alpen bis zum Karwendel und ins Kaisergebirge.



Abb. 5: Wetterstation im Paznauntal. Viel Neuschnee zwischen dem 08.12. und 11.12.2018. Gefahrenmuster 4 (kalt auf warm) ab 08.12.2018.

Fig. 5: Weather station in the Paznaun valley. Lots of new snow between December 8th and 11th 2018. Danger pattern 4 (cold on warm) from December 8th on. Die darauffolgende, retrospektiv betrachtet, kälteste Periode des Winters, begünstigte erneut die Ausbildung des Gefahrenmusters 4 (kalt auf warm). Dies war v.a. zwischen etwa 2300 m und 2700 m im Südsektor der Fall.

Als einschneidend für die weitere Schneedeckenentwicklung stellte sich das pünktlich zu Weihnachten eingetretene Weihnachtstauwetter heraus. Intensiver Niederschlag gepaart mit einem markanten Temperaturanstieg und stürmischem Nordwestwind schwächte die Schneedecke derart, dass zahlreiche Lawinen spontan abgingen. Bis in mittlere Höhenlagen beobachtete man vermehrt nasse Lockerschneelawinen und Gleitschneelawinen. Begünstigt wurde dies durch Regeneinfluss zwischen etwa 2000 m und gebietsweise 2600 m hinauf. In größeren Höhen hingegen gingen spontan Schneebrettlawinen ab. Letztere waren insbesondere im schneereichen Westen und Südwesten des Landes (bis zu 100cm Neuschnee) zum Teil groß und lösten sich

in allen Expositionen. Die Hauptaktivität war zwischen dem 23.12. und dem 24.12. vormittags. Als Schwachschicht dürfte einerseits Graupel gedient haben, der am 23.12. recht großflächig beobachtet wurde. Zudem haben auch die vorhin angesprochenen Schwachschichten aus kantigen Kristallen im Bereich von Krusten eine wesentliche Rolle für den Abgang von Schneebrettlawinen gespielt. Einschneidend war diese Periode somit v.a. in Hinblick auf die Verbreitung möglicher persistenter, tiefer in der Schneedecke liegender Schwachschichten für zukünftige Schneefälle. Die Anzahl diesbezüglicher Gefahrenstellen hat sich definitiv während dieser lawinenaktiven Zeit deutlich reduziert.

Die Ausgangslage für die sich ab Ende Dezember anbahnende, langanhaltende, außergewöhnlich niederschlagsreiche und zudem häufig stürmische Zeit war aus schneekundlicher Sicht somit verhältnismäßig gut. Es schien so, dass das Hauptaugenmerk zumindest anfangs



auf frisch gebildete, oberflächennahe Schwachschichten (überwehter Pulverschnee bzw. Graupel) gelegt werden konnte. Relevante Problembereiche innerhalb der Altschneedecke hatten sich auf relativ schmale Höhen- und Expositionsbänder vermehrt an schneeärmeren Stellen in den inneralpinen Regionen sowie dem zentralen Osttirol reduziert: Südsektor zwischen etwa 2400 m und 2700 m; Nordsektor zwischen etwa 2200 m und 2600 m. Speziell im Nordsektor waren die betroffenen Flächen kaum über größere Bereiche zusammenhängend.

Starkschneefälle und Lawinen

Zwischen dem 30.12.2018 und dem 15.01.2019 schneite bzw. regnete es in tiefen Lagen in Nordtirol sowie dem nördlichen Osttirol bei meist kräftigem Wind aus dem Sektor W über NW bis N mit wenigen Unterbrechungen. Die damals aufsummierten Neuschneesummen waren z.T. außergewöhnlich und überschritten gebietsweise die 4m-Marke!

Dawinsipe, 1910m (LWD Tirol) - Dawinkopf, 2968m (LWD Tirol)



Abb. 7: Erste Jännerhälfte: Eine neuschneereiche Zeit mit wechselnden Temperaturen

Fig. 7: First half of January: Lots of fresh snow and changing temperature



Abb. 8: Mitte Jänner wurde das bisher gemessene Maximum der Schneehöhe überschritten (Beobachtungszeitraum: 59 Jahre) Fig. 8: Mid of January a new maximum of the total snow-height was measured from our observer in Boden (duration: 59 years)



Temperaturschwankungen ab dem 04.01. gebil-

dete, dünne kantige Schicht, welche nur lokal bis

in Höhenbereiche von etwa 2000m hinauf rele-

vant war. (Tödlicher Lawinenunfall Variantenge-

dritten und letzten Staffel weiter zuspitzte, spielte

zudem Wildschnee, welcher sich vom 11.01.

auf den 12.01. recht flächig ablagerte, eine nicht

unwesentliche Rolle. Als es nämlich danach bei

anfangs noch kalten Temperaturen zu schneien

begann, und die Temperatur in der Nacht vom

13.01. auf den 14.01. sukzessive anstieg, bildete

sich ein perfektes "Brett". Die Kombination aus

sehr reaktiver Schwachschicht (dort, wo Wind-

einfluss diese nicht zerstörte) und Brett dürfte

während der Nachtstunden zu der wohl höchsten

spontanen Lawinenaktivität während der gesamten Starkschneefallperiode geführt haben. Anfangs

eher wohl nur mittelgroße Lawinen hatten das

Potential, aufgrund ihrer Zusatzbelastung in Folge

größere Lawinen (z.B. auf Graupel, stellenweise auf kantigen Schichten) auszulösen. Sehr große,

Als sich die Lawinensituation mit der

biet Zammermoos, Arlberg am 09.01.2019)

staffeln mischten sich neue, oberflächennahe Schwachschichten hinzu. Es handelte sich um Graupel, zudem auch um eine, aufgrund von

enormen Schneemengen immer wahrscheinlicher. Auf der Seegrube oberhalb von Innsbruck kamen zwischen dem 13.01. und 15.01. morgens beispielsweise 215 cm Neuschnee dazu. Am 14.01. wurde deshalb gebietsweise in Tirol die höchste Lawinengefahrenstufe ausgegeben.

Spontane Lawinen auf Verkehrswege sowie in Siedlungsnähe waren die Folge. Personen kamen dabei nicht zu Schaden, wohl auch aufgrund sehr umfangreicher Sicherungsmaßnahmen. In Summe registrierten wir diesbezüglich in Tirol 59 Lawinen. Die Schäden hielten sich angesichts der über lange Zeit angespannten Lage in Summe in Grenzen: einige zerstörte Almhütten, in Mitleidenschaft gezogene Materialseilbahnen, ein durch eine Gleitschneelawine teilweise verschüttetes Wohngebäude in Brixen im Thale (Ortsteil Salvenberg), Waldschäden und Stromausfälle.





Zu Beginn dieser Periode lag der Schwerpunkt der Schneefälle im Unterland sowie dem nördlichen Osttirol. Die Neuschneemengen betrugen bis zum 03.01. meist zwischen 50cm und 100cm, lokal auch mehr. In den besonders neuschneereichen Regionen, wie dem hinteren Zillertal, beobachtete man am 03.01. bereits erste spontane Lawinen, welche sehr exponierte Verkehrswege erreichten. Die Lawinengefahr wurde damals mit groß beurteilt.

Weitere Niederschlagsstaffeln folgten zwischen dem 04.01. und dem 07.01., dem 08.01. und dem 11.01. sowie dem 13.01. und dem 15.01. Jeweils gab die ZAMG-Wetterdienststelle aufgrund der großen Neuschneemengen (Nahe der 100cm-Marke und darüber) Warnungen vor Starkschneefällen aus.

Ein kurzes Zwischenhoch am 11.01. ermöglichte eine erste Erkundung der Situation. Interessant erschien einerseits die relativ große Anzahl an Gleitschneelawinen, u.a. auch jener, welche Schäden verursacht hatten, andererseits bestätigte sich das gesamthafte Bild des Schneedeckenaufbaus insofern, dass großflächige Schneebrettlawinen, welche in tieferen Schichten brachen, selten beobachtet wurden, dies am ehesten an bis dato schneeärmeren Stellen.

Während der folgenden Niederschlags-



vereinzelt auch extrem große Lawinenabgänge wurden allerdings allein schon aufgrund der z.T.

Am Schluss noch ein paar

Impressionen zur damaligen Lawinensituation:



Abb. 14: Die in Tirol wohl höchste beobachtete Lawinenaktivität – Mieminger Gebirge © LWD Tirol *Fig. 14: Probably the most amount of observed avalanches in Tyrol – Mieminger Mountains*



Abb. 15: Die nach den Schneefällen am 15.01. noch offensichtliche Lawinenabgänge auf der Nordkette. Die Lawine in der Bildmitte zerstörte Wald. © LWD Tirol

Fig. 15: Obvious avalanches on Nordette. The avalanche in the middle destroyed some forest.



Abb. 16: Tonnesrinner-Lawine im Pitztal auf der linken Bildseite. Abgang am 09.01.2019

Fig. 16: Tonnesrinner-Lawine in the Pitztal-valley on the left, released on January 9th, 2019



Abb. 12: Lawinenereignisse der Starkniederschlagsperiode / Lawinenart

Fig. 12: Avalanches during the period of intense snowfall / avalanche type



Abb. 13: Lawinenereignisse der Starkniederschlagsperiode / Lawinengröße

Fig. 13: Avalanches during the period of intense snowfall / size of avalanches



Abb. 17: Gleitschneelawinen und Schneebrettlawine im Außerfern (Foto: 16.01.2019) © LWD Tirol

Fig. 17: Gliding snow avalanches and a slab in Ausserfern



Abb. 18: Eine der ganz seltenen Lawinenabgänge auf der bodennahen Schwachschicht von Ende Oktober 2018. Zillertaler Alpen. (Foto: 19.01.2019) © LWD Tirol

Fig. 18: Rarely observed: An avalanche on a deep persistent weak layer from end of October 2018. Zillertaler Alpen



Abb. 19: Lawinenabgang Niljoch 14.01./15.01.2019. Die Lawine beschädigte eine Materialseilbahnstation sowie versetzte und beschädigte eine Almhütte. (Foto: 19.01.2019) © LWD Tirol

Fig. 19: Avalanche Niljoch January 14th/15th 2019. A hut from a ropeway for material transport as well as a hut have been damaged.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

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

Mag. Bernhard Grüner Lawinenwarndienst Tirol Eduard-Wallnöfer-Platz 1 bernhard.gruener@tirol.gv.at Dr. Clara Bertel Lawinenwarndienst Tirol Eduard-Wallnöfer-Platz 1 clara.bertel@tirol.gv.at

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

MICHAEL SCHIFFER

Lawinenwinter 2019 – 30 Jahre Lawinenschutz im Salzkammergut (1989–2019)

Avalanche winter 2019 – 30 years of protection against avalanches in the Salzkammergut area, Upper Austria

Zusammenfassung:

Seit den Lawinenwintern 1989 und 1999 traten im Salzkammergut weitere Winter mit Rekordschneehöhen 2005/2006 und reger Lawinentätigkeit 2009 und nun 2019 auf. Seitens der WLV wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte zahlreiche Lawinenschutzmaßnahmen getroffen und im Rahmen Flächenwirtschaftlicher Projekte getrachtet, die Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder nachhaltig zu verbessern. 2019 haben die getätigten Maßnahmen örtlich das Eintreten schwerer Sachschäden sowie Personenschäden wirkungsvoll verhindert. Neu entstandene Problembereiche werden mit modernen Methoden (Drohnenbefliegung) erkundet und analysiert. Darauf aufbauend sollen ergänzende Lawinenschutzmaßnahmen und einschlägige Maßnahmen zur Verbesserung der Schutzwirkung der Objektschutzwälder abgeleitet und zeitnah umgesetzt werden.

Stichwörter: Lawinen, Salzkammergut, Schutzmaßnahme, Flächenwirtschaftliches Projekt

Abstract:

Winters with record snow heights and avalanche activity occurred in the Salzkammergut area in 1989, 1999, 2005/2006, 2009 and now 2019. In the last decades, the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control realized numerous avalanche protection measures and protection forest management plans to sustainable enhance the protection function of object protection forests. Those measures were very effective preventing heavy damage to property and persons in winter 2019. New emerged problem areas were investigated and analysed using modern methodologies (eg. drone technology). Based on the results, complementary avalanche protection measures and measures for protection forest improvement will be designed and implemented.

Keywords: Avalanche, Salzkammergut, protection measure, protection forest management

Lawinenwinter 2019 – herausfordernde Krisensituation

Nach den schwersten Schneefällen seit rd. 20 Jahren und zahlreichen Lawinenabgängen mussten im Salzkammergut viele Straßen gesperrt und einzelne Objekte evakuiert werden. Unter anderem drangen in Ebensee am Fuße des Wimmersberges Lawinen bis in Dauersiedlungsraum vor und erreichten die dort befindlichen Wohnhäuser. Weiters kam es in Ebensee und im Bereich der Gosauschlucht, Gde. Gosau zu Lawinenabgängen bei geöffneten Straßenverbindungen. In Ebensee wurde eine Gemeindestraße rd. 3,5 m hoch von einer Nassschneelawine überfahren. In der Gosauschlucht verhinderte ein 2018 fertiggestellter Lawinenauffangdamm wirkungsvoll die Verschüttung eines Dienst-Kfz der ÖBF AG. Der zuständige Revierleiter passierte gerade zum Zeitpunkt des Abganges der Finstergrabenlawine (Lahnganggraben, Löckerkogellawine) deren potentielles Ablagerungsgebiet im Bereich der geöffneten Paß-Gschüttstraße (B 166). "Ohne Lawinenauffangdamm wäre ich nicht mehr am

Abb. 1: Lawinenwinter 2019 Marktgemeinde Ebensee, Wimmersberg – Lawinen dringen bis in den Siedlungsraum vor

Fig. 1: Avalanche winter 2019: municipality Ebensee, Wimmersberg avalanches the avalanches reached the settlement areas.

Leben!", kommentierte der geschockte ÖBF AG-Mitarbeiter die brenzlige Situation. Die B 166 blieb daraufhin mehrere Tage gesperrt. Gosau war in der Folge vorübergehend von der Außenwelt abgeschnitten, da auch der Paß Gschütt wegen der enormen Schneemengen für den gesamten Verkehr gesperrt werden musste (Schneedruck, Windwürfe). Im Gemeindegebiet von Bad Ischl löste sich im Bereich des sogenannten Finstergrabens, der bislang nur als Wildbach in Erscheinung trat, eine Nassschneelawine und lagerte einen rd. 3.000 m3 umfassenden Lawinenkegel unmittelbar oberhalb der ÖBB Bahnlinie Attnag/ Puchheim - Steinach/Irdning bei geöffneter Strecke ab. Sowohl die Lawinenwarnkommission von Bad Ischl als auch die Lawinenwarnkommission der ÖBB zeigten sich vom Auftreten dieser Lawine überrascht. Auch der Gefahrenzonenplan weist in diesem Bereich aktuell keine Lawinengefahrenzone aus. Im Einzugsgebiet des Finstergrabens kam es in letzter Zeit durch Sturm- und nachfolgenden Borkenkäferschäden zu weitreichenden Entwaldungen.



Hoher Druck auf Lawinenwarnkommissionen

Besondere Brisanz ergibt sich, wenn in derartigen Gefahrensituationen hunderte Schüler und Schülerinnen sowie Pendler und Schitouristen versuchen ihre Zielorte zu erreichen bzw. zu verlassen. In diesen Fällen stehen besonders die zuständigen Lawinenwarnkommissionen vor großen Herausforderungen. Laufende Änderungen der naturräumlichen Rahmenbedingungen wie Klimawandel, Abnahme der Schutzwirkung von Objektsschutzwaldbeständen (Windwurf, Borkenkäfer, Lawinentätigkeit...), Zunahme von Extremereignissen etc. machen eine Einschätzung der Gefährdungslage oft schwierig.

Die tagelange Sperre der B 145 (Goffeck) mit erschwerter Erreichbarkeit der Schulstadt Bad Ischl mit zahlreichen Bildungseinrichtungen

brachte die zustän-Lawinenwarndige kommission Ebensee stark unter Druck. Mit Unterstützung der (DI Pürstinger, WLV Hofmann) auf Ing. Basis des aktuellen Gefahrenzonenplanes, ergänzenden Gefahrenzonenausscheidungen aus Vorwintern (Grundlagen Simulationen der Stabstelle Schnee & Lawine. Innsbruck), WLK-Daten (Bauwerkskataster) sowie Zurverfügungstellung von Archivdaten (Ereignisdokumentation eingetretener Ereignisse in den 1980-er Jahren)

und den augenscheinlichen Wahrnehmungen in der Natur, fanden die Argumente für die Sperre aber allgemein Akzeptanz.

Aber nicht nur in Ebensee, Bad Ischl und Gosau sondern auch in Hallstatt, Bad Goisern und Obertraun wurden im Verlauf des Jänners bestehende Straßenverbindungen aus Sicherheitsgründen gesperrt.

Erfolgreiche Krisenbewältigung – Intensivierung Zusammenarbeit

Anlässlich eines Besuches der Krisenregion am 22.01.2019 gratulierte Frau BM Köstinger Bgm. Markus Siller, Marktgemeinde Ebensee zur erfolgreichen Bewältigung der schwierigen Lawinensituation und zur guten Zusammenarbeit von Gemeinde, Lawinenwarnkommission, Bergret-



Abb. 2: Vor dem Baufeld Brentenkogl, Marktgemeinde Ebensee versammelt. Hier wird ab Ende Jänner 2019 eine weitere Steinschlagschutzverbauung errichtet: Frau BM Elisabeth Köstinger mit Dr. Christoph Preimesberger (Landesleiter Bergrettung OÖ), Bgm. Markus Siller, FM DI Andreas Gruber ÖBF AG, DI Wolfgang Gasperl (SL WLV OÖ), DI Michael Schiffer (GBL OÖ West), DI Andreas Pichler (BMNT Abteilung III/5 WLV) sowie lokaler Politik und WLV-MitarbeiterInnen

Fig. 2: Brentenkogl, construction site of a rockfall protection measure starting in 2019, municipality Ebensee. tung und den Dienststellen der WLV sowie der ÖBB und der Straßenverwaltung. Im Zuge der aktuellen Digitalisierung von Schutzbauten und Naturraumdaten soll künftig noch enger zusammengearbeitet werden. Zusätzlich sollen auch die Infrastrukturbetreiber wie Straßenverwaltung und ÖBB sowie die ÖBF AG verstärkt eingebunden werden. Zusätzliche Mittel zur Verbesserung des Lawinenschutzes, insbesondere für die nachhaltige Verbesserung der Objektschutzwälder wurde in Aussicht gestellt.

Die aktuelle Krisensituation hat deutlich gemacht, dass eine Intensivierung der Zusammenarbeit und eine Vernetzung der Mitglieder der Lawinenwarnkommissionen (Lawinenwarnkommission der Gemeinden, Lawinenwarnkommission der ÖBB) mit den betroffenen Dienststellen der WLV einen erheblichen Wissenszuwachs für beide Seiten bedeutet. Ein institutionalisierter Erfahrungsaustausch unter Einbindung der zuständigen Landeswarnzentrale soll künftig den wechselweisen Wissenstransfer sicherstel-

len. Durch intensiven Erfahrungsaustausch, gemeinsame Geländebegehungen und einschlägige Informationsveranstaltungen sollen bestehende Problembereiche zielgerichtet analysiert und neue Gefahrenstellen vorzeitig erkannt werden, um im Bedarfsfall entsprechende Prognosen abgeben und möglichst effiziente Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung setzten zu können.

Modernes Naturgefahrenmanagement

Neben der klassischen Ereignisdokumentation mit Erhebungen im Gelände und Erfassung der wichtigsten Parameter einzelner Lawinenereignisse wurden von besonders kritischen und sensiblen Bereichen zusätzlich flächige Erhebungen mittels Drohnenbefliegung durchgeführt. Die eingesetzte Drohne ist mit einem Laserscanner zur Erfassung der Schneeoberfläche und einer Kamera zur Herstellung georeferenzierte Orthophotos ausgestattet. Die Erhebungen mittels Drohne liefern rasch flächige Detailinformationen und geben einen guten Gesamtüberblick über das jeweilige Aufnahmegebiet.

Die erhaltenen Daten und Auswertungen werden durch gemachte Beobachtungen in der Natur und Begehungen im Gelände verifiziert und auf Schlüssigkeit geprüft sowie durch erforderliche Geländeerhebungen ergänzt. Aus den verifizierten Daten und den vor Ort erhobenen Gelände- und Bestandesparametern werden in



Abb. 3: Drohne mit Lasersanner und Kamera Fig 3: Drone with ALS-scan and camera



Abb. 4: Schneehöhenauswertung nach Drohnenbefliegung Wimmersberg, Marktgemeinde Ebensee Fig. 4: Resulting snow heights of a drone flight at Wimmerberg, municipality Ebensee

weiterer Folge einschlägige Schutzmaßnahmen abgeleitet und waldbauliche Behandlungskonzepte in Abstimmung mit den Grundbesitzern festgelegt. Zusätzlich dienen die erhobenen Schneehöhen und Geländedaten Dokumentationszwecken.

Gerade im Hinblick auf den stattfindenden Klimawandel und die Zunahme der Witterungsextreme ist für die alpinen Lebensräume der Schutz vor Naturgefahren von existenzieller Wichtigkeit. Neben technischen Schutzmaßnahmen gegen Lawinen, Steinschlag und Wildbachgefahren ist als besondere Aufgabe der Zukunft der Erhalt bzw. die nachhaltige Verbesserung der Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder gemäß der österreichischen Schutzwaldstrategie zu sehen. Auszug aus laufenden Projekten und errichteten Schutzbauten

Bannwald Hallstatt

Im Bereich Hallstatt wurden seit Ende des 2. Weltkrieges rd. 70,0 Mio € in Schutzmaßnahmen investiert. 2019 gingen aus den verbauten Bereichen keine Lawinen oder Schneerutsche in den Dauersiedlungsraum ab. Im Bereich der Steingrabenlawine haben z.B. die 2007/2008 errichteten Schneenetze ihre volle Wirkung gezeigt und Lawinenanbrüche aus den exponierten Oberhängen gänzlich verhindert. Die aus dem Unterliegerbereich abgegangenen Grundlawinenmassen konnten zur Gänze im 2007/08 erweiterten Lawinenfallboden schadlos abgelagert werden.



Abb. 5: Blick auf Hallstatt und die bislang getroffenen Schutzmaßnahmen Fig. 5: View of Hallstatt and its protection measures

In alpinen Extremlagen wie der Marktgemeinde Hallstatt ist der Schutz vor Naturgefahren eine Daueraufgabe. Nach Endkollaudierung des Projektes Bannwald Hallstatt 1986 wurde am 31.05.2017 ministeriell genehmigt. Aktuell ist ein Folgeprojekt in Ausarbeitung, das neben ergänzenden Steinschlagschutzmaßnahmen und flächenwirtschaftlichen Ansätzen (u.a. Sanierung der Waldbrandfläche Echernwand 2018) auch ergänzende Lawinenschutzmaßnahmen zum Inhalt hat.

Marktgemeinde Ebensee

Sowohl im Bereich des Wimmersberges als auch des Brentenkogls sind aktuell Flächenwirtschaftliche Projekte der Wildbach- und Lawinenverbauung in Umsetzung.

Trotz der ungewöhnlich großen Neuschneemengen konnten durch die getroffenen Schutzmaßnahmen der WLV schwere Schäden im Dauersiedlungsraum verhindert werden.

Salzkammergut (1989–2019)

Seite 209



Abb. 6: Sportplatzlawine (Wimmersberg/Ebensee) – Die Grundlawine mit rd. 5,0 m Ablagerungshöhe reicht, so wie im Gefahrenzonenplan dargestellt, bis unmittelbar an die bestehenden Wohnhäuser heran.

Fig. 6:

Sportplatz avalanche (Wimmersberg/Ebensee), ground avalanche with 5 m deposition height reached the residential buildings, as indicated in the hazard zone map.



Abb. 7: Tommerlhansllawine (Wimmersberg/Ebensee) Die Lawine wurde durch den im Jahr 1989 durch die WLV errichteten Lawinenauffangdamm (rechts im Bild) unmittelbar oberhalb der bestehenden Wohnhäuser zur Ablagerung gebracht. Sach- und Personenschäden im unterliegenden Dauersiedlungsraum wurden somit erfolgreich verhindert.

Fig. 7: Tommerlhansl avalanche (Wimmersberg/Ebensee), existing avalanche retention dam of 1989 prevented damages of property and persons.

Im Bereich Goffeck war durch die eingetretenen Schneehöhen und die vorherrschende Windrichtung aus Nordwest die B 145 akut durch Lawinenabgänge gefährdet. Der gegenständliche Steilabfall wird von mehreren Lawinenzügen durchzogen, wobei auch flächige Waldlawinenabgänge und Schneerutsche möglich sind. Zusätzlich tritt flächig Steinschlaggefahr und eine Gefährdung durch abstürzende Baumteile auf.



Abb. 8: Bereich Goffeck Aneislawine; am Fuße des Steilabhanges liegt die B 145

Fig. 8: Area Goffeck, Aneis avalanche, the federal highway B 145 passes the food of the precipices



Abb. 9: Blick in die Anbruchsgebiete im Bereich des Goffecks, Marktgemeinde Ebensee

Fig. 9: Avalanche starting zone in the area of Goffeck, municipality Ebensee

Gemeinde Obertraun

Im Bereich der Werflingwände, wo Stahlschneebrücken mit Steinschlagpanzerung die Hallstätterseestraße schützen kam es durch Windwürfe zu Beschädigungen der obersten Bedielungsreihen. In Bereichen verminderter Wirkhöhe kam es zu Abgängen von Schneerutschen über die Werksreihen hinweg, die bis unmittelbar an die Hallstätterseestraße heranreichten. In diesen Bereichen sollen ergänzende Maßnahmen und erforderliche Bauwerkssanierungen durchgeführt werden.

Am Koppen entstanden Schäden an einer vorhandenen Steinschlagschutzverbauung durch einen bislang nicht beobachteten Lawinenzug. Durch im Spätherbst 2018 eingetretene Windwürfe dürfte sich die Ablagerungs- und Abbruchsituation lokal geändert haben. Auch in diesem Bereich sollen ergänzende Lawinenschutzmaßnahmen geplant und umgesetzt werden. Gemeinde Gosau

Die Zufahrtsstraße (B 166) vom Inneren Salzkammergut nach Gosau führt durch die sogenannte "Gosauschlucht" ins Gosautal. Die Gosauschlucht ist ein tief eingeschnittenes Kerbtal, das auf einer Länge von rd. 6 km beidseitig stark durch Steinschlag und Hangprozesse sowie zahlreiche Wildbäche und Lawinenzüge gefährdet wir. Im Bereich Großer und kleiner Krapflgraben, sowie Kar- und Blekargraben wurden nach dem Lawinenwinter 1999 Auffangdämme mit Fallböden errichtet, die sich zwischenzeitlich schon mehrfach bewährt haben. Im Bereich des Löckerkogels kam es 1989 zum Abgang der sogenannten Finstergrabenlawine (Lahnganggraben). Die Lawine ging damals als Staublawine ab, verschütte die B 166 mehrere Meter hoch und fuhr weit auf den Gegenhang auf. Auf Antrag der Gemeinde Gosau wurde in den



Abb. 10: Gde. Gosau, Gosauschlucht - Abgang der Finstergrabenlawine (Lahnganggraben) am 05.01.2019; im Schutze des gegenständlichen Lawinenauffangdammes befindet sich die Paß-Gschütt-Straße (B 166)

Fig. 10: Municipality Gosau, Gosau gorge, avalanche of Finstergraben occurred on 05.01.2019



Abb. 11: Gosau, Lawinenauffangdamm Klausgrabenlawine, die versuchte Räumung des verfüllten Fallbodens musste wegen Nachlawinen abgebrochen werden.

Fig. 11: Klausgraben, municipality Gosau, avalanche retention dam, the clearing of the material had to be postponed due to further avalanches.

Jahren 2013–2015 in diesem Bereich ein Lawinenauffangdamm errichtet. 2018 wurden noch behördliche Nachforderungen ergänzt. Beim Lawinenabgang am 05.01.2019 wurde die B 166 wirkungsvoll geschützt und ein Personenschaden (Revierleiter der ÖBF AG) erfolgreich verhindert.

Im Bereich der Klausgrabenlawine, die auch im Bereich der Gosauschlucht liegt wurde ebenfalls ein Lawinenauffangdamm mit Fallboden errichtet (Fertigstellung 2016). Der Fallboden wurde durch mehrere Abgänge verfüllt. Beim Versuch der Straßenverwaltung den verfüllten Ablagerungsbereich zu räumen traten aber durch Nachlawinen akute Gefährdungen auf, sodass die Räumarbeiten bis auf weiteres eingestellt wurden. Zurzeit steht somit nur rd. die Hälfte des Ablagerungsvolumens zu Verfügung, sodass das gegenständliche Schutzbauwerk nur beschränkte Funktionstüchtigkeit aufweist. Die bestehende Vorverfüllung hat nun die örtliche Lawinenwarnkommission bis auf weiteres zu berücksichtigen.

Das Flächenwirtschaftliche Projekt Klaushof/Ghängwändt 1986 liegt im Übergangsbereich der Gosauschlucht ins Gosautal und sichert einen orographisch linksufrigen Steilhangbereich mit hangparallel ausfallender Schichtung. Aus diesen Hangbereichen gab es laufend Steinschläge und Beeinträchtigungen durch Schneerutsche und Waldlawinen. Im Zuge der Projektumsetzung wurden die Einhänge und Lawinenbahnen mittels Stahlschneebrücken verbaut und zischen den Werksreihen aufgeforstet. Nunmehr stockt im gegenständlichen Bereich auf weiten Teilen ein schutzfunktionaler Objektschutzwald. Das Projekt wurde 2016 endkollaudiert und zur Instandhaltung den Interessenten (Gemeinde Gosau, Straßenverwaltung) übergeben. 2019 trat im gegenständlichen Bereich bislang keine Lawinentätigkeit auf.



Abb. 12: Gosau, FWP Klaushof/Ghängwänd 1984, Stahlschneebrücken mit schutzfunktionalem Objektschutzwald, Endkollaudierung 2016

Fig. 12: Municipality Gosau, Klaushof/Ghängwänd 1984, steel snow bridges and object protection forest in function. The project was completed in 2016.

Lawinenwinter 2019: Vorbeugung Folgeschäden

Durch die zahlreichen Lawinenabgänge, die eingetretenen Schneedruckschäden und Windwürfe sind die Tiefenlinien und Bachläufe aktuell stark mit Wild- und Unholz (Lawinenholz) verfüllt. Um bei kommenden Starkregenereignissen Folgeschäden durch Verklausungen möglichst hintanzuhalten wird die Durchführung der Wildbachbegehungen gemäß Forstgesetz und die zeitgerechte Entfernung des angefallenen Unholzes eine wichtige Präventionsmaßnahme sein. Die GBL OÖ West beabsichtigt in Absprache mit der Bezirkshauptmannschaft Gmunden ein entsprechendes Hinweis- bzw. Informationsschreiben an alle betroffenen Gemeinden auszuschicken und gleichzeitig versuchen die Gemeinden zu ermuntern eigenes Personal im Rahmen des einschlägigen ÖWAV-Lehrganges zum/zur Wildbachbegeher/in ausbilden zu lassen.

Salzkammergut: starkes touristisches Entwicklungspotential mit hohem Schutzbedarf

Im Salzkammergut liegt aufgrund der hohen Reliefenergie mit schroffen, steilen Talflanken und der seit 1999 eingetretenen naturräumlichen Entwicklungen durch Lawinen, Wildbachprozesse



Abb. 13: Kesselbach, Gden. Ebensee und Bad Ischl nach Lawinenwinter 2009: starke Anhäufungen von

Lawinenholz im Bachbett

Fig. 13: Torrent Kesselbach,

und Hochwässer (2002 und 2013), Stürme (Kyrill,

Emma, Paula, etc.) mit Folgeschäden (Borkenkäferkalamitäten) sowie Steinschlägen und eingetre-

tenen Erosionen ein Sanierungsbedarf von zusätz-

lich rd. 6.500 ha Objektschutzwaldflächen vor.

Der überwiegende Teil dieser Flächen befindet

sich im Eigentum der ÖBF AG.

nunicipalities Ebensee and Bad Ischl, after the avalanche winter 2009: lots of avalanche wood debris lay in the torrent reach.



Abb. 14: Gde. Bad Ischl Stallbach 2010, Verklausung im Bereich des Bahndurchlasses der ÖBB und Gefährdung des benachbarten Wohnhauses, Ursachen: Starkregen und Verlegung der oberliegenden Klammstrecke mit Lawinenholz aus dem Jahr 2009 sowie anschließendem Durchbruch der angestauten Unholz- und Wassermassen unter schwallartigem Abfluss bis zur nächsten Engstelle

Fig. 14:

Stallbach 2010, municipality Bad Ischl, woody logjam of the railway bridge caused by heavy rain and a break of the avalanche wood blogging dating from the event of 2009 in the upper reach.

Michael Schiffer

Blick in die Zukunft: Forstliches Bildungszentrum Traunkirchen

Die Umsetzung zusätzlicher Schutzprojekte erfordert vermehrt die Zusammenarbeit von öffentlichen Dienststellen und Institutionen sowie privaten Unternehmen (PPP). Vor allem das EBZ Traunkirchen soll Impulsgeber hinsichtlich schonender Methoden zur Waldbewirtschaftung allgemein und der Schutzwaldbewirtschaftung in Extremlagen im Besonderen sein. Als moderner Wissenscluster in Sachen Wald-, Wasser- und Naturgefahrenmanagement soll das FBZ Traunkirchen europaweit für Innovationen und regen Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis sorgen. Besonders auch bei der Umsetzung von flächenwirtschaftlichen Projekten der WLV sollen Synergien genutzt und entsprechende Partnerschaften entwickelt bzw. vertieft werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Michael Schiffer

Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Oberösterreich West Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl michael.schiffer@die-wildbach.at



Wyssen Avalanche Control Center **WAC.3**

Die **innovative** Bedienung zur vorbeugenden **Lawinenauslösung**



Wyssen Austria GmbH 6020 Innsbruck +43 664 8822 9015 austria@wyssen.com www.wyssen.com
ANDREA KREISLER, ROLF RINDLER, DORIAN SHIRE, MARKUS MOSER, HELMUT HABERSACK

Erkenntnisse aus der direkten und indirekten Geschiebemessung an der Urslau

Insight from direct and indirect bedload monitoring at the Urslau torrent

Zusammenfassung:

Seit 2011 wird im Auftrag von – und in starker Zusammenarbeit mit – der Wildbach- und Lawinenverbauung vom IWA/BOKU der Geschiebetransport durch ein integratives Messsystem (mobiler Geschiebefangkorb, Geschiebefalle und Geophone; erweitert 2016 durch RFID Tracer) an der Urslau (Salzburg, Maria Alm) gemessen.

Durch das umfassende Monitoringprogramm ist es möglich, die wichtigsten Parameter des Geschiebetransportes zu erfassen. Neben der Angabe von transportierten Korngrößen, Geschiebetransportraten und –frachten, ermöglichen die kontinuierlich vorliegenden Daten die Analyse verschiedener Transportereignisse mit unterschiedlichem Prozesscharakter. Der Einsatz der RFID liefert Ergebnisse über Transportgeschwindigkeiten einzelner Steine im Einzugsgebiet. In diesem Beitrag wird das Messprogramm kurz erläutert und ausgewählte Ergebnisse aus dem Monitoringprogramm präsentiert.

Stichwörter:

Integrative Geschiebemessstation, Geschiebetransportraten und –frachten, Transportgeschwindigkeiten, Ereignisanalyse

Abstract:

Since 2011 the IWA/BOKU operates a bedload monitoring station, assigned by the Austrian Federal Service for Avalanche and Torrent Control (WLV) and with intensive collaboration of the same. The bedload monitoring station is located at the Urslau torrent (Salzburg, Maria Alm) and consists of an integrative monitoring setup (mobile basket sampler, slot sampler, geophone device; upgraded 2016 by RFID tracer). Next to transported grain sizes, bedload

transport rates and volumes, the continuous measurements enable the analysis of various transport events with diverse process characteristics. RFID tagged native sediments provide information of transport velocities and –characteristics of single particles within the catchment. This article gives a brief outline of the monitoring procedure and presents selected monitoring results.

Keywords:

Integrative bedload monitoring station, Bedload transport rates and -volumes, transport velocities, Analyses of events

Einleitung

Die Kenntnis über Menge und Zusammensetzung des Geschiebetransportes bei unterschiedlichen Durchflussbedingungen in Unterläufen von Wildbächen ist von großer Bedeutung für das Prozessverständnis, die Planung und Ausführung von nachhaltigen Baumaßnahmen und die Analyse und Bewertung von Hochwasserereignissen. In den letzten Jahren ist eine Zunahme an Anträgen zur energetischen Nutzung von Wildbachunterläufen in Form von Kleinwasserkraftwerken zu beobachten. Da Wildbachunterläufe sehr oft ein hohes Gefährdungspotenzial für Siedlungen aufweisen und die Kraftwerke sowohl vom wasserbaulichen als auch betriebstechnischen Standpunkt in den Transport von Wasser und Feststoffen eingreifen, betrifft das Wissen um die raum-zeitliche Variabilität des Feststofftransports eine zentrale Fragestellung.

Einerseits benötigt die Wildbachverbauung Grundlagendaten für die Planung und Umsetzung von eigenen Maßnahmen sowie Aussagen über die Auswirkungen von Wasserkraftwerken auf den Abfluss und Geschiebetransport. Neben den Hochwasserereignissen sind hier insbesondere auch die Ausleitungsstrecken anzusprechen, wo Restwasserabfluss besteht und in Kombination mit Stauraumspülungen eine Sedimentation von Geschiebe, verbunden mit Änderungen der Sohllagen und damit Änderung des Hochwasserrisikos, möglich ist.

Umfangreiche Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Geschiebetransport in Wildbachunterläufen ergeben sich auch aus der Sicht der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Der Geschiebehaushalt der Wildbäche hat wesentliche Auswirkungen auf die Morphologie der Gerinne einschließlich der Vorflut und den aquatischen Lebensraum. In all diesen Bereichen sind fundierte Grundlagen erforderlich, um die Geschiebetransportvorgänge gutachtlich beurteilen zu können.

Die Messung des Geschiebetransportes ist mit aufwendigen und umfangreichen Monitoringarbeiten verbunden – deshalb sind, trotz deren unumstrittenen Bedeutung, Messdaten über den Geschiebetransport selten. Im Bewusstsein dessen, wurde im Jahr 2010 das IWA / BOKU von der Wildbach- und Lawinenverbauung mit dem Projekt "Messung und Berechnung des Geschiebetransportes an Wildbachunterläufen am Beispiel der Urslau" beauftragt.

Ziele des Projektes waren die Entwicklung einer für Wildbachunterläufe geeigneten Methodik zur Erfassung des Geschiebetransportes, die Messung des Geschiebetransportes an der Urslau in Salzburg über einen Zeitraum von vier Jahren (Fokus auf kleinere und mittlere Ereignisse bis ca. ein fünfjährliches Ereignis), Analyse der raum-zeitlichen Variabilität des Geschiebetransportes mit Bezug zu praktischen Fragestellungen und die Überprüfung der bestehenden Ansätze zur Geschiebetransportberechnung an Hand der gemessenen Daten. Die Laufzeit des Projektes erstreckte sich über drei Messsaisonen (2011, 2012, 2013). Nach erfolgreichem Abschluss dieses Projektes, wurde in den Folgejahren (seit 2014) ein weiteres Geschiebemonitoring an der Urslau ermöglicht. In den Jahren 2016–2018 wurde das Geschiebemessprogramm durch den Einsatz der RFID (radio-frequency identification) Tracertechnik erweitert.

Dieser Artikel präsentiert Teilergebnisse aus dem Monitoring und gibt Einblicke in die zeitliche und räumliche Variabilität des Transportprozesses.

Abb. 1: Einzugsgebiet und Lage Messeinrichtungen Fig. 1: Catchment and location measuring instruments

Untersuchungsgebiet und Messprogramm

Das Einzugsgebiet der Urslau, dargestellt in Abbildung 1, befindet sich in Salzburg / Pinzgau im Gemeindegebiet von Maria Alm und weist eine Größe von 122 km² auf. Die Geschiebemessstation (Geophonanlage, direkte Geschiebemessung) wurde im Unterlauf der Urslau bachauf des Schattmühlwehres (hm 97,25) errichtet. Das Einzugsgebiet bis zur Station weist eine Größe von 56 km² auf. Das mittlere Gefälle im Bereich der Messstelle beträgt 1.8 %. Die Untersuchungsstrecke für die RFID Technik beginnt bachauf der Ortschaft Hinterthal und reicht bis zur Geschiebemessstation. Hier wurden in den Jahren 2017 und 2018 an 3 ausgewählten Standorten insgesamt 7 stationäre RFID Antennen eingebaut. Abbildung 1 zeigt die Lage der Messstation, die Standorte der stationären RFID Antennen und die wichtigsten Zubringer der Urslau im Untersuchungsgebiet. Eine detaillierte Beschreibung des Untersuchungsgebiets ist in Kreisler et al., 2012 zu finden.



Handlergraben
Pirnbach
Schwarzbach
Urslau
Gewässernetz Urslau
Geschiebemessstation
Hinterthal
Maria Alm
Standorte (stationäre Antenne)
Antenne 1,2,3
Antenne 4,5
Antenne 6,7

An der Geschiebemessstation am Schattmühlwehr kommen direkte (Geschiebefänger und Geschiebefalle) und indirekte (Geophonanlage) Messgeräte zum Einsatz. Die Kombination dieser Messmethoden erlaubt eine Erfassung von Geschiebetransportraten, -frachten, Bewegungsbeginn und die zeitliche und räumliche Variabilität des Geschiebetransportprozesses. Folgend wird eine kurze Beschreibung der Messgeräte gegeben. Für detailliertere Informationen verweisen die Autoren auf Habersack et al, 2016, Habersack et al, 2017, Kreisler et al, 2012 und Kreisler et al, 2017.

Der Geschiebefangkorb besteht aus einem Einlaufrahmen und einem Sammelnetz. Die Messung erfolgt von einem Kranwagen aus, wobei das Messgerät auf die Bachsohle gesetzt und das transportierte Geschiebematerial in einer definierten Messdauer gesammelt wird (Abbildung 2b). Die direkte Entnahme des Geschiebematerials ermöglicht die Ermittlung des vorherrschenden Geschiebetriebes und die Bestimmung der Korngrößen.

Die Geschiebefalle ist bachab der Geophonanlage mittig in der Bachsohle eingebaut (Abbildung 2a, c). Im Ereignisfall kann ein Messschlitz über einen Hydraulikmechanismus geöffnet werden. Das Geschiebe fällt in einen als Falle konzipierten Behälter, der auf Wägezellen gela-





gert ist. Über die Massenzunahme in der Falle kann der Geschiebetrieb ermittelt werden. Nach einer erfolgreichen Messung wird bei Niederwasser die Geschiebefalle gewartet.

7 Geophone sind auf der Unterseite von Edelstahlplatten an der Gerinnesohle montiert und gleichmäßig über die gesamte Bachbreite verteilt (Abbildung 2a). Geschiebe, das über die Stahlplatte transportiert wird, erzeugt Vibrationen die vom Geophon registriert werden. Dieses Signal wird in ein elektrisches Spannungssignal transformiert und von einem Computersystem weiterverarbeitet. Durch die kontinuierliche und automatische Erfassung des Geophonsignals werden zeitlich hochauflösende Angaben über den Transportprozess gewonnen.

Die Bestimmung der transportierten Geschiebemassen ist bei dieser Messmethode nur durch eine Kalibrierung mittels der direkten Messungen erforderlich. Diese werden direkt bachab der Geophone durchgeführt. Somit ist ein Zusammenhang zwischen Geophondaten und direkt gemessenen Geschiebetransportraten erstellbar. Studien (Rickenmann et al., 2012) zeigen, dass mit Geophonen nur Partikel größer 10–30 mm erfasst werden können. Angegebene Transportraten in dieser Studie, welche über die Geophone berechnet werden, können nur mit diesen Einschränkungen gemacht werden.



Abb. 2: Geschiebefalle und Geophone (a), Fangkorbmessung (b), Wartung Geschiebefalle (c) *Fig. 2: Bedload trap and geophone device (a), mobile bedload sampler (b), maintenance work at the bedload trap (c)* Um Informationen von räumlicher und zeitlicher Dynamik des Geschiebetransportprozesses im Einzugsgebiet zu erlangen, wurde das Geschiebemesssystem Urslau 2016–2018 durch den Einsatz von passiven radiotelemetrischen Tracern (RFID) erweitert. Der Einsatz dieser Technik erlaubt Informationen über die Transportweiten, Transportgeschwindigkeiten und das Ablagerungsverhalten zu erlangen. Die Untersuchungstrecke ist 7,4 km lang und beginnt oberhalb der Ortschaft Hinterthal und endet an der Geschiebemessstation am Schattmühlwehr (vergleiche mit Abbildung 1).

Ein RFID System besteht aus einem Transponder (RFID-Tag), der mit einer bestimmten Kennung versehen, und in die Geschiebesteine eingebaut ist. Mit einer Antenne (Antennenkabel, Tuner, Lesegerät am Computer) wird ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt, das als Stromversorgung für den RFID Tag dient. Wenn der Tracerstein sich in diesem Feld befindet, wird er aktiviert und übermittelt seine Kennung an das Lesegerät. An der Urslau kommen stationäre und mobile Antennen zum Einsatz:

An ausgewählten Standorten wurden stationäre RFID Antennen in das Bachbett eingebaut, um alle Tracersteine die diesen Kontrollquerschnitt passieren, zu registrieren. Sobald der Tracerstein über die Antenne transportiert wird erfolgt automatisch eine Speicherung und die Daten werden ausgelesen. Die stationären RFID-Antennen bestehen aus einem handelsüblichen, fein-drahtigem Kupferkabel, das in einem mechanisch beanspruchbaren Kabelkanal (PVC Rohr) in Form einer rechteckigen Schleife ca. 30 cm tief in die Bachsohle eingebaut wurde. Als Schutz vor Erosion und Freilegung der Antenne wurden bachab der Antenne zwei Reihen Steinschlichtungen als Sohlgurt in das Bachprofil eingebaut und die Antenne in Beton verlegt. Auf den Beton wurde Sediment eingebaut um eine naturähnliche Sohle zu erzeugen (Abbildung 3a) (Rindler et al, 2019).

Die mobile Pole-Antenne ist analog zur stationären Antenne. Sie beinhaltet das Antennenkabel und den Tuner, welcher über ein Kabel mit dem "Back-Pack Modul" verbunden ist. Das "Back-Pack Modul" besteht aus dem Lesegerät, einem PC und wird von einem Akku mit Energie versorgt. Die Antenne wird in der Hand getragen und mit Schwenkbewegungen über die Flusssohle geführt. Sobald sich ein Tracerstein in Detektionsweite befindet, kann die Kennung über ein PDA oder Smartphone dargestellt werden. Die Position des Tracersteins wird dann mittels GPS-Gerät aufgezeichnet (Abbildung 3b).



Abb. 3: a) Systemskizze stationäre RFID-Antenne (adaptiert nach Rindler et al, 2019) (I Tracerstein, II Antennenkabel, III Tuner Box, IV Lesegerät, V Stromversorgung), b) Tracersuche und GPS Vermessung des Standortes

Fig. 3: a) Sketch if the stationary RFID-antenna (adapted after Rindler et al, 2019) (I tracerstone, II antenna wire, III tuner box, IV reading unit, V energy supply), b) Tracer search and GPS position recording

Im Untersuchungszeitraum 2016-2018 wurden 308 natürliche Steine der Urslau mit RFID Tags versehen und zu drei verschiedenen Zeitpunkten in den Wildbach bachauf der Ortschaft Hinterthal (hm 171-hm 175) eingebracht. Die Tracersteine wurden bei mehreren Suchkampagnen mit mobilen Antennen detektiert und mittels GPS vermessen. Dadurch können Informationen über die Transportgeschwindigkeit, Transportweiten und das Ablagerungsverhalten des Geschiebes gewonnen werden. Anhand von zwei aufeinander folgenden stationären RFID Antennen am Standort 3 werden alle Tracersteine die den mobilen Untersuchungsbereich verlassen detektiert. Weiters ermöglicht das Konzept der stationären Antennen die Messung der Geschiebetransportgeschwindigkeit bei gegebenem Durchfluss. Hierfür wurden an zwei weiteren Standorten fünf zusätzliche Antennen installiert und hiermit das Untersuchungsgebiet bis zur Messstation am Schattmühlwehr ausgeweitet.

Ausgewählte Ergebnisse aus dem Geschiebemonitoring

Von 2011 bis 2017 konnten an der Urslau 34 direkte Geschiebemessungen an der Station durchgeführt werden. Der gemessene Geschiebetrieb mit dem Fangkorb (Mittelwert eines ganzen Messtages) liegt hier zwischen 0,01 und 4 kg/ms (Korngröße D>8mm). Mit der Geschiebefalle konnte der höchste Geschiebetrieb am 09.08.2011 mit 8,2 kg/ms (Korngröße D>1 mm) gemessen werden. Die mit der Geschiebefalle erfassten Korngrößenverteilungen variieren in Abhängigkeit vom Ereignistyp und dem vorherrschenden Durchfluss. Die Bandbreite liegt hier für den d_{ro} zwischen 116 mm (Messung vom 01.06.2013, mittlere Durchfluss bei der Messung = $19,6 \text{ m}^3/\text{s}$) und 8 mm (Messung vom 25.06.2017 mittlere Durchfluss bei der Messung = $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Der Anteil von Material kleiner 10 mm liegt zwischen rund 20 % (01.06.2013) und 60 % (25.06.2017).



Abb. 4: Zusammenhang zwischen direkten und indirekten Geschiebemessungen (2011-2017)

Fig. 4: Relation of direct and indirect bedload measurements (2011-2017)

In Abbildung 4 ist der lineare Zusammenhang zwischen den registrierten Geophonimpulsen und gemessenem Geschiebetrieb mit dem Fänger und der Falle (hier nur Material größer 10mm) dargestellt. Die Grafik zeigt, dass die höheren Transportraten tendenziell mit der Geschiebefalle gemessen werden. Der Fänger liefert vor allem bei geringerem Geschiebetransport wichtige Ergebnisse. Der lineare Zusammenhang zwischen den zwei Messgrößen wurden auch in andren Studien (Rickenmann et al, 2013) beobachtet und dient als Grundlage zur Berechnung von Geschiebetransportraten und –frachten über die Geophondaten.

Die Geophondaten werden an der Messstation seit Februar 2011 kontinuierlich erfasst Durch die Anordnung der Geophone über das gesamte Bachprofil werden nicht nur hoch aufgelöste Daten über die Zeit, sondern auch über den Querschnitt gewonnen. In Abbildung 5 ist der zeitliche und räumliche Verlauf der Geophonimpulse von Juni bis August 2016 dargestellt.

Die kontinuierliche Erfassung der Geschiebetransportintensität durch die Geophone ermöglicht es zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Menge des transportierten Geschiebes zu ermitteln. Hierfür können die Geophondaten durch den in Abbildung 5 dargestellten Zusammenhang in transportierte Geschiebemassen (Korngröße D > 10 mm) umgerechnet werden. Dadurch ist neben der Bestimmung von Geschiebetransportraten zu jedem Zeitpunkt auch die Ermittlung von Frachten in beliebigen Zeiträumen (Ereignisfrachten, Jahresfrachten) möglich.

Exemplarisch ist in Abbildung 6 die Ganglinie des Durchflusses und Geschiebetransportes für das Jahr 2016 dargestellt. Hier wurde eine Darstellung des Geschiebetransportes D>10mm als Mittelwerte über 15 Minuten gewählt. Die Ganglinie zeigt im April eine markante Schneeschmelze, gefolgt von mehreren kleineren Sommerereignissen im Juni und zwei Hochwässer im Juli $(Q_{\text{Spitze}}=14 \text{ m}^3/\text{s})$ und August $(Q_{\text{Spitze}}=15 \text{ m}^3/\text{s})$, wo intensiver Geschiebetransport gemessen wurde. Im Zeitraum der Schneeschmelze wurden im Jahr 2016 Geschiebetransportraten bis zu 14 kg/s (D > 10 mm) gemessen. Der maximale gemessene Geschiebetransport (88 kg/s D > 10 mm) in diesem Monitoringjahr trat am 09.08.2016 auf.

Jahresfrachten der Monitoringjahre 2012 bis 2017 und der jeweilige prozentuelle Anteil der Monate März bis Mai (Schneeschmelze) und der Sommermonate Juni bis September zeigt Tabelle 1.





Abb. 6: Jahresganglinie Durchfluss und Geschiebetransport

Fig. 6: Course of discharge and bedload transport

Jahresfrachten Urslau 2012 – 2017

(nach Habersack et al, 2017) (Berechnung unter Annahme einer Materialdichte von 1900 kg/m³)

Jahr	Fracht D>10mm [m³]	Anteil März–Mai [%]	Anteil Juni–September [%]	
2012	22658	26	73	
2013	20938	20	79	
2014	9143	21	78	
2015	3735	23	65	
2016	10674	9	87	
2017	4465	44	53	
Mittlere Jahresfracht	11935			
Tab. 1: Geschiebefrachten Urslau				
Tab. 1: Bedload yields Urslau				

Die kontinuierliche Erfassung der Geophondaten ermöglicht eine Analyse von unterschiedlichen Ereignissen an der Urslau.

Abbildung 7b zeigt ein Hochwasserereignis welches im Juni 2012 aufgetreten ist. Hierbei wurden über einen Zeitraum von rund 40 Tagen Geschiebe transportiert. Der maximale Durchfluss bei diesem Ereignis betrug 26.4 m3/s und es wurden Geschiebetransportraten bis zu 83 kg/s gemessen. Nach einem raschen Anstieg von Durchfluss und Geschiebetransport folgen auf dem abnehmenden Durchflussast zwei weitere kleine Durchflussspitzen. Obwohl danach der Durchfluss kontinuierlich abnimmt, bleiben die Geschiebetransportraten über 4 Tage auf einem konstanten Level. Dieses Ereignis zeigt eindrucksvoll, dass der Zusammenhang zwischen Geschiebetransport und Durchfluss stark variabel sein kann. In Abbildung 8a ist die Beziehung der beiden Messgrößen für dieses Ereignis dargestellt. Diese Grafik zeigt, dass der Geschiebetransport bei vergleichbaren Durchflüssen im ersten Teil des Ereignisses kleiner ist als nach dem Auftreten der Durchfluss- bzw. Geschiebetransportspitze. Im weiteren Verlauf sind bei vergleichbaren Durchflüssen die Geschiebetransportraten am Anfang des Ereignisses größer und nehmen über die Dauer ab (Verschiebung der Durchfluss-Geschiebetransportbeziehung nach rechts).

Ein weiteres interessantes Ereignis ist in Abbildung 7c dargestellt. Diese 4 Durchflussspitzen wurden rund 3 Tage nach einem Hochwasserereignis gemessen, welches von der Größe mit dem 2012 Hochwasser (Abbildung 8a) vergleichbar ist. Der Zusammenhang von Durchfluss und Geschiebetransport von dem Ereignis im August 2014 ist in Abbildung 8b dargestellt. Beide Grafiken zeigen deutlich, dass im Verlauf des Ereignisses der gemessene Geschiebetransport bei gleichen Durchflüssen abnimmt.

Den Zeitraum der Schneeschmelze 2016 zeigt Abbildung 7a im Detail. Die Grafik zeigt den für die Schneeschmelze charakteristischen Tagesgang der beiden Messgrößen. Im Zeitraum der Schneeschmelze kommt es an der Urslau bei vergleichsweise hohen Durchflüssen zu niederen Geschiebetransportraten.

Die hier dargestellten Ereignisse machen



Fig. 7: Varying bedload transport events: a) Snowmelt period, b) event 2012, c), event 2014



Durchfluss - Geschiebetransport Beziehung ausgewählter Ereignisse

Abb. 8: Durchfluss-Geschiebetransport Beziehung ausgewählter Ereignisse: a) 21.06-31.07.2012, b) 09.08-17.08.2014 Fig. 8: Relation of bedload and discharge of selected events: a) 21.06-31.07.2012, b) 09.08-17.08.2014

deutlich, dass transportierte Geschiebemassen an der Urslau stark von der Ereignisgeschichte abhängen. Hohe Durchflüsse führen zu einer hohen Geschiebeverfügbarkeit und in weiterer Folge zu hohen Transportraten bei vergleichsweise niederen Durchflüssen. Ist nach einer langandauernden Transportphase wenig Material verfügbar, kann es so wie am Ereignis 2014 gezeigt, bei auf einander folgenden Durchflussspitzem zu abnehmenden Geschiebetransportraten kommen. Abnehmende Geschiebeverfügbarkeit führt zu einer Ausbildung von stabilisierenden Sohlformen und Deckschichtbildung, wie auch in Laborversuchen von Dietrich et al., 1989 und Nelson et al., 2009 gezeigt werden konnte. Bei diesem Sohlzustand führen kleinere Ereignisse mit geringem Sedimentinput nur zu geringen Transportraten, da wenig

mobile und leicht verfügbare Sedimente zum Transport zur Verfügung stehen. Neben der Ereignisgeschichte ist an der Urslau auch der Input bei großen Ereignissen von Geschiebematerial durch die sehr aktiven Zubringer und Massenbewegungen zu nennen. Um hier ein verbessertes Prozessverständnis zu bekommen wird seit 2017/2018 die RFID Technik erfolgreich an der Urslau eingesetzt.

Der Zeitraum der Schneeschmelze ist charakterisiert durch gleichmäßigen langsamen Anstieg des Durchflusses und dem Fehlen von hohen Durchflussspitzen, die die Deckschicht und Sohlformen aufbrechen können. Leicht verfügbares Material wurde meist im Herbst aus der Sohle transportiert und ist nicht mehr vorhanden. Zusätzlich ist der Sedimentinput durch Massenbewegungen und Zubringer durch die Schneedecke reduziert. Diese hier angeführten Punkte erklären die geringen Transportraten bei vergleichsweise hohen Durchflüssen.

Basierend auf diesen Beobachtungen wurden in einer Studie (Kreisler et al., 2017) 34 Geschiebetransportereignisse bzw. Subereignisse (erneuter Anstieg des Durchflusses im Zuge eines Ereignisses) in den Monitoringjahren 2012–2014 an der Urslau analysiert und klassifiziert. Für jedes Ereignis wurde die mittlere Geschiebetransporteffizienz (definiert nach Bagnold, 1966 – Gleichung 1, vereinfacht beschrieben als die Menge Geschiebetransport pro Durchfluss) berechnet und den hydraulischen Verhältnissen gegenübergestellt.

Die Geschiebemenge unter Wasser [m³] I_b berechnet sich mit I_b = Q_{Bv} g(ρ s- ρ), mit Q_{Bv} volumetrische Geschiebefracht während einem Ereignis [m³], g Erdbeschleunigung, ρ _v Feststoffdichte, ρ Fluiddichte. α in Gleichung 1 ist der innerer Reibungswinkel des Sediments und wurde wie in Recking, 2012 vorgeschlagen als 52°angenommen. Die vorhandene Strömungsenergie Ω_{ex} berechnet sich durch $\Omega_{ex} = V_{ex}\rho gS$, mit V_{ex} abflusswirksame Durchflussfracht während einem Ereignis und S Sohlgefälle

In Abbildung 9 ist diese Gegenüberstellung, adaptiert nach Kreisler et al., 2017 dargestellt. Jeder Datenpunkt stellt die Geschiebetransporteffizienz eines Ereignisses bzw. Subereignisses bei einem mittleren Ereignisdurchfluss dar. Diese Gegenüberstellung führt die Autoren in der Studie zu einer Klassifizierung der Geschiebetransportereignisse an der Urslau in 4 Typen: Typ 1 beschreibt jene Ereignisse wo bei hohen Durchfluss eine große Geschiebemenge mobilisiert und transportiert wird. Bei Ereignistyp 2 handelt es sich um Folgeereignisse von Typ 1. Hier wird Material, welches bei Typ 1 mobilisiert wurde und in großen Mengen verfügbar ist, bei vergleichsweise geringen Durchflüssen transportiert. Das oben beschriebene Hochwasserereignisse im Juni 2012 fällt in beide Eventtypen. Der erste Teil des Ereignisses im Juni 2012 ist Typ 1, die Folgeereignisse Typ 2 (siehe Abbildung 9 "gelbe" Datenpunkte).

Unter Typ 3 werden in Kreisler et al, 2017 vor allem kleine, häufig auftretende Ereignisse zusammengefasst. Bei diesen Ereignissen werden leicht mobilisierbare Sedimente aus der Flusssohle transportiert. Geschiebeereignisse, wo wenig Material verfügbar ist (z.B. während der Schneeschmelze), werden in Typ 4 zusammengefasst.

Diese Klassifizierung der Geschiebetransportereignisse stellt für die Praxis ein wichtiges Werkzeug dar um die Geschiebetransport–Durchflussbeziehungen an einem Gebirgsfluss mit variierender Sedimentverfügbarkeit zu verstehen. Die Analyse zeigt, dass die alleinige Anwendung von Geschiebetransportformeln, welche auf hydraulischen Eingangsparametern unter Laborbedingungen basieren, zu Unter- bzw. Überschätzungen der tatsächlichen Transportmenge führen. In Moser et al., in prep. wird ein Vorschlag präsentiert, wo auf Basis weniger Naturmessdaten eine optimierte Berechnung von Transportraten und -frachten erfolgen kann.

Im Zuge des Tracer-Monitorings wurden bislang elf mobile Suchen durchgeführt. Die Begehungen erfolgten jeweils vom Ausbringungsort bis zu dem RFID Standort 3. In Mittel wurden bei den Suchkampagnen 86 % der Tracersteine wiedergefunden. Die höchste Wiederauffindungsrate lag bei 97 % und die geringste bei 63 . In Abbildung 13 sind die Standorte der verschiedenen Tracersteine die noch nicht die stationären Antennen am RFID-Standort 3 passiert haben dargestellt.



Abb. 9: Einteilung Ereignistypen (adaptiert nach Kreisler et al., 2017) Fig. 9: Classification of event types (adapted after Kreisler et al, 2017)



 Abb. 10: Tracersteine in der Untersuchungsstrecke (Stand 12.12.2018)
 Fig. 10: remaining tracer stones in the mobile antenna search stretch

Kumulierte Transportweiten der Tracersteine



Abb. 11: Kumulierte Transportweite der Tracersteine und Durchflussganglinie im Untersuchungszeitraum

Fig. 11: Cumulated transported length of tracer stone and course of discharge in the monitoring period

Die im Zuge der mobilen Begehungen ermittelten kumulierten Transportweiten (Transportweite vom Zeitpunkt der Einbringung am 24.03.2017 bis zum Datum der Tracerauffindung) der Tracersteine und die Ganglinie des Durchflusses am Schattmühlwehr sind in Abbildung 11 dargestellt. Generell ist ersichtlich, dass die mittlere Transportweite der Tracersteine über die Verweildauer im System abnimmt. In der Untersuchungsperiode von 24.03.2017-22.10.2018 lag die mittlere Transportweite der Tracersteine, die sich im Untersuchungsbereich befinden, bei 1178 Meter, wodurch sich eine Transportgeschwindigkeit von 1,87 Meter/Tag ergibt. Der erste Tracerstein mit einer b-Achse von 42,6 mm erreichte nach 101 Tagen die 2796 Meter entfernte Stationäre Antenne und erzielte somit eine Transportgeschwindigkeit von 27,6 Meter/Tag (Habersack et al, 2018).

Seit April 2018 sind alle stationären Antennen aktiv. Erste Erkenntnisse über Eventgeschwindigkeiten (basierend auf 24 Tracersteinen) zeigen mittlere Transportgeschwindigkeiten von 0,016 m/s (1,382 km/d).

Zusammenfassung

Im Jahr 2011 wurde an der Urslau das integrative Geschiebemesssystem, bestehen aus Geophonanlage, Geschiebefänger und Geschiebefalle eingebaut. Seit dem Bau der Messanlage wurden erfolgreich 34 direkte Messungen mit der Geschiebefalle und dem mobilen Geschiebefänger durchgeführt. Hierbei handelt es sich um punktuelle Messwerte an der Station Urslau (Schattmühlwehr). Mit der Geschiebefalle konnte der höchste spezifische Geschiebetrieb mit 8,2 kg/ ms am 9.8.2011 gemessen werden. Die große Bandbreite der maßgebenden Korngrößen wird im Zuge der Analyse der Geschiebefallendaten deutlich sichtbar. Die Bandbreite des d50 liegt hier zwischen 116 mm (Messung vom 01.06.2013, mittlere Durchfluss bei der Messung = 19,6 m³/s) und 8 mm (Messung vom 25.06.2017 mittlere Durchfluss bei der Messung = 1,6 m³/s) und zeigt die starke Abhängigkeit vom vorherrschendem Durchfluss und Ereignistyp.

Für praktische Belange und Berechnungen ist meist eine "maßgebende Korngröße" oder "Kornfraktion" zu bestimmen, aufgrund der in der Natur gemessenen Daten erscheint diese Methode wegen der großen Bandbreite mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die Geophonanlage erfasst seit der Inbetriebnahme den Geschiebetransport (D>10 mm) automatisch und kontinuierlich über den gesamten Gerinnequerschnitt. Diese räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Daten ermöglichen ein vertieftes Prozessverständnis über den Geschiebetransport. Durch eine Kalibrierung der Geophondaten durch die direkten Geschiebemessungen können Geschiebetransportraten und -frachten in beliebigen Zeiträumen berechnet werden. Die maximale gemessene Jahresfracht an der Urslau betrug im Jahr 2012 22658 m³ (D>10mm). Im mittel wurde über den Zeitraum 2011 bis 2017 eine Jahresfracht von 11935 m³ (D>10 mm) gemessen. Für die Gewässerbewirtschaftung an der Urslau bedeutet das eine "anfallende Feststoffmenge von ca. 12 000 m3 pro Jahr mit einem hohen Anteil im Zeitraum der Schneeschmelze (25 %). Da aus der Erfahrung und aus Begehungen in diesem Zeitraum (2011-17) an der Urslau keine "augenscheinlichen" Anlandungen oder Erosionen stattgefunden haben liegt offensichtlich ein Geschiebegleichgewicht im Unterlauf der Geschiebefalle vor. Auch Ereignisse mit 60 % bordvollem Abfluss und einer geschätzten Jährlichkeit von bis zu HQ₃₋₅ bringen das Geschiebegleichgewicht nicht außer Kontrolle. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang die Berücksichtigung der gemessenen Geschiebetransportraten je Ereignistyp für sämtliche gewässerbetreuenden Maßnahmen. Im Zuge der Umsetzung des Generellen Projektes 2004 wurden einige Erkenntnisse daraus – Beispiel Geschiebetransport im Unterlauf Ortsteil Saalfelden – bereits mitberücksichtigt. Je nach Maßnahme ist dann auf die Prozesse im Einzugsgebiet, die Ereignisgeschichte und der mit beiden Faktoren verbundenen Geschiebeverfügbarkeit einzugehen.

Zur Ermittlung der zeitlich und räumlichen Zwischendeponiebereiche der Feststoffe wurde das Messsystem mit RFID Tracern (mehrere Hundert wurden ausgesetzt) erweitert, sodass nicht nur an einem Querschnitt (Geschiebefalle) Kenntnisse über den Transport getätigt vorliegen, sondern auch Aussagen über Transportweiten, Transportgeschwindigkeiten und Ablagerungsverhalten getätigt werden können. Die ersten Ergebnisse entlang der 7,4 km langen Untersuchungsstrecke sind sehr positiv, der erste Tracerstein mit einer b-Achse von 42.6 mm erreichte nach 101 Tagen die 2796 Meter entfernte Stationäre Antenne und erzielte somit eine Transportgeschwindigkeit von 27,6 Meter/Tag. Eine Fortführung dieser Messungen ist für ein ganzheitliches Geschiebemanagementsystem sehr wertvoll.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

DI Andrea Kreisler Universität für Bodenkultur Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) Muthgasse 107 1190 Wien andrea.kreisler@boku.ac.at

DI Rolf Rindler

Universität für Bodenkultur Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA)

Muthgasse 107

1190 Wien

rolf.rindler@boku.ac.at

Dorian Shire

Universität für Bodenkultur Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) Muthgasse 107 1190 Wien dorian.shire@boku.ac.at

DI Markus Moser

Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Lungau Johann-Löcker-Straße 3 5580 Tamsweg markus.moser@die-wildbach.at

Univ.Prof. DI Dr. Helmut Habersack Universität für Bodenkultur Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) Muthgasse 107 1190 Wien helmut.habersack@boku.ac.at

Literatur / References:

BAGNOLD, R. A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general pyhsics. Geological survey Professional Paper. Washington.

DIETRICH, W. E., KIRCHNER, J. W., IKEDA, H. & ISEYA, F. 1989. Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravelbedded rivers. Nature, 340, 215-217.

HABERSACK, H., HAUER, C., HAIMANN, M., KREISLER, A. 2014. Methoden des Feststoffmonitorings (Geschiebe, Schwebstoffe) in alpinen Einzugsgebieten. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. 173: 36-48 HABERSACK H., KREISLER A., AIGNER J., RINDLER R., TRITTHART M., SHIRE D., MOSER M. 2018.

Jahresbericht Geschiebemonitoring Urslau 2018. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion IV, Abt. IV/5 und Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Salzburg. Wien.

HABERSACK, H., KREISLER, A., RINDLER, R., AIGNER, J., SEITZ, H., LIE-DERMANN, M., LARONNE, JB. 2017. Integrated automatic and continuous bedload monitoring in gravel bed rivers. Geomorphology. 291: 80-93.

KREISLER, A., AIGNER, J., LIEDERMANN, M., HABERSACK, H. 2014. Geschiebemessung in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 66, 297-305; ISSN 0945-358X

KREISLER, A., MOSER, M., AIGNER, J., RINDLER, R., TRITTHART, M., HABERSACK, H. 2017. Analysis and classification of bedload transport events with variable process characteristics. Geomoprhology. 291: 57-68

MOSER, M., KREISLER A., TRITTHART, M., HABERSACK, H. Envelope rising and falling limb approach for unsteady bedload transport calculation in mountain rivers. In prep.

NELSON, P. A., VENDITTI, J. G., DIETRICH, W. E., KIRCHNER, J. W., IKEDA, H., ISEYA, F. & SKLAR, L. S. 2009. Response of bed surface patchiness to reductions in sediment supply. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 114.

RECKING, A. 2012. Influence of sediment supply on mountain streams bedload transport. Geomorphology, 175–176, 139-150.

RICKENMANN, D., TUROWSKI, J. M., FRITISCHI, B., KLAIBER, A. & LUD-WIG, A. 2012. Bedload transport measurements at the Erlenbach stream with geophones and automated basket samplers. Earth Surface Processes and Landforms, 37, 1000-1011.

RICKENMANN, D., TUROWSKI, J. M., FRITISCHI, B., WYSS, C., LARONNE, J., BARZILAJ, R., REID, I., KREISLER, A., AIGNER, J., SEITZ, H. & HABERSACK, H. 2013. Bedload transport measurements with impact plate geophones: comparison of sensor calibration in different gravel-bed streams. Earth Surface Processes and Landforms, 39, 928-942.

RINDLER, R., HOLZAPFEL, P., HAUER, C., JURY, G., MOSER, M., FISCHER, A., GUMPINGER, C., HABERSACK, H. (2019). "Innovatives Feststoffmanagement für Wildbacheinzugsgebiete am Beispiel des Strobler Weißenbaches." Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft.

J ZIVILTECHNIKER GMBH

Ingenieurkonsulenten . Geologie und Hydrogeologie Geotechnik und Bauingenieurwesen . Naturgefahren und Umwelt

Gunz ZT GmbH

Ziviltechniker für Forst- und Holzwirtschaft, Wildbach-, Lawinen- und Erosionsschutz, allg. beeid. und gerichtl. zert. Sachverständiger

Gmunden . Saalfelden . Oberalm

4400 Steyr, Brucknerplatz 2

Tel.: 07252/42484 E-Mail:office@gunz.at Homepage: http://www.gunz.at



GEORG EBENBICHLER, KLAUS AUFFINGER, CHRISTIAN MAYR, CHRISTIAN VACHA

Anliegen und Forderungen des Naturschutzes an die WLV oder Mindeststandards bei der Planung und Umsetzung von Bauvorhaben in Naturschutzverfahren

Requiremets of nature conservation at technical protection measures

Zusammenfassung:

Basis für naturschutzfachliche Anforderungen an Vorhaben der technischen Schutzverbauung sind gesetzliche Regelungen wie Naturschutzgesetz, Wasserrechtsgesetz, Verordnungen und diverse Richtlinien. Zusätzlich zu diesen fixen Rahmenbedingungen ergeben sich etliche Fallbeispiele der "guten Praxis" aus der baulichen Umsetzung der letzten Jahre, welche hier auszugsweise vorgestellt werden. Neben dem Lebensraum- und Artenschutz in und an berührten Fließgewässern wird hierbei schwerpunktmäßig auch der Schutz des Landschaftsbildes, besonders in Hinblick auf Rekultivierung und Aussaat, dargestellt.

Stichwörter:

Naturschutz, technische Schutzverbauung, Lebensraumschutz, Fließgewässer, Landschaftsbildschutz

Abstract:

Building projects against natural hazards depend on legal requirements like nature protection law, water act, various regulations and guidelines in concern of nature conservation. Additionally to this framework prescribed by law, there are lots of good practise cases seen over the last few years, which will be shown this article. Besides of habitat and species protection at touched watercourses will the preservation of landscape be presented, this in particular in sense of recultivation and sowing.

Keywords:

nature conservation, technical protection measures, habitat protection, watercourse, preservation of landscape

Einleitung

Neben der Erfüllung der ursächlichen Schutzfunktion bei WLV-Schutzbauten sind insgesamt auch andere gesetzliche Normen maßgebend und einzuhalten. Nachfolgende Ausführungen beschäftigen sich mit den Auswirkungen auf die Schutzgüter des Naturschutzgesetzes im Zuge der baulichen Umsetzung und den daraus resultierenden Forderungen der Behörden und Sachverständigen an die WLV.

In Abhängigkeit der Verbauungsziele und der betroffenen Projekträume muss auf die naturräumliche Ausstattung Rücksicht genommen werden. So sind dementsprechend besonders ökologisch wertvolle Bereiche und sensible Landschaftsbildausschnitte bereits in der Planung zu berücksichtigen. Ebenso erscheint wichtig, dass bei der Durchführung eines Projekts neben der wichtigsten Funktion des Erosionsschutzes auch die Erhaltung und der Schutz von Lebensräumen von Tieren und Pflanzen sowie eine möglichst sorgsame Einbindung in das Landschaftsbild gewährleistet werden.

Ziel der Bauausführung und Rekultivierung muss es sein, die Funktionen der belebten und unbelebten Natur (des Naturhaushaltes) im betroffenen Bereich zu bewahren bzw. wiederherzustellen.

Basis dieser Forderungen bilden diverse gesetzliche Grundlagen (nicht umfassend aufgelistet):

- Naturschutzgesetz und Naturschutzverordnung
- Wasserrechtsgesetz und Wasserrahmenrichtlinie
- Richtlinie f
 ür die sachgerechte Bodenrekultivierung land- und forstwirtschaftlich genutzter Fl
 ächen (Kirmer & Tischew 2006)
- "Richtlinie für standortgerechte Begrü-

nungen – Ein Regelwerk im Interesse der Natur", Herausgeber: Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG), Arbeitskreis standortgerechte Begrünungen und Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft (BAL) Gumpenstein, A-8952 Irdning,

• Diverse ÖNORMEN (z.B. ÖNORM L 1111 Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung, etc.)

Im Zuge der Umsetzung sollen folgende Planungsgrundsätze berücksichtigt werden:

- Schutz vor Erosion
- Kontrollierter Umgang mit allen Wässern (Bauwasser, Oberflächenwasser, Bodenwasser)
- Hochsensible Lebensräume, z.B. Hochmoorflächen und Quellfluren, sind grundsätzlich nicht ersetzbar und deshalb (nach techn. Möglichkeit) als Tabuzonen auszuweisen
- Mit Vegetation und Boden ist sparsam und schonend umzugehen und die natürliche Vegetationsdecke bestmöglich zu erhalten
- das Landschaftsbild, ökologisch wertvolle Strukturen und Landschaftsbildelemente (z.B. alte Solitärgehölze, Spechtbäume etc.) sind bestmöglich zu erhalten
- Anschnitt, Überbauung, Abgrabung etc. von schützenswerten Biotopen sind zu vermeiden
- Höhenlage, Untergrund/Boden und Landschaft sind zu berücksichtigen
- Exponierte Standorte sind zu meiden
- Anlagenteile wie z.B. Hilfseinrichtungen, Wege, Dämme, Böschungen, Uferverbauungen sind bestmöglich in das umgebende Gelände einzubinden

- Eingriffsflächen sind zu minimieren; dies ist durch entsprechende Flächenbilanzen und Flächenwertigkeitsbilanzen zu belegen
- Sind mehrere Varianten möglich, ist die natur- und landschaftsschonendste Variante zu wählen; die Wahl ist qualitativ und quantitativ zu begründen und mit der zuständigen Behörde abzustimmen
- Technisch geschaffene Strukturen sind derart zu gestalten, dass keine geradlinigen, geometrisch auffälligen, für das Landschaftsbild untypische Elemente und Strukturen entstehen. Dadurch wird gewährleistet, dass Anlagen einerseits sich möglichst unauffällig in die Umgebung einfügen und andererseits möglichst naturnahe Strukturen wieder geschaffen werden. Geeignete Maßnahmen sind z.B.:
- Erhaltung und Verbau landschaftstypischer Strukturelemente wie z.B.
 Wurzelstöcke, bewachsene Steine, Jungbäume, stehendes und liegendes Totholz, Gehölzinseln
- Brechen von Böschungskanten und linearen Strukturen
- Gestaltung von Geländestrukturen z.B. Kuppen, Senken
- Zäune und Abgrenzungen dürfen das Landschaftsbild nicht zusätzlich beeinträchtigen
- Geeignete Farbgebung von nach außen hin sichtbaren, landschaftlich prägenden und insbesondere hellen Oberflächen (Beton, Bleche,...)
- Strukturen der Umgebung innerhalb des Planungsbereiches sind im Baufeld nachzubilden und weiterzuführen, z.B. Fortführung von Geländesenken, Ausschotterungsbereiche, Schutthalden

Im Folgenden werden aus naturkundlicher Sicht geeignete und wünschenswerte Ausführungen vorgestellt:

Bauwasserhaltung



Abb. 1: Gröbentalbach

Fig. 1: Gröbentalbach



Abb. 2: Giessenbach *Fig. 2: Giessenbach*

Bei Baumaßnahmen in Fließgewässern ist zum Schutz vor Eintrübungen aber insbesondere vor Gewässerverunreinigungen (z.B. durch Betonschlämme oder auch Mineralölrückstände) eine entsprechende temporäre Bauwasserhaltung über den jeweilig gesamten Eingriffsbereich vorzusehen.



Abb. 4: Tiefentalbach

Fig. 4: Tiefentalbach

Essentiell zum Schutz für die Gewässerlebewelt (insbesondere für die Fischfauna), im betroffenen Fließgewässer und seiner Vorflut, ist die Verhinderung des Eintrages von frischem Beton / Zement, was auch aufwändigere bauliche Vorkehrungen oder sogar den Einsatz von Gewässerschutzanlagen (GSA) bedingen kann. Dies ist notwendig aufgrund der erheblichen Toxizität von Betonschlämmen auf die Lebewelt durch eine massive pH-Wert-Erhöhung im Gewässer. Naturnahe Ausgestaltung von Fließgewässern und deren Lebensraumeignung



Abb. 5: Verbauung Grünerbach (Bauzustand) Fig. 5: construction site Grünerbach



Abb. 6: Verbauung StickItalbach

Fig. 6: construction StickItalbach

Aus gewässerökologischer Sicht ist in fischrelevanten Fließgewässern auf eine durchgehende Passierbarkeit (keine vollständigen Abstürze) und die strukturelle Lebensraumeignung Bedacht zu nehmen.

Grundsätzlich ist im Zuge der Bachausgestaltung aber jedenfalls eine Durchgängigkeit "Gewässerkontinuum" für das Makrozoobenthos Bei entsprechenden Gefälleverhältnissen ist die

Herstellung eines durchgehenden Lückenraum-

systems (Lebensraum und Wanderkorridor für das

Makrozoobenthos) häufig über die Kombination

von Konsolidierungssperren mit Grobsteinrampen

(Bodenlebewesen im Gewässer) herzustellen. Dies wird einerseits durch eine Bauweise ohne durchgehende Bettung in Beton und ohne Betonverfügung der Wasserbausteine ermöglicht. Andererseits muss eine ausreichend raue Oberflächengestaltung (an Sohle und Uferdeckwerken) mit entsprechendem Rückhalt für das bacheigene Sohlsubstrat gegeben sein.

Verschiedene Bautypen und deren ökologische Vorteile



Abb. 7: Verbauung Saigesbach (Bauzustand)

Fig. 7: construction site Saigesbach



Abb. 8: Verbauung Grünerbach Fig. 8: construction Grünerbach gut möglich.

Abb. 9: Geschiebesperre Grünerbach Fig. 9: debris check dam Grünerbach

Somit kann auch bei Geschiebesperren eine Passierbarkeit erreicht werden.

Manchmal reichen hierzu sogar recht einfache Maßnahmen aus, wie das Vorrampen mit Grobsteinen an der unterseitig entstehenden Betonkante (inkl. luftseitigem Überstand der Steine) bzw. auch der Verzicht auf eine sohlebene Betonverfüllung der Balkenverankerung. Durch die dadurch erhöhte Sohlrauigkeit kann hier bacheigenes Sohlsubstrat anlanden und in der Regel auch dauerhaft liegen bleiben.



Fig. 11: construction site Giessenbach

Wenn, z.B. aus naturschutzfachlichen Gründen (hier war die Herstellung der Fischpassierbarkeit in ein Natura-2000-Gebiet gefordert), herkömmliche Grundschwellen aufgrund der entstehenden Abstürze nicht möglich sind, können auch entsprechend rau ausgestaltete Grobsteinrampen Lösungsansätze bieten.

Hier ist zu beachten, dass im Zuge der Rampengestaltung aber auch der abschließenden Einschüttung mit Bachschotter eine Tiefenlinie mit ausreichend hohem Wasserstand hergestellt wird.



Abb. 13: Verbauung Bodnerbach Fig. 13: construction Bodnerbach



Abb. 14: Verbauung Bodnerbach Fig. 14: construction Bodnerbach



Abb. 10: Geschiebesperre Saigesbach (Bauzustand)

Fig. 10: construction site check dam Saigesbach

Abb. 12: Verbauung Giessenbach Fig. 12: construction Giessenbach

Abb. 11: Verbauung Giessenbach (Bauzustand)

des Geländes, notwendigen Ufersicherung (hier

durch Holzkrainerungen) ist eine landschaftliche

eine geschwungene Linienführung, eine mög-

lichst harmonische Einbindung in das landseitig

anschließende Gelände und durch Initialbe-

pflanzung von Uferbegleitgehölzen (jedenfalls

Verbesserungen ergeben sich durch

Einbindung problematisch.

Weidensteckhölzer).

Bei Bächen mit stark schwankender Wasserführung, bzw. außerhalb von Fischlebensräumen, kann in Abhängigkeit der technischen Zielvorgabe aber auch der angetroffenen geologischen Verhältnisse eine ökologische Funktion (zumindest Lebensraumeignung für das Makrozoobenthos) auch mittels Steinkastensperren erreicht werden.

Besonders wegen der, je nach Steilheit



Verbauung Fallbach Fig. 15: construction Fallbach



Abb. 16: Verbauung Fallbach

Fig. 16: construction Fallbach Aus ökologischer Sicht kann ein kombinierter Bautyp aus Holz-Sperren-Staffelungen mit jeweils vorgelegten rauen Steinrampen als besonders positiv hervorgehoben werden, da eine solche Ausführung eine hohe Lebensraumeignung (bis hin zur Fischpassierbarkeit) ermöglicht.

Besonders eindrücklich ist hier aber die gute landschaftliche Einbindung welche bei entsprechenden Gefälleverhältnissen durch die nachfolgende Ufergestaltung und -Rekultivierung erzielt werden kann.

Nach einem entsprechendem Zeitraum in dem sich die gepflanzte Uferbegleitvegetation entwickeln kann, erscheint der Bachlauf weitgehend naturnah und die erfolgte Schutzverbauung kann durch einen Laien kaum mehr als technische Maßnahme und dementsprechend "störend" in der Naturlandschaft wahrgenommen werden.





Abb. 18: Damm Bodeler

> Fig. 18: dam Bodeler

Begrünung und Aussaat

Bei der Errichtung von Schutzbauten kann durch die Rekultivierung der notwendigen Geländeveränderungen, sehr schnell eine standortgerechte Vegetation und mittelfristig ein ökologisch funktionsfähiger Lebensraum wiederhergestellt werden. Die Verwendung von vor Ort abgetragenem humosem, bewachsenem, durchwurzeltem Oberboden in der Form von möglichst großen Vegetationsstücke bzw. auch aus dem Baufeld gewonnener Strukturgeber wie Wurzelstöcke, größere Steine, Totholz und versetzbare Gehölze unterstützt die Nachbildung eines dem ursprünglichen Landschaftsbild angepassten Geländereliefs (siehe Abb. 17 und 18).



Abb. 19: Rückhaltebecken Eppzirler Alm

retention basin Eppzirler 4Im

Fig. 19:

Abb. 20: Damm Brandler

Fig. 20: dam Brandler

Sind dennoch Aussaaten erforderlich, ist jedenfalls auf ein standortgerechtes (z.B. ÖAG-zertifiziertes Saatgut) zu achten. Heublumen-Mulchsaaten aus unmittelbar umgebenden Mähderflächen sind zu empfehlen (siehe auch Exkurs).

Bei Baumaßnahmen an Gewässern kann zusätzlich mit aus der näheren Umgebung gewonnenen Weidensteckhölzern gearbeitet werden, um eine nachhaltige Festigung von Uferböschungen bzw. die Etablierung von Uferbegleitgehölzen

zu fördern. Auch stratifiziertes Saatgut für heimische Gehölze - z.B. Grünerlen - (hier Herkunft Landesforstgarten siehe Abb. 20) kann alternativ oder zusätzlich eingesetzt werden.

Insbesondere bei Zulieferung von Fremdmaterial ist vorab darauf zu achten, dass kein durch ungeeignetes Samenmaterial verunreinigter Bodenaushub eingesetzt wird. (Gemeint sind hier vor allem Neophyten wie z.B. drüsiges Springkraut, Sachalin-Knöterich, etc.)



dam avalanche Ochstal

Die Anwendung (meist Kombination) dieser Methoden, ermöglicht somit rasch die Herstellung des notwendigen Erosionsschutzes durch einen ausreichenden Deckungsgrad, aber langfristig auch eine entsprechende landschaftliche Einbindung von schutzbautechnischen Maßnahmen.

Sonderfall Dammbauwerk in bewehrter Erde

Für eine nachhaltige Begrünung dieses Bautyps sind Besonderheiten in Bezug auf den Wasserhaushalt und das Saatgut zu beachten.

Während an den Dammaußenseiten (siehe Abb. 17 und 18) die vor Ort sorgsam zu



Damm Gallreidelawine



Abb. 24: Damm Gallreidelawine

Fia. 24: dam avalanche Gallreide bergende Vegetationsschicht wiederverwendet werden kann, müssen die Damminnenseiten für eine dauerhafte Funktionsfähigkeit und bessere Einbindung in das Landschaftsbild mittels Saatgut nachhaltig begrünt werden.



Abb. 25: Damm Gallreidelawine Fig. 25: dam avalanche Gallreide



Abb. 26: Damm Nennesbachlawine Fig. 26: dam avalanche Nennesbach

Aufgrund der übersteilen Oberfläche der Gitterkörbe ist die Etablierung eines entsprechenden Deckungsgrades für die erforderliche Gras-Vegetation keineswegs selbstverständlich. Um auch während längeren Trockenphasen eine notwendige Wasserversorgung aufrecht zu erhalten, ist insbesondere an der Gitterkorbaußenseite bei der Befüllung darauf zu achten, dass entsprechend bindiges Material (idealerweise mit hohen Humus- bzw. Zwischenbodenanteilen) miteingebaut wird. Wichtig ist hier die Verwendung von Neophyten-freiem Material, da eine nachträgliche Pflege aufgrund der Steilheit in der Regel nicht mehr möglich ist. Im Falle Kalk-schottriger und durchlässiger Untergründe ist mithilfe von ausreichend häufig angeordneten Bermen (zumindest alle fünf Gitterkorblagen) dafür zu sorgen, dass eine vertikale Durchfeuchtung gegeben ist.

Aber auch die Auswahl des standortgerechten Saatgutes (sowohl in Hinblick auf die Höhenlage, wie auch den geologischen Untergrund) ist hier von entscheidender Bedeutung.

Exkurs: Regionales Saatgut Wipptal

Wildpflanzensaatgut für Rekultivierungsprojekte

Der Einsatz von regionalem Wildpflanzensaatgut bei Rekultivierungen ist inzwischen eine gut erprobte Methode. Sowohl die gesetzliche Situation (BGBl. II Nr. 417/2006 idgF), als auch die Aspekte von der Umsetzung, bis hin zur Abnahme von Rekultivierungen mit Wildpflanzensaatgut sind in Österreich geregelt (ÖNORM L 1113 und ONR 12113).

Vor allem in Schutzgebieten und anderen ökologisch sensiblen Bereichen bringt regionales Wildpflanzensaatgut zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Samenmischungen:

- Die Vielfalt wildlebender Arten bleibt innerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets erhalten, und die regionale Flora wird nicht durch ortsfremde Arten, oder Ökotypen verfälscht.
- Da die regionale Vegetation an die herrschenden Standortbedingungen gut angepasst ist entstehen mittelfristig stabile, artenreiche Wiesenbestände, die von der regionalen Tierwelt gut angenommen werden.
- Nicht zuletzt schafft die Vermarktung des Wildpflanzensaatguts auch einen ökonomischen Anreiz für die Bauern, die artenreiche Kulturlandschaft zu erhalten.

Geerntet wird Wildpflanzensaatgut von einer artenreichen Wiese, die als Spenderfläche dient. Um ihre Eignung festzustellen, müssen Faktoren wie, z.B. Artenzusammensetzung, Höhenstufe und Exposition erhoben werden. Diese Daten sind auch notwendig, um einer Empfängerfläche, die rekultiviert werden soll, der entsprechenden Spenderfläche zuzuordnen.

Zur Begrünung, oder "Übertragung des Saatguts", stehen unterschiedliche Verfahren (Mulchsaat, Heumulch, Wiesen- oder Heudrusch) zur Verfügung. Welche Methode gewählt wird, ist abhängig vom Baufortschritt, den Standortbedingungen und dem Begrünungsziel. In manchen Fällen, z.B. bei hohem Erosionspotential, sind ergänzende Maßnahmen (Decksaat, Ammensaat) sinnvoll. Für eine erfolgreiche Begrünung muss die Fläche entsprechend vorbereitet werden (Pflügen, Eggen od. Fräsen, Feinplanie, ev. Bodenrückverdichtung). Zu berücksichtigen sind auch eventuell im Boden vorhandene Diasporen (Samen und keimfähiges Pflanzmaterial), die zu einer unerwünschten Vegetation führen können. Abhängig vom Begrünungsziel ist mitunter eine Anwuchs- und Entwicklungspflege (Einzäunen, Mähen oder Häckseln) notwendig.

Das Raiffeisenlagerhaus Steinach und Umgebung hat auf Initiative der Schutzgebietsbetreuung (Mag. Klaus Auffinger) und mit finanzieller Unterstützung von LEADER das Projekt "Regionales Saatgut Wipptal" umgesetzt. Damit steht seit 2018 Wildpflanzensaatgut für die biogeografische Region "Subkontinentale Inneralpen West", welche sich an den forstlichen Wuchsgebieten gemäß KILIAN et al. (2000) orientiert, zur Verfügung. Die 30 ha Spenderflächen decken verschiedenste Wiesentypen von mittelmontan bis hochsubalpin (1000-2000m ü.d.M.) ab. Das Ausmaß an Spenderflächen soll in den kommenden Jahren kontinuierlich erweitert werden. Einige Rekultivierungen mit regionalem Wildpflanzensaatgut konnten bereits erfolgreich umgesetzt werden. Verwendet wurde dabei einerseits Mulchsaat - das frische Mähgut wird dabei unmittelbar auf die Empfängerfläche übertragen und andererseits Heumulch mit Untersaat - bei der das Mähgut getrocknet, zu Ballen gepresst auf die Empfängerfläche transportiert und über einer dünnen Saat von standortangepasstem Saatgut (z.B. Renatura) ausgebreitet wird.

Bei Interesse an regionalem Wildpflanzensaatgut für die Region "Subkontinentale Inneralpen West" steht das Lagerhaus Steinach und Umgebung für Auskunft und Anfragen zur Verfügung.

Kontakt: raiff.lager.steinach@aon.at oder http://www.genossenschaft-steinach.at/

Alle Fotos stammen aus dem Bereich der Gebietsbauleitung Mittleres Inntal

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Mag.rer.nat. Georg Ebenbichler Amt der Tiroler Landesregierung Umweltreferat BH-Innsbruck Gilmstraße 2, 6020 Innsbruck georg.ebenbichler@tirol.gv.at

Mag. Klaus Auffinger Naturschutzbeauftragter Schutzgebietsbetreuer Wipptal und Stubaier Alpen klaus.auffinger@tiroler-schutzgebiete.at DI Christian Mayr Amt der Tiroler Landesregierung Abt. Umweltschutz Eduard-Wallnöfer-Platz 3, 6020 Innsbruck christian.mayr@tirol.gv.at

Mag. Christian Vacha Büro Wasser und Umwelt Kochstraße 1, 6020 Innsbruck ch.vacha@wasser-umwelt.at



Alberschwende Mobil 0664/13 13 447

MICHAEL SCHIFFER

Schutzprojekt Kaltenbach – Multifunktionales Schutzkonzept mit stark ökologischer Ausrichtung

Protection project Kaltenbach – multifunctional protection concept with strong ecological focus

Zusammenfassung:

Das Projekt Kaltenbach ist multifunktional. Es schützt den vorliegenden Stadtteil "Kaltenbach" der Stadtgemeinde Bad Ischl vor Gefährdungen durch Wildbachprozesse aus dem gleichnamigen Wildbacheinzugsgebiet. Gleichzeitig wird die Traun, als Vorfluter in das gesamtheitliche Schutzkonzept mit einbezogen und der Hochwasserschutz für das vorliegende APSFR-Gebiet Bad Ischl nachhaltig verbessert. Neben der vorwiegend schutzfunktionalen Ausrichtung in Ober – und Mittellauf wird besonders der Unterlauf durch eine weitreichende Revitalisierungsstrecke mit fischpassierbarem Vorfluteranschluss und optimiertem Amphibienleitsystem ökologisch aufgewertet.

Der Revitalisierungsbereich ist gleichzeitig Teil des Ischler "Sissiparks" und lädt Jung und Alt zur aktiven Erholung am Wasser ein. Der Unterlaufbereich des Kaltenbaches war 2015 Teil der oö. Landesgartenschau und wurde im Jahr 2016 im Rahmen des EU-weiten Städtewettbewerbs "Entente Floral" mit Gold ausgezeichnet.

Stichwörter:

Oberösterreich, Hochwasserschutzprojekt, Ökologie

Abstract:

The project Kaltenbach is multifunctional. Its goal is to protect the village Bad Ischl against hazards caused by the torrent Kaltenbach. The holistic protection project also includes the receiving water Traun according to the EU Flood Directive. Besides the improvement of the protection function in the upper and middle reach, the lower reach was enhanced by a long revitalization section including a fish passable connection to the receiving water and optimized amphibian guidance facilities.

Keywords:

Upper Austria, flood protection concept, ecology

Naturraum und Naturgefahren

Die Stadtgemeinde Bad Ischl befindet sich in den Nördlichen Kalkalpen und wird landschaftlich und schutztechnisch neben den vorkommenden Gebirgsstöcken vor allem durch die Hauptgewässer Traun und Ischlfluß (beide Kompetenz BWV) sowie deren zahlreichen Zubringern (Kompetenz WLV) geprägt und gefährdet. Im Stadtteil Kaltenbach trifft der gleichnamige Wildbach als linksufriger Zubringer der Traun mit einer Einzugsgebietsgröße von rd. 5,8 km² und einem Bemessungshochwasser (BE100 wg) von 38,0 m³/s auf den geschlossenen Siedlungsraum.

Die Mündung in die Traun liegt bei 450 m Seehöhe. Die Wasserscheide reicht bis zu den alpinen Gipfeln des vorliegenden Katergebirges auf rd. 1.650 m Seehöhe (Hainzen 1.638 m).

Die Stadt Bad Ischl liegt gemäß EU-Hochwasserrichtlinie in einem sogenannten APSFR-Gebiet (Area of Potential Significant Flood Risk). Dabei befinden sich mehr als 500



Abb. 1: Blick von der Katrinseilbahn auf Bad Ischl, im Vordergrund der Stadtteil Kaltenbach

Fig. 1: Overview of the municipality Bad Ischl, with the district Kaltenback in the front.

Einwohner pro km Gewässerstrecke im jeweiligen Gefährdungsbereich.

Im Unterlauf lag vor Projektstart eine unzureichende, hart verbaute Regulierungsstrecke aus den 1930–1950-er Jahren vor (Betonkünette).

Abb. 2: Kaltenbach Unterlauf vor Projektsstart 2013: hart verbaut

Fig. 2: Kaltenbach lower reach before the beginning of the project 2013



Der Oberlauf des Kaltenbaches ist durch eine Grabenstrecke mit sehr labilen Einhängen (Haselgebirge) und hohem Wildholzpotential gekennzeichnet. Bei Eintritt von Starkniederschlägen oder heftigen Gewitterregen sind im Kaltenbach murartige Abflussprozesse möglich, die durch Erosionsprozesse, Unholz und Verklausungsbrüche verursacht werden können. Die Abflussprozesse aus dem Kaltenbach können sich im Bereich des Talbodens noch zusätzlich mit Hochwässern der Traun überlagern, was die mögliche Schadwirkung zusätzlich erhöht.



 Abb. 3: Blick in den labilen Oberlauf

 Fig. 3: Unstable sections of the upper reach

Der Ortsteil Kaltenbach ist durch dichtes Siedlungsgebiet mit dem örtlichen Bundesschulzentrum (Tourismusschule) samt Internat, mehreren Tourismusbetrieben und Gaststätten, der vorliegenden Seilbahn (Katrinseilbahn) und zahlreichen Sportstätten (Sprungschanzenanlage, 2 Kletterhallen, Skaterplatz, Fussballplatz, Reitplatz etc.) gekennzeichnet.

Durch die Lage am Fuße des Katergebirges und am Talboden des Trauntales tritt eine intensive Verzahnung des städtischen Lebensraumes mit den umgebenden, natürlichen Au- und Bergwaldausläufern ein. Anlässlich der Jahrhunderthochwässer 2002 und 2013 traten u.a. auch im Kaltenbach weitreichende Schäden auf. Im Zuge von Sofortmaßnahmen wurden die akuten Schäden behoben und das angefallene Unholz und Geschiebe entfernt. Auf Antrag der Stadtgemeinde Bad Ischl wurde das gegenständliche Gesamtkonzept ausgearbeitet.



Abb. 4: Projektpartner am Kaltenbach - im Vordergrund v.l.n.r. Bgm. Hannes Heide (Stadtgemeinde Bad Ischl), Ing. Wilhelm Laimer (Leiter Gewässerbezirk Gmunden), im Hintergrund v.l.n.r. DI Leopold Feichtinger (Flussraumbetreuer), DI Christoph Hauser (Landschaftsplaner), DI Michael Schiffer (WLV GBL OÖ West)

Fig. 4: Kaltenbach project partner

Integrales und innovatives Schutzkonzept

Das Projekt Kaltenbach ist ein innovatives, multifunktionales Schutzkonzept, dass ausgehend von einer nachhaltigen Verbesserung des Hochwasserschutzes, die Renaturierung und ökologische Aufwertung des vorliegenden Gewässers und seines Umlandes zum Gegenstand hat. Im Oberlauf kommen neben technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes (Konsolidierung und Ausfilterung von Unholz sowie Dämpfung schwallartiger Abflussprozesse) vor allem forstlich/biologische Maßnahmen wie nachhaltige Pflege der labilen Grabeneinhangwälder zur Umsetzung (Fokus Schutzfunktion). Im Unterlauf sorgen strukturierte Aufforstungen und ingenieurbiologische Maßnahmen für eine ausreichende Stabilisierung der Renaturierungsstrecke (ökologische Aufwertung). Im Bereich des Talbodens liegen noch unverbaute Bachabschnitte und unberührter Auwald vor. Diese noch ursprünglichen Lebensräume und vorhandenen Retentionsbereiche sollen gezielt erhalten bzw. durch geeignete Maßnahmen optimiert werden.

In Nutzung sich ergebender Synergien, wurden im Bereich des sogenannten "Sissiparks" nachhaltige Erholungsflächen geschaffen, die der Bevölkerung und ihren Gästen, aber besonders den Jugendlichen und Kindern als zeitweilige Aufenthaltsorte und öffentlich zugängliche Erlebniszonen am Wasser dienen (Erholungsfunktion). Für die umliegenden Schulen bietet sich die Möglichkeit den Naturraum, die Gefahrenmomente und die ökologischen Zusammenhänge an einem praktischen Anschauungsbeispiel den Schülern näher zu bringen und die Entwicklungen im und am Gewässer begreif- und erlebbar zu machen (pädagogische Funktion).



Abb. 5: Wasserspielplatz Sissipark nach Fertigstellung der Renaturierungsmaßnahmen Fig. 5: Water playgroud "Sissipark" after completion of the renaturation measures

Michael Schiffer: Schutzprojekt Kaltenbach – Multifunktionales

Ausgewogenes Maßnahmenpaket/Maßnahmenübersicht

In Anwendung der Instrumente des Forsttechnischen Systems der Wildbach- und Lawinenverbauung kommen im Kaltenbach technische, forstliche/biologische/ingenieurbiologische und organisatorisch-rechtliche Maßnahmen zur Anwendung.

Das gegenständliche Projekt kann in folgende Abschnitte und zugehörige Hauptmaßnahmen gegliedert werden:

- Unterlauf: Renaturierungsstrecke hm 0,00 – 4,50; Bereich Sissipark – fischpassierbare Anbindung an Traun, Verbesserung Hochwasserschutz, naturnahe Gerinneausgestaltung)
- Unterer Mittellauf hm 4,50 14,30; Bereich Sissipark bis Engleitenstraße: Erhalt bestehender Retentionsräume (Gutachtertätigkeit), nur ökologische Begleitmaßnahmen
- Oberer Mittellauf hm 14,30 20,00; Bereich Engleitenstraße bis Grabenausgang; Stadtteil Kaltenbach: Ausbau

auf HQ100, Hochwasserschutzdämme gegen Traunhochwässer (HQ100)

 Oberlauf hm 20,0-29,10; Grabenstrecke: Filterbauwerk in hm 22,17 (= Schlüsselbauwerk), Konsolidierung mit Holzquerwerken, Erschließung, Bewirtschaftung Grabeneinhänge

Umsetzungsdetails/Ökologische Besonderheiten/gemachte Erfahrungen

Renaturierungsstrecke hm 0,00-4,50 (Bereich Sissipark)

- Fischpassierbare Anbindung an die Traun
- Teilabbruch Betonkünette, Geländeabsenkung, Gerinneneugestaltung
- Neubau von 2 Fußgänger-Stegen und 1 Straßenbrücke
- Umlegung zahlreicher Leitungen: Soleleitung (Doppelstrang), Stark-Stromleitung 10kV etc.

Der Kaltenbach mit seinem klaren, kalten Wasser, das auch im heißesten Sommer nicht gänzlich versiegt, ist speziell für die Bachforellen und ihre Begleitarten ein wichtiger Fischlebensraum.



Abb. 6: Renaturierungsstrecke kurz vor Landesgartenschaueröffnung im April 2014

Revitalized reach before the opening of national horticultural show in April 2014



Abb. 7: Selber Gerinneabschnitt im Bauzustand kurz vor Fertigstellung Fig. 7: Revitalized reach under construction

In Umsetzung der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie wurde der Kaltenbach in seinem Unterlauf aus seinem starren Betonbett befreit, höhenmäßig abgesenkt (Verbesserung des Hochwasserschutzes) und renaturiert (neu strukturiert sowie fischdurchgängig gemacht) und an die Traun angebunden (ökologische Aufwertung). Die neugeschaffenen Uferflächen wurden in den städtischen "Sissipark" integriert. Sie sollen Schutz bieten, zum Verweilen einladen und für Jung und Alt eine generationenübergreifende Stätte der Begegnung darstellen.

Als besondere Herausforderung ergab sich im Zuge der Revitalisierung die Tatsache, dass die vorhandenen Untergrundverhältnisse mitunter die Anlage eines neuen Gerinnes erheblich erschweren können. Das Vorhandensein von durchlässigen Bodenschichten, kann bei beabsichtigter dauernder Wasserführung durchaus zum Problem werden. Will man nicht auf unbestimmte Zeit ein Trockenfallen riskieren, muss der Sohlbereich entsprechend abgedichtet werden (Lehmschlag o.ä.). Erst nach Herstellung eines dichten Untergrundes erfolgt die Berollung mit geeignetem Sohlstubstrat.

Bei den eingebauten Wurzelstöcken und Totholzkomponeten sowie Requisiten im Bereich der Erholungsflächen gilt es, diese ausreichend gegen Auftrieb zu sichern (Hochwasserabflussbereich). Im Kaltenbach wurden die Einbauten mit Lärchen-Piloten (3–5 m) und Stahlseilen (DN 8–10 mm) gegen möglichen Auftrieb gesichert. Gerinneabschnitt hm 4,50–14,30 (Sissipark – Engleitenstraße)

- Weitgehend natürlicher Bachlauf/ Auwald – keine aktiven Schutzmaßnahmen
- Kaltenbachteich (Traunaltarm) Ziel der Amphibienwanderung
- Errichtung Dotationsleitung

Im Bereich dieses Gewässerabschnittes liegt eine weitgehend natürliche Bachstrecke vor. Das Hauptaugenmerk in diesem Bereich liegt vorwiegend im Erhalt noch vorhandener Retentionsräume und Auwaldflächen durch konsequente Sachverständigentätigkeit. Am Gerinne selbst sind in diesem Abschnitt außer der Anlage einer Dotationsleitung zu einem stehenden Gewässer, dem sogenannten "Kaltenbach-Teich" (Traunaltarm) keine aktiven Maßnahmen vorgesehen. Der "Kaltenbachteich" stellt ein Laichhabitat für Amphibien dar (stehendes Gewässer). In den letzten Jahren fiel das Gewässer mehrfach zu ungünstigen Zeiten für die Amphibien nahezu trocken. Als ökologische Ausgleichsmaßnahme und zum Erhalt des gegenständlichen Lebensraumes (Naturdenkmal gemäß oö. Naturschutzgesetz) wird eine Dotationsleitung (DN 250) errichtet. Um im Niederwasserfall dem Kaltenbach nicht zu viel Wasser zu entnehmen, wurde die Dotationsleitung steuerbar ausgeführt.

Bereich hm 14,30–20,00 Engleitenstraße – Grabenausgang

 Hebung Engleitenstraße – Hochwasserfreistellung und Durchgängigmachung Straßendamm, Optimierung Retentionsund Aulebensraum, Amphibienleitsystem

- Errichtung von Hochwasserschutzdämmen gegen Traun- und Kaltenbachhochwässer
- Ertüchtigung Schipisten-Durchlass im Bereich Katrinseilbahn
- Ertüchtigung Gerinne von Seilbahn bis Grabenausgang (HQ100)

Im Bereich der sogenannten Engleitenstraße wird durch die Hebung der Straße um rd. 1,0 m (auf einer Länge von rd. 150 lfm) diese einerseits hochwasserfrei gestellt (Sicherstellung der Passierbarkeit für Einsatzfahrzeuge im Hochwasserfall) und andererseits durch Durchgängigmachung des Straßenkörpers die Auwaldfläche des Kaltenbaches mit der Auwaldfläche der Traun verbunden. Ein Amphibienleitsystem soll ergänzend die Wanderrouten der Amphibien in diese durchgängigen Bereiche lenken, die jährlichen Massaker an den Tieren durch den Straßenverkehr minimieren helfen und gleichzeitig den Straßenverkehr sicherer machen (Verhinderung gefahrenträchtiger Ausweichmanöver).

Des Weiteren sind wie oben angeführt diverse Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Ausbauwassermenge (BE100 wg) vorgesehen (Bauumsetzung Herbst/Winter 2018/2019).

Oberlauf Grabenstrecke hm 20,00 – 29,10

Filterbauwerk hm 22,17

Das gegenständliche Schutzkonzept sieht oberhalb des gefährdeten Siedlungsraumes bei hm 22,17 ein räumbares Filterbauwerk zur Ausfilterung von Wildholz und Schadgeschiebe sowie zur Dämpfung schwallartiger Abflussprozesse vor (Schlüsselbauwerk). Der Unholzrechen ist mit Bodenspalt ausgeführt um die Durchgängigkeit bestmöglich sicher zu stellen und ein vorzeitiges Verlegen der Rechenkonstruktion zu verhindern.



Fig. 8: Filtering structure at hm 22,17 (key structure)

Konsolidierungsstrecke

Oberhalb des Filterbauwerkes liegen Konsolidierungsbauwerke aus Holz vor. Dabei wird geeignetes Bauholz (Tannenholz) unmittelbar vor Ort gewonnen und eingebaut. Gleichzeitig bedeuten diese Entnahmen wichtige Pflegeeingriffe zur Stabilisierung der labilen Grabeneinhänge.

Die Herstellung einer bachnahen

Erschließung ermöglicht den Zugang zu den Bauwerken für Errichtungs- und Instandhaltungszwecke. Zusätzlich stellt sie die Grundlage einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Grabeneinhangswälder dar. Ergänzende Aufforstungsmaßnahmen im Einzugsgebiet sollen den Wasserhaushalt günstig beeinflussen und die Trinkwasserqualität sichern helfen (Wohlfahtsfunktion).



bauten in Diskussion, die das Eindringen der Signalkrebse in noch unverseuchte Gewässerabschnitte verhindern sollen.

• Fischerei vielfach gegen den Abbau von Wanderhindernissen (Reviergrenzen)

Fischer sind oft über den Abbau von Wanderhindernissen über Reviergrenzen hinweg wenig erfreut. Auch fürchtet man die Einschleppung von Krankheitserregern in bislang abgetrennte Gewässerstrecken. Im Bereich der Traun tritt vermehrt die "schwarze Bachforelle" auf. Die lethargisch werdenden Individuen verfärben sich dabei allmählich dunkel und gehen zu Grunde. Als Ursache wird eine suspekte Nierenerkrankung vermutet. Vermehrt wird die Erkrankung im Nahbereich von Kläranlagen beobachtet. Es gibt Verdachtsmomente, dass Rückstände oder Anreicherungen mit Schadstoffen aus unzureichenden Klärprozessen Auslöser für die Erkrankung der empfindlichen Bachforelle sein könnten.

• Herstellung amphibiengerechter Wanderkorridore

(keine einheitliche Meinung vorhanden)

Hinsichtlich der Herstellung amphibiengerechter Leitsysteme herrscht außerordentlich große Meinungsvielfalt. Zahlreiche Anbieter schlagen häufig unleistbare Systemkomponenten in Kunststoff-, Metall- oder Betonbauweise vor. Am zielführendsten erscheint es, in dieser Fragestellung mit den zuständigen Amtssachverständigen bzw. mit von diesen empfohlenen Experten entsprechende Lösungen zu suchen.

Unökologische Bewirtschaftungsmethoden

Unökologische Bewirtschaftung von Renaturierungsstrecken – Leitfische kommen in den eigens für sie revitalisierten Gerinnestrecken zu wenig oder gar nicht (mehr) vor. Häufig werden sie durch Bewirtschaftungsfehler verdrängt (Beispiel Bachforelle vs. Regenbogenforelle).

Abb. 9: Grabenkonsolidierung durch Holzquerwerke hm 22,50Fig. 9: Consolidation with wooden check dams at hm 22,50

Kritische ökologische Fragestellungen am Beispiel Kaltenbach

Mit fortschreitender Umsetzung des gegenständlichen Projektes haben sich verschiedene ökologische Fragestellungen ergeben, die bislang ungeklärt geblieben sind:

> • Fischpassierbarkeit versus Einwanderung des Signalkrebses in bislang unverseuchte Steinkrebshabitate

Kurz nach Fertigstellung der Renaturierungsstrecke mit erfolgter fischpassierbarer Anbindung des Kaltenbaches an die Traun wurden im Kaltenbach Steinkrebse angetroffen. Kritisch steht nun die Frage im Raum, ob die Herstellung der Fischpassierbarkeit eine Gefahr für die Steinkrebse bedeutet. Es gibt Interventionen, die nun geeignete Maßnahmen gegen die Einwanderung des Signalkrebses fordern. Dabei stehen wiederum spezielle Ein-



Abb. 10: Herkömmliche Amphibienleitsysteme funktionieren mitunter unzureichend und sind störanfällig, einfache, dunkle Querungen mit geringem Durchmesser (meist Betonrohre) werden nicht gern angenommen, die Betreuung ist sehr aufwendig

Fig. 10: Amphibian guidance facilities often don't function properly and are very extensive in its maintenance





Abb. 11: Moderne Leitsysteme sind meist sehr kostspielig Fig. 11: Modern Amphibian guidance facilities are generally very expensive

Ökologische Zustandserfassung und Öko-Monitoring

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Nach Umsetzung der geplanten Maßnahmen wäre eine ökologische Grundlagenerhebung über den aktuellen Zustand der revitalisierten und ertüchtigten Gewässerstrecken sehr wichtig. Ein laufendes Monitoring könnte nach Abschluss der Baumaßnahmen die Veränderungen und Entwicklungen der Lebensräume im und am Gerinne aufzeigen. Daraus sollen zielgerichtet Maßnahmen für die Bewirtschaftung bzw. Behandlung des Gewässers zur Erreichung der ökologischen Zielsetzungen abgeleitet werden. Eine entsprechend wissenschaftliche Aufarbeitung der ökologischen Gesamtentwicklung des Kaltenbaches wäre ein interessanter Beitrag zur ökologischen Beurtei-

lung der getroffenen Maßnahmen.

DI Michael Schiffer

Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Oberösterreich West Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl michael.schiffer@die-wildbach.at

Wir sichern und kultivieren die Erde

Mit unseren Erfahrungen und den technischen Möglichkeiten der heutigen Zeit

wurde eine Wildbachbegehungs-App entwickelt, um uns Wildbachbegehern

eine innovative, praktische und verlässliche Lösung in die Hand zu geben.

Steilwälle Wasserbau Entwässerung Sonderkonstruktionen



Hang- u. Böschungssicherung Steinschlagschutz Stützbauwerke

SKOLAUT

Weitere Informationen

erhalten Sie unter

www.naturraum365.at

und www.skolaut.at



NaturRaum365

e App-Lösung für uns Wildbachbegeher NOVATIV. PRAKTISCH. VERLÄSSLICH.



J. Krismer | Bundesstraße 23 A - 6063 Innsbruck - Rum www.krismer.at | office@krismer.at



Baumarten in Hochlagenaufforstungen der Region Oberes Inntal/Tirol

JÖRG HEUMADER

Versuchsaufforstungen mit nicht-heimischen subalpinen Baumarten in Hochlagenaufforstungen der Region Oberes Inntal/Tirol – ein Erfahrungsbericht

Planting tests with non-native subalpine tree species in high-elevation afforestation in the Upper Inn Region/ Tyrol – experiences and results

Zusammenfassung:

Zwischen 1980 und 2010 wurden durch die Gebietsbauleitung Oberes Inntal der Wildbachund Lawinenverbauung in Teilen der kontinentalen Zentralalpen Pflanzversuche mit mehreren nicht-heimischen subalpinen Baumarten durchgeführt. Das Ziel war, die Baumartenvielfalt in der subalpinen Höhenstufe zu erhöhen, um negative Umwelteinflüsse besser abpuffern zu können. Dieses Ziel einer gesteigerten Anpassung ist bei der derzeitigen Klimaerwärmung aktueller denn je. Bei den Versuchspflanzungen haben sich die Baumarten Spirke (Pinus uncinata), heimisch in den Westalpen und den Pyrenäen, und die Engelmannsfichte (Picea engelmannii) aus den Gebirgen im Westen Nordamerikas als geeignet herausgestellt.

Stichwörter: Hochlagenaufforstung, nicht-heimische subalpine Baumarten, Pinus uncinata, Picea engelmannii, Pinus peuce, Pinus contorta ssp. latifolia

Abstract:

In the period 1980 – 2010, the Federal Service for Torrent and Avalanche Control made planting tests with non-native subalpine tree species in high-elevation afforestations in the Upper Inn Region (parts of the Central Alps). The idea has been to enhance the ecological diversity by increasing the number of tree species in the subalpine zone with the goal to improve the buffering capacity of planted forests against negative environmental influences. In times of global warming this goal has gained more importance than ever. As result of these planting tests the subalpine tree species Pinus uncinata (mountain pine) from the European Western Alps and the Pyrenees and Picea engelmannii (Engelmann spruce) from the high mountains in the west of North America proved to be worth further planting.

Keywords: Afforestation, non-native subalpine tree species, Pinus uncinata, Picea engelmannii, Pinus peuce, Pinus contorta ssp. latifolia

Einleitung

Hochlagenaufforstungen, also Wieder- und Neubewaldungen in der subalpinen Höhenstufe, sind Teil der kombinierten Strategie der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs (WLV), bestehend aus technischen Verbauungen, raumordnerischen Lenkungs- und forstlich-biologischen Vorbeugungsmaßnahmen zum Schutz vor Wildbächen, Lawinen, Rutschung, Steinschlag und Erosion (Heumader 2017). Der Lawinenwinter 1951 gab den Anstoß einerseits zum Start der "Subalpinen Waldforschung", andererseits wurden in den folgenden Jahrzehnten vielerorts vermehrt Hochlagenaufforstungen durchgeführt (Heumader et al 2017).

Die Aufforstungsflächen der Gebietsbauleitung Oberes Inntal der WLV liegen in den zentralalpinen Waldwuchsgebieten 1.1 "Kontinentale Kernzone" und 1.2 "Subkontinentale Innenalpen - Westteil". Die hier natürlich vorkommenden Baumarten in der subalpinen Höhenstufe sind die Zirbe (Pinus cembra), die Lärche (Larix decidua) und mit Einschränkungen, da nur teilweise bis an die Waldgrenze wachsend, die Fichte (Picea abies).

Die geringe Baumartenzahl in Europa wird darauf zurückgeführt, dass die Alpen in O-W-Richtung verlaufen und so für Baumartenwanderungen nach S und N in den Eis- und Zwischeneiszeiten eine schwer überwindbare Barriere dargestellt haben. Die Baumartenzahl ist daher gegenüber dem Tertiär stark reduziert. Die Zirbe, oft "Königin der Alpen" genannt, ist übrigens erst während der letzten Eiszeit aus ihrem riesigen Hauptverbreitungsgebiet in Sibirien in die Alpen eingewandert.

Pflanzung nicht-heimischer subalpiner Baumarten zur Erhöhung der Artenvielfalt

Für solche Pflanzversuche können subalpine Baumarten aus europäischen Gebirgen außerhalb der Ostalpen herangezogen werden, aber auch solche aus außereuropäischen Gebirgen der Nordhalbkugel

Hier ist insbesondere Nordamerika zu nennen, wo die von N nach S verlaufenden Rocky Mountains kein Wanderungshindernis in den Eiszeiten darstellten. Die Baumartenvielfalt ist hier daher auch um ein Vielfaches höher als in Europa (Whitney 1985).

epflanzte Baumartenvielfalt: irben. Lärchen Fichten, Spirken und Engelmannsfichten, gepflanzt 1990, SH 2140 – 2190 m, Spiss-Lawinen, Gem. Spiss Bez, Landeck

Fig. 1

Planted tree-species diversity Cembran pine (Pinus cembra) larch (Larix decidua), spruce (Picea ahies), mountair pine (Pinus uncinata) and nann spruce (Picea planted 1990 2140m - 2190m a.s.l., Spiss Avalanches, Community Spiss District Landeck/Tyrol



Durch die Gebietsbauleitung Oberes Inntal wurden von 1980 bis 2010 im Rahmen ihrer Hochlagenaufforstungen Versuchspflanzungen mit nichtheimischen subalpinen Baumarten durchgeführt. Die Pflanzenanzucht erfolgte im betriebseigenen Forstgarten "Klausboden", der leider vor kurzem aufgelassen wurde. Die Versuchspflanzungen, die immer als Beimischung zu den heimischen Baumarten erfolgten (Abb.1), befinden sich zumeist in der Dickungsphase, z. T. sind es noch Jungwüchse, vereinzelt angehende Stangenhölzer.

Gründe für eine Erhöhung der Vielfalt subalpiner Baumarten bei Hochlagenaufforstungen

Waldgrenze ist Lebensgrenze für Bäume, die hier vielfältigen begrenzenden und negativen Einflüssen durch Klima, Schnee, Schadpilze, Verbiss etc. ausgesetzt sind. Diese negativen Einwirkungen betreffen nicht alle Baumarten gleichermaßen, sondern durchaus artenspezifisch. So befällt z. B. der "Weiße Schneeschimmel" (Phacidium infestans) ausschließlich die Zirbe. Auch die Gefährdung durch Wildverbiss ist unterschiedlich, ebenso jene durch Schneebruch oder Gleitschnee.



Abb. 2: Überreste einer durch "Weißen Schneeschimmel" (Phacidium infestans) ausgefallenen Zirbengruppe (Pinus cembra) rechts vorne, intakte Fichtengruppe (Picea abies) hinten benachbart, gepflanzt 2003, SH 2150 m, Schönjöchl-Lawine, Gem. Fiss, Bez. Landeck/Tirol

Fig. 2: Remnants of a Cembran-pine group (Pinus cembra), died back after an attack by snow fungi (Phacidium infestans) in the foreground, intact group of spruce (Picea abies) neighboured behind, planted 2003, Schoenjoechl-Avalanche, Community Fiss, District Landeck/Tyrol

Bei höherer Artenzahl können negative Umwelteinflüsse daher wesentlich besser abgepuffert werden als bei Kulturen aus nur einer oder zwei Baumarten. Dadurch kann der Ausfall einer Baumart nicht zur Gefährdung des ganzen Bestandes führen (Abb. 2).

Die folgenden Beurteilungen basieren nicht auf wissenschaftlichen Untersuchungen, sondern auf dem Augenschein im Zuge zahlreicher Begehungen, wobei zu beachten ist, dass sie sich naturgemäß nur auf Jungwuchs- und Dickungsphasen beziehen können. Die weitere Entwicklung in der Stangenholzphase und darüber hinaus kann erst die Zukunft zeigen. Subalpine nicht-heimische Baumarten, die sich zum weiteren Einsatz in Hochlagenaufforstungen als geeignet erwiesen haben

Spirke, auch Hakenkiefer oder Bergkiefer (Pinus uncinata)

Die Spirke hat subalpine Vorkommen in den Westalpen, in den Pyrenäen und in den Karpaten. Sie kommt zwar auch in Mooren und auf Bergsturzablagerungen in Tirol vor, jedoch nicht in der subalpinen Höhenstufe. Daher kann sie als nicht-heimische subalpine Baumart gelten. Sie bevorzugt basische Böden, gedeiht jedoch auch auf sauren Standorten (Abb. 3).



Abb. 3: Spirkengruppe (Pinus uncinata), gepflanzt 2003, SH 2100 m, Schönjöchl-Lawine, Gem. Fiss, Bez. Landeck/Tirol

Fig. 3: Mountain-pine group (Pinus uncinata), planted 2003, 2100 m a.s.l., Schoenjoechl-Avalanche, Community Fiss, District Landeck/Tyrol

In den Ostalpen wird die Spirke durch die nahverwandte Latsche (*Pinus mugo*) ersetzt. Beide kreuzen sich fruchtbar und werden daher oft auch als zwei Unterarten angesehen. Um verlässlich aufrecht wachsende Bäume anzuziehen, ist es daher wichtig, Saatgut aus den französischen Westalpen (z. B. aus dem Departement "Hautes Alpes") zu verwenden, nicht jedoch aus der Übergangszone in der Schweiz (z. B. vom Ofenpass). Es wurden auch Spirkenherkünfte aus den Pyrenäen, wo die Latsche nicht vorkommt, gepflanzt. Sie haben längere Nadeln und einen zwar einstämmigen, aber eher breitbuschigen Wuchs gegenüber den schlankeren westalpinen Herkünften.

Die Spirke leidet bei langdauernder Schneebedeckung unter Scleroderris-Triebsterben (Gremmeniella abietina). Sie wird den Beobachtungen nach am gleichen Standort eher weniger befallen als die Zirbe. Dem Befall mit Kiefernschadpilzen besonders förderlich sind unmittelbar oder kurz aufeinander folgende schneereiche Winter.

Die Spirke eignet sich gut für Baumsaaten auf künstlichen Bodenverwundungen wie Plätze weises Abziehen der Bodenvegetation oder Anlage von Kleinbermen. Spirken wurden versuchsweise nicht nur in der Region Oberes Inntal, sondern auch anderswo gepflanzt, z. B. im Montafon (Stoiser 2018).

Engelmannsfichte (Picea engelmannii)

Die Engelmannsfichte ist in vielen Gebieten zwischen British Columbia und New Mexico in der subalpinen Stufe der Rocky Mountains die dominante Baumart, meist allein oder vergesellschaftet mit der Felsengebirgstanne (subalpine fir) Abies lasiocarpa (Fowells 1965).

Im Hinblick auf das riesige Verbreitungsgebiet der Engelmannsfichte hat die Wahl der Saatgutherkünfte jedenfalls auf Basis der verfügbaren amerikanischen Klimadaten zu erfolgen.

Die Engelmannsfichte unterscheidet sich von der heimischen Fichte deutlich durch ihre bläulichen Nadeln. Ihr Wuchsverhalten ähnelt der heimischen Fichte, sie bleibt auch relativ lange "hocken" und geht erst nach einigen Jahren in rascheres Wachstum über (Abb.4).

Die Wurzeln der entweder wurzelnackt (verschult) oder in Torftöpfen verpflanzten Bäumchen waren verpilzt – offenbar sind die heimischen Fichtenmykorrhizen auch für die Engelmannsfichten geeignet. Sie wachsen auf sauren und basischen Böden.

Schäden durch Pilzerkrankungen sind bisher nicht aufgetreten, aber die sind auch bei der heimischen Fichte selten. Nach Angaben in der amerikanischen Fachliteratur wird die Engelmannsfichte vom Wild nicht verbissen, da ihre Nadeln abstoßend riechen. Diese bemerkenswerte Eigenschaft hat sich auch bei den Versuchspflanzungen gezeigt, die allerdings keinem übermäßigen Verbissdruck ausgesetzt waren.

Auch im Montafon wurden versuchsweise Engelmannsfichten angepflanzt (Stoiser 2018).

Subalpine nicht-heimische Baumarten, welche in geringer Stückzahl gepflanzt wurden und mit denen weitere Versuche sinnvoll wären

Rumelische Kiefer (Pinus peuce)

Die rumelische Kiefer hat ihr Verbreitungsgebiet in verschiedenen Gebirgen am Balkan und zwar in Mazedonien, im Kosovo und in Albanien, ein isoliertes Vorkommen gibt es auch in Bulgarien. Sie ist der Zirbe ähnlich mit weichen Nadeln in Fünferbüscheln, Zapfen und Samen sind dagegen unterschiedlich. Die auf sauren Böden wachsende rumelische Kiefer ist ein Tertiärrelikt (Stern et al 1980).

Bergdrehkiefer, auch Inlanddrehkiefer (Pinus contorta ssp. latifolia)

Die Inland- oder Bergdrehkiefer hat ein riesiges Verbreitungsgebiet im kontinentalen Westen Nordamerikas zwischen Yukon und Colorado. Sie ist eine montane und subalpine Baumart, die in den südlichen Rocky Mountains teilweise die Waldgrenze bildet (Fowells 1965). Sie ist raschwüchsig und auch durch Baumsaaten auf Bodenverwundungen leicht vermehrbar. Sie wächst nur auf sauren Böden (Abb. 5).

Es wird darauf hingewiesen, dass eine enge Verwandte, die Küstendrehkiefer Pinus contorta ssp. contorta (shore lodgepole-pine) in niedrigen Lagen unmittelbar an der pazifischen Küste wächst und für Hochlagenaufforstungen ungeeignet ist.



Abb. 4: Engelmannsfichtengruppe (Picea engelmannii), gepflanzt 2003, SH 2170 m, Schönjöchl-Lawine, Gem. Fiss, Bez. Landeck/Tirol

Engelmann-spruce group (Picea engelmannii), planted 2003, 2170 m a.s.l. Schoenjoechl-Avalanche, Community Fiss, District Landeck/Tyrol

Abb. 5: Bergdrehkiefern (Pinus contorta ssp latifolia) in einer Kleingruppe, gepflanzt 1999, SH 2000 m, Balbach-Lawine, Gem.Ötz, Bez. Imst/ Tirol

Fig. 5: Mountain lodgepolepines (Plnus contorta ssp. latifolia) in a small group, planted 1999, 2000 m a.s.l., Balbach-Avalanche, Community Oetz, District Imst/Tyrol



Nicht-heimische Baumarten, die auf Grund der bisherigen Versuche für Hochlagenaufforstungen nicht oder wenig geeignet sind.

Japanlärche (Larix leptolepis)

Die Japanlärche war die erste nicht-heimische Baumart, die in der Gebietsbauleitung Oberes Inntal angepflanzt wurde, da sie als resistent gegen Lärchenschadpilze beschrieben wurde, was allerdings nur zum Teil der Fall war. Sie verholzt später als die einheimische Lärche und wird daher durch Frühfröste häufig geschädigt. Außerdem wuchs sie krummschaftig und z. T. zwieselig. Da sie in ihrer Heimat nicht in der subalpinen Stufe wächst, ist sie für Hochlagenaufforstungen nicht geeignet.

Felsengebirgstanne (Abies lasiocarpa)

Diese Baumart besiedelt die subalpine Höhenstufe in großen Gebieten im Westen Nordamerikas von Yukon bis New Mexico, sie ist an der Waldgrenze oft mit der Engelmannsfichte vergesellschaftet (Fowells 1965). Sie würde sich für Hochlagenaufforstungen eignen, leidet aber durch frühen Austrieb unter Spätfrösten und wird als Tanne bevorzugt verbissen und verfegt.

Grannenkiefer (Pinus aristata)

Sie wächst auf trockenen felsigen Standorten in der subalpinen Zone der südlichen Rocky Mountains (Colorado und New Mexico) bis zur Waldgrenze (Fowells 1965). Infolge ihres langsamen Wuchses erwies sie sich als mindergeeignet, in schneereichen Lagen ist sie auch anfällig für Schneepilze.

Weitere subalpine Baumarten, die für Hochlagenaufforstungen getestet werden könnten

Unter Zugrundelegung von mit den Hochlagen der Alpen vergleichbaren klimatischen Verhältnissen wären Pflanzversuche überlegenswert mit:

- Pinus balfouriana (foxtail pine), südliche Sierra Nevada, Nordamerika (Whitney 1985)
- Picea schrenkiana (Schrenks spruce), Thian-shan Gebirge in NO-Tibet, Asien.
 Versuchsweise wurde sie im Montafon gepflanzt (Stoiser 2018)

Ausblick

Wald und Bewaldung spielen bei der derzeitigen Erderwärmung im Zuge des Klimawandels eine zunehmend wichtigere Rolle. Es kann auch erwartet werden, dass sich die Waldgrenze bergwärts verschieben wird und dadurch Flächen für Neubewaldungen vermehrt zur Verfügung stehen. Der Stellenwert der Hochlagenaufforstung allgemein und einer höheren Vielfalt an subalpinen Baumarten wird daher stark zunehmen, auch im Hinblick auf zukünftige ungewisse klimatische Entwicklungen.

Eine gruppenweise Beimischung nichtheimischer subalpiner Baumarten im Ausmaß von max. einem Viertel der Pflanzenzahlen wird dabei als sinnvoll erachtet, wobei jede Gruppe nur aus einer Baumart bestehen sollte (Abb. 6).

Ein erhöhter Bedarf an Hochlagenpflanzen aller Art ist jedenfalls zu erwarten. Die vor kurzem erfolgte Entscheidung, den Forstgarten "Klausboden" aufzulassen, welcher sich als einziger in Österreich seit 1953 ausschließlich mit der Anzucht von Pflanzen für Hochlagen beschäftigt hat, ist daher fachlich und strategisch nicht nachvollziehbar.



Abb. 6: Baumartenmischung in Gruppen aus Engelmannsfichte (Picea engelmannii), Fichte (Picea abies), Spirke (Pinus uncinata) und Lärche (Larix decidua), gepflanzt 2003, SH 2150 m, Schönjöchl-Lawine, Gem. Fiss, Bez. Landeck/Tirol

Fig. 6: Tree-species mixture in groups of Engelmann spruce (Picea engelmannii), spruce (Picea abies), mountain pine (Pinus uncinata) and larch (Larix decidua), planted 2003, 2150 m a.s.l., Schoenjoechl-Avalanche, Community Fiss, District Landeck/Tyrol.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DI Jörg Heumader

Ehemaliger Leiter der Gebietsbauleitung Oberes Inntal der Wildbach- und Lawinenverbauung Lecturer (ret.) for "Afforestation near the Timberline", Universität für Bodenkultur, Wien Lehngasse 73/1,6460Imst joerg.heumader@cni.at

Literatur / References

HEUMADER J. (2017): "High-elevation afforestations in subalpine areas of the European Alps", Wildbach- und Lawinenverbau Nr. 180

HEUMADE J., NEUNER J., MARKART G. (2017): "Evaluierung von Hochlagenaufforstungen in Österreich", Wildbach- und Lawinenverbau Nr. 180

WHITNEY St. (1985): "Western Forests", page 101 "Subalpine Forests", The Audubon Society. Nature.Guides, USA

STOISER A. (2018): "Hochlagenaufforstung über der aktuellen Waldgrenze im Montafon", Wildbach- und Lawinenverbau Nr. 181

STERN R., ZWERGER P. (1980): "Rumelische Kiefer (Pinus peuce) und Zirbe (Pinus cembra). Ein Pflanzvergleich in der subalpinen Stufe, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 129. Heft

FOWELLS H. (1965): "Silvics of forest trees of the United States", U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Handbook No. 271, Washington D.C.

GEOBRUGG

Flexible Murgangbarrieren: Seit 10 Jahren weltweit erfolgreich im Einsatz

Vor zehn Jahren führte die Geobrugg AG mit flexiblen Ringnetzbarrieren eine neue Lösung zum Schutz vor Murgängen ein. Mehr als 250 solcher Murgangsperrren wurden zwischenzeitlich in über 25 Ländern installiert und konnten vielfach Infrastrukturen wie Straßen, Bahnanlagen oder Wohngebiete vor bedeutenden Schäden bewahren.

Die Murgangbarrieren aus hochfesten Stahldrahtnetzen der Romanshorner Naturgefahrenspezialisten sind zwischenzeitlich als zertifiziertes europäisches Produkt voll etabliert (ETA und CE-Kennzeichnung). Ihren Anfang nahm diese Erfolgsgeschichte zwischen 2005 und 2008, als im Zuge eines Forschungsprojektes der erfolgreiche Murgangrückhalt in Großfeldversuchen nachgewiesen wurde.

Dabei wurde sowohl die Eignung dieser Netze für kleine Volumen, als auch für sehr große Volumen mit mehreren Netzen hintereinander nachgewiesen. Unter anderem wurde gemeinsam mit der WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) ein Lastansatz entwickelt und mehrere Standardsysteme definiert, welche über die frei zugängliche Software DEBFLOW bemessen werden können. Damit war der Weg frei, um auch mehrstufige Murgang-Rückhalte zu planen und auszuführen.

Ein großer Vorteil der flexiblen Geobrugg-Murgangbarrieren ist ihr geringes Gewicht und die kurze Installationszeit. Dies ist in steilem, schwer zugänglichem Gelände wichtig, wo eine Zufahrt für grosse Baumaschinen unwirtschaftlich wäre. Die einfach zu installierenden Murgangnetze eignen sich deshalb auch gut als Sofortmassnahme. In solchem Gelände muss oft mit Schneerutschen, Kleinlawinen und teils auch mit Steinschlag gerechnet werden, welche auf die Murgangbarrieren aufschlagen können. Da es Netzbarrieren auch zum Schutz gegen Lawinen und Steinschlag gibt, kann eine kombinierte Beanspruchung bis zu einem gewissen Grad dimensioniert werden. Murgangschutznetze anstelle von Betonsperren werden vermehrt auch aufgrund der geringen Sichtbarkeit eingesetzt: Durch die filigrane Bauweise sind diese von weitem kaum wahrnehmbar. Dies kann in touristischen Regionen entscheidend sein.

Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten in Form von Einzelsperren, Sperren in Serie und Großsperren führte zu einem besseren Verständnis, was die Vorteile in unterschiedlichsten Einsatzsituationen betrifft. Und diese haben Bauherren in den 10 Jahren, seit dem Geobrugg diese Lösung anbietet, zu schätzen gelernt. Flexible Ringnetzbarrieren verbreiteten sich weltweit als (kosten-) günstige Alternative zu konventionellen Lösungen. Zwischenzeitlich ist die Technik voll etabliert und erweitert bei Planern und Ingenieuren ihre Möglichkeiten bei der Planung zum Schutz von Murgängen.

Mehr Informationen unter www.geobrugg.com/murgang



Abb. 1: Testverbauung im Illgraben 2006, Rückhaltevolumen ca. 1000 m³



Abb. 2: Spezialbauwerk Hüpach (Schweiz) mit 40 m Spannweite und 10 m Netzhöhe



Abb. 3: Gefülltes Schutznetz



Abb. 4: Mehrstufige Murgangbarriere im Hasliberg (Schweiz)

Bürgergruppen im Naturgefahrenmanagement – ein digitales Handbuch zur Verteilung von Rollen und Aufgaben

Bürgergruppen als selbstorganisierte lokale Zusammenschlüsse engagierter Bürgerinnen und Bürger sind seit einiger Zeit verstärkt in unterschiedlichsten Bereichen unserer Gesellschaft und des alltäglichen Lebens aktiv. Bürgergruppen bieten oft Anstoß, Inspiration und Unterstützung für die öffentliche Hand. Insbesondere im Naturgefahrenmanagement beobachten wir eine Fülle von Bürgergruppen die eine aktive, positive und kooperative Rolle einnehmen und gemeinsam mit Verwaltung und Politik innovative Lösungen erarbeiten. Positive Beispiele findet man da nicht nur außerhalb von Österreich, sondern auch z.B. in Galtür, Lienz oder Ypps an der Donau. Das Aufgabenspektrum der Bürgergruppen reicht über alle Phasen des Risikomanagement-Kreislaufs: von der Beteiligung bei der Festlegung von Risikozonen, zu Begehung und Freiräumen von kleinen Gewässern, über die Erstellung und Übung von Notfallplänen mit mobilisierbarem Personen und Material, hin zur Verpflegung von Einsatzkräften im Ereignisfall bis zu Unterstützung beim Wiederaufbau. Bürgergruppen formieren sich eher in Regionen, in den ein starker sozialer Zusammenhalt auf ein wahrgenommenes institutionelles Versagen trifft. Neben ihrem gesellschaftlichen Beitrag besteht aber auch die Gefahr, dass Bürgergruppen eine parallele Struktur zu einer gleichberechtigten Entscheidungsfindung schaffen. Einzelne lautstarke Bevölkerungssegmente oder eloguente Führungspersonen können ihre Partikularinteressen durchsetzen, die nicht unbedingt im Einklang mit der "stillen Mehrheit" der restlichen Bevölkerung stehen.

Forschende des Instituts für Alpine Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur, Joanneum Research sowie des Institut für Geographie an der Universität Innsbruck haben im Forschungsprojekt BottomUp:Floods (Bottom-up citizen engagement to enhance private flood preparedness – Lessons learnt and potentials for Austria) finanziert vom Österreichischen Klima- und Energiefonds erarbeitet, wie man Bürger und Bürgerinnen aktiv im Naturgefahrenmanagement einbinden könnte. Ein digitales und interaktives Handbuch zeigt auf, welche Rollen Bürgergruppen im Naturgefahrenmanagement entlang des Risikomanagement-Kreislaufs (Vorsorge, Schutz, Bewusstsein, Vorbereitung, Ereignis und Nachsorge) übernehmen können, welche Beziehungen dadurch entstehen und wie sich diese im Laufe der Zusammenarbeit verändern können, welche Konflikte damit verbunden sein können und wie diese durch bewusste Kommunikation abgefangen werden können. Das Handbuch ist frei unter http://www. initiativen-hochwasserschutz.at/buf/ verfügbar; auf der Projekt-Webseite wird auch auf alle wissenschaftlichen Publikationen verwiesen.

Das Handbuch stellt die verschiedenen Aufgaben, Rollen und Verantwortung der zentralen Akteure im Naturgefahrenmanagement gegenüber: einzelne betroffene Bürgerinnen und Bürger, Bürgergruppen, Behörden und Expertinnen und Experten. Je Aufgabenbereich wird zwischen Ist- und Soll-Zustand unterschieden, welche Akteure wie zu Entscheidungs- und Umsetzungsprozessen beitragen können. Ein wichtiger Punkt dabei ist, welche Aufgaben aktiv und verbindlich an Bürgerinnen, Bürger und Bürgergruppen übergeben werden können. Ziel des Handbuchs ist, einen Nachdenkprozess über die eigenen persönlichen Erwartungen und Erfahrungen anzustoßen. Das digitale Handbuch bietet dabei eine strukturierte Unterstützung, um Rollen, Aufgaben und Verantwortung auszuhandeln – als Reflektion über den eigenen Zugang oder Moderations-Tool in einem interaktiven Workshop.



Abb. 1: Phasen des Hochwasser Risikomanagements – Beispiel Phase 1 Risikoanalyse http://www.initiativen-hochwasserschutz.at/buf/

Phone 1: Ristkoanelyce

Jereningen plant im Frenheimen um Beidensen
 Freihendum Artike Steinerten Versteinen
 Lapareneite Aussieherte Tampierti
 Mante Ursteinertig im Tame Stein[®]



ALTER Project Scientify, Preside

Anschrift der VerfasserInnen:

Stefan Ortner Universität für Innsbruck Institut für Geographie

Thomas Thaler Sebastian Seebauer Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren

Claudia Winkler Joanneum Research – LIFE – Zentrum für Klima, Energie und Gesellschaft

Firma	Inserat Seite
MEVA Schalungs-Systeme GmbH/ Alzner Baumaschinen GmbH	6
alpinfra, consulting + engineering gmbh	59
Aartesys AG	10
Geobrugg AG	31
Geolith Consult	231
Gunz ZT GmbH	231
GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH	37
Halbeisen und Prast	65
Heli Austria GmbH	4
HELIX Fluggesellschaft mbH	129
Henzinger Geotechnik	73
Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U	8
Inauen-Schätti AG	81
i.n.n.	161

Firma	Inserat Seite
Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH	181
J. Krismer HandelsgmbH	257
Mair Wilfried GmbH	189
MND Austria GmbH	173
Moser-Jaritz & Partner Ziviltechniker GmbH	231
PERZPLAN Ingenieurbüro	180
Gebrüder Rüf Bau und Transport GmbH & Co KG	13
Gerhard Rusch Erdbau	245
Skolaut NATURRAUM	257
Konrad Stadelmann Bau GmbH & Co KG	65
DI Werner Tiwald ZT-GmbH	214
Trumer Schutzbauten GmbH	U4
UNIDATA GEODESIGN GMBH	103
Wyssen Austria GmbH	215





Naturgefahrenschutz

Sicherheit ohne Kompromisse



Trumer Schutzbauten GmbH • Weissenbach 106 • 5431 Kuchl • Austria Tel.: +43 6244 20325 • Fax: +43 6244 20325-11 • www.trumer.cc