

Wildbach- und Lawinenverbau



Steinschlag

ISBN: 978-3-9504924-1-5
85. Jahrgang
Juni 2021
Heft Nr. 187

Impressum:

Herausgeber:

Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung
Österreichs, A-6900 Bregenz

Schriftleitung:

Dipl.-Geogr. Susanne Mehlhorn
Wildbach- und Lawinerverbauung,
Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland
Marxergasse 2, 1030 Wien; +43 1 5339147 637057
schriftleitung@wlv-austria.at

Dipl.-Ing. Christian Pürstinger (Technischer Referent)
Wildbach und Lawinerverbauung,
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl; +43 6132 232 32-21
christian.puerstinger@wlv-austria.at

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

Druck & Versand: Gugler GmbH, A-3390 Melk/Donau

Titelbild: Steinschlagschutznetz Gerichtstgraben/Dirndlleiten,

Gemeinde Schönbühel-Aggsbach [Foto: WLW, GBL NÖ West]

Wildbach- und
Lawinerverbau

ISBN: 978-3-9504924-1-5
85. Jahrgang, Juni 2021, Heft Nr. 187

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



AS332 Super Puma



Bell 412



Bell 212HP



Ecureuil H 125/AS350B3e



SUPER PUMA

TRAGKRAFT
4,2 TONNEN



Heli Austria GmbH

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



Heli Tirol GmbH

A-6462 Karres, Tiroler Bundesstraße 1
Tel. +43 (0)5412-61421 • fly@heli-tirol.at

Inhalt Heft 187

Editorial

Seite 12

In
Erinnerung

Die Mitarbeiter*innen des Institutes für Naturgefahren am BFW:
**Dr. Karl Kleemayr – Nachruf auf einen Enthusiasten der
Naturgefahrenforschung**

Seite 16

Michael Moelk, Thomas Sausgruber, Benedikt Rieder:
**Felssturz Vals 2017: Eine Beinahe-Katastrophe und der Umgang
mit den Gefährdungspotentialen danach**

Seite 20

Daniela Engl, Thomas Sausgruber, Michael Mölk, Michael Posch:
Risikoanalyse als Planungsinstrument für nachhaltige Schutzmaßnahmen

Seite 36

Benedikt Rieder, Michael Mölk, Hubert Agerer, Armin Klausner:
**Felssturzgefährdung Weißwald: vom Erkennen der Gefahr über die
Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes zur Maßnahmenplanung**

Seite 50

Tobias Schöffl, Richard Koschuch,
Philipp Jocham, Hubert Agerer, Johannes Hübl:
Automatisierte Alarmierung vor Stein- und Blockschlag auf der Bodenalpe

Seite 66

Harald Wehrmann:
**Flächenwirtschaftliches Projekt Kapuzinerberg –
Steinschlagschutz in der Stadt Salzburg**

Seite 76

Maximilian Rossmann:
**Die Schutzwirkung des Bannwaldes Hallstatt
gegen gravitative Naturgefahren**

Seite 92

Christoph Hofmann, Michael Schiffer, Peter Hartl:
Felssturz Schoberstein

Seite 100

Hauptbeiträge



Universell einsetzbar.

StarTec, die Mehrbereichsschalung

Sicher schalen. Sicher bauen.

Mit Teamwork sorgen wir am Taferngraben in Ramingstein gemeinsam für eine sichere Zukunft: MEVA Schalungs-Systeme. Alzner Baumaschinen. Und die Wildbach- und Lawinenverbau, GBL Lungau.

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



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 187

Stefan Janu, Hermann Michael Konrad,
Alexander Radinger, Benedikt Rieder, Andreas Schober:
Schutzprojekt Felssturz Pürgger-Wand

Seite 110

Christian Amberger:
**Steinschlagschutz im Osten Österreichs –
Rahmenbedingungen – Beispiele – Perspektive**

Seite 120

Thomas Frandl, Andreas Reiterer:
**Die Ausweisung des Braunen Hinweisbereiches
„Steinschlag“ in der Gefahrenzonenplanung**

Seite 128

Wolfgang Schilcher, Kerstin Ganaus:
**Erfahrungen mit zwei Steinschlagschutznetztypen
zugelassen nach ETAG 027**

Seite 134

Matthias J. Rebhan, Ulrich König, Arnold Kogelnig, Markus Schuch:
**Entwicklungen bei der Prüfung und Beurteilung von
Mikropfählen für Schutzbauten**

Seite 142

Johann Steiner, Helmut Schwarzl:
Entwicklung mobiles Steinschlagschutzsystem

Seite 156

Thomas Tartarotti:
10 Jahre Erfahrung mit dem Aluträger Ankerzuggerät

Seite 166

Gernot Wendl, Hanspeter Pussnig:
EBBOSburst – steinbrechende Kartuschen

Seite 176

Michael Schiffer, Wolfram Bitterlich, Christoph Hofmann:
**Flächenwirtschaftliche Projekte: Allgemeine Grundlagen
und Rahmenbedingungen sowie praktische Anwendung und
Umsetzung am Fallbeispiel FWP Traunkirchen 2019**

Seite 182



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

Unsere höchst motivierten und bestens ausgebildeten Mitarbeiter, unterstützt durch den modernen und technisch auf neuem Stand aufgestellten Fuhrpark, bieten Leistungen für Kunden im 3-Länder-Eck 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



Inhalt Heft 187

Hauptbeiträge

Lorenz Moser, Martin von Känel:
AartLink Alarm- und Überwachungsanlage an Steinschlagschutznetzen einer Schmalspurbahn im Schweizer Jura

Seite 192

Robert Hofmann, Lukas Wimmer:
Stand der Technik – Bemessung der Fundierung von Steinschlagschutznetzen bei stoßartiger Belastung

Seite 204

Markus Haidn, Sebastian Averdunk, Sven Fuchs, Susanne Thiard-Laforet:
Naturgefahrenschutz in der Entwicklungszusammenarbeit am Fallbeispiel Nepal und Georgien

Seite 214

Markus Moser:
Hangmuren – Herausforderung in der Praxis; Fallbeispiel Muhrer Sonnseite nach dem Ereignis im November 2019

Seite 226

Karl Hagen, Veronika Lechner:
Entwicklung eines Frühwarnsystems für Muren (INADEF)

Seite 236

Eberhard Gröner:
Der effiziente Schutz vor Hangmuren

Seite 244

Johannes Hübl, Johannes Hödl, Markus Beck, Friedrich Zott:
Planung, Modellversuch und Optimierung eines Wildholzrechens an der Naarn (Stadtgemeinde Perg, Oberösterreich)

Seite 248

Nicole Kamp, Franz Langegger:
Entwicklung von QGIS-Werkzeugen für tägliche Arbeitsabläufe am Beispiel einer Reichweitenabschätzung mittels Pauschalgefälleansatz gem. ÖROK (2015)

Seite 260

Felix Oesterle, Anna Wirbel, Matthias Tonnel, Jan-Thomas Fischer:
AvaFrame, Aktueller Stand und Ausblick

Seite 266

Hauptbeiträge zu anderen Themen

Aktuelles aus
Wissenschaft und Praxis



www.geobrugg.com/hangmuren

Kostenloses Bemessungstool
www.mygeobrugg.com



Flexible Barrieren aus hochfestem Stahldraht
HANGMUREN EFFIZIENT AUFHALTEN

Inhalt Heft 187

Aktuelles aus Wissenschaft und Praxis

Andreas Huber, Bernhard Gems, Felix Oesterle, Matthias Granig:
3D-numerische Modellierung der An- und Umströmung von Seilbahnmasten durch Fließprozesse mit Flow-3D

Seite 270

Anna Heuberger, Ingrid Reiweger:
Stabilitätstests zur Bewertung von Lawinengefahr für Helikopterskiunternehmen

Seite 274

Marc Adams, Christian Demmler, Philipp Knab, David Hasko:
Drohngestützte Lawinensprengung und -kartierung

Seite 276

ÖWAV-Arbeitsbehelf 63:
Holz in und an Fließgewässern – Wildholzmanagement

Seite 282

Vorschau Heft 188

Seite 284

Inserentenverzeichnis

Seite 286

SCHRIFTLEITUNG**Editorial**

Liebe Leserin, lieber Leser,

die aktuelle Ausgabe der Fachzeitschrift Wildbach- und Lawinenverbau beschäftigt sich mit dem Thema Steinschlag. Gravitative Naturgefahren, insbesondere Steinschlag nehmen in den Alpen stetig zu und zählen auch in Österreich mit seiner geologischen Ausprägung mittlerweile zum „Tagesgeschäft“ in der Wildbach- und Lawinenverbauung. Viele Experten sehen in der Zunahme von Stein- und Blockschlagereignissen sowie von Fels- und Bergstürzen die Auswirkungen des Klimawandels durch gehäufte Wetterextreme und intensivere Frost-Tauwechselferioden.

Steinschläge und Felsstürze können jahreszeitenunabhängig zu jeder Tages- und Nachtzeit ohne Vorwarnung auftreten und schwere Schäden anrichten. Zahlreiche Ortschaften und Infrastruktureinrichtungen sind im Alpenraum dadurch gefährdet. Umso höherer Bedeutung kommt der Sicherung der gefährdeten Objekte gegenüber diesen stürzenden Prozessen zu.

In den in dieser Ausgabe gesammelten Beiträgen werden zahlreiche dieser Sturzereignisse vorgestellt. Neben der für die Planung von Schutzmaßnahmen sehr wichtigen Ereignisdokumentation und der geologischen Grundlagenerhebung werden hier innovative Überlegungen zu Schutzstrategien sowie die klassische Planung und Umsetzung von Steinschlagschutzbauwerken beschrieben. Ein Exkurs führt auch zur Risikoanalyse als Planungsinstrument für nachhaltige Schutzmaßnahmen.

Der Erhalt von Steinschlagschutzsystemen, die Prüfung von Ankern und Mikropfählen sowie das Thema „Steinschlagmonitoring“ werden ausführlich diskutiert, wie auch die Erfahrungen mit unterschiedlichen Steinschlagschutzsystemen. Der Ausweisung des Braunen Hinweisbereiches „Steinschlag“ in der Gefahrenzonenplanung ist ebenso ein Beitrag gewidmet wie der Entwicklung eines mobilen Schutzsystems sowie dem Einsatz alternativer Sprengstoffe. Einige Autoren beschäftigen sich auch mit der schutzfunktionalen Wirkung der Wälder gegen Steinschlag sowie der Planung und Umsetzung flächenwirtschaftlicher Projekte.

Bei dem Blick über die Grenzen Österreichs hinaus geht es dieses Mal nach Nepal und Georgien.

Neben dem Thema Steinschlag findet sich in dem aktuellen Fachjournal auch Wissenswertes über Hangmuren, Bautypen zur Wildholzbewirtschaftung und interessante Entwicklungen aus Wissenschaft und Praxis.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Autorinnen und Autoren für die sehr interessanten Fachbeiträge bedanken.

Auch möchte ich meiner Schriftleiterin Susanne Mehlhorn, welche leider sehr schwer erkrankt ist, alles Gute und baldige Besserung wünschen.

Ich wünsche Ihnen nun viel Freude beim Lesen. Wenn Sie Anregungen für uns haben, welche Themen besonders interessant wären, oder wie man ein Fachjournal noch besser gestalten könnte, so würde es mich freuen von Ihnen zu hören.

Dipl.-Ing. Christian Pürstinger
Technischer Referent / Schriftleitung

In Erinnerung

Die Mitarbeiter*innen des Institutes für Naturgefahren am BFW:
Dr. Karl Kleemayr –
Nachruf auf einen Enthusiasten der Naturgefahrenforschung

Seite 14

DIE MITARBEITER*INNEN DES INSTITUTES FÜR NATURGEFAHREN AM BFW

Dr. Karl Kleemayr – Nachruf auf einen Enthusiasten der Naturgefahrenforschung

Dr. Karl Kleemayr – Obituary of a Natural Hazards Research Enthusiast

Die Mitarbeiter*innen des BFW, besonders des Instituts für Naturgefahren, trauern über den Verlust ihres Freundes, Kollegen und Institutsleiters, Dr. Karl Kleemayr, der am 26. Februar 2021 viel zu früh verstorben ist. Seine enthusiastische Art und sein Ideenreichtum, mit dem er das Institut geprägt und geleitet hat, werden unvergessen bleiben.

Nach Absolvierung des Studiengangs Wildbach- und Lawinerverbauung an der Universität für Bodenkultur (BOKU) im Jahr 1989 mit der Diplomarbeit "Erstellung von Grundlagen für ein Schutzwaldsanierungsprojekt am Bodenbergl (Sbg.)" war Karl zwei Jahre bei der Wildbach- und Lawinerverbauung (WLVB), Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland, beschäftigt. Schon 1992 zog es ihn wieder in die Wissenschaft, an das Institut für Alpine Naturgefahren der BOKU, wo er 1996 mit der Arbeit „Schneemechanische Untersuchungen in den Randalpen Niederösterreichs“ zu mechanischen Wechselwirkungen zwischen der Schneedecke und dem Wald dissertierte. Seine Arbeiten beinhalteten Finite-Elemente Berechnungen und führten ihn in seiner weiteren Zeit an der BOKU zu Überlegungen für ein neues praktikables Lawinensimulationsmodell.



Seit 2004 führte und formte Karl als Leiter die Geschicke des Instituts für Naturgefahren am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) mit großem Einsatz und viel Engagement. Er brachte einen neuen Stil an das Institut. Mit seinem Enthusiasmus und seinem Ideenreichtum versuchte er von Beginn an die Mitarbeiter*innen mitzureißen und zu motivieren. Er sprühte vor Ideen, schrieb eine Vielzahl von Projektanträgen und war auf Jahr und Tag immer wieder bei den verschiedenen Stellen der Länder und des Bundes und insbesondere der WLVB unterwegs, um den Kontakt zu intensivieren, fachliche Bedürfnisse auszuloten und mit den Kolleg*innen neue Projekte auf den Weg zu bringen. Sein Ideenreichtum wird unvergessen bleiben und mündete über die Jahre in einer Vielzahl von Forschungsprojekten. So hatte „Charly“ bereits früh das Potenzial von terrestrischen Laserscannern und UAVs (Unmanned Aerial Vehicles – „Drohnen“) erkannt und entsprechende Entwicklungen am Institut eingeleitet. Die diversen UAV-Flüge nach Großereignissen brachten für alle Beteiligten neue Ergebnisse, so waren z.B. die erodierten Massen bei Murenereignissen bisher beträchtlich unterschätzt worden. Auch wiederholte Befliegungen nach einem großflächigen Waldbrand brachten neue Erkenntnisse zur Vegetationsentwicklung auf Brandflächen.

Mit der erfolgreichen Organisation des International Snow Science Workshops (ISSW) 2018 in Innsbruck hat Karl einen Meilenstein für die Schnee- und Lawinenforschung gesetzt.

Den Erfolg seines letzten großen „Strei-

ches“, des Interreg-Alpine Space Projektes Green-Risk4ALPs, in dem Forscher und Praktiker aus 12 verschiedenen Institutionen aus allen Alpenländern, inklusive der WLVB, zusammenarbeiten, um eine risikobasierte Schutzwaldbewirtschaftung im Rahmen eines integralen Naturgefahren-Risikomanagements zu unterstützen und im Alpenraum zu harmonisieren, als dessen wichtigste Ergebnisse neue Simulationswerkzeuge, Risikobewertungstools, sowie Bücher über die Bedeutung und Bewertung von Schutzwald als Risikoreduktionsmaßnahme entstehen, konnte er leider nicht mehr erleben.

Seine Spontanität und Offenheit ließen ihn Freundschaften und Beziehungen in der ganzen Welt knüpfen und pflegen, seine Begeisterungsfähigkeit war ansteckend. Eine große Stärke von Karl war seine stete Bereitschaft zur Versöhnung. Auch wenn Karl mit seinen großen Ideen - mitunter - gegen den Strom schwamm und Widerstand verspürte, konnte er viele überzeugen oder auch die Meinung anderer gelten lassen.

Neben seiner Funktion als Institutsleiter und seiner wissenschaftlichen Arbeit ließ Charly als begnadeter Jazz-Musiker leidenschaftlich gerne sein Saxophon erklingen. Er spielte mit nationalen Jazz-Größen und war gefragter Gast in renommierten Orchestern.

Wir werden ihn als unbeugsamen Optimisten, der auch in schwierigen Situationen immer positive und aufmunternde Worte fand, in Erinnerung halten. Unsere aufrichtige Anteilnahme gilt seiner Familie.

Hauptbeiträge Steinschlag

Michael Moelk, Thomas Sausgruber, Benedikt Rieder:
Felssturz Vals 2017: Eine Beinahe-Katastrophe und der Umgang mit den Gefährdungspotentialen danach Seite 20

Daniela Engl, Thomas Sausgruber, Michael Mölk, Michael Posch:
Risikoanalyse als Planungsinstrument für nachhaltige Schutzmaßnahmen Seite 36

Benedikt Rieder, Michael Mölk, Hubert Agerer, Armin Klausner:
Felssturzgefährdung Weißwald: vom Erkennen der Gefahr über die Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes zur Maßnahmenplanung Seite 50

Tobias Schöffl, Richard Koschuch, Philipp Jocham, Hubert Agerer, Johannes Hübl:
Automatisierte Alarmierung vor Stein- und Blockschlag auf der Bodenalpe Seite 66

Harald Wehrmann:
Flächenwirtschaftliches Projekt Kapuzinerberg – Steinschlagschutz in der Stadt Salzburg Seite 76

Maximilian Rossmann:
Die Schutzwirkung des Bannwaldes Hallstatt gegen gravitative Naturgefahren Seite 92

Christoph Hofmann, Michael Schiffer, Peter Hartl:
Felssturz Schoberstein Seite 100

Stefan Janu, Hermann Michael Konrad, Alexander Radinger, Benedikt Rieder, Andreas Schober:
Schutzprojekt Felssturz Pürgger-Wand Seite 110

Christian Amberger:
Steinschlagschutz im Osten Österreichs – Rahmenbedingungen – Beispiele – Perspektive Seite 120

Thomas Frandl, Andreas Reiterer:
Die Ausweisung des Braunen Hinweisbereiches „Steinschlag“ in der Gefahrenzonenplanung Seite 128

Wolfgang Schilcher, Kerstin Ganaus:
Erfahrungen mit zwei Steinschlagschutznetztypen zugelassen nach ETAG 027 Seite 134

Matthias J. Rebhan, Ulrich König, Arnold Kogelnig, Markus Schuch:
Entwicklungen bei der Prüfung und Beurteilung von Mikropfählen für Schutzbauten Seite 142

Johann Steiner, Helmut Schwarzl:
Entwicklung mobiles Steinschlagschutzsystem Seite 156

Thomas Tartarotti:
10 Jahre Erfahrung mit dem Aluträger Ankerzugerät Seite 166

Gernot Wendl, Hanspeter Pussnig:
EBBOSburst – steinbrechende Kartuschen Seite 176

Michael Schiffer, Wolfram Bitterlich, Christoph Hofmann:
Flächenwirtschaftliche Projekte: Allgemeine Grundlagen und Rahmenbedingungen sowie praktische Anwendung und Umsetzung am Fallbeispiel FWP Traunkirchen 2019 Seite 182

Lorenz Moser, Martin von Kanel:
Aartelink Alarm- und Überwachungsanlage an Steinschlagschutznetzen einer Schmalspurbahn im Schweizer Jura Seite 192

Robert Hofmann, Lukas Wimmer:
Stand der Technik – Bemessung der Fundierung von Steinschlagschutznetzen bei stoßartiger Belastung Seite 204

Markus Haidn, Sebastian Averdunk, Sven Fuchs, Susanne Thiard-Laforet:
Naturgefahrenschutz in der Entwicklungszusammenarbeit am Fallbeispiel Nepal und Georgien Seite 214

MICHAEL MOELK, THOMAS SAUSGRUBER, BENEDIKT RIEDER

Felssturz Vals 2017: Eine Beinahe-Katastrophe und der Umgang mit den Gefährdungspotentialen danach

Rock-slide-avalanche Vals 2017: a near-catastrophe – and the handling of the hazard potential afterwards

Zusammenfassung:

Nach dem Felssturz in Vals am 24.12.2017 galt es neben der Wiederherstellung einer sicheren Talstraße eine langfristig akzeptable Lösung für den Dauersiedlungsraum zu schaffen. Die Kombination aus Monitoring, Prozessanalyse und -prognose, Sicherheitskonzepten und Maßnahmenplanung und -umsetzung schuf die Grundlagen für eine tragfähige Lösung in der Bevölkerung.

Abstract:

After the rock-slide avalanche that took place on Christmas Eve 2017, the objective for the authorities and experts was to develop a sustainable and acceptable solution for the threatened village. A combination of monitoring, process-analysis and -prognosis, safety concept and design and implementation of mitigation measures offered the basis for such a solution to be acceptable for the inhabitants.

Stichwörter:

Felssturz, Steinschlag, Monitoring, Schutzdamm, Modellierung

Keywords:

Rock-slide avalanche, rock-fall, monitoring, embankment, simulation

Einleitung

Am Weihnachtsabend des 24.12.2017 ereignete sich abends an der orographisch rechten Talflanke des Valser Tales in Tirol, Österreich ein Felssturz. Im Zuge des Ereignisses kam es zum Absturz von ca. 120.000 m³.

Dabei wurde die Talstraße bis zu acht Meter hoch verschüttet. Ein wenige Minuten zuvor den betroffenen Straßenabschnitt querendes Fahrzeug hatte mehrere Kinder an Bord. Der Sturzprozess zerstörte im Randbereich ein Steinschlagschutznetz und reichte mit seinen distalen Ausläufern bis auf wenige Meter an bestehende Gebäude heran (siehe Abbildung 1).

In weiterer Folge wurden eine provisorische Ersatzstraße an der anderen Talseite errichtet und Wohngebäude evakuiert. Erhebungen im Abbruchgebiet zeigten zahlreiche, z. T. große und tiefe Rissbildungen orographisch rechts anschließend an die Abbruchnische sowie etliche, historische, teilweise offensichtlich inaktive Risse.

Ein Monitoring-System mit automatischer terrestrischer Vermessung von Spiegelprismen am Versagenshang vom Gegenhang aus und automatische Rissmesssysteme mit Datenfernübertragung wurden installiert. Ergänzend wurden mehrere Messkampagnen mit einem terrestrischen Laserscanner durchgeführt, um flächige Verformungsdaten in den ansonsten unzugänglichen Felswänden zu generieren. Die daraus gewonnenen

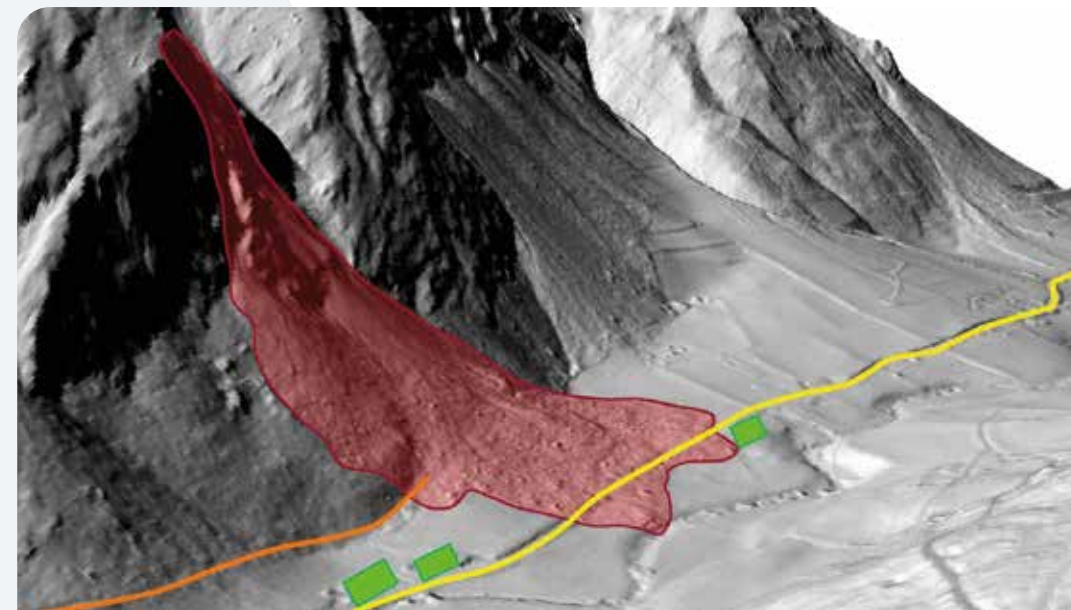


Abbildung 1: Felssturzereignis vom 24.12.2017 (Ausbruchsnische: gelb, Sturzbahn und Ablagerung: rot). Überschüttete Talstraße (gelb), Wohngebäude (grün) und bestehende Schutznetze (orange)

Figure 1: Detachment area (yellow), transit and deposition zones (red) of the rock-slide avalanche event on December 24th 2017, rock debris-covered road (yellow), residential buildings (green) and pre-existent net-fences (orange)

Bewegungsdaten wurden einerseits für die Einrichtung eines Frühwarnsystems und andererseits für die Umsetzung von Schutzmaßnahmen für den Siedlungsraum verwendet.

Ein detailliertes Orthofoto-Höhenmodell wurde mittels Drohnenbefliegungen erstellt und die sich daraus ableitenden Trennflächen in ihrer Raumlage ausgewertet (siehe Abbildung 7). Diese Trennflächenlagen in Kombination mit den Rissbildern bildeten die Grundlage für die Beschreibung von verschiedenen Versagensszenarien mit den damit jeweils einhergehenden potentiellen Absturzkubaturen.

Im Rahmen von Szenarienbetrachtungen wurden für verschiedene geometrisch abgeleitete Versagenskörper mit Kubaturen von einigen 10.000 bis zu einigen 100.000 m³ mittels DAN3D Modellierungen in Hinblick auf Reichweiten und Ablagerungshöhen durchgeführt (Abbildung 14; Preh 2019).

Um verbesserte Grundlagen für die Festlegung von Grenzwerten für Verschiebungen im Vorfeld von Nachfolge-Ereignissen bereitzustellen, wurden ingenieurgeologische und felsmechanische Parameter erhoben, die in eine Modellierung von zukünftigen Versagen aus der Felswand einfließen.

Die verwirklichten Schutzmaßnahmen, deren Umsetzung durch ein operatives Mess-

und Warnsystem ermöglicht wurde (Arbeiten im Gefährdungsbereich), umfassen fast ausschließlich massive Schutzdämme, die nicht nur in der Lage sind, Einzelblöcke sondern im Bedarfsfall auch größere Absturzkubaturen aufzunehmen.

Auch nach der Umsetzung von Schutzmaßnahmen im Auslaufbereich allfälliger Sturzprozesse kann vorerst auf eine Fortführung des Monitoring- und Warnsystems nicht verzichtet werden, da die bestehenden Maßnahmen lediglich für kleinere Felsstürze ausgelegt werden konnten. Allfällige größere Prozesse müssen weiterhin frühzeitig vorhergesehen und deren potentielle Schadwirkung durch organisatorische Maßnahmen kontrolliert werden.

Ereignischronik

Im Rahmen des Schutzprojektes Vals/Tumeler wurde 2008 ein Steinschlagschutznetz mit einer Länge von 370 m bergseits von bestehenden Wohngebäuden errichtet. 2010 kam es zu einem Steinschlagereignis, bei dem sich mehrere Sturzblöcke mit Kubaturen von bis zu ca. 1 m³ ablösten. Einer dieser Blöcke beaufschlagte das bestehende Steinschlagschutznetz (2.000 k), 4 m hoch), er wurde jedoch schadlos aufgehalten (vgl. Abbildung 2). Das Schutznetz wurde daraufhin wieder instandgesetzt.



Abbildung 2:
Steinschlagereignis
„Tumeler“ 2010

Figure 2:
Rock-fall event at
location „Tumeler“
in 2010

Am 24. Dezember 2017 um 18:17 Uhr ereignete sich der Felssturz. Die Landesstraße L230 im Bereich der Abzweigung nach Padaun wurde von der Sturzmasse mit einer Gesamtkubatur von ca. 120.000 m³ (aufgelockerte Sturzmasse – vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2) ca. 5–8 m mächtig überschüttet. Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, erreichte der Sturzstrom den Valserbach. Gebäude wurden von dem Ereignis nicht direkt betroffen. Die bestehenden Steinschlagschutz-

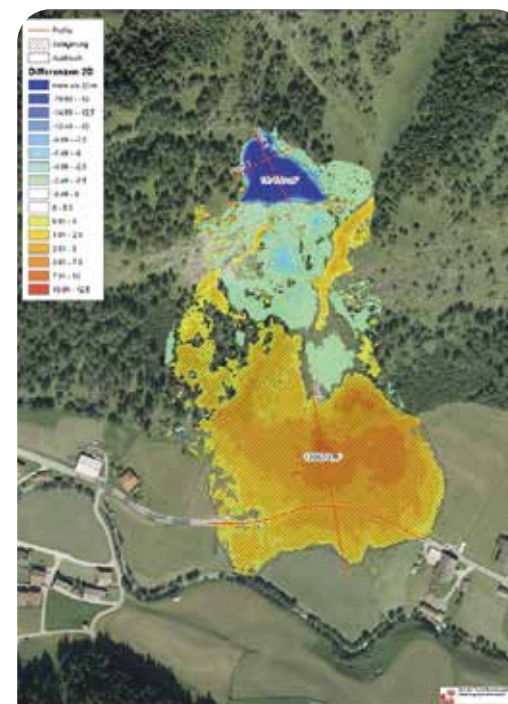


Abbildung 3: Differenzenmodell des Ablagerungs- (gelb/orange) und Abbruchbereiches (blau) aus: Fritzman 2019

Figure 3: Differences of digital elevation models (DEM) before and after the rock-slide avalanche.
Deposition: yellow/orange, detachment: blue

netze am orographisch rechten Rand der Sturzmasse bergseits von zwei alten Bauernhäusern wurden durch einzelne Großblöcke mit einer Kubatur von bis zu ca. 10 m³ teilweise zerstört (vgl. Abbildung 5)

Unmittelbar nach dem Ereignis wurden die beiden alten Bauernhäuser bergseits der Straße sowie mehrere Wohnhäuser talseits der Straße evakuiert sowie die Straße selbst gesperrt. Aufgrund der Straßensperre waren ca. 80 Personen in Innervals eingeschlossen. Eine Ersatzstraße wurde nach einigen Tagen am südlichen Talboden am gegenüberliegenden Hangfuß errichtet.

Geologischer und struktureologischer Rahmen

Das von dem Felssturz betroffene Gebiet wird von den Bündner Schiefern der Matrie Zone aufgebaut. Lithologisch besteht die Bündner Schiefer Abfolge hauptsächlich aus Phylliten, Graphitphylliten, und Kalkglimmerschiefer, untergeordnet auch aus Quarziten und Marmoren (Töchterle, 2011).

Die anstehenden Gesteine sind stark verfaltet, geklüftet und oberflächlich verwittert. Die Hauptschieferung fällt überwiegend flach mit ca. 20 Grad nach Nordwesten ein (vgl. Abbildung 4). Das Ereignis vom Dezember 2017 stellt sich hinsichtlich des Versagensmechanismus als ein Keilversagen dar. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass steile N-S bis NW-SE streichende Trennflächen zusammen mit steilen E-W bis NE-SW streichenden Trennflächen potentielle Felskeile begrenzen. Der Prozessbereich vom Dezember 2017 beschränkt sich auf die untersten ca. 300 Hm des von ca. 1.300 m bis auf ca. 2.000 m SH reichenden Einhangs.

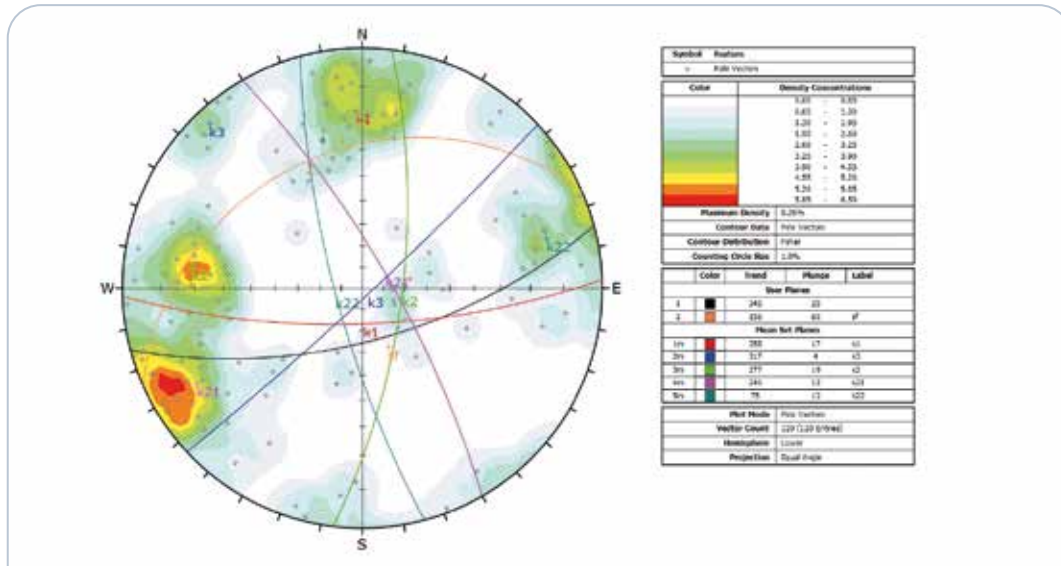


Abbildung 4: Polpunkt-Dichtediagramm der erhobenen Trennflächen; Haupttrichtungen als Großkreise dargestellt (untere Lagenkugeldarstellung, winkeltreue Projektion)

Figure 4: Stereographic representation (lower hemisphere) of measured discontinuities in a pole-density-plot with outlined great circles of major joint sets

Prozessbeschreibung des Ereignisses

Die Initialbewegung des Felsmassensturzes war durch ein Versagen entlang von zwei Trennflächenscharen, k1 und k2 (Abbildung 4), charakterisiert. Der weitere Prozess lief aufgrund der im Talboden vorhandenen Schneeauflage dann sturzstromartig ab (vgl. auch Abbildung 1). Die Abbruchkubatur von ca. 120.000 m³ (nicht aufgelockerter Fels) wurde von der Abt. Geoinformation des ATLR mittels terrestrischem Laserscan durch ein Differenzmodell zweier digitaler Höhenmodelle vor und nach dem Ereignis ermittelt (vgl. Abbildung 3). Der Felsabbruch weist einer Höhererstreckung von ca. 240 m und eine durchschnittliche Breite von ca. 50 m auf. Unterhalb des steilen, durch die beiden Keilflächen begrenzten Wandabschnittes verbreiterte sich die Sturzbahn deutlich und bildete einen Kegel mit einer maximalen Breite von 300 m. Die im distalen Bereich des Schuttkegels

situierte Landesstraße L230 wurde auf einer Breite von ca. 100 m bis zu 8 m mächtig überschüttet.

Ein am orographisch rechten Rand des Sturzprozesses befindliches Steinschlagschutznetz mit einer Energieaufnahmekapazität von 2.000 kJ wurde durch einige distale Blöcke, die über die Stirn der geschlossenen Sturzablagerung vorstießen, auf einer Breite von ca. 30 m zerstört. Die Großblöcke in diesem Bereich wurden unmittelbar unterhalb des Netzes abgelagert. Der orographisch linke Teil des Ablagerungskegels drang bis unmittelbar an ein Wirtschaftsgebäude einer Hofstelle vor, beschädigte das Gebäude selbst jedoch nicht. Im zentralen Bereich des Ablagerungskegels befand sich bis auf die Landesstraße keine Infrastruktur. Dieser Umstand ist dem Gefahrenzonenplan zu verdanken, der für diesen Talbereich eine rote Lawinenzone (Ultenlawine) ausweist und damit mit einem Bauverbot gemäß Tiroler Raumordnungsgesetz belegt ist.



Abbildung 5: Zerstörte Randfelder des bestehenden Steinschlagschutznetzes im orographisch rechten Stirnbereich der Sturzmaterie

Figure 5: Destruction of existing net fence at the front of the slide due to overload during the rock-slide

Geomorphologische Auffälligkeiten

Zahlreiche Hangleisten strukturieren den Einhang (Abbildung 6). In diesen flacheren, historisch als Mähwiesen genutzten Bereichen fallen im Gelände Lineamente auf, die sowohl wandparallel als auch mit bis zu 45° schräg zu den Wandflächen streichen. Diese Lineamente zeigen vereinzelt Hinweise auf aktive Öffnung in Form von offenstehenden Rissen mit einer geöffneten Boden- und Vegetationsbedeckung. Einige Meter

unterhalb der Oberkante der Abbruchnische befindet sich in der orographisch rechten Flanke ein i. W. höhenschichtenparallel verlaufender Zugriss, der eine Länge von ca. 20 m, eine Öffnungsweite von ca. 1,5 m und eine Tiefe von 5–6 m aufweist (vgl. Abbildung 8). Die beiden steilstehenden Wandflächen des Risses zeigen keine nennenswerten Verwitterungserscheinungen. Sie sind aufgrund der flach in den Hang einfallenden Schieferungsflächen der Kalkphyllite (Bündner Schiefer) relativ rau.

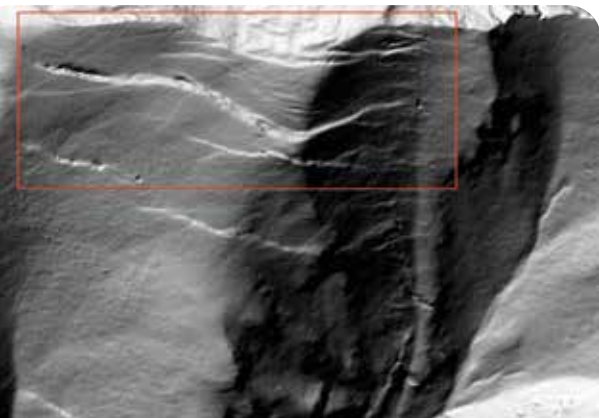


Abbildung 6: DHM des Einhangs bergseits der Ausbruchsnische: Hangleisten und Nackentäler

Figure 6: DEM of the slope uphill of the detachment area of the rock-slide: ledges and depressions



Unterhalb dieses Hauptrisses finden sich weitere offene Spalten mit frischen Bruchflächen und einer offenen Vegetationsdecke. Teilweise zeigen offensichtlich bereits historisch (spät- bis postglazial oder älter) angelegte, wandparallel verlaufende Risse mit mehreren 10er Metern Länge eine intakte Vegetations- und Bodenbedeckung ohne Hinweise auf aktuelle Bewegungen.

Monitoring und Analysen: Verbesserung des Prozessverständnisses und Warnsystem

Unmittelbar nach dem Ereignis wurde im Rahmen einer Kooperation der WLV und der Abteilung Geoinformation des Landes Tirol mit dem Aufbau eines Monitoring-Systems begonnen, da aufgrund der angeführten Beobachtungen Folgeereignisse als möglich einzustufen waren. Nach Festlegung von für künftige Versagensszenarien aussagekräftigen Messpunkten wurden, sobald der Einhang aufgrund der Schneelage begangen werden konnte, Prismenspiegel an Felswänden und Baumstümpfen von frisch gefällten Bäumen montiert. Eine Totalstation mit einem Autotheodolit wurde am Hangfuß des Gegenhangs

in einer maximalen Entfernung von ca. 700 m errichtet. Seit 31.01.2018 werden vom Gegenhang in einem einstündigen Messintervall die Prismenspiegel automatisch eingemessen. Bei der Totalstation befindet sich auch eine Webcam, die Bilder in Echtzeit überträgt.

Die fünf Rissmesssysteme (Stangenextensometer) wurden in offenen Rissen am 24.07.2018 mit Hubschrauberunterstützung installiert und in Betrieb genommen. Die Stangenextensometer sind mit batteriebetriebenen Funk-Fernübertragungseinheiten ausgestattet, die Batterielaufzeit beträgt ca. 1 Jahr.

Mit diesen beiden unterschiedlichen Messmethoden ist eine flächige Erfassung von Deformationen durch die trigonometrische Vermessung möglich. Bei allfälligen Sichtbehinderungen durch die Witterung (Niederschlag, Bewölkung und Nebel) liefern die Stangenextensometer kontinuierlich Messwerte im Stundenintervall.

Die Messdaten sind über ein von der Firma. Trigonos betreutes Webportal (Geomos Now) für Berechtigte jederzeit über einen beliebigen Webbrowser – also z. B. auch über Mobiltelefon – graphisch abrufbar (Abbildung 9).

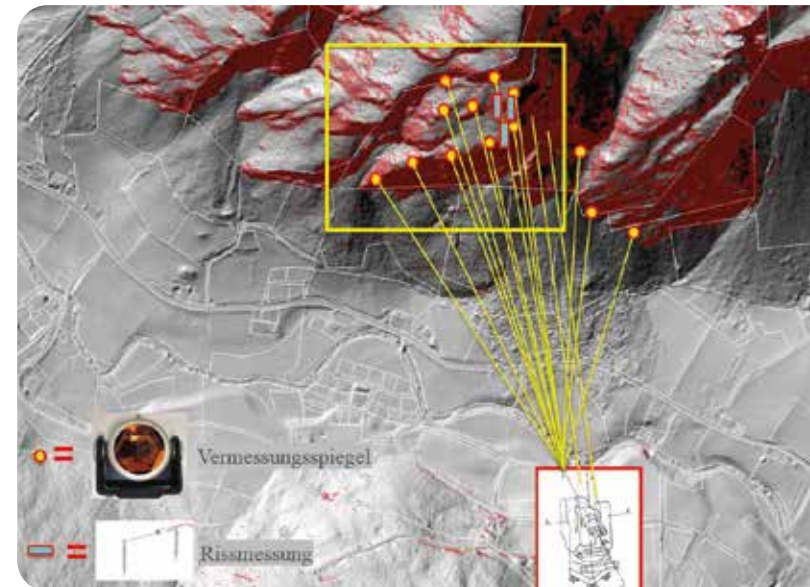


Abbildung 7: Überblick über das Monitoringsystem in Vals

Figure 7: Overview of the monitoring system in Vals



Abbildung 8: Links: Hauptzugriss westlich der Abbruchsnische 2017. Rechts: Rissmesser im Hauptriss

Figure 8: Left: main tension crack near detachment niche of 2017. right: extensometer in main crack

Die Messgenauigkeit der beiden unterschiedlichen Messverfahren (talüberspannende trigonometrische Einzelmessung von Prismenspiegeln an Baustümpfen/Felswänden bzw. Stangenextensometer) liegt bei den trigonometrischen Vermessungen bei +/- 4 mm (Lage) bzw. +/- 9 mm

(Höhe), dies entspricht der dreifachen Standardabweichung (3σ). Bei den Rissmesssystemen liegt die Messgenauigkeit zwischen +/- 0,05 mm und +/- 0,2 mm, dies entspricht ebenfalls 3σ (Trigonos 2021).

Ergebnisse und Erkenntnisse des Mess- und Warnsystems

Alle Rissmessensoren zeigen einen Jahresgang mit erhöhten Bewegungsraten während der Wintermonate (November bis März) im Ausmaß von ca. 2 mm/Monat und eine sehr geringe Bewegung von ca. 0,2 mm/Monat im restlichen Jahresverlauf. Die Gesamtverformung in der Messperiode von 08/2018-03/2021 beträgt in 32 Monaten 29 mm und damit im Mittel <1 mm/Monat.

Die trigonometrische Vermessung weist aufgrund der relativ großen Zielweiten von ca. 700 m und der damit verbundenen atmosphärischen Einflüsse etwas geringere Messgenauigkeiten auf. Über den Messzeitraum von 02/2018 bis 03/2021 ergeben sich jedoch für den Messpunkt mit der stärksten Lageverformung (Punkt 9B) Deformationen von insgesamt 26 mm in 38 Monaten und damit eine mittlere monatliche Lageverformung von ca. 0,7 mm. Daraus ergibt sich eine recht gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten der Extensometer und der trigonometrischen Vermessung.

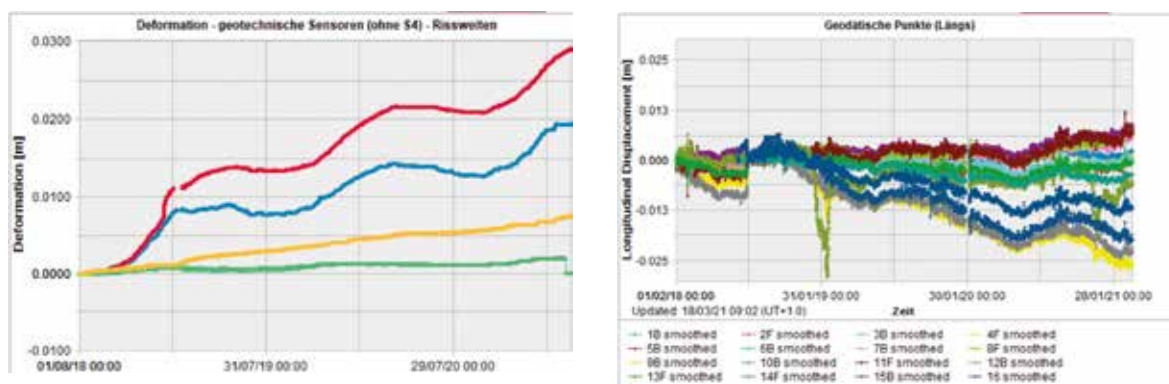


Abbildung 9: Links: Zeit/Weg-Diagramme der Rissmesssysteme von 08/2018 bis 03/2021. Rechts: Zeit/Weg-Diagramme (Längs) der Vermessungspunkte von Beginn der Messung 01/2018 bis 04/2020

Figure 9: Left: deformation of crack-meters, right: deformation of survey-points from August 2018 until March 2021

Im Jänner 2019 kam es nach intensiven Schneefällen im Bereich des Hauptrisses zu starken Schneeeinträgen. Die Schneeablagerungen führten zu Verformungen an den zu diesem Zeitpunkt nur durch einfache Holzabdeckungen geschützten Extensometerstangen. Diese Belastungen führten zu Fehlmessungen und zu mehrfachen Überschreitungen von Warnwerten. Die unmittelbar darunter liegenden Extensometer und die trigonometrischen Vermessungspunkte zeigten jedoch keine untypischen bzw. beschleunigten Verformungen. Da zu diesem Zeitpunkt eine Begehung des Bereiches aufgrund der Lawinengefahr (Lawinenwarnstufe 4) nicht möglich war, wurde eine Vorwarnung der Behörden durchgeführt und ehestmöglich eine Hubschrauberbefliegung veranlasst. Dabei konnten die Schneeeinwehungen in den Hauptriss beobachtet und als Ursache für die hohen Verformungsraten erkannt werden. Nach Schneefreiheit wurde eine vollständige Einhausung der Sensoren als verbesserter Schutz vor Schneeeinträgen hergestellt.

Studien zum felsmechanischen Versagen der Sturzmasse

Für eine realistische Abschätzung künftiger Gefährdungsszenarien durch Massenstürze sowie zur Bewertung der Wirksamkeit der zu errichtenden Schutzbauwerke wurde eine felsmechanische Studie angelegt. Diese benötigte ingenieurgeologische Geländeaufnahmen zu Trennflächen, Gestein und Gebirge. Durch einen glücklichen Umstand standen in diesem Gebiet Labordaten zu Gesteinskennwerten der Bündner Schiefer seitens der Brenner Basistunnelgesellschaft zur Verfügung. Damit waren die Voraussetzungen gegeben, Analysen zum felsmechanischen Versagen möglicher künftiger Ereignisse durchzuführen. In einem ersten Schritt wurde das potentielle Abbruchgebiet mit einer Drohne befliegen, um Abbruchmechanismen und -kubaturen durch kinematische Studien festzulegen.

a) Drohnenbefliegung und kinematische Analysen

Im Rahmen einer Beauftragung an IC Konsulten wurde eine Drohnenbefliegung der unzugänglichen Wandflächen und der umliegenden Flächen durchgeführt. Ziel der Drohnenbefliegung bzw. des daraus abgeleiteten digitalen Höhenmodells war eine Auswertung der an der Oberfläche austreichenden Trennflächen. Basierend auf diesen Ausstrichlinien wurden die zugehörigen Flächen geostatistisch modelliert. Mit diesen im Raum definierten Trennflächen wurden verschiedene Szenarien abgegrenzt, die unterschiedliche potentielle Abbruchkörper begrenzen. Die Volumina dieser Szenarien wurden aus dem Verschnitt der potentiellen Abbruchflächen (modellierte Trennflächen) mit dem hochauflösenden Geländemodell errechnet. Diese Szenarien mit den zugeordneten Volumina wurden den Massensturzmodellierungen zugrunde gelegt (vgl. Kapitel Massensturzmodellierung).

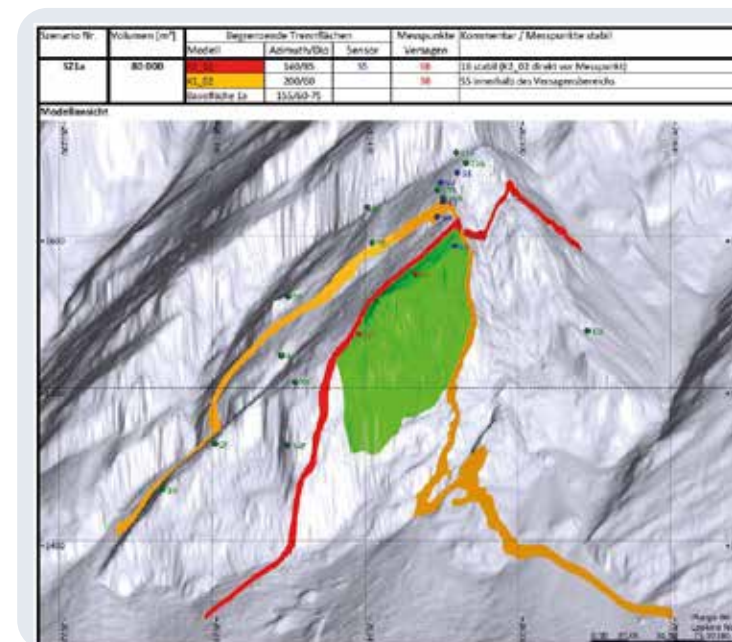


Abbildung 10: Beispiel einer Volumenberechnung eines von insgesamt 11 Szenarien mit ca. 80.000 m³ aus geostatistisch modellierten Trennflächen (IC Konsulten 2018)

Figure 10: Example of the construction of one of eleven scenarios constricted by discontinuities derived from the analysis of a UAV generated DEM

b) Numerische Modellierung des Versagens mittels 3-DEC

Die Möglichkeit der Beurteilung des Verschiebungsverhaltens und der Stabilität von Felsböschungen ist für die Einschätzung der von Felswänden ausgehenden Gefahr und für die Festlegung von Grenzwerten für Warnsysteme von großer Bedeutung. Das Gebirgsverhalten ist dabei zumeist stärker vom Trennflächensystem als von den Gesteinseigenschaften bestimmt. Ingenieurgeologische Untersuchungen im Gebiet des Felssturzereignisses in Vals, insbesondere detaillierte Trennflächenaufnahmen zeigen, dass als maßgeblicher Versagensmechanismus ein Keilversagen zu unterstellen ist. Unterstützt wird diese Theorie durch das aktuelle Ereignis als auch durch alte, in der Form noch gut erkennbare

Ausbruchkeile, wie zum Beispiel an der Stafflacher Wand bei St. Jodok. Mittels des erhobenen Trennflächengefüges, ihren geometrischen und geomechanischen Eigenschaften und der von der Brenner-Basis-Tunnelgesellschaft zur Verfügung gestellten Labordaten zu den Bündner Schiefen wurde ein synthetisches Gebirgsmodell (Synthetic Rock Mass Model SRM) zur Versagensmodellierung mittels 3-DEC (M. Illeditsch, A. Preh 2021) in Vals erstellt. Dieser Ansatz ist Teil eines Forschungsprojektes der TU-Wien und der WLV, Fachbereich Geologie, um die Anwendbarkeit von SRM's zur mechanischen Beschreibung komplexer strukturgeologischer Bereiche zu erhalten. Aufgrund des hohen Rechenaufwands derartiger Modelle waren bestimmte Vereinfachungen, insbesondere was die Skalierung der Trennflächen betrifft, vorzunehmen. Die Kalibrierung erfolgte

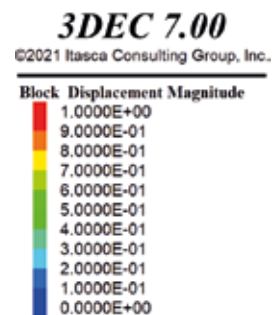
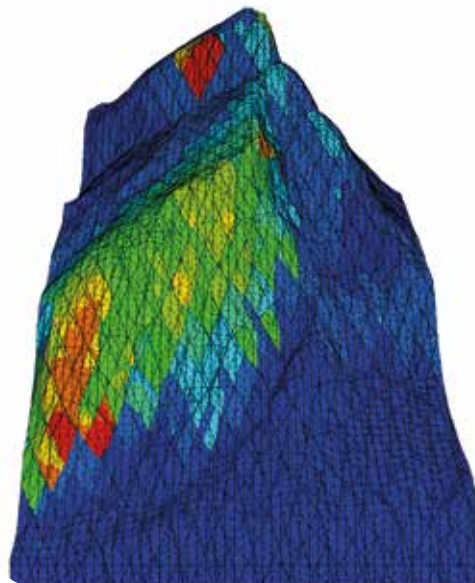


Abbildung 11: Felsmechanische Modellierung des Versagens mittels 3-DEC mit implementiertem Synthetic Rock Mass Modell; (Illeditsch & Preh 2021);

Figure 11: Modelling of rock-mass failure using 3-DEC with implementation of a Synthetic Rock Mass Model

unter Einbeziehung der beobachteten Verschiebungen mittels Rückrechnung auf das Felssturzereignis vom Dezember 2017. Die bisher vorliegenden Ergebnisse der Modellierungen bestätigen, dass faktisch schmale Abbruch-Szenarien – deren Breite i. W. dem Keilversagen des Ereignisses von 2017 entspricht – als realistisch anzunehmen sind (s. Abbildung 11). Weiters lässt sich erkennen, dass aufgrund der hohen Duktilität des Gebirges größere Verschiebungen bis zum Versagen zu beobachten sein werden. Diese Erkenntnis ist für die Festlegung von Warnwerten von wesentlicher Bedeutung, da diese weniger sensibel, d.h. höher gesetzt werden können. Das reduziert die Anzahl von Fehlalarmen, auch ist davon auszugehen, dass genügend Zeit vom Zeitpunkt deutlicher Bewegungen bis zum eigentlichen Versagen/Felssturz vorhanden ist, um notwendige Schritte, wie die Sperre der Straße und Evakuierungen von Häusern durchzuführen.

Gefahrenabschätzung und Prognosen anhand der Modellierung von Sturzprozessen

A) Steinschlagsimulationen Einzelblöcke – 2D und 3D Modellierung

Zur Planung und Bemessung von Schutzmaßnahmen für Einzelblockablösungen wurde in der Schutthalde des Felssturzereignisses eine Blockgrößenvermessung mittels eines Linienzählverfahrens im unteren Bereich des Schuttkegels durchgeführt. Dabei wurden 320 Blöcke vermessen. Aus den daraus ermittelten Blockkubaturen wurde gem. ONR 24810 das stückbezogene 97 % Fraktile als Eingangsgröße in die Berechnungen aus den Wandstufen westlich der Abbruchnische ermittelt (Abbildung 12 links). Im Rahmen von 2D und 3D Steinschlagsimulationen wurden die Bemessungswerte von Steinschlagschutzmaßnahmen bergseits der Talstraße bzw. der hier befindlichen Wohngebäude ermittelt.

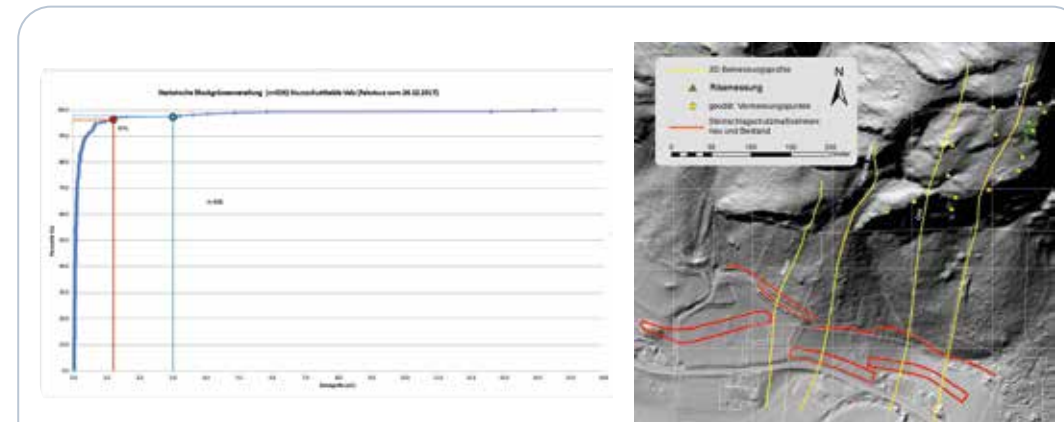


Abbildung 12: Links: kumulative Blockgrößenverteilung der statistischen Blockgrößenaufnahme rechts: digitales Höhenmodell mit 2D-Bemessungsprofilen, Messpunkte Monitoring sowie Neu- und Bestandsmaßnahmen (Dämme und Netze – WLV GBL Mittleres Inntal 2018)

Figure 12: Left: cumulative block-size distribution. right: DEM with profiles for 2D Simulation

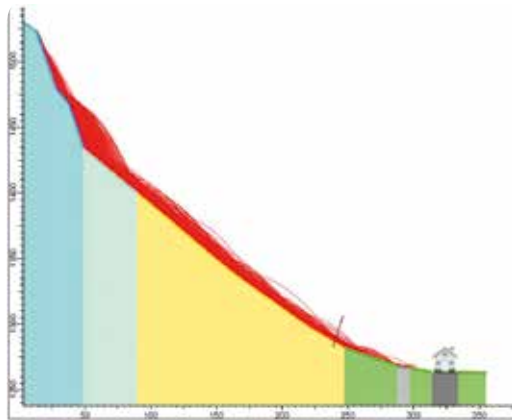


Abbildung 13: Sturzbahnen von Einzelblockstürzen an einem repräsentativen Bemessungsprofil, Bemessungsblock 3m³

Figure 13: Trajectories of rock-fall in one of the relevant profiles, design block 3m³

2D Steinschlagmodellierung

Ziel dieser Modellierung ist die Bereitstellung von Bemessungswerten für den Ersatz der Bestandsnetze, um diese dem Stand der Technik anzupassen. Weiters sollen die Bemessungswerte für einen geplanten Steinschlagschutzdamm ermittelt

werden. Zudem sollte im Zuge dieser Bemessung geklärt werden, ob auf der derzeit geplanten neuen Trasse der Talstraße im Nahbereich des Valser Baches ein Straßendamm mit einer Höhe von 4 m und einer bergseitigen Böschungsneigung von 70° einen ausreichenden Schutz vor Steinschlagprozessen (Einzelblöcke) aus den Wandbereichen orographisch rechts der Felssturzniche bietet.

3D Steinschlagmodellierung für Einzelblöcke (RAMMS::ROCKFALL)

Die Modellierung von Einzelblock-Steinschlagereignissen aus dem seitens der Abt. Geoinformation (ATLR) als bewegten Bereich interpretierten Felsblock mit RAMMS::Rockfall ergab eine relativ weite Streuung der Sturzblöcke. Dabei bestreichen die modellierten Blöcke im Wesentlichen jenen Bereich, der auch im Zuge des Ereignisses vom 24.12.2017 durch Ablagerungen des Felssturzes geprägt wurde. Dabei zeigt sich, dass der Bemessungsblock im Ausmaß von 3 m³ Energien (T99 Perzentil) in der Größenordnung von 2500 kJ und Sprunghöhen von > 3 m (H95 Perzentil) aufweist.

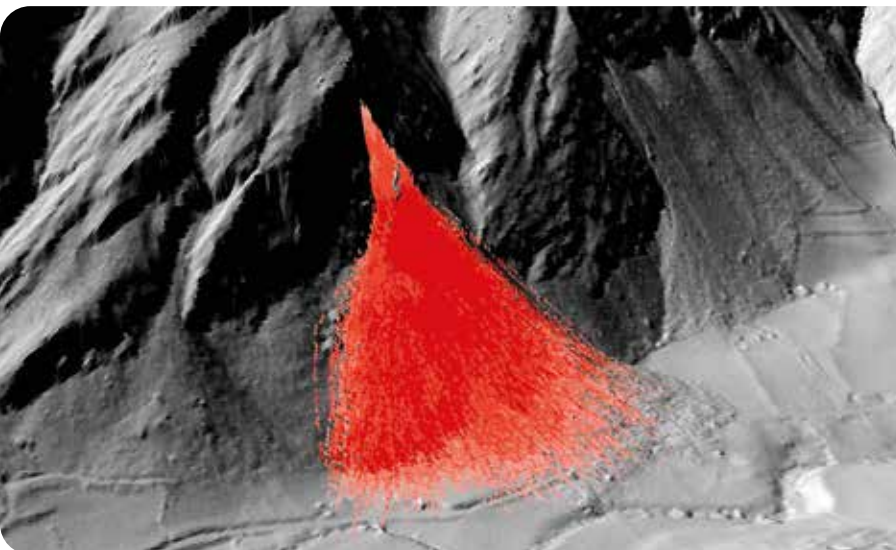


Abbildung 14: 3D-Darstellung der modellierten Sturzbahnen eines lokalen Felssturzes aus dem obersten Wandbereich orographisch rechts der Ausbruchsnische von 2017 mit RAMMS::Rockfall

Figure 14: 3D-view of results of rockfall simulations, scenario: rock-falls right of the detachment zone from 2017 with RAMMS::Rockfall

B) Massensturzmodellierung mit Dan 3D

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes der WLW (Fachbereich Geologie) mit der TU Wien, Institut für Ingenieurgeologie wurde bereits 2016 anhand von mehreren gut dokumentierten großen Felsstürzen mit mehreren 10.000 m³ im Rahmen von Rückrechnungen Parametersets für das Modell DAN3D abgeleitet (Preh 2016). Mit diesen Parametersets konnten die dokumentierten Sturzprozesse mit Ablagerungsfläche, Reichweite und Ablagerungshöhe gut abgebildet werden. Für die spezifische Kalibrierung des Modells auf das konkrete Projektgebiet in Vals wurde das Ereignis vom 24.12.2017 nachgerechnet und die Reibungsparameter innerhalb der aus der vorangegangenen Studie abgesicherten Anwendungsgrenzen variiert, bis eine zufriedenstellende Abbildung des dokumentierten Ereignisses erzielt werden konnte. Tendenziell weist die Modellrechnung eine größere laterale Streuung der Ablagerungen als das reale Ereignis auf, was auf die Vernachlässigung der Bewaldung in der Sturzbahn bei der Modellierung zurückgeführt wird (Preh 2019).

Nach Erstellung eines hochauflösenden Geländemodells mit einer Drohne wurden die maßgeblichen Trennflächen vor allem in den unzugänglichen Wandbereichen in ihrer Raumstellung an den Ausbissflächen erfasst und im Rahmen einer geostatistischen Modellierung berechnet (Abbildung 10). Daraus wurden in weiterer Folge verschiedene von diesen Trennflächen begrenzte Teile des Gebirges abgegrenzt und deren Kubaturen ermittelt.

Zur Abgrenzung von potentiellen Gefährdungsbereichen für diese Abbruchszenarien mit den jeweiligen Kubaturen wurden mit dem anhand des aktuellen Ereignisses kalibrierten Modells DAN3D Massensturzsimulationen mit und ohne die geplanten Schutzdämme durchgeführt (Preh 2019). Damit standen für tendenziell ungünstige, potentielle Nachfolgeereignisse die jeweils zugehörigen Gefährdungsbereiche vor und nach Errichtung der Schutzmaßnahmen zur Verfügung.

Mit diesen Erkenntnissen wurde ein Sicherheitskonzept erstellt, das u. a. die für die jeweiligen Szenarien relevanten Evakuierungsbereiche nach einem stufenweisen Alarmkonzept definiert. Eine Abgrenzung eines sich möglicherweise abzeichnenden Abbruch-Szenarios war durch die Gruppierung und Zuordnung der innerhalb der Abbruchbereiche situierten Messensoren (Vermessungspunkte und Rissmesser) möglich.

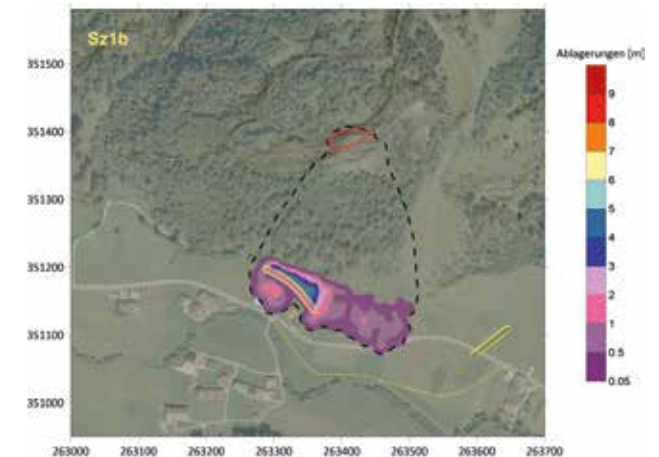


Abbildung 15: Ergebnisse der Massensturzmodellierung (Szenario 1b mit einer Abbruchkubatur von 15.000 m³) mit Schutzdamm (Preh 2018)

Figure 15: Results of DAN3D modelling of failure-scenario 1b (15.000 m³) with an embankment

Maßnahmenplanung und -evaluierung

Im Rahmen der Planung von Schutzmaßnahmen wurde schnell klar, dass ausreichende technische Schutzmaßnahmen für alle denkbaren Versagensszenarien aufgrund der topographischen Verhältnisse und den Ergebnissen der Massensturmmodellierungen nicht umsetzbar sein würden. Somit wurde das Maßnahmenkonzept für die beiden zu unterstellenden Hauptprozesse Steinschlag/Einzelblockschlag und Massensturz differenziert.

Zur Absicherung des Siedlungsraumes vor Steinschlagprozessen und kleineren Felsstürzen sollten entsprechende Schutzmaßnahmen bemessen werden. Im Rahmen von Steinschlagsimulationen mit den anhand von statistischen Linien-

zählverfahren ermittelten Bemessungsblöcken in der Schutthalde des Sturzstromes vom Dezember 2017 wurden die maßgeblichen Einwirkungen nach dem Stand der Technik (ONR 24810:2020) ermittelt. Um möglichst große Reserven für Ereignisse mit mehreren Sturzblöcken (Felssturz) zu generieren, sollten soweit möglich alle bestehenden Steinschlagschutznetze durch Dämme ersetzt werden. Diese sollten zudem – wo topographisch umsetzbar – so weit wie möglich in den Unterhang abgerückt werden. Die Bemessung (Tragfähigkeitsnachweis für die Bemessungssituation BS 3 und Wirkungshöhe inkl. erforderliches Freibord) dieser Dämme erfolgte für den Prozess „Einzelblockschlag“ und wurde nach den Vorgaben der ONR 24810 durchgeführt.



Abbildung 16: Schutzmaßnahmen und Neutrassierung der Talstraße (WLV GBL Mittleres Inntal 2018)

Figure 16: Rockfall embankments and newly erected net-fence and road.

Ausblick – Prognose

Der Siedlungsraum weist nach Fertigstellung der Schutzmaßnahmen einen dem Stand der Technik entsprechenden Schutz vor Steinschlagprozessen auf. Allfällige großdimensionale Folgeprozesse können von diesen Schutzbauwerken aus derzeitiger Sicht nicht ausreichend abgesichert werden.

Das laufende Monitoring-Programm mit engmaschigen Messreihen aus zwei unabhängigen Messverfahren stellt aus derzeitiger Sicht sicher, dass großdimensionale Prozesse mit einer ausreichenden Vorlaufzeit erkannt werden. In diesem Fall können zeitgerecht organisatorische Maßnahmen getroffen werden.

Um die langfristigen Folgekosten eines aufwändigen Monitoring-Programms mittelfristig zu optimieren, wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes felsmechanische Versagensmodellierungen durchgeführt (Moser 2020, Preh 2021). Daraus sollen die für ein großdimensionales Versagen signifikanten Verformungen abgeleitet werden. Mit solchen, in ihrer Größenordnung deterministisch ermittelten Deformationen soll mittelfristig eine Optimierung des Mess- und Warnsystems und der darin festgelegten Schwellenwerte erfolgen. Aus derzeitiger Sicht ist in absehbarer Zeit eine Einstellung des Monitorings des Einhangs nicht möglich. Allenfalls kann in der Zukunft ein stufenweiser Rückbau des Messsystems bei Vorliegen von stationären Verhältnissen bzw. linearen Deformationen mit geringen Beträgen angedacht werden.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Mag. Michael Mölk
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawinen
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
michael.moelk@die-wildbach.at

Ing. Mag. Dr. techn. Thomas Sausgruber
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawinen
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
thomas.sausgruber@die-wildbach.at

Benedikt Rieder MSc.
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawinen
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
benedikt.rieder@die-wildbach.at

Literatur/References:

FRITZMANN, P. (2019):
Bericht AdTLR: Felssturz Valsertal - terrestrischer Laserscan; TLS-Messungen: Dezember 2018 und Februar 2019

IC KONSULENTEN (2018):
Bericht Drohnenauswertung/Trennflächenmodellierung, 2018

MOSER, B. (2020):
Synthetic Rock Mass (SRM) Modelle für Stabilitätsanalysen von Felsböschungen: Einsatzmöglichkeiten und Grenzen am Beispiel Vals (Tirol). Diplomarbeit Inst. F. Geotechnik, Forschungsbereich Ingenieurgeologie, TU Wien

ONR 24810:2020 Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung.

PREH A. (2019):
Felssturz Valsertal: Analysen und Prognoseberechnungen von Massenstürzen. Unveröff. Projektbericht.

PREH, A. (2016):
Analyse von Sturzprozessen auf Altschnee. Unveröff. Forschungsbericht des Instituts für Geotechnik, Forschungsbereich Ingenieurgeologie, Technische Universität Wien, August 2016

PREH, A. & ILLEDITSCH, M. (2021):
„Synthetic Rock Mass Models (SRM)“ zur Beurteilung von Hangbewegungen am Beispiel des Felssturz Vals in Tirol“. Unveröff. Forschungsbericht der TU Wien, Inst. f. Geotechnik

TRIGONOS (2021):
Monitoring Felssturz Vals: Bericht 1.1.2021

TÖCHTERLE, A. (2011):
Aspects of the geological evolution of the northwestern Tauern Window-insights from the geological investigations for the planned Brenner base tunnel. PhD Dissertation, Universität Innsbruck,

WLV, GEBIETSBAULEITUNG MITTLERES INNTAL (2018):
Sofortmaßnahmen Vals Bergsturz

DANIELA ENGL, THOMAS SAUSGRUBER, MICHAEL MÖLK, MICHAEL POSCH

Risikoanalyse als Planungsinstrument für nachhaltige Schutzmaßnahmen

Sustainable protection planning with risk analysis

Zusammenfassung:

In Österreich wird für die Dimensionierung von Steinschlagschutzmaßnahmen in der Regel die ONR 24810 herangezogen. Wo ein ONR-konformer Steinschlagschutz nicht umsetzbar oder nicht wirtschaftlich vertretbar ist, kann eine Risikoanalyse unterstützen. Die quantitative Risikoanalyse betrachtet detailliert die situationspezifische Wahrscheinlichkeit eines Personenschadens und setzt sie mit einem vorgegebenen Schutzziel in Relation. Hierdurch werden nicht nur implizit die Zweckmäßigkeit und die Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen beleuchtet, sondern vielfach auch Alternativlösungen aufgezeigt und nachvollziehbar argumentiert. Ziel ist ein nachhaltiger Schutz, welcher dem gesellschaftlich zumutbarem Restrisiko Rechnung trägt.

Abstract:

Risk analysis can assist in evaluating a specific rockfall hazard and its socioeconomic impact in an objective and transparent manner. This is particularly valuable if state-of-the-art rockfall protection measures are difficult to realize due to extreme site conditions and/or do not satisfy an adequate cost-benefit-ratio. This article illustrates the process and the outcome of a risk analysis conducted in a Tyrolian municipality.

Stichwörter:

Steinschlag-
gefährdung,
Risikoanalyse,
Schutzziel,
akzeptables Restrisiko,
Umsiedelung

Keywords:

*Rockfall hazard,
risk analysis,
protection target,
acceptable risk,
relocation*

Schutzziel in Österreich

Im Jahr 2014 wurde von der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik die Empfehlung für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren herausgegeben (ÖGG, 2014). Hierbei inkludiert der Begriff gravitative Naturgefahren alle Arten von gravitativen Massenbewegungen wie Steinschlag, Felssturz, Bergsturz, Rutschungen, Muren, Wildbachprozesse, Lawinen und Hochwasser.

Empfohlen wird, die akzeptable Todesfallwahrscheinlichkeit von Personen, welche im institutionellen Bereich einer (oder mehreren) gravitativen Naturgefahr(en) ausgesetzt sind, mit $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr zu begrenzen. Dies bedeutet, dass es gesellschaftlich vertretbar ist, wenn eine von 100.000 Personen während ihres Aufenthalts im institutionellen Bereich durch eine Naturgefahr ums Leben kommt. Unter dem Begriff institutioneller Bereich ist hierbei jeglicher Raum im privaten als auch im öffentlichen Bereich zu verstehen, welcher der institutionellen Verantwortung einer natürlichen oder juristischen Person unterliegt. Dies bedeutet, dass die Bevölkerung davon ausgehen kann, dass eine Institution bzw. deren Verantwortliche (z.B. der Hausbesitzer, der Bürgermeister als Baubehörde, der Straßenerhalter) das Risiko für sie begrenzt. Das akzeptable Todesfallrisiko von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr stellt in Österreich derzeit den Stand der Technik hinsichtlich des anzustrebenden Schutzziels bei gravitativen Naturgefahren dar.

Grundprinzip der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse ermittelt den erwartbaren jährlichen Verlust von Personen oder Objekten infolge eines Ereignisses (sowie bedarfsweise den damit verbundenen monetären Wertverlust).

Für die Risikoanalyse von Naturgefahren werden Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich der Magnitude und Frequenz einer Naturgefahr, der Reichweite des Prozesses, der räumlichen und zeitlichen Trefferwahrscheinlichkeit, der Vulnerabilität der exponierten Personen und Objekte sowie ggf. der monetär ausgedrückte Schadenswert miteinander verkettet. Mathematisch wird diese Verkettung durch Multiplikation aller Eingangsparameter hergestellt:

$$R = \sum_{i=1}^k [W_{M,i} \times W_{R,i} \times W_{T,i} \times V_{OP,i}] \quad \text{Gl. (1)}$$

Dabei ist:

- R Risiko einer Person (oder eines Objektes) durch eine Naturgefahr Schaden zu nehmen (Schadensrisiko)
- $W_{M,i}$ jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit der Magnitude „i“ (Ereignisfrequenz)
- $W_{R,i}$ Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis mit der Magnitude „i“ eine Person (oder ein Objekt) erreicht und die geplante/bestehende Schutzmaßnahme versagt (Reichweite)
- $W_{T,i}$ Trefferwahrscheinlichkeit, d.h. zeitliche und räumliche Wahrscheinlichkeit, dass Personen (oder Objekte) mit dem Ereignis zusammenfallen
- $V_{OP,i}$ Vulnerabilität (Verletzlichkeit) von Personen oder Objekten bei einem Ereignis der Magnitude „i“

Das Schadensrisiko R drückt damit den erwartbaren jährlichen Verlust von Personen oder Objekten (Anzahl pro Jahr) infolge Naturereignissen aus. Diese Vorgangsweise findet in der Ermittlung des Todesfallrisikos im Sinne der ÖGG-Empfehlung für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren Anwendung.

Steinschlaggefährdung Recyclinghof Längenfeld

Der Recyclinghof, der Bauhof und die Kläranlage der Gemeinde Längenfeld (Tirol) liegen unmittelbar am Fuß der glazial stark übersteilten orographisch rechten Talflanke des Ötztals (Abb. 1). Das Gelände oberhalb der Anlagen ist von zwei Felssteilstufen mit Hangneigungen bis zu 85° charakterisiert, welche durch eine rund 45° steile bewaldete Pultfläche (Rampe) voneinander abgesetzt sind. Die Felssteilstufen sind aus teils massigen, teils engständig geschieferten und geklüfteten Gneisen aufgebaut. Im Bereich der Pultfläche und am Hangfuß sind ausgedehnte Sturzhalden ausgebildet.

Im März 2015 ging während der Kundenöffnungszeiten des Recyclinghofes ein Steinschlag auf den Einwurfbereich der Wertstoffcontainer nieder. Eine Person wurde dabei von einem Sturzblock gestreift und leicht verletzt, zwei abgestellte Kraftfahrzeuge teils schwer beschädigt. Mehrere weitere anwesende Personen wurden knapp nicht getroffen. In der Folge wurde durch die Amtssachverständigen für Geologie des Landes Tirol eine einstweilige Sperre des Geländes für den Kundenverkehr und die Umsetzung von Schutzmaßnahmen dringend empfohlen (Nittel & Thöny, 2015). Die Gemeinde Längenfeld sperrte den Recyclinghof daraufhin bis auf weiteres und brachte einen Verbaunungsantrag bei der WLV Gebietsbauleitung Oberes Inntal ein.

Schutzmaßnahmenbemessung nach ONR 24810

Ein vom Fachbereich Geologie der WLV erstelltes Gutachten (Sausgruber, 2015) kam – basierend auf Steinschlagsimulationen – zum Schluss,

dass eine Schutzverbauung gemäß ONR 24810 lediglich für Blockablösungen aus dem mittleren und unteren Teil der Hauptwand möglich ist. Bei Blockablösungen aus dem oberen Teil der Hauptwand sind die am Markt verfügbaren Verbaunungssysteme für einen ONR-konformen Steinschlagenschutz hingegen nicht ausreichend. Mit Verweis auf das verbleibende Restrisiko für Überspringer wurde von Sausgruber (2015) ein Verbaunungskonzept mit zwei übereinander gestaffelten Reihen von Steinschlagenschutznetzen erstellt (Abb. 2): eine obere 250 m lange, zweiteilige Netzreihe mit einer Energieaufnahmekapazität von 5.000 kJ und einer Bauwerkshöhe von 6 m, sowie eine untere 200 m lange Netzreihe am Hangfuß mit einer Energieaufnahmekapazität von 2.000 kJ und einer Bauwerkshöhe von 4 m.

Die Kosten für diese Verbaunungsmaßnahmen wurden mit 1,5 Mio. Euro veranschlagt. Der Hauptanteil der Kosten entfiel dabei auf die obere Netzreihe, welche aufgrund der geforderten Dimensionierung, des exponierten Standortes und der latenten Steinschlaggefährdung während der Bauarbeiten nur mit beträchtlichem Aufwand umzusetzen wäre.

Aufgrund des hohen technischen und finanziellen Aufwandes für die Schutzmaßnahmen, welche überdies nicht einen befriedigenden Schutz vor Steinschlag aus den höheren Wandbereichen gewährleisten konnte, wurde in Absprache mit der Gemeinde Längenfeld entschieden, die Steinschlaggefährdung am Recyclinghof und das damit verbundene Personenschadensrisiko mittels Risikoanalyse quantitativ zu bewerten. Hierbei sollten die Bestandssituation ohne Schutzverbauung sowie weitere mögliche Betriebsszenarien mit Schutzverbauung betrachtet werden.



Abbildung 1: Links oben: Übersichtsfoto der Kläranlage, des Bauhofes und des Recyclinghofes der Gemeinde Längenfeld; Rechts oben: Überdachte Containerstellplätze für die Wertstoffsammlung, im Hintergrund das Bürogebäude des Recyclinghofes; Links unten: Überblick über das Areal des Recyclinghofes, zwischen Flugdach und Stützmauer befindet sich der Einwurfbereich für die Kunden; Rechts unten: Sperrung des Geländes als Folge eines Steinschlagereignisses im Kundenbereich mit Personen- und Sachschäden.

Figure 1: Overview of the site. The collection station of Längenfeld has been closed after a rock fall event in March 2015, one person was injured (photos taken in June 2015).

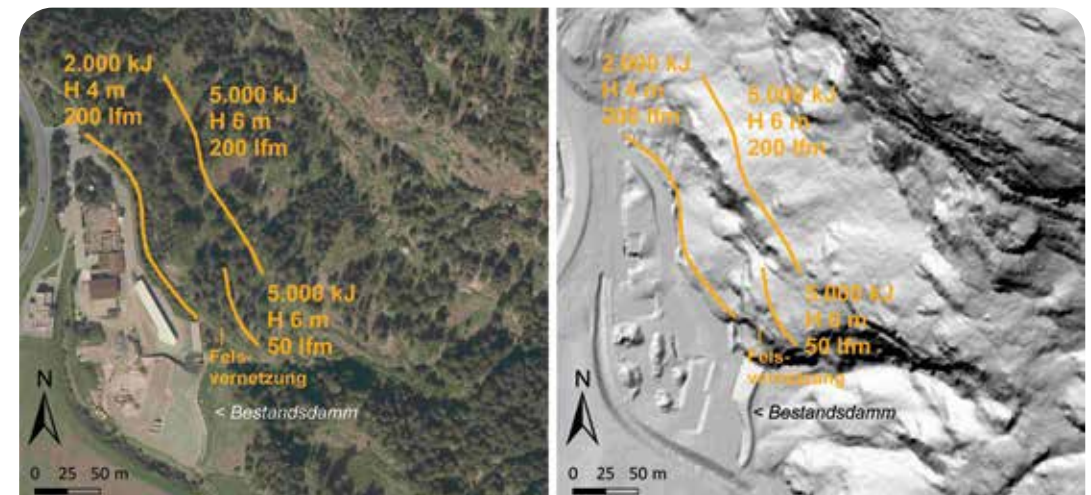


Abbildung 2: Situation im Lageplan (Orthofoto und LIDAR-Geländemodell) mit dem Verbaunungskonzept nach Sausgruber (2015).

Figure 2: Site plan with the rockfall protection concept elaborated by Sausgruber (2015). Despite two rows of high capacity rockfall protection fences the requirements of the ONR 24810 are not fulfilled.

Risikoanalyse nach ÖGG-Schutzziel-Empfehlung

Im Folgenden wird die Risikoanalyse Recyclinghof Längenfeld überblicksmäßig dargestellt. Eine ausführliche Darstellung der Vorgehensweise und die Ergebnisse finden sich in Engl (2015).

1. Schritt: Szenarienbildung

Im Vorfeld der eigentlichen Risikoanalyse werden verschiedene Betriebsszenarien definiert. Diese betrachten neben der Bestandsituation (keine Verbauung, Nutzung des Recyclinghof-Areals wie gewohnt) verschiedene Verbauungsvarianten und Nutzungsvarianten bzw. Kombinationen davon. Darüber hinaus wird eine Verlegung des Recyclinghofes auf ein weiter südlich liegendes Areal betrachtet. Insgesamt werden elf verschiedene Szenarien analysiert (siehe Abb. 3A und 3B).

Für die Szenarien mit Schutzverbauung werden einerseits das im Erstgutachten (Sausgruber, 2015) ausgearbeitete Verbauungskonzept (Vollverbauung), andererseits eine reduzierte Verbauung unterstellt. Die Vollverbauung umfasst hierbei zwei überein-

ander gestaffelte Reihen von Steinschlagschutznetzen (obere Reihe: 5.000 kJ, Höhe 6 m, Länge 250 lfm; untere Reihe: 2.000 kJ, Höhe 4 m, Länge 200 lfm; vgl. Abb. 2). Das reduzierte Verbauungskonzept sieht aufgrund des hohen (technischen und finanziellen) Aufwandes für die obere Netzreihe lediglich die Errichtung der unteren Netzreihe sowie eines Teilstückes der oberen Netzreihe im Bereich der Wertstoffcontainer und des Bürogebäudes des Recyclinghofes vor.

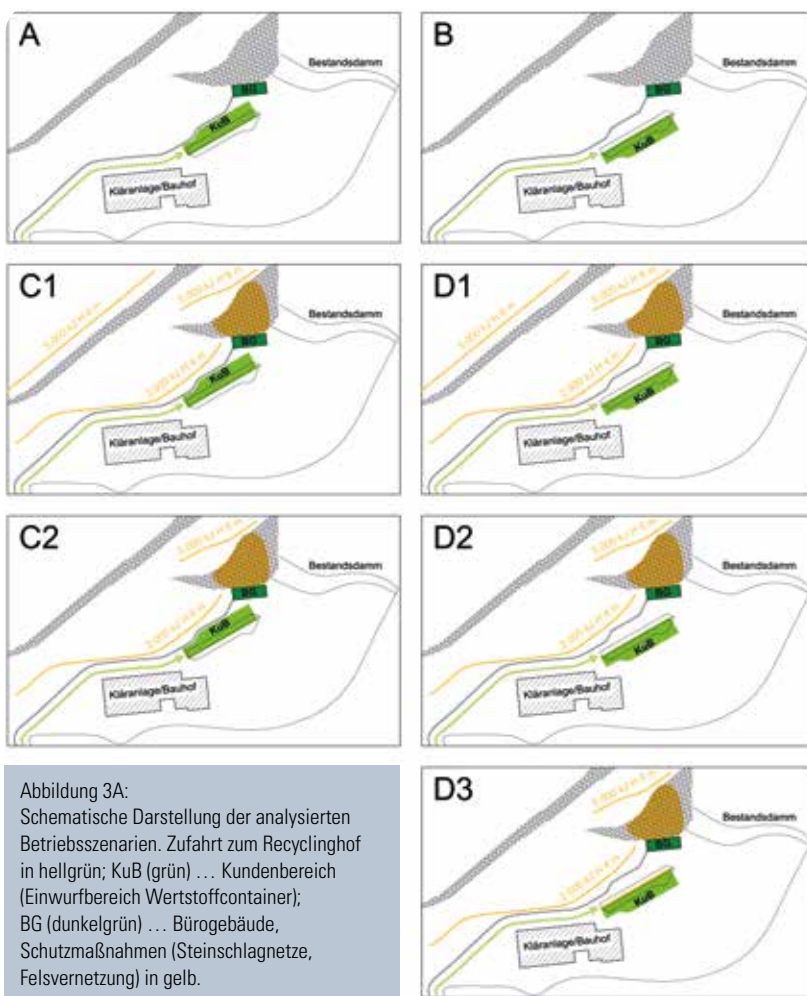


Abbildung 3A: Schematische Darstellung der analysierten Betriebsszenarien. Zufahrt zum Recyclinghof in hellgrün; KuB (grün) ... Kundenbereich (Einwurfbereich Wertstoffcontainer); BG (dunkelgrün) ... Bürogebäude, Schutzmaßnahmen (Steinschlagnetze, Felsvernetzung) in gelb.

Figure 3A: Sketches of different scenarios investigated by risk analysis. Light green ... access road to the collection station; green ... customer area for the scrap collection; dark green ... office building; yellow ... protection measures (rockfall fences, rockfall drapes).

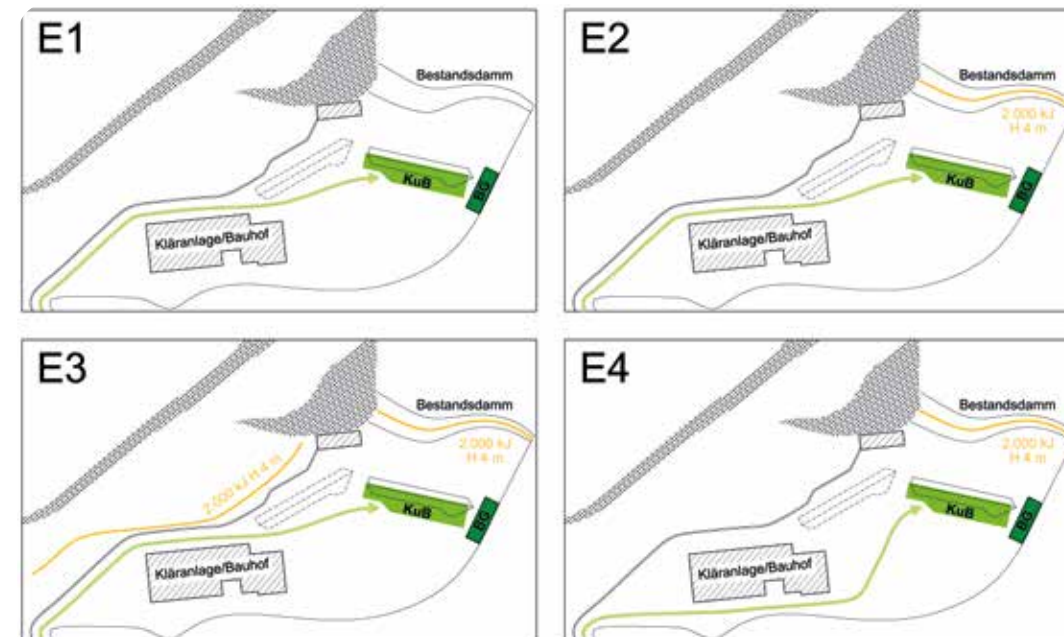


Abbildung 3B: Schematische Darstellung der analysierten Betriebsszenarien E1 – E4 (siehe Beschreibung von Abbildung 3A)

Figure 3B: Sketches of the scenarios E1 – E4 investigated by risk analysis (see description of Figure 3A)

Kurzbeschreibung der Szenarien:

- **Szenario A:** Bestandssituation des Recyclinghofes Längenfeld. Die Zufahrt verläuft unmittelbar am Hangfuß bergseits des Bauhofes und der Kläranlage. Der Materialeinwurf in die überdachten Wertstoffcontainer durch die Kunden erfolgt ebenfalls bergseitig. Das Bürogebäude befindet sich unmittelbar unter dem südlichen Abschnitt der unteren Felssteilstufe.
- **Szenario B:** Zufahrt und Bürogebäude wie Szenario A. Der Kundenzugang zu den Wertstoffcontainern befindet sich auf der gegenüberliegenden bergabgewandten Seite des Flugdaches.
- **Szenario C1:** Bestandssituation mit Vollverbauung gemäß Sausgruber (2015).
- **Szenario C2:** Bestandssituation mit reduzierter Verbauung.

- **Szenarien D1 bis D3:** Kundenzugang auf der bergabgewandten Seite des Flugdaches; mit D1: Vollverbauung, D2: reduzierter Verbauung, D3: reduzierter Verbauung sowie zusätzlicher fünf Meter hoher massiver Betonschutzmauer mit bergseitiger Dämpfungsschicht unter dem Flugdach zum Schutz des Kundenbereiches.
- **Szenarien E1 bis E4:** Verlegung des Recyclinghofes auf das südlich angrenzende Areal, welches durch einen niedrigen Bestandsdamm bereits geringfügig vor Steinschlag geschützt und insgesamt weniger steinschlagexponiert ist. E1: die Bestandszufahrt wird an der bergabgewandten Seite des derzeitigen Flugdaches zum neuen Standort weitergeführt; E2: wie E1, die Wirkhöhe des Bestandsdamms wird mittels aufgesetztem

Steinschlagschutznetz erhöht (2.000 kJ, H 4 m); E3: wie E2, zusätzliches Steinschlagschutznetz zur Abschirmung der Zufahrt (2.000 kJ, H 4 m); E4: wie E2, die Zufahrt zum Recyclinghof wird verlegt, sodass kein Steinschlagschutz notwendig ist.

2. Schritt: Ereignismagnituden

Angaben zu vergangenen Steinschlagereignissen kamen sowohl von der Gemeinde Längenfeld als auch von der Landesgeologie Tirol. Die gemeldeten Kubaturen lagen hierbei in der Größenordnung von 0,1 m³. Neben diesen dokumentierten Ereignissen finden sich im Bereich des Recyclinghofes zahlreiche stumme Zeugen von Steinschlag. Ein Dutzend faust- bis kopfgroßer Steine und Blöcke (jeweils max. ~0,01 m³) wurden bei einer Begehung im Juni 2015 auf dem Flachdach des Bürogebäudes vorgefunden. Es handelte sich hierbei um relativ frische Sturzblöcke, deren maximales Alter dem des Gebäudes selbst, d.h. rund 25 Jahre, entspricht. Hinter der bergseitigen Böschungsmauer liegen geschlossene Blockschutthalden vor, in denen Blockgrößen bis zu 1,3 m³ auftreten. Daneben wurden in den Felssteilstufen absturzgefährdete Kluftkörper mit einem Ausmaß von bis zu 2 m³ festgestellt (Sausgruber, 2015).

Aus den dokumentierten Ereignissen und stummen Zeugen einerseits und den festgestellten Kluftkörpern im Ablösebereich andererseits ergibt sich ein repräsentatives Bild der Größenordnungen der potentiellen Sturzblöcke. Für die Risikoanalyse werden vier charakteristische Sturzblockgrößen (Ereignismagnituden) definiert, welche im Areal des Recyclinghofes zu erwarten sind: 0,01 m³; 0,1 m³; 0,5 m³ und 2 m³.

3. Schritt:

Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisfrequenz)

Die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisfrequenz) beschreibt, wie häufig ein Ereignis einer spezifischen Größenordnung (Magnitude) zu erwarten ist. Zum Zweck der Risikoanalyse werden für die oben festgelegten charakteristischen Sturzblockgrößen (0,01 m³; 0,1 m³; 0,5 m³ und 2 m³) entsprechende Ereignisfrequenzen festgelegt. Dabei beziehen sich diese Ereignisfrequenzen ausschließlich auf Sturzblöcke, die tatsächlich den Nutzraum, d.h. das Gelände des Recyclinghofes inklusive Zufahrt, erreichen.

Für die kleineren charakteristischen Sturzblockgrößen 0,01 m³ und 0,1 m³ werden die Ereignisfrequenzen gemäß der bekannten Ereignischronik festgelegt bzw. angenähert. So wird – basierend auf den vorgefundenen Sturzablagerungen auf dem Flachdach des Bürogebäudes – angenommen, dass ein Block mit der Größe 0,01 m³ einmal jährlich das Gelände des Recyclinghofes (Gesamtfläche ca. 3.000 m²) erreicht.

Für die charakteristische Ereignismagnitude 0,1 m³ wird auf Basis zwei dokumentierter Ereignisse in den Frühjahren 2011 und 2015 im Bereich der Wertstoffcontainer eine Ereignisfrequenz von 1 Ereignis/10 Jahre angenommen. Diese Ereignisfrequenz entspricht – gemessen an den zwei oben genannten dokumentierten Ereignissen in den 25 Jahren seit Bestehen des Recyclinghofes – einer konservativen Annahme, berücksichtigt allerdings, dass sehr wahrscheinlich nicht alle Ereignisse dieser Größenordnung an die Gemeinde bzw. die Landesgeologie gemeldet wurden, insbesondere wenn sie außerhalb der Öffnungszeiten des Recyclinghofes stattfanden und damit nicht unmittelbar als personengefährdend wahrgenommen wurden.

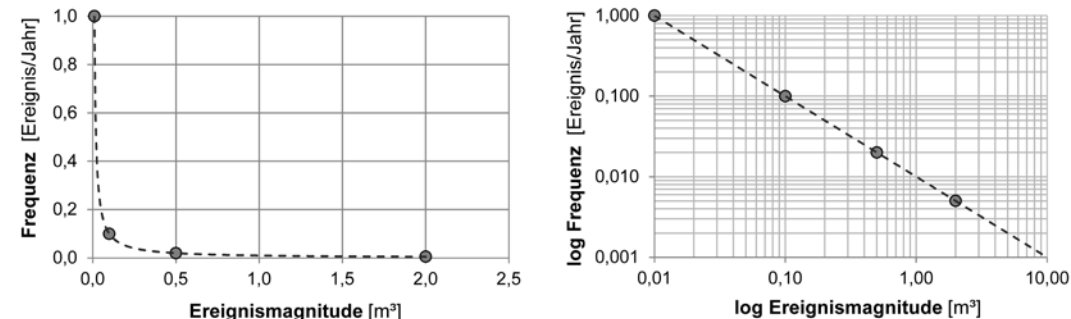


Abbildung 4: Magnitude-Frequenz-Beziehung in linearer und doppellogarithmischer Darstellung.

Figure 4: Frequency and magnitude of rockfall events as supposed in the risk analysis.

Für die größeren charakteristischen Sturzblockgrößen 0,5 m³ und 2 m³ werden die Ereignisfrequenzen unter der Annahme einer exponentiellen Magnitude-Frequenz-Beziehung, wie sie bei natürlichen Verteilungen häufig anzutreffen ist, extrapoliert. Hierfür werden im doppellogarithmischen Plot, ausgehend von den vorher festgelegten Magnitude-Frequenz-Beziehungen für die Blockgrößen 0,01 m³ und 0,1 m³, die Ereignisfrequenzen für die Blockgrößen 0,5 m³ und 2,0 m³ linear extrapoliert (Abb. 4).

Größere Ereigniskubaturen werden nicht betrachtet, da deren Auftreten einerseits innerhalb der Nutzungsdauer des Recyclinghofes ungleich unwahrscheinlich ist (so wäre die extrapolierte Ereignisfrequenz eines 5 m³ Blockes 1 Ereignis/500 Jahre; vgl. Abb. 4) und andererseits die Schadwirkung dieser Kubaturen annähernd vergleichbar mit der des angenommenen Größtblockes von 2 m³ ist.

4. Schritt: Reichweite

Die Wahrscheinlichkeiten, mit welcher die Sturzblöcke der einzelnen Ereignismagnituden den Nutzraum, d.h. das Gelände des Recyclinghofes

inklusive Zufahrt, erreichen, wird mittels einer 3D-Simulation mit RAMMS::Rockfall ermittelt. Eine Ausnahme bildet die kleinste Ereignismagnitude 0,01 m³, welche aufgrund der geringen Größe nicht mit RAMMS::Rockfall simuliert werden kann. Die Reichweite dieser Blockgröße wird auf Basis der Ergebnisse der anderen Blockgrößen geschätzt.

Für die aktuelle Bestandssituation ohne Schutzverbauung beträgt die rechnerische Wahrscheinlichkeit, dass Sturzblöcke den Nutzraum erreichen, 100 %, da sich bereits die Ereignisfrequenzen implizit auf jene Sturzblöcke beziehen, die tatsächlich das Gelände des Recyclinghofes erreichen.

Um eine Vergleichbarkeit der Bestandssituation (ohne Schutzverbauung) zu weiteren Szenarien mit verschiedenen Kombinationen von Schutzmaßnahmen herzustellen, werden im Zuge einer ersten Bestandssimulation an Kontrollquerschnitten unmittelbar bergseits des Nutzraumes die Blockdurchgänge ohne Schutzmaßnahmen ausgelesen. In der Folge werden Simulationen mit den in den verschiedenen Szenarien definierten Varianten von Schutzmaßnahmen (Vollverbauung, reduzierte Verbauung) durchgeführt.

Die Blockdurchgänge ohne und mit Schutzmaßnahmen werden getrennt für die drei Betriebsareale Zufahrt, Kundenbereich und Bürogebäude ausgewertet. Die reduzierte Reichweiten-Wahrscheinlichkeit einer Ereignismagnitude infolge einer Schutzverbauung ergibt sich aus dem Verhältnis der Blockdurchgänge mit und ohne Verbauung.

5. Schritt: Personentrefferwahrscheinlichkeit

Die Personentrefferwahrscheinlichkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Person im Areal des Recyclinghofes im Falle eines Steinschlagereignisses von einem Sturzblock getroffen wird (räumliche und zeitliche Koinzidenz von Ereignis und Person). Sie setzt sich einerseits aus einer räumlichen, andererseits aus einer zeitlichen Wahrscheinlichkeit (Aufenthaltswahrscheinlichkeit) zusammen.

Die räumliche Trefferwahrscheinlichkeit beschreibt, wie wahrscheinlich ein Sturzblock tatsächlich eine Person (oder einen PKW oder ein Gebäude), welche sich auf dem Areal des Recyclinghofes inklusive Zufahrt befindet, trifft. Hierzu werden die Sturzblockgrößen in Relation zur lateralen Ausdehnung der einzelnen Nutzungsbereiche (Zufahrt, Kundenbereich, Bürogebäude) gesetzt.

Für das Bürogebäude des Recyclinghofes gilt zusätzlich, dass Personen im Gebäude nur zu Schaden kommen, wenn die Gebäudehülle durch einen Blocktreffer versagt. Zur Ermittlung von Gebäudeversagenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Ereignismagnitude wird die erwartbare Versagensfläche je Blockgröße geschätzt und mit der steinschlagexponierten Dachfläche in Relation gesetzt.

Die zeitliche Trefferwahrscheinlichkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher

sich Personen, d.h. sowohl Personal als auch Kunden, am Betriebsareal des Recyclinghofes aufhalten (Personenaufenthaltswahrscheinlichkeit). Diese Aufenthaltswahrscheinlichkeiten werden gemäß den Angaben der Gemeinde Längenfeld ermittelt:

- Am Recyclinghof sind zwei Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt (40 h/Woche). Davon ist ein Mitarbeiter im Außen- und Kundenbereich und ein Mitarbeiter im Bürogebäude tätig.
- Für die BürgerInnen der Gemeinde Längenfeld ist der Recyclinghof an fünf Tagen in der Woche für jeweils vier Stunden am Tag für die Wertstoffabgabe geöffnet. Dabei besuchen gemäß Angaben der Gemeinde durchschnittlich 80 Personen pro Öffnungstag den Recyclinghof.

Die Multiplikation der räumlichen Trefferwahrscheinlichkeit (beim Bürogebäude ist zusätzlich die Gebäudeversagenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen) und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen ergibt die Personentrefferwahrscheinlichkeit, d.h. die Wahrscheinlichkeit einer zeitlichen und räumlichen Koinzidenz von Ereignis und Person.

6. Schritt: Vulnerabilität

Die Vulnerabilität (Verletzlichkeit) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Person im Falle eines Treffers zu Schaden kommt. Die Werte werden differenziert nach Blockgröße (Ereignismagnitude) und dem Aufenthaltsort der Person am Betriebsareal (im PKW auf der Zufahrt / im Freibereich vor den Wertstoffcontainern / im Bürogebäude) geschätzt. Dabei wird nicht hinsichtlich des Schweregrads des Schadens unterschieden, d.h. ein Personenschaden kann sowohl eine

Verletzung als auch Tod bedeuten. Durch diese Betrachtung wird in der Folge nicht ein Todesfallrisiko sondern ein Personenschadensrisiko ermittelt. Dies stellt eine konservative Vereinfachung zur ÖGG-Empfehlung dar, welche ihr „Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren“ auf das akzeptable Todesfallrisiko bezieht.

Ergebnisse der Risikoanalyse

Die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten gemäß Gl. (1) ergibt für jede Ereignismagnitude das entsprechende Personenschadensrisiko. Abbildung 5 zeigt diese Teil-Risikowerte je Ereignismagnitude, differenziert nach den verschiedenen Nutzungsbereichen des Recyclinghofes (Zufahrt, Kundenbereich, Bürogebäude). Die Summenbildung über alle betrachteten Ereignismagnituden (Addition aller Teilrisiken) ergibt das Gesamtrisiko (Abb. 6), das mit dem Betrieb des Recyclinghofes gemäß jeweiliger Szenariendefinition verbunden ist.

Aus Abb. 5 wird deutlich, dass das größte Personenschadensrisiko von der kleinsten Blockgröße (0,01 m³) mit hoher Ereignisfrequenz ausgeht – dies gilt vor allem für die Bestandssituation ohne Verbauung aber auch für eine reduzierte Verbauung. Selbst bei einer Vollverbauung mit zwei gestaffelten Netzreihen übersteigt das Personenschadensrisiko, welches allein aus der kleinsten Sturzblockgröße von 0,01 m³ resultiert, das von der ÖGG-Empfehlung vorgegebene Schutzziel von 1·10⁻⁵ pro Jahr. Kritischster Aufenthaltsort für Personen ist der Einwurfbereich vor den Wertstoffcontainern (Kundenbereich). Zurückzuführen sind die hohen Teilrisikowerte im Kundenbereich bei Magnitude 0,01 m³ darauf, dass Personen hier den häufigen Kleinstereignissen schutzlos ausgesetzt sind.

Mit zunehmender Blockgröße steigt –

trotz zunehmender Seltenheit solcher Ereignisse – das Personenschadensrisiko im Bürogebäude des Recyclinghofes an. Die Gründe dafür sind einerseits, dass bei einem größeren Blocktreffer mit einem großflächigen Versagen der Dachkonstruktion gerechnet werden muss, andererseits die hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Gebäude. Beide Faktoren zusammen führen zu einer hohen Personentrefferwahrscheinlichkeit.

Abb. 6 stellt die Gesamtrisiken der verschiedenen Szenarien dar. Hier zeigt sich, dass das Betreiben des Recyclinghofes am derzeitigen Standort – unabhängig von der Betriebsanordnung und des Ausmaßes der Schutzverbauungen – mit einem nicht akzeptablen Personenschadensrisiko einhergeht. Dies gilt selbst im Falle einer Vollverbauung mit zwei gestaffelten Netzreihen, bei welchem das Personenschadensrisiko das vorgegebene Schutzziel von 1·10⁻⁵ pro Jahr immer noch um den Faktor 4 übersteigt.

Auf ein akzeptables Maß reduziert werden kann das Personenschadensrisiko lediglich durch eine Verlegung des Recyclinghofes auf das weiter südlich gelegene Areal bei gleichzeitiger Erhöhung des dort befindlichen Bestandsschutzdammes. Um das Schutzziel von 1·10⁻⁵ pro Jahr gemäß ÖGG-Empfehlung gänzlich zu erfüllen, ist zudem eine Verlegung der Zufahrt oder aber ein Steinschlagschutz für die Bestandszufahrt erforderlich.

Umgesetzte Maßnahmen und Kostenvergleich

Im darauffolgenden Frühjahr wurde das Betriebszenario E3 umgesetzt, welches mit einem errechneten Personenschadenrisiko von rund 1·10⁻⁵ pro Jahr (vgl. Abb. 6) das Schutzziel gemäß ÖGG-Empfehlung (2014) erfüllt.

Die Gemeinde Längenfeld verlegte den Kundenbereich des Recyclinghofes (Wertstoffcon-

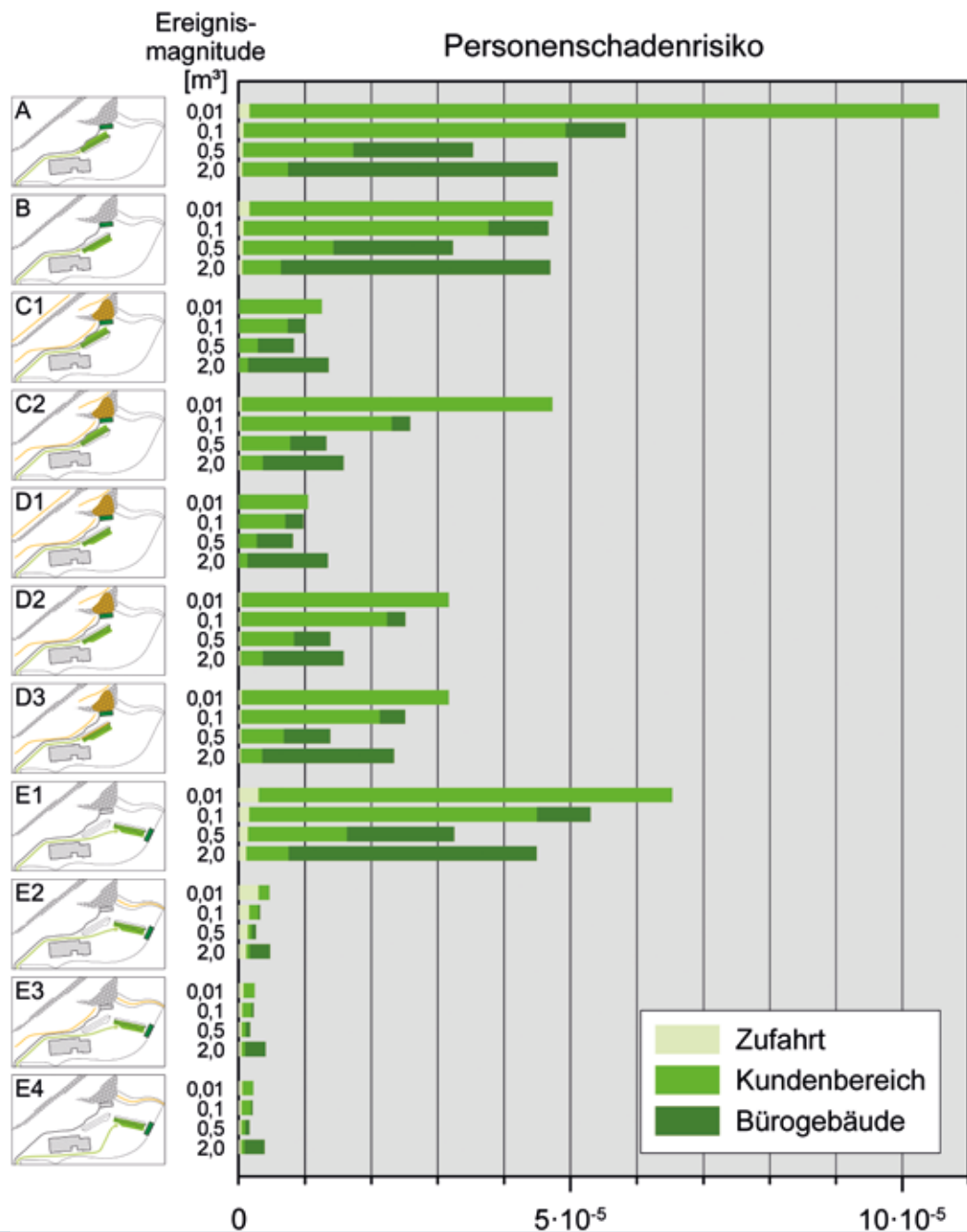


Abbildung 5: Untersuchte Betriebsszenarien und dazugehörige (Teil-) Personenschadensrisiken in Abhängigkeit der Sturzblockgröße (Magnitude) und des Aufenthaltsortes der Person.

Figure 5: Overview of the investigated scenarios and the associated partial probabilities (risks) of an injury to persons. The probabilities are depicted for each event magnitude and the different domains of the collection station (access road, customer area, office building).

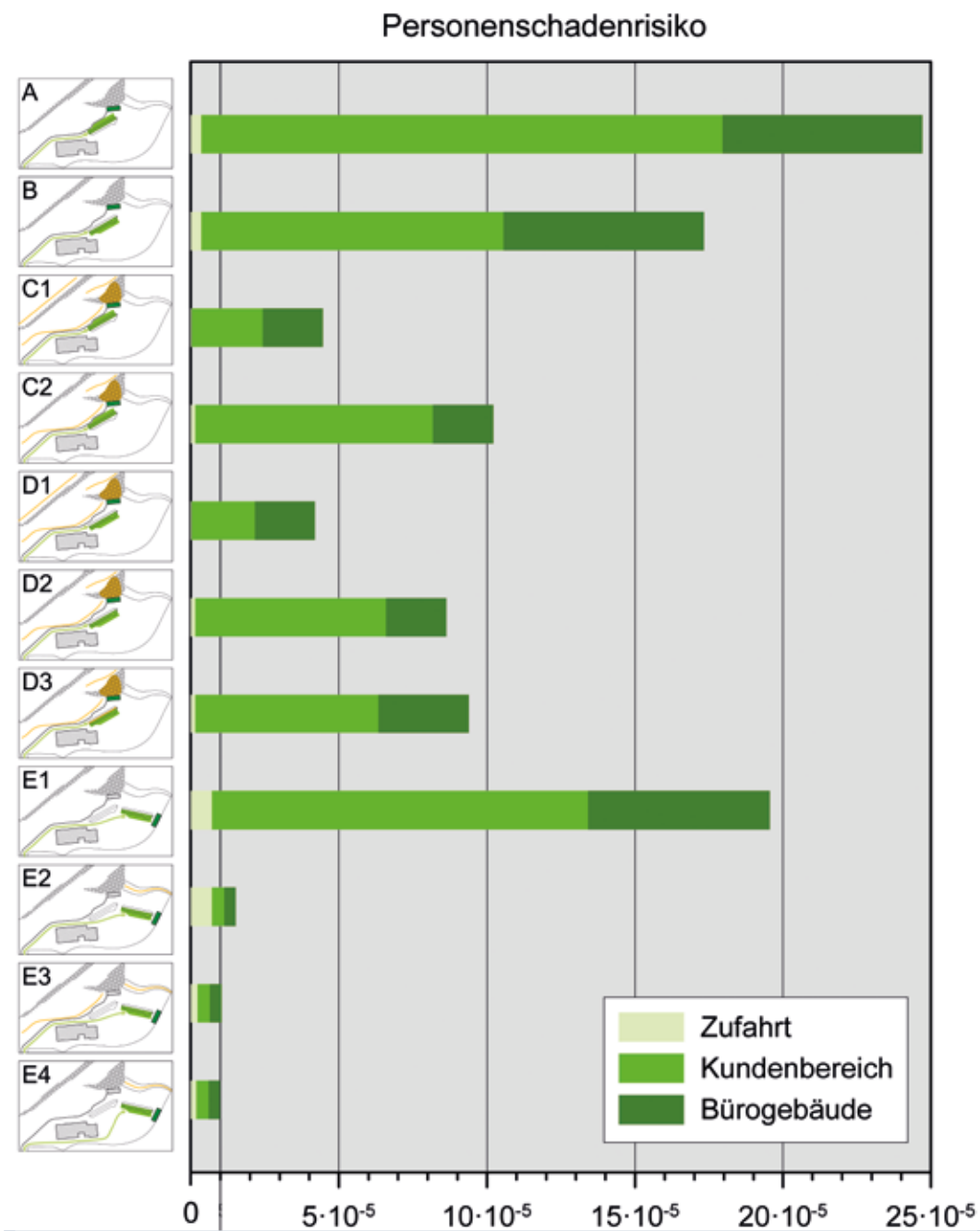


Abbildung 6: Gesamt-Personenschadensrisiken für die untersuchten Szenarien (mit ausgewiesenen Risikoanteilen in Abhängigkeit vom Aufenthaltsort).

Figure 6: Total probability (total risk) of an injury to persons, with risk portions of the different domains of the collection station (access road, customer area, office building).

tainer samt bestehendem Flugdach) auf das weniger steinschlagexponierte südlich angrenzende Areal; zusätzlich errichtete sie dort ein neues, bergseitig eingeschüttetes Bürogebäude (Abb. 7). Die Bestandszufahrt wurde belassen und zum neuen Areal weitergeführt. Das Bestandsbürogebäude wurde erhalten und für die Tierkadaver-Sammlung adaptiert. Die für die Verlegung und Adaptierungen anfallenden Aufwendungen von rund € 200.000,- wurden von der Gemeinde Längenfeld getragen.

Von der WLV Gebietsbauleitung Oberes Inntal wurde im selben Jahr der Bestandsdamm hinter dem neuen Recyclinghof-Areal auf einer Länge von 75 Metern ONR 24810-konform erhöht und ertüchtigt. Zum Schutz der Zufahrt wurde auf 160 Laufmetern ein Steinschlagschutznetz der Energieklasse 2.000 kJ mit einer Wirkhöhe von 4 Metern errichtet. Das der neuen Nutzung zugeführte ehemalige Bürogebäude wurde mit 50 Laufmeter Steinschlagnetz (2.000 kJ, 4 m) sowie 90 m² Felsvernetzung geschützt. Des

Weiteren wurden die im Zuge der Bauarbeiten gerodeten Flächen wiederaufgeforstet. Die Gesamtkosten für die von der WLV errichteten Schutzmaßnahmen beliefen sich auf € 355.000,-. Davon entfielen rund € 75.000,- für die Baustelleneinrichtung (Rodung, Wegerschließung, Wiederaufforstung, etc.), € 245.000,- für die Errichtung der Steinschlagschutznetze und € 35.000,- für die Erhöhung des Bestandsdamms. Diese Kosten wurden zu 45 % von der Gemeinde Längenfeld (Interessentenbeitrag) und zu 55 % von Bund und Land finanziert.

Die von der Gemeinde Längenfeld aufzubringenden Mittel – einerseits für die Verlegung des Recyclinghofes (100 %), andererseits für die von der WLV umgesetzten Schutzmaßnahmen (45 %) – beliefen sich auf rund € 360.000,-.

Insgesamt entstanden im Rahmen des Projektes Kosten von rund € 550.000,-. Diese stehen 1,5 Mio. Euro Baukosten für den bestmöglichen technischen Steinschlagschutz am Bestandsstandort gegenüber.



Abbildung 7: Luftaufnahmen vor und nach der Verlegung des Recyclinghofes. Quelle: Luftbildatlas Tirol, Befliegungen 2010 und 2018.

Figure 7: Aerial images taken before and after the relocation. Source: Luftbildatlas Tirol, flights 2010 and 2018.

Fazit

Der Fall Recyclinghof Längenfeld zeigt anschaulich, dass das Aufgeben eines steinschlaggefährdeten Standortes aus wirtschaftlicher als auch aus gesellschaftlich-sozialer Perspektive sinnvoll sein kann. Durch die Verlegung der Anlage wurden nicht nur beträchtliche Kosten gespart (rund 1 Mio. Euro), sondern auch mehr Sicherheit für die Bevölkerung geschaffen.

Das Aufgeben von Standorten und damit verbundene Umsiedelungen sind stets mit beträchtlichen finanziellen und organisatorischen Anstrengungen verbunden. Wenn Wohngebäude betroffen sind kommt häufig der emotionale Aspekt hinzu. Eine fundierte quantitative Risikoanalyse, welche die menschliche Unversehrtheit in den Vordergrund stellt, kann hier – abseits von allen wirtschaftlichen Betrachtungen – sowohl für öffentliche Entscheidungsträger als auch für Privatpersonen eine wichtige Entscheidungshilfe bieten.

Anschrift der VerfasserInnen/Authors' addresses:

Dr. Daniela Engl
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
daniela.engl@die-wildbach.at

Ing. Mag. Dr. techn. Thomas Sausgruber
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
thomas.sausgruber@die-wildbach.at

Mag. Michael Mölk
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
michael.moelk@die-wildbach.at

Ing. Michael Posch
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberes Inntal
Langgasse 88, 6460 Imst
michael.posch@die-wildbach.at

Literatur/References:

ENGL D. (2015). Anwendung von 3D-Simulationen für die szenariobasierte Risikobewertung von Steinschlag. Unveröff. Facharbeit Grundausbildung Wildbach- und Lawinenverbauung. Innsbruck 04.12.2015, 40 S. zuzgl. Berechnungstabellen.

MÖLK M. & ENGL D. (2015). Recyclinghof Gemeinde Längenfeld – Risikostudie für Steinschlagprozesse. Gutachten der Geologische Stelle der WLV vom 07.08.2015.

NITTEL P. (2011). Blockschlag Recyclinghof, Gemeinde Längenfeld: Geologische Stellungnahme. Gutachten der Landesgeologie Tirol vom 12.7.2011.

NITTEL P. & THÖNY W. (2015). Gemeinde Längenfeld: Blockssturz im Bereich des Recyclinghofes am 30.3.2015. Gutachten der Landesgeologie Tirol vom 13.4.2015.

ÖSTERR. GESELLSCHAFT FÜR GEOMECHANIK (2014). Empfehlungen für das Schutzziel bei gravitativen Naturgefahren in Österreich. 16 S.

ONR 24810 (2020). Technischer Steinschlagschutz - Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung.

SAUSGRUBER T. (2015). Stein- und Blockschlag Recyclinghof Längenfeld. Gutachten der Geologische Stelle der WLV vom 30.4.2015.

BENEDIKT RIEDER, MICHAEL MÖLK, HUBERT AGERER, ARMIN KLAUSER

Felssturzgefährdung Weißwald: vom Erkennen der Gefahr über die Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes zur Maßnahmenplanung

Rock-fall Weisswald, from the detection of the hazared via the development of a safety concept to the design of mitigation measures

Zusammenfassung:

Im Bereich Weißwald kam es am 12.11.2020 zu einem Steinschlagereignis, bei einer Befliegung wurde ein instabil gelagertes Blockhaufwerk vorgefunden. Als Sofortmaßnahme wurde ein Haus evakuiert, die L16 gesperrt, eine Ersatzstraße errichtet und ein Radarmessgerät am Talboden errichtet. Zeitgleich wurde ein Mess- und Vorwarnsystem im potentiellen Ablösegebiet installiert. Als finale Maßnahme soll ein Damm bergseitig der Straße L16 errichtet werden.

Abstract:

On 12.11.2020, a rock-fall event occurred in the Weißwald area; during an aerial survey, an unstable pile of mega-boulders was found. Safety measures included evacuation of a house, the closure of the main road, construction of a replacement road and setting up of a radar measuring device on the valley floor. At the same time, a warning system was installed in the potential detachment area. As a final measure, an rock-fall embankment will be built at the foot of the slope.

Stichwörter:

Steinschlag,
Blockschlag,
Sicherheitskonzept,
Steinschlagschutzdamm,
Maßnahmenplanung

Keywords:

*Rock-fall, safety concept,
rock-fall embankment,
design of mitigation measures*

Einleitung

In der Gemeinde St. Leonhard im Pitztal kam es im Bereich des Weilers Weißwald am 12.11.2020 zu einem Steinschlagereignis, bei dem ein einzelner Block mit einer Kubatur von ca. 1,5 m³ die Landesstraße L16 querte und nördlich des Apartmenthauses „Bergdokter“ zum Stillstand kam (vgl. Abbildung 2, unten)

Daraufhin wurde von der Landesgeologie eine Hubschrauber-Befliegung durchgeführt. Es zeigte sich, dass aus dem zuordenbaren Ablösebereich vom 12.11.2020 keine weitere Gefährdung für den Siedlungsraum ausgeht. Auf gleicher Höhenlage wurde jedoch ein Blockhaufwerk vorgefunden, welches augenscheinlich eine labile bzw. instabile Lagerung von zahlreichen, aufeinanderliegenden Großblöcken darstellt (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1:
Oben: Blockhaufwerk auf ca. 1980 m.ü.A, Hubschrauberflug vom 17.11.2020 (WLV), unten: Blick von oben



Figure 1:
Above: Boulder stack at 1980 m.ü.A, helicopter flight 17.11.2020 (WLV), below: View from above

Chronik

Bei der Sichtung der historischen Luftbilder von 1974 und 1990 wurden Hinweise auf Steinschlagereignisse gefunden, die wie der Block vom

12.11.2020 bis auf den Talboden bzw. den Siedlungsraum vorgedrungen sind (siehe Abbildung 2 links und rechts).



Abbildung 2:

- Ⓐ Befliegung 1990,
- Ⓑ Befliegung 1974,
- Ⓒ Hubschrauber 11./2020 (WLV), rote Kreise markieren Sturzblöcke (Ⓐ & Ⓑ: Laser- & Luftbildatlas Tirol)

Figure 2:

- Ⓐ Aerial photography 1990,
- Ⓑ Aerial photography 1974,
- Ⓒ Helicopter 2020, red circles are marking boulders (Ⓐ & Ⓑ: Laser- & Luftbildatlas Tirol)

Gefahrenanalyse

Aufgrund der potentiellen Gefährdung des Siedlungsraumes durch drohende Sturzprozesse aus dem Blockstapel wurde im Anschluss eine weitere Befliegung mit der WLV (Gebietsbauleitung, FZ Geologie und Lawinen, Landesgeologie) veranlasst.

Seitens der Landesgeologie wurde von der Abt. Geoinformation des ATLR eine Reihe von vermessungstechnischen sowie photogrammetrischen Auswertungen angefragt.

Unabhängig davon wurde zur Abklärung allfälliger Bewegungen im Blockstapel bzw. zur Bereitstellung von Warnkriterien für ein bevorstehendes oder stattfindendes Versagen des Blockstapels beschlossen, ein Messsystem vor Ort zu installieren.

Um die Blockkubaturen zu ermitteln, wurde von der Abt. Geoinformation des ATLR (Klauser, 2020) ein terrestrischer Laserscan durchgeführt (vgl. Abbildung 3).

Ebenso wurde ein ALS Differenzenmodell (von 2006 bis 2017) des gesamten Einhanges durchgeführt (Klauser, 2020).

Geologische Erhebungen – Installation eines Messsystems

Am 23. und am 24.11.2020 wurde ein Team bestehend aus HTB (Sicherheitstechnik, Hubschraubermanagement), Trigonos (Vermessungs- und Messtechnik) und WLV (Geologie) zu dem potentiellen Ablösebereich geflogen. Dabei wurden geologische Erhebungen durchgeführt und ein „Echtzeit“-Online-Messsystem installiert.

Bei den anstehenden Gesteinen im Bereich des Blockstapels bzw. an den Abschiebungen bergseits handelt es sich um Gneise und Amphibolite des Ötztal Kristallins.

Im Bereich der Felsaufschlüsse oberhalb des Blockstapels wurde die Raumstellung der Trennflächen im anstehenden Fels (Klüfte, Schieferung) gemessen. Die Gefügeaufnahmen zeig-

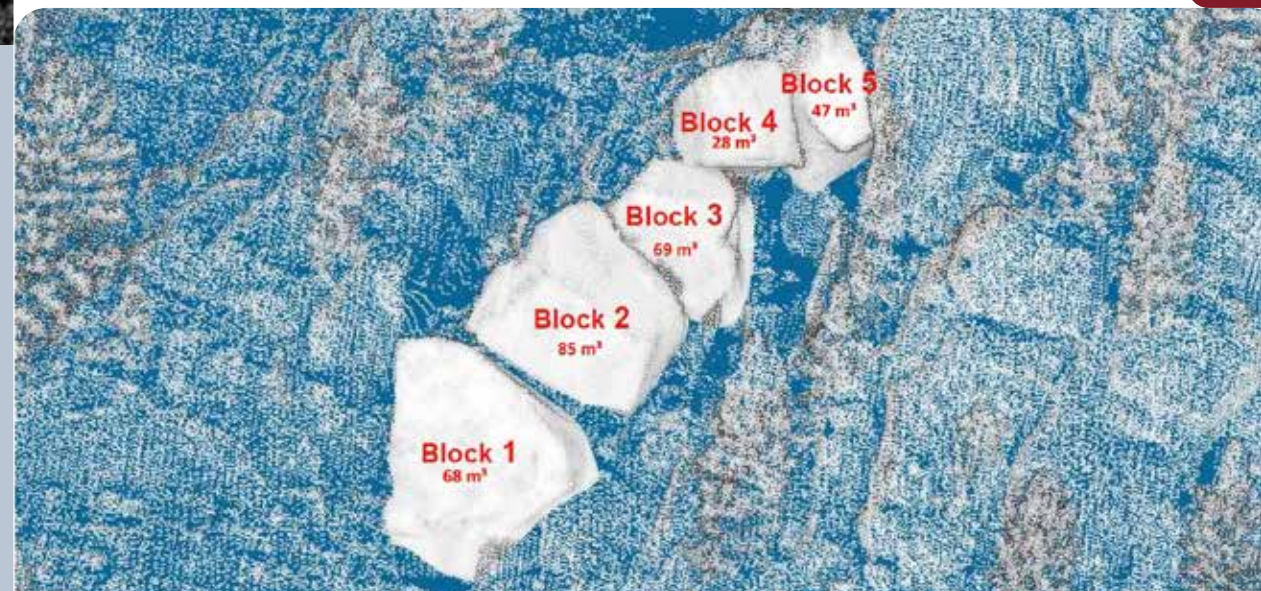


Abbildung 3: Mittels terrestrischem Laserscan modellierte Blöcke mit berechneten Volumina (verändert nach Klauser, 2020)

Figure 3: By terrestrial laser scanning modelled blocks with calculated volumes (modified after Klauser, 2020)

ten, dass sich aus Trennflächenverschneidungen häufig Verschneidungslinien bilden, die in Kombination mit der Hangexposition zu Keilversagen führen können. Auch Biegekippen (flexural toppling) ist in untergeordneter Bedeutung möglich. Dies sind jene Versagensmechanismen, die auch in der Felswand unterhalb des Blockstapels bzw. in den Wandstufen nördlich/nordöstlich davon auftreten können. Der Blockstapel selbst ist aufgrund des kohäsionslosen aufeinander Liegens der einzelnen Großblöcke von diesen Versagensmechanismen der anstehenden Festgesteine nicht betroffen.

Der „Keyblock“ des Blockstapels (unterster Block Nr. 1 gem. Abbildung 1, 3 & 4, 68 m³)

besitzt einen Punktkontakt zu einem vergleichsweise kleinen Block (ca. 2–3 m³), der sein talseitiges, südliches Widerlager darstellt. An diesem Punktkontakt wurde eine relativ frische Abplatzung festgestellt (siehe Abbildung 4). Der Block 1 ist jedoch im Nordosten gut im Hangschutt bzw. aufgelockerten anstehenden Fels gebettet. Damit müsste für eine Mobilisierung von Block 1 – das wiederum zu einer Versagenskette der Blöcke 2–5 führen würde – dieses Widerlager versagen.

Seitens der WLV-Geologie wurde die Lagerung des Blockstapels in Übereinstimmung mit der Landesgeologie als labil klassifiziert.

Hinweise auf ein unmittelbar bevorstehendes Versagen/Zerbrechen des Widerlagerblo-



Abbildung 4: Blockstapel, die Vergrößerung zeigt den Punktkontakt, an dem frische Abplatzungen zu erkennen sind (roter Ausschnitt)

Figure 4: Rock pile, insert shows the point contact where fresh chips can be seen

ckes (Rissbildung durch den Widerlagerblock) wurden nicht vorgefunden. Nach dem Lokalausgangsschein wurde aufgrund der o. a. Befunde empfohlen, die Landesstraße zu sperren und das Haus Weißwald Nr. 88 zu evakuieren.

In Hinblick auf die Bewertung der Gefährdung des Siedlungsraumes sowie die Bemessung von allfälligen Schutzmaßnahmen stellen die am Hangfuß zu erwartenden Sturzblockgrößen einen maßgeblichen Parameter dar. Die Ausgangskubaturen der Großblöcke des Blockstapels liegen gem. Klausner (2020) „Abschätzung des Volumens der Steinblöcke“ zwischen 28 und 82 m³ (vgl. Abbildung 3). Aufgrund von bestehenden Trennflächen (Schieferung, Klüfte) ist jedoch im Zuge des Sturzverlaufes über die

ca. 250m hohe Wandstufe sowie den darunter folgenden Schuttkegel mit einer Zerlegung dieser Blöcke zu rechnen. Statistische Erhebungen im Bereich der Schutthalden im Unterhang (siehe Abbildung 5, rechts) zeigen eine Maximalblockgröße von $\leq 13,5$ m³. Dies belegt eine weitere Zerlegung der Sturzblöcke entlang von Klüften mit einem relativ geringen Durchtrennungsgrad und entlang der Schieferungsflächen der Gneise und Amphibolite. Gemäß ONR 24810:2020 ist für eine hohe Ereignisfrequenz das stückbezogene 97 % Fraktile der Kubatur der vorhandenen Sturzblöcke im Bereich des Bauwerksstandortes maßgeblich. Aus der dahingehenden Auswertung der vermessenen Sturzblöcke ergibt sich ein Bemessungsblock von 5 m³.



Abbildung 5: Bild links: Blockstapel mit Trennflächen (rote Linien) wo Zerlegung zu erwarten ist, Bild oben: Blockschutthalde im Unterhang

Figure 5: Picture left: Rock pile with fissures (red lines) where fragmentation is to be expected, picture above: Rock scree slope at foot of slope

Aufbau des Mess- und Vorwarnsystems

Das Messsystem beinhaltet folgende Komponenten:

- 14 Messprismen (periodische tachymetrische Vermessung vom Talboden aus)
- 6 Rissmessgeber (Fissuromenter/Stangenextensometer) mit Funkmodem und Basisstation am Talboden



Abbildung 6:
oben: Fissurometer
(gelbe Rechtecke) und
unten Messprismen (roter
Kreis)



Figure 6:
above: Fissurometer
(yellow rectangles) and
below: reflectors (red
circle)

Rissmesser (Fissurometer) als Mess- und Warnsystem im potentiellen Abbruchgebiet

Die Fissurometer liefern stündlich Messwerte in Hinblick auf die Rissweiten bzw. Rissweitenänderungen per Funk an die Basisstation am Talboden. Von dort werden die Daten über das Mobiltelefonnetz an das betreuende Vermessungsbüro übermittelt und vollautomatisch in ein „Webportal Geomonitoring“ eingespielt (Trigonos, 2021). Dort können sie von allen Berechtigten eingesehen werden. Nach Vorliegen erster Messergebnisse wurden vom Projektteam (WLV, Trigonos) Schwellenwerte für die Rissverformungen festgelegt, deren Überschreitung zu einer Verständigung eines Expertenteams gemäß Sicherheitskonzept führt.

Nach einem Messzeitraum von ca. 3,5 Monaten zeigen die Sensoren teilweise einen geringen Tagesgang (S2) von $< 0,2$ mm, eine kontinuierliche, signifikante Verformung mit einem Gesamtbetrag von ca. 0,4 mm (in ca. drei Monaten) ist nur bei Sensor 2 zu erkennen (Abbildung 7) Dieser Sensor überbrückt die Spalte zwischen Block 2 und 3. Die subhorizontale Basisfläche von Block 2 wird von einer Spaltenfüllung aus kopfgroßen Steinen und feinerem Lockergestein gebildet (vgl. Foto 5, links). Bei der vorliegenden „Spaltenfüllung“ inkl. Feinteilen aus Verwitterungsmaterial kann aus geologischer Sicht mit Schwankungen des Wassergehaltes und den damit einhergehenden Volumsänderungen bei Frost gerechnet werden. Daher wird aus derzeitiger Sicht diese sehr geringe Verformung ohne eine absehbare weitere Entwicklung (z. B. erkennbare Beschleunigung) als unkritisch angesehen.

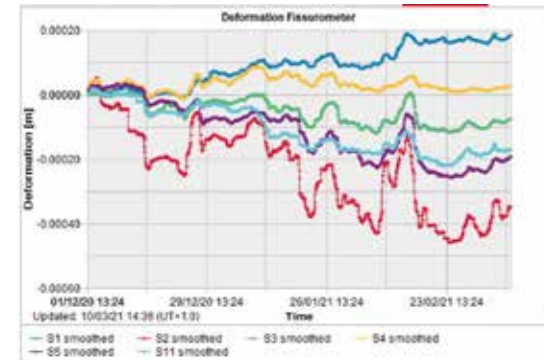


Abbildung 7: Bewegung der Blöcke, gemessen mit Fissurometern, dargestellt im Webportal

Figure 7: Movement of the blocks, measured with fissurometers, shown in the web portal

Geodätische Messungen

Die installierten Messprismen wurden am 26.11.2020 erstmals tachymetrisch vermessen (ATLR, Abt. Geoinformation). Folgemessungen wurden bzw. werden in größeren Zeitintervallen durchgeführt. Die bei den tachymetrischen Messungen erzielbare Genauigkeit liegt auf Grund der großen und einseitig gemessenen Zielweiten von bis zu 760m bestenfalls bei ± 5 mm. Ein Vergleich mit den sehr geringen Verformungsraten von < 1 mm der Rissmessungen ist damit nur eingeschränkt möglich.

Radarmessgerät am Talboden (Schöffl, 2021)

Zur realen Echtzeit Detektion von allfälligen Ablösungen des Blockstapels wurde am Talboden ein hochfrequenz-Dopplerradar der Firma Koschuch installiert (Schöffl et al, 2021). Damit ist eine automatische Steuerung einer Ampelanlage im Bereich der Landesstraße L16 möglich. Mit dieser Messtechnik können zwei relevante Parameter detektiert werden: einerseits die Bestimmung der Größe von bewegten Objekten über die Intensität des gemessenen Signals (W/m^2) und andererseits die Geschwindigkeit des Objektes über das Doppler-Frequenz-Spektrum. Das Hochfrequenz-Radar wurde dahingehend kalibriert, Objekte mit einer Blockgröße von $> 1 m^3$ zu detektieren, die sich in Falllinie bewegen. Damit ist eine Abgrenzung z. B. zu Wild und Kleinlawinen möglich (Schöffl, 2021).

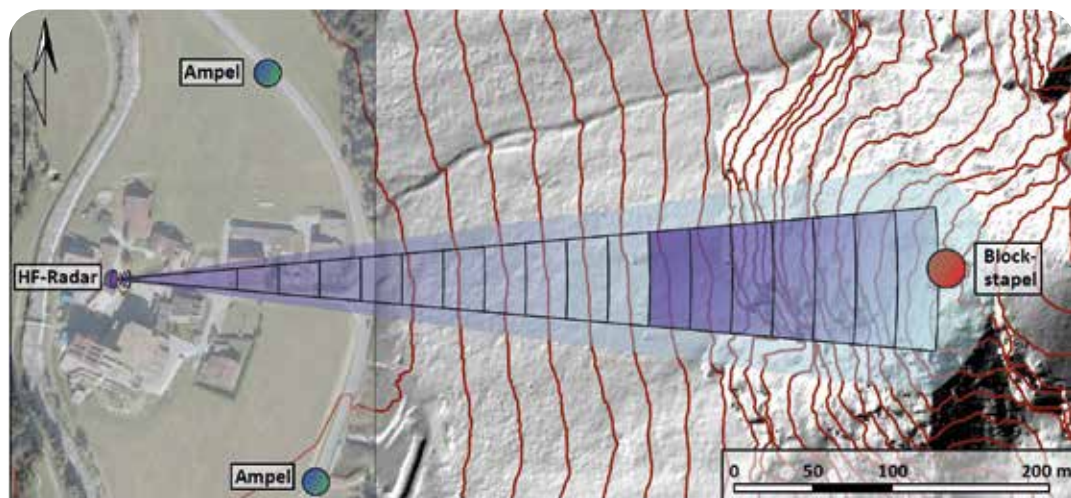


Abbildung 8: Anordnung der Echtzeit-Detektion mittels Radar (Schöffl, 2021)

Figure 8: Setup of real time radar detection (Schöffl, 2021)

Sicherheitskonzept

Aufgrund der bestehenden Felssturzgefährdung der Landesstraße L16 im Bereich Weißwald, Gde. St. Leonhard i. P., sowie eines Mehrparteienwohnhauses wurde durch einen Expertenstab aus Gemeinde (Bürgermeister), WLW (Gebietsbauleitung Oberes Inntal, Fachzentrum Geologie), ATR (Landesgeologie, Geoinformation, BBA) und Vermessungstechnik (Trigonos, Koschuch) ein Sicherheitskonzept entwickelt, beschlossen und umgesetzt, das folgende Aktionen umfasst:

- Sperre der Landesstraße im betroffenen Abschnitt
- Evakuierung des betroffenen Wohnhauses
- Errichtung einer Ersatzstraße durch den Weiler zur Erschließung von Weißwald und des taleinwärts liegenden Siedlungsraumes
- Installation eines Mess- und Warnsystems (Rissmesser im potentiellen Abbruchgebiet, Radaranlage am Talboden, hochauflösende Webcam) mit Fernübertragung und Alarmierungsfunktionalität

Aus den 2D- und 3D-Steinschlagsimulationen ergibt sich an Hand der zu erwartenden Translations-Geschwindigkeiten eine Zeitspanne von ca. 25–30 Sekunden von der Ablösung von Blöcken aus dem Blockstapel bis zu deren Eintreffen auf der Landesstraße. Für die Befahrung des potentiell gefährdeten Straßenabschnittes von ca. 300 m Länge sind bei einer Mindestgeschwindigkeit von 50 km/h ca. 22 Sekunden erforderlich. Damit wäre es möglich, über eine Ampelregelung (Auslösung der Ampelschaltung durch Bewegungsdetektion mittels Radar) die Landesstraße bei einer verfügbaren Mindestgeschwindigkeit zu öffnen, sofern aufgrund der Straßenverhältnisse diese Geschwindigkeit auch gefahren werden kann (PKW, Busse, landwirtschaftliche Fahrzeuge, Schneefahrbahn etc.)

Es wurden daher zwei Sicherheitskonzepte ausgearbeitet, welche die jeweiligen Kriterien und Vorgehensweisen für eine offene Landesstraße L16 bzw. eine gesperrte Landesstraße (Nutzung Ersatzstraße) regeln.

L16 Pitztalstraße offen

Für den Fall einer Öffnung der Landesstraße bei günstigen Straßenverhältnissen und bei Tageslicht wird die bestehende Ampelanlage an der L16 durch eine Radaranlage gesteuert. Detektiert diese ein bewegtes Objekt (Kubatur $> 1 m^3$) innerhalb der eingestellten Visur, wird die Ampelanlage unverzüglich auf Rot geschaltet. Parallel dazu wird automatisch eine SMS an einen im Vorfeld definierten Personenkreis geschickt.

In diesem Fall ist weiterhin eine Verkehrsführung über die Ersatzstraße möglich. Durch die in einer Verteilerliste definierten Experten ist sodann eine Evaluierung des Alarmes in Abstimmung mit den Messdaten der Fissurometer, der hochauflösenden Webcam, der Webcam der Landesstraße und den gemessenen Radarsignalen durchzuführen.

Bei den installierten Fissurometern wurde seitens der WLW (Geologie) ein Schwellenwert festgelegt. Kommt es zu einer Überschreitung, wird automatisch ein definierter Personenkreis benachrichtigt. Nach der Alarmmeldung werden die aktuellen Messwerte von den Experten geprüft und entsprechende Maßnahmen gesetzt.

L16 Pitztalstraße gesperrt (Umfahrung über die Ersatzstraße)

Nachdem sowohl Weißwald als auch der taleinwärts davon liegende Siedlungsraum über die Ersatzstraße mit geringen Einschränkungen erreichbar sind, wurde seitens der Bezirksverwaltungsbehörde die L16 in diesem Bereich wegen der oft winterlichen Bedingungen bis 26.03.2021 gesperrt.

Nach diesem Zeitpunkt soll durch Verordnung der BH Imst diese Sperre unter folgenden Voraussetzungen erfolgen:

Generell bei Dunkelheit und wenn witterungsbedingte Fahrverhältnisse eine Mindestgeschwindigkeit von 50 km/h nicht erlauben.

Maßnahmenplanung

Ein richtliniengemäßer Ausbau der Ersatzstraße durch den Weiler verbunden mit deren Neutrasseierung im talinnersten Bereich und eine Ablöse zumindest des derzeit evakuierten Gebäudes liegt kostenmäßig in der Größenordnung des nachstehend beschriebenen Verbauungsvorschlages. Die Errichtung von Schutzmaßnahmen hat auch den Vorteil, dass der Verkehr weiterhin am Weilerand geführt wird und nicht mitten durch den Siedlungsraum verläuft.

Bereits im Rahmen des Aufbaus des Mess- und Vorwarnsystems sowie der Erstellung des Sicherheitskonzeptes wurden mögliche Verbauungsvarianten diskutiert.

Die Nullvariante, und damit keine Errichtung von permanenten Schutzmaßnahmen, wird infolge des großen Schadenspotentials vom Projektteam als nicht akzeptabel angesehen. Das Schadenspotential umfasst neben direkten Schäden im Bereich der L16 und dem Siedlungsraum auch indirekte Schäden durch die Einschränkungen der Erreichbarkeit des Talschlusses (Dauersiedlungsraum, Gletscherschigebiet etc.)

Auch die Beibehaltung des Status quo, das heißt des Mess- und Vorwarnsystems inklusive des Sicherheitskonzeptes, erscheint zum einen infolge der nur behelfsmäßig hergestellten Ersatzstraße, die hinsichtlich Breite, Radien, Neigung sowie Unterbau nicht den gängigen Richtlinien entspricht, und zum anderen durch die aufrechte Evakuierung des dem Hang nächsten Gebäudes mittelfristig nicht vertretbar.

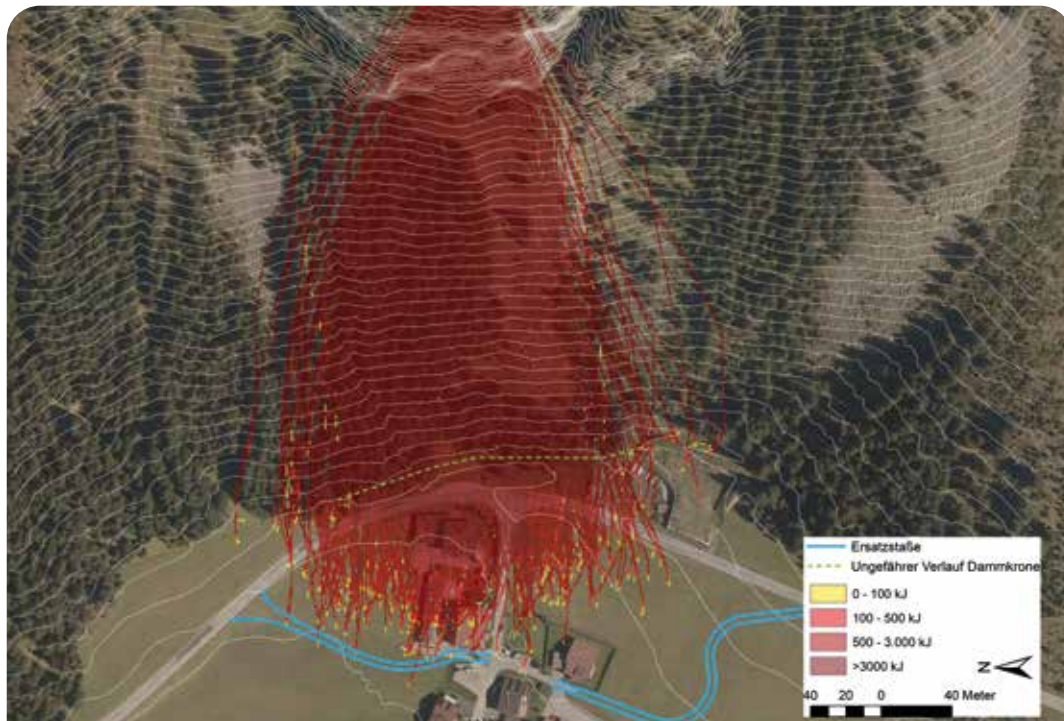


Abbildung 9: Trajektorien der 3D Simulation mit RAMMS::ROCKFALL, Trasse Ersatzstraße, Länge Schutzdamm

Figure 9: Trajectories of the 3D simulation with RAMMS::ROCKFALL, alignment of emergency-road, length of rock-fall embankment

Auch eine Sprengung des Blockaufwerkes wurde erörtert. Eine solche wurde schließlich infolge des kaum abschätzbaren Restrisikos für die im Gefährdungsbereich bestehenden Objekte nicht weiterverfolgt. Auch die Tatsache, dass nicht wirklich realistisch und fachtechnisch belastbar abzuklären war, wie eine Sprengung die Stabilitätsverhältnisse des umliegenden Gebirges beeinflusst, sprach gegen diese Lösung.

Eine geotechnische Sicherung der Großblöcke wurde infolge der Gefährdung der mit der Durchführung der Schutzmaßnahmen vor Ort Beschäftigten sowie auch der Unterlieger, der schweren Zugänglichkeit, der Blockgrößen und auch der unklaren Untergrundverhältnisse nicht als geeignetes Sicherungskonzept angesehen.

Letztendlich verbleibt als mögliche Schutzmaßnahme für den gefährdeten Siedlungs-

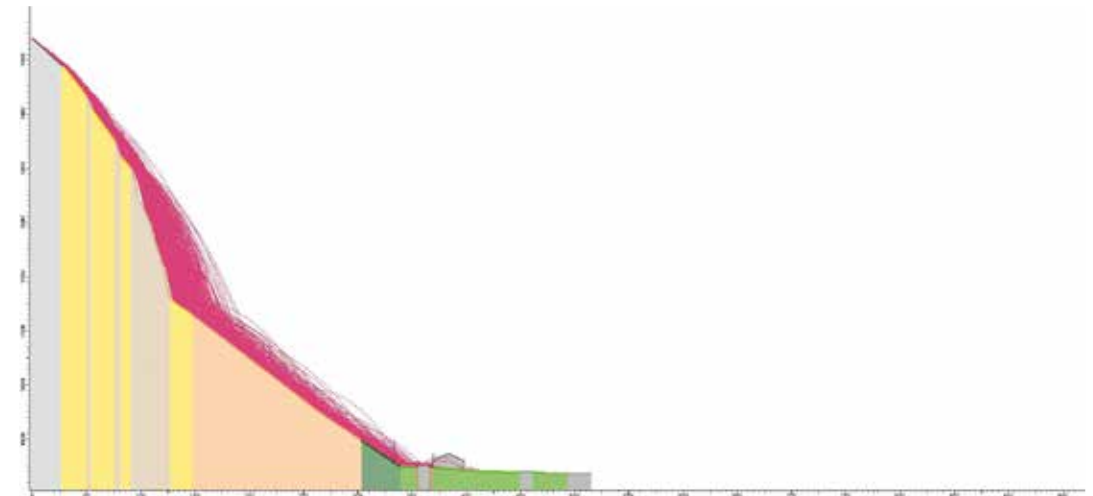


Abbildung 10: Sturzbahnen der modellierten Sturzblöcke (5 m³) im Bemessungsprofil

Figure 10: Trajectories of the modelled design-blocks (5m³) in the design-profile

bereich und auch die unmittelbar am Hangfuß verlaufende L16 Pitztalstraße die Errichtung eines Steinschlagschutzdammes.

In der **3D-Steinschlagsimulation** wurden für den Bemessungsblock (5 m³) aus dem Bereich des Blockstapels Reichweiten sowie Sprunghöhen und Energien am Hangfuß bzw. Talboden ermittelt. Diese stellten die Grundlage für die Abgrenzung des Gefährdungsbereiches (Siedlungsraum und Länge des ampelgeregelten Abschnitts der L16) sowie der Bemessung einer dauerhaften Schutzmaßnahme in Form eines Schutzdammes dar. Die 3D-Steinschlag-Simulation wurde mit dem Programm „RAMMS::Rockfall“ (Version 2017) durchgeführt (vgl. Abbildung 9).

Anhand der Trajektorien wurde die Ersatzstraße vom Baubezirksamt Imst geplant und errichtet sowie von der Wildbach- und Lawinenverbauung die Situierung des Dammes, insbesondere dessen Länge festgelegt.

Die **2D-Simulation**, deren Ergebnisse für die Detail-Bemessung des Schutzdammes herangezogen wurden, wurde mit dem Programm „Rocfall 7.0“ durchgeführt.

In Abbildung 10 sind die Trajektorien von 1000 modellierten Blöcken mit einer Größe von 5 m³ in der zweidimensionalen Steinschlagsimulation mit Rocfall dargestellt.

Planung Steinschlagschutzdamm

Die Planung erfolgte durch das Büro Geotechnik Henzinger ZT GmbH, Grinzens (Henzinger, 2021), wobei die Grundlage der Dammbemessung nachstehende, anhand der Simulationen des FZ Geologie und Lawinen ermittelten Parameter bilden:

Blockgröße:	5 m³
Blockdurchmesser:	2,1 m
Blockdichte:	3 t/m³
Blockgeschwindigkeit:	40 m/s (unabhängig vom Einschlagwinkel)
Charakteristische Einschlaghöhe:	6,94 m OK Block über Fallboden
Charakteristische Einschlagenergie:	12 860 kJ

Aufgrund des Schadenspotentials wird gem. ONR 24810:2020 von der Schadensfolgeklasse CC 2 ausgegangen.

Die geotechnische Bemessung (Tragfähigkeitsnachweis gem. ONR 24810:2020) des Steinschlagschutzdammes ergibt auf Grundlage der untersuchten Damngeometrie bei einer schutzfunktionalen Dammhöhe von 10,5 m eine Kronenbreite von 4,5 m (Henzinger, 2021).

Anhand der Trajektorien der 3D-Simulation (Abbildung 9) sowie der Geländemorphologie wird die Dammlänge mit ca. 230 m festgelegt. Im relevanten Bereich im GZP St Leonhard im Pitztal ist sowohl eine Rote Wildbach- als auch Lawinengefahrenzone ausgeschieden. Durch den geplanten Damm ist bei einem Ereignis der vorerwähnten Größenordnung ein Wasserrückstau

zu erwarten. Daher ist eine Fassung der allenfalls anfallenden Wässer im ca. 5 m breiten Fallboden und deren Ableitung über eine ca. 150 m lange Rohrleitung in die Pitze vorgesehen. Zur Durchführung allfälliger Räumungsarbeiten wird ein ca. 125 m langer Weg im taläußerer Dammbereich in den Fallboden geführt.

Nachdem der Böschungsfuß nur ca. 2 m vom hangseitigen Rand der L16 Pitztalstraße entfernt verläuft, ist es aufgrund der großen straßenseitigen Böschungshöhen von ca. 18 m zur Sicherung der Straße vor abgehenden Schneerutschen erforderlich, eine 2 m breite Berme zu errichten. Diese wird auch aus Herstellungs- und Zugänglichkeitsgründen durchgängig auf ca. 9,5 m Höhe unter der Dammkrone angeordnet.

Die Dimensionierung des Steinschlagschutzdammes erfolgt gemäß den Bestimmungen der ONR 24810:2020 als „bewehrter Erddamm“ der Typen IV A bzw. IV B, wobei die erstgenannte Type eine Geokunststoffbewehrung mit „geringer Zugfestigkeit/Dehnsteifigkeit“ und die zweite eine solche mit „hoher Zugfestigkeit/Dehnsteifigkeit“ zur Erhöhung der Querverteilung in Dammlängsachse erfordert.

Entsprechend den geotechnischen Berechnungen (Henzinger, 2021) stellt sich der horizontale Einschlag des Bemessungsblockes mit einer Geschwindigkeit von 40 m/s als ungünstigster Lastfall dar. Dies deshalb, da bei einem horizontalen Einschlag, der eine ebensolche Gleitfläche bedingt, keine Bewehrungslagen geschnitten werden. Zur Aufnahme der Ersatzlast steht somit nur die Bodenreibung auf einer entsprechenden Breite zur Verfügung.

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich ist, kann davon ausgegangen werden, dass bei einer horizontalen Beaufschlagung des Dammbauwerkes ein Aufprall des Blockes im Einhang

zum Fallboden in einer Entfernung von ca. 15 bis 20 m in Lockergestein erfolgen wird. Damit in Verbindung steht eine durchaus realistische Abminderung der Einschlaggeschwindigkeit für eine horizontale Beaufschlagung auf zumindest 35 m/s und kann dadurch die Gleitsicherheit in einem horizontalen Schnitt durch den Damm auch mit einer Wirkungsbreite des 7-fachen Durchmessers des Bemessungsblockes mit den geforderten Sicherheiten nachgewiesen werden.

Gemäß den durchgeführten Berechnungen (Henzinger, 2021) werden die obersten 7 m des Steinschlagschutzdammes mit in der Breite durchgehenden Geogittern in der Querrichtung und zusätzlich dazu mit 5 m breiten Geogittern in der Längsrichtung (siehe Abbildung 11) ausgeführt, wobei der Lagenabstand 0,60 m beträgt. Unterhalb davon werden entsprechenden den durchgeführten Böschungsbruchberechnungen Geogitter mit einem Abstand von ebenfalls 0,60 m, jedoch mit geringerer Festigkeit eingebaut.

Nachdem im nach talauswärts fallend

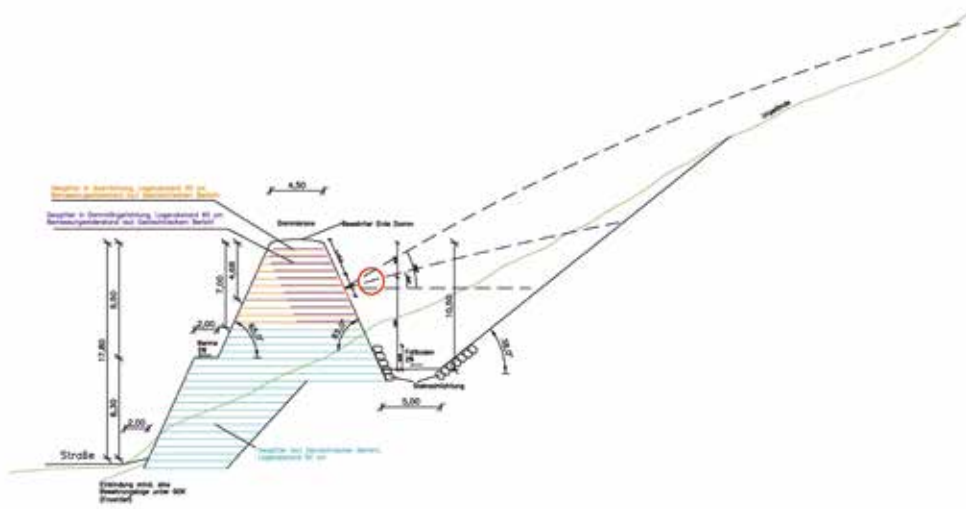


Abbildung 11: Regelquerschnitt Steinschlagschutzdamm Weißwald (Henzinger, 2021)

Figure 11: General design of rockfall embankment (Henzinger, 2021)



Abbildung 12: Visualisierung Steinschlagschutzdamm Weißwald (WLV, OI)

Figure 12: Visualisation of rockfall embankment (WLV, OI)

verlaufenden Fallboden mit einem Wasserabfluss zu rechnen sein wird, sollen der hangseitige Dammfuß sowie die mit einer Neigung von 4 : 5 angeschnittene bergseitige Böschung mit jeweils einer ca. 2 m hohen Grobsteinschichtung gesichert werden.

Das Schüttvolumen für diesen Steinschlagschutzdamm (Abb. 12) beträgt ca. 42 000 m³. Die für die Dammerrichtung erforderlichen Geogitter belaufen sich auf ca. 81 000 m².

Aufgrund der Steilheit des Geländes sowie der beengten Platzverhältnisse ist es erforderlich, den weitaus überwiegenden Teil des für die Dammschüttung erforderlichen Lockergesteins zuzuführen. In diesem Zusammenhang ist vorgesehen, im mittelbaren Nahbereich vorhandene, teilverfüllte Geschiebeablagerungsbecken bzw. entsprechende Zwischendeponien zu räumen. Infolge der durch die Lagenhöhe vorgegebenen Mindestkorngröße wird es erforderlich sein, das teilweise großblockige Geschiebe vor dem Einbau aufzubereiten.

Die Errichtung des Dammes soll nach Erwirken der wasser-, forst- und naturschutzrechtlichen Bewilligung der geplanten Schutzmaßnahmen im Laufe des Jahres 2021 erfolgen.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Benedikt Rieder MSc
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
benedikt.rieder@die-wildbach.at,

Mag. Michael Mölk
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawine
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
michael.moelk@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Hubert Agerer
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberes Inntal
Langgasse 88, 6460 Imst
hubert.agerer@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Armin Klausner
Amt der Tiroler Landesregierung
Abteilung Geoinformation
Herrengasse 3, 6020 Innsbruck
geoinformation@tirol.gv.at

Literatur/References:

ATLR, ABT. GEOINFORMATION (2020):
Steinschlag Weisswald, Höhen- Differenzenmodell 2006/2017. Per Download zur Verfügung gestellt

HENZINGER ZT, (2021):
Geotechnischer Bericht: Felssturzgefährdung Weisswald, Gde. St. Leonhard i. P. Errichtung eines Steinschlagschutzdammes

KLAUSER A., RIECKH M., (2020):
Bericht ATLR: Steinschlag Weißwald, L 16 Pitztal (St. Leonhard im Pitztal)
Bericht zur Abschätzung des Volumens der Steinblöcke

SCHÖFFL T., KOSCHUCH R., MÖLK M., HÜBL J. (2021):
Application of a high-frequency radar for early warning of a rock-fall hazard in the Pitztal valley. 5th RSS Rock Slope Stability Symposium, Chambéry, 2021

TRIGONOS (2021): Monitoringbericht Weisswald

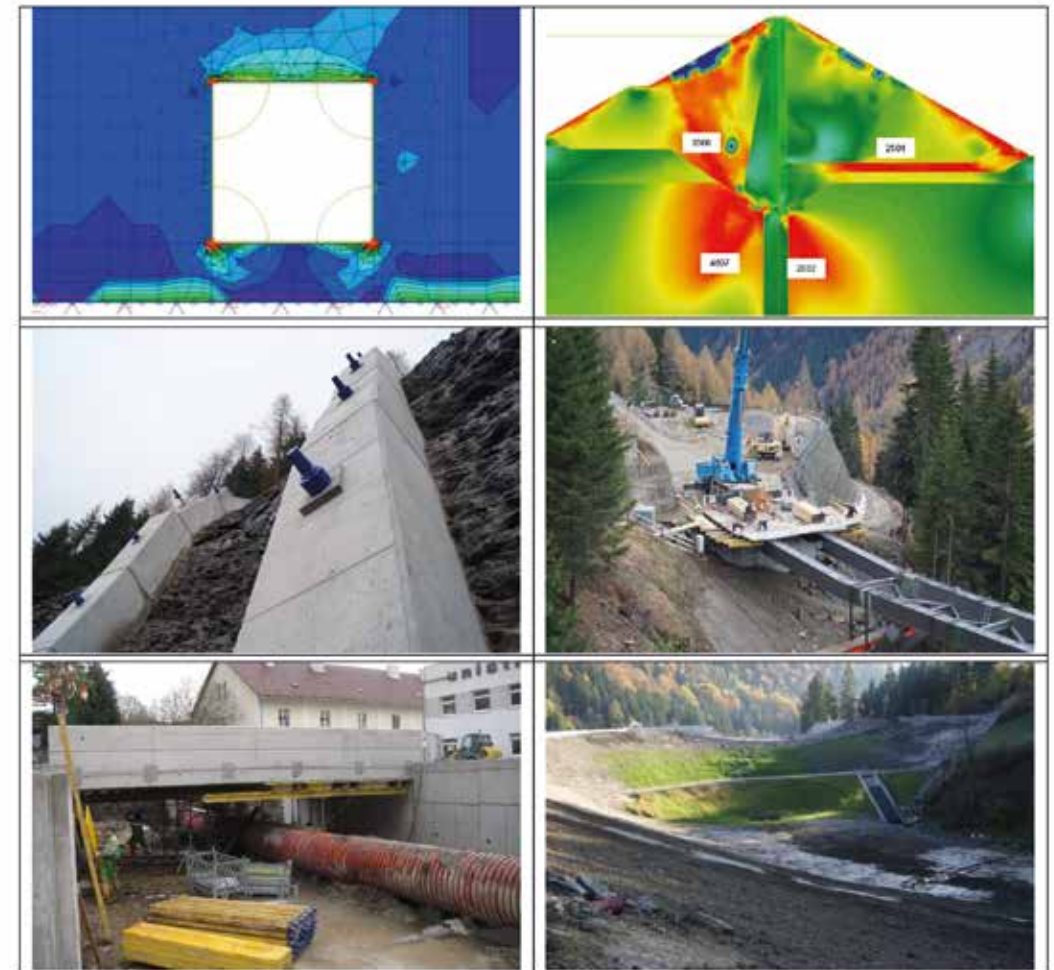
WLV/FZGL, (2020):
AV Felssturzgefährdung Weisswald, Gde. St.Leonhard i. Pitztal: Installation eines Messsystems, Empfehlung Strassensperre, Evakuierung eines Hauses, Sicherheitskonzept GZ 3496/90-2020

WLV/FZGL, (2020):
Gutachten: Felssturzgefährdung Weisswald, Gde. St. Leonhard i.P.: Geologisches Gutachten, Steinschlagsimulation, Dammbemessung

alpinfra consulting + engineering gmbh :: Internationale Ingenieurkompetenz

Innovative Lösungen und Baustellenführung im anspruchsvollen alpinen Umfeld

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



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

TOBIAS SCHÖFFL, RICHARD KOSCHUCH, PHILIPP JOCHAM, HUBERT AGERER, JOHANNES HÜBL

Automatisierte Alarmierung vor Stein- und Blockschlag auf der Bodenalpe

Automated alerting for rock-fall on the Bodenalpe

Zusammenfassung:

Durch das spontane Auftreten von Stein- und Blockschlagereignissen ist ein rascher Handlungsbedarf erforderlich. Bis ein permanenter Schutz durch aktive Verbauungsmaßnahmen in Kraft tritt, kann durch automatische Alarmierungssysteme das Risiko für exponierte Infrastruktur, bewohnte Liegenschaften und Arbeitstätigkeiten im Gefährdungsraum gesenkt werden. Eine zuverlässige Variante bei jeder Witterungslage und jeden Sichtverhältnissen bietet das gepulste Doppler Hochfrequenzradar (HF-Radar). In diesem Beitrag wird der Anwendungsfall einer HF-Radareinheit auf der Bodenalpe aufgearbeitet, analysiert und dargestellt.

Abstract:

Due to the spontaneous occurrence of rock-fall events, rapid information is required. Until permanent and active mitigation measures are installed, automatic alerting systems can reduce the risk to exposed infrastructure, inhabited properties and work activities in the hazard area. A reliable example of such a system is the pulsed Doppler high-frequency radar (HF-radar). Which is working under all weather and visual conditions. In this paper, the application of a HF-radar unit on the Bodenalpe is analysed and presented.

Stichwörter:

Doppler
Hochfrequenzradar,
Automatisierte
Alarmierung,
Straßensicherung,
Baustellensicherung

Keywords:

*Doppler high-frequency radar,
automated alerting, road safety,
construction site safety*

Einleitung

Am 24. Oktober 2017 und an den folgenden Tagen kam es im Fimbatal auf der Bodenalpe (Gemeinde Ischgl) zu Blocksturzereignissen. Dabei drangen vier Sturzblöcke mit einer Kubatur von 2–4 m³ bis in den Talbodenbereich vor. Da der Talweg einen breiten Nutzerkreis aufweist und der landwirtschaftliche Betrieb sowie das Berghotel der Bodenalpe im Wirkungsbereich von Sturzprozessen liegt, wurde durch die Zusammenarbeit von Fachleuten der WLV und der Landesgeologie in Abstimmung mit dem Eigentümer der Bodenalpe und der Gemeinde Ischgl ein Sicherheitskonzept erstellt (Ischgl, 2018). Ein zentrales Element war dabei die dauerhafte Überwachung des Transfergebiets (Abb. 1) der Sturzprozesse durch eine Radareinheit (HF-Radar) der Firma IBTP Koschuch. Im Falle einer Detektion wurde in den Jahren 2018 und 2019 auto-

matisch – neben der Regelung der Straße durch zwei Ampeln – auch eine Sirene aktiv geschaltet und ein SMS/Mail an eine Verteilerliste mit den zuständigen Personen gesendet. Um einen permanenten und aktiven Schutz zu gewährleisten, wurden seitens der WLV (Gebietsbauleitung Oberes Inntal) im Jahr 2019 vier Steinschlagschutzdämme im Verbund errichtet.



Abbildung 1: Sicht von HF-Radar auf den Ablöse- und Transferbereich. (IBTP Koschuch, 2018)

Figure 1: View of HF-radar on the release and transfer area. (IBTP Koschuch, 2018)

Funktion und Detektionsbereich des HF-Radars

Das HF-Radar strahlt gepulst ein keulenförmiges elektromagnetisches Feld (Abb. 2 & 3) aus, welches sich mit Lichtgeschwindigkeit c fortbewegt. Die Sendefrequenz dieses Felds befindet sich im X-Band (10.425 GHz). Die Geschwindigkeit eines Ziels kann dabei über den Doppler-Effekt berechnet werden. Das HF-Radar besitzt zwei Sendeverfahren. Das erste ist das des einfachen gepulsten Doppler Radars. Die Anzahl der gesendeten Pulse pro Sekunde wird als pulse repetition frequency (PRF) [Hz] bezeichnet, wobei das HF-Radar mit einer PRF von bis zu 90 kHz arbeitet. Durch das gepulste Sendeverfahren wird ein Hang somit zu diskreten Zeitpunkten mit elektromagnetischen Wellen bestrahlt. Dabei entspricht eine Rangegatelänge r_{RG} genau der räumlichen Pulslänge τ [s], was wiederum die Einteilung des Hanges in mehrere Rangegates (RG) ermöglicht (Abb. 3) (Skolnik, 2008). Eine Rangegatelänge r_{RG} ist daher wie folgt definiert:

$$r_{RG} = \frac{c\tau}{2} \text{ [m]} \quad \text{Gl. (1)}$$

Bei der zweiten Sendeform wird der gesendete Puls durch eine Phasenumtastung moduliert und einem Binärcodeschema (Barker-Code) zugeordnet. Diese Sendeform wurde beim vor-

liegenden Anwendungsfall verwendet und bietet den Vorteil einer besseren Detektionseigenschaft. Essenziell für den Alarmierungsalgorithmus ist das gemessene Doppler Frequenzspektrum, das sich aus der Intensität [W/m²] und den einzelnen Geschwindigkeitsklassen [m/s] zusammensetzt. Das HF-Radar weist eine maximale Reichweite von 2500m auf, wobei Geschwindigkeiten zwischen 0,2 und 83 m/s detektiert werden können (Koschuch, 2015).

Wie in Abb. 2 & 3 ersichtlich hat die

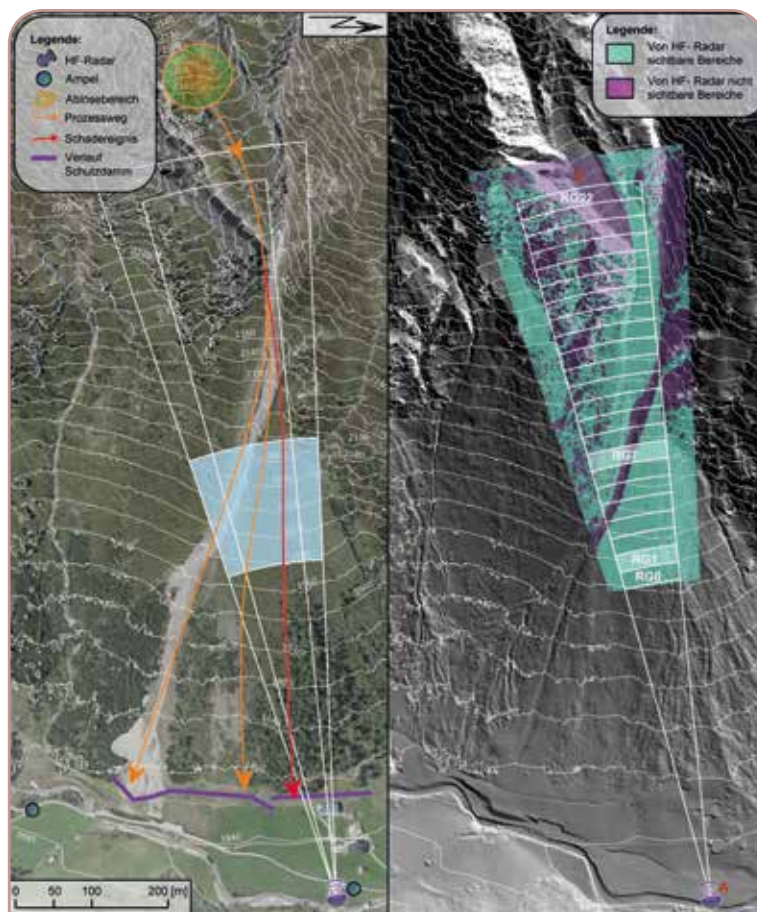


Abbildung 2: Übersichtskarte des Anwendungsfalles „Bodenalpe“ (links) und Sichtfeldanalyse (rechts). (Quelle Basisdaten: tirol.gv.at)

Figure 2: Overview map of the "Bodenalpe" use case (left side) and viewshed analysis (right side). (Quelle Basisdaten: tirol.gv.at)

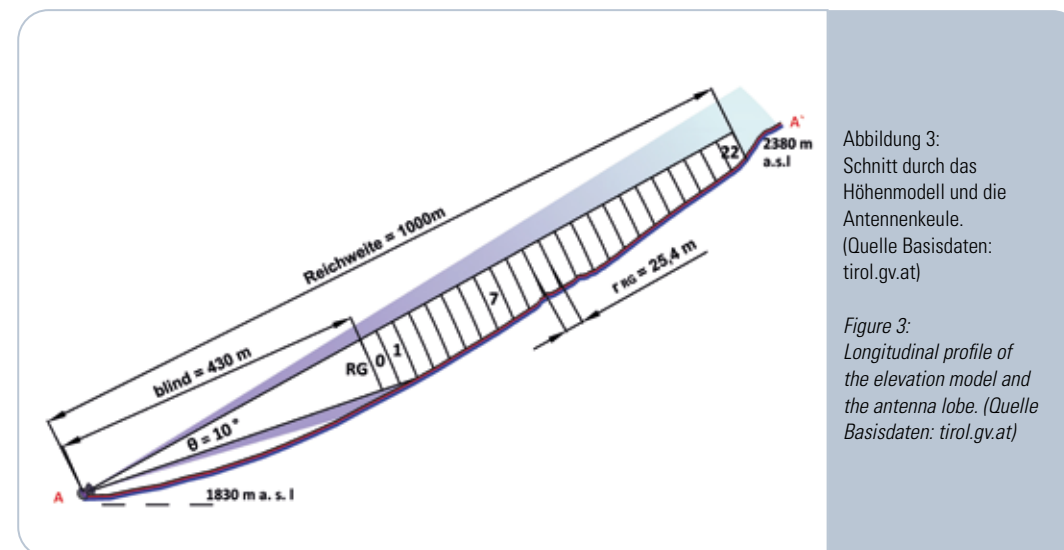


Abbildung 3: Schnitt durch das Höhenmodell und die Antennenkeule. (Quelle Basisdaten: tirol.gv.at)

Figure 3: Longitudinal profile of the elevation model and the antenna lobe. (Quelle Basisdaten: tirol.gv.at)

Antennenkeule den Berghang oberhalb der Bodenalpe auf einer Länge von etwa 570 Meter geschnitten. Es konnten daher 22 Rangegates zur Detektion der Sturzprozesse herangezogen werden, wobei terrainbedingt RG20 bis RG22 großteils abgeschirmt wurden.

Viele der aus dem Ablösebereich mobilisierten Steine und Blöcke lagerten sich in der Abflussrinne im mittleren und nicht bewaldeten

Bereich des Hangs ab. Da jedoch nur eine potentielle Gefahr von den Prozessen, die bis zum Talboden reichen, ausging, wurde eine mehrstufige Alarmausgabe erstellt. Dabei wurden Detektionen aus RG0 bis RG7 zur Alarmierung herangezogen (Abb. 4). Um auch Blöcke zu erfassen, die sich nur temporär abgelagerten und sich dann wieder in Bewegung setzten (Remobilisierung), wurde eine zusätzliche Stufe 4 geschaffen.

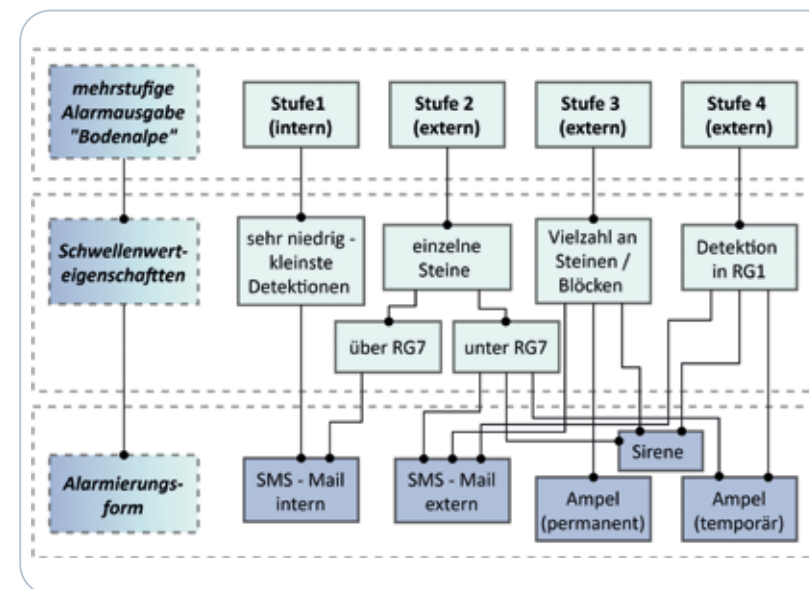


Abbildung 4: Übersicht der mehrstufigen Alarmausgabe „Bodenalpe“.

Figure 4: Overview of the multi-level alarm output "Bodenalpe".

Alarmierungschronik

Im Jahr 2018 wurde von der Silvrettaseilbahn AG eine zusätzliche Überwachung des Hangs in Form einer Videokamera mit Zoomfunktion installiert. Mit Hilfe der Aufnahmen dieser Kamera konnten in den ersten Wochen die Detektionen visuell überprüft und das HF-Radar anschließend

speziell auf den Anwendungsfall kalibriert werden. Neben den verschiedenen Sturzprozessen wurde auch eine Vielzahl an Tieren detektiert. Von den insgesamt 22 großen Ereignissen in Form von einer Vielzahl an Steinen und meist mehreren Blöcken (Abb. 5), die zu einer permanenten Rot-schaltung der Ampeln führten, konnte jedes als solches über das Videomaterial verifiziert werden.

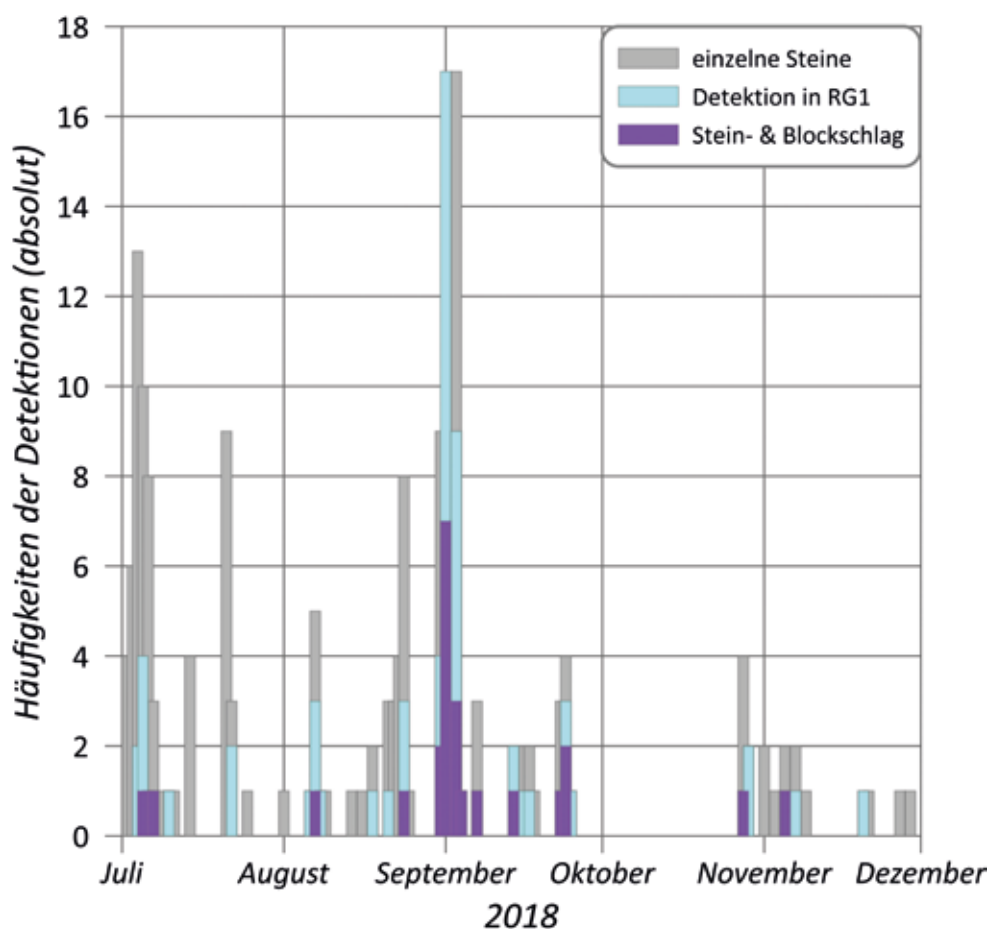


Abbildung 5: Alarmierungschronik 2018

Figure 5: Alarm chronicle 2018

Datenvisualisierung und Schadereignis

Bei der Datenanalyse wurden drei charakteristische Ereignisse miteinander verglichen. Wie in Abb. 6 ersichtlich wurden dabei jeweils einzelne Frames, wobei ein Frame einem Zeitrahmen von 0,44 Sekunden ($dt = 0,44s$) entspricht, einander gegenübergestellt. Ein Frame beinhaltet das empfangene Doppler Frequenzspektrum, aus dem Geschwindigkeit und Intensität (Abb. 6) gefiltert und (als normalisierte Intensität angegeben) abgelesen und für die Alarmausgabe weiterverarbeitet werden können. Für die Alarmierung eines eintreffenden Ereignisses stehen daher innerhalb weniger Frames eine Fülle an Daten aus meist

mehreren Rangegates zur Verfügung. Die Differenzierung zwischen einem Tier und einem sich lösenden, einzelnen Stein kann daher neben dem unterschiedlichen Spektrum auch anhand der Anzahl der betroffenen Rangegates getätigt werden. Der Unterschied im Doppler Frequenzspektrum besteht, wie in Abbildung 6. a.) und b.) ersichtlich in der Anzahl der Geschwindigkeitsklassen. Da beim Stein- und Blockschlagprozess in Form von Rollen und Springen neben der Translationsgeschwindigkeit auch eine Rotationsgeschwindigkeit besteht (Gerber, 2019), kann durch diese Tatsache ein Zusammenhang zum breiteren Spektrum hergestellt werden.

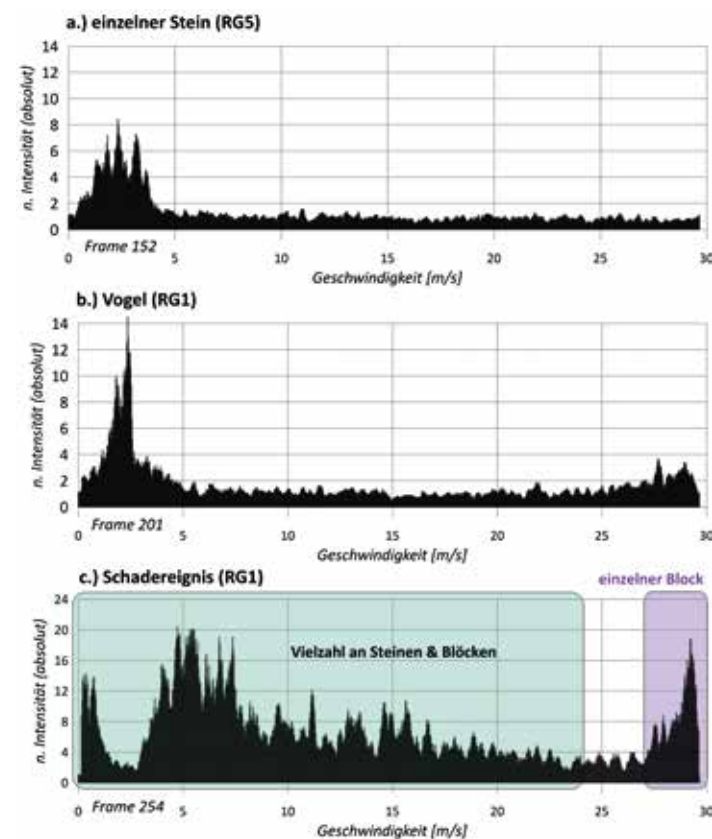


Abbildung 6: Datenvisualisierung einzelner Frames ($dt = 0,44s$) von unterschiedlichen Detektionen

Figure 6: Data visualization of single frames ($dt = 0,44s$) from different detections

Das HF-Radar war auch im Jahr 2019 auf der Bodenalpe im Zeitraum von Juni bis September als Alarmierungssystem zur Baustellensicherung während der Errichtung der Schutzdämme durch die WLV – Oberes Inntal im Einsatz (Abb. 8). Dabei kam es am 12. August 2019 zu einem Schadereignis. Ein Block (Abb. 7) mit einer Kubatur von ca. 6 m³ durchsprang um 19:57 MESZ mit einer Spitzengeschwindigkeit von 29 m/s (Abb. 6 c.) violetter Bereich) den unteren Detektionsbereich (RG7 bis RG0) und drang bis zum unteren Ablagerungsbereich vor, wo er einen Baucontainer der WLV zerstörte und zum Stillstand kam. Die Reich-

weite und der Prozessweg lassen sich einerseits durch die hohe Kubatur und andererseits durch das frühe Ausbrechen des Blocks aus der Abflussrinne erklären (Abb. 2). Die Daten zeigen eine Zunahme der Geschwindigkeit ab RG7, was auf eine geringere Rauigkeit des Untergrunds abseits der Rinne hindeutet. Eine Alarmierung wurde durch das Radar in Form von SMS/Mail ausgesendet. Die Sirene war nach Absprache mit der WLV nur in den Arbeitszeiten (07:00 bis 19:00) aktiv geschaltet. Glücklicherweise herrschte zu diesem Zeitpunkt kein Baubetrieb mehr. Nach Ertönen des Alarmsignals der Sirene wäre der Arbeiterpar-



Abbildung 7: Schadereignis am 12. August 2019, Block trifft Teile der Baustelleneinrichtung (WLV, 2018)

Figure 7: Event on August 12th 2019, block hits construction site equipment (WLV, 2018)

tie eine Vorwarnzeit von etwa 20–30 Sekunden verblieben, um auf die herannahende Gefahr zu reagieren und sich in Sicherheit zu bringen. Während der dreimonatigen Bauzeit der vier Steinschlagschutzdämme schlug untermals sieben Mal die Alarmierung an, wobei einmal drei Ereignisse an einem Tag zu verzeichnen waren. Die dadurch verursachten Arbeitsunterbrechungen waren nur kurz. Bis auf das Schadereignis drangen die detektierten Steinschlagereignisse jedoch nie bis in jene Bereiche vor, in denen die Bauarbeiten erfolgten.

Diskussion und weiterer Forschungsbedarf

Die Vielzahl der Detektionen in Abgleich mit dem Videomaterial ermöglicht eine tiefgehende Analyse des Doppler Frequenzspektrums von Stein- und Blockschlag. Eine statistische Auswertung

bietet die Möglichkeit, einerseits den Alarmierungsalgorithmus zu präzisieren und andererseits das Prozessverständnis zu verbessern. Des Weiteren kann die umfassende zweijährige Datensammlung der Ereignisse mit meteorologischen Daten verknüpft werden, um mögliche Auslösefaktoren genauer zu untersuchen und zu erheben. Auch ein Vergleich mit errechneten Geschwindigkeiten aus Steinschlagsimulationsmodellen stellt eine interessante Forschungsfrage dar.

Seit November 2020 ist die mobile Version des HF-Radars der Universität für Bodenkultur in Kooperation mit dem IBTP Koschuch und der WLV ebenfalls als Alarm- und Frühwarnsystem hinsichtlich einer Felssturzgefährdung in Weißwald (St. Leonhard im Pitztal) im Einsatz (Rieder et. al, 2021).



Abbildung 8: Steinschlagschutzdammverband nach Fertigstellung (Silvrettaseilbahn AG, 2019)

Figure 8: Rock-fall protection embankment after completion (Silvrettaseilbahn AG, 2019)

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Tobias Schöffl
 Universität für Bodenkultur
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
 tobias.schoeffl@boku.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. techn. Richard Koschuch
 IBTP Koschuch
 Langegg 31, 8463 Glanz an der Weinstraße
 office@ibtp-koschuch.com

Dipl.-Ing. Philipp Jocham
 IT Jocham
 Ungergasse 30, 8020 Graz
 office@it-jocham.at

Dipl.-Ing. Hubert Agerer
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Gebietsbauleitung Oberes Inntal
 Langgasse 88, 6460 Imst
 hubert.agerer@die-wildbach.at

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johannes Hübli
 Universität für Bodenkultur
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
 johannes.huebl@boku.ac.at

Literatur/References:

GERBER W. (2019):
 Naturgefahr Steinschlag - Erfahrungen und Erkenntnisse. Heft 74, WSL
 Berichte.

KOSCHUCH R., JOCHAM P., HÜBL J. (2015)
 One Year Use of High-Frequency RADAR Technology in Alpine Mass
 Movement Monitoring: Principles and Performance for Torrential Activities.
 Engineering Geology for Society and Territory, 3 (14): 69-72.

RIEDER B., MÖLK M., AGERER H., KLAUSER A. (2021).
 Felssturzgefährdung Weißwald: vom Erkennen der Gefahr über die Ent-
 wicklung eines Sicherheitskonzeptes zur Maßnahmenplanung. Zeitschrift
 für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, Heft Nr. 187.

SKOLNIK M. I. (2008)
 Radar Handbook, Third Edition. New York: McGraw-Hill Education.

WLIV IMST (2019):
 Projekt Bodenalpe FS.

WLIV – STABSTELLE GEOLOGIE (2017):
 Felssturz Ischgl/Fimbatal – Bodenalpe: Sicherheitskonzept vom 22.06.2018.
 Hrsg.: Gemeinde Ischgl.



**WIR
 SICHERN &
 KULTIVIEREN
 ERDE.**



**Steilwälle
 Wasserbau
 Entwässerung
 Sonderkonstruktionen**



**Hangsicherung
 Böschungssicherung
 Steinschlagschutz
 Stützbauwerke**



J. Krismer | Bundesstraße 23
 A - 6063 Innsbruck - Rum
 T +43 512 26 38 00

www.krismer.at
office@krismer.at



HARALD WEHRMANN

Flächenwirtschaftliches Projekt Kapuzinerberg – Steinschlagschutz in der Stadt Salzburg

Protection Forest Management Plan Kapuzinerberg –Protection against Rockfall in the City of Salzburg

Zusammenfassung:

Der vorliegende Beitrag stellt am Beispiel des Flächenwirtschaftlichen Projektes Kapuzinerberg in der Stadt Salzburg einen ganzheitlichen Ansatz zum Schutz vor Steinschlägen und Hangmuren und die damit verbundenen Herausforderungen im städtischen Bereich vor. Das Schutzkonzept umfasst hierbei die Errichtung von Steinschlag- und Murschutznetzen sowie die Verbesserung der Schutzwirkung der Steinschlag-Schutzwälder durch schutzwaldbewirtschaftende Maßnahmen auf dem höchsten „Inneren Stadtberg“ in Mitten der Stadt Salzburg.

Abstract:

This paper presents a holistic approach to the protection against rockfall and hillslope debris flow and associated challenges in urban areas using the example of the protection forest management plan Kapuzinerberg in the city of Salzburg. The protection concept comprises rockfall and hillslope debris flow barriers as well as protection forest management measures to improve the protective effect of the rockfall protection forests on the highest "inner city mountain" in the centre of Salzburg.

Stichwörter:

Salzburg, Kapuzinerberg,
Steinschlag, Hangmuren,
Schutzwald

Keywords:

Salzburg, Kapuzinerberg, rockfall,
hillslope debris flow, protection forest

Einleitung

Am Beispiel des von der Wildbach- und Lawinerverbauung für die Stadt Salzburg erstellten Flächenwirtschaftlichen Projektes Kapuzinerberg stellt der vorliegende Beitrag einen ganzheitlichen Ansatz zum Schutz vor Steinschlägen und Hangmuren und die damit verbundenen Herausforderungen im städtischen Bereich vor.

Naturgemäß wurden für den vorliegenden Beitrag große Teile aus dem vom Autor verfassten Technischen Bericht des Projekts (Wehrmann, 2020) übernommen und wird auf dessen weitere Zitierung aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet.

Der bis an die Felswände und Steilabfälle des Kapuzinerberges heranreichende Siedlungsraum der Stadt Salzburg ist seit jeher durch Steinschläge, abstürzende Bäume und bei Starkniederschlägen wie zuletzt im Sommer 1991 durch Hangmuren aus den großteils nordseitigen Runsen gefährdet.

Es wurde daher schon sehr früh damit begonnen, die Ablösegebiete im städtischen Besitz von den Bergputzern kontinuierlich beräumen zu lassen und auf Stadt- und Privatgrund Runsenstabilisierungen und Steinschlagschutzmaßnahmen zu errichten. Dadurch konnte der überwiegende Teil der Lastfälle aufgenommen und Schäden im Siedlungsbereich weitgehend verhindert werden.

Die Schutzmaßnahmen gegen Steinschlag und Hangmuren sind daher größtenteils schon älteren Datums, entsprechen nicht dem Stand der Technik und es sind zahlreiche Schadbilder von Durchschlägen und Vorverfüllungen zu verzeichnen.

Aufgrund der damit verbundenen großen und zunehmenden Gefährdung, die auch im Gefahrenzonenplan für den Bereich der Runsen an der Nordseite dargestellt ist und bei der dortigen Entfernung absturzgefährdeter Bäume mittels Hubschrauber im Jahr 2018 eindrucksvoll verdeutlicht wurde, hat die Stadt Salzburg um Planung der erforderlichen Schutzmaßnahmen ange-sucht. Hierbei soll auf Ersuchen der Stadt Salzburg primär die Nordseite des Kapuzinerberges behandelt werden.

Projektgebiet

Der Kapuzinerberg liegt in der Stadt Salzburg am rechten Ufer der Salzach zwischen der Karolinenbrücke und der Staatsbrücke, von wo er sich von 420 m bis auf 636 m Seehöhe erhebt. Das Projektgebiet weist eine Fläche von rund 90 ha auf und umfasst den gesamten Kapuzinerberg inklusive der ihn umschließenden, angrenzenden Straßenzüge mit dem bergseitig am Hangfuß gelegenen Siedlungsraum.

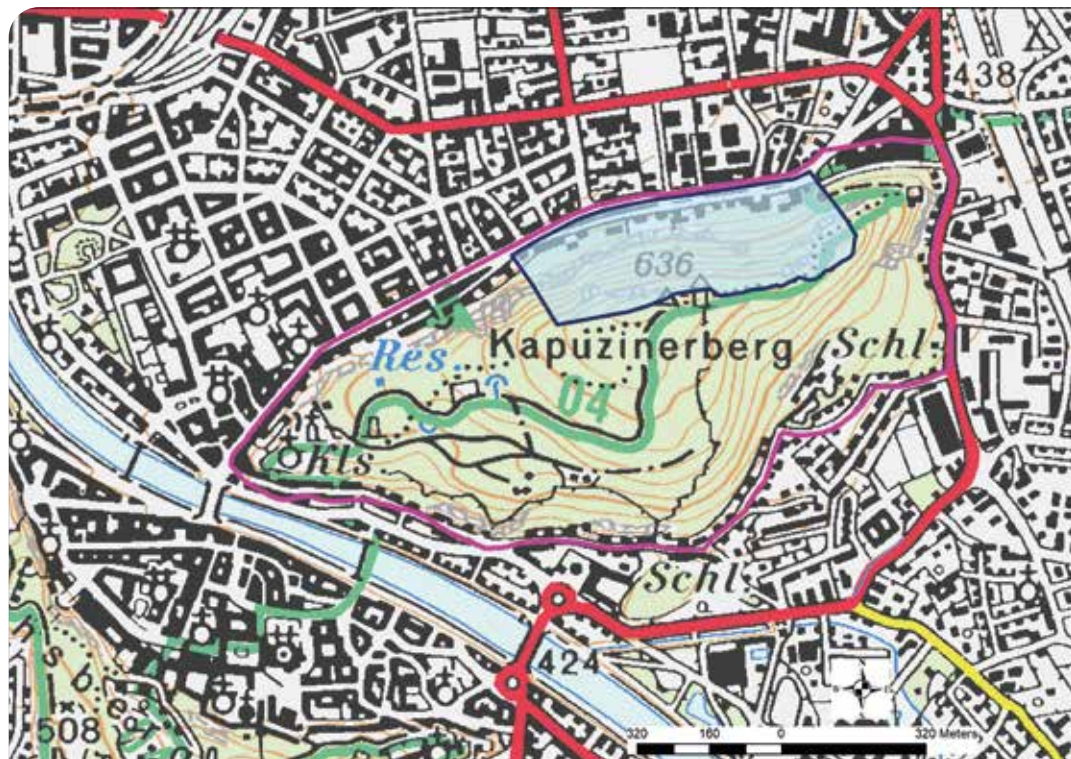


Abbildung 1: Übersichtskarte des Projektgebietes (magentafarbene Umrandung) mit dem Wildbacheinzugsgebiet „Runsen Kapuzinerberg Nordabfall“ (blaue Fläche) (Quelle: wlk)

Figure 1: General map of the project area (magenta edging) with torrent catchment area "Runsen Kapuzinerberg Nordabfall" (blue area) (source: wlk)

Der Kapuzinerberg ist ein von Südwest nach Nordost verlaufender, in seinen oberen Bereichen sanfter Bergrücken, der nach allen Seiten hin Wandstufen unterschiedlicher Höhe und Exposition ausgebildet. Hierbei befinden sich an der überaus steilen Nordseite die höchsten Wandbereiche, die vom Gipfel als zweigliedrige Wandstufen bis in die Talflur reichen. Der Kapuzinerberg weist dementsprechend im Norden eine überaus steile, kühle, luftfeuchte Schattseite und im Osten, Süden und Westen eine steile, wärmebegünstigte Sonnseite auf.

Der gesamte Kapuzinerberg wurde mit der Kapuzinerberg-Landschaftsschutzverordnung der Salzburger Landesregierung zum Landschafts-

schutzgebiet erklärt. Sämtliche Waldflächen des Kapuzinerberges haben im Waldentwicklungsplan die Wertziffer 333 mit hoher Schutzfunktion als Leitfunktion, hoher Wohlfahrtsfunktion und hoher Erholungsfunktion.

Geologisch liegt der Kapuzinerberg im Stirnbereich der nördlichen Kalkalpen und wird von Hauptdolomit, Plattenkalk und an den Unterhängen des östlichen Nordabfalls und der Südostseite von verschiedenen Mergelserien (Schrambach-Formation und Flachwasser-Gosau) aufgebaut. Am Bergrücken sowie an den Felswänden und Steilhängen stehen am östlichen Nordabfall und am Ostabhang der splitterige und wenig widerstandsfähige Hauptdolomit und am

Bezeichnung Messstation (gemäß Hydrografischem Jahrbuch)	Seehöhe [m]	Beobachtungszeitraum	Mittlerer Jahresniederschlag / Normalzahl [mm]	Max. Einzelniederschlag [mm/Zeiteinheit]	Datum
Salzburg-Flughafen	430	Seit 1847	1197	153,5 / 24 h	11.10.1905

Tabelle 1: Repräsentative Niederschlagsmessstation

Table 1: Representative meteorological station

westlichen Nordabfall und am südwestlichen und südlichen Teil des Berges der härtere und bankige Plattenkalk an.

Klimatisch liegt der Kapuzinerberg am Südrand der Klimaregion „Nördliches Alpenvorland“ mit ozeanischem Klima und hohen Sommerniederschlägen und grenzt an die Klimaregion „Nördliche Randalpen“ mit kühl-humiden-mitteuropäischem Klima mit häufigen, langandauernden Stauregen. Die Gewitterhäufigkeit beträgt 20–30 Tage/Jahr. Eine maßgebliche Gewitterstraße für das Projektgebiet existiert im Alpenvorland entlang der Nördlichen Kalkalpen vom Chiemsee bis in das Seengebiet des Salzkammerguts. Katastrophenauslösend für die Runsenabflüsse wirken Starkniederschläge in Form von Gewittern (Front- und Wärmegewitter), insbesondere in Verbindung mit hoher Vorbefeuchtung durch Landregen. Verschärfend für die Steinschlaggefährdung wirken derartige Situationen sowie vor allem der Frostaufgang im Frühjahr und die Aushebelung von Sturzblöcken mit den Wurzeltellern bei Windwürfen.

Waldökologisch liegt der Kapuzinerberg im forstlichen Wuchsgebiet 4.1 Nördliche Randalpen-Westteil und weist folgende natürliche Waldgesellschaften auf:

1. Submontaner **Stieleichen-Hainbuchenwald** an wärmebegünstigten Hängen
2. Sub- bis tiefmontaner **Buchenwald** mit Beimischung von Tanne, Bergahorn, Esche, (Fichte)
3. **Laubmischwälder** mit Bergahorn, Esche und Bergulme an frisch-feuchten (Schutt-)Hängen in luftfeuchtem Lokalklima
4. Sub- bis tiefmontaner **Lindenmischwald** mit Sommerlinde auf trockeneren kalkreichen Schutthängen
5. Sub- bis mittelmontaner Schneeheide-**Rotföhrenwald** kleinflächig als Dauergesellschaft an flachgründigen, sonnigen Dolomit-Steilhängen

Die Erschließung des Kapuzinerberges ist nicht LKW-befahrbar und erfolgt zum einen am westlichen Rand des Nordabfalls ausgehend von der Linzer Gasse durch das Franziskustor und die Felixpforte über den Stefan-Zweig-Weg bis zum Franziski Schlössl und zum anderen am östlichen Rand des Nordabfalls ausgehend von der Fürbergstraße beim EKZ Zentrum im Berg über den Doblweg bis unterhalb des Schweizerhäusls. Bis dato mussten daher die Holzabfuhr vom Kapuzinerberg sowie sämtliche Material- und abtransporte mittels Traktor mit Anhänger erfolgen.

Eine wesentliche Projektidee für den nachhaltigen Erfolg des Flächenwirtschaftlichen Projekts besteht daher darin, dass wie unten beschrieben eine Möglichkeit gefunden werden konnte, eine unscheinbare und naturverträgliche LKW-befahrte Erschließung herzustellen.

Gefährdungspotenzial

Der bis an die Felswände und Steilabfälle des Kapuzinerberges heranreichende Siedlungsraum der Stadt Salzburg ist durch Steinschläge, abstürzende Bäume und bei Starkniederschlägen wie zuletzt im Sommer 1991 durch Hangmuren aus den großteils nordseitigen Runsen gefährdet (siehe unten: Ereignischronik). Diese Gefährdung nimmt durch den schlechten Zustand der Steinschlagschutzwälder und den schlechter werdenden Erhaltungszustand der älteren, nicht dem

Stand der Technik entsprechenden Schutzmaßnahmen zu und ist für den Bereich der Runsen an der Nordseite im Gefahrenzonenplan (Abb. 2) sowie hinsichtlich der Steinschlaggefährdung für den gesamten Kapuzinerberg in den geologischen Gutachten und Steinschlagsimulationen (Mölk, 2019 und Rieder, 2019) im Projekt dargestellt.

Das Gefährdungspotenzial umfasst folgende Komponenten:

1. Schlechter Zustand der Steinschlagschutzwälder
2. Steinschlag
3. Baumschlag
4. Hangmuren
5. Zustandsverschlechterung der alten Schutzbauwerke
6. Bauwerksversagen der alten Schutzbauwerke
7. Zunahme der Gefährdung



Abbildung 2: Gefahrenzonenkarte „Runsen Kapuzinerberg Nordabfall“ (Quelle: wlk)

Figure 2: Hazard Zone Map „Runsen Kapuzinerberg Nordabfall“ (source: wlk)

Ereignischronik

1980er:	Blockschlag Schloss Fürberg: 2 m³ Block bis zu einem Gebäude
1991:	Hangmuren im Bereich „Runsen Kapuzinerberg Nordabfall“
2013:	Steinschlag Ostabfall: ein Gebäude beschädigt
2021:	Felssturz aus rund 5 bis 10 m Höhe unmittelbar hinter dem Stadtarchiv beschädigt den Lesesaal schwer (Abb. 3)
Laufend kleinere bis mittlere Steinschläge:	frische Sturzblöcke, Schlagmarken an Bäumen, teils massive Vorverfüllungen und Durchschläge bei den bestehenden Schutzbauten (Abb. 4 und 5)



Abbildung 3: Felssturz aus rund 5 bis 10 m Höhe unmittelbar hinter dem Stadtarchiv beschädigt den Lesesaal schwer (Foto: Stadt Salzburg/ Wild + Team Fotoagentur GmbH)

Figure 3: Rockslide from about 5 to 10 m of height directly behind the Archive of the City of Salzburg severely damages the reading room (photo: City of Salzburg/ Wild + Team Fotoagentur GmbH)



Abbildung 4:
Frischer Sturzblock hinter
einem Baum im Bereich von
Profil Nord 5 (Mölk, 2019)
oberhalb des Tanzentrums
SEAD

Figure 4:
Recent rock block behind
a tree in the area of profile
line north 5 (Mölk, 2019)
above the dance center
SEAD



Abbildung 5:
Vorverfüllung und
Durchschlag durch einen
Fangzaun im Bereich von
Profil Nord 4 (Mölk, 2019)
oberhalb Schallmooser
Hauptstraße 40

Figure 5:
Pre-filling and breakage
in the net of a rockfall
catchment fence in the area
of profile line north 4 (Mölk,
2019) above Schallmooser
Hauptstrasse 40

Projektziel

Das Projektziel umfasst entsprechend dem Projektierungsansuchen der Stadt Salzburg den Schutz des Siedlungs- und Wirtschaftsraumes, der Infrastruktureinrichtungen und Verkehrsanlagen

am Nordabhang des Kapuzinerberges vor Steinschlägen und Hangmuren bei einem 150-jährlichen Bemessungsereignis.

Schutzkonzept

Das Schutzkonzept verfolgt zur Erreichung des Projektziels einen ganzheitlichen Ansatz und umfasst daher die Errichtung von Steinschlag- und Murschutznetzen an der am stärksten gefährdeten und somit vordringlichen Nordseite des Kapuzinerberges mittels Ergänzung und Ersatz der nicht dem Stand der Technik entsprechenden Bestandsbauten und sieht im Gegenzug für sämtliche Steinschlag-Schutzwälder des Kapuzinerberges die Verbesserung ihrer Schutzwirkung mittels schutzwaldbewirtschaftender Maßnahmen vor.

Projektmaßnahmen und deren Kosten

Im Folgenden sind die Projektmaßnahmen und deren Kosten tabellarisch aufgelistet (Tab. 2), in einer Orthofotokarte dargestellt (Abb. 6) und eingehend beschrieben. Die Untergliederung der Projektmaßnahmen in Projektpositionen auf Stadtgrund und Privatgrund erfolgte in Abstimmung mit der Stadt Salzburg zur Gewährleistung der erforderlichen Transparenz und Flexibilität im späteren Genehmigungsprozess und bei der Kostenverrechnung.

Position	Bezeichnung	Kosten [EUR]
Pos 01	Baustelleneinrichtung	181.375,50
Pos 02	Steinschlagschutznetze – Nordseite auf Stadtgrund	1.030.261,47
Pos 03	Steinschlagschutznetze – Nordseite auf Privatgrund	655.111,36
Pos 04	Murschutznetze auf Stadtgrund	68.946,63
Pos 05	Schutzwaldbewirtschaftung auf Stadtgrund	441.440,00
Pos 06	Schutzwaldbewirtschaftung auf Privatgrund	353.152,00
Pos 90	Regie und Unvorhergesehenes (ca. 10 %)	269.713,04
Gesamtkosten		3.000.000,00

Tabelle 2: Maßnahmen des Flächenwirtschaftlichen Projektes Kapuzinerberg und deren Kosten

Table 2: Measures of the protection forest management plan Kapuzinerberg and costs



Legende

- Projektgebiet
- Pos. 01 Baustelleneinrichtung - Schutzwalderschließung auf Stadtgrund
- Pos. 02 Steinschlagschutznetze - Nordseite auf Stadtgrund
- Pos. 03 Steinschlagschutznetze - Nordseite auf Privatgrund
- Pos. 04 Murschutznetze auf Stadtgrund
- Pos. 05 Schutzwaldbewirtschaftung auf Stadtgrund
- Pos. 06 Schutzwaldbewirtschaftung auf Privatgrund
- Schutznetz (Bestand) auf Stadtgrund
- Schutznetz (Bestand) auf Privatgrund
- Wandstufen (Neigung > 45°)



Abbildung 6: Flächenwirtschaftliches Projekt Kapuzinerberg. Orthofotokarte.

Figure 6: Protection forest management plan Kapuzinerberg. Orthophotomap.

Steinschlag- und Murschutznetze

Zum Schutz vor Steinschlägen und Hangmuren am Nordabhang des Kapuzinerberges (Projektziel) umfasst das Schutzkonzept dort auch die Errichtung von Steinschlag- und Murschutznetzen mittels Ergänzung und Ersatz der nicht dem Stand der Technik entsprechenden Bestandsbauten.

In Entsprechung der geologischen Gutachten und Steinschlagsimulationen (Mölk, 2019 und Rieder, 2019) und im Hinblick auf eine darüber hinaus gehende, bessere Schutzwirkung gegen Baumschlag sollen ETAG-zertifizierte Steinschlagschutznetze laut WLV-Typenliste mit einem Energieaufnahmevermögen von einheitlich 500 kJ

und kommerziellen Höhen von 3,5 m, 4,0 m und 5,0 m zur Anwendung kommen. Die drei Abstufungen der kommerziellen Höhe ergeben sich aus wirtschaftlichen Überlegung und orientieren sich an den ETAG-zertifizierten Netzklassen bis 3,5 m und bis 5,0 m Höhe. Insgesamt sollen rund 1.570 lfm Steinschlagschutznetze errichtet werden, wovon 445 lfm eine Höhe von 3,5 m, 400 lfm eine Höhe von 4,0 m und 725 lfm eine Höhe von 5,0 m aufweisen. Aufgrund der erforderlichen Netzhöhen bzw. der schwierigen Fundierungsverhältnisse im Lockermaterial an den unzugänglichen Steilhängen sollen die bewährten Standardsysteme mit bergseitig abgespannten Pendelstützen zur Anwendung kommen (Abb. 7).



Abbildung 7: Bautype der Steinschlagschutznetze mit bergseitig abgespannten Pendelstützen (Foto: WLV)

Figure 7: Construction type of rockfall catchment fences with upslope retaining ropes (photo: WLV)

Aufgrund der durchgeführten Erhebungen und Berechnungen sollen drei Hangmurenschutznetze mit einem Rückhaltevermögen von jeweils 100 m³, einem Lastaufnahmevermögen von 150 kN/m² (entspricht einem Energieaufnahmevermögen von rund 500 kJ), einer kommerziellen Höhe von 3,5 m und Längen von jeweils 15 m bis 16 m errichtet werden. Hierfür kommen die 1:1 getesteten Hangmurenschutznetze der Firmen Geobrug AG (SL-150) und Trumer Schutzbauten GmbH (TS-HM-150-ZD) in Frage (Abb. 8).



Abbildung 8: Bautype der Hangmurenschutznetze (Foto: Trumer Schutzbauten GmbH)

Figure 8: Construction type of hillslope debris flow barriers (photo: Trumer Schutzbauten GmbH)

Sanierung und Bewirtschaftung der Steinschlag-Schutzwälder

Mit Ausnahme des Südfalles, wo sich Stieleichen-Hainbuchenwälder und Lindenmischwälder befinden, herrschen nahezu am gesamten Kapu-

zinerberg Buchenmischwälder vor, in denen die Buche dominiert und mit zunehmendem Bestandesalter windwurfanfällige Hallenbestände bildet, was in den Steinschlag-Schutzwaldbereichen zu einer Erhöhung der Steinschlaggefahr führt. Die für mehrschichtige Mischbestände mit geringerer Windwurf- und Steinschlaganfälligkeit erforderliche Mischungsregulierung und Verjüngung der Steinschlag-Schutzwälder wird durch die schwierige Zugänglichkeit, die nicht LKW-befahrbare Erschließung sowie durch den selektiven Verbissdruck der zurzeit ca. 13 Gämsen auf dem Kapuzinerberg wesentlich erschwert. Der selektive Verbiss und die damit einhergehende Entmischung erfolgen hierbei zu Lasten der Tanne, Eibe, Edellaubbäume und bedingt Eiche und Hainbuche und begünstigt die Fichte, Lärche, Kiefer und eben die Buche. Die Steinschlag-Schutzwälder sind daher zum Großteil entmischt, überaltert, in einem schlechten Zustand und weisen absturzgefährdeten Bewuchs (v.a. Buchenvorhänger) auf.

Das Ziel der Sanierung und Bewirtschaftung der Steinschlag-Schutzwälder ist die Verbesserung der Schutzwirkung gegen Steinschlag durch:

1. Verringerung der Windwurfanfälligkeit und somit der windwurfbedingten Steinschlagauslösung
2. Bremsung und Rückhalt des Steinschlages durch mehrschichtige, stammzahlreiche Mischbestände

Die oben angeführten Ziele sollen im Einvernehmen mit den Waldeigentümern, dem Bezirksförster und dem Stadtjäger durch die nachfolgend beschriebenen, schutzwaldbewirtschaftenden

Maßnahmen erreicht werden. Die Maßnahmensetzung soll hierbei nur in den Steinschlag-Schutzwäldern (ca. 36 ha) erfolgen, die von den Abbruchgebieten über die Sturzbahnen bis zu den Ablagerungsgebieten reichen. Nicht betroffen sind die darüber liegenden Waldflächen (ca. 30 ha) auf dem flachen Bergrücken, der von den Erholungssuchenden frequentiert wird.

Bestandesumwandlung in Dauerwälder

Die überalterten Steinschlag-Schutzwälder sollen in windwurf- und steinschlagresistente plenterartige Dauerwälder umgewandelt werden mit ungleichaltrigen, ungleichförmigen, stammzahlreichen, naturnahen Mischbeständen. Die daraus abgeleiteten, unten angeführten Bestockungsziele sollen durch Einzelstammentnahmen von absturzgefährdeten Bäumen und zur Mischungs- und Standraumregulierung und Einleitung der Naturverjüngung sowie soweit erforderlich durch ergänzende Aufforstungen erreicht werden.

Bei der Bestandesumwandlung von gleichförmigen Wäldern in plenterartige Dauerwälder sind folgende Punkte zu beachten (Zingg, 2012):

- Die Überführung soll sich an bereits vorhandenen Verjüngungsansätzen und Strukturen orientieren. Letztere können aus einem Nebenbestand oder einer vorhandenen Mittel- und Unterschicht bestehen, deren Bäume eine Entwicklungschance haben oder die zur Steuerung des Lichts eingesetzt werden können.
- Der Hauptbestand soll eine ausreichende

Anzahl von Gerüstbäumen enthalten, die noch länger im Bestand verbleiben können und bereits große Kronen haben oder diese noch bilden können.

- Die Überführung erfolgt mit Hilfe der Plenterdurchforstung. Bei dieser hat erste Priorität die Verbesserung der Stabilität, zweite Priorität die Förderung der Verjüngung, jedoch nicht auf der ganzen Fläche, dritte Priorität die Verbesserung der Struktur und vierte Priorität die Auslese nach Qualität.

Dauerwaldbewirtschaftung

Die Dauerwaldbewirtschaftung soll bei den Buchenwäldern mittels Plenterung (Zingg, 2012) und bei den Eichenwäldern mittels kleinflächiger Femelschläge erfolgen.

Bei den Buchenwäldern ist hierbei eine Reduktion der windwurfanfälligen, stammzahlarme Hallenbestände bildenden Buche auf einen der Stabilität dienenden, niedrigeren Beimischungsanteil anzustreben. Dies soll unter anderem durch Förderung der anderen Mischbaumarten erfolgen, wodurch die starke Konkurrenzkraft der Buche durch ihre schnelle Erschließung von freierwerdendem Kronenraum mit nachfolgender starker Beschattung und Hemmung der Verjüngung relativiert wird.

Bei den Buchenwäldern und Eichenwäldern sollen in der Unterschicht, wo dies möglich ist, Hainbuchen und Linden durch Stockausschlag zur Verjüngung und zu ungleichförmigen, ungleichaltrigen und stammzahlreichen Mischbeständen beitragen.

Bestockungsziele

Bei der Bestandesumwandlung und Bewirtschaftung der Steinschlagschutz-Dauerwälder sollen ausgehend von den natürlichen Waldgesellschaften die nachfolgenden Bestockungsziele angestrebt werden.

Sektor 1.

NORDSEITE (KÜHLE, LUFTFEUCHTE SCHATTSEITE)

Abteilung 1.1.

Nordseite – Abbruchgebiete und Sturzbahnen

a. Steilhänge mit mäßig trockenen bis trockenen Böden

Bergahorn-Buchen-Hainbuchen-Tannenwald mit kleinflächig Eibe auf schattigen, felsigen Standorten

Abteilung 1.2.

Nordseite – Ablagerungsgebiete und untere Sturzbahnbereiche

a. Frische Standorte

Bergahorn-Buchen-Tannen-Hainbuchenwald mit kleinflächig Eibe auf schattigen, felsigen Standorten

b. Feuchte Standorte

Bergahorn-Buchen-Tannenwald mit kleinflächig Eibe auf schattigen, felsigen Standorten

c. Nasse Standorte

Bergahorn-Tannenwald

Sektor 2.

OST-SÜD-WEST-SEITE (WÄRMEBEGÜNSTIGTE SONNENSEITE)

Abteilung 2.1.

Ost-Süd-West-Seite – Abbruchgebiete und Sturzbahnen

a. Steilhänge mit mäßig

trockenen bis trockenen Böden

Stieleichen-Linden-Hainbuchenwald

Abteilung 2.2.

Ost-Süd-West-Seite – Ablagerungsgebiete und untere Sturzbahnbereiche

a. Frische Standorte

Stieleichen-Linden-Bergahorn-Hainbuchenwald

b. Feuchte Standorte

Bergahorn-Stieleichen-Tannenwald

c. Nasse Standorte

Stieleichen-Tannenwald

Kulturschutzmaßnahmen

Es wird erforderlich sein, die natürliche und die künstliche Verjüngung vor Wildverbiss zu schützen. Der Schutz kann bei Nadelbaumarten durch verstreichbare oder spritzbare Verbisschutzmittel und bei Laubbaumarten durch Wuchshüllen erfolgen.

Das Aufkommen und die Entwicklung der Jungpflanzen soll erforderlichenfalls durch Freischneiden der Vergrasung oder Verunkrautung (Himbeer- und Brombeerstauden) gewährleistet werden, wobei Sichtpfähle zum besseren Auffinden der Jungpflanzen gesetzt werden sollen.

Verbisskontrollzäune

Die Kontrollzäune sollen den Einfluss des Wildes auf die natürliche und künstliche Verjüngung dokumentieren und eine Beurteilung des Verjüngungspotenziales der Standorte ermöglichen. Die Errichtung soll auf repräsentativen Standorten erfolgen. Die eingezäunte Fläche soll rund 20 m² betragen (4 m x 5 m) und mit einem hasendichten Wildzaun mit einer Höhe von 2 m hergestellt werden. In Steillagen ist eine stabile Bauweise erforderlich, die durch entsprechende Abstützung der Zaunpfähle und durch ein 6 mm starkes Drahtseil, an dem das Zaungeflecht aufgehängt wird, erreichbar ist.

Wildmanagement

Auf dem Kapuzinerberg befinden sich nach Auskunft des Bezirksförsters und Stadthjägers zwar keine Rehe, jedoch zur Zeit ca. 13 Stück Gamswild, wobei die Anzahl über die Jahre zwischen 8 Stk. und 14 Stk. schwankt. Als Lenkungsmaßnahme befindet sich derzeit am westlichen Rand des Nordabfalls nach dem Einfahrtstor zur Steiganlage eine Gamswildfütterung mit Wildbeobachtungskamera.

Vorerst ist geplant, das Wildmanagement wie bisher mit Tendenz zur unteren Schwankungsbreite auszuüben. Sollte sich an Hand der Wildkontrollzäune zeigen, dass durch die Wildschäden die Projektziele gefährdet sind, soll der Gamswildbestand durch den Stadthjägersanft angepasst werden. Des Weiteren könnte die Gamswildfütterung in Abstimmung mit den Grundeigentümern von den äußerst verbissgefährdeten Aufforstungen mit Tanne, Bergahorn und Hainbuche an der Nordseite in weniger sensible Bereiche an der Südost- oder Ostseite verlegt werden.

Schutzwalderschließung und Holzernteverfahren

Wie oben beschrieben ist die Erschließung des Kapuzinerberges nicht LKW-befahrbar und daher mussten die Holzabfuhr vom Kapuzinerberg sowie sämtliche Materialan- und abtransporte bis dato mittels Traktor mit Anhänger durchgeführt werden. Die Holzbringung mittels Hubschrauber über besiedeltes Gebiet ist nicht zulässig und soll daher im unbesiedelten Bereich des Kapuzinerberges zu einem LKW-befahrbaren Zufahrtsweg erfolgen. Eine wesentliche Projektidee für den nachhaltigen Erfolg des Flächenwirtschaftlichen Projekts besteht daher darin, dass eine Möglichkeit gefunden werden konnte, eine unscheinbare und naturverträgliche LKW-befahrbare Erschlie-

ßung herzustellen. Hierfür soll auf Stadtgrund ein bestehender traktorbefahrbarer Zufahrtsweg am östlichen Unterhang des Kapuzinerberges zu einer LKW-befahrbaren Forststraße befestigt werden. Diese bleibt Wald im Sinne des Forstgesetzes im Eigentum der Stadt Salzburg und soll zur Holzaufarbeitung, zum Holzabtransport mittels LKW, als Arbeits-, Lager- und Manipulationsfläche für die Hubschrauber-Montage der geplanten Steinschlag- und Murschutznetze und für die weiteren forstwirtschaftlichen Pflege- und Bewirtschaftungsmaßnahmen nach Projektabschluss dienen.

Im Steilhang sollen die für die Schutzwaldbewirtschaftung erforderlichen Holzfällungen motormanuell mit der Motorsäge und die Holzbringung mit dem Hubschrauber (Heli-Logging) im Ganzbaumverfahren oder mittels Stehendabtragung über das unbesiedelte Gebiet des Kapuzinerberges zur oben angeführten Forststraße erfolgen, von wo nach der Holzaufarbeitung mit dem Prozessor die Holzabfuhr mittels LKW erfolgen kann.

Projektumsetzung und Ausblick

Das Flächenwirtschaftliche Projekt Kapuzinerberg hat den Schutz des gefährdeten Siedlungs- und Wirtschaftsraumes, der Infrastruktureinrichtungen und Verkehrsanlagen vor Steinschlägen und Hangmuren zum Ziel. Daher ist für die beantragten Projektmaßnahmen eine wasserrechtliche und forstrechtliche Bewilligung zu erwirken.

Planung und Umsetzung des Projektes erfolgt durch den Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Pongau, Flachgau und Tennengau.

Projekt- und Finanzierungspartner sind der Bund, das Land Salzburg und als Interessent, Bauherr und Konsensinhaber der Magistrat der Stadt Salzburg.

Im Laufe des Jahres 2021 sollen der Grundsatzbeschluss der Stadt Salzburg, die Projektüberprüfung und Finanzierungsverhandlung sowie die Wasserrechts- und Forstrechtsverhandlung durchgeführt werden. Sobald die diesbezüglichen Bewilligungen vorliegen, soll zunächst ab 2022 die Errichtung der Steinschlag- und Murschutznetze in einem Zug umgesetzt werden. Anschließend erfolgt die Sanierung und Bewirtschaftung der Steinschlag-Schutzwälder, wofür der Projektzeitraum auf 20 Jahre angelegt wurde.

Anschrift des Verfasser/Authors' address:

DI Harald Wehrmann
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Gebietsbauleitung Pongau,
 Flachgau und Tennengau
 Bergheimerstraße 57, 5020 Salzburg
 harald.wehrmann@die-wildbach.at

Literatur/References:

MÖLK, M. (2019).
 Vorprojekt Steinschlagschutz Kapuzinerberg, Stadt Salzburg: Geologisches Gutachten, Maßnahmenkonzept – Revision 2. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Fachzentrum Geologie und Lawinen.

RIEDER, B. (2019).
 Steinschlagschutz Kapuzinerberg, Stadt Salzburg: Maßnahmenvorschlag. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Fachzentrum Geologie und Lawinen.

WEHRMANN, H. (2020).
 Flächenwirtschaftliches Projekt Kapuzinerberg. Technischer Bericht. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Pongau, Flachgau und Tennengau.

ZINGG, A. (2012):
 Überall plentern? Über 100 Jahre Forschung in Plenterwäldern. Wald und Holz 93, 19: 24-28.

Go ahead...

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

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

www.klenkhart.at

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

KLENKHART & Partner Consulting

Die Schutzwirkung des Bannwaldes Hallstatt gegen gravitative Naturgefahren

Darstellung und Interpretation der Lawinen und Steinschlagwirkung auf Basis der Masterarbeit von Maximilian Rossmann 2019.

Evaluation of the current protective value against avalanches and rock fall of the forests in Hallstatt.

Zusammenfassung:

Der Bannwald Hallstatt im oberösterreichischen Salzkammergut dient dem Schutze der Menschen, des Siedlungsraums, der Energieversorgung der Gemeinde Hallstatt, sowie wichtigen Infrastrukturanlagen in der Region. Diese Masterarbeit ist integrierter Bestandteil des Projektes der WLW und dient der Darstellung der Schutzleistung der Waldflächen im Projektgebiet. Aus dem erarbeiteten Modell soll aus einer rein ökonomisch orientierten Forsteinrichtung die sozioökologische Schutzwirkung der Teilflächen abgeleitet und in Ampelfarben dargestellt werden. Die Auswertungen zeigen in großen Teilen des Untersuchungsgebiets einen stark überalterten, von Lücken geprägten Waldbestand mit ausgeprägten mitherrschenden Unterschichten. Die allgemeine Schutzwirkung gegen Steinschlag und Lawinen kann im Allgemeinen als durchaus zufriedenstellend angesehen werden.

Abstract:

The protective forest of Hallstatt in Upper Austria protects humans, residential areas, power supplies, highly important infrastructure, such as the "Hallstättersee" country road (L547), and important tourist hotspots. The budget for the new project is 20 Million Euros for the next 30 years. To be able to use the budget efficiently it is very important to know the current protective value of these forests. Therefor a model was developed to evaluate the protection against avalanches and rock fall. We developed a matrix including different influencing variables to draw a thematic map that shows the protection provided by the different forest areas. To display these protection values a tachometer was developed.

Keywords:

Protective forest, Hallstatt, avalanche, rock fall

Stichwörter:

Schutzwald, Bannwald, Hallstatt, Lawine, Steinschlag

Einleitung

Österreichs Schutzwald leistet einen wesentlichen Beitrag zur ökologischen und sozioökonomischen Absicherung des menschlichen Lebensraums. 0,8 Millionen Hektar in Österreich haben eine primäre Schutzfunktion, das sind rund 20,5 Prozent der insgesamt vier Millionen Hektar großen Waldfläche Österreichs (ÖWI, 2013). Der Bannwald Hallstatt mit seinen 140 Jahren Bannlegung seit 1879 gilt wohl als einer der ältesten und zugleich bekanntesten Bannwälder Österreichs. Durch seine historische Vergangenheit und die damit verbundene, jahrtausendealte Kultur wird Hallstatt mit seinem Bannwald in zahlreichen Publikationen erwähnt und zitiert.

Mit dem 2018 ausgelaufenen flächenwirtschaftlichen Projekt für den Bannwald Hallstatt der WLW wurde eine Neuprojektierung 2020+ durch die Gebietsbauleitung Oberösterreich-West mit Sitz in Bad Ischl durchgeführt. Um einer solch umfassenden und komplexen Projektierung inhaltlich gerecht zu werden, bedarf es einer sorgfältigen Grundlagensammlung. Unter zahlreichen anderen Argumenten ist dabei der Zustand des Bannwaldes und dessen Schutzwirkung gegen gravitative Naturgefahren eine beträchtliche Einflussgröße bei der Projekterstellung. Im Rahmen meiner Masterarbeit wurde mir die Aufgabe zuteil, den Zustand des Bannwaldes zu analysieren und zu bewerten. Diese Arbeit beschäftigt sich daher im Speziellen mit der Ermittlung des Zustandes des Bannwaldes Hallstatt und dessen Schutzwirkung gegen Lawine und Steinschlag, und ist integrierter Bestandteil des flächenwirtschaftlichen Projekts der WLW.

Problemstellung

Die Fläche des Untersuchungsgebiets ist im neuen Projekt von ca. 290 Hektar (ha) auf rund 489 ha

erweitert worden. Durch dieses durchaus große Flächenaufkommen würde eine aussagekräftige Aufnahme zur Zustandserfassung des Schutzwaldes einen enormen Zeitaufwand bedeuten. 2017 wurde von den ÖBF AG eine umfassende Forsteinrichtung für das Forstrevier Hallstatt, in dem auch das gesamte Projektgebiet liegt, durchgeführt. Mit Grundlage dieser sehr umfangreichen Datensammlung wurde versucht, auf die Schutzwirkung der Waldflächen gegen Steinschlag und Lawine zu schließen.

Zielsetzung

Zielsetzung dieser Arbeit war es, aus einer rein ökonomisch orientierten Forsteinrichtung die Schutzwirkung der einzelnen Bestände getrennt nach Gefahr durch Lawine oder Steinschlag abzuleiten. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Parameter, welche ausschlaggebend für den jeweiligen gravitativen Prozess sind, wurden die Informationen aus der Forsteinrichtung herausgefiltert und zur Modellierung verwendet. Das erstellte Transfermodell soll aussagekräftig, konsistent und zugleich praktisch anwendbar bleiben. Zur Visualisierung der Ergebnisse wurde eine Art Ampelsystem zur besseren Veranschaulichung der Schutzwirkung in thematischen Karten, ergänzt durch einen „Schutzwaldtachometer“, erstellt.

Material und Methoden

Unter Berücksichtigung der Operatsdaten der ÖBF AG wurden potentielle Standorttypen nach „NaiS“ (FREHNER et al., 2005) für den Bannwald Hallstatt ausgewiesen. Bei der genaueren Untersuchung dieser konnten zwei, die den Bannwald sehr gut beschreiben, ausgewählt werden. Für den obermontanen Bereich wurde der Typ 18M (typischer Karbonat-Tannen-Buchenwald) ausgeschieden und für die untermontanen Teile

des Bannwaldes der Standorttyp 12a (typischer Binkelkraut-/ Zahnwurz-Buchenwald). Um den Bannwald Hallstatt auf seine Schutzwirkung gegen Lawine und Steinschlag bewerten zu können, war zunächst eine Grundlage zu schaffen, mit der in weiterer Folge verglichen und beurteilt werden konnte. Die Basis wurde in Form eines Anforderungsprofils der Waldausstattung sowie gewisser Standortparameter in Anlehnung an das Schweizer System erstellt. Wie auch FREHNER et al. (2005) ist in dieser Arbeit zwischen drei Stufen innerhalb eines Anforderungsprofils unterschieden worden - „ideal“, „minimal“ und „nicht erfüllt“. Diese Unterteilung ist für jede Naturgefahr und jeden Standort gleich und wird mit den Ampelfarben Grün (ideal), Orange (minimal) und Rot (nicht erfüllt) beschrieben. Es ändern sich lediglich die geforderten Anforderungen an das untersuchte Waldstück, abhängig von Standort und Naturgefahr. Mit dieser Grundlage wurden Anforderungsprofile getrennt nach Naturgefahrprozess und Standort erstellt.

Ergebnis

Im Bannwald Hallstatt fand eine Evaluierung der Schutzwirkung der Waldbestände gegen gravitative Naturgefahren (Steinschlag und Lawine) mit der oben beschriebenen Methodik unter Verwendung der aktuellen Forsteinrichtung der ÖBF AG statt.

Bestandesparameter

Die Hangneigungsverteilung unterstreicht die hohe Reliefenergie des Projektgebiets Bannwald Hallstatt. Der Großteil der Flächen liegt in einem Neigungsbereich von über 84 % (40°). In Hinblick auf die herrschenden gravitativen Naturgefahren fördert diese erhöhte Hangneigung das Gefahrenpotential massiv.

Gut zwei Drittel der gesamten Waldfläche im Projektgebiet sind über 141 Jahre alt. Die Anteile der mittleren Altersklassen fehlen deutlich. Die starke Überalterung des Bannwaldes unterstreicht die Ergebnisse der österreichischen Waldinventur, welche einen Flächenanteil der über 140-jährigen Schutzwaldbestände von knapp einem Viertel an der gesamten Schutzwaldfläche Österreichs angibt (NIESE, 2011). Die Altersstruktur des Bannwaldes Hallstatt lässt sich auf die geschichtliche Nutzung und waldbauliche Behandlung zurückführen. Die Waldgebiete rund um Hallstatt wurden bis zur Bannlegung 1879 forstlich und landwirtschaftlich genutzt. Erst mit der Bannlegung wurde eine Nutzung verboten und nur die Entnahme von Schadholz erlaubt. Eine waldbauliche Handlungsanweisung fehlt jedoch in dem damaligen Bannwalderkenntnis. Damit war der bestehende Waldbestand und dessen Schutzwirkung vorerst gesichert, jedoch fehlte ein vorausschauendes, nachhaltiges Behandlungskonzept für den Bannwald Hallstatt. Erst nach und nach kamen weitere Schutzwalderkenntnisse hinzu und es wurden waldbauliche Maßnahmen zur Erhaltung der Schutzwirkung gesetzt. Vor allem die Stahlschneebrücken, welche in den 1950 bis 1980er Jahren über Hallstatt errichtet wurden, schufen eine günstige Verjüngungssituation, welche derzeit in den jüngeren Altersklassen (I, II, und III) gut ersichtlich ist.

Um den Bannwald hinsichtlich seiner Struktur beurteilen zu können, wurde die Schichtigkeit der Teilflächen erhoben. Etwa knapp zwei Drittel der Gesamtwaldfläche weisen einen mehrschichtigen Bestand auf. Die Mehrschichtigkeit ist durchaus positiv zu sehen und in Hinblick auf die Altersklassenverteilung ein Indikator dafür, dass die Oberschicht der überalterten Bestände durch Unterschichten unterstützt wird. Bei zunehmendem Alter der Oberschicht nimmt der Anteil an Unterschichten zu. Die überalter-

ten Oberschichten werden dadurch größtenteils durch Unterschichten, welche unter Schirm heranwachsen, sukzessive verjüngt und werden bei Zerfall der Oberschicht diese in ihrer Leitfunktion ablösen. Vergleicht man die Flächenanteile der Altersklasse über 141 Jahren mit jenen der mehrschichtigen Bestände, decken sich diese Werte mit einer geringen Abweichung. Dies unterstützt die Aussage, dass die überalterten Waldbestände bereits durch jüngere Unterschichten gesichert werden. Folglich lässt das die Überlegung zu, dass die über 141-jährigen Bestände größtenteils von Unterschichten geprägt sind und bei Zerfall der Oberschicht die Schutzwirkung von den unteren Schichten übernommen wird.

Obwohl sich der Bannwald Hallstatt zu großen Teilen im Laubholzoptimum befindet, sind 77,3 % mit Nadelholz bestockt. Die Auswertung bezieht sich auf den stockenden Vorrat. Den Hauptteil des Nadelholzvorrates weist die Fichte (*Picea abies*) auf. Die Tanne (*Abies alba*) folgt der Fichte mit großem Abstand. Diese beiden Baumarten sind im Bannwald aufgrund der wintergrünen Überschirmung von besonderer Bedeutung und bilden knapp die Hälfte des Gesamtbestandes. Der Rest wird von Laubhöl-

zern, welche von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Ahornarten (*Acer pseudoplatanus*, *platanoides*) geprägt sind, gebildet.

Lawine

340,1 ha der Waldfläche des Untersuchungsgebiets sind aufgrund ihrer Hangneigung ($\geq 58\%$), potentiell für Lawinenanrisse gefährdet. Auf Grundlage dieser Information wurde die Schutzwirkung jeder einzelnen Teilfläche bewertet.

Knapp die Hälfte der Waldflächen erfüllen das „minimale“ Anforderungsprofil für Lawinen nicht und werden daher in Rot dargestellt. Beinahe der gleiche Teil erfüllt die Anforderungen nur „minimal“ und nur rund 9 % der gesamten Waldlawinenflächen erfüllen die Anforderungen „ideal“.

Als eines der Hauptergebnisse dieser Arbeit sollte ein Gesamtüberblick der Lawinenschutzwirkung der Gesamtwaldfläche erstellt werden (Abb.1). Angemerkt sei noch, dass sich die Schutzwirkung lediglich auf den Standort und den stockenden Waldbestand bezieht. Etwaige technische Verbauungen werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

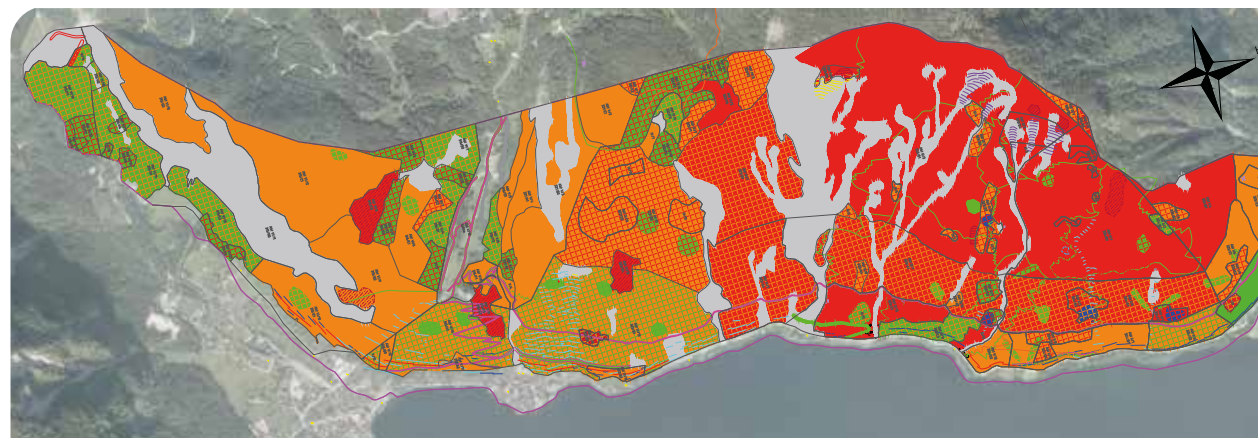


Abbildung 1: Thematische Karte der Lawinenschutzwirkung der Teilflächen des Bannwaldes Hallstatt.

Figure 1: The protection against avalanches.

Die Verteilung der Schutzwirkungen des Waldes gegen Lawinen im gesamten Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 1 gut zu erkennen. Dabei stechen vor allem die Steillagen im nördlichen Teil des Projektgebiets ins Auge. Dies kann auf die extremen Lückigkeiten in den dort befindlichen Beständen zurückgeführt werden. Durch den oft niedrigen Bestockungsgrad dieser Flächen werden dort auch deutlich geringere Überschirmungsgrade erreicht. Waldbaulich wurde dort nur sehr vereinzelt eingegriffen und es handelt sich daher um Großteils stark veraltete Bestände mit unzureichender Struktur. Des Weiteren ist die fortschreitende Vergrasung, ausgehend von den Lawenstrichen, ein immer größer werdendes Problem bei der Verjüngungseinleitung. Die dabei entstehende äußerst dichte Grasnarbe lässt kaum eine Keimung eingetragener Samen zu und wirkt wie eine Bodenversiegelung.

Der hohe Nadelholzanteil speziell von wintergrünen Baumarten ist im Kontext mit der Lawinenschutzfunktion durchaus zu begrüßen, die zukünftige Situation dieser Baumarten muss jedoch unter Berücksichtigung der prognostizierten Klimaveränderung betrachtet und dementsprechend behandelt werden.

Steinschlag

Aufgrund der herrschenden Geologie und der extremen Neigungen ist im gesamten Projektgebiet mit Steinschlag zu rechnen. Der bankig gelagerte Dachsteinkalk ist bekannt für seine erhöhte Steinschlagaktivität. Anders als bei Lawinen, bei denen die größte Schutzwirkung des Waldes im Entstehungsgebiet gegeben ist, ist die Wirkung des Waldes bei Steinschlägen vor allem im Transit- und Ablagerungsbereich am größten. Die Hangneigungen fließen deshalb nur in Bezug auf das Energievermögen der stürzenden Massen in die Berechnung mit ein. In dieser Arbeit wurden

keine Energieklassen oder Blockgrößen berücksichtigt. Die Ergebnisse beziehen sich daher auf keinen spezifischen Bemessungsblock, sondern geben viel mehr einen groben Überblick der Schutzwirkung des Waldes auf ein durchschnittliches Steinschlagereignis. Um die genaue Wirkung des Waldes bestimmen zu können, müssten die einzelnen Ablösebereiche mit den jeweiligen Bemessungsblöcken und den dazugehörigen Sturzbahnen definiert werden. Laut den allgemeinen Einschätzungen der Experten dient der Wald bei der Planung von Steinschlagschutzbauwerken lediglich als zusätzliche Sicherheit, fließt aber dezidiert nicht in die Bemessung und Dimensionierung der Bauwerke mit ein.

Die Steinschlagschutzwirkung konnte mit den verfügbaren Grundlagen der ÖBF AG nur unzureichend ermittelt werden. Es wurden deshalb zur Anwendung des Modells Ergänzungs-aufnahmen der fehlenden Parameter, Stammzahl und Rauigkeit durchgeführt, um eine Aussage der geleisteten Schutzwirkung treffen zu können. Die Stammzahlen wurden mittels Laserscan-Daten und einer automatisierten Software von einem externen Unternehmen erhoben.

Als Ergebnis wurde eine Gesamtdarstellung der Steinschlagschutzwirkung erstellt. Dabei konnten ähnliche Wirkungen wie gegen Lawine nachgewiesen werden.

Sicherstellung des optimalen Mitteleinsatzes – Erstellung Bewertungsmatrix

Um die vorhandenen Finanzmittel optimal und gezielt einsetzen zu können, ist es äußerst wichtig, die Schutzleistung des bestehenden Waldes zu kennen.

Es wurde deshalb neben den thematischen Karten ein Schutzwirkungsanzeiger („Schutzwirkungs-Taxometer“) entwickelt. Dieser visualisiert mit Zeigern und Prozentangaben

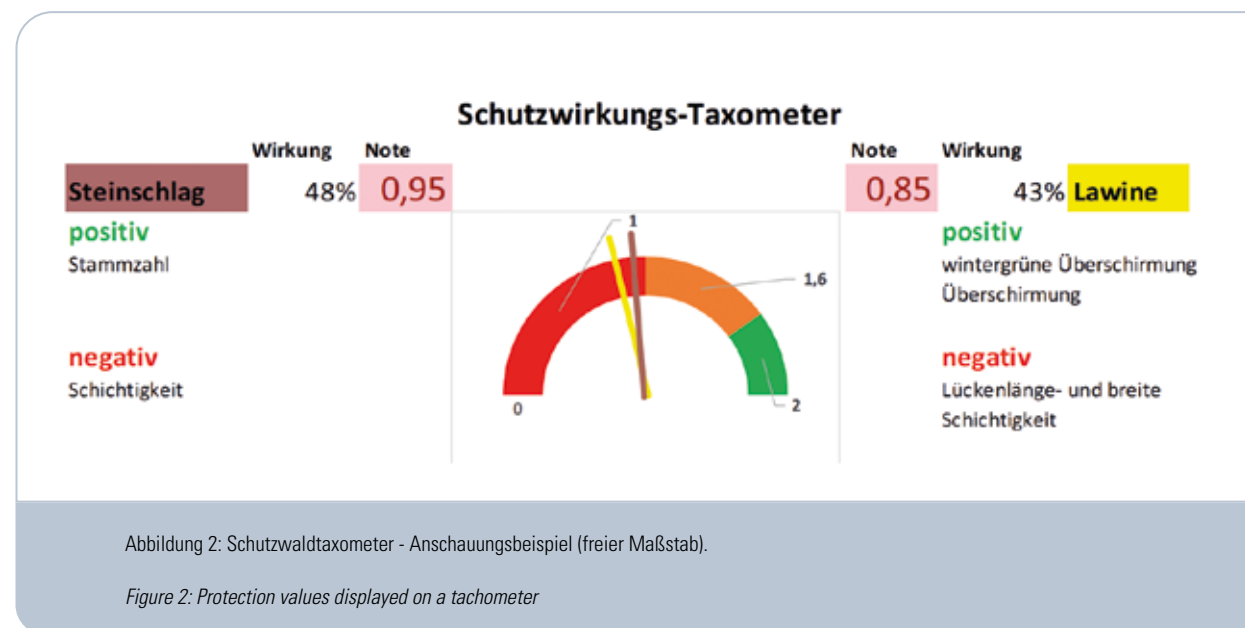


Abbildung 2: Schutzwaldtaxometer - Anschauungsbeispiel (freier Maßstab).

Figure 2: Protection values displayed on a tachometer

die aktuelle Schutzleistung der beobachteten Teilfläche sowie die jeweils ausschlaggebenden positiven und negativen Einflussgrößen (Abb.2). Damit ist eine optimale Grundlage mit wichtigen Informationen zur waldbaulichen Behandlung geschaffen.

Interpretation

Die erarbeitete Evaluierungsmethode hat sich für die Bestimmung der Lawinenschutzwirkung von Waldflächen im Projektgebiet Bannwald Hallstatt gut bewährt und ist auch für zukünftige flächenwirtschaftliche Projekte zur Einschätzung der Schutzwirksamkeit von Wäldern gut geeignet.

Die Beurteilung der Ergebnisse, welche das erarbeitete Modell für die Lawinenschutzwirkung der Wälder im Projektgebiet einschätzte, ergaben eine mäßig gute Schutzwirkung der Waldbestände gegenüber Lawinen. Hauptgrund für diesen Umstand sind die überalterten und oft sehr lückigen Bestände im Untersuchungsgebiet. Als positiv ist jedoch die gute Strukturierung der einzelnen Bestände zu sehen. Vor allem alte

bis sehr alte Bestände weisen Großteils mehrere Schichten auf.

Die Steinschlagschutzwirkung konnte mit den verfügbaren Grundlagen der ÖBF AG nur unzureichend ermittelt werden. Zur Überprüfung des erarbeiteten Modells der Steinschlagschutzwirkung von Wäldern wurden Ergänzungs-aufnahmen der fehlenden Parameter durchgeführt und anschließend bewertet. Die Schutzwirkung dieser Flächen wurde als mäßig bis gut gegen Steinschlag bewertet.

Die thematischen Karten sowie der Schutzwald-Taxometer, der anhand der Bewertungsmatrix vorgeschlagen wird, dienen als hilfreiche Ergänzung und verschaffen einen guten Überblick über die Schutzwirksamkeit der einzelnen Behandlungseinheiten. Zusätzlich können durch die Färbung der Teilflächen in den Ampelfarben die Gebiete mit akutem Handlungsbedarf genau lokalisiert werden.

Für zukünftige waldbauliche Behandlungen bietet der Schutzwald-Taxometer mit den positiven und negativen Eigenschaften jeder Teilfläche eine sehr gute Grundlage, kann jedoch

keinen Lokalausweis des bearbeitenden Fachpersonals ersetzen. Letztendlich müssen Maßnahmen direkt den auf der Fläche herrschenden Standortbedingungen angepasst werden. Um auf diese Bedingungen optimal eingehen zu können, muss sich die maßnahmenplanende Person in einem gewissen waldbaulichen Handlungsspielraum bewegen dürfen.

Modellkritik

Das erstellte Modell mit den Anforderungsprofilen und dem Ampelsystem stützt sich größtenteils auf empirisch erfasste Gesetzmäßigkeiten.

Die komplette Lawinenschutzwirkungssituation konnte mit dem semiquantitativen Regelwerk und der zur Verfügung stehenden Datengrundlage der ÖBF AG vollständig bewertet werden. Durch die fehlenden Stammzahlen und Totholzabweisung in den Operatsdaten konnte das Modell für Steinschlag nur mit zusätzlichen Feldaufnahmen angewandt werden und ist somit nicht in der Lage, die Steinschlagsituation mit der Forstinventur als einziger Grundlage zu bewerten. Hierfür müssten das Totholz und die Stammzahlen durch separate Feldaufnahmen erhoben werden oder bei Forsteinrichtungen in den entsprechenden Schutzwaldgebieten zusätzlich mit aufgenommen werden. Unabhängig voneinander bedeutet dies einen Mehraufwand und muss bei der Interessensabwägung berücksichtigt werden. Für die Projekte der WLV stellt die Zurverfügungstellung der Daten durch die ÖBF AG bei der Beurteilung der Schutzleistungen der Waldflächen eine extreme Arbeitserleichterung dar. Die Lawinenschutzwirkung kann in jedem Fall aus der rein ökonomisch orientierten Forsteinrichtung abgeleitet werden. Mit vereinfachten zusätzlichen Feldaufnahmen ist dies auch für die Steinschlagschutzwirkung durchführbar.

Als kritischster Teil dieser Arbeit ist die Gewichtung der einzelnen Einflussgrößen zu sehen. Es wurde mit bestem Wissen und Gewissen versucht, diese unter Verwendung der vorhandenen Literatur zu erstellen und zu rechtfertigen. Da in den verwendeten Publikationen keine oder nur sehr wenig konkrete Angaben zu der relativen Wichtigkeit einzelner Parameter im Vergleich zu anderen Einflussgrößen angegeben werden, musste unter Abwägung der einzelnen Anforderungen ein Schlüssel zur Bewertung entwickelt werden. Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Anforderungen aufgrund der Naturgefahr gelegt. Die Anforderungen aufgrund des Standorts wurden nur mit 15–20 % in der Bewertung berücksichtigt. Grund für diese Überlegung ist die derzeitige Situation in der Waldausstattung. In den tieferen Lagen des Projektgebiets werden die geforderten Baumartenzusammensetzungen relativ gut erfüllt. Diese Waldflächen sind vor allem Steinschlagschutzwälder im Transit- oder Ablagerungsbereich. Mit zunehmender Höhe steigt auch das Potential für Lawinenanbrüche, woraufhin die wintergrünen Baumarten durch die verbesserte Interzeption größere Vorteile bringen als ein standortangepasster Laubmischwald. Durch den fortschreitenden Klimawandel ist noch unklar, welche Baumarten in Zukunft diesen Bedingungen standhalten können. Die derzeit geforderte Bestandeszusammensetzung wird auch mit dem überwiegenden Laubholzanteil im Anforderungsprofil Hallstatt mit zunehmender Trockenheit Probleme bekommen. Die Rotbuche ist im Projektgebiet die zweithäufigste Baumart und prägt in weiten Teilen das Bestandesbild. Sie gilt als wichtigste Baumart der natürlichen Waldgesellschaften der Tief- und Berglagen, erträgt jedoch die Trockenheit nur bedingt (WEGMANN, 2009). Übrig bleiben im Projektgebiet die mäßig trockenresistente Weißtanne und die trockenresistente Lärche sowie der Bergahorn.

Die Beurteilung der einzelnen Baumarten auf deren Standorteignung allein aufgrund der Wasserversorgung ist einseitig, dadurch unzureichend und ist von zahlreichen weiteren Einflussgrößen abhängig. Leider ist die Widerstandsfähigkeit im Detail der unterschiedlichen Baumarten gegen Stürme noch nicht ausreichend erforscht. Diese Kenntnis, in Zusammenhang mit dem Wissen über die Trockenresistenz, könnte bei der Waldverjüngung und der Mischungsregulierung die Wahl der zu begünstigenden Baumarten helfen und damit großen Kalamitäten vorbeugen (WEGMANN, 2009).

Aufgrund dieser Ungewissheit über die „Zukunftsbaumarten“ und den in der Region ausgeprägten Niederschlägen in den Sommermonaten wird den Anforderungen aufgrund des Standorts eine geringere Gewichtung zugeordnet. Die Anforderungen aufgrund der Naturgefahr können, mit Ausnahme der wintergrünen Überschilderung, unabhängig von den zur Verfügung stehenden Baumarten beurteilt und dahingehend verbessert werden.

Ob das Modell die Schutzwirkung der Waldbestände im Untersuchungsgebiet realitätsnahe und wahrheitsgetreu beschreibt, werden die Beobachtungen in den nächsten Jahren zeigen.

Anschrift des Verfassers/Author's address:

Maximilian Rossmann
Forstassistent Land Salzburg
Fanny-v.-Lehnert-Str. 1
5010 Salzburg
maximilian.rossmann@salzburg.gv.at

Literatur/References:

FREHNER, M., B. WASSER und R. SCHWITTER (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald.: Begleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

HOFMANN, C., PÜRSTINGER, C.; ROSSMANN, M. (2020): Generelles Projekt Bannwald Hallstatt. Technischer Bericht. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung OÖ. West

NIESE, G. (2011): BFW Praxis Information: Waldinventur 2007/09, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.

ÖWI (2013): Ergebnisse der Waldinventur 2007/09. In: BFW (Hrsg.), Praxisinformation: Österreichische Waldinventur – Der Wald rund um die Nutzungen, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.

WEGMANN, E. (2009): Die Bedeutung der Wasserversorgung für das Gedeihen der Waldbäume, Züricher Wald 2/2009, Zürich.

CHRISTOPH HOFMANN, MICHAEL SCHIFFER, PETER HARTL

Felssturz Schoberstein

Rock Fall Schoberstein

Zusammenfassung:

Steinschläge und Felsstürze werden im Zuständigkeitsgebiet der Gebietsbauleitung Oberösterreich West und speziell im Inneren Salzkammergut immer mehr zum dominierenden Thema. Die Auslöseursachen sind vielfältig und zum Teil auch noch auf die Entwaldungen durch die verheerenden Sturmereignisse in den Jahren 2006 und 2007 zurückzuführen. Auf ein Felssturzereignis in Steinbach am Attersee im Bezirk Vöcklabruck mit weitreichenden Folgen wird in diesem Bericht näher eingegangen. Eine detaillierte Ereignisdokumentation mit den neuesten technischen Möglichkeiten wird hier ebenso wie die Grenzen der Wirksamkeit von Objektschutzwäldern beschrieben.

Abstract:

Rockfalls are getting more and more a dominant topic in the jurisdiction of the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control, Sub-unit Upper Austria West, especially in the Inner Salzkammergut. The reasons variegated and in some cases also can be traced back to the deforestation caused by the devastating storm events in 2006 and 2007. A rock fall event in Steinbach am Attersee in the district Vöcklabruck with far-reaching consequences is enlarged upon in detail in this report. An in-depth event documentation with the latest technical possibilities is also described as well as the limits of the effectiveness of object protection forests.

Stichwörter:

Felssturz, Steinschlag,
Laserscan, Bauwerke,
Objektschutzwald

Keywords:

Rockfall, laser scan,
constructions,
object protective forest

Felssturz am Schoberstein oberhalb der Seeleiten Bundesstraße in Steinbach am Attersee in Oberösterreich

Am 01.02.2021 kam es um ca. 13:40 im Bereich des Ortsteiles Weißenbach in der Gemeinde Steinbach am Attersee im Bezirk Vöcklabruck zu einem Felssturz. Es lösten sich – vermutlich durch Frost/Tauwechsel – ca. 1500 m³ Gesteinsmaterial von einem Felskopf im Bereich des kleinen Schobersteines in etwa 780 m Seehöhe. Die Gesteinsmassen rutschten anfangs auf einer sehr steilen,

unbestockten Gleitbahn ab und überwandten danach „lawinenartig“ mehrere Felsstufen. Unterhalb dieser Steilabfälle kam ein Großteil dieser „Schuttlawine“ am dämpfenden Hangschutt und in einem vorhandenen Graben zum Stillstand.

Durch die Teilung der Gesteinsmassen an der Basis der vorhandenen Harnischfläche oberhalb dieser Steilabfälle war nicht nur der erwähnte Graben betroffen, sondern auf einer Breite von ca. 200 m auch der angrenzende Objektschutzwald.



Abbildung 1: Blick vom Ablösebereich in die Sturzbahn der Felssturzmassen

Figure 1: View from the detachment area to the track of the rockfall



Abbildung 2:
Durch die Sturzmassen
schwer in Mitleidenschaft
gezogener Objektschutzwald

Figure 2:
Object-protecting forest
seriously affected by rockfall

Auf die am Attersee-Ufer verlaufende Seeleitenbundesstraße B 152, die eine wichtige lokale und regionale Verbindung rund um den Attersee darstellt, schlugen 5 Steine mit einer Größe von jeweils mehr als 2–3 m³ ein, wobei der größte messbare Block eine Größe von ca. 4,5 m³ aufweist. Aufgrund der Schlagmarken an der Uferböschung sowie im flachen Uferbereich des Attersees kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Felsblöcke, die direkt im See abgelagert wurden, eine noch größere Kubatur aufweisen.

Zwei PKW, die zum Zeitpunkt des Felssturzes gerade den betroffenen Bereich querten, wurden glücklicherweise nicht erfasst und konnten den Gefahrenbereich unbeschadet verlassen. Erste Geländeerhebungen durch die WLV, Gebietsbauleitung Oberösterreich West, erfolgten noch am selben Nachmittag und wurden erst durch die eintretende Dunkelheit um 17:30 Uhr beendet. Dabei zeigten sich erste Eindrücke der Blockgrößen, Sprunghöhen und Intensitäten des aufgetretenen Felssturzes.



Abbildung 3:
WLV-Förster Christoph
Hofmann vor 5 to-Block.
Die Einschlagstelle nach
einem finalen 30 m-Satz
des Blockes liegt nur rd.
15,0 m neben dem Objekt
Weißenbach 1.

Figure 3:
WLV-forester Christoph
Hofmann in front of a
massive 5 to rock. After
the final 30 m jump, the
point of impact is only
about 15,0 m beneath the
object Weißenbach 1.

Vorgeschichte

Bereits seit 1969 werden seitens der WLV im gegenständlichen Bereich Steinschlagschutzverbauungen nach dem jeweiligen Stand der Technik errichtet. In den ersten Jahren waren dies nur Schutzzäune mit Rundholzstehern und Maschendrahtzaun mit einer Höhe von ca. 1,0 m. In den 1980er Jahren wurden ergänzend dazu mehrere hundert lfm Stahlschneebrücken gebaut. Nach wiederkehrenden Steinschlägen wurden zwischen 1996 und 2007 Steinschlagschutznetze mit einer Energieaufnahmekapazität von 750–3000 kJ in den am meisten gefährdeten Bereichen umgesetzt. Im Bereich des aktuellen Felssturzereignisses waren Drahtseilnetzwerke mit 750 bzw. 1000kJ aus den Jahren 1996/97 vorhanden, die jedoch schwer beschädigt bzw. teilweise zerstört wurden.

Zusätzlich zu den ausgeführten technischen Verbauungen wird auch der Objektschutzwald im Bereich des aktuellen Felssturzes seit Jahrzehnten im Rahmen von Projekten mit flächenwirtschaftlichen Anteilen („Schuttlawine Weißenbach PE 1995“) von der Wildbach- und Lawinenverbauung betreut. Vor 2013 durch die damalige Gebietsbauleitung Attergau/Innviertel und seit 2013 durch die Gebietsbauleitung Oberösterreich West. Der mehrschichtige Bestand weist in der Oberschicht ältere Fichten, Buchen, Bergahorn und Lärchen auf, in der Unterschicht sind häufig Hasel und andere Sträucher vorhanden. Als weitere eingesprengte Baumarten sind Tanne, Eibe, Ulme, Eberesche, Birke, Grauerle sowie weitere Straucharten zu nennen.

Ereignisdokumentation und Simulation

Zusätzlich zu der von der WLV durchgeführten Erstbegehung unmittelbar nach dem Ereignis wurde die Ablösestelle vom zuständigen Landesgeologen mittels Hubschrauber aus der Luft erkundet, genauere Erkenntnisse wurden aufgrund des einfallenden Nebels aber nicht gewonnen. Bereits am Vormittag des nächsten Tages wurde seitens der WLV bei einem örtlichen Geologischen Büro (Moser/Jaritz/Partner in Gmunden) eine Befliegung mittels Drohne mit 4K-Kamera (Type DJI Mini 2) organisiert, die auch erste Detailaufnahmen der Abbruchstelle und somit auch eine Grobabschätzung der noch vorhandenen Gefährdungslage als Ergebnis brachte.

Vom geologischen Büro MJP in Gmunden wurde auf Auftrag der WLV eine umfassende Ereignisdokumentation im Gelände durchgeführt. Dabei wurden Blockgrößen, Sprunghöhen- und weiten sowie Sturzbahnen erhoben und dokumentiert. Seitens der WLV wurden auch die Schäden an den bestehenden Steinschlagschutzverbauungen erhoben und im WLK erfasst.

Parallel dazu wurde eine weitere Befliegung mittels Drohne und Laserscaneinheit sowie Kamera (hochauflösendes Orthofoto) beim Büro Hartl Consulting, Vomp beauftragt.

Hierfür wurde von Hartl Consulting in Kooperation mit der Firma Skyability eine Drohnenbefliegung durchgeführt und eine aktuelle Punktwolke sowie ein Orthofoto des Gebietes generiert. Der auf der Drohne montierte RIEGL VUX-1UAV Laserscanner (Abbildung 4) ermöglicht es, in einer Sekunde bis zu 550.000 Messungen durchzuführen und mehr als 500 Punkte pro m² zu erfassen. Aufgrund des großen Sichtfeldes ist dieser insbesondere bei steilen Wänden geeignet.



Abbildung 4:
Zur Befliegung verwendete
Drohne mit montiertem
Laserscanner

Figure 4:
Drone with mounted laser
scanner



Abbildung 5:
Foto des Abbruchgebietes,
aufgenommen mit der
Drohne

Figure 5:
Picture of the detachment
zone taken by a drone

Auswertung

Um das Abbruch- sowie Ablagerungsvolumen zu bestimmen, wurde als Referenz das Höhenmodell des Landes Oberösterreich verwendet und die Differenz mittels der Software FME (Feature Manipulation Engine - Abb. 6) errechnet. Die Referenzaufnahme stammte hierbei vom August 2012 und weist eine Auflösung von $0,5 \times 0,5$ m auf.

Um die beiden Modelle zu vergleichen, wurden zunächst die Drohnen Daten mittels Dreiecksvermaschung (auch TIN-Modell genannt) und die Auflösung des Referenzmodells angepasst und ein regelmäßiger Höhenraster erzeugt.

Da der verwendete Laserscanner mehrzielfähig ist, kann ein digitales Oberflächenmodell („DOM“), welches sämtliche Vegetation und Gebäude enthält, und ein Geländemodell

(„DGM“) erstellt werden. Um die Punktwolke zu klassifizieren und Objekte, wie etwa Häuser, zu identifizieren, wurden komplexe Algorithmen verwendet.

Da einige Blöcke, welche auf der Bundesstraße zu liegen kamen, eine ähnliche Geometrie wie Häuser haben, wurden diese fälschlicherweise von den Algorithmen herausgefiltert, was zu Fehlern beim Vergleich der beiden Geländemodelle führte. Es wurde daher in Freiflächen (Ablagerungsbereiche) das Oberflächenmodell und im Anbruchgebiet das Geländemodell verwendet, um die Differenzen zum Referenzmodell zu errechnen. Anhand des Orthofotos konnten die Abbruchs- und Ablagerungsbereiche eingegrenzt und Volumen bzw. Massen des Steinschlagereignisses abgeschätzt werden.

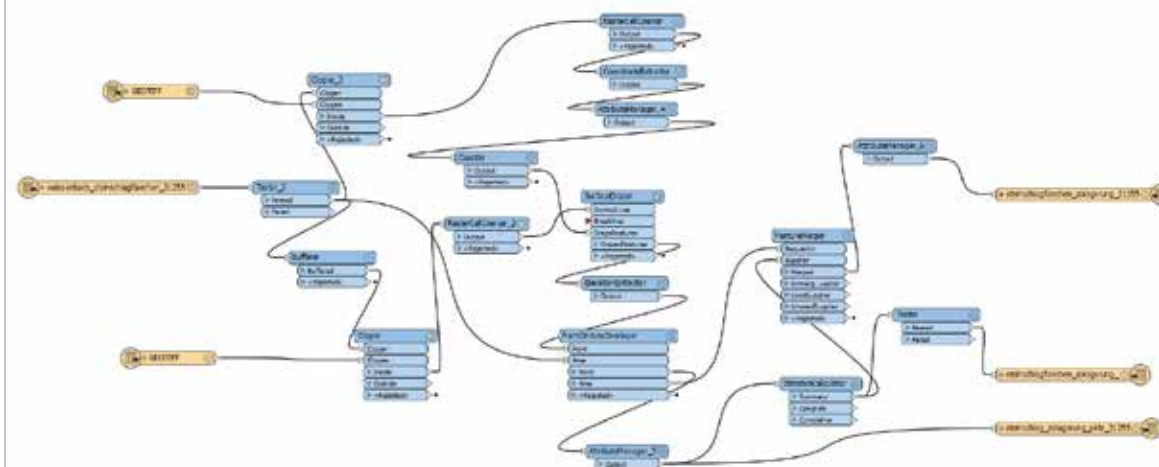


Abbildung 6: FME-Workflow zur Errechnung der Differenzen zwischen den Höhenmodellen

Figure 6: FME-workflow to calculate the differences between the elevation models

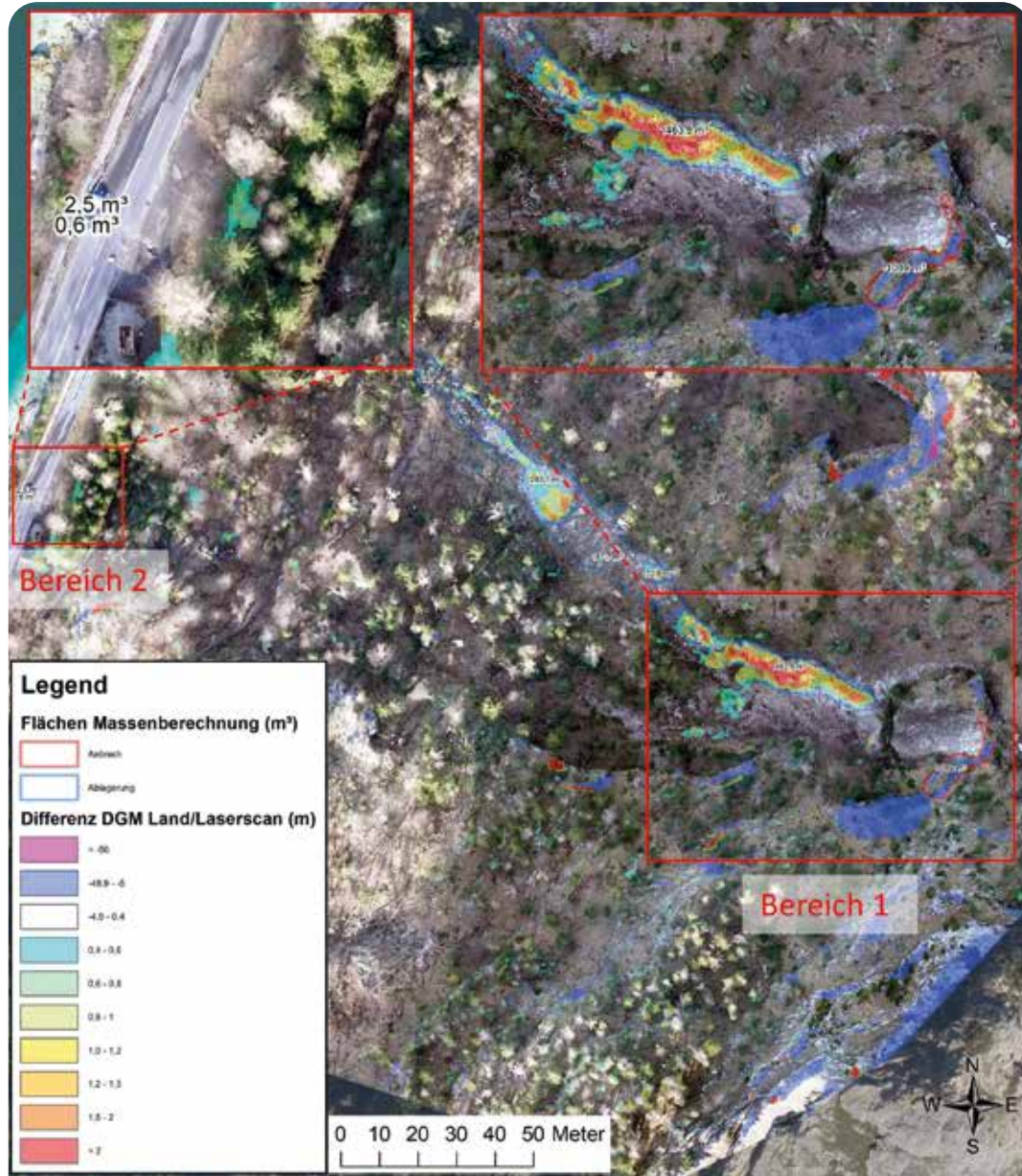


Abbildung 7: Übersichtskarte des Steinschlaggebietes mit Abbruch- und Ablagerungsflächen sowie geschätzte Kubaturen. Abbrüche sind in blau und Ablagerungen in cyan bis rot dargestellt. Bereich 1 und 2 sind vergrößert dargestellt.

Figure 7: Overview map of the rockfall area including detachment and deposition zones and estimates cubages; Detachment areas (blue) and deposition areas (cyan to red); Area 1 and 2 are enlarged.



Abbildung 8: Screenshot des Online-Tools zur Ansicht der Punktwolke - Bildausschnitt im Bereich 2 der Übersichtskarte. Klar ersichtlich die beiden Blöcke sowie die verbogene Leitplanke.

Figure 8: Screenshot taken from the online tool to view the cloud of dots - picture detail on the area 2 from the overview map. Both rocks and the bent crash barrier are clearly evident.

Insgesamt liefert die Methodik plausible Ergebnisse und punktet durch die schnelle Durchführung und Dokumentation der Daten. Um die Genauigkeit noch weiter zu erhöhen, wäre es von Vorteil einen genaueren und aktuelleren Referenzlaserscan zu haben und die Klassifizierung der Punktwolke händisch zu optimieren, um beispielsweise die Blöcke auf der Straße auch auf dem DGM abzubilden.

Link zur Online-Punktwolke:

https://pointclouds.skyability.eu/Attersee_Steinschlag

Eine auf Basis des aufgenommenen Laserscans und der erhobenen Blockgrößen durchgeführte

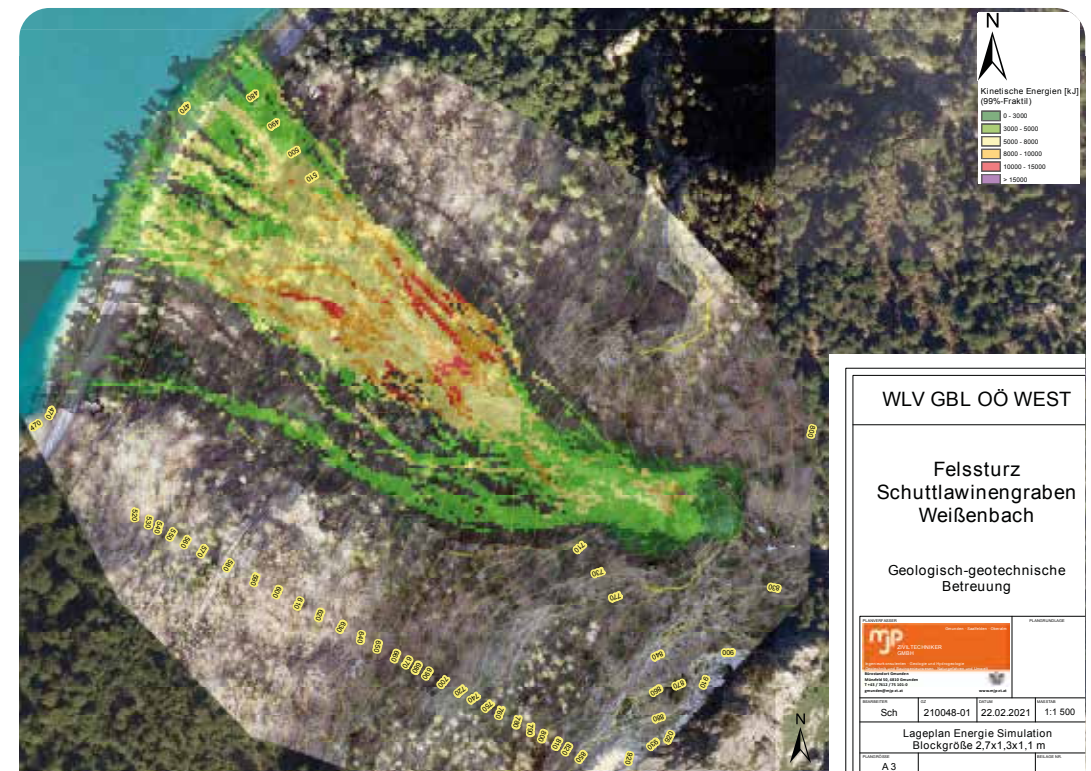


Abbildung 9: Die Ereignissimulation zeigt die sehr hohen Steinschlagenergien für diesen Bereich.

Figure 9: The event simulation shows extremely high energies for this area.

Simulation des Felssturzereignisses durch das Büro MJP Gmunden ergab Energien der Einzelblöcke im Bereich der Seeleitenstraße bzw. des Atterseeufers von 5.000–8.000 kJ. Die maximalen Sprunghöhen lagen in diesem Bereich bei rund 6 m, die Erklärung für die großen Sprunghöhen liegt unter anderem in der sehr steilen bergseitigen Straßenböschung.

Fazit und Ausblick

Der vorhandene und bis zum Ereigniszeitpunkt vitale Objektschutzwald hat auf das eingetretene Ereignis stark dämpfend gewirkt, trotzdem sind die Schäden am Wald durch das eingetretene Großereignis hoch und vermindern die Schutzwirkung kurz- und mittelfristig entsprechend. Zusätzlich hat sich aber einmal mehr gezeigt, dass bei den aufgetretenen Blockgrößen von teilweise über 4 m³ der Wald alleine auch bei gutem Zustand keinen ausreichenden Schutz bieten kann. Erst durch das Zusammenwirken von technischen und zielgerichteten forstlich/biologischen Maßnahmen kann der Steinschlagschutz in derartig exponierten Bereichen entscheidend verbessert und die Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder nachhaltig optimiert werden.

Da im Bereich der Ausbruchstelle der Sturzmassen noch absturzgefährdetes Steinmaterial gesprengt sowie die beschädigten Schutzbauwerke wiederinstandgesetzt werden müssen, ist eine länger andauernde Sperre dieser wichtigen Straßenverbindung unerlässlich.

Gleichzeitig wird seitens der Gebietsbauleitung OÖ West der WLW an einem Sanierungsprojekt für den stark in Mitleidenschaft gezogenen Objektschutzwald sowie an ergänzenden technischen Verbauungen gearbeitet, in das die angrenzenden, ebenfalls stark steinschlaggefährdeten Dauersiedlungsräume der Ortschaften Weißenbach, Gmauret und Forstamt der Marktgemeinde Steinbach am Attersee miteinbezogen werden.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Fö. Ing. Christoph Hofmann
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5a
4820 Bad Ischl
christoph.hofmann@die-wildbach.at

DI Michael Schiffer
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5a
4820 Bad Ischl
michael.schiffer@die-wildbach.at

DI Peter Hartl MAS (GIS)
Hartl Consulting e. U.
Gröben 11
6134 Vomp
office@hartl-consulting.com
www.hartl-consulting.com



Naturgefahrenschutz

Sicherheit ohne Kompromisse



Trumer Schutzbauten GmbH • Weissenbach 106 • 5431 Kuchl • Austria
Tel.: +43 6244 20325 • Fax: +43 6244 20325-11 • www.trumer.cc

**STEFAN JANU, HERMANN MICHAEL KONRAD,
ALEXANDER RADINGER, BENEDIKT RIEDER, ANDREAS SCHOBER**

Schutzprojekt Felssturz Pürgger-Wand

Control measures rock fall Pürgger-rock bank

Zusammenfassung:

Im November 2017 und Jänner 2018 ereigneten sich im Bereich der Pürgger-Wand in der Gemeinde Stainach-Pürgg Felsstürze. Es stürzten Einzelblöcke bis in die Nähe des Siedlungsraumes. Schon 18 Monate später konnte seitens der Wildbach- und Lawinerverbauung ein umfassendes Schutzprojekt, bestehend aus einer grundlegenden Risikoanalyse und Szenarienbeurteilung, der Einrichtung und dem Betrieb eines Monitoring- und Alarmsystems und der Errichtung eines Steinschlagschutzdammes auf einer Länge von 310 m umgesetzt werden. Durch die Umsetzung der Schutzmaßnahmen wurde die Gefährdungssituation für den Siedlungsraum (10 Wohnobjekte) und Freizeitanlagen (Naturbad und Tennisplatz) nachhaltig verringert.

Abstract:

In November 2017 and January 2018, rock falls occurred in the area of the Pürgger-rock bank in the community of Stainach-Pürgg. Individual blocks fell in the vicinity of the settlement area. 18 months later, a comprehensive protection project consisting of a basic risk analysis and a scenario assessment could be implemented by the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control, the installation and operation of a monitoring and alarm system and the construction of a rock fall protection dam over a length of 310 m had be installed. By implementing the protective measures, the hazard situation for the settlement area (10 residential buildings) and recreational facilities (natural swimming pool and tennis court) was sustainably reduced.

Stichwörter:

Felssturz Pürgg,
Steinschlagschutz-
damm, Monitoring

Keywords:

Rock fall Pürgg, rock fall
catching dam, monitoring

Einleitung

Am 12. November 2017 und am 10. Jänner 2018 ereigneten sich im Bereich der Pürgger-Wand in der Marktgemeinde Stainach-Pürgg (Bezirk Liezen) Felsstürze (Abbildung 1). Dabei stürzten Einzelblöcke bis in die Nähe des Siedlungsraumes (Abbildung 2). Die Pürgger-Wand erhebt sich nördlich des Ortsteils Pürgg und stellt eine Felsstufe mit einer Wandhöhe von bis zu 180 m dar. Bereits nach dem ersten Ereignis wurde nach Begutachtung durch den zuständigen Landesgeologen Mag. Konrad ein Betretungsverbot für einen Bereich im Ortsteil Pürgg erlassen. Seitens der

WLV, Gebietsbauleitung Steiermark Nord wurde das Fachzentrum für Geologie um fachliche Unterstützung angefordert.

Am 10.1.2018 um ca. 3 Uhr morgens kam es erneut zu einem Felssturz an der Pürgger-Wand. Am selben Tag wurde der neuerliche Felssturz vom Landesgeologen Mag. Konrad begutachtet.

Nach dem zweiten Felssturz hat die Marktgemeinde Stainach-Pürgg einen Antrag um Ausarbeitung und Durchführung von Schutzmaßnahmen im Bereich der Pürgger-Wand bei der Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Steiermark Nord gestellt.



Abbildung 1: Felssturzgebiet Pürgger-Wand

Figure 1: Location of the rock fall Pürgger-rock bank



Abbildung 2: Einzelblöcke des Felssturzes im siedlungsrelevanten Raum

Figure 2: Individual blocks of the rock fall in the settlement-relevant area

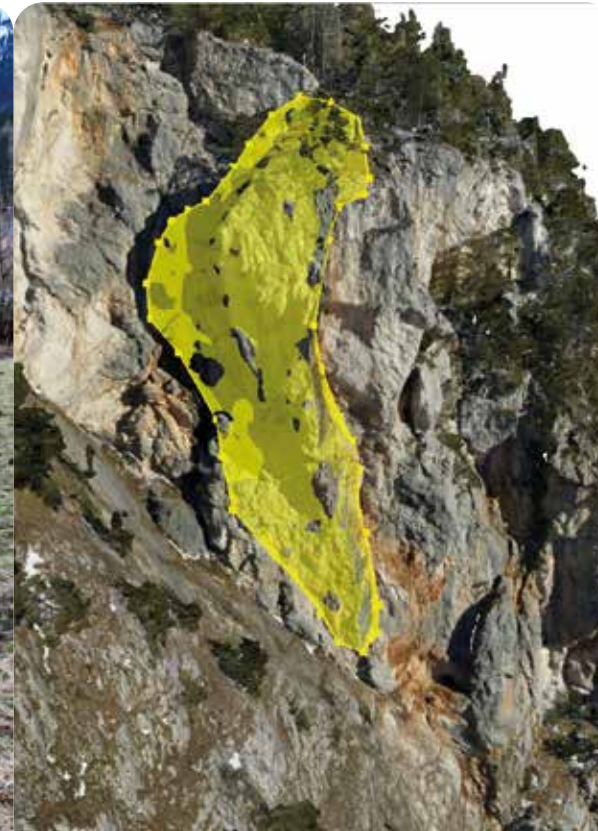


Abbildung 3: Bild links: 3D Bild des abgelösten Felsturmes mit 2.350 m³ (dargestellt und berechnet mit JMX Analyst); Bild rechts: Bereits abgelöster Bereich mit frischen Klufflächen

Figure 3: Left picture: 3D picture of the disbanded rock-tower with 2.350 m³ (displayed and calculated with JMX Analyst); right picture: already disbanded area with fresh gully surfaces

Geologie und Morphologie

Die Wand wird aus Gesteinen der Dachsteindecke aufgebaut. Die Kalke des Juvavischen Deckensystems sind massig bis gebankt und stark zerklüftet. Die Pürgger Wände selbst werden aus oberjurassischem Tressenstein aufgebaut. Die Abbildung 3 zeigt einen Felsturm von ca. 2.350 m³ noch im Wandverband vor dem zweiten Ereignis im linken Bild und abgelöst nach dem zweiten Ereignis im rechten Bild.

Am Top der Wandstufe verflacht das Gelände und wird dieses aus Gosau-Sedimenten des Ostalpins, aus Gesteinen des Ostalpins, mit

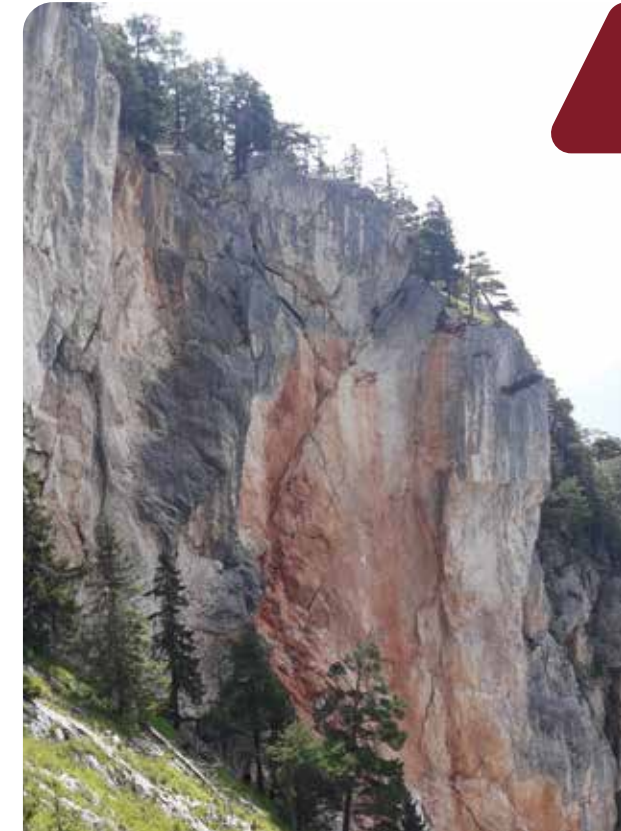
Basiskonglomerat und Brekzien gebildet. Unterhalb des Schrofens schließt im Süden ein steiler, 30° bis 45° geneigter, bewaldeter Schutthang an. Darunter folgen Mähwiesen, die auf Schwemmfächern liegen. Am Top des Schrofens treten offene Zerrspalten (Abbildung 5) mit Richtungen NW-SW, sowie an einer gekrümmten Linie aufgefädelt dolinenartige Strukturen auf. Die beschriebenen geomorphologischen Merkmale weisen auf eine tiefgründige Hangbewegung im Fels, die nach Süden Richtung Pürgg gerichtet ist, hin. Die stärkste Auflockerung des Felsgefüges und damit das höchste Gefährdungspotential geht vom zentralen Bereich der Wand aus. Dies ist in der tiefgründig angelegten Felsmassenbewe-

gung begründet. Insbesondere sind dortige, vom Hauptmassiv durch offene Spalten abgetrennte Felspfeiler (ca. 1.100 m³ und 6.100 m³) kritisch zu sehen. Ein weiteres Gefährdungspotential geht von der sichelförmigen Zugrissbildung am Top der Wand aus.

Gefahrenzonen- und Maßnahmenplanung

Für den Bereich des Siedlungsraumes unterhalb der Pürgger-Wand waren im genehmigten Gefahrenzonenplan 2004 keine Gefahrenzonen ausgewiesen.

Aufgrund von umfangreichen Risiko- und



Gefahrenanalysen durch das Fachzentrum Geologie der WLV und durch den Landesgeologen der Steiermark, erfolgte im Frühjahr 2018 eine Teilrevision des Gefahrenzonenplans für den Bereich „Steinschlag Pürgger-Wand“.

Die Reichweitenabschätzung und die Ermittlung der Energielinien erfolgte mittels 3D Modellierung (RAMMS::Rockfall). Basierend auf den Blockgrößenanalysen wurden Steinschlagsimulationen mit einem Bemessungssturzblock von 8 m³ durchgeführt. Als Ergebnis der Steinschlagsimulation und den daraus bestimmten, charakteristischen Einwirkungen für den Bemessungsblock von 8 m³, ergab sich eine kinetische Energie der

Sturzblöcke von ≥ 5.163 kJ für den zentralen Gefahrenbereich. Durch Herausmodellierung der einzelnen Felstürme und dem Schwächen der Aufstandsflächen ist mit verstärktem Steinfall bis hin zum Abgang von größeren Felsmassen bis zu 6.000 m³ zu rechnen. Basis der Berechnungen war eine Drohnenbefliegung durch 3 GSM. Dieser Prozess kann als „progressiv“ bezeichnet werden, der bereits seit mehreren Jahrhunderten aktiv ist.

Die Modellierung zeigte eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Kartierung und der Endlage der stummen Zeugen. Im revidierten Gefahrenzonenplan ist das Gefährdungspotential als Steinschlag-Hinweisbereich für hohe Intensität/geringe Intensität dargestellt. Ein Gefährdungspotential im Hinblick auf Stein- und Blockschläge und nicht auszuschließende Felssturzereignisse ist demnach für zehn Wohnobjekte und die Freizeitanlage (Naturbad und Tennisplatz) gegeben.

Aufbauend auf den umfangreichen ingenieurgeologischen Untersuchungen des Fachzentrums Geologie und des Landesgeologen ist seitens der Gebietsbauleitung Steiermark Nord ein Schutzprojekt, bestehend aus der Einrichtung und dem Betrieb eines Monitoring- und Alarmsystems und der Errichtung baulicher Schutzanlagen (Steinschlagschutzdamm und Fallboden) ausgearbeitet worden. Durch die Schutzmaßnahmen sollte die Gefährdungssituation für die Freizeitanlagen (Naturbad und Tennisplatz) und für Teile des Siedlungsraums nachhaltig verringert werden.

Aufgrund der Expertisen des Fachzentrums Geologie wurde ein Erdamm mit einer bergseitigen Böschungssicherung in Form einer Grobsteinschichtung als Bautyp gewählt. Die bergseitige Böschungsneigung wurde mit 50° , die

talseitige mit 40° geplant. Die Bauwerkshöhe hat bergseitig mindestens 7 m und die Fallbodenbreite mindestens 8 m zu betragen. Die Dammkronenlänge sollte ca. 310 m aufweisen und befahrbar sein (mindestens $4,5$ m breit). Die Ableitung der anfallenden Oberflächen- und Bergwässer wurde über Dammfußdrainagen geplant.

Für den Arbeitnehmerschutz während der Bauphase und für eine langfristige Beobachtung und Einschätzung möglicher Deformationen im Wandbereich ist ein umfangreiches permanentes Monitoring- und Überwachungssystem eingerichtet worden. Während der Arbeiten vor Ort wurde auf Basis des Monitoringsystems eine ständige und semi-automatisierte Alarmierung eingerichtet. Es kam eine Kombination aus geodätischen Deformationsmessungen in der Wand mittels Totalstation und geotechnischen Verformungsmessungen an Klüften oberhalb der Wand mittels Klüftmessstellen (Fissurometer) zum Einsatz.

Für die Errichtung des Monitoringsystems wurde die Firma Geodata Ziviltechniker GmbH betraut. Für die tägliche Bewertung und Analyse während der Bauarbeiten und der Gefährdungseinschätzung zur Freigabe der Baustellenarbeiten, als auch mit der geotechnischen Beurteilung und Baubegleitung wurde die Firma Geoconsult ZT GmbH beauftragt.

Monitoring

Insgesamt wurden 12 Fissurometer und 18 3D Targets entlang der Zerrklüfte sowie in der Wand installiert. In Abbildung 4 und Abbildung 5 ist die Lage der Fissurometer sowie der Messpunkte (Targets) abgebildet. Zur Messung der Targets wurde eine völlig automatisierte und solarbetriebene Totalstation installiert (Abbildung 6).

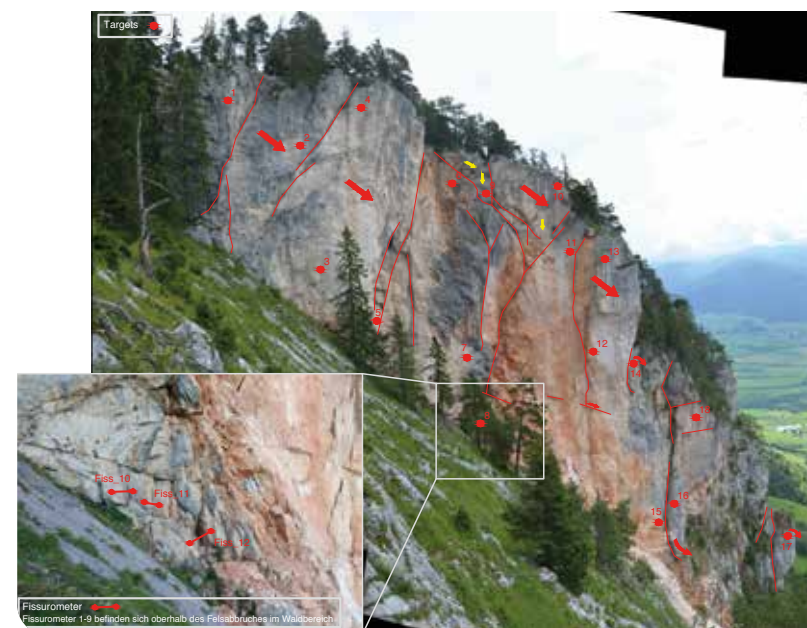


Abbildung 4: Übersichtsdarstellung zu den 3D Verformungsmesspunkten (Targets 1 - 18) und Fissurometer 10 - 12 in der Pürgger-Wand (Standpunkt Totalstation NW der Wand)

Figure 4: Overview of the 3D deformation measuring points (targets 1 - 18) and fissurometer 10 - 12 in the Pürgger-rock bank (viewpoint total station NW of the bank)



Abbildung 5: Lage der Fissurometer 1 - 9 oberhalb der Pürgger-Wand im Bereich der Zerrklüfte am Plateau

Figure 5: Position of the fissurometers 1 - 9 above the Pürgger-rock bank in the area of the tensile joints on the plateau





Abbildung 6:
Totalstation (oben) und
Solaranlage (unten)
unterhalb der Pürger-Wand.

Figure 6:
Total station (above) and
solar system (below) below
the Pürger-rock bank



Abbildung 7: Zeit-Verformungsdiagramm der Fissurometer F01-F12 im Zeitraum vom 09.08.2018 – 27.2.2021

Figure 7: Time-deformation diagram of Fissurometers F01-F12 during the period 09/08/2018 - 27.2.2021

Alle Messsysteme zeigen seit Messbeginn am 10. August 2018 relativ stabile und plausible Messdaten. In den Daten zeigt sich ein deutlicher Tagesgang (Temperatur), ein jahreszeitlicher Gang und es spiegeln sich Witterungsänderungen (Niederschlag, Wind) wieder.

Die Verformungen der Fissurometer liegen bisher im Millimeterbereich. Die größten Veränderungen wurden dabei bei den Fissurometern F01–F02 beobachtet (ca. 3–4 mm). Bei Fissurometer F04 hingegen kam es zu einer Stauchung von max. 20 mm. Letzt genannte Messpunkte sind an Block 5 installiert. Hier lässt sich eine leichte Bewegung von Block 5 ableiten. Die übrigen Fissurometer zeigten keine signifikanten Verformungen.

Die Veränderungen bei den 3D-Punkten lagen im Millimeterbereich und zeigten eine stärkere Empfindlichkeit gegenüber Witterungsänderungen. So wurde beispielsweise zwischen 24.10.2018 und 25.10.2018 eine Sturmwarnung mit Sturmböen bis zu 90 km/h für Aigen im Ennstal ausgerufen, was sich durch eine starke Schwankung in den 3D Punkten widerspiegelte. Ebenso konnte ein temporärer Ausfall der 3D-Punkte mit dem Einsetzen von Schneefall oder der Bildung von Nebel korreliert werden.

Bauausführung

Vor der eigentlichen Dammbauarbeiten wurden Rodungs- und Holzbringungsarbeiten entlang des Schutthanges durchgeführt. Nach Beendigung dieser vorbereitenden Arbeiten konzentrierten sich die Arbeiten auf die Herstellung des Dammes im westlichen Abschnitt. Aufgrund der optimalen angetroffenen geologischen Verhältnisse konnte bis Jahresende 2018 ein sehr guter Baufortschritt mit einer Dammlänge von ca. 150 m erzielt werden. Zeitgleich ist an der Herstellung der bergseitigen Steinschichtung gearbeitet worden. Im April 2019 wurde die Einbindung des westlichen Dammdendes in das Urgelände fertiggestellt. Parallel zu den Erdarbeiten erfolgte die Humusierung der talseitigen Dammböschung sowie der bergseitigen Fallbodenböschung. Im Mai und Juni 2019 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Herstellung des östlichen Dammbereiches. Die Dammkrone folgt dem Verlauf des Zufahrtsweges, und weist im östlichen Bereich ein Gefälle von bis zu 20 % auf. Das östliche Dammdende gewährt einen Zugang zum Fallboden, um diesen gegebenenfalls zu warten. Die dadurch entstehende Öffnung ist durch einen kleinen vorgelagerten Damm gesichert.

Im Rahmen des Monitorings erfolgte eine tägliche Baustellenfreigabe, basierend auf meteorologischen Daten und den Messdaten, welche mittels KRONOS (Datenintegrationsplattform von Geodata ZT GmbH) vor 06:30 Uhr sowie im Tagesverlauf beobachtet und analysiert wurden:

- Im 30 Minutentakt erfolgte die Übermittlung folgender Daten der 3D Messpunkte 1–18 (Abbildung 4):
- Vertikalverformung (HValueDelta): Hebung und Senkung.
- Längsverformung (XValueDelta): Verkür-

zung bzw. Verlängerung der Entfernung zur Wand.

- Querverformung (YValueDelta): Verschiebung quer zur Wand SE-NW.

Im 15 Minutentakt erfolgt die Übermittlung der Verformungsänderung (Dehnung und Stauchung) der Fissurometer F01–F12 (temperaturkompensierte Darstellung der Fissurometerdaten) (Abbildung 4 und Abbildung 5).

In Abbildung 7 ist das Zeit-Verformungsdiagramm der 12 Fissurometer über den gesamten Projektzeitraum dargestellt.

Begleitend zu den Bauarbeiten erfolgte eine wöchentliche Baustellenbegehung durch Geologen und Geotechniker. Die Geländebegehungen wurden durch Drohnenbefliegungen unterstützt. Zusätzlich erfolgte ca. 14-tägig eine Kontrolle des Verdichtungsgrads und Verformungsmoduls durch Lastplattenversuche. Insgesamt wurden 20

statische und 11 dynamische Lastplattenversuche durchgeführt. Die Mindestanforderungen an die Verdichtung orientierten sich dabei an der RVS 08.03.01 für das Unterbauplanum. Alle Versuche sind auf verdichtetem Material durchgeführt worden. Die Mindestanforderung an den Verformungsmodul lag bei $\geq 35 \text{ MN/m}^2$ für Ev1 bzw. bei



Abbildung 8:
Fertiggestellter
Steinschlagschutzdamm



Figure 8:
Completed rock fall
protection dam

$\geq 38 \text{ MN/m}^2$ für Evd. Der geforderte Verhältniswert von Ev2/Ev1 wurde mit $\leq 2,5$ definiert. Wurden die Mindestanforderungen an den Verformungsmodul bzw. der erforderliche Verdichtungsgrad nicht erreicht, ist nachverdichtet oder das Dammschüttmaterial neu abgestimmt worden.

Fertigstellung

Zirka 18 Monate nach dem Ereignis und einer Bauzeit von knapp 7 Monaten (03.09.2018 bis 13.12.2018 und vom 04.03.2019 bis 04.07.2019) konnte der Steinschlagschutzdamm fertiggestellt werden und der Gemeinde Stainach-Pürgg am 05.07.2019 übergeben werden. Die Gesamtkosten beliefen sich auf ca. 1 Mio. Euro.

Bauwerksabmessungen:

- Dammkronenlänge: 310 m
- Dammkronenbreite: 3,3–4,0 m
- Fallbodentiefe: 7,3–8,0 m
- Fallbodenbreite: 7,8–8,9 m
- Böschungsneigung talseitig: 34–40°
- Böschungsneigung bergseitig: 51–54°

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

DI Stefan Janu
Wildbach und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Steiermark Nord
Schönauerstraße 50, 4950 Liezen
stefan.janu@die-wildbach.at

Mag. Hermann Michael Konrad
Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik
Referat: Gewässeraufsicht und
Gewässerschutz – Geologie
Landhausgasse 7, 8010 Graz
hermann.konrad@stmk.gv.at

Mag. Alexander Radinger, MBA
Geodata Ziviltechniker GmbH
Hans-Kudlich-Straße 28, 8700 Leoben
alexander.radinger@geodata.com

Msc. Benedikt Rieder
Wildbach- und Lawinenverbauung
Fachzentrum Geologie und Lawinen
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
benedikt.rieder@die-wildbach.at

Mag. Andreas Schober
GEOCONSULT ZT GmbH
Wissenspark Salzburg Urstein
Urstein Süd 13, 5412 Puch bei Hallein
andreas.schober@geoconsult.eu

Literatur/References:

KONRAD H. M. (2017).
Aktenvermerk des Landesgeologen zum Felssturz in Pürgg vom 12.11.2017.
Bezirkshauptmannschaft Liezen BHLL-2759/2017-62 Liezen

KONRAD H. M. (2018).
Aktenvermerk des Landesgeologen zum Felssturz in Pürgg vom 10.01.2018.
Bezirkshauptmannschaft Liezen GZ: BHLL-7804/2018-2

ONR 24810 (2017):
Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und
konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung

RIEDER B. (2018).
Ingenieurgeologische Expertise zur Block- und Felssturzgefährdung Pürgg.
Gutachten des Fachzentrums Geologie und Lawine mit der Geschäftszahl:
3494/3-2018

CHRISTIAN AMBERGER

Steinschlagschutz im Osten Österreichs – Rahmenbedingungen – Beispiele – Perspektive

Rockfall protection in the east of Austria – framework conditions – examples – perspective

Zusammenfassung:

Steinschlagschutz wird von der Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland in größerem Umfang erst seit wenigen Jahren betrieben. Es werden die Rahmen- und Umfeldbedingungen für das Zustandekommen solcher Schutzbauwerke beschrieben und einzelne aktuelle Projekte vorgestellt.

Abstract:

The Provincial Headquarters of Vienna, Lower Austria and Burgenland has only been involved in rockfall protection on a large scale for a few years. The framework and environmental conditions for the realization of such protective structures are described and individual current projects are presented in the following article.

Stichwörter:

Steinschlagschutz,
Erosion, Wien,
Niederösterreich,
Burgenland

Keywords:

*Rockfall protection,
erosion, Vienna,
Lower Austria, Burgenland*

Einleitung

Die Errichtung von Schutzmaßnahmen gegen Steinschlag durch die Wildbach- und Lawinenerverbauung in größerem Umfang hat sich im Osten Österreichs im Wesentlichen erst im 21. Jahrhundert etabliert. Im Gegensatz zum Schutz vor Wildbächen und Lawinen, der durch das Bundes-Verfassungsgesetz Artikel 10 von 1919 sowohl in Gesetzgebung als auch in Vollziehung dem Bund übertragen war und somit immer strikten Rechtsnormen unterworfen war, gab es zum Schutz gegen Steinschlag keine ähnlich klare und eindeutige gesetzliche Vorgabe. Das hatte zur Folge, dass Steinschlagschutz insbesondere für kommunale Liegenschaften nie einer eindeutigen Regelung unterworfen war und Maßnahmen immer einer Abwägung des Einzelfal-

les unterlagen. Im Rechtsverhältnis zwischen Gefährdetem und dem Oberlieger ist im Wesentlichen auf die Bestimmungen des ABGB §§364 ff (Ausübung des Eigentumsrechtes) zu verweisen (sh. Wagner, Jandl; Steinschlagschutz-rechtliche Aspekte, 2013, S 76 ff). Bei Verkehrsanlagen ist die Rechtssituation eindeutiger, hier sind im Eisenbahngesetz, dem Seilbahngesetz, sowie in den Bundes- und Landesstrassengesetzen entsprechende Zwangsbefugnisse und Duldungspflichten enthalten.

Der gesetzliche Rahmen ist zwar auch jetzt noch nicht anders, aber durch den langjährigen modus operandi, sowie dienstinterner Vorgaben und Richtlinien ist heute gewährleistet, dass nebst höchsten technischen Standards auch alle notwendigen formalrechtlichen Kriterien für die Schutzbauwerke umgesetzt werden.

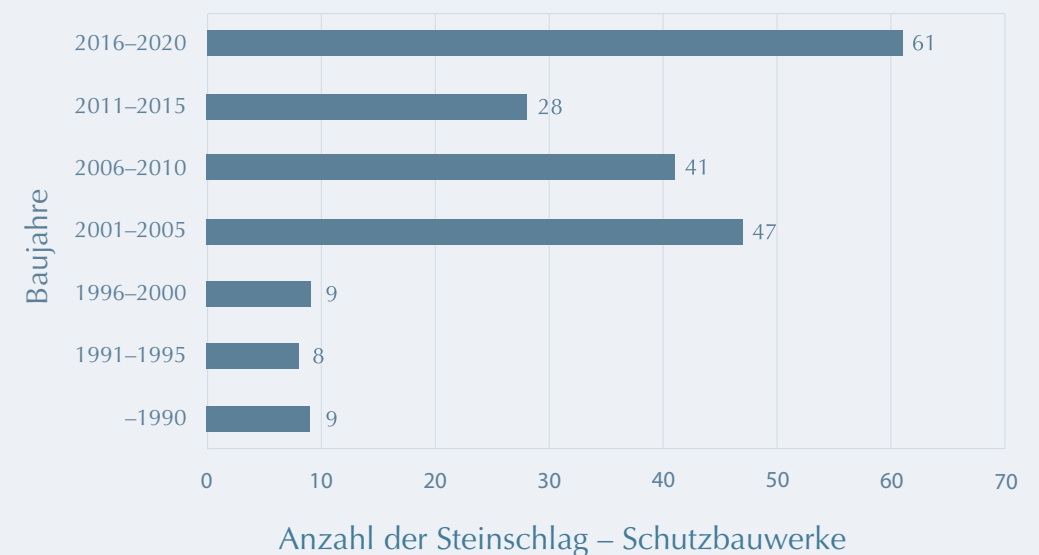


Abbildung 1: Anzahl der errichteten Steinschlagschutzbauwerke in der Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland im Zeitverlauf.

Figure 1: Number of rockfall protection structures erected by the Torrent and Avalanche Control in Vienna, Lower Austria and Burgenland over time.

Da Steinschlagschutzbauwerke, falls sie nicht auch kombinatorisch gegen Lawinen oder Schneerutsche konzipiert sind, nicht nach § 41 Wasserrechtsgesetz (Schutz- und Regulierungswasserbauten) verhandelt werden können, was mit rechtskräftigen Bescheid ein Legalservitut für die Maßnahmen zur Folge hätte, werden Steinschlagschutzbauwerke nur mehr auf Grund und Boden des Konsenswerbers oder bei Vorliegen eines verdinglichen Nutzungstitels, also der Einräumung eines verbücherten Servituts zugunsten des Interessenten geplant und umgesetzt.

Ein Antreiber für die verstärkte Umset-

zung von Steinschlagschutzmaßnahmen sind neben der guten Rechts- und Planungssicherheit für die Gemeinden auch die zunehmende Sensibilisierung der Bevölkerung für Naturgefahren im Allgemeinen und der Umstand, dass Steinschläge mit Schäden oder Fastschäden de facto Gefahr im Verzug und somit dringenden Handlungsbedarf intendieren.

Der Großteil der Schutzbauwerke befindet sich in den Nördlichen Kalkalpen (im Wesentlichen im Ybbstal, Erlaufthal, Pielachtel, Traisental), in den steilen kristallinen Einhängen der Wachau zur Donau und im Zentralalpin im Bereich des

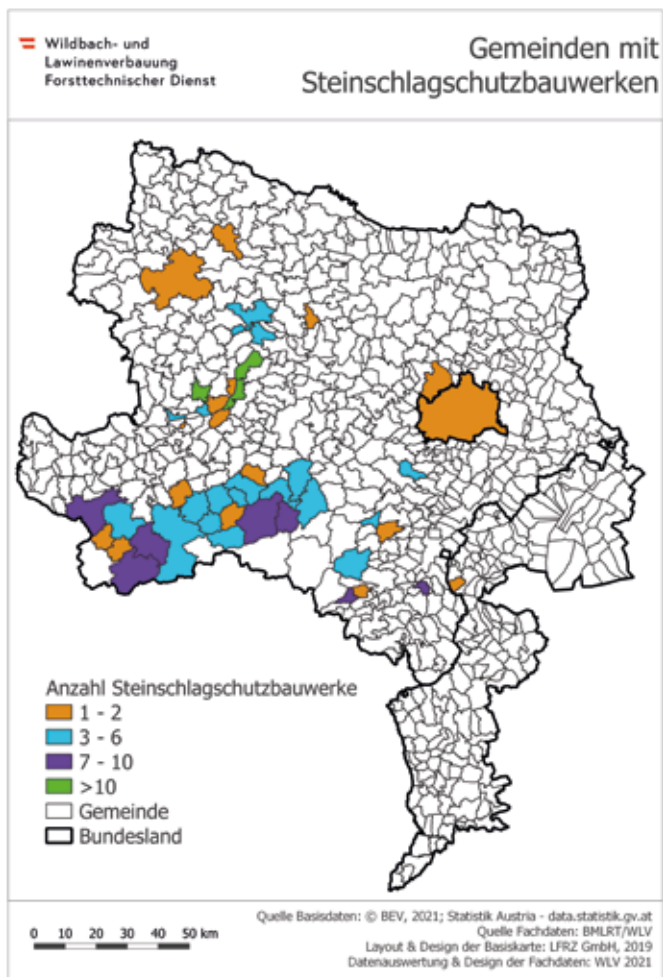


Abbildung 2: Gemeinden mit Steinschlagschutzbauwerken in der Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland.

Figure 2: Municipalities with protective structures against rockfall in the area of the Provincial Headquarters of Vienna, Lower Austria and Burgenland.

Investitionen der Sektion WNB 2011–2020

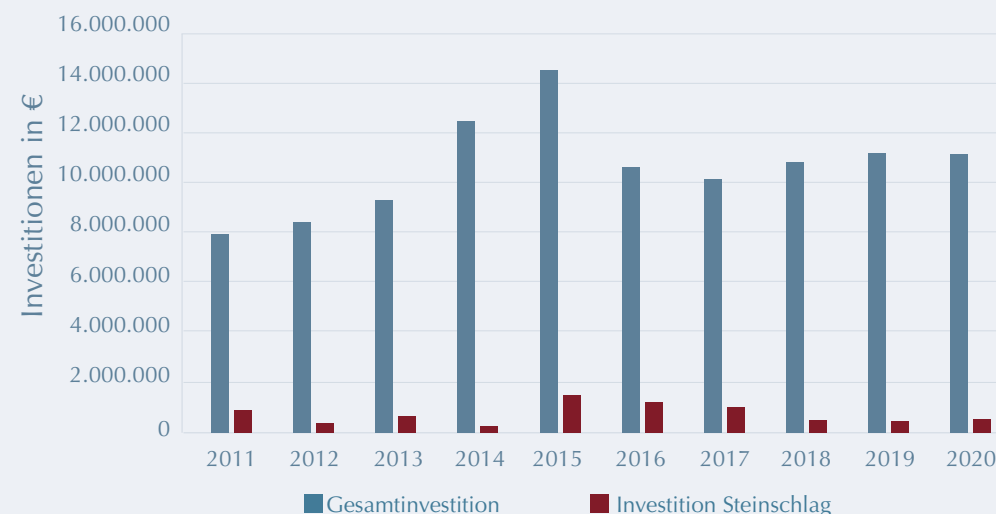


Abbildung 3: Gesamtinvestitionen und Investitionen in Steinschlagschutzmaßnahmen in der Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland in den Jahren 2011–2020.

Figure 3: Total investments and investments in rockfall protection measures in the Provincial Headquarters Vienna, Lower Austria and Burgenland in the years 2011–2020.

Semmering. Insgesamt wurden bis jetzt rund 200 Schutzmaßnahmen in 45 Gemeinden realisiert. Überwiegend werden Schutznetze errichtet, vereinzelt Fallböden, weiters ergänzende schutzwaldbauliche Maßnahmen und dort, wo es machbar und wirtschaftlich sinnvoll ist, Felsabräumungen.

Investitionen in den Steinschlagschutz sind ergänzende Maßnahmen im Leistungsportfolio der Sektion. Der Anteil am gesamten Umsatz zum Schutz vor Naturgefahren beträgt im Durchschnitt rund 7,5 % mit erheblichen jährlichen Schwankungsbreiten von 3–12 %. Dies resultiert daraus, dass sich einzelne kapitalintensive Bauvorhaben bei den überschaubaren Umsätzen gleich deutlich abbilden. Ein aus der Anzahl der Bauwerke und der Investitionen ableitbarer Trend ist, dass zunehmend lokale, oft nur objektbezogene Bauwerke mit klarem Schutzbezug errichtet werden.

Steinschlagschutz und Gefahrenzonenplanung

Auch Maßnahmen zum Schutz vor Steinschlägen bedürfen gemäß unserer Technischen Richtlinie einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und somit einer qualitativ abgestuften Darstellung der Gefahr. Als Vorgriff auf die im Nachgang zur angestrebten Novellierung der GZP-Verordnung notwendige Anpassung der Richtlinie der Gefahrenzonenplanung wurde mit Zahl BMLFUW-LE.3.3.3/0051-III/5/2017 und späteren Konkretisierungen erlassmäßig schon festgelegt, dass bei der Ausweisung von braunen Hinweisbereichen mit der Qualität Steinschlag auch Bereiche hoher Intensität (rot-braune Hinweisbereiche) sowie mittlerer und geringer Intensität (gelb-braune Hinweisbereiche) abgegrenzt werden können.

Bereiche hoher Intensität umfassen im

Raumrelevanten auftretende Energien des Bemessungsblocks größer 100 kJ, Bereiche geringer Intensität 1–100 kJ.

In der Sektion WNB wurde im Zuge der Revision des GZP der Gemeinde Lunz teilweise eine umfassende qualitative Ausweisung der Hinweisbereiche für Steinschlag durchgeführt. Nach deren Evaluierung kann festgehalten werden, dass der erhebliche Aufwand dafür in keiner Relation zum Mehrwert für die Dienststelle oder für die Gemeinde steht. Jetzt und hinkünftig erfolgt eine qualitative Darstellung ausschließlich anlassbezogen, also, wenn sie für eine Schutzmaßnahme notwendig ist. Dies geschieht nach der grundsätzlichen Beurteilung durch einen der Landesgeologen oder durch die Expertinnen und Experten unseres Fachzentrums für Geologie und Lawinen. In diesen Gutachten werden die benötigten Intensitäten darstellt.

Ausgewählte Projekte

Flächenwirtschaftliches Projekt Gerichtsgraben – Dirndlleiten

Aufgrund wiederkehrender Steinschläge auf die Bundesstraße B33 und auf einzelne Wohn- und Gewerbeobjekte in den Gemeinden Rossatz-Arnsdorf und Schönbühel-Aggsbach in der Wachau und der unbefriedigenden Wald-Wild-Situation und der damit einhergehenden dramatisch schlechten Verjüngungssituation und dem fortgesetzten Humusabtrag der skelettreichen Böden kam es schon Mitte der 1990er Jahre zu umfassenden Planungsschritten.

Im Jahr 2000 konnte ein umfassendes Flächenwirtschaftliches Projekt mit einem Investitionsvolumen von rund 3,2 Mio. Euro genehmigt werden, welches die Errichtung umfangreicher



Abbildung 4: Steinschlagschutznetz Energieklasse 1.500 kJ an der Bundesstraße B33.

Figure 4: Rockfall protection net, energy class 1,500 kJ along the B33 federal road

Steinschlagschutznetze, Felsvernetzungen, Runsenstabilisierungen, Aufforstungen und schutzwaldbauliche Pflegearbeiten im rund 7 Kilometer langem Projektgebiet vorsah. Alle Maßnahmen konnten inzwischen umgesetzt und das Schutzniveau für die Bundesstraße und die gefährdeten Objekte erheblich verbessert werden. Dieses wurde in Bauetappen bis zum Jahr 2019 umgesetzt und wo notwendig, an den aktuellen Stand der Technik angepasst.

Es zeigte sich bei einigen Steinschlägen auf die Bundesstraße B33 in den noch ungesicherten, ausgesetzten Bereichen donauaufwärts Richtung Melk, dass noch weiterer Handlungsbedarf besteht. Derzeit findet die Planung für ein ergänzendes Schutzprojekt statt.

Steinschlagschutz in den Gemeinden Lunz am See und Gaming

Einen aktuellen Schwerpunkt bei der Umsetzung von Steinschlagschutzmaßnahmen bildeten aufgrund wiederholter Schadereignisse die Gemeinden Gaming und Lunz am See im Bezirk Scheibbs.

Direkt an der touristisch hochfrequentierten Promenade des Lunzer Sees mussten zur umfassenden Absicherung rund 500 lfm Steinschlagschutznetz durchwegs der Energieklasse 1.000 kJ errichtet werden.

Abbildung 5: Sicherung der Promenade am Nordufer des Lunzer See.

Figure 5: Securing the promenade on the northern bank of the Lunzer See.



Ein lokaler Objektschutz für ein Wohn- und Betriebsgebäude samt Nebenanlagen war beim Ritzinger Felssturz in Lunz erforderlich. Diese im Jahr 2018 fertiggestellte Maßnahme (rund 100 lfm Steinschlagschutznetz der Energieklasse 500 kJ) konnte sich im Herbst 2020 bewähren und einen massiven Gebäudetreffer verhindern, was auch ein sehr wertschätzendes mediales Echo zur Folge hatte.

In Gaming lag der Schwerpunkt beim Stixendorfer Felssturz, wo aufgrund eines stark zerklüfteten Hauptdolomit-Felsbandes immer wieder

bis zu doppelkopfgroße Sturzblöcke zu den Wohnhäusern vordrangen. Zum nachhaltigen Schutz wurden rund 150 lfm Steinschlagschutznetz der Energieklassen 250 kJ und 500 kJ errichtet.

Abgerundet wurde dieser lokale Schwerpunkt an Steinschlagschutzmaßnahmen durch die Absicherung des Oberruhberges zum Schutz des Radweges mit einem lokalen leichten Steinschlagschutznetz der Energieklasse 100 kJ.

In Summe wurden für die beschriebenen Maßnahmen rund 0,8 Mio. Euro zum nachhaltigen Schutz vor Steinschlag investiert.



Abbildung 6: Rollend-gleitend abgegangener, scheibenförmiger Felsblock mit rund 2 Tonnen Gewicht beim Ritzinger Felssturz

Figure 6: Ritzinger rock fall: disc-shaped boulder with a weight of around 2 tons that came off rolling and sliding

Abbildung 7:
Absicherung der
Wohnsiedlung im Bereich
des Stixendorfer Felssturzes

Figure 7:
Securing the housing
estate in the area of the
Stixendorfer rockslide



Ausblick

Steinschlagschutzmaßnahmen nehmen einen festen Platz im Leistungsumfang der Sektion ein. Wir gehen in der Ressourcenprognose von einem langfristig stabilen Anteil von bis zu 10 % der Gesamtinvestitionen aus.

Vor der Umsetzung befinden sich Maßnahmen an der Himmelsstiege in Dürnstein in der Wachau zum Schutz einer hochfrequentierten touristischen Einrichtung, beim Felssturz Gerl in Waidhofen an der Ybbs, beim Untermeislinger Felssturz in Gföhl sowie die Errichtung eines lokalen Steinschlagschutzdammes in der KG Obergegend in St. Veit an der Gölsen.

Gefahr durch Steinschlag schafft für die Gemeinden in deren Eigenschaft als Bau- und Sicherheitsbehörde unmittelbaren Handlungsbedarf, da durchwegs Gefahr in Verzug besteht. Eine zusätzliche Sensibilisierung ist in Niederösterreich durch die seit Kurzem für alle Gemeinden ausgerollte geogene Hinweiskarte, die bei einer mittleren oder hohen Wahrscheinlichkeit für Sturzprozesse die Abklärung durch einen Fachexperten vorsieht, gegeben.

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass insbesondere von unseren Gebietsbauleitungen die Leistungen und Expertisen des Fachzentrums für Geologie und Lawinen in sehr hohem Maße geschätzt werden, da damit eine sichere und fachlich fundierte Umsetzung der Schutzmaßnahmen dem Stand der Technik folgend gewährleistet ist.

Anschrift des Verfassers/Author's address:

DI Christian Amberger
Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland
Marxergasse 2, 1030 Wien
christian.amberger@die-wildbach.at

Literatur/References:

SUDA, J; RUDOLF-MIKLAU, F (2012):
Bauen und Naturgefahren – Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz;
Springer-Verlag, Wien.

WAGNER, E; JANDL, C (2013):
Steinschlagschutz – rechtliche Aspekte, Schriftenreihe Umweltrecht und
Umweltechnikrecht; Trauner-Verlag, Linz.

THOMAS FRANDL, ANDREAS REITERER

Die Ausweisung des Braunen Hinweisbereiches „Steinschlag“ in der Gefahrenzonenplanung

The designation of brown reference areas „rockfall“ in the hazard zone mapping

Zusammenfassung:

In den Anfängen der Gefahrenzonenplanung der Wildbach- und Lawinenverbauung wurden die Braunen Hinweisbereiche nicht systematisch, sondern nur sporadisch ausgewiesen. Die gesetzliche Grundlage dafür war jedoch mit dem Forstgesetz 1975 und der Gefahrenzonenplanverordnung gegeben (Bundesgesetzblatt Nr. 436/1976). In der Sektion Vorarlberg wird die Ausweisung der Braunen Hinweisbereiche Rutschung und Steinschlag im Raumrelevanten Bereich seit 2007 konsequent und vollständig durchgeführt. Die Darstellung erfolgt in zwei Intensitätsklassen.

Abstract:

In the beginning of the hazard zoning, the brown reference areas were not systematically indicated, but only sporadically. The legal basis for this was given by the Forestry Act 1975 and the Decree on Hazard Zoning (Federal Law Gazette No. 436/1976). In the Provincial Headquarters Vorarlberg, the identification of the brown reference areas for landslide and rockfall in the spatially relevant area has been carried out consistently and completely since 2007. The delineation comprises two intensity classes.

Stichwörter:

Gefahrenzonenplanung, Brauner Hinweisbereich Steinschlag, Naturgefahren

Keywords:

hazard zoning, brown reference areas, rockfall, natural hazards

Einleitung

Die Ausweisung der Braunen Hinweisbereiche (Rutschung und Steinschlag), ... *hinsichtlich derer anlässlich von Erhebungen festgestellt wurde, dass sie vermutlich anderen als von Wildbächen und Lawinen hervorgerufenen Naturgefahren, wie Steinschlag oder nicht im Zusammenhang mit Wildbächen oder Lawinen stehende Rutschungen ausgesetzt sind*“, war bereits seit der rechtlichen formalen Einführung der Gefahrenzonenplanung der Wildbach- und Lawinenverbauung mit dem Forstgesetz 1975 und der Gefahrenzonenplanverordnung 1976 möglich. In der Sektion Vorarlberg wurden die Braunen Hinweisbereiche anfangs nur sporadisch ausgewiesen, seit 2007 erfolgt dies jedoch konsequent und vollständig. Der vorliegende Artikel beschränkt sich auf den Braunen Hinweisbereich „Steinschlag“.

Grundsätzliches zur Steinschlaggefährdung

Diese Gefährdung wurde vor der konsequenten Bearbeitung in den Gefahrenzonenplänen der WLV weder von den Behörden noch von den Sicherheitsverantwortlichen vollständig wahrgenommen. Dadurch entstanden immer mehr Fälle, bei denen neue Siedlungs- und Infrastrukturen in Gebieten mit Steinschlaggefahr errichtet wurden. Problematisch ist, dass sich Steinschläge zeitlich sehr schwer eingrenzen lassen. Sie können jederzeit und bei fast jeder Witterung auftreten. Der Prozessablauf ist oft sehr energiereich, Personen- und Sachschäden sind somit immer möglich.

Die Abbildung 1 zeigt den Steinschlag an der Grasreuthestrasse am 04.02.2021. Es geschah zwischen 07:00 und 08:00 Uhr morgens. Kurz davor fuhren noch einige Pendler über diese Straße zur Arbeit.

Abbildung 1:
Steinschlag auf die
Grasreuthestrasse (Stadt
Bregenz) am 04.02.2021

Figure 1:
Rockfall on
Grasreuthestrasse (City of
Bregenz) on February 4th,
2021



Kriterien für die Ausweisung des Braunen Hinweisbereiches „Steinschlag“

Wie bereits in der Zusammenfassung erwähnt, wird bei Steinschlag in zwei Intensitätsklassen unterschieden bzw. es werden zwei Hinweisbereichstypen ausgewiesen. Die Tabelle 1 zeigt die dafür relevanten Parameter auf.

Die Kriterien werden so gewählt, dass in der Gefährdungsklasse „Steinschlag“ ein Schutz des bzw. der Gebäude mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Diese Schutzmaßnahme muss am Gebäude selbst möglich sein (verstärkte Wände Anschüttung). Mit umfangreichen Schutzmaß-

nahmen vor Gebäuden (Schutzdämme usw.) kann die Gefahr insgesamt reduziert werden. Eine Rücknahme der Ausweisung „Steinschlag intensiv“ ist erst nach Ausführung dieser Maßnahmen möglich. Steinschlag intensiv entspricht einer Roten Gefahrenzone und Widmungen und Bauansuchen werden negativ beurteilt.

Es kann natürlich auch vorkommen, dass eine Siedlung im Einflussbereich eines Fels- oder Bergsturzes liegt. In so einem Fall sind die Kriterien gemäß der Tabelle 2 anzuwenden. Hier ist entscheidend, ob das bzw. die Gebäude mit vertretbarem Aufwand geschützt werden können.

Sprunghöhe	Energie	Aktivität/Ereignisse seltener als alle 10 Jahre	hohe Aktivität/Ereignisse häufiger als alle 10 Jahre
kleiner 2,5 m	kleiner 100 KJ	ST	STi
ab 2,5 m	ab 100 KJ	STi	STi

Tabelle 1: Kriterien für die Klassifizierung von Steinschlag

Table 1: Criteria for rockfall classification

Streubereich Gebäude können mit vertretbarem Aufwand dauerhaft geschützt werden	ST
Ablagerungsbereich und Bereich mit zerstörerischer Luftdruckwirkung Gebäude können mit vertretbarem Aufwand nicht dauerhaft geschützt werden	STi

Tabelle 2: Kriterien für die Klassifizierung von Fels- und Bergsturz

Table 2: Criteria for rockslide classification

Abbildung 2:
Felssturz Engerle (Gemeinde Koblach/Bezirk Feldkirch) vom 20.06.2010

Figure 2:
Rockslide "Engerle"
(community Koblach/district Feldkirch) on June 20th 2010



Abbildung 3:
Fertiggestellter Steinschlagschutzdamm.
Durch diesen Damm konnte die Gefahr des Steinschlages reduziert werden. Nun ist es möglich, den Hinweisbereich „Steinschlag intensiv“ zurückzunehmen.

Figure 3:
Completed rockfall protection dam construction.
This dam has reduced the risk of rockfall. This resulted in the withdrawal of the brown reference area "rockfall intensive".



Vorgehensweise bei der Ausweisung

Nach der Festlegung des raumrelevanten Bereiches in Absprache mit der jeweiligen Gemeinde wird die Ausweisung der Braunen Hinweisbereiche aufgrund eines Preisanfrageverfahrens an ein geologisches Büro vergeben. Der erste Entwurf wird im Stadium der sektionsinternen Koordinierung mit der Landesgeologie abgestimmt. Seit der rechtlich formalen Erstellung der Gefahrenzonenpläne im Jahre 1975 wird der Vertreter des Landes Vorarlberg durch die Landesgeologie gestellt. Die Akzeptanz dafür ist in den Gemeinden sehr hoch und ist nicht mehr wegzudenken. Die konsequente Ausweisung der Braunen Hinweisbereiche in zwei Intensitätsstufen erfolgt in Vorarlberg nunmehr seit 2007. Derzeit sind fast 50 % aller ministeriell genehmigten Gefahrenzonenpläne in Vorarlberg mit abgestuften und konsequent ausgewiesenen Braunen Hinweisbereichen ausgearbeitet.

Schlussfolgerungen

Steinschlag kann jederzeit ohne Vorwarnung auftreten und zu erheblichen Personen- und Sachschäden führen. Der passive Schutz in Form der konsequenten Ausweisung in der Gefahrenzonenplanung ist daher unumgänglich und ist eine wichtige Serviceleistung für die Behörden. Die Akzeptanz in den Gemeinden ist in der Sektion Vorarlberg seit deren konsequenten Ausweisung sehr hoch und wird von allen Entscheidungsträgern als wertvolle Stütze gesehen.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

DI Thomas Frandl
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Bregenz
Rheinstraße 32/4
6900 Bregenz
thomas.frandl@die-wildbach.at

DI Andreas Reiterer
Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Vorarlberg
Rheinstraße 32/5
6900 Bregenz
andreas.reiterer@die-wildbach.at

Literatur/References:

BMLFUW: Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung in der Wildbach- und Lawinenverbauung; Fassung August 2016

VERORDNUNG des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne, BGBl. Nr. 436/1976



**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

WOLFGANG SCHILCHER, KERSTIN GANAUS

Erfahrungen mit zwei Steinschlagschutznetztypen zugelassen nach ETAG 027

Experiences with two types of rockfall protection nets approved according to ETAG 027

Zusammenfassung:

Die Erfahrungen mit nach ETAG 027 zugelassenen Steinschlagschutznetzen werden anhand der zwei Beispiele Bühel- und Türtschweg-Steinschlagschutz in der Gebietsbauleitung Bludenz diskutiert. In beiden Fällen wurden die Schutzkonstruktionen schwer beschädigt, was in einem Fall auch zu Sachschäden in einem Wert von € 60.000 geführt hat. In weiterer Folge werden im Zuge dieses Beitrages Überlegungen zur Wirkung von Steinschlagschutznetzen angestellt und auf Alternativen hingewiesen.

Abstract:

Experiences with rockfall protection nets approved according to ETAG 027 are discussed using the two examples of Bühel and Türtschweg rockfall protection in the Regional Headquarters Bludenz. In both cases, the protective structures were badly damaged - which in one case led to property damage of € 60.000. In the subsequent course of this article, considerations about the effect of rockfall protection nets are outlined and alternatives pointed out.

Stichwörter:

Steinschlagschutz-
netz, Sicherheit,
Schutzwirkung,
ETAG 027

Keywords:

*Rockfall protection net,
security, protective effect,
ETAG 027*

Einleitung

In der Gebietsbauleitung Bludenz werden seit 30 Jahren Steinschlagschutznetze verwendet. Aufgrund der aufgetretenen Schäden an den Verbauungen wurden Überlegungen angestellt, wo die Ursachen dafür liegen könnten. Dazu werden nachfolgend zwei Schadensfälle im Detail beschrieben.

Bühel-Steinschlagschutz

verwendete
Bautype

**GEOBRUGG GBE 500A,
Höhe = 3,0 m,
Energieaufnahme = 500 kJ**

Für die Dimensionierung dieser Anlage wurden Modellrechnungen vom Geologen durchgeführt. Das Ergebnis war eine Bemessungsenergie von 250 kJ. Die Ausschreibung brachte als günstigste Bautype das oben genannte Modell. Obwohl gegenüber der Leichtbauweise (zaunartiges, leichtes Netz und sparsame Fundierung) gewisse Bedenken bestanden, wurde die angebotene 500 kJ-Anlage (doppelte Bemessungsenergie) gewählt. Allerdings wurden verstärkte Stützenfundamente ausgeführt, da bei der GBE Baureihe die Mikropfähle auch im Lockermaterial in einem hohen Maß Querkräfte aufzunehmen hatten.

Abbildung 1: Steinschlagschutznetz im Bauzustand

Figure 1: Rockfall protection net under construction



Ereignis

Ein Betonklotz mit den Abmessungen L/B/H = 1,0 m/1,0 m/0,5 m löste sich ca. 200m oberhalb der Verbauung und durchschlug das Steinschlagschutznetz mit einer Energie von 162 kJ.

Schaden

Der Betonklotz verursachte einen Totalschaden an einem Auto sowie an einer Mauer aus Betonböschungsteinen und beschädigte den mit Betonformsteinen gepflasterten Vorplatz sowie die Dachrinne des Wohnhauses. Der Gesamtschaden betrug 60.000 €.

Der Block ist unmittelbar vor dem Wohn-

haus neben dem zerstörten Auto liegen geblieben (siehe Abbildung 3). Die durch Spuren erkennbare Sturzbahn wurde vermessen. Die Stabstelle für Geologie hat das Ereignis modelliert und eine Energie von 162 kJ ermittelt.

Der Hersteller begründete das Versagen der Anlage mit eher trägen Bremsen, möglicher Rotationsenergie und den scharfen Kanten des Betonblocks, die nicht der Form des Prüfblockes entsprachen.

Dazu ist festzuhalten, dass der Block das Gitter in 2 m Höhe 3 m entfernt von der Stütze durchschlagen hat (siehe Abbildung 4). Die Bremsen wurden nur minimal ausgelöst und die Energie konnte folglich nicht entsprechend umgewandelt werden.



Abbildung 2: Totalschaden am Kfz (Foto: Tschugmell)

Figure 2: Total damage to the vehicle (Photo: Tschugmell)



Abbildung 3: Der abgestürzte, 0,5 m³ große Betonblock (Foto: Tschugmell)

Figure 3: The fallen 0,5 m³ concrete block (Photo: Tschugmell)



Abbildung 4: Das vom Betonblock durchgestanzte Loch im Netz (Foto: Tschugmell)

Figure 4: The hole punched through the net by the concrete block (Photo: Tschugmell)

Die Sanierung erfolgte durch eine Ergänzung der gesamten Anlage mit einem Ring-Netz.

In der Folge wurde diese Bautype von der Stabstelle Geologie nur mehr für eine Energieaufnahme von 100 kJ uneingeschränkt zugelassen. Für höhere Energien wurde die Zulassung auf Schadensfolgeklasse 1 beschränkt.

Hier stellt sich die Frage, ob nicht auch bei Schadensfolgeklasse 1 scharfkantige Steine bei einem Drittel der Prüfenergie zurückgehalten werden sollten, da Normsteine mit gebrochenen Kanten in der Natur eher selten vorkommen.

Der Schadensfall ereignete sich vor mehr als 5 Jahren, aber diese Bautype wird nach wie vor angeboten.

Türtschweg-Steinschlagschutz

verwendete Bautype

Type Maccaferri RB 1000 mit bergseitiger Abspannung, Höhe = 4,0 m, Energieaufnahme = 1.000 kJ

Ereignis

Der Wurzelstock einer Buche löste sich einige Zeit nach der Aufarbeitung eines Windwurfes. Dabei wurde das Netz getroffen. Durch den Aufprall wurde die Stütze im Bereich der befestigten Rückhalteseile abgerissen, wodurch sie keine Funktion mehr übernehmen konnten (Abbildung 4 und 5). Der Wurzelstock überrollte das Netz, stürzte über die darunterliegende Straße weiter in den angrenzenden Wald, wo er zwischen Bäumen liegen blieb.

Schaden

Es kam niemand zu Schaden. Der Sachschaden „beschränkte“ sich auf Wiederherstellungskosten von ca. € 15.000.



Abbildung 5: Am linken oberen Bildrand ist die durch Bohrungen geschwächte Bruchstelle des Stützenkopfes zu sehen

Figure 5: In the top left corner of the picture the fracture point in the column head, weakened by the drill holes, is visible

Abbildung 6: Durch die hohe Belastung auf das obere Tragseil wurde der Stützenkopf abgerissen

Figure 6: The head of the column was torn off due to the high load on the upper suspension cable



Dazu ist anzumerken: Da der Schaden als Folge von Holzarbeiten entstanden ist, hat das Holzbringungsunternehmen diesen der Haftpflichtversicherung gemeldet. Dabei wurde unter Berufung auf § 176 Absatz 3 Forstgesetz (Haftungsprivileg) eine Übernahme des Schadens abgelehnt, da der Schaden **nicht** grob fahrlässig oder vorsätzlich verschuldet wurde.

Erkenntnisse & Empfehlungen

Durch 1:1-Versuche getestete Steinschlagschutznetze werden in Vorarlberg seit 1990 installiert. Damals war die Errichtung von Netzen mit einer Energieaufnahme von 200 kJ (entspricht einem Block mit einer Tonne und einer Geschwindigkeit von ca. 70 km/h) eine große Errungenschaft. Diese Anlagen hatten massive Stützen für eine Wirkhöhe von 3,0 m. Es wurden Diagonal-Drahtseilnetze mit einem Seildurchmesser von 8 mm verwendet. In Tabelle 1 wird dieser Bautyp mit den heute verwendeten Bautypen von Geobrug und Maccaferri verglichen.

Betrachtet man die zuvor beschriebenen Schäden und die Werte der Tabelle 1, so liegt folgende Schlussfolgerung nahe:

Gewisse Steinschlagschutznetzbautypen werden unter Minimierung des Materialeinsatzes genau auf das Prüfereignis optimiert. Dadurch stehen kaum Reserven für Belastungen außerhalb des Normereignisses zur Verfügung.

Unsere Erkenntnisse bzw. Empfehlungen sind:

- Verwendung von massiven Bautypen (starke Stützen, flexible Netze, starke Seile),
- Einsatz von Anlagen mit höheren Energieaufnahmen als die Modellrechnungen ergeben
- Prüfung von alternativen Steinschlagschutzbautypen, sofern die Gelände- und Platzverhältnisse dies zulassen, z.B.:
 - schlanke Dämme mit bewehrter Erde oder Steinschichtungen
 - Gabionen-Dämme

Es ist festzuhalten, dass Dammbauwerke und Gabione einen wesentlich geringeren Überwachungs- und Instandhaltungsaufwand erfordern. Zudem wird von den Netzherstellern eine Lebensdauer von nur 25 Jahren angegeben.

Bautype	Energieaufnahme [kJ]	Stützentyp	A [cm ²]	Wy [cm ²]	Wz [cm ²]	Netzdimension	
						Materialstärke [mm]	Maschenweite [mm]
Brugg BJ 1990 (heute Geobrug)	200	HEB 140	43	216	78,5	8	200
Geobrug GBA 500A	500	HEA 120	25	106	38,5	4	100
Maccaferri RB1000	1.000	Rohr (114,3/5 mm)	17	44,7		8	350*

* Ringnetz mit einem Ringdurchmesser von 350 mm

Tabelle 1: Vergleich der Steinschlagschutznetztypen

Table 1: Comparison of the rockfall protection net types



Abbildung 7: Damm aus bewehrter Erde mit einer Wirkhöhe von 4 m und 1.200 kJ Bemessungsenergie – die Garage wurde vom Grundeigentümer mit entsprechender Bemessung zuvor errichtet

Figure 7: Reinforced earth dam with an effective height of 4 m and 1.200 kJ rated energy - the garage was previously built by the owner considering the appropriate dimensions



Abbildung 8: Gabionen-Damm mit Unterkonstruktion in bewehrter Erde

Figure 8: Gabion dam with substructure in reinforced earth

Anschrift der VerfasserInnen/Authors' addresses:

DI Wolfgang Schilcher
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Bludenz
Oberfeldweg 6, 6700 Bludenz
wolfgang.schilcher@die-wildbach.at

DDI Kerstin Ganaus
Universität für Bodenkultur
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
kerstin.ganaus@boku.ac.at



Gunz ZT GmbH

Ziviltechniker für Forst- und Holzwirtschaft,
Wildbach-, Lawinen- und Erosionsschutz,
allg. beeid. und gerichtl. zert. Sachverständiger

4400 Steyr, Brucknerplatz 2

Tel.: 07252/42484 E-Mail: office@gunz.at Homepage: <http://www.gunz.at>

MATTHIAS J. REBHAN, ULRICH KÖNIG, ARNOLD KOGELNIG, MARKUS SCHUCH

Entwicklungen bei der Prüfung und Beurteilung von Mikropfählen für Schutzbauten

Developments and findings in the area of micropiles used for the foundation of protective structures

Zusammenfassung:

In diesem Beitrag wird eine Zusammenstellung zu Entwicklungen bei der Prüfung und Beurteilung von Mikropfählen für Schutzbauten gegeben. Diese bezieht sich dabei auf deren Anwendungsgebiete und die möglichen auftretenden Schadensbilder, welche die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit umfassen. Weiters wird ein Einblick in die Prüfung und Kontrolle von Mikropfählen für Schutzbauten gegeben, ehe anschließend ein Ausblick in Forschungs- und Entwicklungsthemen gegeben wird, welche durch die Autoren aktuell betrachtet werden. Diese sollen zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit, der Prüfung aber auch der Planung und Beurteilung von Mikropfählen für Schutzbauten beitragen und die Zuverlässigkeit dieser erhöhen.

Abstract:

In this paper, a summary on developments in the testing and safety assessment of micropiles for protective structures is given. These relate to areas of application and the possible damage patterns that can occur, which include load-bearing capacity, serviceability, and durability of micropiles. Furthermore, an insight into the testing and inspection of micropiles for protective structures is given before an outlook on research and development topics that are currently being pursued by the authors is made. These are intended to contribute to improvements in the durability, the testing but also the planning and assessment of micropiles for protective structures and to increase their reliability.

Stichwörter:

Schutzbauten,
Mikropfähle,
Schadensbilder,
Prüfung, Korrosion

Keywords:

protective structures,
micropiles, damage patterns,
inspection, corrosion

Einleitung

Mikropfähle sind Druck- und Zugelemente, welche auf Grund ihrer enormen Anpassbarkeit für eine Vielzahl an Anwendungsgebieten in der Geotechnik (Witt, 2018) herangezogen werden können. Beispiele sind die Gründung bzw. die Auftriebssicherung von Gebäuden, die Ableitung von großen Zuglasten bei Bauwerken oder die Errichtung von Schutzbauten. Bei Letzteren kommen Mikropfähle zum einen als druck- oder wechsellast beanspruchte Bauteile zum Einsatz, um beispielsweise die Stützenanschlusspunkte bei Steinschlagschutznetzen herzustellen, zum anderen werden Mikropfähle auch für die Ableitung der Zuglasten aus den Seilabspannungen, sowohl bergseitig als auch seitlich, verwendet. Derartige Zugelemente werden oftmals in schwer zugänglichem Gelände errichtet und sind auf Grund ihrer Schutzwirkung im Regelfall der Witterung ausgesetzt und zudem oftmals durch korrosionsfördernde Bedingungen (z.B. Tausalze und Chloride aus dem Winterdienst) beaufschlagt.

Generell werden Mikropfähle – im Zusammenhang mit Schutzbauten – als „gebohrter Pfahl mit einem Durchmesser kleiner als 300 mm“ (ÖNORM EN 14199) definiert, welche durch unterschiedliche Herstellungsarten in den Untergrund eingebracht werden können. Die Einbringung kann dabei in verrohrt und unverrohrt hergestellte Mikropfähle unterschieden werden, wobei die Anwendung dieser Methoden durch die Art des Traggliedes, den vorliegenden Untergrund und die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit definiert wird. Vor allem in Bezug auf die Dauerhaftigkeit sind eine Vielzahl von

Parametern und Randbedingungen bei der Auswahl der Mikropfahlsysteme bzw. auch der Korrosionsschutzmaßnahmen zu beachten – um die geplante Nutzungsdauer des Bauwerkes vor allem bei natürlichen oder anthropogenen Einflüssen aus dem Untergrund (z.B. geringer pH-Wert) oder der Umgebung (z.B. Tausalz- und Chlorideintrag) gewährleisten zu können.

Wie bei den meisten geotechnischen Bauwerken sind auch Mikropfähle, auf Grund ihrer Installation im Untergrund, meist nur sehr aufwändig prüf- und beurteilbar, vor allem im Vergleich zu anderen Ingenieurbauwerken wie Brücken oder Galerien. So können zwar Korrosionsschäden oder mangelnde Herstellungstoleranzen im Kopfbereich, entweder im Bereich des Überstandes oder durch geplantes Freilegen, erkannt und visuell beurteilt werden, jene Bereiche welche für die Lastableitung in den Untergrund – und damit eine der Hauptfunktionen – verantwortlich sind, sind jedoch nicht zugänglich. Unter Berücksichtigung der vor allem bei Schutzbauten anspruchsvollen und herausfordernden Herstellungsbedingungen ist auf die Sicherstellung der Zuverlässigkeit der Fundierung, betrachtet über die geplante Nutzungsdauer, das Hauptaugenmerk zu legen.

Mikropfähle bei Schutzbauten

Bei Schutzbauten kann generell zwischen dem Technischen Lawinenschutz (Rudolf-Miklau, & Sauermoser, 2011), dem Vermurungsschutz (Bergmeister, 2009) und dem Technischen Steinschlagschutz (ONR 24810) unterschieden werden. Für die ersten beiden sind Mikropfähle beispielsweise

bei Stahlschneebrücken (Margreth, 2007) oder zur Ableitung der Seilkräfte bei Murgangbarrieren im Einsatz. Ähnlich kommen Mikropfähle bei Steinschlagschutznetzen zur Ableitung von Systemlasten (aus den Steinschlagschutznetzsystemen bzw. deren Fundierung) zur Anwendung. Sie dienen hier zum einen, um die am Tragwerk auftretenden Lasten in Form eines

Ankerfundamentes (vgl. Abbildung 1 oben) in den Untergrund einleiten zu können. Zum anderen dienen diese auch, um die Lastableitung an den Seilen und Abspannern dieser Schutzbauten zu ermöglichen. Hierzu werden druck-, zug- und wechsellastbeanspruchte Mikropfähle verbaut, welche zudem durch eine Querkraftbeanspruchung beaufschlagt werden können.



Abbildung 1: Beispiele für die Verwendung von Mikropfählen bei Schutzbauten; Stützenfundament (oben); Seilanschlagpunkt bergseitiger Abspanner (unten)



Figure 1: Examples of the use of micropiles for protective structures; lower foundation (above); rope anchor point of a step-down transformer on the hillside (below)

Letztere leiten die in den Abspannern – nach Kraftdissipation durch eventuell vorhandene Bremsen – eingeleiteten Zugkräfte in den Untergrund (vgl. Abbildung 1 unten) ab. Die Lasten für beide Arten an Mikropfählen entstehen dabei rein bemessungstechnisch aus der Ereignislast, welche beispielsweise im Zuge eines Steinschlagereignisses anfällt. Diese Lasten sind im Regelfall durch eine große dynamische (schlagartige) Bandbreite gekennzeichnet, welche aus dem Impuls des Ereignisfalles resultieren.

Aktuell werden zur Prüfung von Mikropfählen Systeme für die Aufbringung einer Prüflast (vgl. Abbildung 7) verwendet, welche im Regelfall Widerlagerkonstruktionen oder Auflagerpunkte im Gelände erfordern. Neben diesen, meist baupraktisch relevanten Anforderungen, werden dabei jedoch zum einen rein statische Prüflasten auf den Mikropfahl aufgebracht, welche nur bedingt die vorherrschenden, schlagartigen Prüflasten im Fall eines Steinschlagtreffers abbilden. Zum anderen sind derartige Prüfungen neben den erforderlichen Widerlagern oftmals auch mit anderen Unwägbarkeiten wie der Erfassung der Verformungen des Mikropfahles während der Prüfdurchführung verbunden.



Abbildung 2: Beispiele für tragfähigkeits- und gebrauchstauglichkeitsrelevante Schäden an Mikropfählen; Ausziehen eines Mikropfahles (links); Bruch eines Mikropfahles im Kopfbereich in Folge eines Treffers (rechts)

Figure 2: Examples of relevant damages to micropiles; pulled out micropile (left); break of micropile at the top as a result of a direct hit (right)

Schäden bei Mikropfählen

Auf Grund ihrer Nutzung und Beanspruchung kann bei Mikropfählen generell zwischen zwei Schadensarten unterschieden werden. Der Verlust der äußeren Tragfähigkeit eines Mikropfahles (Ausziehen) im Zuge eines Ereignisfalles (vgl. Abbildung 2 links) stellt eine Schadensart dar. Ein Beispiel hierfür ist die fehlende Berücksichtigung von Ankerstrümpfen bei der Bemessung der Pfahltragfähigkeit, sowie zu konservativ abgeschätzte charakteristische Bodenkennwerte, welche zudem nicht durch Pfahlprobelastungen validiert wurden. Ebenso kann die Verwendung von für den Baugrund ungeeigneten Verpressmaterialien oder fehlende Frost- und Taumittelbeständigkeit mittel- bis langfristig zu Schäden am Verpresskörper führen. Weitere Schadensarten beeinflussen die innere Tragfähigkeit (Verformung oder Bruch) eines Mikropfahls (vgl. Abbildung 2 rechts). Ein Beispiel hierfür ist die Überlastung des Pfahlkopfes, welche vorwiegend aus Querbeanspruchungen verursacht wird. Derartige Schäden können aufgrund einer zu gering bemessenen Konstruktion vorliegen oder auch zu Folge planungs- und herstellungsbedingter Mängel resultieren.

Da diese Schäden meist mit einem Ereignisfall im Zusammenhang stehen, sind derartige Schadensbilder im Zuge einer entsprechenden Kontrolle, beispielsweise der Begutachtung nach einem Extremereignis, erkennbar und können entsprechend visuell beurteilt und bewertet werden. Im Regelfall sind derartige Schäden mit einer Neuerichtung des Mikropfahles verbunden.

Neben diesen tragfähigkeits- und

gebrauchstauglichkeitsbedingten Schäden gibt es jedoch auch Schäden und Mängel, welche mit der Dauerhaftigkeit der Konstruktion in Zusammenhang stehen. Da neben der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit die Dauerhaftigkeit maßgebend für die Zuverlässigkeit – als „*Fähigkeit eines Tragwerks oder Bauteils die festgelegten Anforderungen innerhalb der geplanten Nutzungsdauer zu erfüllen*“ (ÖNORM EN 1990)



Abbildung 3:
Schäden und Mängel aus der Herstellung von Mikropfählen; Unzureichende Beweglichkeit des Anschlusspunktes (oben); Herstellungsmangel des Verpresskörpers im Kopfbereich (unten)



Figure 3:
Damages and defects from the production of micropiles; inadequate mobility of the connection point (above); manufacturing deficiency on the top of the grout body (below)

verantwortlich ist, müssen die Anforderungen an diese in der Planung, dem Entwurf aber auch der Herstellung beachtet werden. Ein Dauerhaftigkeitsschaden kann hierbei bereits in Form eines Mangels während der Herstellung vorliegen, aber auch im Laufe der Zeit, entsprechend der vorliegenden Nutzung der Schutzverbauung entstehen.

Abbildung 3 oben zeigt hierzu beispielsweise einen Anschlagpunkt an einen Mikropfahl, welcher im Zuge der Herstellung vollflächig mit Verpressmörtel vergossen wurde. Entsprechend eingeschränkt ist die Beweglichkeit dieses Anschlusspunktes im Zuge der weiteren Errichtung (Anbringung Abspannseil) aber auch im Zuge der Nutzung (Kompensation von Temperatureinflüssen). Die Folgen eines derartigen Mangels sind in Abbildung 3 unten zu erkennen. Hierbei fand eine unzureichende Verfüllung des Kopfbereiches statt, welche im Zuge der Montage des (bergseitigen) Abspannseiles (und der dazu erforderlichen geringen Zuglastaufbringung) beschädigt wurde. Ein derartiger Mangel führt zum Eindringen von Wasser und damit in weiterer Folge zu einer Korrosionsschädigung des metallischen Zügelements. Dies kann fortschreitend zu einer erheblichen Abnahme der Tragfähigkeit (vgl. *Dauberschmidt, 2019*) führen. Derartige Schäden können einerseits durch eine konstruktive Ausbildung, beispielsweise in Form einer Pfahlkopfverstärkung, verhindert werden. Andererseits handelt es sich hier um einen Mangel, welcher auf Grund seiner Lage während einer Abnahme erkannt und durch das Nachverfüllen des Kopfbereiches auf sehr einfache Art und Weise behoben werden kann. Im Gegensatz hierzu sind bei Mikropfählen jedoch auch Korrosionsschäden zu erkennen, welche im Kopfbereich – auf Grund der witterungsaktiven Lage – aber auch im Bereich des nicht visuell kontrollierbaren Verpresskörpers des Mikropfahles anzutreffen sind.

Eine Problemstellung, welche die Dauer-

haftigkeit von Mikropfählen massiv einschränken kann, ist das Vorliegen von Korrosionsschäden. Diese treten neben den freiliegenden Bereichen des Kopfes auch im Bereich des Verpresskörpers auf und sind von der Korrosivität des Untergrundes, jedoch auch von der Art der gewählten Korrosionsschutzmaßnahme abhängig. Die Korrosivität des Untergrundes ist mit einer Vielzahl an Faktoren wie beispielsweise der Anwesenheit von Neutralsalzen, dem pH-Wert des Untergrundes, dem spezifischen Bodenwiderstand aber auch der Belüftung des Bodens oder beispielsweise dem Vorliegen von Streuströmen im Nahebereich elektrischer Anlagen (Bahnanlagen) verbunden. Bei der Korrosion im Boden können identisch wie bei einer Korrosion an der freien Luft drei Arten der Korrosion auftreten. Eine Flächenkorrosion, bei welcher entlang einer ausgedehnten Fläche ein gleichmäßiger Materialabtrag stattfindet, oder Mulden- und Lochfraßkorrosion bei welcher ein punktueller Materialabtrag vorliegt. Während bei beiden die „*Metallauflösung örtlich begrenzt und sehr hoch ist*“ (Tostmann, 2005) liegt diese bei ersterer in Form einer Mulde vor, wohingegen bei Lochfraßkorrosion eine ins Innere des Werkstückes zunehmende kraterartige Ausbildung des Metallabtrages stattfindet.

Das Auftreten einer Korrosionsschädigung kann durch unterschiedliche Arten von Korrosionsschutzmaßnahmen verhindert bzw. zeitlich eingeschränkt werden. Hierbei kommen im Regelfall Methoden des passiven Korrosionsschutzes zum Einsatz, welche durch die Herstellung von Trenn- oder Schutzschichten auf die metallischen Bauteile erreicht werden. Die gängigen Arten des Korrosionsschutzes (*Dold, 2021*) hierfür sind die Verwendung einer Korrosionszugabe, die Beschichtung bzw. das Verzinken der metallischen Tragglieder, die Herstellung einer Einkapselung oder die Verwendung eines doppelten Korrosionsschutzes.

- **Korrosionszugabe:**

Bei dieser Methode wird grundlegend nicht davon ausgegangen, dass das Tragglied durch eine Einkapselung oder Ähnliches vor einem Korrosionsangriff geschützt ist. Das Tragelement aus Stahl wird hingegen um einen gewissen Faktor bzw. eine gewisse Querschnittsstärke überdimensioniert, um einem Materialabtrag zu Folge Korrosion Rechnung zu tragen.

- **Beschichtung bzw. Verzinkung:**

Hierbei wird eine Schutzschicht auf das metallische Tragglied aufgebracht, welche das Fortschreiten der Korrosion generell verzögert oder verlangsamt, dies jedoch nicht verhindert. Hierzu kann zum einen eine organische Beschichtung oder Kunststoff verwendet werden und zum anderen auch ein metallischer Überzug in Form einer Verzinkung – als gängigste Korrosionsschutzmaßnahme für metallische Bauteile – angebracht werden.

- **Einkapselung:**

Zusätzlich zu den oben angeführten Korrosionsschutzmaßnahmen kann eine Einkapselung durch Zementstein als Korrosionsschutzmaßnahme verwendet werden. Hierbei wird, ähnlich dem konstruktiven Ingenieurbau, eine ausreichende Betondeckung zur Erreichung einer gewissen Korrosionsschutzwirkung herangezogen.

- **Doppelter Korrosionsschutz:**

Hierbei wird der Korrosionsschutz durch die Einkapselung des Traggliedes und deren Erweiterung um eine zusätzliche Umhüllung des Traggliedes erzielt. Diese zusätzliche Umhüllung besteht

aus „Zementstein von mindestens 5 mm Dicke innerhalb eines Schutzmantels (Hüllrohr) aus korrosionsbeständigem, mechanisch widerstandfähigem und dichtem Material“ (ÖNORM EN 1537).

Neben den hier angeführten Korrosionsschutzmaßnahmen, welche generell bei außenliegenden Bauteilen (z.B. Verzinken) oder bei geotechnischen Bauteilen (z.B. doppelter Korrosionsschutz bei Verpressankern nach ÖNORM EN 1537) zum Einsatz kommen, können zudem entsprechende Materialien des Traggliedes für einen ausreichenden Korrosionsschutz verwendet werden. Beispiele hierfür sind die Verwendung von Kunststoffverfüllungen des Bohrloches, wie dies bei Felsnägeln im Tunnelbau der Fall ist, oder der Einsatz von nicht korrodierenden Zuggliedern (z.B. glasfaserverstärkte Kunststoffstäbe).

Im Zuge eines Forschungsvorhabens an der Technischen Universität Graz, welches gemeinsam mit der ASFiNAG und den Österreichischen Bundesbahnen durchgeführt wird, wurde zur Nachbildung von Korrosionsschäden an Mikropfählen eine Versuchsreihe durchgeführt. Bei dieser wurde zum einen das Korrosionsverhalten von unterschiedlichen Korrosionsschutzsystemen durch die künstliche Nachbildung eines Korrosionsangriffes simuliert, zum anderen wurde auch die Rissbildung von Mikropfählen unter Zugbeanspruchung untersucht.

Zur künstlichen Nachbildung von Korrosionsschäden bei Mikropfählen wurde ein Versuchsaufbau (vgl. Abbildung 4) verwendet, in welchem eine Zugbeanspruchung eines Traggliedes mit Verpresskörper simuliert wurde, und welcher die Möglichkeit bot, die Methode des elektrochemischen Abtrages (vgl. Rebhan, 2019; Rebhan et al., 2019 & Wöls, 2018) zur künstlichen Nachbildung einer Korrosionsschädigung einzusetzen. Bei dieser Methode wird durch die Aufbringung

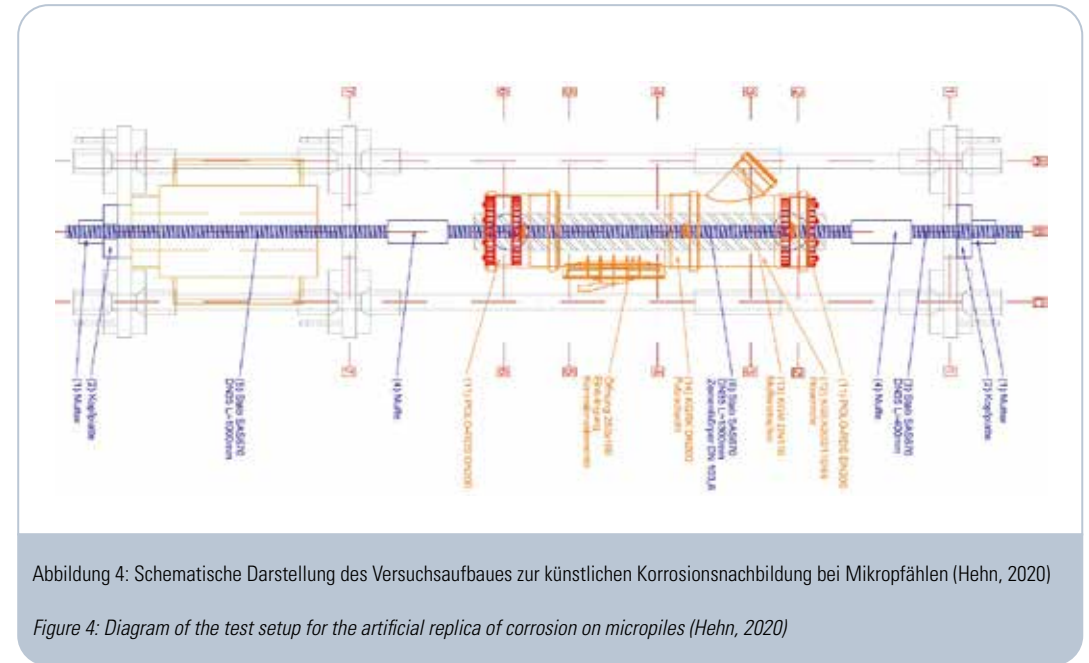


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues zur künstlichen Korrosionsnachbildung bei Mikropfählen (Hehn, 2020)

Figure 4: Diagram of the test setup for the artificial replica of corrosion on micropiles (Hehn, 2020)

eines Potentialunterschiedes und das Anbringen einer Kathode (in Form eines Kupferelementes) das metallische Tragglied in eine Opferanode verwandelt, was in weiterer Folge zu einem Materialabtrag führt. Zwar kann damit keine zeitliche Nachbildung einer Korrosionsschädigung (in Form einer Abnahme der Nutzungsdauer) simuliert werden, jedoch können damit die Wirksamkeit bzw. auch vorliegende Schwachstellen bei unterschiedlichen Korrosionsschutzsystemen aufgezeigt werden.

Diese Untersuchungen zeigten, dass mit der hier verwendeten Methode zwar keine Aussage über die Nutzungsdauer bzw. eine vorliegende Korrosionsschädigung zu Folge der Korrosivität des Untergrundes möglich ist, dass damit jedoch sehr eindeutig der Einfluss von unterschiedlichen Korrosionsschutzmaßnahmen auf einen Korrosionsangriff zu erkennen ist. Das in Abbildung 5 oben dargestellte Bild zeigt einen Versuchskörper, welcher aus einem einfach geschützten Mikropfahl (in Form einer Einkapse-

lung mit einer Stärke von 35 mm) bestand. Hier wurde zum einen im Zuge der Versuchsdurchführung eine annähernd gleichmäßige Verteilung des Rissbildes am Verpresskörper erkannt. Zudem konnte erkannt werden, dass eine annähernd gleichmäßige Korrosionsschädigung des gesamten Zuggliedes vorlag.

Bei einem identischen Versuchsaufbau, bei welchem ein verzinktes Tragglied, ebenfalls mit einer Einkapselung von 35 mm, eingebaut wurde, konnte hier lediglich ein sehr geringer Korrosionsangriff (vgl. Abbildung 5 unten) erkannt werden. Dieser ist nach aktuellen Untersuchungen auf die zusätzliche Wirkung durch die angebrachte Verzinkung (Nürnberger, 1995) zurückzuführen. Diese weist zwar keine Korrosionsschutzwirkung auf, trägt jedoch zu einer Lebensdauererlängerung bei. Bei diesem Schadensbild ist jedoch auch zu erkennen, dass es sich hier um eine punktförmige Korrosionsfläche handelt, welche sich ähnlich einer Mulden- oder Lochfraßkorrosion (vgl. Tostmann, 2005) verhält.



Abbildung 5:
Künstliche
Korrosionsnachbildung
an Mikropfählen; blankes
Tragglied (oben), verzinktes
geschädigtes Tragglied
(unten)

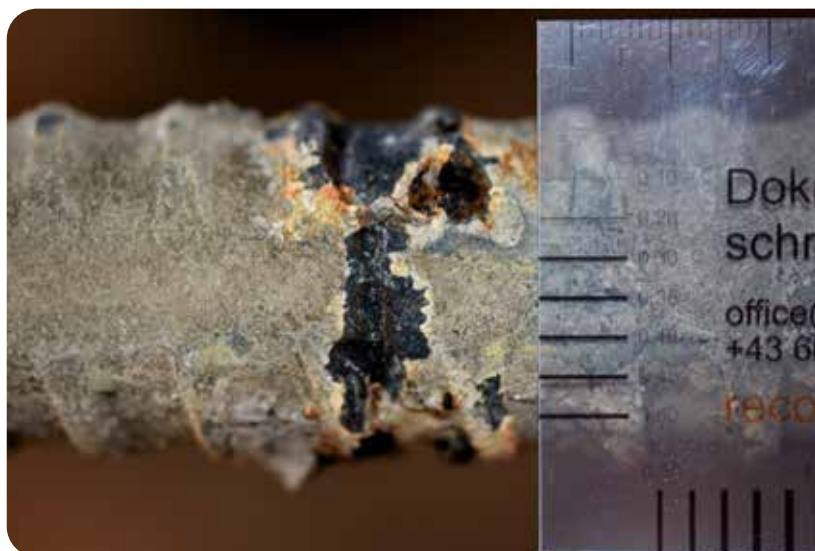


Figure 5:
Artificial replica of
corrosion on micropiles;
bare supporting element
(above), galvanised
damaged supporting
element (below)

Weiters zeigten diese Untersuchungen, dass Bereiche wie Abstandhalter zur Zentrierung des Traggliedes innerhalb des Bohrloches auf Grund der geringen Überdeckung mit Zementstein und der zusätzlichen Bauteile innerhalb der Einkapselung eine erhöhte Wasserwegigkeit aufzeigen. Wobei diese wie in Abbildung 6 oben dargestellt keine großen Auswirkungen auf eine mögliche Korrosionsschädigung mit sich bringen. Hier ist ein zentrisch angeordnetes Tragglied mit deutlich größeren Vorteilen verbunden, als dies durch das möglicherweise stattfindende Eindringen von Wasser oder das vermehrte Auftreten von Rissen

einen nachteiligen Effekt mit sich bringen würde. Mit deutlich größeren Auswirkungen ist jedoch die Schädigung der Zinkschutzschicht welche bei der Pfahlherstellung (z.B. durch das Abschlagen der Zinkschicht) entlang des Stabes unter anderem im Kopfbereich von Mikropfählen beispielsweise durch die Montage von Anschlagpunkten oder Muffen auftreten kann. Abbildung 6 unten zeigt hier die Zinkschicht des Kopfbereiches eines Versuchskörpers, auf welchen eine Muffe aufgeschraubt wurde. Eine derartige Schädigung der Korrosionsschutzmaßnahme kann zu ähnlichen Effekten wie jene in Abbildung 5 unten gezeigt,

führen. Zusätzlich kann dies durch den Effekt der Spaltkorrosion (Tostmann, 2005), welche durch eine Behinderung des Diffusionsvorganges und der daraus folgenden Bildung eines Belüftungselements beschleunigt wird, zu einem sehr raschen Fortschreiten der Korrosion führen. Hierbei sei jedoch anzumerken, dass eine derartige Schädigung sehr selten in Erscheinung tritt und derartige Bereiche die Möglichkeit einer visuellen Kontrolle bieten. Zusätzlich sei angemerkt, dass

bei derartigen Schäden im Kopfbereich ein sehr großer Materialabtrag stattfinden muss, um beispielsweise die Kraftübertragung zwischen einer Muffe und dem Tragglied zu beeinflussen.

Die hier angeführten Beispiele zu (Korrosions-) Schäden bei Mikropfählen zeigen, dass eine große Bandbreite an Schadensbildern vorliegen kann, welche einen Einfluss auf deren Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit haben können.



Abbildung 6:
Weitere Schadensbilder
an Mikropfählen;
Abstandhalter (oben);
Kopfbereich bei verzinkten
Stäben nach Aufschrauben
einer Muffe (unten)

Figure 6:
Other pictures of damages
to micropiles; spacer
(above); top of galvanized
rods after unscrewing a
sleeve (below)



Prüfung und Kontrolle von Mikropfählen

Da es sich bei Mikropfählen für Schutzbauten (wie auch bei Anwendung dieser bei anderen geotechnischen Bauwerken) um tragfähigkeitsrelevante Bauteile handelt, müssen diese im Zuge

der Errichtung geprüft bzw. abgenommen werden. Hierzu kommen meist Zugprüfungen (Hübner, 2019) zum Einsatz, welche einen Rückschluss auf die Tragfähigkeit der Mikropfähle bzw. die direkte Bestimmung dieser durch die Aufbringung einer statischen Prüflast ermöglichen.

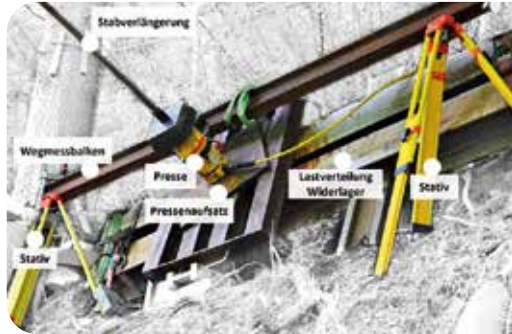


Abbildung 7:
Prüfung von Mikropfählen nach dem Stand der Technik; Klassische Lastaufbringung mittels Pressen- und Widerlagerkonstruktion (oben, Quelle: Hübner, 2019); Verwendung spezieller Dreibeinkonstruktionen zur Lastaufbringung und Prüfung (unten, Quelle: Tartarotti, WLV)

Figure 7:
Inspection of micropiles at the state of the art; classic load application by press and abutment design (above, Hübner, 2019); use of specific tripod designs to the load application and inspection (below, Tartarotti, WLV)



Beispiele für derartige Prüfungen sind in Abbildung 7 zu erkennen. Das obere Bild zeigt hier den Standardfall einer derartigen Prüfung, bei welcher in einem entsprechenden Abstand zur Achse des Mikropfahles (vgl. ÖNORM EN 14199) Widerlager zu errichten sind. Diese sind erforderlich, um die durch eine Presse und einen Pressenaufsatz aufgebrauchte Prüflast in den Untergrund einleiten zu können. Zudem sind hierzu Lastverteilungseinrichtungen (meist in Form von Stahlträgern) erforderlich und es sind entsprechende Wegmess-einrichtungen anzubringen, um die Verformungen des Zugstabes (als Abbruch- oder Prüfkriterium) erfassen zu können. Mit der Durchführung einer derartigen Prüfung sind jedoch oftmals eine Vielzahl an Herausforderungen, wie die Errichtung der Widerlager oder deren Verformung zufolge der Prüflastaufbringung, verbunden.

Bei einem unzureichend tragfähigen Untergrund (beispielsweise weiche Deckschichten) oder sehr hohen Prüflasten ist entweder die Entfernung dieser oder die Herstellung massiver Betonfundamente erforderlich, um unzureichende Setzungen des Prüfaufbaues unter Aufbringung der Prüflast zu verhindern. Zudem ist die Anbringung von Messeinrichtungen zur Erfassung der Pfahlverformungen (unter anderem zur Bestimmung des Kriechmaßes) vor allem im steilen, abschüssigen oder schwer zugänglichen Gelände oftmals mit einem sehr hohen Aufwand für das Prüfpersonal verbunden. Weiters ist das definierte Abnahmekriterium des Kriechmaßes für die Bestimmung der Tragfähigkeit (vgl. ÖNORM EN 14199 und ONR 24810) der Mikropfähle hier lediglich ein Anhaltspunkt, da bei den vorliegenden Untergründen und auch den schlagartig auftretenden Lasten keine Kriechgefahr gegeben ist.

Abbildung 7 unten zeigt einen weiteren Aufbau zur Durchführung einer Mikropfahlprobebelastung, welcher vor allem für den Einsatz im steilen und schwer zugänglichen Gelände heran-

gezogen wird. Der Vorteil hierbei besteht darin, dass keine Widerlagerkonstruktionen erforderlich sind, da diese durch den Prüfaufbau an sich bereitgestellt sind und somit auch Mikropfähle, welche nicht orthogonal auf die Geländeoberkante hergestellt wurden, geprüft werden können.

Aktuelle Entwicklungen und Forschungstätigkeiten

Aus den obigen Ausführungen zur Themenstellung der Mikropfähle bei Schutzbauten lässt sich erkennen, dass ein entsprechendes Forschungs- und Entwicklungspotential vorhanden ist, um zum einen die Herstellung und Konstruktion von Mikropfählen im unwegsamen Gelände zu vereinfachen und zum anderen auch um die Dauerhaftigkeit und die Prüfbarkeit dieser Konstruktionselemente zu verbessern. Aktuell finden hierzu eine Reihe an Untersuchungen und Forschungen statt, welche sich mit diesen Themenstellungen befassen.

Neben der wissenschaftlichen Betrachtung der Dauerhaftigkeit und der Korrosionsschäden bei metallischen Traggliedern werden aktuell neue Methoden untersucht, wie ein dauerhaftes, nicht korrosionsgefährdetes Tragglied hergestellt werden kann. Vor allem durch die Anwendung von Kunststoffen und die damit einhergehenden Korrosionsschutzeffekte kann hier eine erhebliche Erhöhung der Dauerhaftigkeit erreicht werden. Hierzu sind jedoch Anpassungen in den Korrosionsschutzmechanismen erforderlich, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Herstellbarkeit der Zugglieder haben können.

Weiters sind neben einer Betrachtung der Dauerhaftigkeit neue Herangehensweisen an die Prüfung und Qualitätssicherung von Zug-elementen in Entwicklung. Bei der Qualitätssicherung wird hier aktuell durch die Österreichischen Bundesbahnen ein Konzept entwickelt, mit welchem die Qualität des Verpresskörpers (vgl. Schuch & Kogelnig, 2018) durch zerstörungs-

freie Prüfmethode erfasst und bestimmt werden kann. Damit soll neben einer Steigerung der Herstellungsqualität auch eine Prüfmöglichkeit für Mikropfähle geschaffen werden, welche bereits im Zuge der Abnahme derartiger Bauwerke angewendet werden kann.

Zudem zeigen Untersuchungen (vgl. *Hübner, 2019*), dass die Durchführung einer dynamischen Prüfung bei Mikropfählen eine Vielzahl an Vorteilen mit sich bringen würde. Zum einen kann damit eine Prüfung unter Nachbildung der tatsächlich auftretenden Lasten (beispielsweise impulsartig im Falle eines Steinschlages) vorgenommen werden, welche zum anderen auch mit einer Reduktion des Prüfaufwandes einhergehen kann. Hierzu ist jedoch eine umfassende wissenschaftliche Betrachtung erforderlich, um beispielsweise den Einfluss des Untergrundes im Zuge einer derartigen Prüfung zu erfassen oder auch um die Anwendbarkeit einer dynamischen Mikropfahlprüfung für unterschiedliche Arten von Mikropfählen unter dem Einfluss des Untergrundes zu validieren und daraus folgend neue Abbruchkriterien für die Beurteilung der Tragfähigkeit von Mikropfählen ableiten zu können.

Zusammenfassung & Ausblick

Mit dem hier vorliegenden Beitrag wurde versucht, eine Zusammenfassung aktueller Erkenntnisse und Entwicklungen aus der Forschung und der praktischen Umsetzung im Bereich von Mikropfählen für die Fundierung von Schutzbauten zu geben. Diese reichen von der Anwendung dieser Zugelemente, über Schadensbilder mit Fokus auf Korrosion bis hin zur Prüfung und Kontrolle derartiger Konstruktionen. Dabei zeigte sich, dass in beinahe allen Bereichen unterschiedliche

Betrachtungs- und Herangehensweisen möglich sind, welche vom vorliegenden Untergrund, der Zugänglichkeit und der Verwendung der Mikropfähle abhängen. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, hier weitere Forschungen zu betreiben, welche diesen Umständen Rechnung tragen, um beispielsweise einfachere und dennoch dauerhafte Korrosionsschutzmaßnahmen und darauf angepasste Prüfmethode zu entwickeln, um eine möglichst lange Nutzungsdauer der Mikropfähle sicherzustellen und somit deren Zuverlässigkeit – und auch Aspekte der Nachhaltigkeit – zu adressieren. Zudem wurde ein kurzer Einblick in aktuelle Prüfmethode gegeben, welche aktuell mit einem sehr hohen Aufwand verbunden sind, jedoch für die Errichtung und den Betrieb von Schutzbauten unerlässlich sind. Hier lässt sich ebenfalls erkennen, dass Forschung und Entwicklung erforderlich sind, um neue Prüf- und auch Abnahmemethode zu entwickeln, um eine möglichst zutreffende Aussage über das Tragglied bereits im Zuge der Errichtung zu erhalten.

Danksagung

Einige der in diesem Beitrag angeführten Ergebnisse und Erkenntnisse stammen aus dem aktuell laufenden Forschungsprojekt DAT – Dauerhaftigkeit in der Ankertechnik. Dieses Projekt wird durch die ÖBB und ASFINAG gemeinsam mit dem BMK im Zuge der Verkehrsinfrastrukturforschung (Call 2019) durch die FFG (# 873149) gefördert. Derartige Untersuchungen, wie sie in diesem Projekt durchgeführt werden, sind nur durch eine Unterstützung der Forschungstätigkeiten sowohl durch Wirtschaftspartner und Bauwerkserhalter aber auch durch Forschungsförderungen auf Bundesebene möglich.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Dipl.- Dipl.- Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan
Technische Universität Graz;
Institut für Bodenmechanik,
Grundbau und Numerische Geotechnik
Rechbauerstraße 12
8010 Graz, Österreich
rerbhan@tugraz.at

Dipl.-Ing. Ulrich König
PULSE Engineering GmbH
Kajetan Schellmannngasse 8
2352 Gumpoldskirchen, Österreich
ulrich.koenig@pulse-eng.com

Dipl.- Dipl.- Ing. Dr. Arnold Kogelnig
PULSE Engineering GmbH
Kajetan Schellmannngasse 8
2352 Gumpoldskirchen, Österreich
arnold.kogelnig@pulse-eng.com

Dipl.- Ing. Markus Schuch
ÖBB-Infrastruktur AG; Streckenmanagement
und Anlagenentwicklung;
Fachbereich Fahrwegtechnik;
Geotechnik und Naturgefahrenmanagement
Nordbahnstraße 50
1020 Wien, Österreich
markus.schuch@oebb.at

Literatur/References:

- BERGMEISTER, K.; (2009);
Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren; Berlin; Ernst & Sohn.
- DAUBERSCHMIDT, C.; FRAUNDORFER, A.; BAUMGARTNER, A.; (2019);
Einfluss chloridinduzierter Korrosion auf das mechanische Verhalten von Betonstabstählen; 6. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken; 22. und 23.01.2019; TAE Ostfildern.
- DOLD, C.; (2021);
Versuchstechnische und analytische Untersuchung zum Rissverhalten und Rissbild von Verpresskörper bei Zugelementen; Masterarbeit am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik der Technischen Universität Graz; Graz.
- HEHN, M.; (2020);
Einfluss von Rissbreiten auf das Korrosionsverhalten von Mikropfählen; Masterarbeit am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik der Technischen Universität Graz; Graz.
- HÜBNER, E.; (2019);
Neue Methode zur Prüfung von Mikropfählen; Masterarbeit an der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit der Technischen Universität Graz; Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik; Technische Universität Graz.
- MARGRETH, S.; (2007);
Lawinenverbau im Anbruchgebiet; (Bd. 0704); Bern; Bundesamt für Umwelt BAFU.
- NÜRNBERGER, U.; (1995);
Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen; Wiesbaden; Bauverlag.
- ONR 24810;
Technischer Steinschlageschutz, Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung; Austrian Standards Institute; Komitee 023; 01-10-2021
- ÖNORM EN 14199;
Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Mikropfähle; Austrian Standards Institute; Komitee 023; 01.03.2016
- ÖNORM EN 1990;
Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung; Austrian Standards Institute; Komitee 176; 15.03.2013
- ÖNORM EN 1537; (2015);
Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker; Austrian Standards Institute; Komitee 023; 15.10.2015.
- REBHAN, M.; (2019);
Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern; Dissertation am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik der Technischen Universität Graz; Graz.
- REBHAN, M. J.; MARTE, R.; VORWAGNER, A.; TSCHUCHNIGG, F.; KWAPISZ, M.; (2019);
Corrosion damage to cantilever walls – Representation in tests and calculations; Geomechanics and Tunneling; 12(5); S. 506–514.
- RUDOLF-MIKLAU, F.; SAUERMOSE, S.; (2011);
Handbuch Technischer Lawinenschutz; 1. Auflage; Berlin; Ernst & Sohn.
- SCHUCH, M.; KOGELNIG, A.; (2018);
Bau und Erhaltung von Fundierungen für Schutzbauwerke gegen alpine Naturgefahren – neue Ansätze zur zerstörungsfreien Prüfung; Fachtagung an der Universität für Bodenkultur; Stand der Technik im Naturgefahren-Ingenieurwesen; Schriftenreihe des Departments Nr. 24
- TOSTMANN, K.-H.; (2005);
Korrosion; Weinheim; Wiley-VCH.
- WITT, K. J. (Hrsg.). (2018).
Grundbau-Taschenbuch; 8. Auflage; Berlin; Ernst & Sohn.
- WÖLS, D.; (2018);
Versuchstechnische Untersuchung von korrosionsgeschädigten Winkelstützmauern; Masterarbeit am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik der Technischen Universität Graz; Graz.

JOHANN STEINER, HELMUT SCHWARZL

Entwicklung mobiles Steinschlagschutzsystem

Development of a mobile rockfall barrier

Zusammenfassung:

In diesem Beitrag wird ein neu entwickeltes mobiles Steinschlagschutzsystem von der Firma Trumer Schutzbauten GmbH vorgestellt. Der große Vorteil des Schutzsystems TS-100-MOBIL liegt in der kurzen Montagezeit. Da keine Verankerungen und Fundamentierungen benötigt werden, ist das Schutzsystem mit dem fertigen Aufbau einsatzbereit. Die Prüfung des Systems für Steinschlagereignisse wurde am steirischen Erzberg durchgeführt und durch die Montanuniversität Leoben überwacht. Die Fahrzeugrückhaltewirkung für die Zulassung im Straßenverkehr wurde in Allhaming erfolgreich getestet und durch die TU Graz überwacht.

Abstract:

This document contains information about the development of a new mobile rockfall protection fence of Trumer Schutzbauten GmbH. The big advantage of the system TS-100-MOBIL is the quick installation time. Due to the fact that this system does not require any anchoring or foundation it is ready to use immediately after installation. The rockfall protection system has been certified for two application areas, namely rockfall protection (testing at Erzberg) and traffic (car restraint system, testing in Allhaming). The impact test against rockfall was being monitored by Montanuniversität Leoben and the car crash test by TU Graz.

Stichwörter:

Steinschlagschutz,
mobiler Steinschlag-
schutz, TS-100-MOBIL,
Trumer Schutzbauten,
Neuentwicklung

Keywords:

*Rockfall protection,
mobile rockfall barrier,
TS-100-MOBIL,
Trumer Schutzbauten,
new product*

Entwicklung mobiles Steinschlagschutzsystem

Die Steinschlagschutzsysteme der Trumer Schutzbauten GmbH werden entwickelt, um Infrastruktur und Menschenleben vor Stein- und Blockschlag zu schützen. Das System TS-100-MOBIL (Abbildung 1) ist ein neu geprüfter, mobiler Schutzzaun für Sofortmaßnahmen im Bereich von Straßen und auch überall dort, wo eine solide Aufstandsfläche vorhanden ist. Das System kann temporär oder dauerhaft eingesetzt werden.

Komponenten und Vorteile

Für dieses Steinschlagschutzsystem wurden spezielle Betonelemente mit Textilarmierung entwickelt, um gefährliche Abplatzungen des Betons bei einem Einschlag zu verhindern.

Die Betonelemente werden durch Stahlstützen mit einer speziellen Verbindungskupplung verbunden. Die Abfangstruktur besteht aus einem Diagonalthochleistungsgitter (DHG), einem oberen und unteren Tragseil und einem Mittelseil, welche seitlich gebremst und verankert sind.



Abb. 1: Verbaureihe auf dem Testgelände am steirischen Erzberg

Fig. 1: Rockfall barrier at the test site on the Styrian Erzberg



Abb. 2: Steherdetail mit Seilführung und Kupplung

Fig. 2: Post with rope guidance and connection detail

Das mobile Steinschlagschutzsystem kann rasch montiert werden und ist sofort einsatzfähig. Es ist keine Fundamentierung erforderlich, daher entfällt der Zeitaufwand für das Bohren und Aushärten von Ankern.

Versuchsablauf Steinschlag

Das System wurde auf dem Testgelände am steirischen Erzberg 1:1 geprüft und von der Montanuniversität Leoben (Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft) überwacht. Das System TS-100-MOBIL wurde dabei in zwei Versuchsreihen getestet. Beim ersten Versuch wur-

den die Betonelemente geprüft. Hier wurde das Augenmerk darauf gelegt, mit dem Wurfkörper die ungünstigste Position, den oberen Bereich des Betonelementes, zu treffen. Der Wurfkörper hatte eine Masse von 532 kg und eine Impactgeschwindigkeit von 20,66 m/sek., dies entspricht 74 km/h und bedeutet einen Eintrag kinetischer Translationsenergie von 114 kJ. Die maximale Systemverformung der Betonelemente betrug in horizontaler Richtung 23 cm. Durch die spezielle Textilarmierung konnte ein gefährliches Abplatzen von Betonsplintern komplett verhindert werden.



Abbildung 3: Testversuch in die Betonleitwand

Figure 3: Energy impact on concrete substructure



Abbildung 4: Testversuch in den Netzverbau

Figure 4: Energy impact on superstructure

Beim zweiten Versuch wurde die Abfangstruktur getestet. Auch hier wurde der Wurfkörper in einer sehr ungünstigen Position in die Abfangstruktur geschossen. Der Wurfkörper traf den oberen Bereich des Netzverbaus, womit für das Kippen der schlechteste Fall geprüft wurde. Der Wurfkörper hatte eine Masse von 532 kg und eine Impaktgeschwindigkeit von 20,10 m/sek., dies entspricht 72 km/h und bedeutet einen Eintrag kinetischer Translationsenergie von 107 kJ. Die maximale Systemverformung des Netzverbaus betrug in horizontaler Richtung 1,68 m. Bei beiden Versuchen wurde die gesamte Eintragsenergie vom jeweiligen Schutzsystem (Betonelement und Abfangstruktur) abgebaut.

Versuchsablauf Anpralltest

Um die Fahrzeugrückhaltewirkung des TS-100-MOBIL sicherzustellen, wurde das System nach ON EN 1317 am Testgelände in Allhaming geprüft. Dieser Versuch wurde von der TU Graz (Institut für Fahrzeugsicherheit) überwacht. Bei dem durchgeführten Anpralltest (TB32) wurde ein PKW mit einer Geschwindigkeit von 110 km/h in einem Winkel von 20° gegen das Schutzsystem gefahren. Das TS-100-MOBIL erfüllte alle Anforderungen und ist mit folgender Rückhaltstufe ausgestattet: N2 / W4 / B. Der Wirkungsbereich betrug 1,26 m (W4), was einer dynamischen Verschiebung des Schutzsystems von 0,56 m entspricht. Die Mindestaufstelllänge beträgt 40 m. Eine Endverankerung ist in diesem Einsatzbereich nicht erforderlich.



Abb. 5: Erfolgreicher TB32 Anpralltest am Versuchsgelände in Allhaming

Fig. 5: Successful crash test TB32 at test site in Allhaming

Erster Einsatz durch die Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung OÖ West in der Gemeinde Obertraun (Bezirk Gmunden)

Das mobile Steinschlagschutzsystem TS-100-MOBIL wird im Bereich der sogenannten Fleischhackerwand in der Gemeinde Obertraun zur temporären Sicherung einer Zufahrt vor Steinschlag bis zur Errichtung des geplanten Steinschlagschutzdammes vorgesehen.

Blockschlagereignis

Am 12. August 2014 gegen 0:30 Uhr löste sich aus der ca. 30 bis 50 m hohen, sogenannten "Fleischhackerwand" (Einzugsgebiet des Goldbachs) ein Felsblock mit einer Gesamtkubatur von rund 20 m³, zerbrach nach dem Aufprall am

darunterliegenden Felsvorsprung in mehrere Teile und zerstörte teilweise die unmittelbar unter der Felswand liegenden und bewohnten Gebäude. Der größte Einzelblock wies eine Kubatur von rund 10 m³ auf.

Glücklicherweise wurde nur eine Person verletzt. Aufgrund der schweren Schäden an den Gebäuden (Einsturzgefahr) mussten die Bewohner der 3 betroffenen Gebäude evakuiert und ein behördliches Betretungsverbot der Liegenschaften verhängt werden.

Im Rahmen von Sofortmaßnahmen wurden die absturzgefährdeten Blöcke und Bäume im Bereich der Felswand entfernt. Aufgrund der vorhandenen, starken Klüftungen stellte sich die Sicherung der Felsblöcke und der damit verbundene immense Aufwand zur dauerhaften Gewährleistung der Steinschlagsicherheit als unwirt-



Abb. 6: Teilweise zerstörtes Wohngebäude nach Felssturz, größter Einzelblock mit ca. 10 m³

Fig. 6: Partly destroyed building after rockfall, largest single block with approx. 10 m³

schaftlich heraus. Daher sollten die betroffenen Gebäude abgebrochen und der frei werdende Bereich als Fallboden für den geplanten Schutzdamm genutzt werden.

Mittlerweile sind die Gebäude abgebrochen und der Fallboden hergestellt. Es fehlt noch der abschließende Steinschlagschutzdamm.

Da auf den mit Betretungsverbot verhängten Liegenschaften ein Nutzungsrecht zur Wegbenutzung eines angrenzenden Grundstückseigentümers besteht, sowie der Zugang zum Löschwasserteich der Freiwilligen Feuerwehr Obertraun ermöglicht werden soll, fiel die Entscheidung, das mobile Steinschlagschutzsystem der Firma Trumer Schutzbauten zur Gewährleistung einer, wenn auch eingeschränkten Steinschlagsicherheit, aufzustellen.



Abb. 7: Versetzen der Betonelemente und gleichzeitige Montage der Stahlstützen

Fig. 7: Location of the concrete elements and simultaneous assembly of the steel columns

Montage des mobilen Steinschlagschutzsystems

Der Schutzzaun wurde in mehreren Teillieferungen mittels LKW und Tandem-Hänger zur Baustelle transportiert. Die Befahrbarkeit für dieses Transportmittel sollte gegeben sein. Besonders zu beachten ist das Einzelgewicht von 4,5 t der beiden Abspannelemente. Es ist von Vorteil, die Betonelemente gleich vom Transporteur an der Einbaustelle versetzen zu lassen.

In unserem Fall war dies aufgrund des fehlenden Unterbaus nicht möglich. Zur Herstellung der Feinplanie und Durchführung der Montagearbeiten verwendeten wir einen 14 t-Bagger. Das Einheben der Betonfertigteile stellte für diese Baggergröße keinerlei Probleme dar. Im Zuge der Versetzarbeiten stellte sich heraus, dass der Untergrund sehr eben ausgeführt werden



Abb. 8: Verbindung der Betonelemente und gleichzeitige Verankerung der Stahlstützen über Kupplungen – Spaltmaß 2,0 cm

Fig. 8: Connection between the concrete elements and simultaneous anchoring the steel columns with couplings – size of gap 2,0 cm

muss, denn die Verbindung der Betonelemente erlaubt kaum Unebenheiten. Auch die ursprünglich angedachte bogenförmige Anordnung der einzelnen Segmente war aufgrund der geringen Einbautoleranzen nicht möglich. Das Versetzen der Betonelemente erfolgte schrittweise, immer in Kombination mit dem Einbau der Verbindungselemente (Kupplungen bzw. Stahlstütze mit Verbindungskupplung). Das heißt, alle Betonelemente vorab aufzustellen und danach erst zu verbinden funktioniert nicht.

Sobald die Betonelemente versetzt und verbunden waren, erfolgte die Netzmontage. Das stellte grundsätzlich keine Probleme dar und war auch in kurzer Zeit erledigt.

Die Gesamtdauer, vom Zeitpunkt der ersten Lieferung der Betonelemente, der Herstel-

lung des Planums bis zur fertigen Montage des Schutzzauns (2 Mann) mit einer Aufstellungslänge von 50 m umfasste zwei Tage.

Fazit

Mit dem mobilen Steinschlagschutzsystem der Firma Trumer Schutzbauten ist es möglich, in kurzer Zeit ein definiertes Schutzniveau zu gewährleisten, da die aufwendige Verankerung im Untergrund nicht notwendig ist. Idealerweise befindet sich der Montageplatz unmittelbar an einer Straße bzw. auf befestigtem und ebenem Untergrund. Dies reduziert erheblich die Vorbereitungsarbeiten und erleichtert die Versetzarbeiten. Das Versetzen der Betonelemente sowie die Netzmontage lassen sich in sehr kurzer Zeit bewerkstelligen.



Abb. 9: Fertig montiertes Steinschlagschutzsystem

Fig. 9: Finished rockfall barrier

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Johann Steiner
 Trumer Schutzbauten GmbH
 Weissenbach 106
 5431 Kuchl
 Österreich
 j.steiner@trumer.cc

Ing. Helmut Schwarzl
 Wildbach- und Lawinenverbauung,
 Gebietsbauleitung Oberösterreich West
 Traunreiterweg 5
 4820 Bad Ischl
 Österreich
 helmut.schwarzl@die-wildbach.at



- Stahlschneebrücken
- Gleitschneebrücken
- Dreibeinböcke aus Stahl
- Triebschneewände
- Lawinenablenkwände
- Stahlteile für Schutzbauten



- System Farfalla Böschung
- System Farfalla Bachverbauung



Mair Wilfried GmbH | I-39030 St. Lorenzen | www.mairwilfried.it

THOMAS TARTAROTTI

10 Jahre Erfahrung mit dem Aluträger Ankerzuggerät

10 years of experience with the aluminium beam micropile pulling device

Zusammenfassung:

Vor zehn Jahren wurde in der Gebietsbauleitung OÖ Ost nach zahlreichen Tests unterschiedlicher Zuggeräte das Aluträger Ankerzuggerät eingeführt. Im Artikel wird der Aufbau des Gerätes und seiner Bestandteile sowie Empfehlungen für den Ablauf eines Zugversuchs vorgestellt. Erfahrungen aus über 50 durchgeführten Mikropfahlprüfungen zeigen, dass es sich um eine sehr praktikable Zugvorrichtung handelt. Es kam bereits zum Nachbau und gewissen Adaptierungen in anderen Dienststellen. Abschließend wurden die Ergebnisse der dokumentierten Zugversuche statistisch analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die gemessenen Pfahlmantelreibungswerte deutlich über den Literaturwerten der ONR 24810 zu liegen kommen.

Abstract:

Ten years ago, after numerous tests of different pulling devices, the aluminum beam anchor pulling device was introduced in the Regional Headquarter Upper Austria East of the Forest Engineering Service in Torrent and Avalanche Control. The article presents the structure of the device and its components as well as recommendations for the execution of a tensile test. Experience from over 50 micropile tests carried out shows that this is a very practical device. There have already been replicas and various adaptations in other departments. Finally, the results of the documented tensile tests have been statistically analyzed. The results show, that the measured pile surface friction values are well above the literature values of ONR 24810.

Stichwörter:

Ankerzuggerät, Mikropfahl,
Zugversuch,
Pfahlmantelreibung

Keywords:

pulling device, micropile, tensile test,
pile surface friction

Einleitung

Mikropfahlzugversuche wurde in der Gebietsbauleitung OÖ Ost bereits am Wurzerkampl in den frühen 90er Jahren ausgeführt. Aufgrund der deutlichen Zunahme an erforderlichen Steinschlagschutzmaßnahmen wurde seit 2009 dieses Thema jedoch verstärkt in Angriff genommen. Nach zahlreichen Zugversuchen mit unterschiedlichsten Zuggeräten wurde 2011 in Anlehnung an das Schweizer Zuggerät (Reto Störi, tur GmbH Davos), das Kirchdorfer Aluträger Zuggerät eingeführt. Inzwischen kam es in weiteren 4 Sekti-

onen zum Einsatz und wurde mit fortlaufenden Adaptierungen auch nachgebaut. V.a. die ONR 24810 definierte den neuen Stand der Technik und präziserte die Vorgaben bei der Bemessung von Mikropfählen. Seit 2011 wurden zahlreiche normgerechte Mikropfahlversuche durchgeführt und dokumentiert. Die Zugergebnisse wurden nun zum 10. Jahrestag erstmals einer Gesamtanalyse unterzogen.

Kirchdorfer Aluträger Zuggerät

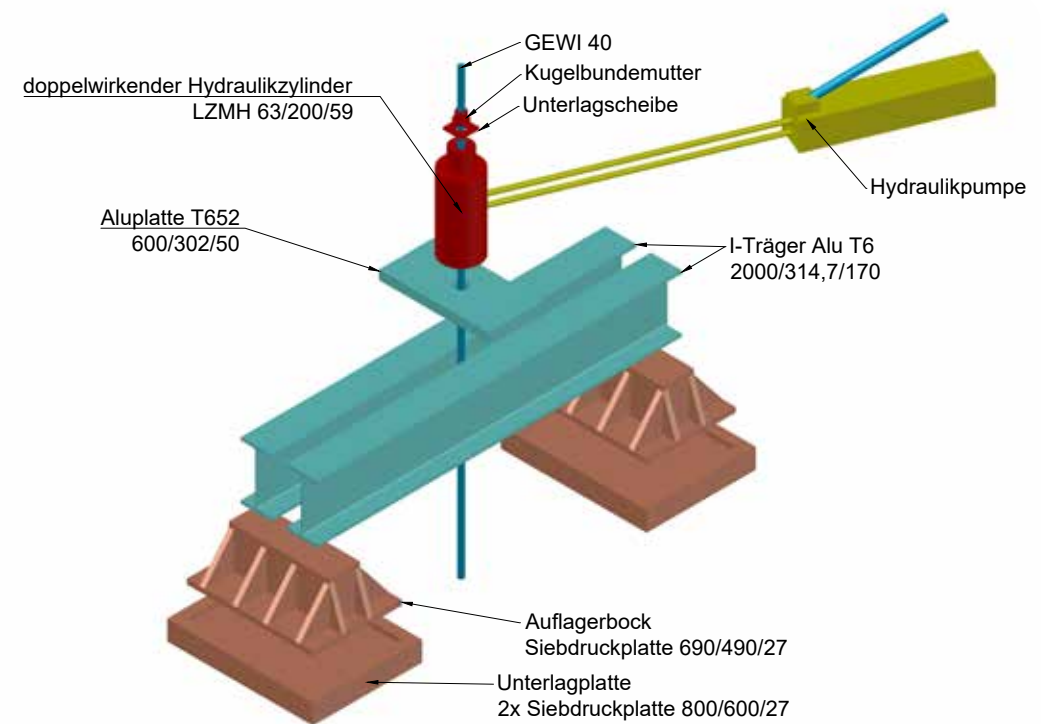


Abbildung 1: Systemskizze des Aluträger Zuggerätes

Figure 1: System sketch of the aluminium beam pulling device.

Der Auflagerbock besteht aus zwei Bauteilen aus Siebdruckplatten der Stärke 27 mm. Für die Unterlagplatte wurde zur Erreichung einer besseren Druckbeständigkeit eine doppelte Lage

der Platten verwendet und zur sicheren Bettung des Auflagerbockes ein passgenauer Überstand ausgeführt. Die beiden 200 cm langen I-Träger sind aus Aluminium der Qualität



Abbildung 2:
Die zwei am häufigsten eingesetzten Methoden zur Bewegungsmessung: Messschnur orthogonal zum Zugerät (Bild oben), Stativ mit Messuhr (Bild unten)



Figure 2:
The two most frequently used methods of movement measuring: measuring cord orthogonal to the pulling device (picture above), tripod with dial gauge (picture below).

Anticorodal-112, T6 gefertigt und haben eine Höhe von 314,7 mm, sowie ein Gewicht von rund 40 kg/Stück. Die auf die I-Träger aufgesetzte Druckplatte ist ebenfalls aus Aluminium gefertigt. Dabei wurde eine Speziallegierung für Werkzeug- und Formenbau der Qualität CERTAL® T651 verwendet. Die Platte weist ein Gewicht von ca. 25 kg auf. Als Hydraulik wird ein doppelwirkender Hydraulikzylinder empfohlen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um den Zylinder Lukas® LZMH 63/200/59 mit einem Gewicht von 35 kg. Der Zylinder wird mittels einer Handpumpe betrieben, alternativ wird auch öfters eine Elektropumpe verwendet. Gekontert wird der Ankerstab mittels Unterlagscheibe (Stahl) und Kuglbundmutter (Stahl).

Gegen das seitliche Verrutschen der I-Träger können diese mittels Schraubzwinde gesichert werden. In der Gebietsbauleitung Bludenz wurde eine passgenaue Verschraubung mittels Abstandhalter und Gewindestange ausgeführt.

Zur Messung der Bewegungsraten während des Zugversuches werden meist zwei Methoden angewandt. Die einfachste Methode ist das Spannen einer Schnur orthogonal zum Zugerät im Bereich der Ankermuffe zwischen verbautem Mikropfahl und Anschlussstab (GEWI 40). Die andere Möglichkeit ist die Verwendung eines Stativs mit Messuhr. Diese wird im Kopfbereich des Anschlussstabes angesetzt. Für beide Messmethoden ist es wichtig, die Befestigungspunkte resp. Stativfüße außerhalb einer etwaigen durch den Zugversuch beeinträchtigten Bewegungszone anzusetzen.

Die aufgebrachte Zugkraft wird mittels digitalem Manometer in Bar gemessen. Den Prüfprotokollen liegt eine Umrechnungstabelle von Bar auf kN zur korrekten Dokumentation der Widerstandswerte bei.

Empfehlungen für den Zugversuch

Die Anzahl der Mikropfähle im Rahmen der Eignungsprüfung hängt von der Größe des Baufeldes ab. Wobei sich 3 bis 4 Stück pro zu erwartenden Homogenbereich als zweckmäßig erweisen. Die Sicherheitsbeiwerte belaufen sich dann auf 1,05 resp. 1,0, somit kann die Länge mit möglichst geringen Sicherheitszuschlägen optimiert werden.

Die Länge der Probemikropfähle richtet sich nach den angetroffenen Bodenqualitäten. In der Regel werden Verpresslängen von 3 m bis 5 m hergestellt. Der oberste Meter wird im Lockermaterial jedenfalls nicht verpresst. Je schlechter der Boden umso länger die Probemikropfähle. Es sollte ein erfahrener Bohrführer eingesetzt werden, der die Länge nach dem tatsächlich vorgefundenen Lockermaterial richtet. Die Variation der Längen sollte nicht mehr als 1m betragen. Um an die tatsächlichen Grenzreibungswerte heran zu kommen, sollte ein ausreichend großer Stabdurchmesser gewählt werden (z.B. GEWI 40), sodass die Beprobung nicht wegen des Stahlzuggliedes (Ankerstab) vor Erreichen der Grenzreibungswerte abgebrochen werden muss (Tartarotti 2018).

Ablauf des Zugversuches:

1. Die obere Humusschicht ist durch Abgraben im Bereich der Auflager (Abstand zu Bohrloch min. 5-fach. Bohrlochdurchmesser) zu entfernen.
2. Als Widerlager sind bei nicht tragfähigem Untergrund am besten zusätzlich Holzbohlen (ca. 2 m lang) unterzulegen.
3. Aufbau der Platten und der Auflager.
4. Auf die Auflage ist mindestens 1 Hartholzstück aufzulegen.

5. Anschließend sind die Aluminiumträger aufzulegen. (Wichtig: Die Träger sind so einzurichten, dass mit dem zu prüfenden Mikropfahl ein Winkel von ca. 90° entsteht.)
6. Ggf. Ausrichten der Träger mittels Hartholzstückchen.
7. Aufsetzen der Aluminiumplatte und des Zylinders und Anschluss an die Handpumpe mittels beiliegenden Schläuchen: Blau oben, Rot unten.
8. Bis auf erste Laststufe belasten. (Sollte das Widerlager nachgeben, Druck nachlassen und neu ausrichten!)
9. Zugversuch schrittweise durchführen und gegebenenfalls immer wieder neu ausrichten.

Sicherheitshinweise!

1. Anker nicht überlasten!
2. Aluminiumträger beobachten (bei Verformung nicht weiter belasten)!

Erfahrungen

Ursprüngliche Bedenken, dass sich die Aluträger als schwächstes Glied im Prüfaufbau erweisen würden, haben sich nicht bewahrheitet. Es können Lasten bis ca. 470 kN aufgebracht werden. Bis dato sind weder an den Trägern noch an anderen Bauteilen Schäden aufgetreten. Ein viel häufigeres Problem stellt bei weichen Lockermaterialböden die Abtragung der aufgetragenen Last bei den Aufstandsflächen dar. Trotz Unterlegens von

zusätzlichen Bohlenhölzern zur Vergrößerung der Aufstandsfläche verkippt bei weichen Böden das Zuggerät gerne und es muss ggf. nachjustiert werden, damit die Zugkräfte achsial auf den Mikropfahl aufgebracht werden können.

Bzgl. der besten Wahl der Hydraulikpumpe scheiden sich die Geister. Jedenfalls komfortabler und auch schneller funktioniert eine Elektrohydraulikpumpe. Die mechanische Handpumpe bietet den Vorteil, dass man von Strom unabhängig ist und bereits beim Pumpen das Verhalten des Mikropfahls besser wahrgenommen werden kann. In der Gebietsbauleitung OÖ Ost wird bis dato eine Handpumpe erfolgreich verwendet.

Eine anfängliche Fehlerquelle bei der Dokumentation stellte die Übertragung des gemessenen Drucks in Bar in das Prüfprotokoll in kN dar. Hier kam es vereinzelt vor, dass die am Manometer abgelesenen Bar in das Protokoll als kN eingetragen wurden. Das Prüfprotokoll wurde dahingehend durch eine Umrechentabelle ergänzt und alle Beteiligten auf die mögliche Fehlerquelle aufmerksam gemacht.

Bei den beiden Methoden zur Messung der Bewegungsraten (siehe Abbildung 2) hat sich die einfachere Methode mit der Messschnur als praktikabler erwiesen. Die Messuhr, welche meist im Bereich des Ankerkopfes angesetzt wird, misst zwar exakt, aber es werden bereits bei kleinen Verdrehungen bzw. Verkipnungen Bewegungen gemessen, welche jedoch keine achsiale Bewegung des Mikropfahls sind.

Analyse der Pfahlmantelreibungswiderstandswerte

In der ONR 24810 werden für die Vordimensionierung von Mikropfählen folgende Tabellenwerte der zu unterstellenden Pfahlmantelreibungen angeführt

Bodenart	Pfahlmantelreibung Bohrdurchmesser 100mm [kN/m]
Mittel- Grobkies	60
Sand - Kiessand	45
Bindiger Boden	30
Fels	79 bis 315

Tabelle 1: Pfahlmantelreibungswerte nach Bodenart gem. ONR24810, Tabelle B.1 und B.2

Table 1: Pile surface friction values per soil types according to ONR 24810, Table B.1 and B.2

In der Gebietsbauleitung OÖ Ost wurden seit 2011 in Summe 51 Mikropfahlzugversuche gem. ONR 24810 durchgeführt und dokumentiert. Diese wurden nun einer ersten statistischen Analyse unterzogen. Auf Basis der Bohrprotokolle und der Ortskenntnis konnten den einzelnen Zugversuchen die effektiven Mikropfahllängen (l_{eff}) und

nachstehenden fünf Bodenkatgorien zugewiesen werden:

- Schotter eng- bis weitgestuft (GE / GW)
- Bindiger Schotter (GU)
- Lehmiger Schotter (GT)
- Lehm (U, T)
- Fels (Kalk / Hauptdolomit)



Abbildung 3: Mittels Bagger freigelegter Probemikropfahl der Bodenkatgorie Bindiger Schotter (GU)

Figure 3: Trial micropile of the soil category cohesive gravel (GU) uncovered by means of an excavator

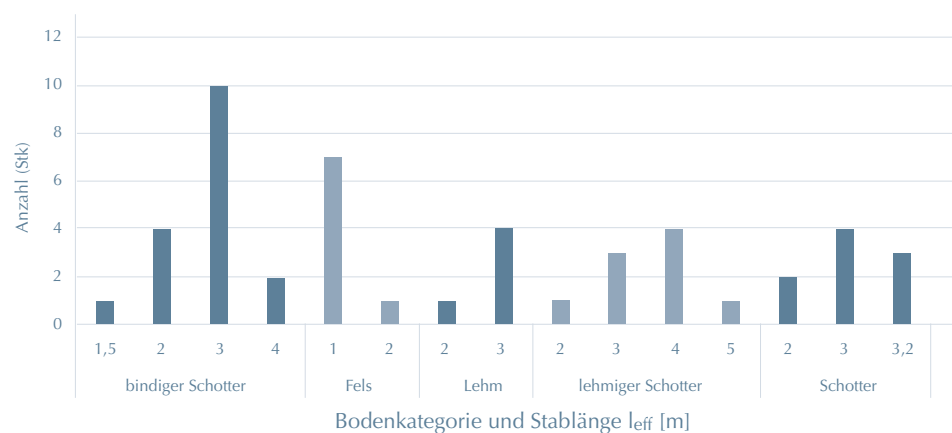


Tabelle 2: Verteilung der analysierten Probemikropfähle nach Bodenkategorie und Mikropfahlänge (l_{eff}).

Table 2: Distribution of the analyzed trial micropiles according to soil category and micropile length (l_{eff}).

Die meisten Mikropfähle (19 Stück) wurden in der Bodenkategorie *Bindiger Schotter* gezogen. Lehmböden (6 Stück) gefolgt von Fels (8 Stück) stellen die Kategorie mit den wenigsten Stichproben dar. Für eine Analyse, ob innerhalb der

Bodenkategorien die Pfahlmantelreibungswerte mit zunehmender Mikropfahlänge überproportional zunehmen, erwies sich das Stichprobensampling als zu klein.

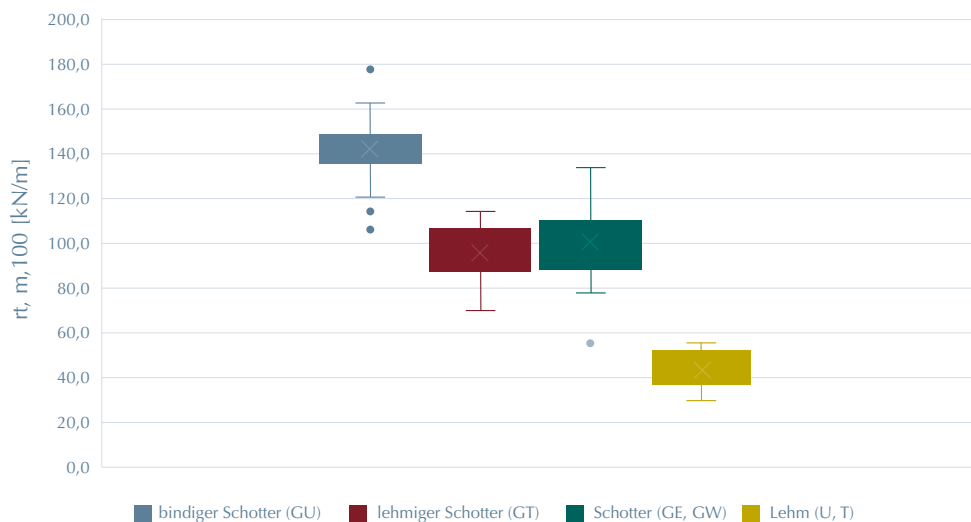


Tabelle 3: Boxplot-Analyse Pfahlmantelreibungswiderstände ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) nach Bodenkategorien im Lockermaterial bei Bohrdurchmesser 100mm

Table 3: Boxplot analysis of pile surface friction resistances ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) according to soil categories in loose material with a drilling diameter of 100mm

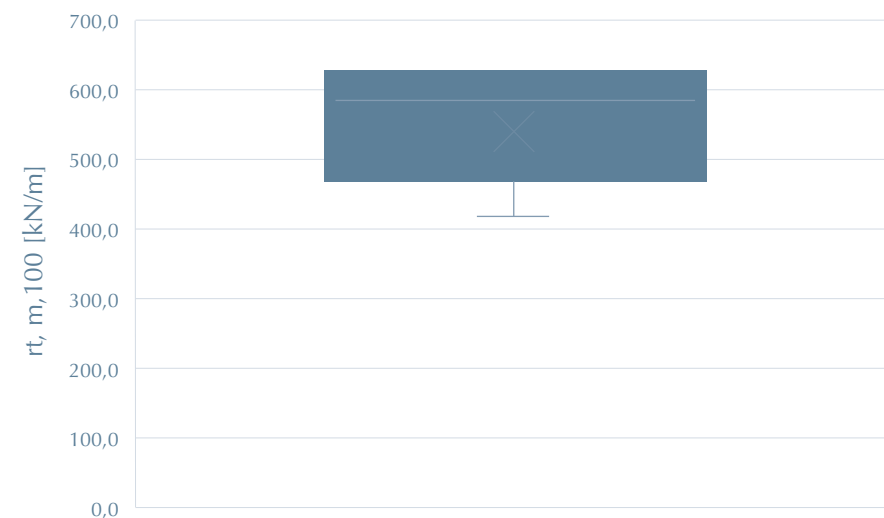


Tabelle 4: Boxplot-Analyse der Pfahlmantelreibungswiderstände ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) für Fels (Kalk, Hauptdolomit) bei Bohrdurchmesser 100 mm

Table 4: Boxplot analysis of pile surface friction resistances ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) in rock (limestone, main dolomite) with a drilling diameter of 100 mm

$r_{t,m,100}$ [kN/m]	Bindiger Schotter (GU)	lehmgiger Schotter (GT)	Schotter (GE, GW)	Lehm (U, T)	Fels
Median	148,0	99,9	110,3	43,0	581,9
Mittelwert	142,5	95,6	101,1	43,7	546,7
1.Q	135,7	87,5	88,8	37,0	465,5
3.Q	148,4	106,4	110,3	52,3	627,8
Min	106,4	70,2	55,5	30,1	419,0
Max	178,0	114,2	134,0	55,6	627,8

Tabelle 5: Statistische Kenngrößen der Pfahlmantelreibungswiderstände ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) der unterschiedlichen Bodenkategorien bei Bohrdurchmesser 100 mm

Table 5: Statistical parameters of the pile surface friction resistances ($r_{t,m,100}$ [kN/m]) of different soil categories with a drilling diameter of 100 mm

Die Analyse zeigt, dass die höchsten durchschnittlichen Widerstandswerte im Lockermaterial im *bindigen Schotter (GU)*, gefolgt von *Schotter (GE, GW)*, *lehmigen Schotter (GT)* und *Lehm (U, T)* erreicht werden können. Die Widerstandswerte im Schotter weisen die größte Varianz auf. Dies liegt am kleinen Stichprobenumfang und der äußerst unterschiedlichen Beschaffenheit der untersuchten Schotterböden. Konnten in lockergelagerten, hohlraumreichen Schotterböden sehr geringe Ausziehwidestände (ca. 55 kN/m) gemessen werden, erwiesen sich die Widerstandsbeiwerte in dichtgelagerten Schotterböden deutlich besser (ca. 130 kN/m).

Alle Ergebnisse in der Gebietsbauleitung OÖ Ost kommen jedoch deutlich über den Literaturwerten der ONR zu liegen. Die in sich sehr homogenen Ergebnisse im Fels zeigen ebenfalls deutlich höhere Werte als die empfohlenen Tabellenwerte der ONR.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

DI Thomas Tartarotti
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Gebietsbauleitung Oberösterreich Ost
 Garnisonstraße 14
 4560 Kirchdorf a.d. Krems
 thomas.tartarotti@die-wildbach.at

Literatur/References:

ONR 24810 Technischer Steinschlagschutz, Austrian Standards Institute, Ausgabedatum: 2017-02-15

THOMAS TARTAROTTI (2018):
 Praxis versus Theorie? Eignungs- und Abnahmeprüfungen von Mikropfählen/ Verpresspfählen für Steinschlagschutznetze im Eigenregiebetrieb der WLW, 2. Fachtagung für Wissenschaft, Praxis und Wirtschaft, Stand der Technik im Naturgefahren-Ingenieurwesen, BOKU Wien 2018

Gmunden . Saalfelden . Oberalm . Kitzbühel

mjp
 ZIVILTECHNIKER
 GMBH

Ingenieurkonsulenten . Geologie und Hydrogeologie
 Geotechnik und Bauingenieurwesen . Naturgefahren und Umwelt

Geolith
 Consult

Geologie & Geotechnik

www.geolith.at





GERNOT WENDL, HANSPETER PUSSNIG

EBBOSburst – steinbrechende Kartuschen

EBBOSburst – stone-breaking cartridges

Zusammenfassung:

EBBOSburst ist eine pyrotechnische Kartusche, welche zum Aufbrechen und Zerkleinern von Steinen, Gestein, Beton, Fundamenten, usw. dient. Einsatz findet sie im Abbruchbetrieb, im Steinbruch und unter Wasser. Geringerer Steinflug und daher auch ein geringerer Sicherheitsabstand sind besondere Vorzüge. EBBOSburst erzeugt im verdämmten Zustand in kurzer Zeit eine große Gasmenge mit hohem Druck. Im unverdämmten Zustand ist keine Wirkung gegeben. Die Anwendung von EBBOSburst ist keine Sprengung im üblichen Sinne, aber auch anzeigepflichtig. Für die Anwendung von EBBOSburst wird ein Pyrotechnikausweis für die Klasse „P2 – Steinbrechende Kartuschen“ benötigt. Die 2-tägige Ausbildung und Schulung für Anwenderinnen und Anwender erfolgt durch ausgebildete Experten. Der Pyrotechnik-Ausweis wird von der jeweiligen Bezirksverwaltungsbehörde ausgestellt.

Abstract:

EBBOSburst is a pyrotechnic cartridge, which is used for the blasting and secondary breaking of stones, rocks, concrete, foundations, etc. It is used in demolition companies, quarries and under water.

Stichwörter:

Pyrotechnik,
Sprengstoff

Low stone throws and therefore smaller safety exclusion zones

rank among the key benefits. When tamped, EBBOSburst

generates a large volume of gas with high pressure within

a short time. There is no reaction when not tamped. The

use of EBBOSburst does not constitute an explosion in

the conventional sense but is also notifiable. The use

of EBBOSburst requires a pyrotechnician's licence

for class P2 stone-breaking cartridges. The training

required for users is provided by qualified experts.

The pyrotechnician's licence is issued by the

respective regional administrative authority.

Keywords:

Pyrotechnic,
blasting

Einleitung

Oft sind es die kleinen Dinge, die mehr Aufwand erfordern als man sich das wünschen würde. Das trifft sehr oft auf Situationen zu, die bisher eine Sprengung notwendig machten. Sei es beispielsweise ein Gesteinsbrocken, der nicht leicht aus dem Weg zu räumen ist oder das Vorliegen labiler geologischer Verhältnisse, die lediglich geringe Erschütterungen vertragen.

Sprengungen dürfen nur von ausgebildetem Fachpersonal durchgeführt werden und auch der Erwerb von Sprengmitteln ist reglementiert. Das kann für die tägliche Arbeit Mehraufwände bedeuten, die nicht immer willkommen sind.

Sucht man nach Alternativen so bietet sich das neu am Markt eingeführte System EBBOSburst an. Das Produkt wurde auch der WLVB, Gebietsbauleitung Osttirol vorgestellt und im Zuge der Schulung wurden Möglichkeiten und Grenzen erkannt.

Das Produkt

EBBOSburst ist eine pyrotechnische Kartusche, die zum Aufbrechen und Zerkleinern von Steinen, Gestein, Beton oder Fundamenten dient. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um weiches Gestein (z. B. Sandstein), stabile und harte Felsstrukturen (z. B. Granit) oder stark verwittertes Gestein handelt. Je nach Anwendungsfall kann die Kartuschengröße und -menge individuell angepasst werden: Standard-Dimensionen reichen von 20 g bis 250 g bei 34 mm Durchmesser, Sondergrößen bis zu 6 kg sind möglich.

Mit der Zündung von EBBOSburst wird im verdämmten Zustand in kurzer Zeit eine große Gasmenge mit hohem Druck erzeugt. Im unverdämmten Zustand ist keine Wirkung und damit auch keine Gefahr gegeben.

EBBOSburst ist eine sichere und umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Sprengungen. Dank der ungiftigen Bestandteile besteht keine besondere Gefährdung des Grundwassers oder des Bodens. Da bei der Zündung von EBBOSburst nahezu keine Erschütterungen entstehen, ist der Gefährdungsbereich sehr eng begrenzt. Auch die Anwendung innerhalb von Bauwerken und Gebäuden ist dadurch bei entsprechender Dosierung problemlos möglich.

Die Zündung

Je nach Anforderung kann EBBOSburst mit einem elektrischen Zündsystem oder mit einer Abrisszündung versehen werden.

Elektrische Zündungen sind universell einsetzbar und können unter Einhaltung eines angemessenen Sicherheitsabstandes gezündet werden, wobei die Zündung ohne Verzögerung erfolgt.

Bei der Abrisszündung wird durch den Zug an der abgeschraubten Kappe des Auslösers eine nichtelektrische Zündung ausgelöst. Durch diese sogenannte Abrisszündung ist eine Anwendung auch an Orten möglich, an denen Streuströme und induktive oder elektrostatische Einwirkungen auftreten können.

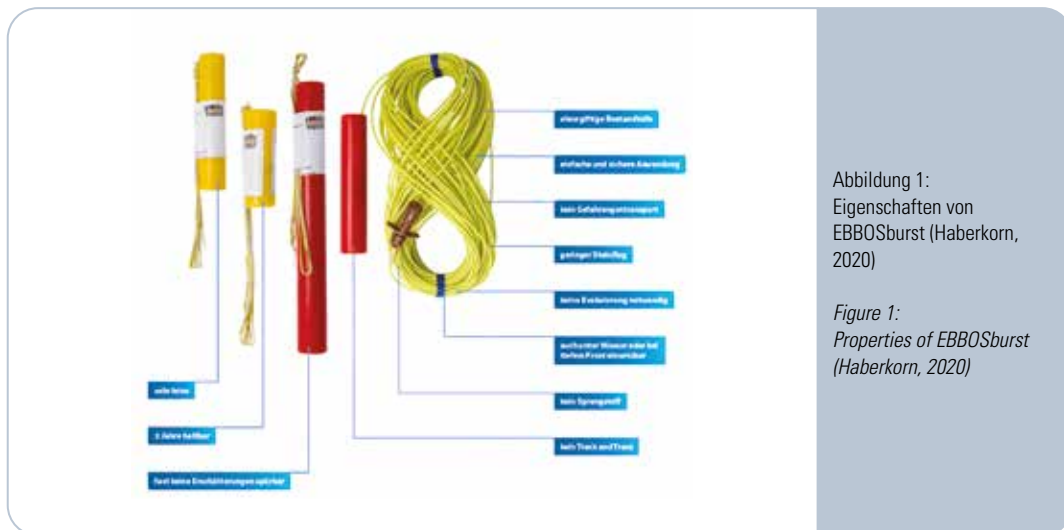


Abbildung 1:
Eigenschaften von
EBBOSburst (Haberkm,
2020)

Figure 1:
Properties of EBBOSburst
(Haberkm, 2020)

Der Unterschied zu Sprengstoff

Ein Sprengstoff kann jederzeit, also „willkürlich“, zur Detonation gebracht werden.

Steinbrechende Kartuschen enthalten zwar ebenfalls Schießpulver, Nitroglycerin, Ammoniumnitrat etc., also eigentlich die gleichen Grundstoffe wie klassische Sprengstoffe, jedoch in einer besonderen Zubereitung mit einer speziellen Zündung, welche lediglich unter Verdämmung umsetzen und schlagartig ein großes Gasvolumen freisetzen. Es entstehen schlagartig Drücke von über 4.000 Bar.

Aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Umsetzungsgeschwindigkeit von 400-600 m/s (im Gegensatz zu bis zu 9.000 Meter bei normalem Sprengstoff) ist die Wurfweite von „Splintern“ etc. nur sehr gering (typischerweise unter 30 Meter!). Das erspart teure Abspermaßnahmen, Straßensperren, Betriebsunterbrechungen etc. Natürlich geht auch weniger Arbeitszeit verloren. Zum Beispiel kann bei Böschungsarbeiten gleichzeitig vorne gebohrt und hinten zerwirkt werden. Die

entstehenden Schwaden sind obendrein ungiftig und bestehen zu etwa 48 % aus Wasserdampf. Der Rest setzt sich aus Stickstoff, Kohlensäure und Sauerstoff zusammen. Ohne Einschluss, also freiliegend, fliegt bei Zündung lediglich der Verschlussstopfen heraus. Eine klassische Zündung erfolgt dabei nicht. Hieraus ergibt sich, dass steinbrechende Kartuschen zur Lagerung kein genehmigungspflichtiges und teures Sprengstofflager benötigen. Ein abschließbarer Schrank reicht üblicherweise aus. Auch benötigt man kein Sprengstofflagerbuch, keinen Gefahrguttransporter und zur Verwendung bedarf es lediglich eines zweitägigen Lehrgangs, nach dem ein Pyrotechnikausweis für die Kategorie „Steinbrechende Kartuschen Kategorie P2“ beantragt werden kann. Hiermit kann eine 5-jährige Bezugs- und Verwendungsgenehmigung erteilt werden.

Achtung: Eine Sprengberechtigung berechtigt nicht zum Bezug steinbrechender Kartuschen!

Vorteile für den Anwender

- Geringste Sicherheitsabstände: nur 30 Meter (bei Großkartuschen mit bis zu 7 kg nur 100 Meter)
- Keine sprengtypischen harten Stoßwellen. Steinbrechende Kartuschen können problemlos innerhalb von Gebäuden verwendet werden.
- Keine Wirkung nach unten, sondern nur radial
- geringere Geräusentwicklung
- Einfache Lagerung
- Keine teure Sprengversicherung
- Einfacher Bezug
- Kein Lagerbuch
- Elektrische Zündung oder Zündung mittels Abrisszünder (Shocktube)
- Unter Wasser einsetzbar
- Genau dosierbare Wirkung. Kartuschen sind standardmäßig von 20 g bis 7.000 g erhältlich. Das aktuell kleinste Kaliber ist 34 mm, das größte Standardkaliber ist 90 mm. Aktuelle Produktentwicklungen gehen herunter bis 8 mm. Grundsätzlich ist jedes Kaliber projektbezogen herstellbar.
- Die Packstücke sind der UN Gefahrgutklasse 1.4S zugeordnet (gleich wie Streichhölzer oder Wunderkerzen am Christbaum). Das bedeutet, dass eine Nettoexplosivstoffmasse von maximal 333 kg in einem normalen PKW mitgeführt werden darf.
- Ein weiterer großer Vorteil bei der Verwendung steinbrechender Kartuschen ist der Wegfall der Sprenggenehmigung. Somit können langwierige und teure Genehmigungsverfahren sowie z. B. mögliche Einsprüche aus der Nachbarschaft bei Sprengungen vermieden werden.

Steinbrechende Kartuschen als Ersatz für herkömmlichen Sprengstoff?

Ja und nein. Steinbrechende Kartuschen sind eine wichtige Ergänzung und Erweiterung. Bei der Werksteingewinnung (Marmor, Granit usw.) sind steinbrechende Kartuschen ein perfekter Ersatz für Schwarzpulver!

Im Steinbruchbetrieb ermöglichen sie wirtschaftliches Arbeiten dort, wo herkömmlicher Sprengstoff nicht eingesetzt werden kann. Zum Beispiel wegen der Nähe zu Straßen, Anwohnern, druckführenden Leitungen (Gas, Wasser, Erdöl etc.), sensiblen Anlagen. Oder um einfach langwierige Klageverfahren mit Anrainern auszuschließen.

Im Tunnelbau gilt das Gleiche: Langwierige Klageverfahren und vorsorgliche Baustopps durch die Behörden können von vornherein ausgeschlossen werden. Weder Quellzüge noch Grundwasser werden verlegt beziehungsweise beeinträchtigt, da keine weitreichenden Stoßwellen erzeugt werden. Das beste Beispiel ist der Vortrieb des Semmering Basistunnels: Erdrutsche, versiegte Quellen etc. kosten viele Millionen € und schädigen das Renommee der Bauherren.

Besonders im Tiefbau ergeben sich große Einsparungspotentiale, da das unangenehme, laute, langwierige und teure Schremmen einfach ersetzt werden kann. Das bedeutet einen großen Zeitgewinn, weniger Belastung durch Lärm, Abgase und Staub und große Einsparung beim Maschineneinsatz. Anstatt großer und teurer Bagger mit Hydromeisseln reicht ein kleiner Bagger mit Anbau-Bohrlafette vollkommen aus.

Überall dort, wo es darauf ankommt, unter schwierigen Bedingungen Steine, Geröll und Gebäuderümmen, Eis, verspannte Baumstämme, etc. zu beseitigen, sind steinbrechende Kartuschen das passende Mittel.



Abbildung 2: Anwendungsbereich EBBOSburst (Haberhorn, 2020)

Figure 2: EBBOSburst - Field of application (Haberhorn, 2020)

Einsatzgebiet Wildbach- und Lawinenverbauung

Die Einsatzbereiche von „P2 – Steinbrechende Kartuschen“ im Zuge der Maßnahmensetzung bei der Wildbach- und Lawinenverbauung können relativ vielfältig sein. Bisher liegen durch die Neueinführung erst geringe Erfahrungen von den Mitarbeitern der Gebietsbauleitung Osttirol vor. Die diesbezüglich erforderliche Schulung wurde bereits durchgeführt und die Sprengbefugten und Parteileiter der Gebietsbauleitung Osttirol nahmen daran teil. Im Zuge des praktischen Teiles der Schulung wurden spezifische, für den Dienstzweig relevante Sprengungen durchgeführt. Aus den daraus gewonnene Erkenntnissen können Möglichkeiten und Grenzen des Produktes EBBOSburst aufgezeigt werden.

- **Zerwirkung von Blöcken, die ein Abflusshindernis in Bächen darstellen und in der Nähe von Straßen, Brücken oder Häusern liegen.**

Möglichkeiten: Hier ergibt sich der Vorteil der geringeren Sicherheitsabstände. Durch die geringeren Wurfweiten der Splitter, da die Umsetzungsgeschwindigkeit von 400–600 m/s niedrig ist (im Gegensatz zu bis zu 9.000 m/s bei normalem bzw. gelatinösem Sprengstoff). Zudem sind die Erschütterungen niedriger als bei klassischem Sprengstoff, was im Nahbereich von Gebäuden besonders wichtig ist (Beweissicherung etc.). Parallel dazu ist die Zerwirkung auch leiser als bei herkömmlichem Sprengstoff.

Grenzen: Zwar ist die Splitterwirkung geringer, jedoch lässt sie sich nicht zur Gänze ausschalten; Daher ist in speziellen Fällen die Verwendung einer Sprengmatte erforderlich. Die Geräusch-

entwicklung ist zwar geringer als beim Einsatz einer Sprengschnur bzw. gelatinösem Sprengstoff, sie ist jedoch vergleichbar mit der Geräuschentwicklung bei Schwarzpulversprengungen.

- **Freilegung von Stützenplattenfundamenten im Fels für die Errichtung von Stahlschneebrücken.**

Möglichkeiten: Durch die lediglich radiale Wirkung wird das unterliegende Festgestein nicht aufgelockert und bleibt somit in standsicherem Zustand erhalten.

Grenzen: Die Felspartien lassen sich schwer lösen und erfordern Schremmarbeiten nach der Zerwirkung.

- **Sprengung von Wurzelstöcken**

Möglichkeiten: Einfaches Aufbrechen von verklausungsfördernden Gehölz

Grenzen: Verhältnismäßig geringe Wirkung von EBBOSburst durch die geringe Ausbreitgeschwindigkeit.

- **Verdämmung der Ladung:** Die Verdämmung der Ladung ist nur mittels Schnellzement möglich. Mit Wasser, Gips oder Schaum als Verdämmmaterial wird keine ausreichende Verdämmung erreicht.

- **Sprengungen in oder in der Nähe von Quellschutzgebieten.** Geringe Ausbreitgeschwindigkeiten und die lediglich radiale Wirkung reduzieren die Gefahr von Wasserverwerfungen unterhalb der Sprengung.

- **Kleinere Sprengungen im Allgemeinen.** Durch die erleichterten Transport- und Lagervorschriften sind P2 Sprengstoffe für den dringlichen und raschen Einsatz gut geeignet.

Conclusio

Der Einsatz steinbrechender Kartuschen bietet durchaus eine Bereicherung in diversen Einsatzbereichen der WLW. Steinbrechende Kartuschen können den Einsatz von herkömmlichem Sprengstoff nicht ersetzen, bieten jedoch eine Alternative in gewissen Bereichen. Die kardinale Grenze des Einsatzes von EBBOSburst liegt im Bereich der höheren Kosten im Vergleich zu konventionellem Sprengstoff. Zudem ist die Wirkung durch die weit geringere Ausbreitgeschwindigkeit reduziert. Diesbezüglich liegt der Einsatz in sensiblen Bereichen (z. B. Quellschutzgebiete) nahe bei oder im Inneren von Gebäuden sowie in Bereichen, die schwer zugänglich sind und geringe Sprengungen erfordern (Blöcke in Gerinnen).

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Gernot Wendl
Vertriebsleiter Haberhorn
Modcenterstraße 7
1030 Wien
gernot.wendl@haberhorn.com

DI Hanspeter Pussnig
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Osttirol
Kärntnerstraße 90
9900 Lienz
hanspeter.pussnig@die-wildbach.at

Literatur/References:

HABERKORN (2020):
Broschüre zu EBBOSburst Die steinbrechende Kartusche.

PyroTG – Pyrotechnikgesetz (2010):
Bundesgesetz, mit dem polizeiliche Bestimmungen betreffend pyrotechnische Gegenstände und Sätze sowie das Böllerschießen erlassen werden

SOBBE GmbH (2017):
Technische Unterlagen und Handhabungsrichtlinien, Ausgabe 04/2017,
Dortmund

www.haberhorn.at

MICHAEL SCHIFFER, WOLFRAM BITTERLICH, CHRISTOPH HOFMANN

Flächenwirtschaftliche Projekte: Allgemeine Grundlagen und Rahmenbedingungen sowie praktische Anwendung und Umsetzung am Fallbeispiel FWP Traunkirchen 2019

Area-related projects: general principles and conditions with the project FWP Traunkirchen 2019 as case example

Zusammenfassung:

Flächenwirtschaftliche Projekte zum Schutz der vorliegenden Dauersiedlungsräume und Infrastrukturanlagen vor Steinschlag und Massenbewegungen sind ein unverzichtbarer Faktor zur nachhaltigen Sicherung des vorhandenen alpinen Lebens- und Wirtschaftsraumes im Salzkammergut. Durch die Kombination und das Zusammenwirken von forstlich-biologischen und technischen Maßnahmen am Stand der Technik wird die flächige Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder optimiert und nachhaltig verbessert. Das Instrument der Bannlegung schafft Rechtssicherheit und ermöglicht zielgerichtete, nachhaltige Lösungen. Am Beispiel des Flächenwirtschaftlichen Projektes Traunkirchen 2019, Gemeinde Traunkirchen, Bezirk Gmunden, Oberösterreich wird diese Thematik erläutert.

Stichwörter:

Flächenwirtschaftliche Projekte, Bannlegung, Steinschlagschutz, Objektschutzwald

Abstract:

Area-related projects to protect settlements and infrastructural components from rockfall and mass movements are important elements of mountain risk engineering and prevention of natural hazards in the area of the Inner Salzkammergut (district Gmunden, Upper Austria). Through combination of special aimed forestry measures and technical measures in state of the art, the effects of the protective forests rises sustainably. The installation of enclosure protection forest causes legal certainty for public investments and forces focused solutions. As a practical example the area-related project Traunkirchen 2019 is shown.

Keywords:

Area-related projects, enclosure protection forest, stone-stroke protection, protective forests for objects

Allgemeines

Flächenwirtschaftliche Projekte unterliegen stark regionalen und lokalen Prägungen und sind auf die jeweilige Zielsetzung ausgerichtet. Das Spektrum flächenwirtschaftlicher Projekte reicht von Windschutzanlagen über Lawinenschutzwälder bis hin zu einschlägigen Behandlungen von Objektschutzwäldern gegen Steinschlaggefahren und Massenbewegungen. Beispielsweise ist im Bereich des Salzkammergutes mit seinen steil abfallenden,

schroffen und stark felsdurchsetzten Berghängen sowie dem komplexen geologischen Aufbau verbreitet mit labilen Untergrundverhältnissen (Einschlüssen von Haselgebirge, Gipsvorkommen und Buntmergeln etc.) zu rechnen. Neben dem Schutz vor Waldlawinen ist besonders der flächenhafte Schutz der vorliegenden Dauersiedlungsräume und Infrastrukturanlagen vor Steinschlag und Massenbewegungen ein unverzichtbarer Faktor zur nachhaltigen Sicherung des vorhandenen alpinen Lebens- und Wirtschaftsraumes.



Abbildung 1: Blick auf den Ortsteil Siegesbach, Gemeinde Traunkirchen mit Traunsee, Kleinem Sonnstein und der Salzkammergutstraße sowie der ÖBB Bahnlinie Stainach/Irdning – Attnang/Puchheim

Figure 1: View to district Siegesbach in Traunkirchen, showing the Traunsee, the Kleiner Sonnstein and the Salzkammergutstraße as well as the ÖBB railway track Stainach/Irdning – Attnang/Puchheim

Anwendung des Forsttechnischen Systems der WLW

Durch die Kombination und das Zusammenwirken von forstlich-biologischen und technischen Maßnahmen am Stand der Technik wird die flächige Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder optimiert und nachhaltig verbessert. Das Forstgesetz 1975 i.d.g.F. bietet mit dem Instrument der Bannlegung und den Bestimmungen über die Festlegung der Aufgaben der Dienststellen der WLW die Möglichkeit, vorliegende Problembereiche fokussiert zu behandeln und nachhaltige Lösungen herbeizuführen. Grundvoraussetzung dafür ist aber, dass die betroffenen Gebietskörperschaften (Gemeinden, Länder), Grundeigentümer und Begünstigten ihre Bereitschaft zur Zusammenarbeit nach den einschlägigen Regelungen gemäß ForstG, der Technischen Richtlinie der WLW samt Verwaltungsanweisung sowie den Bestimmungen des Wasserbautenförderungsgesetzes (Vorgaben des Bundes) erklären.

Bannlegungen können gemäß ForstG von betroffenen Gemeinden im öffentlichen Interesse der Sicherheit, gefährdeten Unterliegern, dem Grundeigentümer und/oder seitens der Dienststellen der WLW bei der jeweils zuständigen Bezirkshauptmannschaft beantragt werden. Die Bezirkshauptmannschaft hat über Annahme oder Ablehnung des eingebrachten Antrages zu entscheiden.

Vorteile für Grundbesitzer – Nutzung von Synergieeffekten

Für Grundeigentümer bringt die Umsetzung von Flächenwirtschaftlichen Projekten in Kombination mit einer Bannlegung den Vorteil, dass einschlägige Pflegeeingriffe in exponierten Bereichen durch die Errichtung ergänzender Schutz-

bauten oft erst gefahrlos für die Unterliegerbereiche möglich werden und zusätzlich die Art der Waldbehandlung zur Erreichung der jeweiligen Schutzziele seitens der WLW in Abstimmung mit der Forstbehörde in Form der Projekts- bzw. Bescheidinhalte bereitgestellt wird. Bei Unzumutbarkeit (z.B. unerschlossenes Steilgelände) für den Grundeigentümer können erforderliche Pflegeeingriffe auf Projektkosten durch die Dienststellen der WLW ausgeführt werden. Zusätzlich werden im Bereich Flächenwirtschaftlicher Projekte im Zuge der Projektierung bereits Lösungsansätze zur Wald/Weidefrage und etwaige Fragen hinsichtlich Wald/Weide-Trennung erarbeitet. In den einschlägigen Planungen finden neben den forstlich-biologischen und technischen Sachverhalten auch die jagdlichen Notwendigkeiten wie z.B. Anlage von Pirsch- und Begehungssteigen Eingang. Durch die Einbindung einschlägiger Experten wird versucht, lokal und regional angepasste Lösungen zu finden (wildökologische Begleitplanung). Zusätzlich gilt es, vorhandene land- und almwirtschaftliche Interessen sowie relevante Interessen der Tourismus- und Freizeitwirtschaft in die Projektierungen miteinzubeziehen, um die Erreichung der Schutzziele und den Mitteleinsatz zu optimieren.

Erforderliche Rahmenbedingungen

Die Umsetzbarkeit Flächenwirtschaftlicher Projekte und von Bannlegungen bleibt gemäß den forst- und förderrechtlichen Bestimmungen sachlich und räumlich begrenzt, da die erforderlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen, wie Bildung einer konsenswilligen und zahlungsbereiten Gemeinschaft von Akteuren und Stakeholdern sowie die Herstellung ausgewogener, ökologisch tragbarer Wilddichten und erforderlicher Wald/

Weide-Trennungen nur bei dringendem Bedarf und entsprechender Interessenslage herstellbar sind (Selbstregulation).

Nachfolgend soll am Fallbeispiel des Flächenwirtschaftlichen Projektes Traunkirchen 2019 die Entstehung und Umsetzung solcher Projekte veranschaulicht werden.

Beschreibung des Projektgebietes

Das Flächenwirtschaftliche Projekt Traunkirchen befindet sich zur Gänze im Gemeindegebiet der Gemeinde Traunkirchen, Bezirk Gmunden, OÖ (zwischen 430 m und 1.037 m Seehöhe). Geologisch kommen im ca. 190 ha großen Projektgebiet gebankter Hauptdolomit, Sandstein und Mergel sowie am Hangfuß Hangschutt vor. Klimatisch ist das kühl-humide Randalpenklima durch Nordwest-Staulagen geprägt. Die Niederschlagssummen liegen zwischen 1400 mm und 2200 mm und weisen ausgeprägte, konvektive, sommerliche Gewitterniederschläge auf.

Auf den steilen Waldstandorten stocken Fichten-Tannen-Buchen- (Abieti-Fagetum) und Buchenwälder (Fagetum) mit Lärchen und Bergahorn sowie einigen Laubholzarten als Nebenbaumarten. Die Alters- bzw. Bestandesstruktur sowie das Überschirmungsprozent sind nicht homogen, sondern variieren kleinräumig. Die Waldbestände befinden sich zum Großteil im Besitz der Österreichischen Bundesforste AG. Es liegt aber zum Teil auch Privateigentum vor.

Anlass und Erstellung des FWP Traunkirchen

Die stark verwitterten, sehr steilen Dolomitrippen im Projektgebiet bewirken lokal unterschiedliche Gefährdungsintensitäten durch Steinschlag. Besonders betroffen davon sind die Wohnge-

bäude im Ortsteil „Siegesbach“, die Bahnstrecke der ÖBB Stainach/Irdning – Attnang/Puchheim, die Salzkammergutstraße B145, die Versorgungsleitungen der OÖ Netz GmbH sowie die Zufahrt zum Ortszentrum Traunkirchen. Das letzte Steinschlagereignis erfolgte am 03.02.2019 gegen 18:00 Uhr im Bereich des Geißwandgrabens. Durch starken Föhnsturm und Windwurf wurden Gesteinsmassen gelockert und ein rund 4 m³ großer Block verfehlte nur knapp ein Wohnhaus und beschädigte dabei Teile der ÖBB-Infrastruktur. Die unterliegende Salzkammergutstraße sowie die ÖBB-Strecke als Hauptverkehrswege zwischen dem oberösterreichischen Zentralraum und dem Inneren Salzkammergut mussten deshalb gesperrt werden.

In Kooperation zwischen der Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung OÖ West und der ÖBB Infrastruktur AG wurden auf Basis der ONR 24810 vorliegende Gefährdungsbereiche erhoben, auftretende Kluffkörpersysteme analysiert und die davon ausgehenden Gefährdungen quantifiziert (Steinschlagsimulationen mit der Software Rock Fall 5.0).

Aufgrund des hohen öffentlichen Interesses wurde das gegenständliche Flächenwirtschaftliche Projekt bereits am 29.07.2019 mit einem Gesamtkostenvolumen von 5,0 Mio. € (Laufzeit: 30 Jahre) genehmigt. Die Kostenaufteilung beträgt hier: Bund 54,75 %, Land OÖ 20 %, ÖBB Infrastruktur 9 %, OÖLR, Abt. Straßenneubau und –erhaltung 7 %, Gemeinde Traunkirchen 6 %, ÖBF AG 3 % und Netz OÖ GmbH 0,25 %.

Zur Herstellung der ministeriell geforderten Rechtssicherheit wurden die betroffenen Waldflächen gemäß § 30 ForstG 1975 i.d.g.F. vor Maßnahmensetzung mit Bescheid der Bezirkshauptmannschaft Gmunden am 21.10.2020 in Bann gelegt.

Projektgrundgedanke

Durch Kombination von flächenhaft wirkenden, forstlich-biologischen Maßnahmen und ergänzenden technischen Maßnahmen gemäß dem Stand der Technik soll die Schutzwirkung der vorhandenen Objektschutzwälder bzw. Bannwaldflächen nachhaltig verbessert und das Sicherheitsniveau für den vorhandenen Dauersiedlungs- und Wirtschaftsraum samt den wichtigen Verkehrsverbindungen dauerhaft angehoben werden. Durch

die Errichtung der geplanten Schutzbauten treten Synergien hinsichtlich der Durchführung von dringend erforderlichen forstlichen Pflegeeingriffen zur Verbesserung der Schutzwirkung der Wälder und möglichen Nutzungen im Bereich von schutztechnisch problematischen Geländeabschnitten (dichte Besiedlungen unter steinschlaggefährlichen Steilhängen) ein.



Abbildung 2: Luftaufnahme des ersten Bauabschnittes im Bereich des Ortsteiles Siegesbach mit den Tunnelportalen der Salzkammergutstraße und der ÖBB Bahnlinie sowie der Ortszufahrt nach Traunkirchen

Figure 2: Aerial view from the first construction phase in the area of the district Siegesbach including the tunnel portals of the B145 and the ÖBB railway track as well as the access road to Traunkirchen

Technische Maßnahmen

Das FWP Traunkirchen sieht in den von Steinschlag gefährdeten Bereichen die Errichtung von 18 Reihen bergseitig abgespannter Drahtseilnetzwerke (Gesamtlänge rd. 760 lfm bei Netzhöhen zwischen 3,0 m und 5,0 m und Energieaufnahmeklassen zwischen 250 kJ und 1.000 kJ) sowie örtlich die Errichtung eines 40 lfm langen und 2 m hohen Abweisdammes vor. Absturzgefährdete Gesteinskomponenten sowie größere Blöcke sollen händisch entfernt, stark klüftige Verwitterungsbereiche durch entsprechende Sicherungsmaßnahmen wie z.B. Felsvernetzungen stabilisiert und stark aufgelockerte Felsköpfe durch Unterfangungen mittels bewehrten Betonplomben gesichert werden.

Forstliche und forstlich-biologische Maßnahmen

Neben den technischen Maßnahmen hat das vorliegende Projekt die Herstellung eines nachhaltig schutzfunktionalen Steinschlag- und Erosionsschutzwaldes, die dringend erforderliche waldbauliche Bewirtschaftung der Waldbestände auf den steilen Grabeneinhängen sowie die Gewässerpflege in den Wildbacheinzugsgebieten als Ziel.

Dabei soll durch gezielte waldbauliche Eingriffe wie z.B. kleinflächige Nutzungseingriffe und Verkürzung der Produktionszeiträume sowie planmäßige Verjüngung überalterter Bestände durch weitgehende Ausnutzung der Naturverjüngung in Kombination mit aktiver Kunstverjüngung

der derzeitigen Bestandesentwicklung in Richtung stammzahlarmer Terminalbestände entsprechend gegengesteuert werden. Als Zielbestände gelten wohlstrukturierte, stammzahlreiche und ungleichaltrige Fi/Ta/Bu/Lä-Mischwälder mit stabilisierenden Nebenbaumarten (z.B. Ahorn, Hainbuche, Mehlbeere) mit einem breiten Durchmesserspektrum und einem Mosaik unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen.

Bei flächenwirtschaftlichen Maßnahmen ist besonderes Augenmerk auf die mittlere, baumfreie Strecke zu legen (< 30 m), da abstürzende Steine sonst zu hohe kinetische Energie aufbauen und ihr Sturz nicht wirksam gebremst werden kann. Ebenso sollten Stöcke ca. 1,3 m hoch abgestockt und Stämme auch im Bestand gezielt belassen werden. Querfällungen sind dabei ca. 70° schräg zur Falllinie anzulegen.

Zur Sicherstellung der Wirksamkeit und Funktionalität sowie zur Minimierung des Instandhaltungsaufwandes technischer Maßnahmen soll oberhalb der Steinschlagschutznetze (ca. 1 bis 1 ½ Baumlängen) ein nachhaltig wirksamer, nieder- bzw. mittelwaldartiger und mit Sträuchern (z.B. Hasel) angereicherter Erosions- und Steinschlagschutzstreifen angelegt werden.

Um die zukünftig als Bannwald geltenden Waldbestände im Sinne eines schutzfunktionalen Steinschlag- und Erosionsschutzwaldes bewirtschaften zu können, ist eine entsprechende Erschließung unumgänglich. Im Rahmen des vorliegenden Flächenwirtschaftlichen Projektes soll daher eine rund 4,3 km lange Forststraße errichtet werden.



Abbildung 3:
Aus den stark verwitterten Felswänden im Wald lösen sich größere Blöcke und bedrohen den Ortsteil Siegesbach und die unterliegenden Infrastrukturanlagen

*Figure 3:
Big massive rocks dissolve from the heavily weathered rock faces and threaten the district Siegesbach and the underlying infrastructural facilities.*

Jagdliche Maßnahmen

Die erforderlichen jagdlichen Grundvoraussetzungen im Bannwald sollen durch die Errichtung von mindestens fünf auf das Projektgebiet verteilten Vergleichsflächen (Kontrollzäunen) zur objektiven Beurteilung der Wildverbissituation, eine entsprechende Ausstattung des Revieres mit Begehungssteigen und erforderlichen jagdlichen Ein-

richtungen (wie z.B. Hochsitze), Schusschneisen und einem verpflichtenden Einsatz von entsprechendem Jagdpersonal nachhaltig sichergestellt werden. Die Vorgaben des Bannwaldbescheides und die dazugehörigen jagdlichen Vorgaben (Abschussplan, Zwangsabschuss) sind aus schutztechnischer und förderungsrechtlicher Sicht sowie im landeskulturellen und volkswirtschaftlichen Interesse unter allen Umständen einzuhalten.

Maßnahmensetzung

Die Umsetzung der geplanten technischen und flächenwirtschaftlichen Maßnahmen im Rahmen des Flächenwirtschaftlichen Projektes Traunkirchen stellt sehr hohe Anforderungen an das mit der Umsetzung betraute Personal. Jegliche durchzuführenden Arbeiten sind in diesem steilen, felsdurchsetztem Gelände mit stark erhöhten Gefahren sowohl für die Ausführenden als auch für die unterliegende Bevölkerung und Infrastruktur verbunden. Deshalb ist eine durchdachte, mit allen Beteiligten abgestimmte Vorgangsweise unter Einhaltung des Bauarbeitenkoordinationsgesetzes (BauKG), des Arbeitnehmerschutzgesetzes (ASchG) und unter Einhaltung der einschlägigen AUYA-Richtlinien unerlässlich.

Errichtung von Steinschlagschutznetzen

Vor Durchführung der geplanten forstlichen Maßnahmen bzw. aus Gründen der Sicherheit sollen zuerst die Technischen Steinschlagschutzmaßnahmen umgesetzt werden (Absicherung der Unterliegerbereiche).

Um Schäden durch umstürzende Bäume an den Netzen in Zukunft auszuschließen, wurde entlang der Netzreihen ein ca. 30 m breiter Streifen geschlägert. Dieser Bereich soll anschließend mit Sträuchern bepflanzt werden und zusätzlich als biologischer Steinschlagschutz dienen.

Der erste Bauabschnitt befindet sich direkt über den Tunnelportalen der ÖBB - Bahnlinie Stainach/Irdning – Attnang/Puchheim und der Salzkammergutstraße sowie oberhalb eines

Abbildung 4: Errichtung des provisorischen Zugangsweges zur geplanten Steinschlagschutzverbauung.

Figure 4: Construction of a temporary access way to the planned rockfall protection structures



Dauersiedlungsraumes und der Zufahrt zum Ortszentrum von Traunkirchen. In diesem extremen Gefährdungsbereich stellen die Schlägerarbeiten an den stockenden überalteten und teilweise stark hängenden Bäumen eine immense Herausforderung dar, die nur mit den eigenen Fachkräften, darunter ausgebildete Baumsteiger, bewältigt werden kann.

Ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan (SIGE-Plan), eine externe Baubegleitung laut BauKG, die Einbeziehung einer externen Sicherheitsfachkraft, betriebsinterne Sicherheitsevaluierungen, laufende Besprechungen mit allen Beteiligten sowie der Einsatz bestens ausgebildeter Mitarbeiter mit entsprechender Erfahrung sind bei derartig exponierten Baustellen eine Notwendigkeit, um Unfälle zu vermeiden.

Laufend erforderliche Hubschraubereinsätze für Versorgungs- und Montageflüge erfordern eine sehr gute Koordination aller Beteiligten sowie teilweise auch der Sperrung von Infrastruktureinrichtungen.

Da im gegenständlichen Arbeitsbereich natürlich erhöhte Steinschlaggefahr besteht und die Arbeiter bei den Bauarbeiten ständig gefährdet sind, ist das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung (z.B.: Schutzhelm) zwingend erforderlich. Beim Einsatz von Bohrgeräten können Steinschläge auch akustisch nicht mehr wahrgenommen werden, die unmittelbar oberhalb liegenden Hangbereiche müssen daher vorher von losem Gestein beräumt und wenn erforderlich die Bauabschnitte auch durch provisorische Steinschlag-schutzzäune gesichert werden.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

DI Michael Schiffer
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5a
4820 Bad Ischl
michael.schiffer@die-wildbach.at

DI Dr. Wolfram Bitterlich
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5a
4820 Bad Ischl
wolfram.bitterlich@die-wildbach.at

Fö. Ing. Christoph Hofmann
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5a
4820 Bad Ischl
christoph.hofmann@die-wildbach.at

INGENIEURBÜRO FÜR
NATURGEFAHRENMANAGEMENT

Analysen
Planungen
Baubegleitung
Beratung und Gutachten



DI Meinrad Cuggenbichler-Str. 2/2
5310 Mondsee
T: +43 660 3624341
E: christoph@skolaut.at
CHRISTOPH SKOLAUT
www.skolaut.at

G E O M Ä H R

LORENZ MOSER, MARTIN VON KÄNEL

AarteLink Alarm- und Überwachungsanlage an Steinschlag- schutznetzen einer Schmalspurbahn im Schweizer Jura

AarteLink Alarm and monitoring system on rockfall protection nets of a narrow-gauge railway in the Swiss Jurassic Mountains

Zusammenfassung:

Die "Les chemins de fer du Jura" (kurz CJ) durchqueren die steinschlaggefährdete Schlucht des Tabeillon. Die installierten Steinschlagschutznetze wurden mit Sensoren ausgerüstet, die Lage und Beschleunigung erfassen und mit Ausrissleinen versehen sind. Die Sensoren kommunizieren via Funk mit einem Gateway. Ereignisse werden lokal erfasst und bewertet. Bei entsprechender Überschreitung von Schwellenwerten wird der Lokführer visuell gewarnt. Der Monitor visualisiert den Zustand der Anlage und ermöglicht einen einfachen Zugang zu den Daten. Zwischen dem Gateway und dem Monitor werden die Informationen über das mobile Netz ausgetauscht. Damit werden Alarmer auch per SMS und Email weiterverteilt.

Abstract:

The "Les chemins de fer du Jura" (CJ for short) cross the Tabeillon gorge, which is at risk of rockfall (overview map, figure 1). The installed rockfall protection nets were equipped with sensors that detect position and acceleration and are furnished with tear-out lines. The sensors communicate via radio with a gateway. Events are recorded and evaluated locally. If threshold values are exceeded, the train driver is warned visually. The monitor visualises the status of the system and allows easy access to the data. Information is exchanged between the gateway and the monitor via the mobile network. Alarms are thus also distributed via SMS and email.

Stichwörter:

Steinschlag-Überwachung, lokale Alarmierung, Sicherheit Eisenbahn, Web-basierter Anlagenzugang

Keywords:

Rockfall monitoring, local alarm, railway safety, web-based access to the surveillance installation

Einleitung

Die "Les chemins de fer du Jura" (kurz CJ) stellen den öffentlichen, regionalen Verkehr in einem grossen Bereich im Schweizer Jura sicher. Auf der Meterspur-Verbindung zwischen Glovelier und Saignelégier führt die Linie Nr. 236 durch die Schlucht des Tabeillon (Übersichtsplan, Abbildung 1).

Topographie und Geologie

Die Bahnlinie startet in Glovelier auf 505 m.ü.M. und steigt in rund 13.5 km mit einer Spitzkehre und einer Wendeschleife auf 806 m.ü.M. zum Bahnhof Bollement. Sie führt dabei am Nordhang der durch den Fluss Tabeillon geschaffenen Schlucht entlang. Die Bahntrasse erfordert mehrere Tunnel, Einschnitte und Brücken, um das gebirgige Gelände zu überwinden.

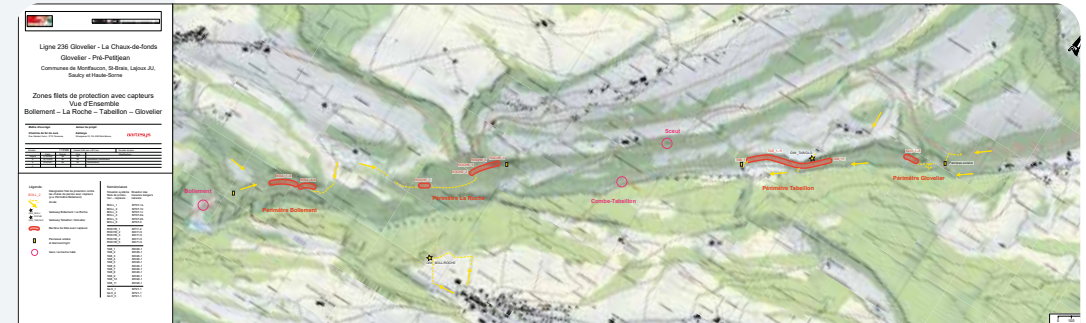


Abbildung 1: Übersichtsplan

Figure 1: Overview map



Abbildung 2: Steinschlag vom 15. März 2008, der die Bahntrasse der CJ über eine Länge von 140 m komplett zerstört hat (MFR Géologie-Géotechnique SA).

Figure 2: Rockfall of March 15th 2008, which completely destroyed the CJ railway line over a length of 140 m (MFR Géologie-Géotechnique SA).

Über der Bahnlinie liegende Malm-Kalke (Oxfordien – Kimméridgien) bilden steil einfallende, mehrere Meter hohe, senkrechte Felswände aus. Die zur Balsthal- und St. Ursanne-Fm zählenden Riffkalke, Kalkoolithe und kreidigen Kalke sind im Dezimeter- bis Meterbereich geklüftet. Diese Disposition führt zu Steinschlag (Steinschlagereignis, Abbildung 2).

Schutz vor Naturgefahren und Kosten-Wirksamkeits-Analysen

Gerade im öffentlichen Bereich tolerieren moderne Gesellschaften nur noch geringe Risiken. Entsprechende Verordnungen und Gesetze führen zu immer ausgeklügelteren Massnahmen, die zusätzlich zum gebotenen Schutz auch ökonomisch sinnvoll sind.

In der Vergangenheit haben verschie-

dene Steinschlag-Ereignisse in der Schlucht des Tabeillon die Trasse der CJ erreicht und dabei die Infrastruktur zum Teil massiv beschädigt und Reisende gefährdet.

Um das Risiko und die Schadensauswirkungen für Personen und die Bahninfrastruktur zu minimieren, wurden unter anderem Steinschlagschutznetze aufgestellt. Zusätzlich zu den Verbauungen erhöht das AarteLink Überwachungs- und Alarmsystem nun den Schutz der CJ in den kritischen Bereichen.

Situation und Anforderungen

Die Lokalität bietet einige Erschwernisse. So ist teilweise keine Telekommunikations-Netzabdeckung und keine nahe Stromversorgung vorhanden. Es wurden verschiedene, untereinander getrennte Bereiche mit den zu überwachenden Steinschlagschutznetzen ausgerüstet. Diese Bereiche erstrecken sich z.T. über mehrere hundert Meter.

Die Steinschlagschutznetze liegen alle in schwer zugänglichem Gelände im Wald. Mit dem System kann der Lokführer direkt an der Strecke alarmiert werden. Die Alarmevaluation und -auslösung erfolgt durch das System lokal.

Die AarteLink Anlage

Die AarteLink-Anlage für die CJ in der Tabeillon-Schlucht besteht aus folgenden Komponenten:

- 154 Geosensoren (Abbildungen 6 – 8)
- 4 AarteLink Gateways an 2 Standorten (Abbildungen 3 und 4)
- 4 Alarmunits Light mit 24 Drehlichtern (Abbildungen 5 und 9)
- 1 Alarmunit Extern
- Zugang zum extern gehosteten AarteLink Monitor



Abbildung 3:
AarteLink Gateway Standort 1 im Südosten der Tabeillon-Schlucht auf 890 m.ü.M. Das Kommunikationskabel am linken Bildrand gehört nicht zur Anlage. Es überspannt auf einer Länge von 550 m die 200 m Tiefe Schlucht, an deren Nordrand die Steinschlagschutznetze liegen. Der Standort bedient 2 Bereiche à 39 und 37 Geosensoren mit je einem AarteLink-Gateway und je einem Transceiver. Die Insel-Stromversorgung erfolgt über Photovoltaik und Akkumulatoren. Der Fernzugriff des Monitors erfolgt über GSM/4G Gateways mit redundanter Netzanbindung über zwei verschiedene Telecom Carrier.

Figure 3:
AarteLink Gateway site 1 to the south-eastern of the Tabeillon Gorge at 890 m.a.s.l. The communication cable on the left edge of the picture is not part of the installation. It spans the 200 m deep gorge over a length of 550 m, at the northern edge of which the rockfall protection nets are located. The site serves 2 areas of 39 and 37 geosensors each with an AarteLink gateway and a transceiver each. The island power supply is provided by photovoltaics and accumulators. Remote access to the monitor is via GSM/4G gateways with redundant network connection via two different telecom carriers.

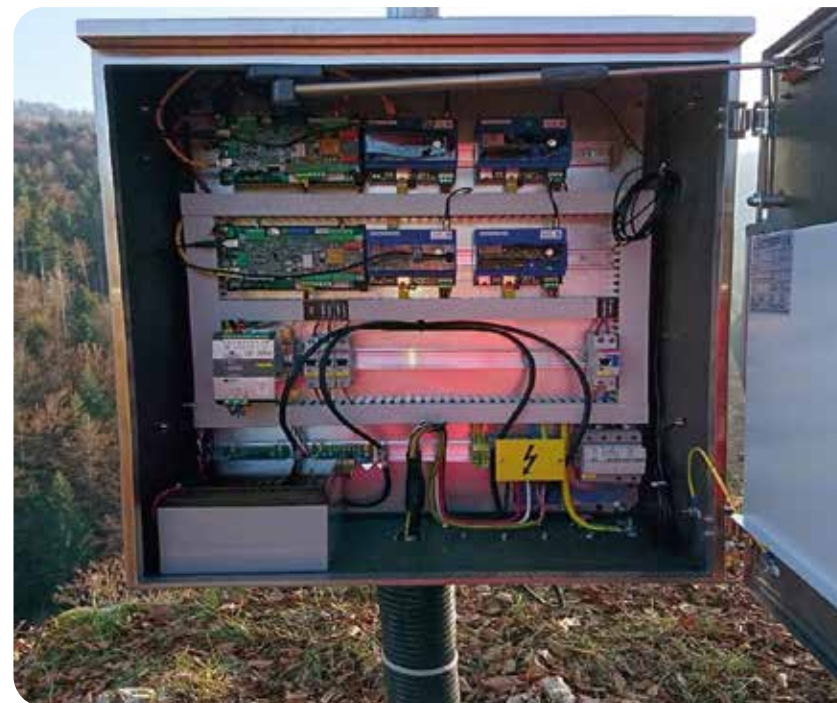


Abbildung 4: AarteLink Gateway Standort 2 am Nordrand der Tabeillon-Schlucht auf 655 m.ü.M. Der Standort bedient 2 Bereiche à 36 und 42 Geosensoren mit je einem AarteLink-Gateway und je einem Transceiver. Er wird über einen 230VAC Netzanschluss gespeist. Eine USV mit Batterie dient zur Überbrückung eines allfälligen Stromausfalls. Der Fernzugriff des Monitors erfolgt über GSM/4G Gateways mit redundanter Netzanbindung über zwei verschiedene Telecom Carrier.

Figure 4: AarteLink gateway site 2 on the northern edge of the Tabeillon gorge at 655 m.a.s.l. The site serves 2 areas of 36 and 42 geosensors each with an AarteLink gateway and a transceiver. It is powered by a 230VAC mains connection. A UPS with battery serves to bridge any power failure. Remote access to the monitor is via GSM/4G gateways with redundant network connection via two different telecom carriers.



Abbildung 5:
Alarmunit light montiert an einem Fahrleitungsmast. Sie empfängt Funksignale vom Gateway und löst die Warnsignale (Drehlichter) aus. Dieser Anlageteil wird ebenfalls durch Photovoltaik gespeist.

Figure 5:
Alarm unit light mounted on a catenary pole. It receives radio signals from the gateway and triggers the warning signals (rotating lights). This part of the system is also powered by photovoltaics.



Abbildung 6:
Geosensor am Rand einer Steinschlagschutznetzstütze auf Montagewinkel. In diesem Fall konnte der Sensor nicht auf der Mastspitze montiert werden, da diese durch die Abspannseile belegt ist. Das linke Auszugsseil überwacht das Netzfeld, das Rechte die Seilbremse. Der Geosensor kommuniziert per Funk mit dem Gateway. Er läuft Batterie betrieben.

Figure 6:
Geosensor on the edge of a rockfall protection net support on mounting bracket. In this case, the sensor could not be mounted on the top of the mast because it is occupied by the guy ropes. The left extension rope monitors the net field, the right one the rope brake. The geosensor communicates with the gateway via radio. It runs on battery power.



Abbildung 7:
Geosensor auf einer Stütze in der Netzmitte. Bei der Anlageabnahme werden einzelne Sensoren vor Ort im Verbund der ganzen Alarmkette getestet.

Figure 7:
Geosensor on a support in the centre of the network. During system acceptance, individual sensors are tested on site in conjunction with the entire alarm chain.



Abbildung 8:
Geosensor auf Netzstütze Detailaufnahme.

Figure 8:
Close-up of Geosensor on net support.



Abbildung 9:
Warnlicht am
Fahrleitungsmast montiert.
Bei einem entsprechenden
Ereignis wird der
Lokführer gewarnt. Die
Speisung erfolgt ab einer
Solarstromversorgung mit
Puffer-Batterie.

Figure 9:
Warning light mounted on
the catenary mast. In the
event of a corresponding
event, the locomotive driver
is warned. The power is
supplied from a solar power
supply with buffer battery.

Die Stromversorgung erfolgt beim Gateway-Standort 1 (Abbildung 3) und allen Alarmunits Light (Abbildung 5) durch Photovoltaik und Akkumulatoren. Beim Gateway-Standort 2 konnte eine Stromversorgung ab Netz erstellt werden. Die Geosensoren sind Batterie betrieben.

Die Kommunikation der Geosensoren, der Gateways und der Alarmunits Light erfolgt über den AarteLink Funk im UHF-Band. Überwachung, Administration und Alarmweitergabe nach aussen erfolgt über die Anbindung ans GSM-4G Netz via redundante Aartesys Easy-Gateways (Abbildung 13).

Funktionsweise

Die Geosensoren messen permanent die Lage und die Beschleunigung (Erschütterungen). Zusätzlich sind pro Sensor 2 Reissleinen eingebaut.

Die Geosensoren sind an den Stützenspitzen der Steinschlagschutznetze befestigt und registrieren deren Bewegungen. Die Reissleinen überwachen die Netzfelder oder am Netzrand die Netzbremsen (Abbildungen 6 und 8).

Eine Veränderung des Ist-Zustands wird registriert, mit vordefinierten Alarmgrenzwerten abgeglichen und an den Gateway weitergeleitet. Die Überwachung der Geosensoren erfolgt durch periodische Lebenszeichen.

Der Festlegung der Schwellenwerte für die Alarmauslösung liegt die Funktion der Steinschlagschutznetze zugrunde. Ist die Schutzwirkung auch nach einem Ereignis gewährleistet, kann die Bahnstrecke weiter befahren werden und es wird kein maximaler Alarm ausgelöst. Ist die

Funktion des Netzes beeinträchtigt, oder wurde es beschädigt, ist möglicherweise der Steinschlag nicht aufgehalten worden, oder ein Folgeereignis kann das Netz passieren. In diesem Fall erfolgt ein Alarm, der den Bahnverkehr stoppt.

Um den Zustand der Steinschlagschutznetze und somit die Ereignisschwere automatisiert zu eruieren und einem entsprechenden Alarmniveau zuzuteilen, werden die verschiedenen gemessenen Parameter eines Geosensors mit den erfassten Parametern benachbarter Geosensoren kombiniert.

Bei einem maximalen Alarm wird dem Lokführer per Drehlicht die möglicherweise kritische Situation auf der Strecke signalisiert. Ebenfalls wird die Einsatzzentrale gewarnt. Dazu werden Schlüsselpersonen per SMS und Email informiert (Abbildung 14).

Visualisierung

Die Information über den Zustand der Anlage und über erfasste Ereignisse erfolgt über einen Web-basierten Monitor (Abbildungen 10–12). Dieser dient ebenfalls zur Konfiguration der gesamten Anlage, der Anpassung von Schwellwerten und dem allfälligen Software Download bis auf Ebene Geosensor. Alle diese Funktionen erfolgen ferngesteuert.

Im Weiteren werden alle Ereignisse automatisch geloggt. So hilft z.B. das Erfassen von unscheinbaren Ereignissen über die Zeit dem verantwortlichen Geologen, aktive Zonen zu erkennen und bei einer Begehung gezielt diese Bereiche zu inspizieren.

Glovelier-Montfaucon FORA-2 (FORA-2)

Gefahrenalarm:
44 Geräte
0 mit Sensoralarm
0 mit techn. Warnungen

Abbildung 10:
Teilansicht eines AarteLink Gateway Zustandes auf dem Monitor (Mobile App)

Figure 10:
Partial view of an AarteLink gateway status on the monitor (mobile app)



Abbildung 11:
Ausschnitt Messwerte eines einzelnen Geosensors (Mobile App)

Figure 11:
Detail of measured values of a single geosensor (mobile app)

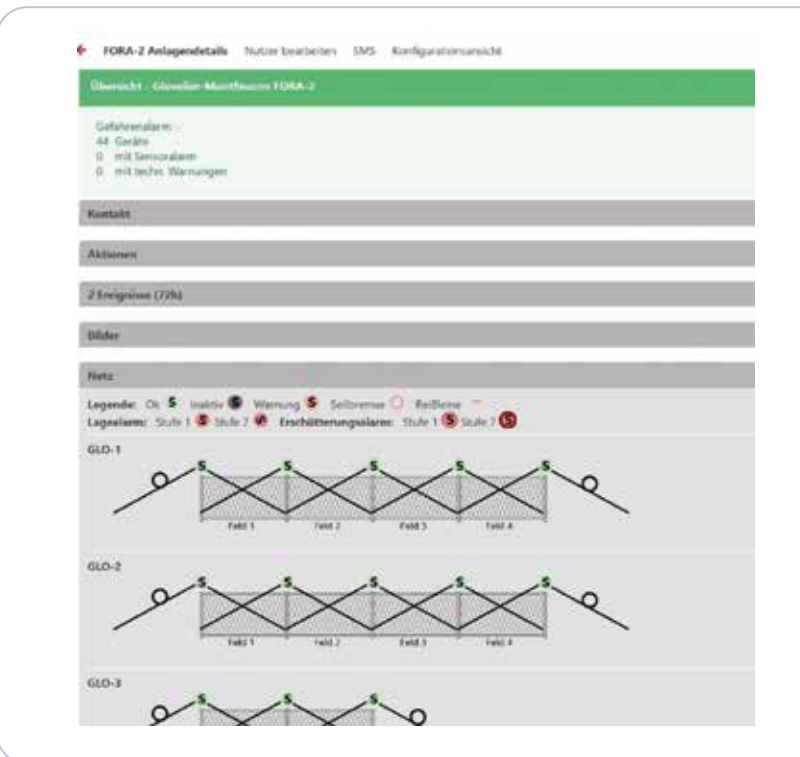


Abbildung 12:
Ausschnitt der Anlagen-Detail-Darstellung auf dem AarteLink Monitor (Mobile App)

Figure 12:
Section of the installation detail display on the AarteLink Monitor (mobile app)

Anlageschema AarteLink der CJ mit VMZ

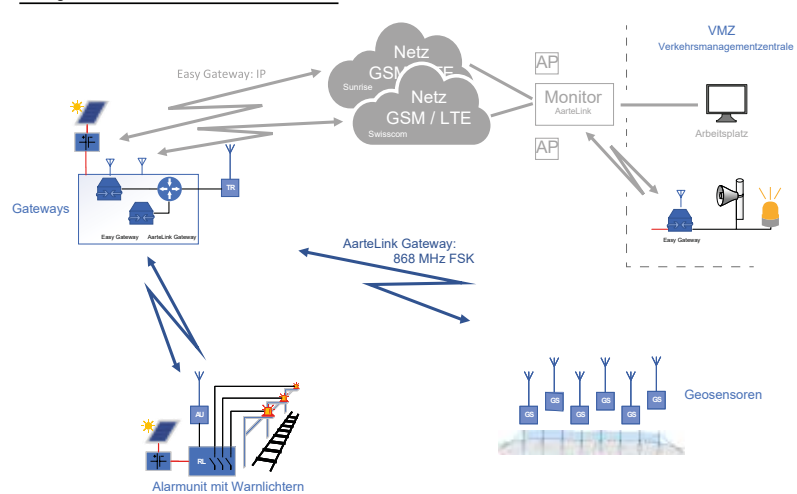
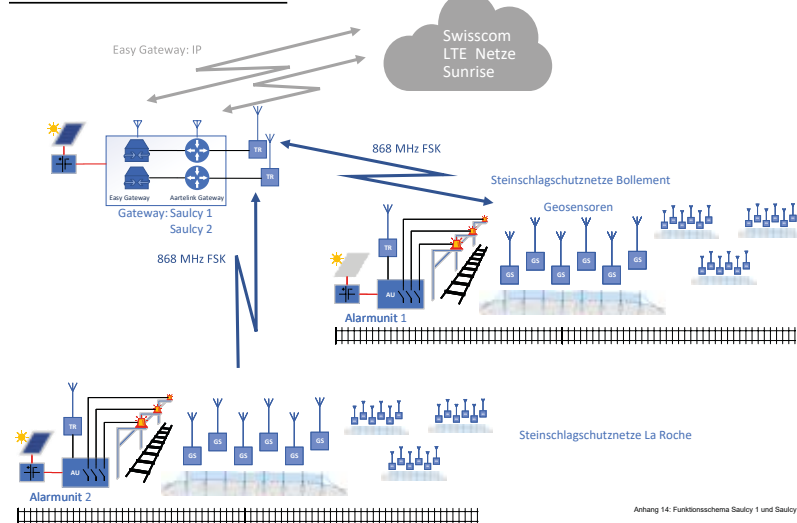


Abbildung 13: Anlageschema AarteLink der CJ mit VMZ

Abbildung 13: Anlageschema mit VLZ

Figure 13: Installation schema including RCC

Funktionsschema Saul-1 und Saul-2



Anhang 14: Funktionsschema Saul-1 und Saul-2

Abbildung 14: Funktionsschema Anlageteil Saulcy

Figure 14: Functional layout installation Saulcy

Unterhalt

Die Anlage ist so konzipiert, dass nur ein minimaler Unterhalt erforderlich ist. Alle AarteLink Systemelemente werden dauernd überwacht und ein allfälliges Fehlverhalten wird umgehend signalisiert.

Die von einer Primärbatterie gespeisten Geosensoren haben einen extrem kleinen Energieverbrauch, so dass ihre interne Batterie für 10 Jahre Betriebsdauer reicht.

Weitere Wartungsarbeiten:

- Die Abdeckung der Solarpanels durch die Vegetation ist zu verhindern.
- Die Steinschlagschutznetze werden vom Pflanzenwuchs befreit, um eine einwandfreie Funktion der Reißleinen zu gewährleisten.
- Beim AarteLink Monitor wird wie bei jedem anderen, komplexen IT System eine Softwarewartung durchgeführt.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

MSc Earth Sciences Lorenz Moser
Aartesys AG
Silbergasse 32
CH-2502 Biel-Bienne
lorenz.moser@aartesys.ch

Dipl. El. Ing. FH / STV Martin von Känel
Aartesys AG
Silbergasse 32
CH-2502 Biel-Bienne
martin.vonkaenel@aartesys.ch



Halbeisen & Prast KG
Transporte - Erdbau

hartl consulting

Leistungen

- Planungen für WLK und Skigebiete
- Geographische Informationssysteme (GIS)
- Global Positioning Systems (GPS)
- Laserscan und Orthofoto
- Sensortechnik/GPS-Tracker für Tiere

www.hartl-consulting.at

ROBERT HOFMANN, LUKAS WIMMER

Stand der Technik – Bemessung der Fundierung von Steinschlagschutznetzen bei stoßartiger Belastung

Zusammenfassung:

Steinschlagschutznetze stellen eine gute Maßnahme zum Schutz von Siedlungsbereichen dar. Verschiedenste Hersteller bieten solche Steinschlagschutznetze als Systemlösungen an. Diese Systeme werden für eine erfolgreiche CE-Zertifizierung bzw. Zulassung mit standardisierten Versuchen geprüft. Der Entwurf und die Bemessung der Fundierung ist jedoch nicht Teil der Zulassung und muss in Abhängigkeit der Baugrundeigenschaften und den geltenden Normen erfolgen. Vielfach werden bei der Fundierung eines Steinschlagschutznetzes Mikropfähle verwendet, welche im Ereignisfall stoßartig belastet werden. Dieser Sachverhalt wird im Zuge eines Forschungsprojektes am Arbeitsbereich für Geotechnik der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit der ÖBB Infrastruktur AG, der Landesbaudirektion Bayern, der Wildbach- und Lawinenverbauung, Trumer Schutzbauten, Mair Wilfried GmbH, TIWAG und Potyka & Partner untersucht. Dafür wurde ein 12 m hoher Rahmen errichtet, an den ein 1000 kg oder 2850 kg schweres Gewicht montiert wurde. Unter Zuhilfenahme des Pendels werden stoßartige Belastungen auf Mikropfähle und Fundierungen untersucht.

Stichwörter:

Steinschlag,
Fundierungen,
Mikropfähle,
laterale stoßartige
Belastung, Versuche

State of the art – design of the foundation of rockfall barriers in the event of impact loads

Abstract:

Rockfall barriers are a good measure to protect settlement areas. Various manufacturers offer such rockfall barriers as system solutions. These systems are tested with standardized tests for successful CE certification. However, the design and dimensioning of the foundation is not part of the authorization and must be carried out depending on the properties of the soil and the applicable standards (eurocodes). Micropiles are often used as the foundation of a rockfall barrier, which are suddenly impact loaded in the rockfall event. This fact is being investigated in the course of a research project at the unit of geotechnical engineering at the University of Innsbruck in cooperation with ÖBB Infrastruktur AG, Landesbaudirektion Bayern, Torrent and Avalanche control, Trumer Schutzbauten, Mair Wilfried GmbH, TIWAG and Potyka & Partner. For this purpose, a 12 m high frame was constructed on which a 1000 kg or 2850 kg weight was mounted. With the help of the pendulum, impact loads on micropiles and post foundations are investigated.

Keywords:

*rock fall, post foundation,
micropile, lateral impact
load, experiment*

Einleitung

Bei einem Schutz vor Steinschlägen wird zwischen aktiven und passiven Schutzmaßnahmen differenziert. Aktive Schutzmaßnahmen verhindern ein Steinschlagereignis durch präventive Maßnahmen. Dabei wird die vom Abstürzen bedrohte Gesteinsmasse durch technische Maßnahmen, beispielsweise Felsverankerungen oder Stützbauwerke, stabilisiert. Steinschlagschutznetze und Steinschlagschutzdämme sind hingegen eine passive Schutzmaßnahme gegen Stein-

schläge. Die Gesteinskörper werden dabei vor dem Schutzobjekt kontrolliert gestoppt. Ein Steinschlagschutznetz kann nach deren Funktionen in vier Strukturelemente (Abfangstruktur, Stützstruktur, Verbindungsstruktur und Verankerung) unterteilt werden (Heiss, 2011). In Tabelle 1 sind diese Strukturelemente, deren Funktion sowie die dazugehörigen Hauptkomponenten dargestellt. Abbildung 1 zeigt ein Steinschlagschutznetz, wobei sich die Nummerierung der Strukturelemente auf Tabelle 1 bezieht.

Struktur	Hauptkomponenten	Funktion
Abfangstruktur	Primärnetz Sekundärnetz (Geflechtauflage)	Aufnahme des direkten Einschlages unter elastischer und/oder plastischer Verformungen und Übertragung der Belastung auf die Verbindungsstruktur und die Verankerungen
Stützstruktur	Stützen Bodenplatte Kopfplatte	Aufrechterhaltung der Abfangstruktur und Übertragung der Belastung auf die Verankerung/Fundierung
Verbindungsstruktur	Tragseile Abspannseile Energieabsorbierungselemente	Positionierung der Stützstruktur und Übertragung der Kräfte zur Verankerung mit gleichzeitigem Energieabbau
Fundierung	nicht Teil der EAD 340059-00-106	Übertragung der Kräfte in den Untergrund

Tabelle 1: Strukturelemente und Funktionen (vgl. Abb. 1) eines Steinschlagschutznetzes (Heiss, 2011)

Table 1: Structural elements and functions (see Figure 1) of a rockfall (Heiss, 2011)

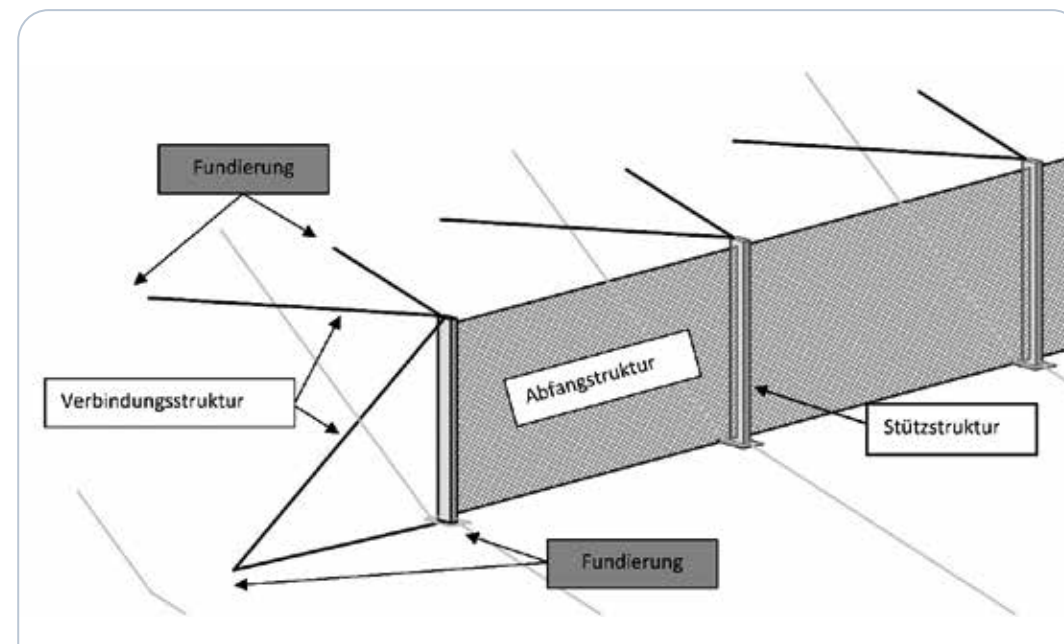


Abbildung 1: Strukturelemente (vgl. Tabelle 1) eines Steinschlagschutznetzes

Figure 1: Structural elements (see Table 1) of a rockfall barrier

Steinschlagschutznetze werden von verschiedenen Herstellern als Systemlösungen angeboten. Die Prüfung dieser Systeme erfolgt auf Grundlage des europäischen Bewertungsdokumentes EAD 340059-00-106: *Falling Rock Protecting Kits* (früher ETAG 027). Dabei wird ein normierter Block mit einer bestimmten Geschwindigkeit und somit einer festgelegten Energie auf Gebrauchsniveau auf das System geschossen. Der Auftreffwinkel und die Auftreffposition im Netz sind in der EAD 340059-00-106 geregelt. Ein Steinschlagschutzsystem wird zugelassen, wenn die Abfang-, Stütz- und Verbindungsstruktur die erforderlichen Vorgaben laut EAD 340059-00-106 erfüllt. Die Fundierung des Steinschlagschutznetzes ist jedoch nicht Teil der Zulassung. Die Konstruktion und Bemessung der Fundierung muss in Abhängigkeit der Baugrundeigenschaften und unter Anwendung der länderspezifischen Normen und

Richtlinien erfolgen. Für die Fundierung solcher Steinschlagschutznetze werden häufig Mikropfähle eingesetzt.

Mikropfähle sind in der Norm EN 14199:2015 geregelt. Ein Mikropfahl ist dabei ein mit Bohrwerkzeugen gebohrter Pfahl, mit einem maximalen Außendurchmesser von 300 mm. Mikropfähle aus Hohlstäben werden vor allem an schwer zugänglichen Orten und bei beengten Platzverhältnissen verwendet, da das erforderliche Bohrwerkzeug vergleichsweise leicht und kompakt ist. Ein Mikropfahl besteht aus einem Tragglied und dem Verpressmörtel, der in ein Bohrloch eingebracht wird und somit das zentrierte Tragglied ummantelt. Als Tragglied wird zumeist ein gerippter Stahlstab oder ein Hohlstab benutzt. Mikropfähle eignen sich vor allem für die Abtragung von zentrischen Druck- oder Zugkräften (ÖNORM EN 14199:2016).

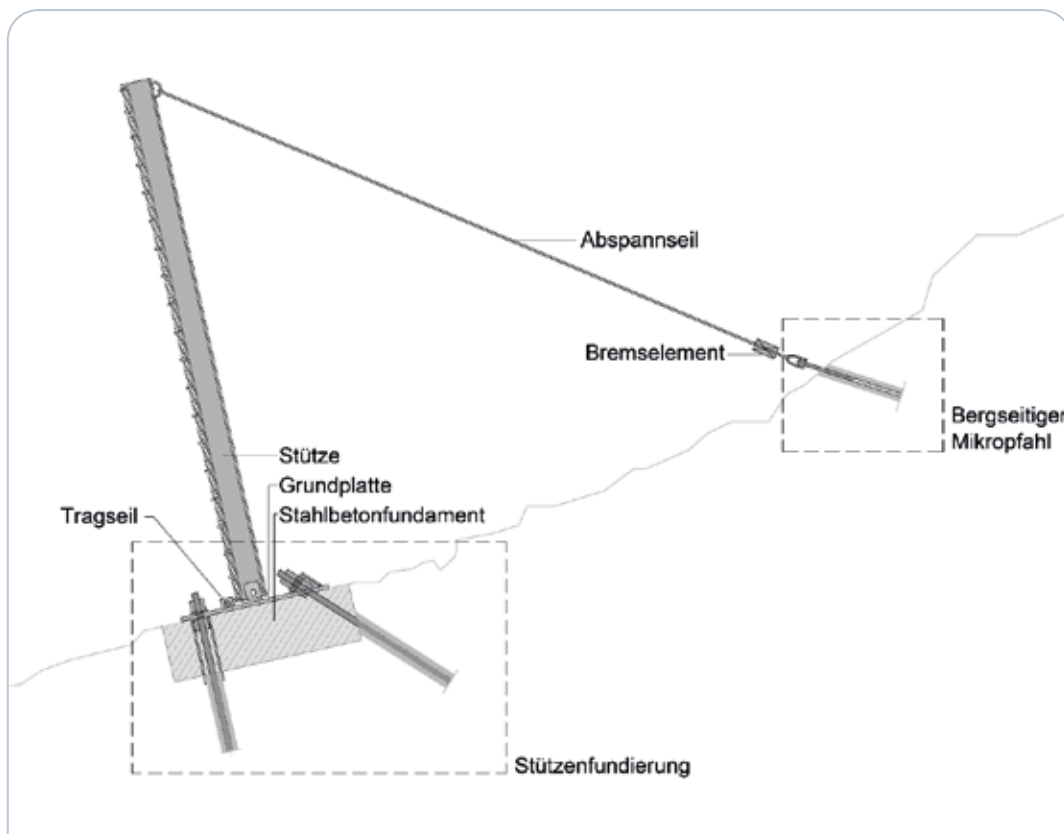


Abbildung 2: Schematischer Schnitt durch ein Steinschlagschutznetz

Figure 2: Schematic section through a rockfall barrier

Die Fundierung eines Steinschlagschutznetzes wird im Ereignisfall stoßartig belastet. Derzeit existieren jedoch kaum technische Grundlagen für den Entwurf und die Bemessung der Steinschlagschutzfundierung bei einer derartigen Belastung. Bei einem Steinschlagschutznetz werden neben den Stützen auch die Abspann- und Tragseile verankert (Abbildung 2). Die Stützenfundierung wird häufig als Tiefgründung (zumeist eine Mikropfahlgruppe) mit einem optionalen Fundament (Pfahlbock) ausgeführt (Abbildung 2). Die Fundierung wird dabei stoßartig mit einer Normalkraft, einer Querkraft und dem Biegemoment beansprucht.

Die Verankerung der Trag- und Abspannseile (bergseitiger Anker) erfolgt vielfach mit einzelnen Mikropfählen. Diese werden mit einer stoßartigen Zug- und Querkraft beansprucht.

Stand der Technik

Bereits die Bestimmung der Kräfte, welche auf die Fundierung eines Steinschlagschutznetzes wirken, ist komplex. Turner et al. (2009) beschrieb die Schwierigkeit, die Einwirkung auf die Fundierung bei einem Netztreffer zu messen und stellte eine Möglichkeit vor, wie dies zu

bewerkstelligen sei. Volkwein et al. (2016) griff diesen Ansatz auf und entwickelte eine neue Herangehensweise zur Bestimmung der Einwirkung auf die Stützenfundierung während eines Netzschussversuches.

Sind die aufgetretenen Kräfte bei einem 1:1 Versuch bekannt, kann die Fundierung bemessen werden. Die Bemessung eines Einzelfundamentes, auf das eine stoßartige Scher- und Normalkraft wirkt, erfolgt nach Broms über den maximal mobilisierbaren passiven Erddruck, der diese Formulierung für querbeanspruchte Pfähle entwickelte (Turner et al., 2009).

Mithilfe von nichtlinearen Federkennlinien (sogenannten p-y-Kurven) wird das Tragverhalten von stoßartig belasteten Mikropfählen und Mikropfahlgruppen abgeschätzt (Kane & Shevlin, 2012). Die Bestimmung der Federkennlinien, die von den Boden- und Pfahleigenschaften abhängig sind, erfolgt vor allem anhand empirischer Werte. Diese Werte sind aber mit großen Unsicherheiten verbunden. Auch eine Ableitung der p-y-Kurven aus FE-Berechnungen ist möglich (Pucker, 2015). Das Tragverhalten bei einem Stützentreffer auf ein Steinschlagschutznetz testete Arndt et al. (2013) in 1:1 Versuchen. Für die Lastaufbringung benutzte er ein Pendel, mit dem er die Stützen mit Energien bis zu 220 kJ stoßartig belastete. Dabei betrachtete er das Stützsystem bestehend aus Stütze, deren Fundierung und optionaler Abspannungen. Insgesamt wurden 29 Stützen mit 4 verschiedenen Stützenfundierungen getestet. Folgende Stützenfundierungen wurden dabei untersucht (Arndt et al., 2013):

- Flachgründung (Durchmesser 0,9 m und Tiefe von 15 cm) mit unterschiedlichen Abspannungen der Stütze
- Mikropfahlgruppe mit unterschiedlichen Abspannungen der Stütze

- Brunnengründung mit einem Durchmesser von 0,9 m und einer Tiefe von 0,9 m und 1,8 m
- Fußplatte (51 cm x 51 cm x 2,5 cm) mit Abspannung

Es zeigte sich, dass steifere Stützenfundierungen auch höhere Kräfte in der Stütze produzierten, wobei es teilweise zu keiner Beschädigung der Fundierung kam. Eine flexible Fundierung konnte die größte Energie absorbieren, allerdings muss im Anschluss das komplette System ausgetauscht werden (Arndt et al., 2013).

Giacchetti et al. (2015) stellt daher die Frage, ob eine starre Stützenfundierung (Kosten- und Ressourcenintensiv) nötig sei oder eine Strategie mit einer flexiblen Fundierung sinnvoller ist. Die angestrebte Lebensdauer eines Steinschlagschutznetzes von 50 Jahren ist mit dem Ansatz von Giacchetti et al. (2015) sicherlich schwierig umzusetzen.

Die in Österreich geltende Richtlinie für den technischen Steinschlagschutz – ONR 24810:2017 schreibt vor, dass die Fundierung die in der Zulassung angegebenen Scherkräfte aufnehmen muss. Dabei sind die Nachweise der Mikropfähle gemäß ÖNORM B 1997-1-1 für die innere und äußere Tragfähigkeit zu führen. „Geotechnische Nachweise für die Einleitung der auftretenden Kräfte in den Boden im Bereich der Stützenfundierung sind erforderlich“ (ONR 24810:2017). Eine Empfehlung für die konstruktive Ausbildung der Fundierung ist nicht enthalten. Bei der Verwendung von Mikropfählen müssen diese jedoch durch Eignungs- oder Abnahmeprüfungen untersucht werden, um den Nachweis der äußeren Tragfähigkeit für reine axiale Belastung führen zu können. Dabei wird eine bestimmte axiale Zugkraft auf den Mikropfahl aufgebracht und die Verformung in Abhängigkeit der Zeit gemessen.

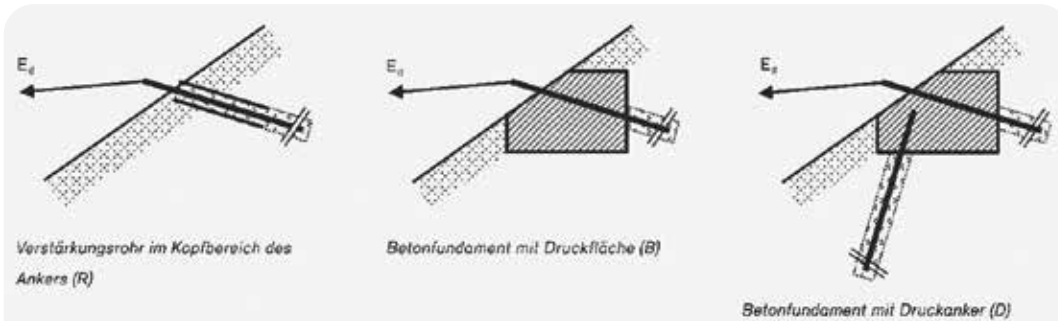


Abbildung 3: Konstruktive Ausbildung der Verankerung von Steinschlagschutznetzen bei Querbelastung (Baumann & Gerber, 2018)

Figure 3: Design proposal for anchoring rockfall barriers in the event of lateral loads (Baumann & Gerber, 2018)

Somit ist nur eine Aussage über die axiale äußere Tragfähigkeit unter statischer Belastung des Mikropfahles möglich (ONR 24810:2017).

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beschreibt in einem Merkblatt die erweiterte Zugprobe von Mikropfählen für Lawinen- und Wildbachverbauungen. Dabei wird der Mikropfahl mit einer geringen Zugkraft geprüft. Mithilfe von Ausziehversuchen an Mikropfählen mit ähnlichen Baugrundeigenschaften kann auf die äußere Tragfähigkeit unter statischer Belastung des geprüften Mikropfahles extrapoliert werden (Störi, 2017).

Baumann & Gerber (2018) beschreiben in ihrem Dokument der BAFU unter anderem Anforderungen an die Verankerung und die Fundamente. Diese müssen einem Netztreffer schadlos standhalten, da ein Austausch oder eine Reparatur aufwändig und kostenintensiv sind. Die Bemessung der Verankerung sollte dabei nicht nach SIA-Norm 267 erfolgen, sondern nach Baumann & Gerber (2018). Bei einer Querbelastung der Mikropfähle werden konstruktive Maßnahmen vorgeschlagen (Abbildung 3). Die Abtragung der Querkräfte in den Boden erfolgt mit dem Ansatz des passiven Erddrucks (Baumann & Gerber, 2018).

Forschungsprojekt am Arbeitsbereich für Geotechnik

Steinschlagschutznetze werden vor allem im alpinen, unwegsamen Gelände errichtet. Die Fundierung solcher Netze erfolgt meist mit Mikropfählen, bei der die äußere Tragfähigkeit mit statischen Pfahlprobebelastungen abgeschätzt wird. Bei der erweiterten Zugprobe laut BAFU (2017) wird der Mikropfahl mit einer geringeren Prüflast belastet, wodurch zur Prüfung auch handlichere Maschinen zum Einsatz kommen. Ein Ziel ist daher, die Ansätze der verschiedenen statischen Pfahlprobebelastungen zu prüfen und gegenüberzustellen.

Verschiedenste Hersteller bieten Mikropfahlsysteme an, die man in Selbstbohrrohrlstäbe und Vollstäbe einteilen kann. Diese verschiedenen Stahltragglieder unterscheiden sich auch in ihrem Einbau. Untersucht wird demzufolge, wie sich die unterschiedlichen Stahltragglieder bzw. Mikropfahlsysteme bei einer stoßartigen Belastung auswirken. Darüber hinaus werden die Verpresskörper der Mikropfähle nach erfolgter stoßartiger Belastung dokumentiert und die Mantelreibungen ausgewertet dargelegt.

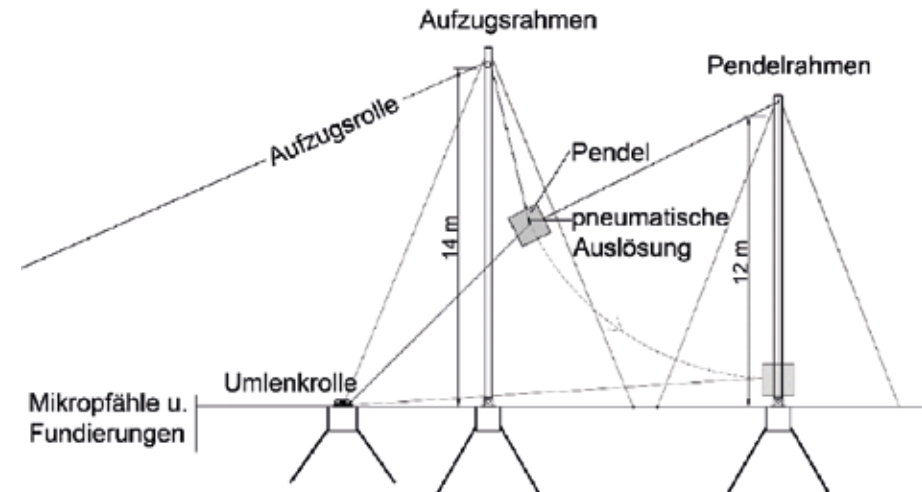


Abbildung 4: Ansicht Versuchseinrichtung

Figure 4: Lateral view of the test facility

Das Verhalten der Mikropfähle bei axialer und lateraler Beanspruchung wird in 1:1 Versuchen mit homogenen Baugrundverhältnissen getestet und mit üblichen Berechnungsverfahren verglichen. Untersucht werden einzelne Mikropfähle die axial, quer und unter 45° zur Achse stoßartig belastet werden. Zusätzlich werden Mikropfahlgruppen mit Betonfundamenten die als Stützfundierung dienen, scherbeansprucht. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sollen im Anschluss mit bekannten Berechnungsansätzen verglichen werden.

Ziel ist eine praxistaugliche Empfehlung für die statische Pfahlprobebelastung und den Entwurf, die Konstruktion sowie die Bemessung einer Steinschlagschutzfundierung.

Versuchsanlage

Die Versuchseinrichtung von Trumer Schutzbauten besteht aus einem 14 m hohen Aufzugsrahmen, einem 12 m hohen Pendelrahmen sowie einem Pendel (Betonwürfel). Für den Test von unterschiedlichen Energien, stehen zwei Würfel mit Gewichten von 1050 kg bzw. 2860 kg zur Verfügung. Mit einem Stahlseil, welches am Aufzugsrahmen umgelenkt wird, kann das Pendel aufgezogen werden (Abbildung 4). Dieses wird im Anschluss pneumatisch vom Aufzugsseil gelöst. Dadurch ist es möglich Belastungen zu erzielen, die jenen bei den Prüfungen nach EAD 340059-00-106 bei Fundierungen entsprechen.

Das mit dem Betonwürfel (Pendel) verbundene Stahlseil ist am Mikropfahl befestigt und wird bodennah über eine horizontale Rolle umgelenkt (Abbildung 4). Im Ruhepunkt des Pendels ist das Stahlseil straff gespannt. Das Pendel schlägt somit indirekt auf den Mikropfahlkopf oder die Grundplatte des Pfahlbockes.

Mit dieser Versuchsanlage (Abbildung 5) werden einzelne Mikropfähle, Mikropfahlgruppen sowie Fundamente stoßartig belastet. Die einzelnen Mikropfähle werden dabei axial, quer und unter 45° zur Achse belastet. Die Fundierungen werden parallel zur Geländeoberfläche scherbelastet.

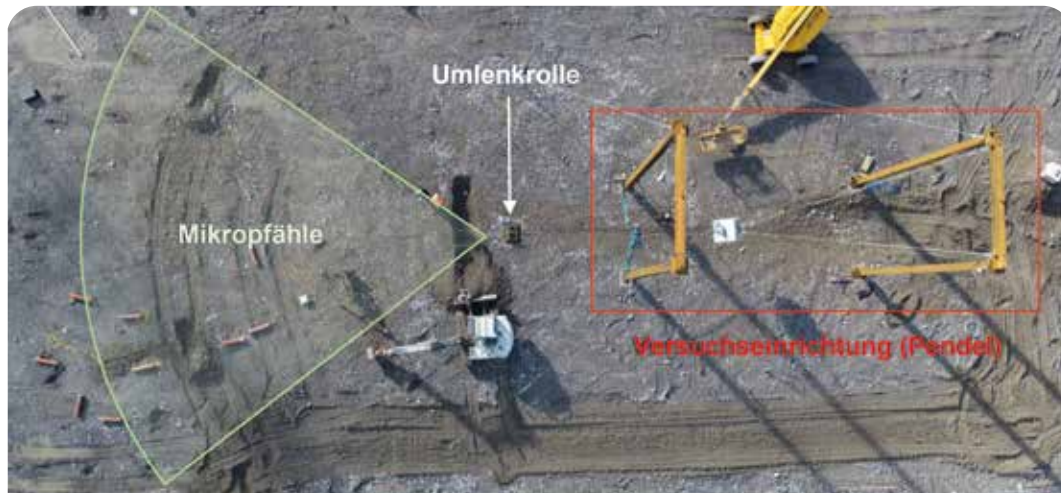


Abbildung 5: Übersicht über die Versuchsanlage

Figure 5: Overview of the test facility

Projektpartner

Wir möchten uns hiermit herzlich bei den folgenden Projektpartnern für die Unterstützung bedanken:

ÖBB Infrastruktur AG
Nordbahnstraße 50
1020 Wien

Zentralstelle Ingenieurbauwerke
und Georisiken (ZIG) – Referat 55
Landesbaudirektion Bayern
Schwere-Reiter-Straße 41
D-80797 München

Trumer Schutzbauten
Maria Bühel-Strasse 7
5110 Oberndorf

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG
Eduard-Wallnöfer-Platz 2
6020 Innsbruck

Wildbach- und Lawinenverbauung –
Sektion Tirol
Wilhelm-Greil-Straße 9
6020 Innsbruck

Mair Wilfried GmbH
Bruneckerstr. 22
39030 St. Lorenzen (BZ)

Potyka & Partner ZT GmbH
Altmannsdorfer Str. 76A/9
1120 Wien

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Robert Hofmann
Arbeitsbereich für Geotechnik –
Universität Innsbruck
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck
robert.hofmann@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Lukas Wimmer
Arbeitsbereich für Geotechnik –
Universität Innsbruck
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck
lukas.wimmer@uibk.ac.at

Literatur/References:

- ARNDT, B., ORTIZ, T. & GROUP, R., 2013. Testing of Rockfall Post Foundations in Colorado. In Proceedings of the 64th Highway Geology Symposium. North Conway, NH, USA, s.n.
- BAUMANN, R. & GERBER, W., 2018. Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Steinschlagschutznetzen und deren Fundation. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- EOAT, 2013. ETAG 027: Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits. s.l.:s.n.
- EOTA, 2018. EAD 340059-00-0106: Falling Rock Protection Kits. s.l.:s.n.

GIACCHETTI, G., GRIMOD, A. & PEILA, D., 2015. Strategy for the Foundation Design of Rockfall Barriers. Engineering Geology for Society and Territory – Volume 2, pp. 1875-1879.

HEISS, C., 2011. Die Prüfung flexibler Steinschlagschutzsysteme nach der ETAG 027 und das Funktionsprinzip derartiger Systeme am Beispiel der Produktreihe TSC-xxx-ZD. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte Vol. 156(2), pp. 57–62.

HOFMANN, R., BERGER, S. & STEINWENDER, A., 2020. Beschreibung des Verhaltens von Mikropfählen für Gründungen von Steinschlagschutznetzen, Innsbruck: Universität Innsbruck - Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau.

KANE, W. F. & SHEVLIN, T., 2012. Rockfall and Debris Flow Barrier Post Foundation Design. Prepared for the 63rd Highway Geology Symposium. Redding, CA, USA, s.n.

ÖNORM EN 14199:2016, 2016. Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle. Wien: Austrian Standards Institute.

ONR 24810:2017, 2017. Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. s.l.:Austrian Standards Institute.

PUCKER, T., 2015. Zur Ermittlung von P-y-Kurven in granularen Böden mit der Finiten-Elemente-Methode. BAW Mitteilung 98, pp. 35-45.

STÖRI, R., 2017. BAFU - Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

TRUMER SCHUTZBAUTEN, 2014. [Online] Available at: <https://trumerschutzbauten.com/products/rockfall-fences/hinged-post-systems/tsc-1000-zd/> [Zugriff am 05 02 2021].

TURNER, R., DUFFY, J. D. & TURNER, J. P., 2009. Post Foundations for Flexible Rockfall Fences. In Proceedings of the 60th Highway Geology Symposium. Buffalo, NY, USA, s.n.

VOLKWEIN, A., KRUMER, P., BITNEL, H. & CAMPANA, L., 2016. Load Measurement on Foundations of Rockfall Protection Systems. Sensors.

MARKUS HAIDN, SEBASTIAN AVERDUNK, SVEN FUCHS, SUSANNE THIARD-LAFORET

Naturgefahrenschutz in der Entwicklungszusammenarbeit am Fallbeispiel Nepal und Georgien

Natural hazard protection within development cooperation – case studies in Nepal and Georgia

Zusammenfassung:

Dieser Beitrag gibt Einblicke in zwei Projekte zum Schutz vor Steinschlag, die im nepalesischen Himalaya und im georgischen Kaukasus mit Unterstützung der Österreichischen Entwicklungszusammenarbeit realisiert wurden. Beide interdisziplinären Projekte zeigen die Zusammenarbeit und das Engagement österreichischer Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft mit dem Ziel, den Stand der Technik im Steinschlagschutz auch weniger entwickelten Ländern zur Verfügung zu stellen. Es wird dargestellt, wie das Knowhow im Steinschlagschutz zur Internationalisierung von Unternehmen beiträgt und somit Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Österreich wie auch vor Ort in den Partnerländern generiert.

Abstract:

This article gives an insight into two projects of rockfall protection, which were realized in the Nepalese Himalayas and in the Georgian Caucasus with the support of the Austrian Development Cooperation. Both interdisciplinary projects show the cooperation and commitment of Austrian actors from science and economy with the aim of making the state of the art in rockfall protection available to less developed countries. It is shown how the know-how in rockfall protection contributes to the internationalization of Austrian companies and thus generates jobs and added value in Austria as well as locally in the partner countries.

Stichwörter:

Entwicklungs-
zusammenarbeit,
Steinschlagschutz,
Austrian Development
Agency,
ONR 24810,
Internationalisierung

Keywords:

*Development cooperation,
rockfall protection,
Austrian Development Agency,
Austrian Standards ONR 24810,
internationalization*

Einleitung

Weltweit verursachen Naturgefahren erhebliche Schäden in Berggebieten, und verhindern eine nachhaltige Entwicklung der dort lebenden Bevölkerung. Berggebiete weisen gegenüber anderen Landschaftstypen auf der Erde eine Reihe von Merkmalen auf, die diese besonders anfällig für Naturgefahren macht (Wymann von Dach et al. 2017). Ob die unterschiedlichen Naturgefahren letztendlich zu Schäden führen, hängt neben den jeweiligen Umweltbedingungen auch von der Fähigkeit der Bevölkerung ab, ein Ereignis zu antizipieren und zu bewältigen, und somit von der Schadensanfälligkeit (Vulnerabilität) und der gesellschaftlichen Widerstandsfähigkeit. Es wird geschätzt, dass weltweit mehr als 920 Millionen Menschen in Berggebieten leben, mit einem deutlich steigenden Trend im zweistelligen Bereich pro Dekade. Dies ist nicht nur in ländlichen Gebieten der Fall, sondern noch ausgeprägter in städtischen Agglomerationen, so lebt beispielsweise in den Bergregionen Lateinamerikas und der Industrieländer bereits mehr als die Hälfte der jeweiligen Bevölkerung (Romeo et al., 2015). In Gebirgsräumen sind sichere Flächen für Siedlungs- und Wirtschaftsaktivitäten nur sehr begrenzt verfügbar, und unterschiedliche Flächennutzungen konkurrieren oft in räumlich beschränkten Talagen. Darüber hinaus liegen relativ sichere und gefährdete Bereiche oft nahe beieinander, und von unterschiedlichen Naturgefahrenprozessen gefährdete Bereiche überschneiden sich, was die klare Abgrenzung sicherer Gebiete zu einer Herausforderung werden lässt (Zimmermann und Keiler, 2015).

Es ist unbestritten, dass eine nachhaltige Nutzung von Berggebieten die Analyse, Bewertung und das Management von Naturgefahren und durch diese hervorgerufene Risiken erfordert. Während der Umgang mit Naturgefahren in Berg-

gebieten Europas bereits eine lange Tradition hat, ist dies in anderen Gebirgsräumen der Erde bislang nicht immer der Fall. Wurde beispielsweise im österreichischen Alpenraum in vergangenen Jahrhunderten die potentiell gefährdete Fläche überwiegend extensiv landwirtschaftlich genutzt, sind zu Beginn des 20. Jahrhunderts bereits völlig andere Nutzungsmuster nachweisbar, die vor allem in der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung begründet sind. Der Umgang mit Naturgefahren wurde vor dem Hintergrund einer einsetzenden Individualisierung der Gesellschaft zunehmend als staatliche Aufgabe angesehen, und in Folge in Österreich von Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung und der Bundeswasserbauverwaltung bzw. den Wasserbauverwaltungen der Bundesländer wahrgenommen (vgl. z.B. Länger, 2003; Fuchs et al., 2008; Keiler und Fuchs, 2018). In weiterer Folge entstanden nicht nur die jeweiligen Rahmengesetze und Verordnungen auf Bundes- und Landesebene (z.B. Republik Österreich, 1975, 1976, 1985), sondern auch Normen und Regelwerke vor allem in Bezug auf die Planung und Durchführung technischer Schutzmaßnahmen (z.B. Austrian Standards Institute, 2007, 2008).

In folgendem Beitrag wird beschrieben, wie aufbauend auf den in Österreich gültigen Normen und Regelwerken Naturgefahrenschutz in weniger entwickelten Ländern erfolgreich geplant und implementiert werden kann. Am Beispiel zweier Projekte in Nepal und Georgien wird gezeigt, wie Initiativen der österreichischen Entwicklungszusammenarbeit gemeinsam mit Partnerschaften zwischen Unternehmen und Universitäten genutzt werden können, zentraleuropäische Standards des Schutzes vor Naturgefahren zu exportieren und vor Ort eine erhebliche Erhöhung der Sicherheit für die Bevölkerung und für regionale Wirtschaftsaktivitäten zu erzielen.

Erfahrungen am Beispiel Nepal

Im April und Mai 2015 ereigneten sich in Nepal die zwei Gorkha-Erdbeben mit einer Magnitude von 7,8 M_W und 7,3 M_W (Hayes et al., 2017). Das Epizentrum lag bei Barpak rund 80 Kilometer nordwestlich der Hauptstadt Kathmandu (April) bzw. in der Region nahe Namche Bazar, rund 80 Kilometer östlich von Kathmandu (Mai). In Folge beider Erdbeben waren in einem der ärmsten Länder Asiens rund 8.000 Todesopfer, 22.300 Verletzte und hunderttausende obdachlose Menschen zu beklagen (Goda et al., 2015; Hülssiep et al., 2021). Es entstanden erhebliche Schäden an der Infrastruktur, besonders betroffen waren Häuser und Wasserkraftwerke entlang des Bhote Koshi Flusses nordöstlich von Kathmandu (Abbildung 1). Schäden entstanden

nicht nur durch das Erdbeben selbst, sondern auch durch die infolge von Erschütterungen ausgelösten Sekundärprozesse wie Steinschlag und Hangrutschungen (sogenannte Multi-Gefahren oder Kaskadeneffekte, Kappes et al., 2012), siehe Abbildung 2. Wenige Monate nach den verheerenden Erdbeben begründete die Firma Trumer Schutzbauten GmbH aus Salzburg eine durch die Austrian Development Agency unterstützte Wirtschaftspartnerschaft mit einem nepalesischen Ingenieurbüro, um neueste Technologien und Lösungen zum Schutz vor Steinschlag für die Betroffenen bereit zu stellen. Nach der Schulung und Ausbildung zweier nepalesischer Ingenieure in Österreich für die Planung und die Montage von Steinschlagschutzsystemen in Nepal konnten im November 2015 die Detailplanungen für Schutzmaßnahmen vor Ort beginnen.



Abbildung 1: Vom Erdbeben zerstörtes Wohngebäude in der Nähe des Bhote Koshi Wasserkraftwerkes

Figure 1: Residential building near the Bhote Koshi hydropower plant destroyed by the earthquake.



Abbildung 2: Entlang des Bhote Koshi Flusses wurden hunderte durch das Erdbeben verursachte Sturzprozesse registriert.

Figure 2: Hundreds of earthquake-induced rockfall events have been observed along the Bhote Koshi River.

Für die Bemessung und Dimensionierung der Steinschlagschutzsysteme kam im Himalaya erstmals die ONR 24810 für Technischen Steinschlagschutz des Österreichischen Normungsinstituts zum Einsatz (Austrian Standards Institute, 2017). Im Frühjahr 2016 konnte, nach abgeschlossener Planung noch vor der Monsunzeit, mit den Bauarbeiten und der Anlieferung der in Salzburg produzierten Steinschlagschutzsysteme für ein Wasserkraftwerk begonnen werden.

Eine besondere Herausforderung stellte dabei der Transport der massiven Stahlstützen dar, die zuerst per Container nach Kalkutta in Indien, mit dem LKW über die vom Erdbeben zerstörten Gebirgsstraßen nach Kathmandu und danach mit dem Militärhubschrauber bis an den Montageort

transportiert werden mussten. Die ersten flexiblen Steinschlagschutzsysteme Nepals, mit einer Energieklasse zwischen 2.000 und 3.000 kJ wurden oberhalb des Bhote Koshi Wasserkraftwerkes auf einer Länge von 430 Metern mittels Helikoptermontage installiert (Abbildung 3). Beides, die Verwendung der bis zu 5,5 m hohen Schutznetze sowie die Montage mittels Helikopter wurden in Nepal erstmals durchgeführt. Hierzu bedurfte es einer langen Planung, zahlreichen behördlichen Sondergenehmigungen und intensiven Wissenstransfers aus Österreich. Mithilfe dieser Maßnahme konnte das Wasserkraftwerk, welches die Energieversorgung von zehntausenden nepalesischen Haushalten ermöglicht, wieder den regulären Betrieb aufnehmen (Abbildung 4).



Abbildung 3:
Vorbereitungen zur
Helikoptermontage der
Steinschlagschutzsysteme
mit einer russischen Mil
Mi-17 Transportmaschine
der nepalesischen Armee

*Figure 3:
Preparation for the
helicopter installation of the
rockfall protection barriers
with a Russian Mil Mi-17
machine operated by the
Nepali Army*



Abbildung 4:
Fertiggestellte
Schutznetze vom Typ
TSC-3000-ZD oberhalb des
Wasserkraftwerkes

*Figure 4:
Completed protection
barriers of the type
TSC-3000-ZD above the
hydropower plant*



Abbildung 5:
Vorbereitung der Stütze und
der Omega-Netzpakete für
die Helikoptermontage durch
das Montageteam.

*Figure 5:
Preparation of the post
and Omega-Net panels for
helicopter installation by the
construction team.*

Fast zur selben Zeit mit den Bauarbeiten am Bhote Koshi Wasserkraftwerk wurde am Siddhartha Highway, einer der wichtigsten Verbindungsstraßen zwischen der Himalaya-Republik Nepal und Indien, ein weiteres Pilotprojekt zum Steinschlagschutz umgesetzt (Abbildung 5). Entlang des gefährlichsten Streckenabschnitts des Highways, in der jedes Jahr mehrere dutzend Todesopfer durch Steinschlagereignisse zu beklagen sind, wurde ein TSC-1500-ZD Steinschlagschutznetz für 1.500 kJ Energieaufnahmekapazität installiert. Zusätzlich wurden Hangsicherungsmaßnahmen mit Hochleistungsgeflechten und Felsnägeln installiert, um die Stabilität der Felsböschung zu erhöhen. Durch diese Sofortmaßnahme konnte der Transport der zum Wiederaufbau nach den Gorkha-Erdbeben dringend benötigten Hilfsgüter sicher durchgeführt werden. Auch in diesem Fall kam die ONR 24810 zur Bemessung der Verankerungspfähle zum Einsatz.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der zwischen Nepal und Österreich begründeten Wirtschaftspartnerschaft war und ist weiterhin der Austausch von Wissen, sowie die nachhaltige Schaffung lokaler Arbeitsplätze im Partnerland. Beides konnte durch diese Pilotprojekte und ein weiteres Folgeprojekt, welches 2020 beauftragt wurde, erreicht werden.

Erfahrungen am Beispiel Georgien

Im Juni 2015 ereignete sich südöstlich der georgischen Hauptstadt Tiflis eine großflächige Felsgleitung mit mehr als einer Million Kubikmeter Gestein, die im Vere Fluss, der durch die Hauptstadt Tiflis fließt, einen Murgang zur Folge hatte (Japaridze et al., 2020). Der durch die Felsgleitung ausgelöste Murgang zerstörte den Zoo von Tiflis, dutzende Wohngebäude, Straßen und Brücken. Der direkte ökonomische Schaden des Ereignisses wurde mit rund 24,3 Mio. USD beziffert, 19



Abbildung 6: Ablösebereich der Felsgleitung mit neu errichteter Straße

Figure 6: Detachment zone of the rockslide with new build road

Todesopfer, 3 Vermisste und rund 67 obdachlose Familien wurden gezählt (GFDRR et al., 2015). Die zwei Straßen die über den betroffenen Hang führten und die Hauptstadt mit den umliegenden Dörfern verbinden, waren für Monate unterbrochen, wodurch auch die wirtschaftlichen und sozialen Folgen dieses Ereignisses lange nachwirkten. Erst im Sommer 2017 konnten, durch die Finanzierung der Europäischen Investitionsbank, die Bauarbeiten im Abbruchgebiet der Felsgleitung beginnen, und die Straßenverbindungen zu den Dörfern Tskneti und Alkhadaba wiederhergestellt werden (Abbildung 6). In einer vom Municipality Development Fund und dem bauausführenden Unternehmen Caucasus Road Project eingerichteten internationalen Expertenkommission wurde das Baugeologische Büro Bauer aus München, die Universität für Bodenkultur und

Trumer Schutzbauten mit der geologischen Erkundung, der Gefahrenanalyse und der Erarbeitung von Schutzkonzepten betraut.

Auch in Georgien zeigte sich jedoch sehr bald, dass das Fachwissen und die Technologie für die Planung und Implementierung von Schutzmaßnahmen lückenhaft waren, und das Bewusstsein für die Restgefährdung aufgrund weiterer Felsgleitungen noch nicht vorhanden war. Aufbauend auf den Erfahrungen der Wirtschaftspartnerschaft in Nepal konnte auch in Georgien eine strategische Allianz, gefördert durch die Austrian Development Agency (ADA) mit einem lokalen Partner, initiiert werden. Ziel dieser strategischen Allianz war, ein Risikomanagement für geologische und hydro-meteorologische Gefahren durch die Anwendung eines Programms zum Schutz vor Naturgefahren in Georgien zu etablieren. In

einem ersten Pilotprojekt wurden die Ursachen für die Felsgleitung in Tiflis untersucht. Es wurde festgestellt, dass weiterhin Gefahrenpotential besteht und im oberen Bereich der Felsgleitung weiterhin Teile der Abbruchkante abzugleiten drohten. Durch sofortige Sicherungsmaßnahmen mit Steinschlagschutznetzen, und die Planung eines umfassenden Monitoringkonzepts, bei dem das Umfeld der Felsgleitung durch Inclinometer und Piezometer ständig überwacht wird, konnte die Wahrscheinlichkeit für weitere Ereignisse noch während der Bauphase der neuen Straße deutlich verringert werden.

Wie auch in Nepal wurde in Georgien zum ersten Mal ein derartiges flexibles Steinschlagschutznetz geplant und installiert. Hierzu musste zuerst das benötigte Bohrgerät, das für die Herstellung der Zug- und Druckpfähle in

schwierigem Gelände benötigt wird, durch den lokalen Partner angeschafft werden (Abbildung 7). Das georgische Personal wurde für die Montagearbeiten in Österreich geschult. Zur Bemessung der Schutzsysteme kam eine Steinschlagsimulation zum Einsatz, deren Ergebnisse auf Basis der ONR 24810 zur Dimensionierung der Höhe und Energieklasse der benötigten Steinschlagschutzsysteme herangezogen wurden. Dadurch ist gewährleistet, dass die Schutzzäune an der wirksamsten Position und mit der entsprechenden Energieklasse, unter Berücksichtigung der geforderten Sicherheitsfaktoren, ausgeführt werden. Durch diese und weitere Maßnahmen konnte drei Jahre nach dem Ereignis die Straßenverbindung im Sommer 2018 wieder für den regulären Verkehr freigegeben werden (Abbildung 8).

Abbildung 7: Bohrarbeiten zur Stabilisierung der Abbruchkante der Felsgleitung

Figure 7: Drilling for stabilisation works along the detachment zone of the rockslide





Abbildung 8:
Steinschlagschutzsystem
TSC-3000-ZD (3.000 kJ)
entlang der neu errichteten
Straße nach Tiflis

Figure 8:
Rockfall protection system
TSC-3000-ZD (3,000 kJ)
along the new build road
to Tbilisi

Schlussfolgerungen

Die Verantwortung für den Schutz der Bevölkerung vor Naturgefahren wird in den meisten weniger entwickelten Ländernⁱ nur zögerlich als eine Aufgabe der Behörden wahrgenommen. Darüber hinaus sind die Eigenverantwortung und das Bewusstsein der lokalen Bevölkerung ein wichtiger Faktor, den es zu stärken gilt. Die physische, soziale, und ökonomische Vulnerabilität der Bevölkerung nimmt auch mit steigender Armut zu, da der Wohn- und Arbeitsplatz oft auf wenig geeigneten Standorten wie z.B. an steilen Berghängen oder in Überschwemmungsgebieten liegt. Dadurch ist das Risiko für sozial schwächere Bevölkerungsgruppen besonders hoch, von Naturkatastrophen betroffen zu sein.

Es ist ein zentrales Anliegen der Internationalen Entwicklungszusammenarbeit, Naturgefahrenereignisse und aus ihnen entstehende humanitäre und ökonomische Katastrophen möglichst zu verhindern oder zumindest ihre Folgen

zu minimieren. Hier ist insbesondere ein umfassendes Risikomanagement von Bedeutung: von der Analyse der Ausgangslage bezüglich geographischer, geologischer, ökonomischer und sozialer Gegebenheiten bis hin zum Umgang mit bereits eingetretenen Ereignissen gibt es in vielen Empfängerstaaten großes Potenzial für Verbesserungen.

Die Austrian Development Agency (ADA) unterstützte die beteiligten Unternehmen dabei, Wissen und Fähigkeiten zur Planung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen gegen Naturgefahren in den sogenannten ODA Empfängerstaatenⁱⁱ aufzubauen. Insbesondere das finanzielle Risiko der Trägerorganisationen soll durch die Übernahme von 50 % der Ausgaben reduziert werden. Bei der Umsetzung der sogenannten Wirtschaftspartnerschaft in Nepal und der anschließenden

ⁱ Wir verwenden hier den international üblichen Begriff der „Less Developed Countries“ (LDCs) in der deutschsprachigen Übersetzung.

ⁱⁱ Empfängerstaaten der öffentlichen Entwicklungshilfeleistungen (Official Development Assistance, ODA) finden sich auf einer jährlich aktualisierten Liste der OECD: <http://www.oecd.org/dac/financing-sustainable-development/>

Strategischen Allianz in Georgien konnte die Basis für eine ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltige Ausrichtung der Projekte geschaffen werden: lokale Kapazitäten sollen gestärkt, der internationale Wissensaustausch gefördert und konkrete Projekte angestoßen werden, um bereits Erreichtes abzusichern und die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) der ärmsten Bevölkerung gegenüber alpinen Naturkatastrophen zu verbessern.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

DI Markus Haidn
Trumer Schutzbauten GmbH
Maria-Bühel-Strasse 7
5110 Oberndorf bei Salzburg
m.haidn@trumer.cc

Sebastian Averdunk, MSc.
Austrian Society for Disaster Risk Reduction
TFZ Technopark 1, Haus C
3430 Tulln an der Donau
averdunk@asdr.org

Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs
Universität für Bodenkultur
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
sven.fuchs@boku.ac.at

Mag. Susanne Thiard-Laforet
Austrian Development Agency – ADA
Zelinkagasse 2, 1010 Wien
office@ada.gv.at

Literatur/References:

AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2007). Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Lastannahmen. ONR 24805. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2008). Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung und Instandhaltung. ONR 24803. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2017). Technischer Steinschlag-schutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. ONR 24810. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

FUCHS S., KEILER M., ZISCHG A. (2008). Multi-temporale skalenabhängige Schadenpotenzialanalyse. Wildbach- und Lawinenverbau 158: 146-156.

GFDRR, Government of Georgia, UN Development Programme, World Bank (2015). Tbilisi Disaster Needs Assessment 2015. UNDP, Geneva.

GODA K., KIYOTA T., POKHREL R.M., CHIARO G., KATAGIRI T., SHARMA K., WILKINSON S. (2015). The 2015 Gorkha Nepal earthquake: Insights from earthquake damage survey. Frontiers in Built Environment 1: article 8, <https://doi.org/10.3389/fbuil.2015.00008>.

HAYES G.P., MYERS E.K., DEWEY J.W., BRIGGS R.W., EARLE P.S., BENZ H.M., SMOCZYK G.M., FLAMME H.E., BARNHART W.D., GOLD R.D., FURLONG K.P. (2017). Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015. US Geological Survey Open-File Report 2016-1192, <https://doi.org/10.3133/ofr20161192>.

HÜLSSEPP M., THALER T., FUCHS S. (2021). The influence of humanitarian assistance on post-disaster social vulnerabilities: Early reflection on the Nepal earthquake 2015. Disasters 45: im Druck, <https://doi.org/10.1111/disa.12437>.

JAPARIDZE L., NEUMANN P., TRAPIDZE P. (2020). A case study of the slope stability after large landslide in the 2015 flood in Tbilisi. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences 14: 55-61.

KAPPES M., KEILER M., VON ELVERFELDT K., GLADE T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. Natural Hazards 64: 1925-1958, <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>.

KEILER M., FUCHS S. (2018). Challenges for natural hazard and risk management in mountain regions of Europe. Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science: 1-35, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.322>.

LÄNGER E. (2003). Der forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich und seine Tätigkeit seit der Gründung im Jahre 1884. Teil 1: Textband. Dissertation, Universität für Bodenkultur.

REPUBLIK ÖSTERREICH (1975). Forstgesetz. BGBl 440/1975.

REPUBLIK ÖSTERREICH (1976). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne. BGBl 436/1976.

REPUBLIK ÖSTERREICH (1985). Bundesgesetz über die Förderung des Wasserbaues aus Bundesmitteln (Wasserbautenförderungsgesetz 1985 - WBFG). BGBl 148/1985.

ROMEO R., VITA A., TESTOLIN R., HOFER T. (2015). Mapping the vulnerability of mountain peoples to food insecurity. FAO, Rome.

WYMAN VON DACH S., BACHMANN F., ALCÁNTARA-AYALA I., FUCHS S., KEILER M., MISHRA A., SÖTZ E. (2017). Disasters threaten sustainable mountain development. in: Wymann von Dach S., Bachmann F., Alcántara-Ayala I., Fuchs S., Keiler M., Mishra A., Sötz E. (eds.). Safer lives and livelihoods in mountains: Making the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction work for sustainable mountain development. Centre for Development and Environment (CDE), University of Bern, with Bern Open Publishing (BOP), Bern: 8-11.

ZIMMERMANN M., KEILER M. (2015). International frameworks for disaster risk reduction: Useful guidance for sustainable mountain development? Mountain Research and Development 35: 195-202, <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00006.1>.

Hauptbeiträge zu anderen Themen

Markus Moser:
Hangmuren – Herausforderung in der Praxis;
Fallbeispiel Muhrer Sonnseite nach dem Ereignis im November 2019

Seite 226

Karl Hagen, Veronika Lechner:
Entwicklung eines Frühwarnsystems für Muren (INADEF)

Seite 236

Eberhard Gröner:
Der effiziente Schutz vor Hangmuren

Seite 244

Johannes Hübl, Johannes Hödl, Markus Beck, Friedrich Zott:
Planung, Modellversuch und Optimierung eines
Wildholzrechens an der Naarn (Stadtgemeinde Perg, Oberösterreich)

Seite 248

MARKUS MOSER

Hangmuren – Herausforderung in der Praxis; Fallbeispiel Muhrer Sonnseite nach dem Ereignis im November 2019

Shallow landslides - a challenge in practice; Case study Muhrer Sonnseite after the event in November 2019

Zusammenfassung:

Extreme Wettererscheinungen mit einer Kombination aus intensiven Schneefällen und einer nachfolgenden Warmfront mit intensiven Niederschlägen bis in Lagen über 2.000 m führte im November 2019 zu zahlreichen Lawinenabgängen und löste in der steilen, felsdurchsetzten Muhrer Sonnseite flächige Hangmurenprozesse aus, die in dem besiedelten Talboden große Schäden verursachten. Das Konzept zur Bewältigung der oben beschriebenen Prozesse besteht in einer Kombination von forstlich-biologischen Maßnahmen mit linienförmigen Schutzbauwerken wie Murbremsetzen und Ablenkdammen über dem gefährdeten Siedlungsraum. Die technischen Schutzmaßnahmen bieten einen sofort wirksamen Schutz, die forstlich-biologischen Maßnahmen auf der Fläche sollen einen nachhaltigen und dauerhaften Schutz in den Anbruchflächen der labilen Hangbereiche sicherstellen.

Abstract:

Extreme weather phenomena with a combination of intense snowfall and a subsequent warm front with intense precipitation in November 2019 up to altitudes above 2.000 m led to numerous avalanches and triggered extensive shallow landslide processes on the steep, rocky "Muhrer Sonnseite", which caused major damage to the populated valley floor. The protection concept consists of a combination of forest-biological measures with linear protective structures such as debris flow net barriers and deflection dams above the endangered settlement area. The technical protective measures offer immediately effective protection, the forest-biological measures on the area are intended to ensure sustainable and permanent protection in the exposed areas of the unstable slope areas.

Stichwörter:

Extreme Wetter-
erscheinungen,
Murbremsetze, Hang-
murenprozesse

Keywords:

Extreme weather phenomena,
debris flow net barriers,
shallow landslide processes

Einleitung

Flachgründige Rutschungen oder Hangmuren sind als flächiges Phänomen schwierig vorherzusagen und treten plötzlich auf großer Fläche auf. Während bei Hangmuren sich die Böden durch starken Regen mit Wasser vollsaugen und quasi verflüssigen sind flachgründige Rutschungen Bewegungen der obersten Erdschicht mit weniger Wasser. Ereignisauslösende Faktoren sind oftmals Schneeschmelze oder Starkniederschläge bzw. eine Kombination davon. Oft sind es Kleinigkeiten die den Unterschied ausmachen, so reichen geringe Temperaturunterschiede aus, ob der Niederschlag etwa flüssig oder in fester Form als Schnee auf den Boden auftrifft und das stabile Gleichgewicht gestört wird. Oftmals wird dann eine Kette von ineinandergreifenden Prozessen ausgelöst. Effektive Maßnahmen sind forstlich-biologische Maßnahmen zur Stabilisierung des Bodens, nach einem Ereignis liegt aber die Herausforderung in der Herstellung eines möglichst rasch wirksamen Schutzes.

Beispiel Ereignis Muhrer Sonnseite – Ausgangslage

Die Muhrer Sonnseite zwischen Vordermuhr und Hemerach ist seit alters her als Steinschlag- bzw. Felssturzgebiet bekannt und war auch über die vergangenen Jahrzehnte immer wieder durch Ereignisse betroffen. Der Spätherbst 2019 brachte im Rahmen eines Genuatiefs einen frühzeitigen Wintereinbruch mit intensiven Schneefällen, die sogar im Talboden der Ortschaft Muhr rund 60 cm Schnee brachten. Unmittelbar anschließend folgte eine Warmfront mit weiteren intensiven Niederschlägen – diesmal allerdings in Form von Regen bis in Lagen über 2.000 m Höhe. Diese

Kombination aus Neuschnee mit anschließender Durchfeuchtung der Schneedecke zog nicht nur eine Vielzahl an Lawinenabgängen nach sich, sondern löste insbesondere auf der sehr steilen und felsigen Muhrer Sonnseite eine Reihe von sogenannten „Schneematschlawinen bzw. Hangmuren“ – ein Gemisch aus Schnee und Erdreich mit extrem hohem Wasseranteil – aus. Diese sehr ungewöhnlichen und bislang in diesem Gebiet nicht beobachteten Massenbewegungen betrafen demnach nicht nur klassische Lawengraben, sondern ganze Hangbereiche. Anhand von Videoaufnahmen war erkennbar, dass sich diese Massenbewegungen explosionsartig in Bewegung setzten, im Talboden dann relativ rasch flächig verteilten und mit hoher Geschwindigkeit bis in die Siedlungsbereiche vordrangen.

Im Rahmen von Katastropheneinsätzen wurden daraufhin Sofortmaßnahmen in Form von Dammschüttungen zur unmittelbaren Gefahrenabwehr getroffen, die jedoch zur nachhaltigen Sicherung der betroffenen Wohnhäuser nicht ausreichten.

Ereignisbeschreibung

Die Betrachtung des Niederschlagsverlaufs am 17. November 2019 über dem Noisgraben zeigt über dem Einzugsgebiet den gesamten Tag über (von 06:00 – 18:00 Uhr UTC) leichten Niederschlag. Die Niederschlagssumme über dem Noisgraben beträgt für den Ereigniszeitraum von 12:00 bis 15:00 Uhr UTC insgesamt 17,0 mm, dazu kam in dieser Zeit eine mittlere Änderung des Schneewasseräquivalents der Schneedecke von +10,0 mm. Die Vorbefeuchtung war Anfang November 2019 sowie von 13. bis 16.11.2019 mit bis zu 43 mm/24 Std. sehr hoch. Im Zeit-

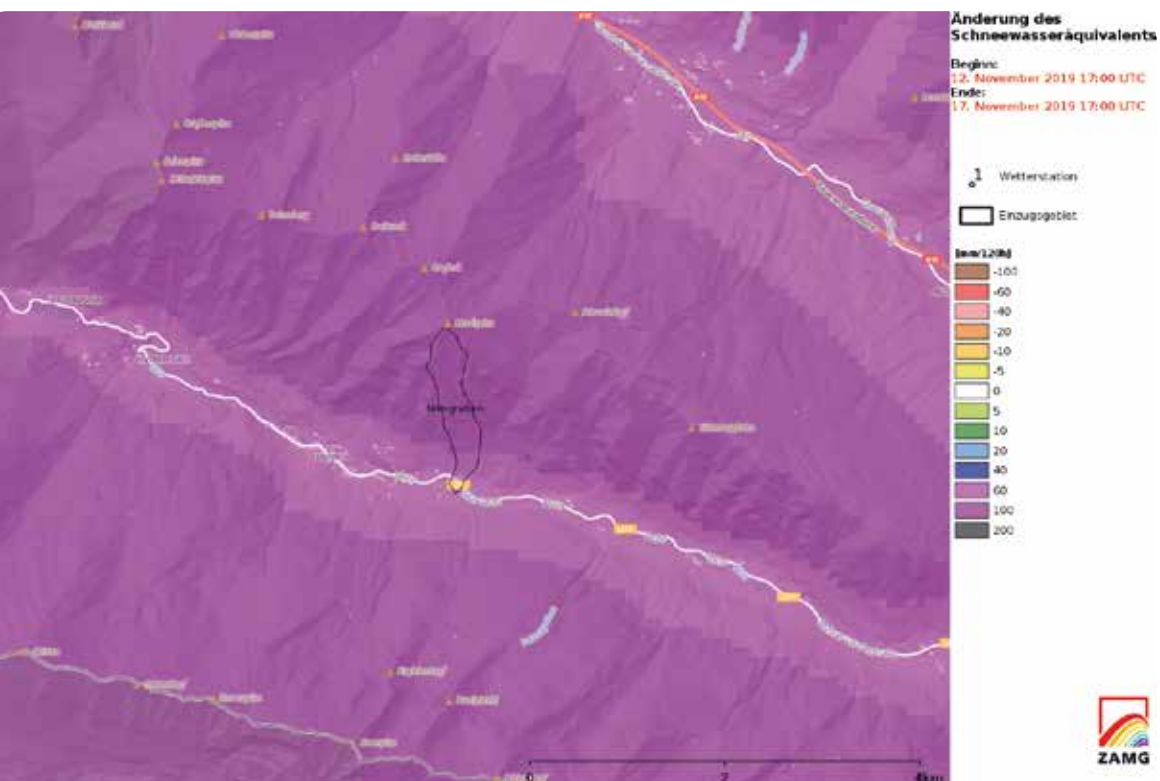


Abbildung 1: Änderung des Schneewasseräquivalents im Ereigniszeitraum

Figure 1: Change in the snow water equivalent in the event period

raum von 13.11.2019 08:00 UTC bis 18.11.2019 08:00 UTC gab es in diesem Einzugsgebiet ein 15-minütiges kumuliertes Gebietsmittel des Niederschlags von +126,0 mm und eine mittlere Änderung des Schneewasseräquivalents der Schneedecke von +104,2 mm (Abb. 1).

Im Rahmen einer Geländebegehung wurden die maßgeblichen Auslösbereiche der Murenabgänge erhoben, und es zeigte sich dabei, dass die Abblaikungen großteils flachgründig

direkt vom Fels abrutschten, der durch seine Kompaktheit als Wasserstauer fungierte. Die großflächigen Rutschungen erfolgten ausschließlich am Südhang, geringe Temperaturunterschiede dürften die Ursache für die Auslösung der Hangmuren und flächigen Rutschungen gewesen sein. Das vorwiegend feine, erdreiche Material wurde mit dem mitgeführten Wildholz bis in den Talboden transportiert und verschüttete zahlreiche Gebäude sowie die Landesstraße Muhr L 211.



Abbildung 2: Anbruchflächen oberhalb der Siedlung

Figure 2: Starting zone above the settlement



Abbildung 3: Hangmurenprozesse am Südhang

Figure 3: shallow landslide processes on the southern slope



Abbildung 4:
Schäden an Gebäuden und
Carports bzw. Autos

Figure 4:
Damage to buildings and
carports or cars



Problematik

Die Prozesse an der Muhrer Sonnseite sind flächig über das gesamte Siedlungsgebiet aufgetreten, einige bislang noch nicht abgerutschte Stellen sind im Zuge einer gutachterlichen Einschätzung sehr labil und müssen ebenso gesichert werden. Herkömmliche Schutznetze sind für Impacts durch Steine dimensioniert, bei Beaufschlagung durch Hangmuren oder flachgründige Rutschun-

gen sind diese Netze in der Lage zumindest den ersten Impact zurückzuhalten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Wirkung des Netzes – bedingt durch das flexible System mit den Bremsselementen und Pendelstützen – danach nicht mehr in voller Wirkungshöhe gegeben ist. Beispiele dafür sind aus den Jahren 2009 (Steinschlagschutznetz FWP Hammer, Abbildung 5) und 2019 (Steinschlagschutznetz FWP Zickenberg, Abbildung 6) bekannt.



Abbildung 5: Hangmure am 20.06.2009 – Hammer/Gemeinde Mauterdorf

Figure 5: debris slide at 20.06.2009 - Hammer/ Mauterdorf



Abbildung 6: Flachgründige Rutschung im November 2019 – Zickenberg/Gemeinde Muhr

Figure 6: shallow landslide in November 2019 - Zickenberg/ Muhr

Schutzkonzept

Das Konzept zur Bewältigung der oben beschriebenen Prozesse besteht in einer Kombination von forstlich-biologischen Maßnahmen mit linienförmigen Schutzbauwerken wie Murbremsetzen und Ablenkdammen über den gesamten betroffenen und noch gefährdeten Siedlungsraum. Die technischen Schutzmaßnahmen bieten einen sofort wirksamen Schutz, die forstlich-biologischen Maßnahmen auf der Fläche sollen einen nachhaltigen und dauerhaften Schutz in den Anbruchflächen der labilen Hangbereiche sicherstellen.

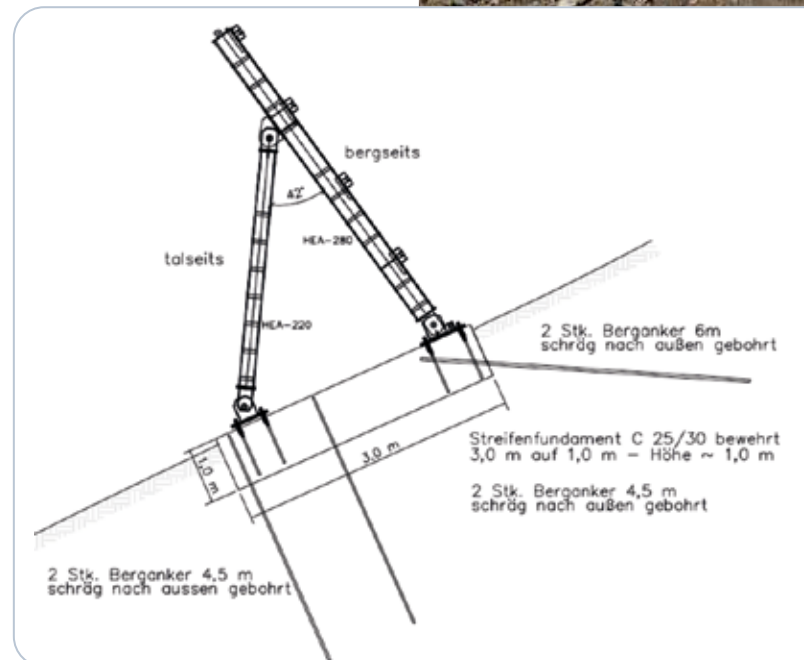


Abbildung 7:
Murbremsetz

Figure 7:
debris catcher

Murbremsetzen

Funktion

Murbremsetzen sind für höhere Belastungen als klassische Steinschlagschutznetze konzipiert. Insbesondere sind sie auf dynamische Belastungen durch flachgründige Rutschungen bzw. Hangmuren ausgelegt.

Bautype

Das System besteht ähnlich wie eine Stahlschneebrücke aus Träger sowie talseitiger Abstützung mit Stützenabständen von 6 m. Die Auflage selbst besteht aus klassischen Steinschlagschutznetzen, zur seitlichen Abspannung kommt noch eine Zwischenabspannung je Netzfeld. Die Träger und Stützen sind auf einer Grundplatte montiert, die wiederum in einem Streifenfundament (3 m x 1 m x 1 m) fix verankert sind. Das Betonfundament ist mit 6 Ankern mit Längen von 4,5 m und 6 m im Untergrund als Zug- und Druckanker fixiert.

Belastungsannahmen

Die Belastungsannahmen für die verschiedenen Prozesse (Hangmuren, Steinschlag) und die sich daraus ergebenden Bautypen wurden auf Basis der ONR 24801 (Kapitel 9.3.2 Murdruck) ermittelt. Für die Abschätzung realistischer Murhöhen und Geschwindigkeiten wurden unter anderem die Beobachtungen von Anrainern bzw. auch Videoaufnahmen des Ereignisses vom November 2019 herangezogen. Aus den definierten Eingangsparametern $v = 4 \text{ m/s}$, Fließhöhe 2 m und Breite 4 m ergibt sich bei Annahme der Murdichte von 2000 kg/m^3 eine Belastung pro Meterstreifen von 54 kN.

Forstlich-biologische Maßnahmen

Durch forstliche und ingenieurbologische Maßnahmen soll eine nachhaltige Stabilisierung der durch das Ereignis labilen Bodenschichten erreicht werden. Das Konzept sieht Aufforstungen mit Gehölzarten vor, die eine nachhaltige Bodenstabilisierung bewirken, aber auch den derzeitigen und v.a. künftigen klimatischen Rahmenbedingungen standhalten.

Nach derzeitiger Einschätzung entsprechen diesen Anforderungen neben den im Lungau altbewährten tiefwurzelnden Pionierbaumarten wie Lärche v.a. auch Laubgehölze wie Bergahorn oder Vogelbeere (im Nebenbestand). Als wenig nachhaltig wird die Grauerle eingeschätzt, da sie relativ schnell ihren Zenit erreicht hat und dann eher wieder zur Labilisierung des Bodens beiträgt. Die Aufforstungen betreffen die Flächen oberhalb der technischen Schutzmaßnahmen in der Größenordnung von mehreren Hektar. Zur Sicherung des Aufforstungserfolges werden technische Schutzmaßnahmen in Form von Monosäulen, Wildschutzzäune und Verpfählungen gegen Wildverbiss, Fegeschäden und Frost errichtet.

Schlussfolgerung

Rascher und effektiver Schutz ist nach derartig außergewöhnlichen Ereignissen zur Wiederherstellung des Schutzes der Bewohner und Infrastruktureinrichtungen notwendig. Wenn Hangmuren und flachgründige Rutschungen jahreszeitlich in eine Periode mit beginnenden Schneefällen und daraus resultierenden Lawinen fallen, dann ist schnelles Handeln und Planen bis zum Beginn des Frostaufbruchs im Frühjahr nötig. Derart großflächige Katastrophen erfordern ein angepasstes

Schutzsystem, welches auf der Fläche sofort wirksam ist. Weiters sind Maßnahmen auf der Fläche in den Bereichen der Anbruchgebiete der Hangmuren und flachgründigen Rutschungen umzusetzen, um auch nachhaltig eine Stabilität zu erreichen. Mit technischen Maßnahmen in Form von Murbremsnetzen wurde eine sofortige Schutzwirkung geschaffen, die forstlich-biologischen Maßnahmen auf der Fläche wurden zeitig im Frühjahr mit Beginn der Vegetationsperiode mit Begehungen und Kartierungen in Angriff genommen. Die Standortwahl und Auswahl der Baumarten richtete sich dabei nach den „Stummen Zeugen“. Baumarten wie der Bergahorn und

die Lärche haben sich bisher bestens bewährt, die Bestände mit Erle und Fichte sind großteils im Zuge der Hangmuren und flachgründigen Rutschungen zerstört worden.

Anschrift des Verfassers/Author's address:

DI Markus Moser
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Gebietsbauleitung Lungau
 Johann Löcker Straße 3
 5580 Tamsweg
 markus.moser@die-wildbach.at



Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U.

**Technisches Büro für
 Wildbach- und Lawinenschutz**

Entwurf- und Einreichplanung

Ausschreibungs- und Ausführungsplanung

Bauaufsicht

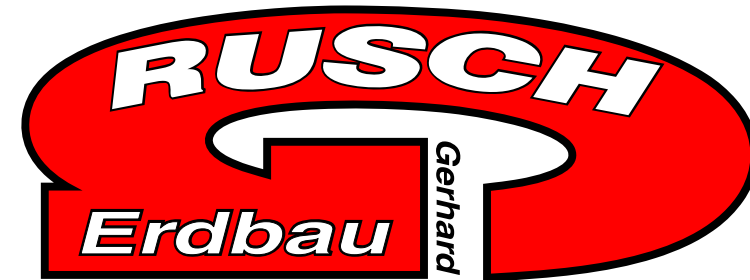
Industriegelände Zone B27
 A-6166 Fulpmes
 Tel./Fax: +43 (0) 5225 62148
 Mobil: +43 (0)664 8831 7711
 E-Mail: office@ib-illmer.at
 Web: www.ib-illmer.at



Ingenieurkonsulent • Ingenieurbüro
 DI Thomas Perz
 Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

Wildbach- und Lawinenschutz
 2620 Neunkirchen
 www.perzplan.at

Forst- und Holzwirtschaft
 8600 Bruck an der Mur
 office@perzplan.at



Alberschwende
 Mobil 0664/13 13 447

KARL HAGEN, VERONIKA LECHNER

Entwicklung eines Frühwarnsystems für Muren (INADEF)

Development of an early warning system for debris flows (INADEF)

Zusammenfassung:

Ziel des INTERREG Projektes INADEF (ITAT 3035) ist die Entwicklung eines Muren-Frühwarnsystems, das Vorwarnzeiten im Stundenbereich ermöglicht, wobei erprobte Ansätze auf einer WEB-GIS Plattform gekoppelt werden. Die Niederschlagsprognose erfolgt mit dem Nowcastingsystem INCA. Diese und Einzugsgebietsinformationen sind Input für das N/A-Modell ZEMOKOST, das Abflussganglinien für die (Teil-)Einzugsgebiete generiert. Anschließend schätzt ein Mursimulationsmodell die Wahrscheinlichkeit und Größenordnung eines Ereignisses ab. Bei Überschreitung lokal festzulegender Grenzwerte werden die verantwortlichen Institutionen verständigt. Die Erprobung des Prototyps ist in fünf Testgebieten in Oberitalien und Österreich vorgesehen.

Abstract:

The bilateral INTERREG project INADEF (ITAT 3035) aims on the development of an early warning system for debris flows providing warning times in the range of hours by linking proven approaches in a WEB-GIS platform. The precipitation forecast is done with the nowcasting system INCA. These and area-information are input for the P/R model ZEMOKOST, which generates runoff hydrographs for (sub)catchments. Subsequently, a debris flow simulation model estimates the probability and magnitude of an event. If on site defined limits are exceeded, responsible institutions are informed. The testing of the prototype is planned for five test areas in Upper Italy and Austria.

Stichwörter:

Frühwarnsystem,
Mure, Niederschlags-
Kurzfristprognose,
Abflussmodellierung

Keywords:

Early warning system, debris
flow, precipitation-nowcasting,
runoff modelling

Einleitung

Im Alpenraum sind Muren ein häufiger Begleiter von Unwettern und verursachen immer wieder schwere Schäden. Ihr kaum vorhersagbares Auftreten und hohe Prozessgeschwindigkeiten machen sie zu einer ernstzunehmenden Bedrohung. Deshalb meinte Sigfried Sauermoser (ehem. Sektionsleiter der WLV-Tirol) 2016 in einem Interview für die Tiroler Tageszeitung auch: „Ein Warnsystem auf Basis von Wetterprognosen wäre interessant“, denn rechtzeitige Warnungen sind wichtig, um temporäre Maßnahmen des Ereignismanagements erfolgreich einsetzen zu können.

Nicht zuletzt unter dem Eindruck der Ereignisse des Herbstes 2018, in der es in großen Teilen Oberitaliens und Südösterreichs zu beträchtlichen Schäden, auch durch Muren, kam startete mit Oktober 2019 eine Kooperation von italienischen und österreichischen Partnern um ein Frühwarnsystem (EWS, Early Warning System) zu entwickeln. Diese findet im Rahmen des bilateralen INTERREG Projektes INADEF (Innovative Nowcasting based early wARning system for DEbris Flow events, ITAT 3035) mit Unterstützung der WLV-Sektion Tirol statt. Neben dem Ziel, einen praxistauglichen Prototyp eines EWS für Muren zu entwickeln (er soll 2022 zu Verfügung stehen), vertieft die Kooperation auch grenzüberschreitende Kontakte und die Zusammenarbeit.

Der in INADEF entwickelte Prototyp eines EWS für Muren soll treffsichere Vorwarnungen im Stundenbereich ermöglichen. Als „Nebenprodukt“ wird das Niederschlags-Abflussmodell ZEMOKOST dann auch als Python Version für GIS-Applikationen zur Verfügung stehen.

Methode

Die Grundidee für die Entwicklung des Frühwarnsystems basiert auf der Kombination von bereits bestehenden, erprobten Ansätzen, die auf einer WEB-GIS Plattform miteinander gekoppelt werden. Die räumliche und zeitliche Prognose der Niederschlagsverteilung liefert das allgemein etablierte Kurzfristprognosesystem INCA der ZAMG (Abb. 1). Das laufend weiterentwickelte Analyse- und Nowcastingsystem liefert auf einem 1-km Raster alle 15 Minuten aktualisierte Prognosen verschiedener meteorologischer Parameter, darunter auch für Niederschlag. Diese basieren auf einer Kombination von Wettervorhersagemodellen (ALADIN, ECMWF) mit aktuellen Messwerten (Stationsdaten, Radar, Satellit) und werden mit Hilfe hochauflösender Geländeinformation verfeinert (ZAMG 2021).

Die Prognose der räumlichen Verteilung von Niederschlagsintensitäten im Ereignisfall ist Input für die Niederschlags- Abflussmodellierung in den Einzugsgebieten. Sie erfolgt im Rahmen von INADEF mit dem am BFW entwickelten (Kohl et al. 2014, Kohl 2011), praxisbewährten (Hübl und Moser 2019) Niederschlags-Abflussmodell ZEMOKOST, das geringe Anforderungen an Computerkapazitäten stellt und daher binnen Sekunden Ergebnisse liefern kann. Die in GIS implementierbare Python Version von ZEMOKOST benötigt grundsätzlich dieselben Eingabe-Informationen, wie die Excel-Version. Neben dem Niederschlag werden für die Modellierung Gebietsparameter wie die räumliche Verteilung der Oberflächenabfluss- und Rauigkeitsbeiwerte (nach Markart und Kohl, 2004) sowie Gerinneparameter (d90) benötigt.



Abbildung 1: Schema des in INADEF entwickelten Frühwarnsystem-Prototyps

Figure 1: Scheme of the early warning system prototype developed within INADEF

INCA bietet viertelstündliche Niederschlagsprognosen, die für ZEMOKOST notwendigen Minutenwerte werden durch Interpolation gewonnen. Über die Verschneidung der Niederschlagspixel mit den (Teil-)Einzugsgebieten werden die Gebietsniederschlagsmengen ermittelt. Die Gewichtung erfolgt dabei automatisch entsprechend des Flächenanteiles jedes Pixels an der Einzugsgebietsfläche. Wie auch bisher werden für jeden Gerinne-Knotenpunkt die entsprechenden Abflussganglinien ermittelt. Diese sind Eingangsparameter für ein von Gregoretti (2019) entwickeltes und von Bernard (2019) eingesetztes, zweigeteiltes numerisches Modell, welches zusammen mit den Gerinneparametern und Materialeigenschaften über Auslösung und Verlauf von Murgängen entscheidet. Dafür wird in einem ersten Schritt an gutachterlich ausgewählten, prädestinierten Punkten im Gerinne ermittelt, ob es unter den gegebenen Bedingungen zu einer Auslösung eines Murgangs kommen kann. Ist dies der Fall, so wird in der Folge sowohl der

Spitzenabfluss als auch das Volumen des Wasser-Feststoffgemisches auf Basis der Abflussganglinie, der Erosionsrate und der Länge und Neigung des betroffenen Gerinneabschnittes abgeschätzt. Die Ganglinie der Mure wird dabei vereinfachend als dreieckig angenommen. Überschreiten Volumina oder Spitzendurchfluss festzulegende Grenzwerte (z.B. verfügbarer Abflussquerschnitt) und besteht somit eine hohe Wahrscheinlichkeit der Gefährdung von Personen und Gütern wird eine Alarmmeldung abgesetzt. Entsprechend der (lokal zu entwickelnden) Alarmpläne können dann vorbeugende Maßnahmen – vom Objektschutz bis hin zur Evakuierung – von den Verantwortlichen in die Wege geleitet werden.

Bei der Auswahl der Modellkomponenten und der Gestaltung der Schnittstellen war der geringe Zeitbedarf der Modellkomponenten eine Prämisse, um den Zeitraum zwischen Niederschlagsprognose und einer eventuellen Alarmmeldung möglichst gering zu halten. Er sollte aus derzeitiger Sicht nur einige Minuten betragen.

Die Testgebiete

Zur Testung und Evaluierung des EWS-Prototyps wurden fünf Testgebiete ausgewählt: Rio Moscardo (Paluzza-Plöckenpass), Rio Rudan und Can-

cia (Belluno), Gröbentalbach (Stubaital) und Bettelwurfmure (Halltal). In allen Gebieten kam und kommt es immer wieder zu Murgängen (Abbildung 2, Tabelle 1).

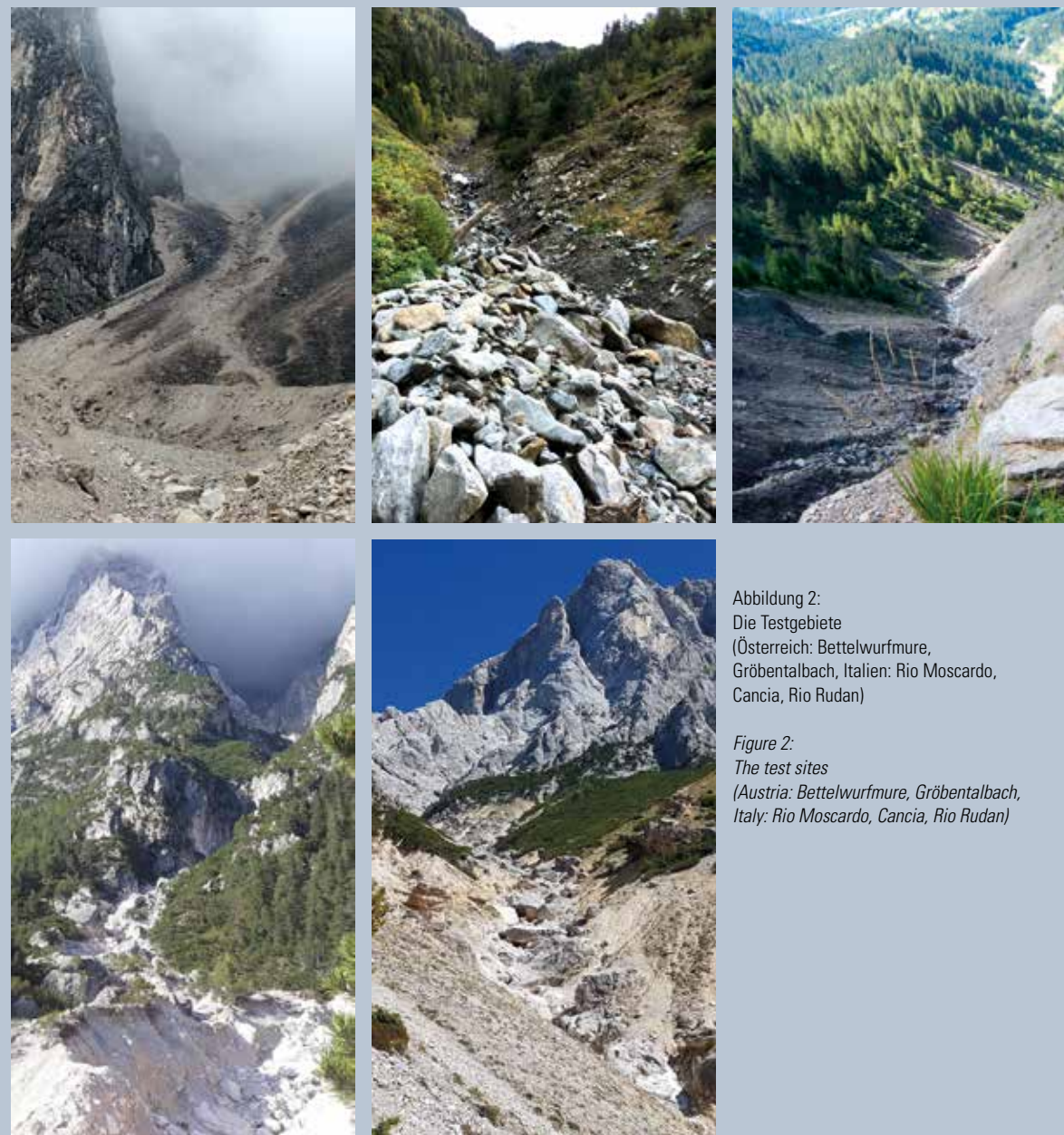


Abbildung 2:
Die Testgebiete
(Österreich: Bettelwurfmure,
Gröbentalbach, Italien: Rio Moscardo,
Cancia, Rio Rudan)

Figure 2:
The test sites
(Austria: Bettelwurfmure, Gröbentalbach,
Italy: Rio Moscardo, Cancia, Rio Rudan)

	Bettelwurfmure	Gröbentalbach	Rio Moscardo	Cancia	Rio Rudan
Lage	AT (Tirol, Halltal)	AT (Tirol, Stubaital)	IT (Udine, Paluzza)	IT (Belluno; Madonna d.C.)	IT (Belluno; Cortina d'Amp.)
A (km²)	1,2	1,0	4,1	2,4	3,0
Ereignisse (ab 2010)	17.7.2010; 14.8.2011; 8.8.2018	7.6.+3.7.+ 7.8.2015; 10.7.+28.8.2016; 30.6.2019	29.08.2010; 14.9.2011; 24.9.+27.9.2012; 16.6.+11.7.+13.7. +22.7.2016; 10.8.2017; 12.6.2018; 4.6.2019; 2.8.+30.8.2020	26.7. 19.8.2013; 23.7. +4.8.2015; 1.8.+29.10.2018; 1.7.+11.8.+ 29.8.2020	4.8.2015; 6.8.2018; 29.8.+ 15/16.12.2020
Geologie/ Lithologie	Wetterstein- kalk, im Unteren EZ-teil östl. tiefgründig Lockermaterial	Paragesteine (Schiefergneise Gneisglimmer- schiefer), Lockermaterial	Karbonat. Flysch, zerklüftete Schiefer, Sandstein, Brekzien, quartäre Ablagerungen	Dolomit, Mergel und Tuff, tiefgründig Lockermaterial	Dolomit, Mergel und Tuff, tiefgründig Lockermaterial
Verbauungs- grad	Unverbaut	Teilverbaut (Retentions- bereich)	Teilverbaut	Annähernd voll, primär Materi- alret.	Vollverbaut, Dosiersperren uam.
Gefährdungen	Zufahrt Halltal, Verklausung Weißenbach >> Siedlungen (Eichat, Mils)	Landesstraße, (ev. Siedlungs- bereich (Kroisbach)	Verklausung Vorfluter	Siedlung (Cancia), Bundesstr. Nr 51 und Landesstraße	Bundesstr. Nr 51 und Landes- straße
Ereignisart	Mure	Mure	Mure, murartiger Abfluss	Mure	Mure
Mure (Art)	Granular	Viskos	Viskos und gra- nular	Granular	Granular und viskos
Kommentar			Monitoring seit 1989, Update 2010	Monitoring ab 2014	autom. Warn- system ab 2020

Tabelle 1: Kennwerte der Einzugsgebiete

Table 1: Characteristics of the test sites

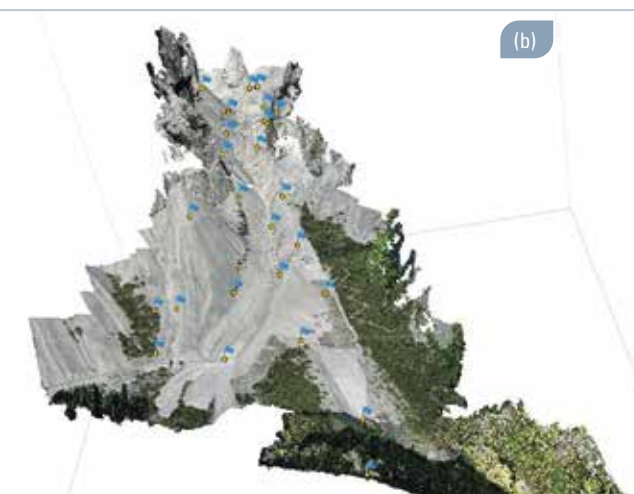


Abbildung 3: Bettelwurfmure, a) Monitoringmessstelle – Mitte, Ausstattung: 2 TCL-Zeitrafferkameras, eine ICUSERVER Wildkamera b) hochgenaues digitales Höhenmodell auf Basis einer UAV-Befliegung im Juni 2020

Figure 3: Bettelwurfmure, a) monitoring site - centre, equipment: 2 TCL time-lapse cameras, one ICUSERVER wildlife camera b) high-precision digital elevation model based on an UAV survey in June 2020

In den italienischen Testgebieten waren zu Projektbeginn bereits teilweise Monitoringeinrichtungen verfügbar, die im Zuge des Projektes adaptiert wurden, in Österreich mussten die Gebiete neu eingerichtet werden. Auf Basis der Erfahrungen der italienischen Partner und um die Kosten gering zu halten, erfolgt das Monitoring in den neu eingerichteten Gebieten optisch mittels Zeitraffer-Kameras, die in Abhängigkeit vom Betreuungsintervall und Speicherplatz im Abstand von einigen Sekunden Bilder aufzeichnen und so den Ereignisablauf dokumentieren. Zusätzlich liefern robuste Wildkameras, die mit GPRS Datenübertragung ausgestattet sind, täglich Bilder von Schlüsselstellen des Gerinnes, um Ereignisse zeitnah zu erkennen und im Feld dokumentieren zu können (Abbildung 4). Niederschlagswippen stellen für die frostfreie Zeit Vergleichswerte zu den von INCA prognostizierten Regenintensitäten bereit.

Zur Abschätzung bewegter Volumina (im Zuge von Mureereignissen) wurden die Gebiete zu Projektbeginn sowie nach jedem Ereignis mittels UAV (Unmanned Aerial Vehicle) befliegen und hochauflösende Geländemodelle generiert, auf deren Basis eine Massendifferenzrechnung erfolgt. Damit kann das Erosions- und Depositionsgeschehen im Bereich des Gerinnes dargestellt werden.

Für die Abflussmodellierung mit ZEMO-KOST erfolgte eine Kartierung der Testgebiete, des Oberflächenabflusses, der Rauigkeit und relevanter Gerinneparameter entsprechend der Geländeanleitung von Markart und Kohl (2004), für die neuen Testgebiete in Österreich wurden geologische Gutachten mit Fokus auf die Geschiebebereitstellung beauftragt.

Zu erwartende Resultate – Diskussion

EWS sind Informationssysteme, die darauf abzielen, potenziell gefährliche Ereignisse frühzeitig zu erkennen und mögliche Schäden durch geeignete, präventive Maßnahmen abzuwenden oder zumindest zu verringern. Sie werden in Abhängigkeit von der Gebietscharakteristik und den Schutzzielen ausgewählt und gestaltet. Nicht zuletzt durch die in den letzten Jahren rasch voranschreitenden technischen Entwicklungen sind sie eine zunehmend eingesetzte, kostengünstige, flexible und das Landschaftsbild kaum beeinträchtigende Maßnahme (Sättele et al 2015), die technische Maßnahmen sowohl ergänzen als auch ersetzen können. Wie bei anderen Maßnahmen auch ist ihre Zuverlässigkeit (ZEWS) und Effektivität zu bewerten. Dies erfolgt häufig mittels der Funktion:

$$Z_{(EWS)} = \frac{P_{(d)}}{P_{(f)}} \quad \text{Gl. (1)}$$

wobei $P_{(d)}$ die Anzahl der richtig prognostizierten und $P_{(f)}$ die Anzahl der Fehllarme ist.

Darüber hinaus ist die mögliche Vorwarnzeit eine entscheidende Größe. Während diese bei sensorgesteuerten Systemen, die die Bewegung von Murgängen registrieren, nur im Bereich einiger Minuten liegt, soll das prognosegestützte Frühwarnsystem INADEF im Rahmen der Prognosezeiträume Vorwarnzeiten von 15 Minuten bis zu mehreren Stunden ermöglichen. Der Kompromiss zwischen möglichst langer Vorwarnzeit und hoher Zuverlässigkeit ist hier in Zusammenarbeit mit potenziellen Nutzern auf lokaler Ebene im Zuge der Ausarbeitung konkreter Alarmpläne zu finden. Diese können auf Basis bestehender Beobachtungen und Erfahrungen nachjustiert werden.

Für die erfolgreiche Implementation von INADEF sind vorab einige Fragen zu klären. Der Ansatz kann aus methodischen Gründen nur Murreignisse prognostizieren, die durch intensive Niederschläge und damit verbundenen Spitzenabflüssen und Gerinneerosion ausgelöst werden. Ereignisse aufgrund anderer Auslösemechanismen, wie Schneeschmelze, Rutschungen und Verkläusung werden mit diesem Ansatz nicht erfasst. Grundsätzlich sind konvektive Niederschlagsereignisse der häufigste Auslöser von Murgängen im Alpenraum (Mostbauer et al. 2018, Prenner et al. 2019), über wahrscheinliche Auslöseursachen sollte aber vor Ort Klarheit bestehen oder geschaffen werden, um die Eignung der Methode zu gewährleisten.

Die Treffsicherheit der Frühwarnungen hängt wesentlich von der Qualität der Niederschlagsprognosen, die im Rahmen von INADEF durch INCA erfolgt, ab. Die räumliche Auflösung derselben steigt mit der Qualität der zu Verfügung stehenden Wetterradar-Daten. In Gebieten, die von diesem schlecht erfasst werden (z.B. weite Teile Osttirols), ist dementsprechend mit einer geringeren Prognosequalität zu rechnen.

Das Frühwarnsystem ist modular aufgebaut. Das bedeutet, dass einerseits einzelne Modellkomponenten relativ einfach durch andere (z.B. im Zuge technischer Entwicklungen verbesserte) Ansätze ausgetauscht werden können. Andererseits können die Modellkomponenten auch für sich alleine genutzt werden.

Das Projekt endet in Frühjahr 2022, daher gab es zum Zeitpunkt der Berichterstellung abgesehen von den Erhebungsunterlagen in den Testgebieten und einer GIS-fähigen in Python programmierten Version des Niederschlags-Abfluss-Modells ZEMOKOST noch keine greifbaren Resultate. Um dem Ziel eines praxisnahen Ergeb-

nisses gerecht zu werden, wird seitens der an diesem Projekt beteiligten Institutionen auf eine enge Kooperation mit potenziellen Interessenten und Nutzern – in Österreich insbesondere der WLW – geachtet. In Vorträgen, Workshops und eben auch mit Publikationen in Fachmedien wird laufend über Ziele, den Stand und über Erkenntnisse bei der Umsetzung berichtet; eine Projekt-Website (<http://inadef.com/>; <http://inadef.it/>) ist im Entstehen. Feedback ist ausdrücklich erwünscht und wird, soweit möglich, in der Entwicklungsarbeit berücksichtigt.

Anschrift der VerfasserInnen/Authors' addresses:

DI Karl Hagen
Bundesforschungszentrum für Wald
Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1130 Wien
karl.hagen@bfw.gv.at

DI Veronika Lechner
Bundesforschungszentrum für Wald
Rennweg 1, 6020 Innsbruck
veronika.lechner@bfw.gv.at

Literatur/References:

- BERNARD M., BOREGGIO M., DEGETTO M., GREGORETTI C. (2019): Model-based approach for design and performance evaluation of works controlling stony debris flow with an application to a case study at Rovina di Cancia (Venetian Dolomites, Northeast Italy). *Science of the Total Environment*, 688, 1373-1388
- DEANGELI C., GREGORETTI C., PALTINIERI E., RABUFFETTI D., TIRANDTI D. (2011): An integrated approach to simulate channelized debris flows from triggering to deposition, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, Casa Editrice Università La Sapienza
- GREGORETTI C., STANCANELLI L., BERNARD M., DEGETTO M., BOREGGIO M., LANZONI S. (2019): Relevance of erosion processes when modelling in-channel gravel debris flows for efficient hazard assessment. *Journal of Hydrology*, 569, 575-591
- HÜBL J., MOSER M. (2019): ÖWAV-Regelblatt 220, Niederschlag-Abfluss-Modellierung, Synthesebeispiel Rumpelgraben, Wien

KOHL B., MALDET A., STEPANEK L. (2014): Bedienungsanleitung ZEMOKOST V2.0. https://www.bfw.gv.at/wp-content/cms_stamm/050/PDF/Bedienungsanleitung_ZEMOKOST_V2_0.pdf

KOHL B. (2011): Das Niederschlags-/Abflussmodell ZEMOKOST, Entwicklung eines praktikablen Modells zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen in Wildbacheinzugsgebieten unter Einbeziehung verbesserter Felddaten; Diss. Universität Innsbruck

MARKART G., KOHL B., SOTIER B., SCHAUER T., BUNZA G., STERN R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0), Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Wien, 2004, Nr. 3

MOSTBAUER K., KAITNA R., PRENNER D., HRACHOWITZ D. (2018): The temporally varying roles of rainfall, snowmelt and soil moisture for debris flow initiation in a snow-dominated system. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 3493-3513

PRENNER D., HRACHOWITZ M., KAITNA R. (2019): Trigger characteristics of torrential flows from high to low alpine regions in Austria, *Science of The Total Environment*, Vol. 658 (2019), 958-972

SÄTTELE M., BRÜNDL M., STRAUB D. (2015): Reliability and effectiveness of early warning systems for natural hazards: Concept and application to debris flow warning; *Reliability Engineering and System Safety* 142 (2015), 192-202

TIROLER TAGESZEITUNG (5.5.2016): <https://www.tt.com/artikel/11464469/unwetter-muren-laut-experte-nur-sehr-schwer-prognostizierbar>

ZAMG (Stand 8.1.2021): <https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/wetter/inca>

EBERHARD GRÖNER

Der effiziente Schutz vor Hangmuren

Efficient protection against hillside debris flows

Zusammenfassung:

In den letzten Jahren haben sowohl die Anzahl als auch die Schwere der Stürme insbesondere in Mitteleuropa zugenommen. Laut der European Environment Agency werden auf Grund des Klimawandels die Risiken im 21. Jahrhundert unter anderem in Form von Stürmen und Starkregenereignissen zunehmen. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser klimatische Trend fortsetzt, was zu immer niederschlagsreicheren Wintern führt. Eine Naturgefahr, die eng mit Starkregen durch Stürme verbunden ist, ist die Hangmure. Deren Gefahrenpotential lässt sich mit modernen Schutzsystemen effizient verringern.

Summary:

In the last years the amount as well as the seriousness of storms increased especially in Central Europe. According to the European Environment Agency the risks in the form of storms and heavy rainfall events will increase in the 21th century in due to the climate change. It is assumed that the climate tendency will pursue, which is leading to higher rainfall in winter. A natural hazard, which is closely associated with heavy rain and storms, is the hillside debris flow. The risk potential can be efficiently reduced by modern protection systems.

Stichwörter:

Naturgefahrenabwehr,
Ringnetzbarrieren,
Hangmuren, Erdbeben

Keywords:

*Averting natural hazards,
ring net barriers,
hillside debris flows,
landslides*

Hangmuren: Unberechenbar und zerstörerisch

Diese oberflächennahen Rutschungen können dort auftreten, wo sich wassergesättigtes Lockergestein auf wasserundurchlässigem Fels befindet. Wenn sich Wasser zwischen Boden und Gestein ansammelt, entsteht eine Gleitebene, die zu einem flachgründigen Erdbeben führen kann. Diese Rutschungen sind weitaus schwieriger vorherzusagen als Murgänge, da der Verlauf, die Zusammensetzung und das Volumen der Rutschung stark von der Morphologie und der örtlichen Geologie abhängt.

Hangmuren können erhebliche Schäden an Infrastrukturen verursachen. Verkehrswege müssen oft lange geschlossen bleiben bis die Schäden behoben sind. Traditionelle Schutzmaßnahmen sind aufwändige Erddämme zum Rückhalt der Hangmure oder Ablenkbauwerke aus Beton. Beide Lösungen müssen für sehr hohe Anprallkräfte ausgelegt sein. Zusätzlich ist die Installation kosten- und zeitintensiv, zumal Hangmuren an steilen, schwer zugänglichen Hängen auftreten. Eine häufig eingesetzte temporäre Lösung sind auch Gabionenkörbe, die zu einem gewissen Grad wasserdurchlässig sind. Jedoch halten diese statischen Bauwerke den hohen dynamischen Kräften eines Hangmuren-Anpralls nicht zuverlässig stand.

Die klügere Barriere gibt nach

Hangmurenbarrieren der Firma Geobrugg bestehen aus Stahlstützen, hochfesten Stahldrahtgeflechtem, Drahtseilen und Bremsselementen. Dieses System bietet einerseits dank Bremsselementen und Geflechtem die nötige Flexibilität, um den hohen Anprallkräften zu widerstehen. Anderer-

seits verfügt es über die Stabilität, um den hohen statischen Lasten der Schlammmassen standzuhalten.

Das durchlässige Geflecht sorgt für eine schnelle Drainage der Hangmure und hält das grobe Material zurück. Das System ist leicht an das Gelände anpassbar und hinsichtlich des Rückhaltevolumens und den Flächenlasten durch ein Füllereignis dimensionierbar (Bemessungstool unter mygeobrugg.com frei verfügbar). Alle Komponenten sind konsequent auf Leichtigkeit ausgelegt, was sowohl den Transport als auch die Installation in schwer zugänglichem Gelände erleichtert. Dank ihrer geringen Auslenkung lassen sich die Systeme nahe am zu schützenden Objekt installieren. Wirtschaftlich vorteilhaft ist, dass die Montage dieser Lösung nur minimale Eingriffe in die Natur erfordert.

Eine Schutzlösung für zwei Naturgefahren

Geobrugg Hangmurenbarrieren wurden in 1:1 Großfeldversuchen getestet und zugelassen. Sie sind die einzigen Systeme dieser Art, die eine ETA (Europäische Technische Bewertung) mit CE-Kennzeichnung haben. Wichtig ist hierbei die nachgewiesene Lastaufnahme von 150 kN/m² bei vollständig gefüllter Barriere. Zusätzlich wurden die Hangmurenbarrieren erfolgreich auf Steinschlag getestet – mit einer Energieaufnahme von min. 500 kJ. Folglich kann diese Lösung als multiple Barriere eingesetzt werden.

Das Hangmurenschutzsystem hat seine Wirksamkeit und Nachhaltigkeit vielfach unter Beweis gestellt. Beispielsweise im Dezember 2015: Der Sturm Desmond überzog weite Teile Nordeuropas mit Überschwemmungen. In der Folge ging unter anderem eine größere Hangmure

in Schottland entlang der Straße „Rest and Be Thankful“ nieder. Das Ereignis wurde von einer Geobrugg Hangmurenbarriere erfolgreich zurückgehalten – die darunterliegende Straße blieb unbeschädigt und war weiterhin befahrbar. Nach

dem Ausräumen von insgesamt 300 m³ Schutt und Geröll und geringfügigen Revisionsarbeiten war die Barriere wieder voll funktionstüchtig.

Zusätzliche Informationen: www.geobrugg.com



Abbildung 1:
Großfeldversuch der
Hangmurenbarriere in
Veltheim/Schweiz.

*Figure 1:
Large-scale field experiment
of the hillside debris
flow barrier in Veltheim/
Switzerland*



Abbildung 2:
Installierte
Barrieren in "Rest
and Be Thankful"/
Schottland.

*Figure 2:
Installed barriers in "Rest
and Be Thankful"/Scotland.*



Abbildung 3:
Geobrugg SL-150
Barriere nach dem
Rückhalt einer
Hangmure im Jahr
2015.

*Figure 3:
Geobrugg SL-150
barrier after
absorbing a hillside
debris flow in the
year 2015.*



Abbildung 4:
Die
Hangmurenbarriere
lässt sich auch nahe
an Infrastrukturen
installieren.

*Figure 4:
The hillside debris
flow barrier can be
installed near any
infrastructures.*

Anschrift des Verfassers/Author's address:

Eberhard Gröner
Geobrugg AG
Aachstrasse 11
CH-8590 Romanshorn
eberhard.groener@geobrugg.com

JOHANNES HÜBL, JOHANNES HÖDL, MARKUS BECK, FRIEDRICH ZOTT

Planung, Modellversuch und Optimierung eines Wildholzrechens an der Naarn (Stadtgemeinde Perg, Oberösterreich)

Zusammenfassung:

Im Jahr 2002 wurden durch ein Hochwasserereignis in der Naarn (Perg, Oberösterreich) große Mengen Wildholz mobilisiert, transportiert und verursachten durch Verklausungen Schäden an Brücken im unterliegenden Siedlungsgebiet. Weitere Hochwässer in der jüngeren Vergangenheit zeichneten sich ebenfalls durch einen hohen Wildholzanteil aus. Um diese Gefährdung zu verringern wurde eine Schutzmaßnahme zur Filterung des Wildholzes oberhalb des Siedlungsgebietes von Perg geplant und mittels eines hydrologischen Modells im Maßstab 1:30 am Institut für Alpine Naturgefahren getestet. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Überprüfung der Wirksamkeit (Durchlässigkeit) und der Optimierung der Maßnahme bei Abflüssen zwischen HQ1 und einem Überlastfall. Messtechnisch erfasst wurden Fließgeschwindigkeiten, Pegelstände und auftretende Momente an sechs ausgewählten Rechenelementen. Zusätzlich wurde eine Abschätzung der Lagerungsdichte des Wildholzes durch den Einsatz eines Laserscanners getroffen.

Stichwörter:

Wildholzrechen, Modellversuch, Verklausung, Hochwasser, Schwemmholz

Planning, model experiment and optimization of a wood rake at the Naarn river (Perg, Upper Austria)

Abstract:

In the year 2002 a flood in the Naarn river in Perg (Upper Austria) mobilized and transported coarse woody debris and caused damage at bridges and in the settlement areas downstream due to clogging. To avoid this problem, a protection measure to filter out large wood is projected in the upstream river section. To estimate the effectivity of this measure due to different design scenarios, a hydraulic model was constructed in the scale 1:30 in accordance with Froude scaling. The research focus lied on the effectivity and optimization of the measure with a discharge recurrence interval between one year (HQ1) and a system overload case. Besides the measurement of flow velocity and flow height loading moments at six selected rake elements were recorded. Additionally, the "bulk factor" of the wood accumulation was calculated by a Laserscanner.

Keywords:

Large wood, hydraulic experiment, structural mitigation measure, wood rake

Einleitung

Nach dem verheerenden Hochwasser im August 2002, bei dem es durch Wildholzverklausungen zu Ausuferungen gekommen ist und nachfolgenden Hochwässern mit einer großen Wildholzfracht, wurde seitens der Stadtgemeinde Perg ein Projekt zur Reduktion des Verklausungsrisikos initiiert und an den Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Oberösterreich Nord, getragen. Seitens der WLW wurde das Institut für Alpine Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur Wien mit der Vorplanung und Überprüfung der Wirksamkeit eines Bauwerkes zur Filterung des Wildholzes oberhalb der Stadtgemeinde Perg beauftragt.

Daraufhin wurde im Rahmen eines Konstruktiven Projektes von Klinger und Pöchacker (2019) auf dem von der WLW ausgewählten Standort Kuchlmühle ein s-förmiger Rechen, aufgeteilt in Haupt- und Nebenschluss, geplant und die Strömungsverhältnisse mittels Hydro_AS und HEC-RAS simuliert. Der Standort befindet sich 1 km flussaufwärts vom Siedlungsgebiet von Perg, die gewählte Rechenausführung besteht aus 3 m hohen vertikalen Säulen mit einem Durchmesser von rund 50 cm, welche sowohl quer als auch parallel zur Fließrichtung eingebaut werden. Dadurch kann die Wasseraustrittslinie entlang des Rechens im Vergleich zu herkömmlichen Querbauwerken stark verlängert und das Risiko einer kompletten Verlegung samt Überströmung stark reduziert



Abbildung 1: (A) Aktuelles Bild mit Blick flussaufwärts auf die Wehranlage in der Naarn im Bereich Gasthaus Kuchlmühle. (B) Geplanter Wildholzrechen im selbigen Bereich (Quelle: In Anlehnung an Hödl, 2021)

Figure 1: (A) Actual upstream view of the weir in the Naarn river in the area of Gasthaus Kuchlmühle. (B) Designed large wood rake in the same area (Source: based on Hödl, 2021)

werden. Im Hauptschluss kann der Abfluss ungehindert stattfinden um die ökologische Durchgängigkeit zu gewährleisten, der Nebenschluss wird nur ab einem Abfluss im Bereich des mittleren jährlichen Hochwassers (MHQ, rund $32 \text{ m}^3/\text{s}$) wirksam. Das HQ100 liegt bei rund $102 \text{ m}^3/\text{s}$.

Um die Funktionalität (Wildholzfilterung) des geplanten Rechens zu überprüfen, wurde im Versuchslabor des Institutes für Alpine Naturgefahren im Rahmen einer Masterarbeit von Hödl (2021) ein Modellversuch im Maßstab $M = 1:30$ ($7,6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$) unter Einhaltung der Froud'schen Modellgesetze durchgeführt (Abbildung 2).

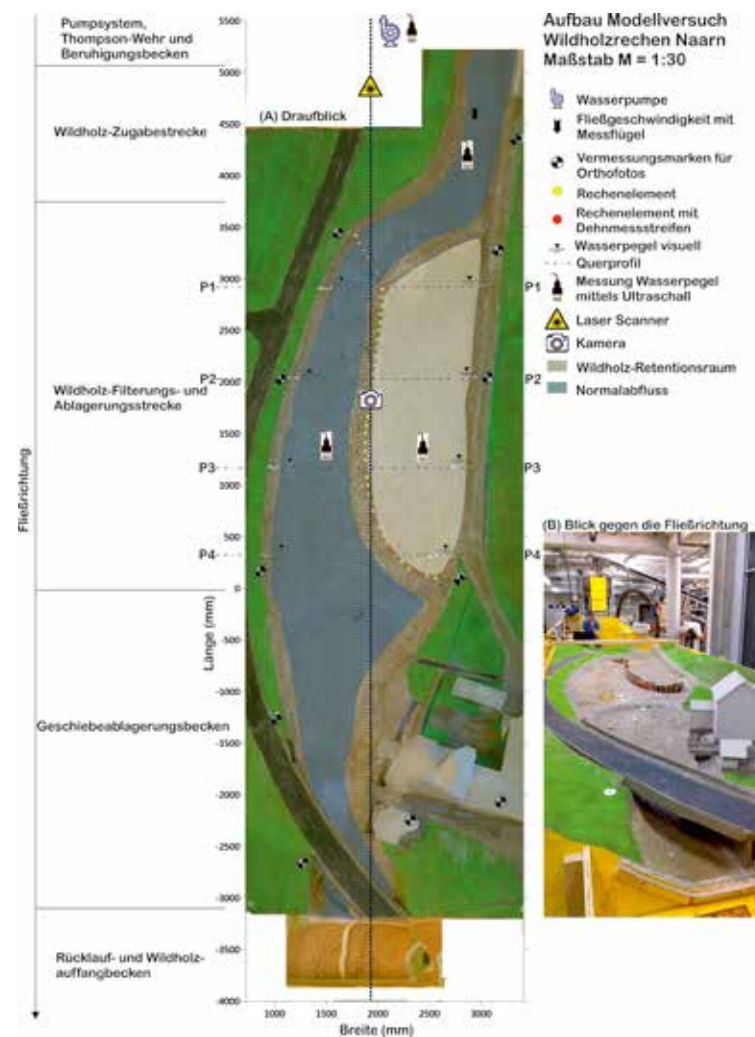


Abbildung 2: Orthofoto des Aufbaues des Modellversuches mit der Position der verwendeten Messtechniken

Figure 2: Orthophoto of the hydraulic model setup with the position of installed measuring equipment

Dabei wurde die Durchlässigkeit des Rechens bei einem lichten Stababstand in der Natur von 2,0 m (V1) bzw. von 4,5 m (V2) verglichen. Wegen einer ungewollt starken Verlegung im oberen Teil des Rechens (hervorgerufen durch die Strömungsänderung durch die Einlaufschwelle) wurden zwei weitere optimierte Varianten (V0, V01) getestet. Das Holz wurde dabei sowohl einzeln als auch in Form von drei Wildholzpaketen im Einlaufbereich



Abbildung 3: (A) Die drei verwendeten Wildholzlängen welche in der Natur einer Länge von 2 m, 4,5 m bzw. 7,2 m entsprechen; (B) Beispiel der Verteilung der verschiedenen Wildholzstücke bei voll verklautem Rechen; (C) Auffangbehälter nach dem Modell zur Auswertung der Durchlässigkeit des Rechens

Figure 3: (A) The three used large wood dimensions, which in reality correspond to a length of 2 m, 4.5 m and 7.2 m respectively; (B) Example of the distribution of the various pieces of wood in fully clogged rake; (C) Collecting container to evaluate the effectivity of the rake

des Modells zugegeben. Die maximale Wildholzfracht beim HQ100 belief sich im Modell auf rund $12,3 \text{ dm}^3$ (in Natur rund 333 Festmeter) die über die Eigenschaften des Einzugsgebietes geschätzt wurden. Bei einem angenommenen „bulk factor“ von drei ergibt das eine Wildholzfracht von rund 1.000 m^3 . Das Wildholz wurde in 3 Längen (in Natur 2 m, 4,5 m und 7,20 m) mit einer Dichte von rund $0,91 \text{ g/cm}^3$ eingebracht (Abbildung 3).



Abbildung 4: (A) Rechenelement mit Dehnmessstreifen, darunter sind Rohdaten der Aufnahme ersichtlich. (B) Ultraschall zur Messung des Wasserspiegels. (C) Laser zur Erfassung der Kubatur der Holzablagerung. (D) Höhenmodell der Ablagerung

Figure 4: (A) Element of the rake with resistance strain gauge and an example of the received raw data. (B) Ultrasonic measurement of the water level. (C) Laserscanner to get the cubature of the large wood deposition. (D) DOM of wood deposition

Neben der Funktionalität wurde auch die Änderung des Wasserspiegels durch den Einstau mittels Ultraschall Sensoren (Abbildung 4 B), die Fließgeschwindigkeit im Einlaufbereich sowie die Dichte der Holzablagerung im Rechenbereich mittels Laserscanner untersucht und über die abgelagerte Holzmenge (Zugabe Festmeter) eine Lagerungsdichte ausgerechnet (Abbildung 4 C).

Zusätzlich wurde an sechs ausgewählten Rechenstäben das Einspannmoment aufgezeichnet (Abbildung 4 A). Hier sollen Informationen für die Lastfälle Einzelbaumanprall und Anprall Holzpaket gewonnen werden (Abbildung 5).

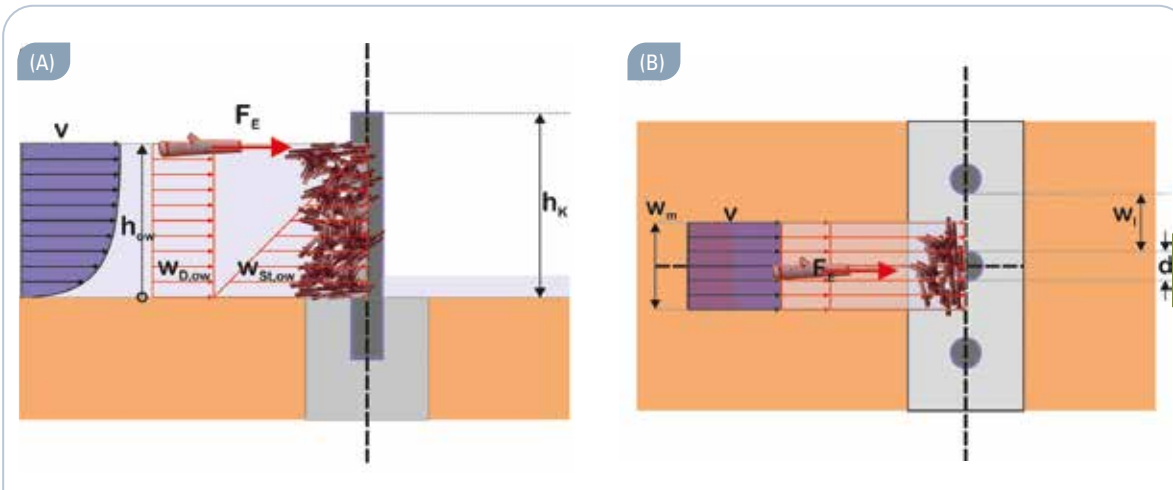


Abbildung 5: (A) Seitenansicht für die Lastfälle Einzelbaumanprall und Anprall Holzpaket. (B) Draufsicht auf die Lastfälle Einzelbaumanprall und Anprall Holzpaket

Figure 5: (A) Side view for the load cases single tree impact and impact wood package. (B) Plan view on the load cases single tree impact and impact wood package

Varianten

Der im Konstruktiven Projekt geplante und im Modellversuch ausgeführte Rechen wurde nach den Versuchen V1 und V2 (Abbildung 6 A und B) im Einlaufbereich optimiert und weitere Versuche mit dem HQ100 durchgeführt. Dabei wurde die

Neigung der Einlaufschwelle reduziert und somit die Anströmung auf die an die Schwelle anschließenden Rechenelemente im oberen Bereich verringert. Bei den zwei Varianten (VO und VO1) wurde der Rechen nicht bis über den gesamten Abflussquerschnitt des Hauptschlusses gezogen (Abbildung 6 C und D).

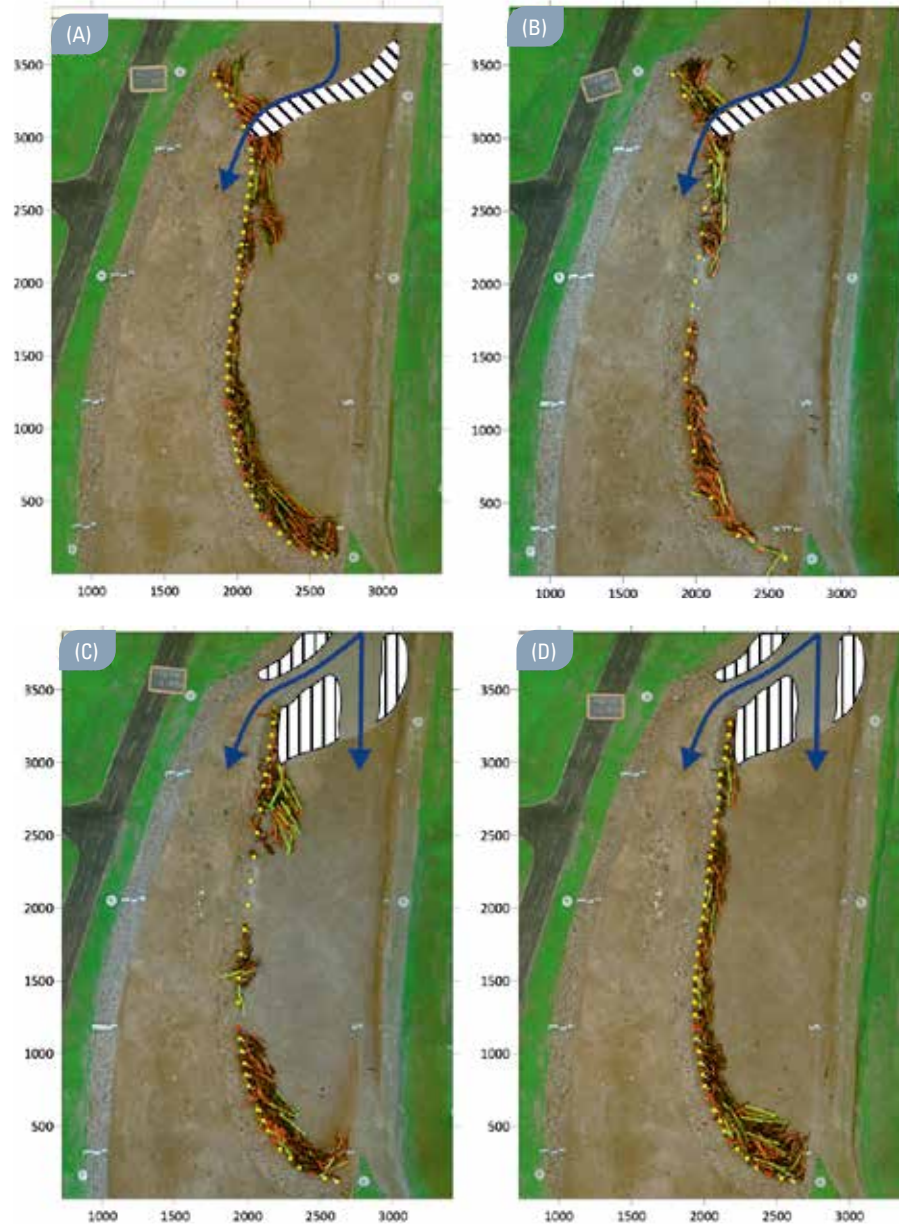


Abbildung 6: (A) Variante 1 (V1) mit Einlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m. (B) Variante 2 (V2) mit Einlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 4,5 m. (C) Optimierte Variante (VO) mit abgeflachter Einlaufschwelle und variablem Stababstand. (D) Optimierte Variante 1 (VO1) mit einer abgeflachten Einlaufschwelle und einem lichten Stababstand von 2 m.

Figure 6: (A) Setup 1 (V1) with inlet sill and a bar distance of 2 m. (B) Setup 2 (V2) with inlet sill and a bar distance of 4.5 m. (C) Optimized setup (VO) with flattened inlet sill and variable bar spacing. (D) Optimized setup 1 (VO1) with a flattened inlet sill and a bar distance of 2 m.

Variante	Abbildung 6	Stababstand (m)	Stabanordnung	Anzahl Stäbe (Stk.)	Einlaufbereich	Untersuchter Abfluss
V1	(A)	2,0	s-förmig	45	Schwelle	HQ1, HQ5, HQ30, HQ100, HHÜL
V2	(B)	4,5	s-förmig	23	Schwelle	HQ1, HQ5, HQ30, HQ100, HHÜL
VO	(C)	Variabel	j-förmig, nicht über den gesamten Abflussquerschnitt	32	Abgeflachte Schwelle	HQ100
VO1	(D)	2,0	j-förmig, nicht über den gesamten Abflussquerschnitt	42	Abgeflachte Schwelle	HQ100

Tabelle 1: Zusammenfassung der vier getesteten Varianten

Table 1: Summary of the four tested setup variations

Ergebnis

Durch die Modifikation der Einlaufschwelle konnte bei der optimierten Variante VO1 das Holz gleichmäßig entlang der Rechenlinie zur Ablagerung gebracht werden. An den Rechenelementen im Bereich der Einlaufschwelle können dadurch große Wildholzablagerungen vermieden werden.

Obwohl sich die Rechenlinie bei dieser Variante nicht über den gesamten Gewässerquerschnitt erstreckt, (Abbildung 6 D) sind die Ergebnisse bezüglich der Durchlässigkeit ähnlich gut wie bei der Variante V1 (Abbildung 7).

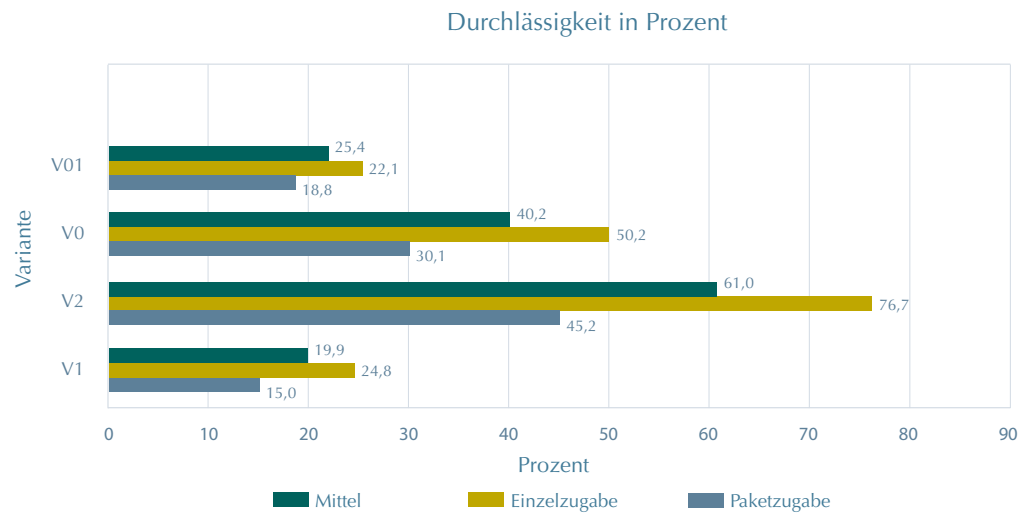


Abbildung 7: Zusammenfassung der Durchlässigkeit der vier untersuchten Varianten beim HQ100

Figure 7: Effectivity of the four tested setup variations with a discharge of a 100 years recurrence interval

Der große Vorteil gegenüber der Variante V1 liegt dabei in der vollständigen ökologischen Durchgängigkeit des Hauptschlusses bei Abflüssen bis zum MHQ (rund 32 m³/s), erst dann wird der Nebenschluss aktiviert. Durch die geänderten Strömungsbedingungen werden dann nur noch geringe Mengen Wildholz durch den offenen Bereich im Hauptschluss abtransportiert.

Bezüglich Lagerungsdichte konnten die Werte in der Literatur (zwischen 2 und 5) durch den Modellversuch bestätigt werden. Mit einer mittleren Lagerungsdichte von 2,2 liegt das Ergebnis zwar im unteren Bereich, dies ist aber durch die Art des zugegebenen Wildholzes (geradschaftig, ohne Verzweigung und astfrei) zu erklären. Das Holz kann sich daher mit nur wenigen Zwischenräumen aneinander lagern.

Die betrachteten vier Pegelstände weisen deutliche Überhöhungen durch den Rückstau im Nebenschluss auf, wobei die Aufstauhöhe in Fließrichtung in Richtung Rechenende zunimmt. Die Holzverkläusung ist im unteren Bereich dichter als im oberen. Beim Profil 4 (Abbildung 2) beträgt der Höhenunterschied des Wasserspiegels zwischen Haupt- und Nebenschluss beim HQ100 rund 1,50 m (Abbildung 8). Der Wasserspiegel reicht dabei fast bis an die angrenzende Forststraße. Es ist daher zu überlegen, ob die Forststraße im unteren Rechenbereich durch einen Damm gesichert werden soll. Selbiges ist auch im Bereich der Zugabestrecke anzudenken.

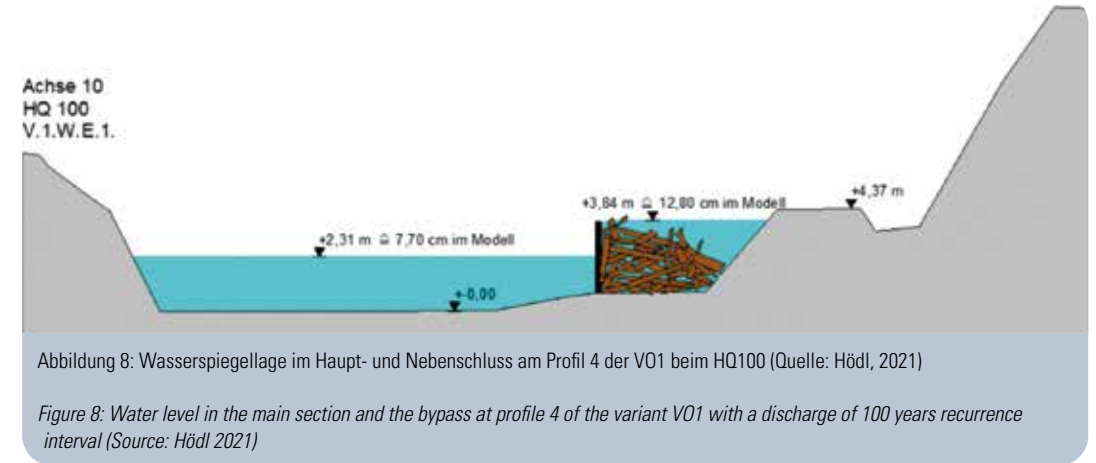


Abbildung 8: Wasserspiegellage im Haupt- und Nebenschluss am Profil 4 der V01 beim HQ100 (Quelle: Hödl, 2021)

Figure 8: Water level in the main section and the bypass at profile 4 of the variant V01 with a discharge of 100 years recurrence interval (Source: Hödl 2021)

Die errechneten Momente für die Lastfälle Einzelbaumanprall und Anprall Holzpaket werden im IAN Report 208 vorgestellt.

Anschrift der Verfasser/Authors' addresses:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johannes Hübl
 Universität für Bodenkultur Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
 johannes.huebl@boku.ac.at

Dipl.-Ing. Markus Beck
 Universität für Bodenkultur Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
 markus.beck@boku.ac.at

Amtsdir. Ing. Friedrich Zott
 Universität für Bodenkultur Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
 friedrich.zott@boku.ac.at

Bakk. techn. Johannes Hödl
 johanneshoedl@gmx.at

Literatur/References:

HÖDL J. (2021): Optimierung eines Wildholzrechens an der Naarn. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien (unveröffentlicht).

KLINGER C., und PÖCHACKER R. (2019): Technischer Bericht – Wildholzrechen Naarn. Universität für Bodenkultur, Wien (unveröffentlicht).

Nicole Kamp, Franz Langegger:

Entwicklung von QGIS-Werkzeugen für tägliche Arbeitsabläufe am Beispiel einer Reichweitenabschätzung mittels Pauschalgefälleansatz gem. ÖROK (2015)

Seite 260

Felix Oesterle, Anna Wirbel, Matthias Tonnel, Jan-Thomas Fischer:

AvaFrame, Aktueller Stand und Ausblick

Seite 266

Andreas Huber, Bernhard Gems, Felix Oesterle, Matthias Granig:

3D-numerische Modellierung der An- und Umströmung von Seilbahnmasten durch Fließprozesse mit Flow-3D

Seite 270

Anna Heuberger, Ingrid Reiweger:

Stabilitätstests zur Bewertung von Lawinengefahr für Helikopterskiunternehmen

Seite 274

Marc Adams, Christian Demmler, Philipp Knab, David Hasko:

Drohngestützte Lawinensprengung und -kartierung

Seite 276

ÖWAV-Arbeitsbehelf 63:

Holz in und an Fließgewässern – Wildholzmanagement

Seite 282

Entwicklung von QGIS-Werkzeugen für tägliche Arbeitsabläufe am Beispiel einer Reichweitenabschätzung mittels Pauschalgefälleansatz gem. ÖROK (2015)

Einleitung

Die GIS-Software QGIS, die nun schon seit einigen Jahren im Bereich von Naturgefahren erfolgreich eingesetzt wird, ist ein im Jahr 2002 gestartetes GIS-Programm zum Betrachten, Bearbeiten und Erfassen von räumlichen Daten. Bei diesem Softwareprodukt handelt es sich um eine freie Software (GNU General Public Licence (GPL)). Das bedeutet, dass dieses Programm frei verwendet, aber auch verändert werden kann. QGIS bietet eine Programmierschnittstelle die es ermöglicht, bereits vorhandene QGIS-Funktionalitäten aber auch Funktionalitäten von anderen Softwareprodukten aus (e.g. ArcGIS/ ESRI Inc.) und außerhalb der GIS-Welt in eigene Workflows zu integrieren. Komplexe Prozessabläufe aus unterschiedlichen Aufgabebereichen können so in einem kontrollierten Umfeld automatisiert und immer wiederkehrende Arbeitsaufgaben schneller abgearbeitet werden. Damit können neue Werkzeuge erstellt werden, die noch nicht in die QGIS Standard-Installation integriert sind. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist die Nachvollziehbarkeit von Abläufen in einem kontrollierten Umfeld, um durch Reduktion von manuellen Arbeitsschritten adäquate Ergebnisse erzielen zu können. Diese GIS-Werkzeuge können in QGIS entweder mit C++ oder mit Python (PyQt) programmiert werden.

Neben einer starken GIS-Software inklusive Programmierschnittstelle und einer Programmiersprache wie Python zum Automatisieren von Arbeitsabläufen ist eine flächendeckende Verfügbarkeit von hochwertigen, räumlichen Daten essentiell für das Erstellen von neuen Werkzeugen. Hierbei gilt vor allem das digitale Geländemodell (DGM) für Fragestellungen aus dem Bereich Naturgefahren als wichtigste Datengrundlage.

Am Beispiel der Reichweitenabschätzung des flächigen Wirkungsbereichs von Sturzprozessen soll in diesem kurzen Praxisbericht demonstriert werden, wie eine derartige Aufgabenstellung mittels QGIS und Python als benutzerfreundliche QGIS-Anwendung umgesetzt werden kann.

Grundlagen

Geoprocessing mit Python

Unter Geoprocessing versteht man das programmatische Lesen, Darstellen, Analysieren und Modellieren von räumlichen Daten (Vektor- und Rasterdaten). Unterschiedliche GIS-Werkzeuge werden miteinander verkettet um somit komplexe Arbeitsabläufe automatisieren zu können. Die Programmiersprache Python gilt vor allem in Bezug auf Geodaten als wichtiges Hilfsmittel und ist aus dem Bereich Geoprocessing nicht mehr wegzudenken. Python ist eine universell einsetzbare Programmiersprache, die Anfang der 90er Jahre von Guido van Rossum entwickelt und nach der englischen Komikertruppe Monty Python benannt wurde. Python ist im Vergleich zu anderen Programmiersprachen relativ leicht zu erlernen, arbeitet stabil und plattformübergreifend und ist einfach integrierbar. Wie auch QGIS wird Python von einer großen Benutzergemeinschaft verwendet und ist dadurch über unzählige Tutorials und Hilfestellungen relativ einfach über das Selbststudium erlernen und anwendbar (QGIS User Guide, 2021; Garrard, 2016). Mit Python können komplexe räumliche Analysen in einfach bedienbare QGIS-Werkzeuge

verpackt werden um alltägliche und zeitintensive Arbeitsabläufe zu automatisieren. Für die Anwendung derartiger Werkzeuge sind keine speziellen GIS-Kenntnisse nötig.

Geländeanalysen

Neben einer Vielzahl von unterschiedlichen Analysemethoden gehören Geländeanalysen zu den wichtigsten Analysemethoden im Bereich Naturgefahren. Die Grundlage dafür bilden digitale Geländemodelle, abgekürzt DGM (Hengl und Evans, 2009). Diese DGMs repräsentieren die Geländeoberfläche und werden aus den Höheninformationen des Bodens mithilfe verschiedener Algorithmen interpoliert (TIN, IDW, Kriging, Natural Neighbor, etc.) und im Rasterformat (ESRI Grid, GeoTiff, etc.) abgespeichert und weiterverarbeitet. Neben der gängigen Erfassungsmethode von Geländehöheninformationen mittels Laserscanner (LiDAR), gibt es auch die Möglichkeit aus Luftbildern (Flugzeug, Helikopter oder Drohne) mittels Dense Image Matching Höhendaten zu generieren. Mit dieser Technik können über gängige Algorithmen aus der Photogrammetrie aus zweidimensionalen Bilddaten dreidimensionale Punktdaten generiert werden (Westoby et al., 2012; James und Robson, 2012; Fonstad et al., 2013). Beim Dense Image Matching können allerdings Höheninformationen des Bodens z.B. unter einem dichten Wald nicht herausgefiltert werden. Deshalb eignet sich diese Technik nur für vegetationsfreie Flächen.

Mithilfe von Geländeanalysen können aus DGMs topografische Informationen über Geländeform, Neigung, Rauigkeit, etc. abgeleitet oder zwei

Geländemodelle miteinander verglichen werden. Dabei werden die einzelnen Rasterzellen analysiert und auf Basis von Nachbarschaftsanalysen Relationen zueinander abgeleitet. Dabei gilt, dass die Qualität, Rasterauflösung und Genauigkeit des zugrundeliegenden DGMs ausschlaggebend für die Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse ist (Hengl und Evans, 2009; Wilson und Gallant, 2000).

Komplexe Geländeanalysen, die mit unzähligen Arbeitsschritten, einem hohen Zeitaufwand und einem gewissen technischen Knowhow verbunden sind, können mit Python automatisiert und somit Arbeitsabläufe für den Bearbeiter vereinfacht und beschleunigt werden.

Pauschalgefälleansatz gem. ÖROK (2015)

Über den Pauschalgefälleansatz kann die Reichweite und damit der flächige Wirkungsbereich von Sturzprozessen in Felswänden grob abgeschätzt und im regionalen Maßstab für Gefahrenhinweiskarten eingesetzt werden. Ein geometrisches Gefälle von $\geq 30^\circ$ wird als Standardwert angenommen, kann aber in Gebieten mit speziellen gebietspezifischen Kenntnissen in Anlehnung an ÖROK (2015) angepasst werden. Diese Reichweitenabschätzung dient der ersten Einschätzung des Gefahrenpotentials durch Sturzprozesse und verlangt neben dem potentiellen Ablösebereichs genaue Informationen über die Topographie und Bodenbeschaffenheiten. Die Topographie wird in digitalen Geländemodellen abgebildet. Für eine genauere Modellierung von Sturzprozessen sind weitere Parameter wie Energie oder Sprunghöhe zu ermitteln (ÖROK, 2015; Mölk et al., 2017).

Methodik

Im konkreten Beispiel der Reichweitenabschätzung mittels Pauschalgefälleansatz (SteinschlagTool) wird mithilfe von Python und QGIS unter Einbeziehung von GIS- und Geländeanalysen eine grobe Abgrenzung der Reichweite von Sturzprozessen berechnet.

Umsetzung im QGIS mit PyQt

Die Datengrundlage bzw. Eingangsparameter bilden einerseits das auf Airborne Laserscanning-Daten basierende DGM (ALS-DGM) mit 1 Meter Auflösung und andererseits die Abfragelinie (Abrisskante; Shape-Linie) im Vektorformat. Zusätzlich kann entweder das festgelegte Pauschalgefälle von 30° gewählt oder dieser Wert selbst bestimmt werden (siehe Abb. 1).

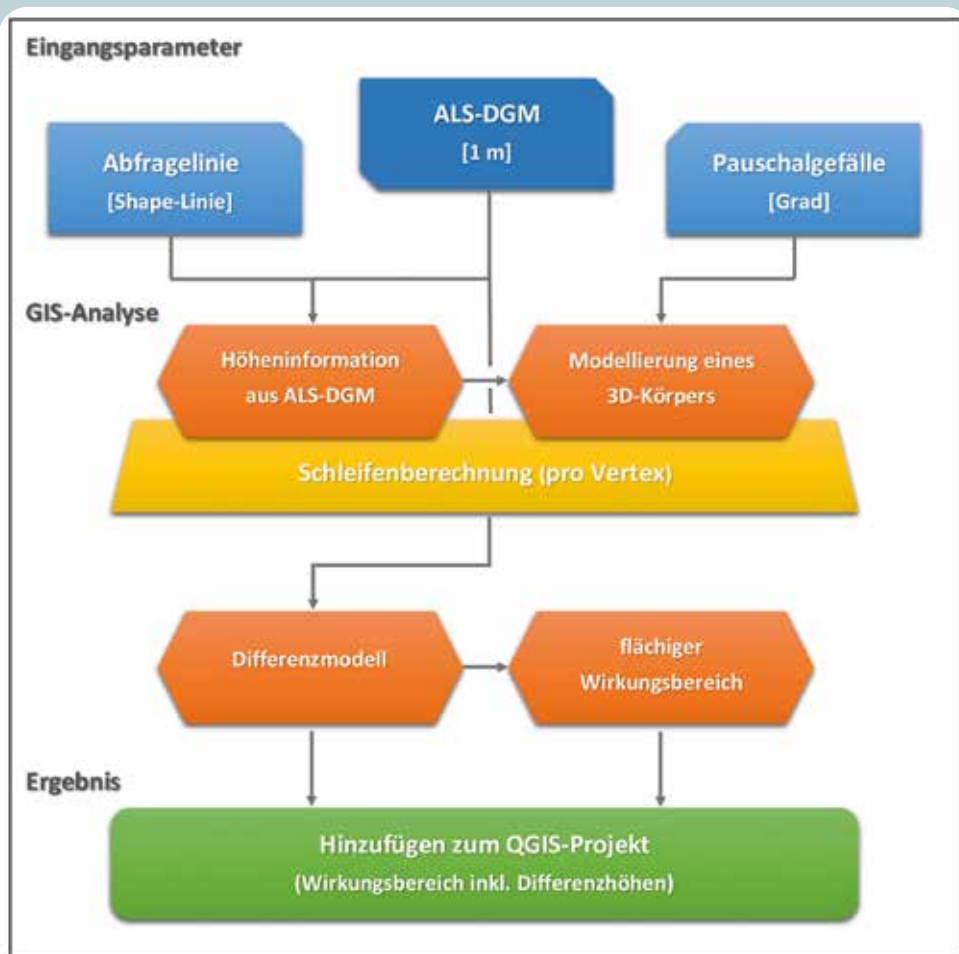


Abbildung 1: Schematische Darstellung des GIS-basierenden Pauschalgefälleansatzes

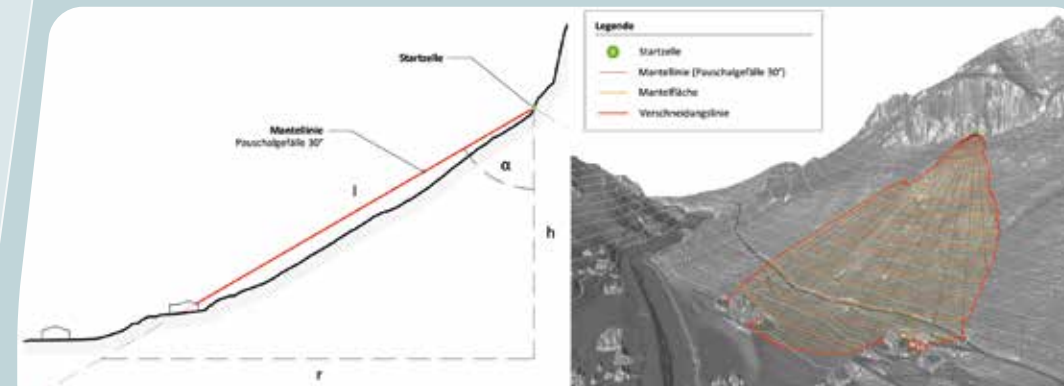


Abbildung 2: Schnitt [links] und 3D-Darstellung [rechts] des flächigen Wirkungsbereichs eines Sturzprozesses

Die genaue Höhe der einzelnen Vertices (Stützpunkte – spezielle Punkte, die die Geometrie von Vektordaten beschreiben) der Abfragelinie wird mittels des DGMs ermittelt. Danach wird über eine Schleifenberechnung für jeden einzelnen Stützpunkt dieser Linie ein dreidimensionaler Kegel berechnet.

Für die geometrische Form wird zunächst der Winkel α (Gl. (1)), die Höhe h (Gl. (2)) und der Radius r (Gl. (3)) ermittelt (siehe Abb. 2), um daraus in weiterer Folge den 3D-Kegel modellieren zu können. Für die Länge l wird 1000 m angenommen. Dieser Wert wurde frei gewählt unter der Annahme, dass der flächige Wirkungsbereich eine Ausdehnung von 1000 m nicht überschreitet.

$$\alpha = 90^\circ - \text{Pauschalgefälle} \quad \text{Gl. (1)}$$

$$h = \cos \alpha \cdot l \quad \text{Gl. (2)}$$

$$r = \sin \alpha \cdot l \quad \text{Gl. (3)}$$

Jeder 3D-Kegel wird dann über eine lineare Interpolation zu einem künstlichen Modell trianguliert. Durch Differenzierung der künstlich generierten Modelle

mit dem DGM und der anschließenden Zusammenführung der einzelnen Ergebnisse zu einem Gesamtmodell wird der flächige Wirkungsbereich ermittelt.

Ergebnisse

Im QGIS kann der Workflow über die Verarbeitungswerkzeuge mittels benutzerfreundlicher Eingabemaske gestartet werden (siehe Abb. 3). Eine Abfragelinie, das Geländemodell (ALS-DGM), Pauschalgefälle und Ausgabe-Ordner werden für das erfolgreiche Ausführen des Werkzeugs benötigt. Je nach Größe des untersuchten Gebiets dauert der Prozess ein paar Sekunden bis einige Minuten. Die Ergebnisdaten sind der flächige Wirkungsbereich in Form eines Polygon-Shapes und das Differenzmodell (Differenz zwischen 3D-Kegel und DGM), die automatisch dem QGIS-Projekt hinzugefügt werden (siehe Abb.1 und 3). Auf Basis von bestehenden Untersuchungen konnten die Ergebnisse und somit auch die gute Anwendbarkeit des SteinschlagTools verifiziert werden. Die Validierung der Eingangsparameter und Ergebnisse sollte in Abstimmung mit den jeweiligen Fachexperten erfolgen.



Abbildung 3:
QGIS Eingabemaske

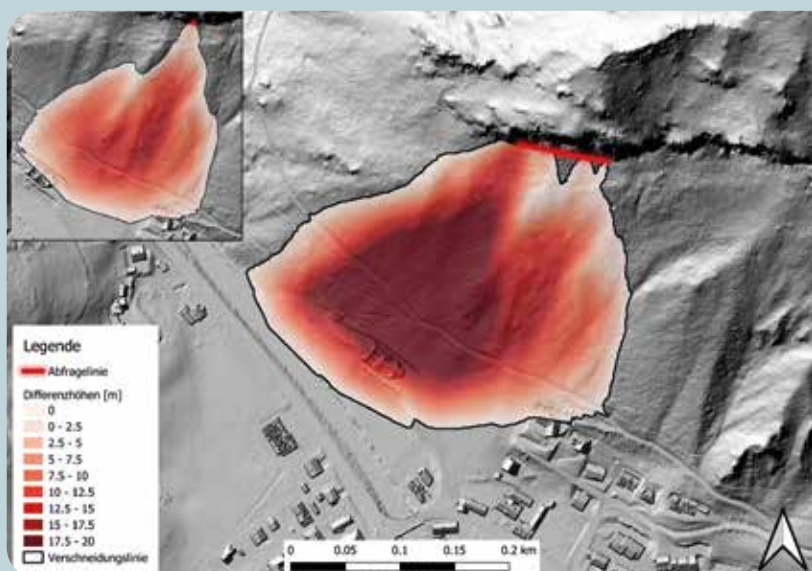


Abbildung 4:
Ergebnisse – flächiger
Wirkungsbereich inklusi-
ve Differenzmodell:
[links oben] für einen
einzelnen Stützpunkt
(ohne Maßstabsbezug)
und [rechts] für eine
Abfragelinie

Zusammenfassung und Ausblick

Am Beispiel des SteinschlagTools (Reichweitenabschätzung mittels Pauschalgefälleansatz) wird gezeigt, dass Arbeitsabläufe mithilfe von Python und eines gewissen GIS- und Programmier-Knowhows problemlos automatisiert werden können. Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass nicht jeder Arbeitsschritt von einem Computer abgearbeitet werden kann und das menschliche Gehirn und ein spezielles empirisches Wissen oft nicht ersetzt werden können. Allerdings kann die eine oder andere Automatisierung von Prozessen die Anwender bei ihren täglichen Arbeiten unterstützen. Deshalb sind in Zukunft neben dem Steinschlag und dem KubaturTool (Kamp et al., 2018), das ebenfalls bereits in QGIS implementiert wurde, weitere QGIS-Werkzeuge als Teil der pyAlpineRisk Werkzeugpalette geplant. Dazu gehören unter anderem ein ChangeDetectionTool zur Analyse von Geländeänderungen und Ermittlung des Differenzvolumens auf Basis multitemporaler Geländemodelle (Krenn et al, to be submitted) unter Berücksichtigung von gewissen Unsicherheiten in den Modellen (Kamp et al, to be submitted). Diese pyAlpineRisk Werkzeuge sind Teil des Dissertationsprojekts der Autorin.

Anschrift der Verfasser:

Nicole Kamp
Universität Graz – Institut für
Geographie und Raumforschung
Körbnergasse 15/5/33, 8010 Graz
niki.kamp@gmail.com

Franz Langegger
Wildbach- u Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Steiermark Ost
Ziegelofenweg 24, 8600 Bruck an der Mur
franz.langegger@die-wildbach.at

Literatur:

FONSTAD M.A, DIETRICH J.T., COURVILLE B.C., JENSEN L. und CARBONNEAU P.E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms* 38(4): 421–430.

GARRARD C. (2016). *Geoprocessing mit Python*. Manning Publications Co. New York: 15–34.

HENGL T. und EVANS I.S. (2009). *Mathematical and Digital Models of the Land Surface*. in: Hengl T. und Reuter H. (Hrsg.). *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam und Oxford: 31–63.

JAMES M.R. und ROBSON S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research* 117(F3): F03017.

KAMP N., LANGEGER F., FUNDER M. (2018). Naturgefahrenmanagement von Alpinen Wildbacheinzugsgebieten: Konzeption, Implementierung und Validierung von pyAlpineRisk. in: Wildbach- und Lawinenverbauung (Hrsg.). *Sperrenbau – Sperrentypen – Erosions- und Steinschlagschutz. Schutz vor Naturgefahren - Ökologische Aspekte*. 182: 356–367.

KAMP N., LANGEGER F. (2018). GIS-Tool zur Ermittlung des Stauraumes von Geschiebesperren und Hochwasserrückhaltebecken. in: Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung (Hrsg.). *Sperrenbau – Sperrentypen – Sperrenfunktionen*. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. 181: 324–327.

KAMP N., KRENN P., AVIAN M. (to be submitted). Comparability of Multi-Temporal DTMs derived from different LiDAR Platforms: Error Sources and Uncertainties in the Application of Geomorphic Impact Studies.

KRENN P, KAMP N, PESSENTEINER S, SASS O. (to be submitted). Analysing geomorphic impacts of an extreme precipitation event on a torrential catchment in Upper Styria (Austria) using Unmanned-Aerial-Vehicle borne laser scanning (ULS).

MÖLK M., ENGL D., SAUSGRUBER J. (2017). Ausgewählte Modelle für Sturzprozesse und Hangbewegungen. Forsttechnischer Dienst der Wildbach und Lawinenverbauung.

ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ (ÖROK) (Hrsg.) (2015). ÖREK Partnerschaft: Risikomanagement von gravitativen Naturgefahren in der Raumplanung. Wien. ÖROK Schriftenreihe 193.

QGIS User Guide (2021). https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing/console.html
Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J., und Reynolds J.M. (2012). "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179: 300–314.

WILSON J. P., GALLANT J. C. (2000). Digital Terrain Analysis in Terrain Analysis: Principles and Applications. in: Gallant J. C., Wilson J. P. (Hrsg.). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons.: 1–27.

FELIX OESTERLE, ANNA WIRBEL, MATTHIAS TONNEL, JAN-THOMAS FISCHER

AvaFrame, aktueller Stand und Ausblick

Einleitung

Im Alpenraum bestehen unterschiedliche Ansprüche an die Nutzung von Flächen: Zum Beispiel will die Bevölkerung dort wohnen, die Landwirtschaft den Boden für Kulturen nutzen, die Energiewirtschaft Stromtrassen bauen und Firmen dort ihre Niederlassungen ansiedeln. Dieser Lebens- und Wirtschaftsraum sowie die Infrastruktur müssen gegen Lawinengefahren geschützt werden, dies ist eine prioritäre Sicherheitsaufgabe im öffentlichen Interesse. Rund 750.000 Euro aus dem Lawinenschutzpaket 2019 werden in die digitale Entwicklungsoffensive „AvaFrame“ investiert. Die Gefahrenanalyse für Lawinprozesse erfordert mittlerweile den Einsatz von komplexen Computersimulationen, deren Weiterentwicklung sowohl den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen als auch den wachsenden Ansprüchen der Ingenieurpraxis folgen muss. AvaFrame – kurz für 'The open Avalanche Framework' – ist ein Kooperationsprojekt des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), vertreten durch die Wildbach- und Lawinenverbauung (WLW), und dem Bundesforschungszentrum für Wald (BFW). Es hat die gemeinsame Weiterentwicklung der österreichischen Lawinensimulationsmodelle zum Ziel. Beide Partner bringen ihr Erfahrungswissen, einerseits aus der Wissenschaft und andererseits aus der Ingenieurpraxis im Umgang mit Lawinen ein. Das Projekt AvaFrame dient zur Unterstützung bei der Gefahrenzonenplanung, der Planung und Dimensionierung von Schutzmaßnahmen und öffnet neue Türen für weitere Anwendungen unter Einbeziehung von aktuellen Entwicklungen.

Ziele – Open Source Entwicklung

Das Projekt AvaFrame hat konkret zum Ziel:

Ein funktionierendes OpenSource-Framework (gemäß European Union Public Licence (EUPL)) für Lawinensimulationen zu entwickeln, das die derzeitige Arbeit der WLW abbildet, erleichtert und zugänglich macht. (Auszug aus dem Kooperationsvertrag)

Somit wird in dieser Phase eine mittel- bis langfristige Verbesserung der implementierten Modelle sowie deren Verfügbarkeit als zukunftsorientiertes Simulationswerkzeug sichergestellt und eine Vereinfachung für die Arbeitsabläufe der Praxis angestrebt. Das Framework ist außerdem so aufgestellt, dass es für wissenschaftliche Entwicklung von Forschungszentren und in der akademischen Ausbildung verwendet werden kann. Damit wird die Integration neuester Entwicklungen in den operationellen Betrieb nach einer Testphase in einer nachvollziehbaren und transparent geprüften Weise ermöglicht.

Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass der gesamte Projektfortschritt inklusive Sourcecode und Dokumentation jederzeit online einsehbar ist (siehe Homepage <https://avaframe.org>, <https://github.com/AvaFrame/avaframe> und <https://docs.avaframe.org> für weitere Informationen).

Inhalte

Um eine möglichst einfache und breite Anwendbarkeit zu bieten, wird AvaFrame hauptsächlich in Python programmiert und in vielfältig einsetzbare Module aufgeteilt: Inputmodule, Berechnungsmodule, Analysemodule, Darstellungsmodule und Protokollmodule. Diese Modulgruppen beinhalten:

1. **Inputmodule:** Anbindung QGIS (Geodatenhandling), Prozessierung der Geodaten für die Lawinensimulation
2. **Berechnungsmodule:** Fließlawine basierend auf SamosAT Fließdynamik, klassisches 1D Voellmy, statistisches Modell AlphaBeta.
3. **Analysemodule:** Ergebnisse der Fließmodelle (PFD, PPR, PV), Aufpralldrücke und Auslauflängen (AIMEC), Validierungstests, Referenzlawinen, Probabilistik/ Wahrscheinlichkeitsaussagen, Kalibrierung (Parameteroptimierung).
4. **Darstellungsmodule:** Schnittstelle zu QGIS, Ergebnisdarstellung mit Gelände (3D), Analyse der Ergebnisse entlang des Lawinenpfades (2D).
5. **Protokollmodule:** Simulationsprotokoll, Berichtserstellung.

Die Idee ist, dass in Zukunft neue Entwicklungen, aktuell benötigte Module oder besondere Fragestellungen hinzugefügt werden können, diese dann auf die bestehende Grundstruktur zurückgreifen und einen direkten Vergleich ermöglichen.

Aktueller Stand

Nach dem ersten halben Jahr seit Projektbeginn gibt es bereits Einiges zum Projektfortschritt zu berichten:

Die Grundstruktur der Programmierung steht: die Basisroutinen für Input/Output/automatische Analyse und Grafiken sind programmiert und anwendbar. Ein Fließlawinenmodul, welches die Ergebnisse von SamosAT reproduziert, wurde in Zusammenarbeit mit der AVL Graz fertiggestellt und ist als Referenz einsetzbar. Dies ist wichtig, um die Qualität und Anwendbarkeit neuer Simulationsmodule sicherzustellen. Bisher wurden zwei Versionen veröffentlicht, wobei die Version 0.1 die Grundstruktur beinhaltet und die Version 0.2 sich vor allem auf das Testen konzentriert.

Es wurde eine Reihe von Tests erarbeitet, wobei diese sowohl generische als auch reale Topographien beinhalten. Diese Tests werden verwendet, um sicherzustellen, dass neue Entwicklungen im Einklang mit existierenden Lösungen sind. Sie dienen auch als Werkzeug, um die numerische Implementierung zu überprüfen, interne Vergleiche anzustellen und damit die konstante Qualität der Entwicklung zu sichern. Abbildung 1 zeigt eine Auswahl generischer Topographien, die sich an typischen Ausmaßen von Großlawinen orientieren und mit verschiedenen Anbruchszenarien versehen sind. Je nach Zielsetzung der Tests stehen auch kanalisierte oder flächige Versionen eines Lawinenpfades zur Verfügung sowie Entrainment- und Widerstandsgebiete.

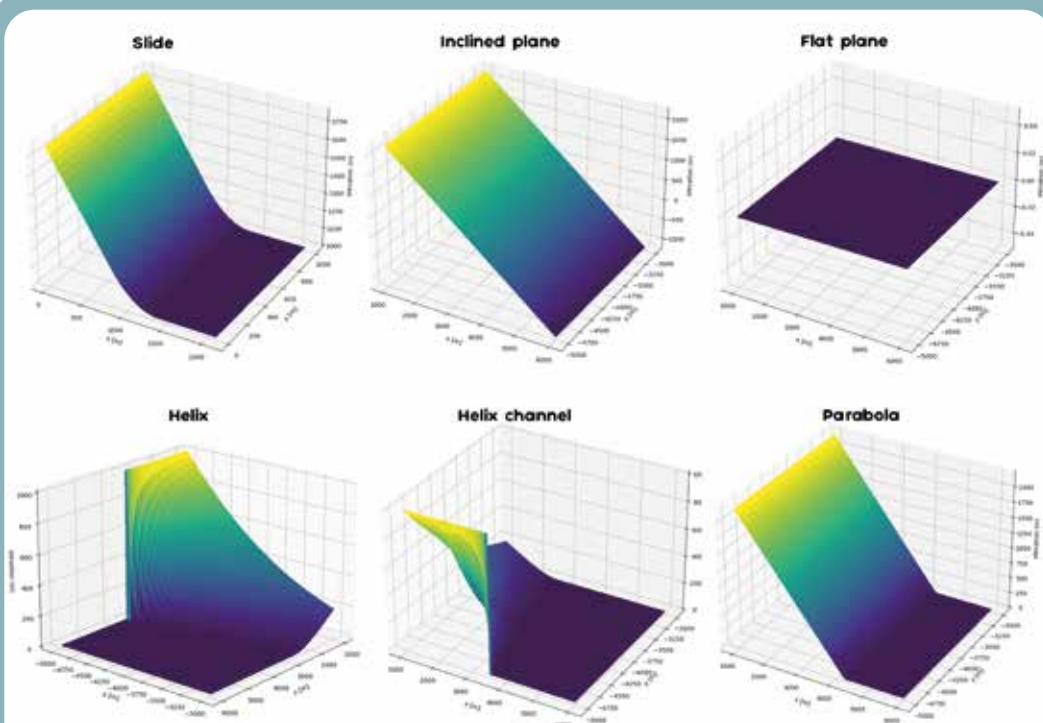


Abbildung 1: 3D-Darstellungen generischer Test-Topographien.

Die Variabilität der Topographien spiegelt sich auch in der Auswahl der realen Referenztopographien wieder (siehe Abbildung 2). Es finden sich eine Auswahl an realen Lawinen mit unterschiedlichen Eigenschaften um verschiedene topographische Aspekte (unterschiedliche Fallhöhen, Geländeformen) abzudecken. Auch hier werden wieder verschiedene Anbruch- und Entrainmentszenarien berücksichtigt. Alle hier gezeigten Topographien beruhen auf Open-Access Daten und sind daher frei zugänglich.

Zusätzlich zu diesen lawinen-bezogenen Tests werden Spezialtests entwickelt, wie z.B. symmetrische Lawinenabgänge auf einer 1000m hohen Pyramide. Diese dienen vor allem dazu, einzelne Aspekte der Programmierung zu testen, in diesem Fall, dass die Simulation in allen Richtungen das gleiche Ergebnis produziert.

Ausblick

Ein großer AvaFrame-Meilenstein ist für Sommer 2021 geplant: Ein erster Prototyp, inklusive des neuen Fließlawinenmoduls und des Alpha-Beta Moduls, wird eine Testphase mit Hilfe des operationellen Teams der WLV durchlaufen. Weiters werden Kooperationen mit nationalen und internationalen Forschungs- und Praxispartnern forciert, um mögliche Themen wie Nassschneelawinen, Verbauungsdynamiken, Kleinlawinen und ähnliches in akademischen Abschlussarbeiten oder Pilotprojekten zu erproben und dann an AvaFrame anzubinden.

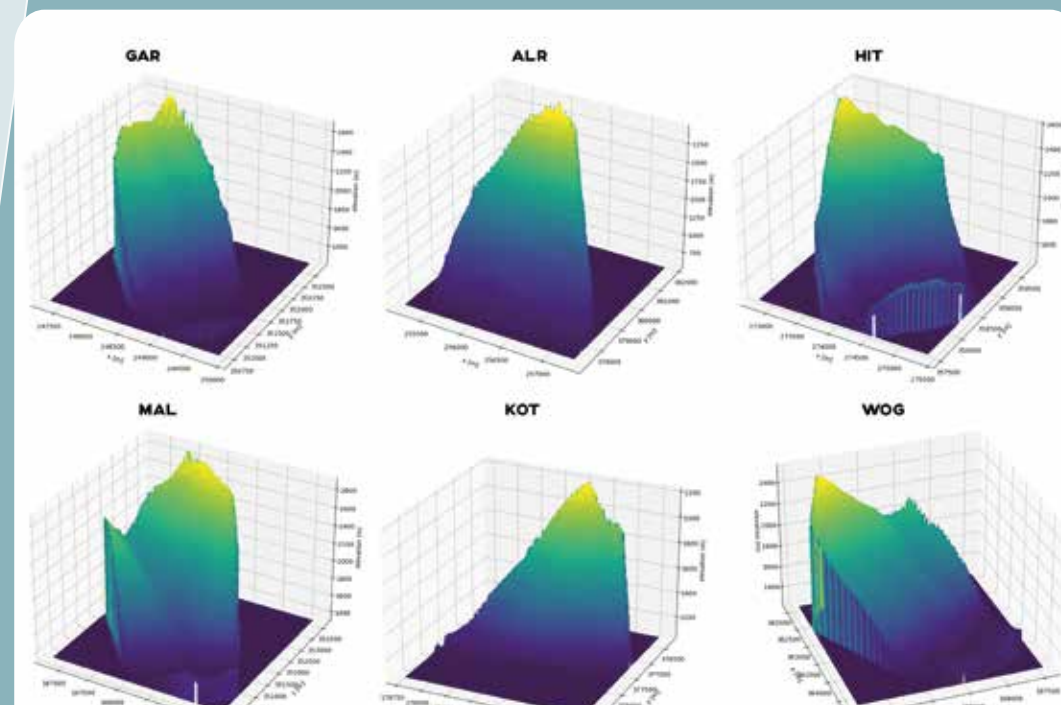


Abbildung 2: 3D-Darstellungen realer Test-Topographien. Ungefähre Seehöhenausdehnung von Maximalwert (Gelb) zu Minimalwert (Dunkelblau): GAR 1250-2650m, ALR 700-2300m, HIT 1550-2600m, MAL 1300-2850m, KOT 1100-2200m, WOG 1300-2450m.

Anschrift der VerfasserIn:

Felix Oesterle
Institut für Alpine Naturgefahren,
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien
felix.oesterle@die-wildbach.at

Anna Wirbel
Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für
Naturgefahren, Abteilung Schnee und Lawine
Hofburg, Rennweg 1, A-6020 Innsbruck
anna.wirbel@bfw.gv.at

Matthias Tonnel
Bundesforschungszentrum für Wald,
Institut für Naturgefahren,
Abteilung Schnee und Lawine
Hofburg, Rennweg 1, A-6020 Innsbruck
mattias.tonnel@bfw.gv.at

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

ANDREAS HUBER, BERNHARD GEMS, FELIX OESTERLE, MATTHIAS GRANIG

3D-numerische Modellierung der An- und Umströmung von Seilbahnmasten durch Fließprozesse mit Flow-3D

Einleitung

Seilbahnanlagen und Energieversorgungsinfrastruktur im Gebirge sind an vielen Standorten durch Lawinen und/oder Schneedruck gefährdet. Für die Bemessung von Mastbauten im lawinengefährdeten Gelände ist eine Bewertung der möglichen durch diese Prozesse einwirkenden Stauhöhen und Kräfte erforderlich. Bestehende Normen und Richtlinien in Österreich und der Schweiz (ONR 24805; Margreth et al., 2015) beinhalten Ansätze zur Abschätzung der Einwirkung von Schneedruck und Lawinen auf umströmte Hindernisse für die Praxis. Wissenschaftliche Studien und Erfahrungen aus der Praxis legen nahe, dass diese Berechnungsansätze nicht in allen Fällen uneingeschränkt angewendet werden können und in Abhängigkeit lokaler Gegebenheiten kritisch auf Plausibilität zu prüfen sind. Insbesondere die Abschätzung der Stauhöhen von Fließlawinen an umströmten, schmalen Hindernissen an Hand der Formel:

$$h_{stau} = \frac{v_f^2}{2 \cdot g \cdot \lambda} \cdot f\left(\frac{b}{d_f}\right) \quad (\text{ONR 24805}) \quad \text{Gl. (1)}$$

liefert für kleine Fließhöhen und große Fließgeschwindigkeiten sehr große Stauhöhen. Während Parameter, welche die Lawinencharakteristik beschreiben (Fließgeschwindigkeit v_f^2 , Fließmächtigkeit d_f , Stauhöhenkoeffizient λ), in die Berechnung von h_{stau} eingehen, wird die Mastgeometrie nur über das Verhältnis der Mastbreite zur Fließmächtigkeit $\frac{b}{d_f}$ berücksichtigt. Dieser Reduktionsfaktor kann beispielsweise nach Salm et al. (1990) bestimmt werden. Eine Abhängigkeit der Stauhöhe von der Grundflächenform des umströmten Hindernisses wird in der Berechnung nicht angenommen. Mit diesem Hintergrund wurden am Arbeitsbereich Wasser-

bau der Universität Innsbruck im Auftrag von und in Abstimmung mit dem Fachbereich Lawinen des Fachzentrums für Geologie und Lawinen der WLW 3D-numerische Berechnungen der An- und Umströmung von Mastobjekten mit unterschiedlicher Geometrie durch Fließprozesse durchgeführt. Die numerische Modellierung erfolgte unter Anwendung der Software Flow-3D und der vereinfachenden Annahme von Wasser ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) als Fluid. Der vorliegende Beitrag stellt die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Arbeiten und ausgewählte Ergebnisse kurz vor.

3D-numerische Modellierung – Modellkonzept und ausgewählte Ergebnisse

Um das An- und Umströmverhalten von Fließprozessen auf Mast-ähnliche Objekte unter verschiedenen Randbedingungen zu untersuchen, wurden in der Studie 3D-numerische Simulationen mit der Software Flow-3D (Flow Science Inc., 2018) durchgeführt. Als Fluid wurde dabei näherungsweise Reinwasser modelliert (1 homogenes, inkompressibles Fluid, $k - \epsilon$ Turbulenzmodell, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 0.001 \text{ kg/m s}$); verschiedene Randbedingungen (Fließgeschwindigkeit v_f , Fließtiefe bzw. -mächtigkeit h_f bzw. d_f , Neigung der schiefen Ebene ϕ) und Mastgeometrien (Tetraeder, Zylinder, Quader mit unterschiedlichen Breiten b) wurden betrachtet. Die 3D-numerischen Simulationen wurden auf einer schiefen Ebene mit variabler Neigung ϕ bei quasi-stationären Verhältnissen durchgeführt.

Das Rechnernetz in Flow-3D wurde mittels ineinander verschachtelter orthogonaler Netzblöcke ("nested mesh blocks") definiert. Direkt am Mast wurde eine einheitliche Netzaufösung von 0.1 m in

$\{x, y, z\}$ verwendet, im Nahbereich um den Mast wurde eine Auflösung von 0.2 m und für die restliche Rechendomäne 0.4 m definiert. Mit dem verwendeten Setup wurde gewährleistet, dass einerseits die Auflösung im Nahbereich des Masts ausreichend fein ist und sich andererseits die Simulationszeit je Rechenlauf auf ca. 20 h bis 36 h belief. An der oberstromigen Zuflussrandbedingung wurden unterschiedliche Fließhöhen und -geschwindigkeiten verwendet, die Simulationsdauer wurde nach vorheriger Untersuchung mit 60 s gewählt. Dadurch wurde sichergestellt, dass sich (i) gegen Ende der Simulationsdauer quasi-stationäre Verhältnisse einstellten, und (ii) ausreichende Zeitschritte für eine Mittelung fluktuierender Größen verfügbar waren.

Abbildung 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch die durchgeführten Simulationen mit den wichtigsten Kenngrößen. v_f ist die tiefengemittelte Geschwindigkeit des Fluids vor dem Mast, h_f und d_f sind die Fließhöhe bzw. Fließmächtigkeit und $h_{stau} = h_{f(\text{Mast})} - h_f$ ist die Stauhöhe am Mast. Die in Abbildung 1 dargestellten Größen wurden für ins-

gesamt 72 Simulationsläufe mit Reinwasser ausgewertet. Fließgeschwindigkeiten v_f wurden im Bereich zwischen 11.9 m/s und 32.7 m/s variiert, Fließmächtigkeiten d_f bewegen sich im Bereich zwischen 0.65 m und 4.85 m, $f\left(\frac{b}{d_f}\right)$ liegt zwischen 0.28 und 1.00.

Abbildung 2 zeigt die simulierten Stauhöhen h_{stau} für 72 durchgeführte Simulationsläufe. Es zeigt sich, dass die Mastgeometrie einen Einfluss auf die Stauhöhen hat. Die größten Stauhöhen treten bei quaderförmigen Masten auf, die geringsten bei Masten mit dreieckiger Grundfläche (Spitze entgegen der Anströmrichtung). Die Stauhöhen bei zylindrischen Masten liegen dazwischen. Für die durchgeführten Simulationen zeigt sich auch, dass die Stauhöhen zwar mit größeren Fließgeschwindigkeiten steigen, die Mastgeometrie aber einen größeren Einfluss auf die Stauhöhen hat. Für v_f größer als 25 m/s zeigt sich, dass die Werte für h_{stau} nach Norm großteils für alle Mastgeometrien höher sind als die in den Simulationen erzielten Werte. Unter 25 m/s liegen die Werte für h_{stau} aus der Simulation für Masten mit quadratischer und kreisförmiger Grundfläche teil-

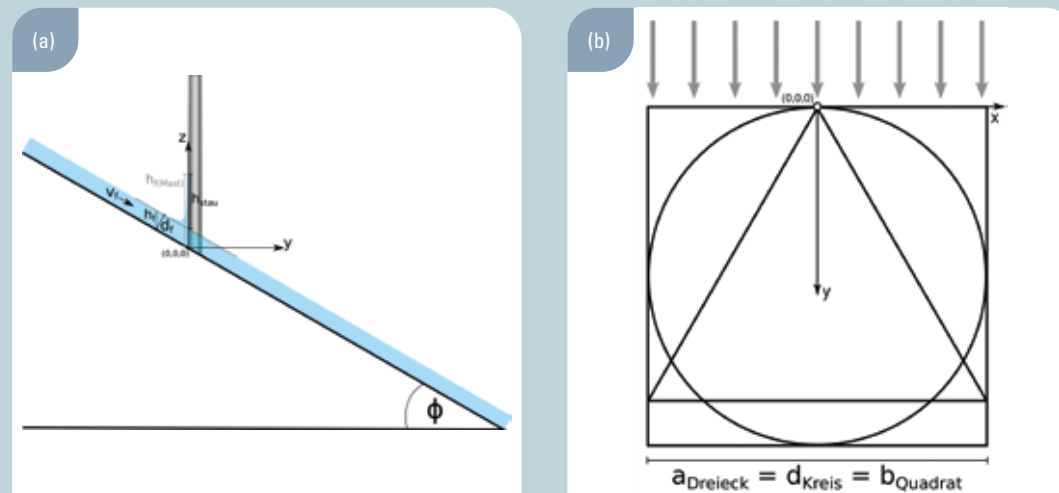


Abbildung 1: (a) Schematische Darstellung der wichtigsten Modellgrößen sowie des Koordinatensystems im Längsschnitt. (b) Grundflächen und geometrische Parameter der betrachteten lotrechten Mastgeometrien (Tetraeder, Zylinder, Quader). Die dargestellten Pfeile stellen jeweils die Anströmrichtung dar.

weise auch über den Normwerten für $\lambda = 1.5$. Für Masten mit dreieckiger Grundfläche (Spitze entgegen der Anströmrichtung) ergeben sich aus der Modellierung für alle Fälle niedrigere h_{stau} als nach ONR 24805.

Fazit und Ausblick

Für die durchgeführten 3D-numerischen Simulationen hat sich gezeigt, dass die Mastform einen bemerkbaren Einfluss auf die modellierten Stauhöhen h_{stau} am Mast hat. Die geringsten Stauhöhen werden

bei dreieckiger Grundfläche, die höchsten bei quadratischer Grundfläche der Masten modelliert; an Masten mit kreisförmiger Grundfläche bewegen sich die modellierten Stauhöhen dazwischen. Beobachtungen aus der Praxis (z.B. Hofer et al., 2018) deuten auch auf eine Abhängigkeit der Stauhöhe von der Mastform hin, Aussagen diesbezüglich müssen aber nach dem vorherrschenden Fließregime differenziert werden. In der Praxis kann zudem die Anströmrichtung nicht immer genau identifiziert werden, wie in den hier betrachteten Fällen (z.B. bei Maststandorten im Ein-

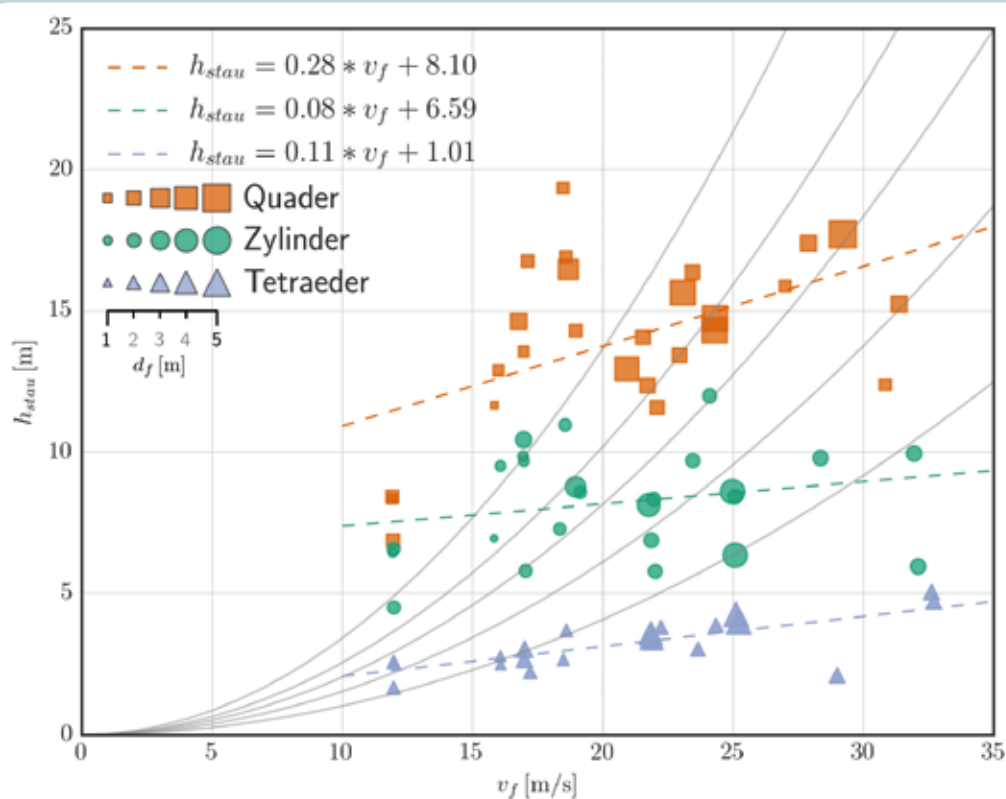


Abbildung 2: Stauhöhe h_{stau} in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit v_f für alle durchgeführten Berechnungen unter der Annahme von Wasser als Fluid ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 0.001 \text{ kg/(ms)}$). Als Referenz sind Linien der Form

$$h_{stau} = \frac{v_f^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{f(b/d_f)}{\lambda}, \text{ mit } \frac{(0.3)}{(1.5)} \leq \frac{f(b/d_f)}{\lambda} \leq \frac{(1.0)}{(1.5)}, \text{ dargestellt.}$$

Die Größe der Symbole gibt jeweils Aufschluss über die Fließmächtigkeit d_f im Nahbereich des Masts (vgl. Abbildung 1).

zugsgebiet mehrerer möglicher Sturzbahnen). In der vorliegenden Untersuchung wurde Reinwasser als Fluid modelliert. In der Realität können Fließlawinen in Abhängigkeit von Faktoren wie Temperatur, Granulation, Feuchtegehalt des Schnees, etc. ein breites Spektrum an Fließverhalten aufweisen. Die An- und Umströmung von Masten und ähnlichen umströmten Bauwerken ist in der Natur stark vom vorherrschenden Fließregime abhängig, welches oft innerhalb einer einzelnen Lawine eine große Bandbreite aufweist (vgl. Gauer et al., 2007; Sovilla et al., 2008a, b; Jóhannesson et al., 2009; Gauer und Kristensen, 2016). Eine Erweiterung der in Heil (2017) und Fischer et al. (2018) vorgestellten Untersuchungen mit Schnee unterschiedlicher Temperaturen und Fließeigenschaften in einer rotierenden Trommel zum An- und Umströmverhalten für schmale Objekte könnte hier weitere Erkenntnisse liefern.

Anschrift der VerfasserInnen:

DI Andreas Huber
Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck
Technikerstraße 13
A-6020 Innsbruck
a.huber@uibk.ac.at

Assoz.-Prof. DI Dr.-techn. Bernhard Gems
Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck
Technikerstraße 13
A-6020 Innsbruck
bernhard.gems@uibk.ac.at

Mag. Felix Oesterle
Institut für Alpine Naturgefahren,
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Straße 82
A-1190 Wien
felix.oesterle@die-wildbach.at

DI Matthias Granig
Fachzentrum Geologie und Lawinen,
Fachbereich Lawinen, Wildbach- und
Lawinenverbauung
Wilhelm-Greil-Straße 9
A-6020 Innsbruck
matthias.granig@die-wildbach.at

Literatur:

Fischer, J.-T.; Kaitna, R.; Heil, K.; Reiweger, I. (2018). The Heat of the Flow: Thermal Equilibrium in Gravitational Mass Flows. *Geophysical Research Letters*, 45(11). <https://doi.org/10.1029/2018GL079585>.

Flow Science Inc. (2018). Flow-3D®, Version 12.0, User's Manual. <https://www.flow3d.com>, Santa Fe, USA, 2018. (aufgerufen: 15. Jänner 2021)

Gauer, P.; Issler, P.; Lied, K.; Kristensen, K.; Iwe, H.; Lied, E.; Rammer, L.; Schreiber, H. (2007). On full-scale avalanche measurements at the Ryggfönn test site, Norway. *Cold Regions Science and Technology*, 49, 39-53.

Gauer, P.; Kristensen, K. (2016). Four decades of observations from NGI's full-scale avalanche test site Ryggfönn – Summary of experimental results. *Cold Regions Science and Technology*, 125, 162-176.

Heil, K. (2017). Flow Behaviour of Snow in a Rotating Drum. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien.

Hofer, B.; Schroll, L.; Illmer, D. (2018). Everyday work of an avalanche engineer – calculation of avalanche loads and protection of small objects in avalanche paths like ropeway towers. *Proceedings of the ISSW 2018 (International Snow Science Workshop, Innsbruck)*, 143-146. Innsbruck.

Jóhannesson, T.; Gauer, P.; Issler, P.; Lied, K. (2009). The design of avalanche protection dams: recent practical and theoretical developments. *Tech. rep. eur 23339*, European Commission.

Margreth, S.; Stoffel, L.; Schaer, M. (2015). Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen – Ein Leitfaden für die Praxis. *WSL-Berichte, Heft 28, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf*.

Austrian Standards Institute (ASI) (2010). ONR 24805 - Permanent technical Lawinenschutz - Benennung und Definition sowie statische und dynamische Einwirkungen, 2010-06-01.

Salm, B.; Burkard, A.; Gubler, H. (1990). Berechnung von Fließlawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitteil. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF)*, 47.

Sovilla, B.; Schaer, M.; Kern, M.; Bartelt, P. (2008a). Impact pressure and flow regimes in dense snow avalanches observed at the Vallée de la Sionne test site. *Journal of Geophysical Research*, 113, 14 pp. <https://doi.org/10.1029/2006JF000688>.

Sovilla, B.; Schaer, M.; Rammer, L. (2008b). Measurements and analysis of full-scale avalanche impact pressure at the Vallée de la Sionne test site. *Cold Regions Science and Technology*, 51, 122-137.

ANNA HEUBERGER, INGRID REIWEGER

Stabilitätstests zur Bewertung von Lawinengefahr für Helikopterskiunternehmen

Masterarbeit Heuberger 2021

Trockene Schneebrettlawinen stellen das größte Sicherheitsrisiko für den Betrieb von Helikopterskiunternehmen in Kanada dar. Wetterdaten und öffentliche Lawinenbulletins sind aufgrund der abgelegenen und weitreichenden Gebiete häufig begrenzt. Daher sind die Helikopterskibetriebe weitgehend auf Schneedeckenstabilitätstests ihrer SkiführerInnen angewiesen, um die Schneedeckenstabilität und die Lawinengefahr einzuschätzen.

Aufgrund der begrenzten zeitlichen Ressourcen während des Betriebs verwenden SkiführerInnen häufig kleinskalige Stabilitätstests wie den Schaufeltest und den Kompressionstest (Abb. 1). Bei diesen beiden Tests wird jeweils ein kleiner (schaufelgroßer), freigelegter Schneeblock von hinten bzw. von oben mithilfe einer Schaufel händisch belastet. Das Testergebnis liefert ein Maß für die Stabilität der Schneedecke an genau diesem einen Ort. Von besonderem Interesse ist jedoch die Repräsentativität des



Abbildung 1: Der Kompressionstest (Canadian Avalanche Association, 2016; Foto: Barbara Hinterstoisser).

Tests für die Beurteilung der Stabilität eines ganzen Hanges bzw. des ganzen Gebietes. Weiters interessiert uns, welcher der Tests der geeignetste zur Stabilitätseinschätzung ist.

In ihrer Masterarbeit befasste sich Anna Heuberger deshalb mit der Einschätzung der Lawinengefahr mit Hilfe von kleinskaligen Stabilitätstests. Sie führte die Messungen für ihre Masterarbeit im Rahmen ihrer SkiführerInnentätigkeit bei dem Helikopterskiunternehmen Mike Wiegele in Kanada während der Wintersaison 2019/20 durch.

Insgesamt wurden 775 Ergebnisse von Stabilitätstests untersucht und mit der tatsächlichen Lawinengefahr (basierend auf kumulierte ExpertInneneinschätzung sowie Lawinenereignisse und Alarmsignale) verglichen. Dabei zeigte sich, dass der Schaufeltest die Schneedeckenstabilität leicht überschätzt, während der Kompressionstest diese leicht unterschätzt. Allerdings korrelierten die Ergebnisse beider Tests signifikant mit der tatsächlichen Stabilität. Hierbei nehmen wir an, dass die Erfahrung sowohl bei der Interpretation des Testergebnisses, als auch bei der Wahl eines geeigneten, repräsentativen Teststandortes eine große Rolle spielen.

Zusammenfassend bestätigt die Arbeit, dass nach wie vor alle relevanten Faktoren wie frische Lawinenaktivität, Alarmsignale (Wumpf-Geräusche

und Rissbildung), größere Neuschneemengen, Wind, etc. für eine solide Einschätzung der Lawinengefahr berücksichtigt werden müssen. Es zeigte sich jedoch ebenfalls, dass eine hinreichend große Anzahl von schnellen, kleinskaligen Stabilitätstests ein ausgezeichnetes Werkzeug zur Unterstützung und Verifizierung der Stabilitätseinschätzung sind, sofern sie von gut ausgebildeten und erfahrenen Personen durchgeführt werden.

Stichwörter

Helikopterskiunternehmen, Stabilitätstests, Lawinengefahr

Anschrift der VerfasserInnen:

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

Anna Heuberger
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
anna.heuberger@students.boku.ac.at

MARC ADAMS, CHRISTIAN DEMMLER, PHILIPP KNAB, DAVID HASKO

Drohnengestützte Lawinensprengung und -kartierung

Drone-based Snow Avalanche Blasting and Mapping

Zusammenfassung:

Die Firma Höhenarbeit hat eine spezielle Hochgebirgsdrohne zur Lawinensprengung entwickelt. Im Rahmen des Projekts AvaDrone beauftragte sie das Bundesforschungszentrum für Wald mit der Entwicklung eines Systems zur drohnen-gestützten, passpunktlosen Kartierung von Schneehöhen und Lawinenablagerungsmengen. Im Winter 2019/20 wurden in drei österreichischen Untersuchungsgebieten Tests durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das System eine Erfassung der 3D-Gelände- und Schneehöhe mit Genauigkeiten im einstelligen Zentimeterbereich durchführen kann. Es wird inzwischen auch operationell zur Erfassung von anderen Prozessen wie Murgängen oder Steinschlag eingesetzt.

Stichwörter: Drohnen, Photogrammetrie, Lawinen, Schnee

Abstract:

The company Höhenarbeit has developed a special high-altitude drone for snow avalanche blasting. Within the framework of AvaDrone project it commissioned the Austrian Research Centre for Forests to develop a system for drone-based passpoint-free mapping of snow depth and avalanche depositions. Tests were conducted in three Austrian study areas during the winter of 2019/20. The results show that the system can perform 3D terrain and snow depth mapping with accuracies in the single-digit centimetre range. It is now also operationally used to record other processes such as debris flow or rockfall.

Keywords: Drones, Photogrammetry, Avalanches, Snow

Hintergrund

Unbemannte Luftfahrzeuge (auch als Drohnen bezeichnet) eröffnen vollkommen neue Möglichkeiten und Perspektiven bei der künstlichen Auslösung und Dokumentation von Lawinen. Das Institut für Naturgefahren des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) forscht seit mehreren Jahren an der drohnengestützten, photogrammetrischen Aufnahme, Prozessierung und Analyse von Schneehöhen und Lawinenablagerungen. Neben der Kartierung von Ereignissen steht dabei vor allem die Dokumentation der Auswirkungen von Lawinen als Input für lawindynamische Modellierung im Vordergrund. Die Ergebnisse dieser Forschung sind bereits in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen und auf Fachtagungen präsentiert und diskutiert worden (z.B. Adams et al., 2019; Adams et al., 2018a, b); bisher aber lag der Fokus noch nicht auf der operationellen Anwendbarkeit.

Die Firma Höhenarbeit hat eine spezielle Drohne entwickelt, behördlich zertifiziert und patentiert, mit welcher es möglich ist, im hochalpinen Gelände künstlich Lawinen auszulösen (Abb. 1). Die Drohne wurde eigens für Einsätze unter widrigsten Witterungs- und Sichtbedingungen in großer Höhe kon-



Abbildung 1: Höhenarbeit Sprengdrohne, Transportkiste und Steuerung (9. März 2021, Stefan Lindner – BFW).

Figure 1: Höhenarbeit avalanche blasting drone with transport box and controls (9. March 2021, Stefan Lindner – BFW).

zipiert. Sie wird bereits routinemäßig zur Lawinensicherung kritischer Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur in verschiedenen Teilen Österreichs eingesetzt (z.B. im Auftrag der Verbund AG im Maltal im Rahmen des Projekts Effizienzsteigerung Kölnbreinsperre oder an der Großglockner-Hochalpenstraße im Zuge der alljährlichen Straßenräumung im Frühjahr). Als Sprengmittel kommen meist handelsübliche 2,5 kg Emulex AV Patronen der Firma Austin Powder zum Einsatz. Die Firma Höhenarbeit wollte dieses System weiterentwickeln, um sowohl die Lage der Sprengpunkte im Gelände zu optimieren und damit die Effizienz der Sprengung zu erhöhen, als auch eine systematische Dokumentation des Sprengerfolgs zu gewährleisten.

Projekt AvaDrone

Im Rahmen des Projekts AvaDrone haben die Firma Höhenarbeit und das BFW an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis ihre Kompetenzen vereint und ein neuartiges Gesamtsystem erarbeitet. Dieses System ermöglicht eine zuverlässige,

kostengünstige und flexible Lawinenauslösung und -dokumentation auf Basis aktueller wissenschaftlicher Methoden. Ziel des Beitrags des BFW war die Erstellung eines für die Firma Höhenarbeit anwendbaren photogrammetrischen Workflows, der eine Inwertsetzung der on-board Sensoren der Sprengdrohne (z.B. Nahinfrarot-/Tageslichtkamera, Lage-/Positionssensoren) ermöglicht und operationell (also möglichst zeitnah) eine Entscheidungsunterstützung bei der Planung, Durchführung und Dokumentation von Sprengkampagnen darstellt.

Im Laufe der zwölfmonatigen Projektdauer wurden insgesamt fast 10.000 Drohnenluftbilder in drei Untersuchungsgebieten erhoben: Großglockner-Hochalpenstraße (Abb. 2), Hinteres Wattental und Filzmoos. Dabei wurde eine Fläche von rund 4,5 km² abgedeckt. Die photogrammetrische Prozessierung dieser Luftbilder ermöglichte die Erstellung von hochauflösenden Geländemodellen und Orthophotos mit wenigen Zentimetern Bodenauflösung. Wiederholte Befliegungen derselben Fläche mit und ohne Schneeeauflage



Abbildung 2: Kampagne zur Sprengung und Kartierung von Lawinen an der Großglockner-Hochalpenstraße im Bereich Brennkogelkar am 18. Mai 2020 (Marc Adams – BFW).

Figure 2: Avalanche blasting and mapping campaign at the Großglockner High-Alpine Road near Brennkogelkar on 18. May 2020 (Marc Adams – BFW).

erlaubten eine differenzielle Messung der 3D-Geländeinformation und damit die Erstellung von Schneehöhenkarten (Abb. 3). Ein Photogrammetrie-Workflow zur eigenständigen Prozessierung und Auswertung von selbst-erhobenen Drohnenluftbildern wurde vom BFW für die Firma Höhenarbeit erarbeitet; ebenso daran anknüpfende Geodaten-Routinen zur Typisierung von Geländeform und Bruchkanten für die Optimierung der Lage der Sprengpunkte. Des Weiteren programmierte das BFW eine benutzerfreundliche Routine mit Eingabemaske für die schnelle und übersichtliche Georeferenzierung der Drohnenluftbilder sowie den resultierenden Geländemodellen und Orthophotos. Vergleichsmessungen mit terrestrisch

eingemessenen Passpunkten am Boden im Rahmen einer Kampagne am Großglockner am 18. Mai 2020 zeigten, dass mit diesem Setup eine absolute Lagegenauigkeit und Wiederholgenauigkeit im einstelligen Zentimeterbereich erreicht werden konnte, ohne Unterstützung oder Notwendigkeit von Kontrollpunkten am Boden. Die Firma Höhenarbeit ist seit dem Projekt in der Lage, ihren Kunden ein innovatives, neuartiges Produkt in Form von hochauflösenden, aktuellen Orthophotos, 3D-Geländeinformation und Schneehöhenkarten anzubieten. Das System wird inzwischen auch operationell zur Erfassung von anderen Prozessen wie Murgängen oder Steinschlag eingesetzt.

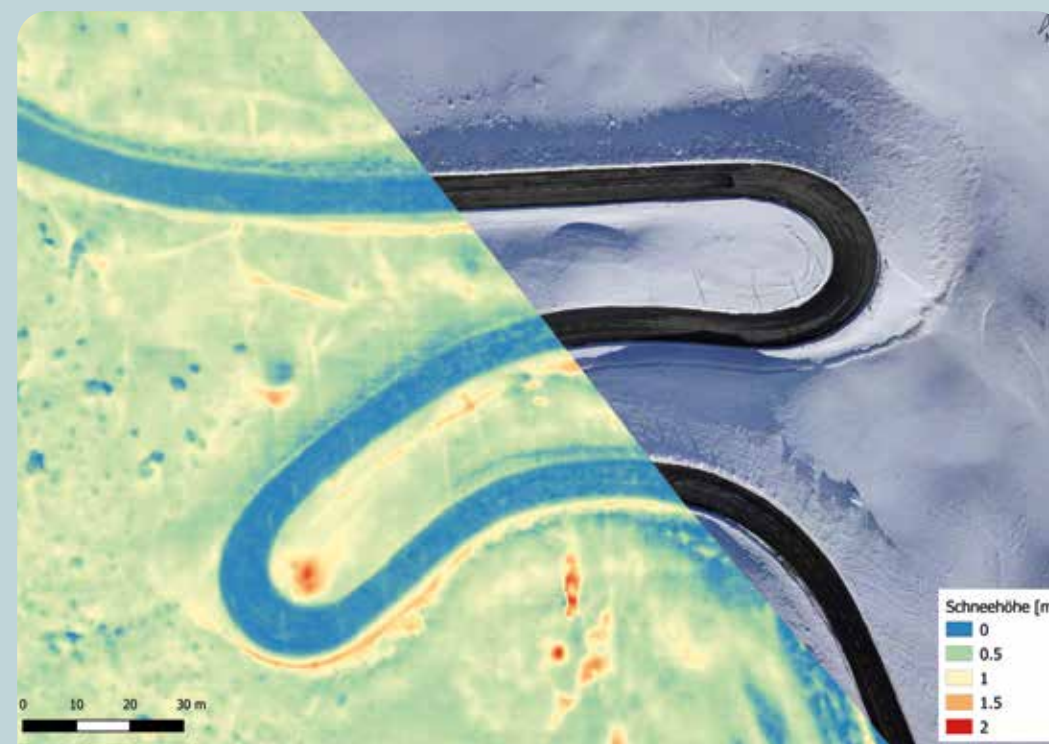


Abbildung 3: Aus Drohnenluftbildern photogrammetrisch errechnete Schneehöhenkarte (linke Bildhälfte) und Orthophoto (rechte Bildhälfte) – Befliegung am 18. Mai 2020 nahe Brennkogelkar.

Figure 3: Snow depth map (left side) and orthophoto (right side) generated from photogrammetric analysis of drone aerial imagery – flight carried out on 18. May 2020 near Brennkogelkar.

Das Projekt AvaDrone wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen eines Innovationsschecks gefördert.


Anschrift der Verfasser/Author's address:

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

Philipp Knab
David Hasko
Höhenarbeit GmbH
Kirchweg 10c, 5621 St. Veit im Pongau
office@hoehenarbeit.net

Literatur/References:

- ADAMS, M.S., FISCHER, J.-T., KOFLER, A., TOLLINGER, C., GRAF, A.,
FROMM, R. (2019).
Dokumentation und Analyse von Lawinenablagerungen mittels
Drohnen-Photogrammetrie [Documentation and Analysis of Ava-
lanche Deposits with Unmanned Aerial System Photogrammetry].
Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering,
83(183): 48-58.
- ADAMS, M.S., BÜHLER, Y., FROMM, R. (2018a).
Multitemporal accuracy and precision assessment of unmanned
aerial system photogrammetry for slope-scale snow depth maps
in alpine terrain. Pure and Applied Geophysics, 175 (9): 3303-3324.
- ADAMS, M.S., FISCHER, J.-T., KOFLER, A., TOLLINGER, C., GRAF, A.,
HOFFMANN, J., FROMM, R. (2018b):
Investigating avalanche interaction with defence structures using
unmanned aerial system photogrammetry. Proceedings of the
International Snow Science Workshop (ISSW), 7-11 October 2018,
Innsbruck, Austria.



**ALPIN CONSULTING
DI WERNER TIWALD ZT-GMBH**

ZT für WLV -, Studien, Projekte, Gutachten, Ausschreibungen,
Baubegleitung, Sicherheitsanalysen, Wildbachbegehungen...

Standort Ost Langseitenrotte 19 3223 Wienerbruck	Standort West Saurweinweg 5 6020 Innsbruck	T: +43 2728 20404 M: +43 664 2047240 Web: www.tiwald.at
---	---	---



You better ask our experts for the best approach

software
maps
geostatistics
reporting
data

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

UNIDATA GEODESIGN GMBH
Görnergasse 3 Top 6, 1030 Vienna
+43(0) 96 901 78
office@unidata.at
www.unidata.at

unidata
geo
design

ÖWAV-Arbeitsbehelf 63

Holz in und an Fließgewässern – Wildholzmanagement

Mit dem Thema Wildholz bzw. Totholz im und am Fließgewässer ergibt sich ein klassisches Spannungsfeld zwischen Ökologie und Technik.

Der Eintrag, Transport sowie die Ablagerung von Holz in Fließgewässersystemen ist ein natürlicher Prozess und stellt für Gewässerentwicklung und Dynamik sowie für die ökologische Funktionsfähigkeit eine Schlüsselkomponente dar. Diese natürlichen Prozesse bergen jedoch auch einige Risiken. Holz in Gewässern kann z. B. durch Verklausungen zu einer Erhöhung des Gefahrenpotenzials für Siedlungsräume, Infrastruktur und sonstige gewässernahe Flächen und Objekte führen. Dabei sind auch mehrere Rechtsmaterien, insbesondere das Wasser-, Forst- und Naturschutzrecht von Relevanz.

Mit der Erarbeitung des nun beim ÖWAV erschienenen Arbeitsbehelfs zum Thema Wildholz- bzw. Totholzmanagement beschäftigte sich eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe im ÖWAV-Arbeitsausschuss „Ingenieurbio-logische Maßnahmen in der Wasserwirtschaft“ aus den Fachbereichen

Wasserbau, Wildbach- und Lawinenerbauung, Gewässerökologie und Ingenieurbiologie sowie Wasserrecht. Wildholz beziehungsweise Totholz wird hinsichtlich Entstehung, Eintrag, Transport und Ablagerung über die gesamte Fließstrecke nach ökologischen und schutzwasserbaulichen Kriterien analysiert und bewertet und auf Basis der rechtlichen Rahmenbedingungen werden die Möglichkeiten einer nachhaltigen Wildholzbewirtschaftung aufgezeigt.

Damit sollen allen Beteiligten und insbesondere auch den Praktikern vor Ort Grundlagen zum Thema Wildholz- und Totholzmanagement für ein zeitgemäßes Gewässermanagement sowie klare und verständliche Handlungsempfehlungen zur Verfügung gestellt werden, welche die ökologische Bedeutung und Verwendung von Holz im Fließgewässer berücksichtigen und gleichzeitig, speziell im alpinen Bereich, das Risiko von Holz als Gefahren-element verringern.

Der Arbeitsbehelf kann über den ÖWAV bezogen werden.



zukunft
SEIT 1909
denken

REGELWERK

WASSER • ABWASSER • ABFALL

■ ARBEITSBEHELFE

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

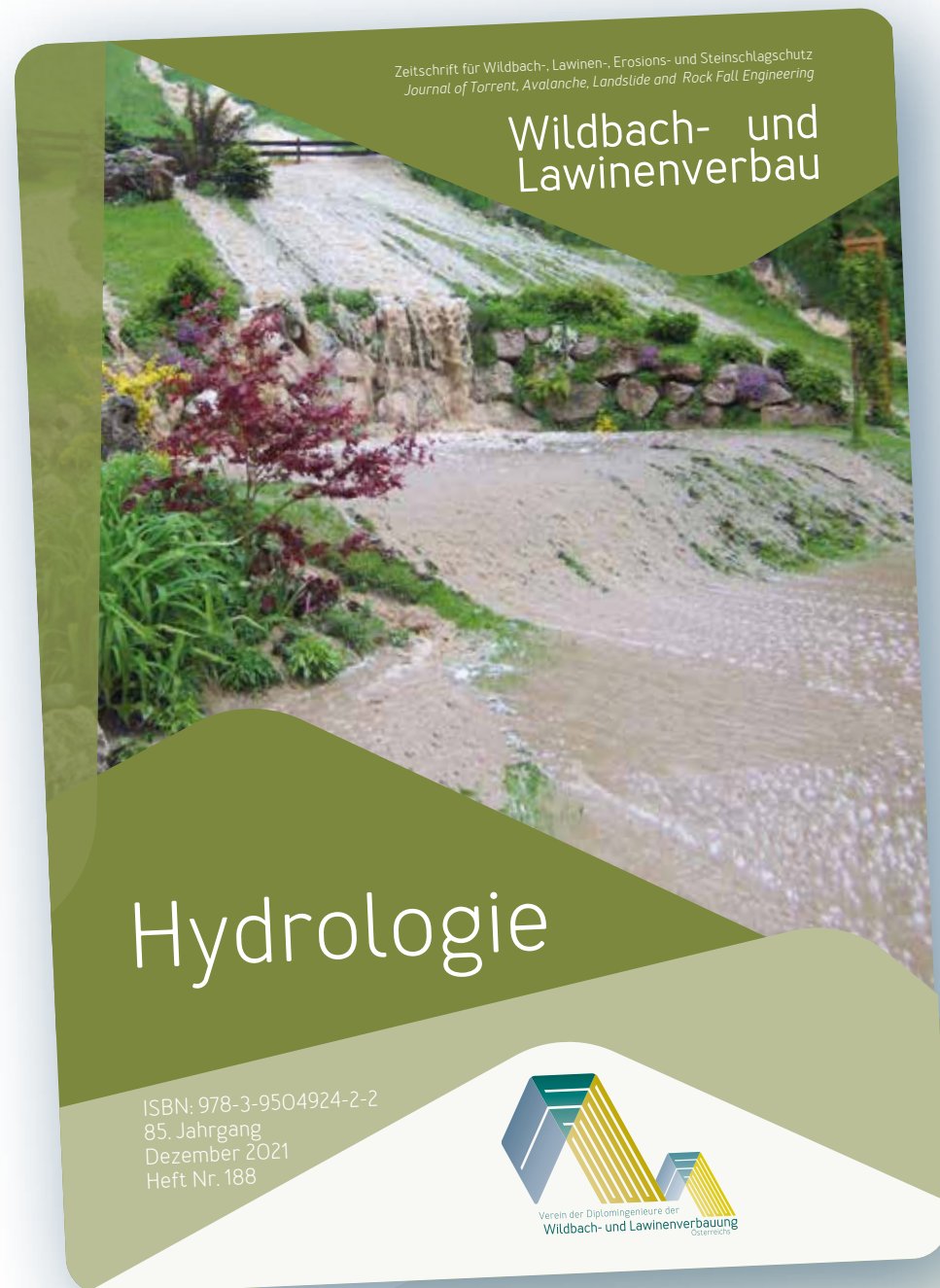
ÖWAV-Arbeitsbehelf 63

Holz in und an Fließgewässern – Wildholzmanagement

Wien 2021

In Kommission bei:
Austrian Standards plus GmbH
1020 Wien, Heinestraße 38

Für Teilnehmende am ÖWAV-Webinar „Wildholzmanagement“ – 3. November 2020 – bitte nicht an Dritte weitergeben



Die nächste Ausgabe *Wildbach- und Lawinenverbau* erscheint im **Dezember 2021** mit dem Schwerpunktthema **Hydrologie**.

Möchten Sie einen Artikel zum nächsten Heft beitragen oder haben inhaltliche Vorschläge?

Wir freuen uns auf Ihre Unterstützung:
schriftleitung@wlv-austria.at

Vorschau
Heft 188

Inserentenverzeichnis

Firma	Inserat Seite
Aartesys AG	U4
ALP-infra Consulting + Engineering GmbH	65
Geobrugg AG	10
Geolith Consult	175
Geomähr GmbH	191
Gunz ZT GmbH	141
Halbeisen & Prast KG	203
Hartl Consulting e. U.	203
Heli Austria GmbH	4
Ingenieurbüro Illmer Daniel e. U.	234
i.n.n.	133
J. Krismer HandelsgmbH	75

Firma	Inserat Seite
Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH	91
Mair Wilfried GmbH	165
MEVA Schalungs-Systeme GmbH/ Alzner Baumaschinen GmbH	6
mjp Ziviltechniker GmbH	175
PERZPLAN Ingenieurbüro	235
Gebrüder Rief Bau und Transport GmbH & Co KG	8
Gerhard Rusch Erdbau	235
Skolaut NATURRAUM	191
DI Werner Tiwald ZT GmbH	281
Trumer Schutzbauten GmbH	109
UNIDATA GEODESIGN GMBH	281

aartesys



AarteLink[®] – Quantensprung im Naturgefahrenalarm

AarteLink[®] – das Naturtalent.

Naturgefahrenalarm für Steinschlag, Murgang, Lawine und Hochwasser und vielem mehr.

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

www.aartelink.ch