

# GEOTECHNIK UND NATURGEFAHREN

## – Einblick in aktuelle Forschungsfragen

**GEOTECHNICS AND NATURAL HAZARDS - INSIGHT INTO CURRENT RESEARCH ACTIVITIES**

---

Robert Hofmann, Lukas Wimmer, Simon Berger & Andreas Steinwender  
(Universität Innsbruck)

---

### **KEYWORDS**

Konsolidierungssperren, Steinschlag, gravitative Massenbewegungen, Bergsturz, Modellversuche

### **KURZFASSUNG**

Der Arbeitsbereich für Geotechnik an der Universität Innsbruck beschäftigt sich mit Themen der Geotechnik im Bereich der Naturgefahren. Dabei werden unter anderem Messungen des Porenwasserdrucks auf Konsolidierungssperren, stoßartige Belastung von Steinschlagschutzfundierungen und Einwirkungen von gravitativen Massenbewegungen untersucht. Dieser Artikel gibt einen Einblick in diese Forschungsfragen.

### **ABSTRACT**

The Unit of Geotechnical Engineering at the University of Innsbruck deals with topics of geotechnical engineering in the field of natural hazards. Measurements of pore water pressure on torrential barriers, impact loading of rockfall protection foundations and effects of gravitational mass movements are investigated. This article provides insight into these research activities.

## 1. WASSERDRUCK AUF KONSOLIDIERUNGSSPERREN – MESSUNGEN IN SITU

Die in Österreich gültige Normenreihe der ONR 24800 [1] stellt eine Grundlage für die Dimensionierung und Berechnungen von Schutzbauwerken zur Verfügung. Dabei finden sich theoretische als auch empirische Angaben für die Ermittlung von Bemessungs- und Lastansätzen. Für die Bestimmung der Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzdämmen wurden beispielsweise Ergebnisse aus Modellversuchen [2] [3] berücksichtigt. Bemessungsansätze für die Dimensionierung von Konsolidierungssperren können der ONR 24801:2013 [4] [5] entnommen werden. Konsolidierungssperren verhindern im Allgemeinen die Erosion von Wildbächen. Die bestehenden Lastansätze beinhalten sowohl Erddruck- als auch Wasserdruckbelastungen. Auswertungen von Schadensfällen, sowie Felduntersuchungen zeigen, dass unterhalb der Verlandungshöhe das Bodenmaterial nicht vollständig wassergesättigt ist und somit nicht der volle hydrostatische Druck wirkt [5]. Dasselbe lässt sich an den Dolen entlang talseitiger Oberflächen an Konsolidierungssperren beobachten, welche teils weder Wasser führen, noch jene Wassermenge ableiten, welche aus dem hydrostatischen Porenwasserdruck resultieren müssten. Am Arbeitsbereich für Geotechnik der Universität Innsbruck wurden Messergebnisse über einen Zeitraum von ca. einem Jahr für vier verschiedene instrumentierte Konsolidierungssperren betrachtet und mit bestehenden Lastansätzen verglichen. Es ist geplant diese Beobachtungen für zumindest die nächsten vier Jahre fortzuführen.

### 1.1 Projektgebiet und Messinstrumentierung

Für die Instrumentierung wurden vier Konsolidierungssperren ausgewählt, welche zwischen 2019 und 2020 neu errichtet wurden. Dabei liegen zwei Sperrenbauwerke in Nordtirol und zwei in Osttirol. In Nordtirol befinden sich die Konsolidierungssperren im Schlickerbach (Stubaital) und im Leonhardsbach in der Nähe von Roppen. Die Sperrenbauwerke

in Osttirol liegen im Toedterbach, oberhalb der Ortschaft Sillian. Drei der Konsolidierungssperren bestehen aus einer massiven Stahlbetonkonstruktion. Eine der beiden Sperren am Toedterbach wurde als neue innovative Stahlkonstruktion ausgeführt und instrumentiert. Durch die leichte Stahlkonstruktion, welche aus Fertigteilen besteht, kann diese Sperre innerhalb von nur einer Woche (gegenüber einer Bauzeit von 6 Wochen bei einer Stahlbetonsperre) errichtet werden (Abbildung 1).

An jeder der Konsolidierungssperren werden 16 Messinstrumente (9 Porenwasserdruckaufnehmer, 6 Erddruckzellen und ein Barometer) der Firma Geokon appliziert. Die Messinstrumente werden mittels Kabel mit dem Datenlogger verbunden, welcher automatisch alle zwei Stunden die Werte der Messinstrumente ausliest und abspeichert.

Mithilfe des Barometers konnten Luftdruckschwankungen aus den Versuchsergebnissen der Erddruckzellen und der Porenwasserdruckaufnehmern herausgerechnet werden. Für jedes Messinstrument wird die Temperatur zum Messzeitpunkt aufgezeichnet. Eine entsprechende Skalierung in Abhängigkeit der Temperatur ist damit möglich. Die Messungen erfolgen unmittelbar nach Beendigung der Hinterfüllarbeiten. Die Interpretation der Messwerte muss bis zur Fertigstellung aller Arbeiten die bauablaufbedingten Lasteintragungen, wie beispielsweise Erdbaugeräte bergseitig der Konsolidierungssperren, berücksichtigen.

Auf Basis der Messdatenerfassung werden die Erddruck- und Wasserdruckbelastung auf Konsolidierungssperren betrachtet und mit den Lastansätzen der ONR 24801 verglichen. Die Hinterfüllmaterialien wurden in umfangreichen geotechnischen Laborversuchen untersucht. Nachfolgend werden die Messergebnisse beispielhaft für die Stahlbetonsperre am Toedterbach präsentiert.



Abbildung 1 - Ansicht auf die Konsolidierungssperren am Toedterbach (Stahl- und Stahlbetonsperre)

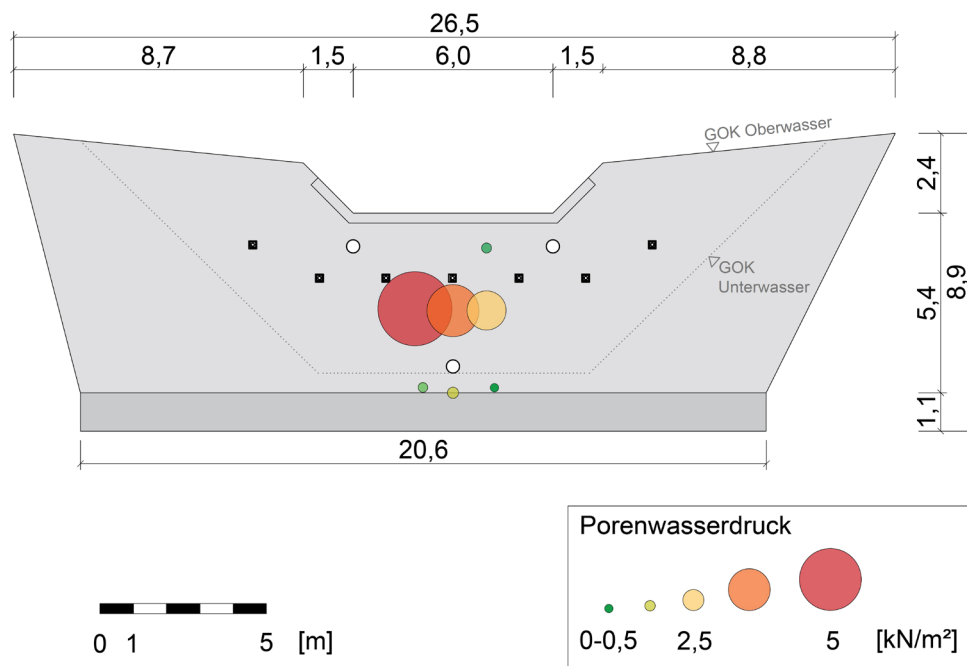


Abbildung 2 - Maximal gemessene Porenwasserdrücke auf die Stahlbetonsperre Toedterbach

## 1.2 Exempel: Toedterbach Stahlbetonsperre

Die im Jahre 2019 errichtete Stahlbetonsperre im Toedterbach ist 8,9 m hoch, 26,5 m breit, und weist einen massiven Querschnitt von 1,3 m auf (Abbildung 2). Unterhalb der Überfallsektion sind drei Dolen (Drainageöffnungen) für den Abbau des Porenwasserdrucks angeordnet, welche in Abbildung 2 ersichtlich sind. Die Gründung erfolgte mit einem bergseitigen, 2,8 m breiten Fundament. Die seitliche Einbindung der Sperrenflügel in die Talflanken stabilisiert die Konsolidierungssperre zusätzlich. Ergänzend wurde die Sperre mit 7 Stück, 8 m langen Totmannankern (Ankerplatte mit 0,8 m x 0,8 m) mit einer Vorspannkraft von jeweils 100 kN rückverankert. Der Untergrund besteht aus schluffigem, sandigem Kies mit einer Durchlässigkeit von  $1 \times 10^{-3}$  m/s. Der Reibungswinkel im Rahmenscherversuch wurde mit  $\phi' = 31^\circ - 34^\circ$  bestimmt. Die Proctordichte wurde mit  $2,10 \text{ g/cm}^3$  (Wassergehalt 6,4 %) und  $2,14 \text{ g/cm}^3$  (Wassergehalt 7,2 %) bestimmt.

## 2. FUNDIERUNG VON STEINSCHLAGSCHUTZNETZEN BEI STOSSARTIGER BELASTUNG

Im alpinen Raum werden Infrastrukturbauwerke und Siedlungsbereiche häufig von Steinschlägen bedroht. Gegen solch eine Gefahr bieten Steinschlagschutznetze einen wirksamen Schutz. Verschiedenste Hersteller offerieren solche Steinschlagschutznetze als Systemlösung, bei denen die Zulassung (CE-Zertifizierung) auf Grundlage der EAD 340059-00-106: Falling Rock Protecting Kits [6] (früher ETAG 027 [7]) erfolgt. Für die Zulassung müssen die Steinschlagschutznetzsysteme in 1:1 Versuchen mit den pre definierten Energiehöhen (MEL und SEL) getestet werden. Das zertifizierte Produkt beinhaltet die Abfang-, Stütz- und Verbindungsstruktur, jedoch nicht die Fundierung. Die Bemessung und

Konstruktion der Fundierung eines Steinschlagschutznetzes muss in Abhängigkeit von den Baugrundeigenschaften und länderspezifischen Normen und Regelwerken erfolgen. Für diese Fundierung werden zumeist Mikropfähle eingesetzt, welche infolge des Steinschlags nahezu immer eine stoßartige Belastung erfahren. Die Grundlagen für die Bemessung der Mikropfähle basieren bis dato überwiegend aus Messergebnissen bzw. aus Erfahrungen, welche aus statischen Pfahlprobelastungen resultieren. Der Arbeitsbereich für Geotechnik der Universität Innsbruck untersucht solche Fundierungen infolge der stoßartigen Belastung im Zuge eines Forschungsprojekts mit einer Vielzahl an Projektpartnern.

### 2.1 Mikropfähle

Als Mikropfähle wird ein Pfahl, mit einem Außendurchmesser kleiner als 0,3 m bezeichnet [8]. Diese Mikropfähle sind in der Europäischen Norm EN 14199:2015 [8] geregelt und bestehen aus einem Tragglied und dem umhüllenden Verpresskörper. Mikropfähle eignen sich primär für den Abtrag von zentrischen Normalkräften. Tragglieder können grundsätzlich in Vollstäbe und Selbstbohr-Hohlstäbe eingeteilt werden. Vollstäbe (gerippter Stabstahl) werden nach dem Bohren in das Bohrloch gestellt und anschließend über zusätzliche Injektionsschläuche mit Verpressmörtel verpresst. Abstandhalter gewährleisten die Betonsteinüberdeckung und den zentrierten Einbau des Stahltraggliedes. Selbstbohrhohlstäbe werden hingegen direkt, mit einer an der Spitze befindlichen Bohrkronen, mit dem Stahltragglied als Bohrgestänge gebohrt. Das Verpressen erfolgt über den Hohlstab selbst, der somit auch als Injektionsschlauch fungiert. Durch das vergleichsweise leichte und kompakte Bohrwerkzeug können Mikropfähle auch im alpinen Terrain und bei beengten Platzverhältnissen hergestellt werden.



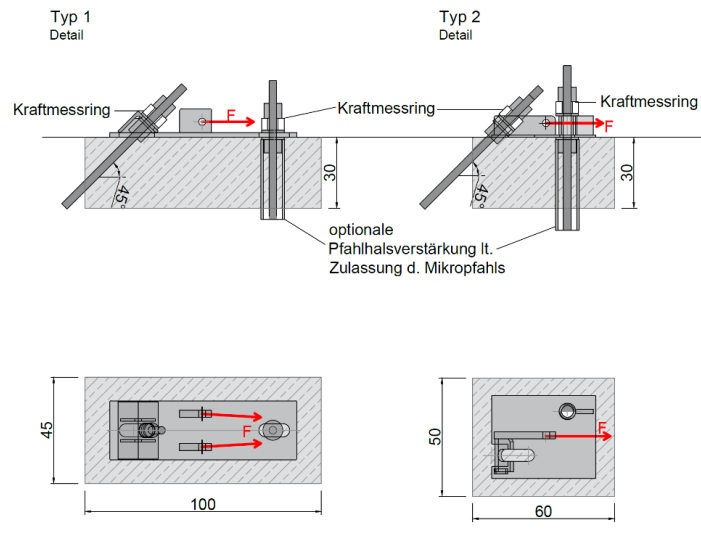
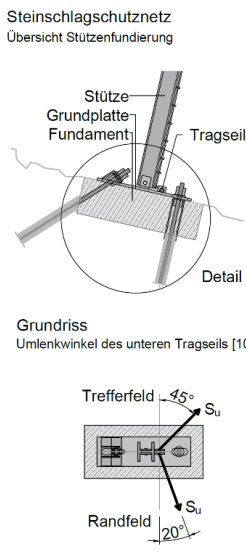


Abbildung 3 – Steinschlagschutznetzstütze und Umlenkwinkel bei einem Treffer [10] (links) und die untersuchten Stützenfundierungen (Typ 1 und 2 - rechts)

## 2.2 Problemstellung und Bemessung nach ONR 24810

In Österreich wird für den technischen Steinschlagschutz die ONR 24810:2020 [9] verwendet. Diese beschreibt Begriffe, Einwirkungen, Bemessung, Konstruktion, Überwachung und Instandhaltung von technischen Steinschlagschutz. Als Einwirkung für die Bemessung werden die Kräfte aus den MEL-Versuchen der Hersteller nach EAD 340059-00-106 herangezogen, wobei auch Scherkräfte aus stoßartiger Beanspruchung zu berücksichtigen sind. Einer Messung dieser Scherkräfte während des MEL-Versuchen ist nicht möglich. [10] publizierte einen Ansatz mit dem man die Scherkräfte, welche aus der Umlenkung der unteren Tragseile resultieren, abschätzen kann. Er stellte mit Videoauswertungen fest, dass der Umlenkwinkel des Tragseils an den Stützen, infolge der stoßartigen Belastung, im Trefferfeld mit 45° und im benachbarten Randfeld mit 20° betrug (Abbildung 3, links). Die Umlenkkraft (UK) ist somit näherungsweise gleichgroß wie die Seilkraft (Su) und annähernd parallel zur Auftreffrichtung des Wurfkörpers [2.1].

$$U_k \approx S_u (\sin 45^\circ + \sin 20^\circ)$$

Laut ONR 24810:2020 ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit, sowohl das Versagen des Baugrundes (GEO), als auch das Versagen des Bauteils (STR) gemäß Eurocode zu untersuchen. Für Mikropfähle ist somit der Nachweis der „äußeren Tragfähigkeit“ (Herauszieh Widerstand des Mikropfahles) und „innere Tragfähigkeit“ (Strukturnachweis des Stahltraggliedes) erforderlich. Ein Vorschlag für die Bemessung der lateralen, stoßartigen Einwirkung der Pfahlgründungen ist jedoch nicht enthalten.

## 2.3 Versuche an Mikropfählen und Stützenfundierungen

Für die Untersuchung von Steinschlagschutzfundierungen werden derzeit daher Mikropfähle und Stützenfundierungen in 1:1 Versuchen stoßartig belastet. Ein 12 m hohes Pendel und ein 14 m hoher Aufzugsrahmen kommen hierfür zum Einsatz. Das Pendel (Betonwürfel mit 1050 kg und 2860 kg) wird mit einem Stahlseil, welches über den 14 m hohen Aufzugsrahmen umgelenkt wird, in die Höhe gezogen. Im Anschluss wird der Betonwürfel pneumatisch vom Aufzugseil gelöst. Über das Stahlseil zwischen Betonwürfel und Mikropfahl erfolgt die stoßartige Belastung.

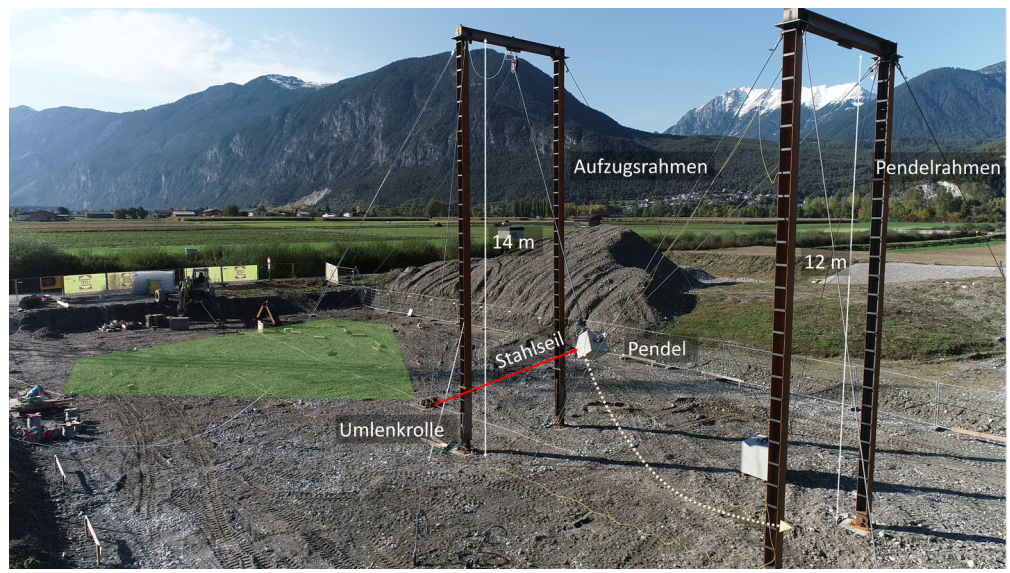


Abbildung 4 - Versuchsanlage für die stoßartige Belastung von Mikropfählen und Stützenfundierungen

Im Jahre 2020 wurden insgesamt 44 Mikropfähle (unterschiedlicher Bauart) und 2021 werden 26 unterschiedliche Stützenfundierungen (bestehend aus jeweils 2 Mikropfählen, Betonfundament und Stahlfußplatte) und 6 Mikropfähle stoßartig belastet (Abbildung 3, rechts). Einzelne Mikropfähle wurden dafür axial, lateral und unter 45° stoßartig belastet. Die Stützenfundierungen werden mit einer hangparallelen stoßartigen Einwirkung belastet. Ergänzend wurden rund 30 statische Pfahlprobelastungen laut ONR 24810:2020 und EZB/BAFU [11] durchgeführt.

### 3. EINWIRKUNGEN AUF BARRIEREN DURCH FLIESSÄHNLICHE GRAVITATIVE MASSENBEWEGUNGEN

Fließähnliche gravitative Massenbewegungen stellen eine zunehmende Gefahr für den Lebensraum im alpinen Raum dar. Bei einer solchen Massenbewegung mit hoher Geschwindigkeit entsteht ein fließartiger Prozess, der am Beginn aus grobkörnigen Fels- und Blockformationen besteht. Mit zunehmendem Transportweg kommt es zur Defragmentierung der Masse. Schuttbauwerke aus Erddämmen werden u.a. auf Grund von klimabedingten Veränderungen vermehrt notwendig. Mit empirischen Modellen ist es möglich, Fließgeschwindigkeiten, Fließtiefen und Ablagerungsbereiche von gravitativen Massenbewegungen grob abzuschätzen. Numerische Ansätze erlauben die Berücksichtigung einer Vielzahl weiterer Einflussparameter, deren Bestimmung

jedoch meist aus Modellversuchen resultieren. Mithilfe von Modellversuchen an der Universität Innsbruck sollten die Einwirkungen solcher Massenbewegungen auf Barrieren vertieft untersucht werden.

In den letzten Jahren kam es in den Alpen mehrmals zu Berg- und Felsstürzen in Siedlungsräumen. Diese wurden häufig gut dokumentiert und bedrohten oder zerstörten diese anthropogenen Bereiche. Abbildung 5 zeigt die Felssturzmasse, welche sich am 24. Dezember 2017 im Valsertal (Tirol) unvorhergesehen löste und die Landesstrasse L 230 auf einer Länge von 150 m überschüttet hat. Das Volumen der Massenbewegung betrug über 117 000 m<sup>3</sup> und fragmentierte entlang der ca. 380 m hohen Fallhöhe.

Weitere Bergstürze ereigneten sich beispielsweise im Schweizer Kanton Graubünden in den Jahren 2011 und 2017 an der Nordwand des Piz Cengalo. 2017 stürzten rund 4 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> Gesteinsmaterial ins Val Bondasca. Durch die zusätzliche Wasseraufnahme des Schuttstromes am Gletscher erreichte der Bergsturz Geschwindigkeiten von bis zu 75 m/s [12]. Zum Schutz vor solchen Massenbewegungen sind Barrieren im Auslaufbereich potentiell gefährdeter Gebiete angedacht. Der Arbeitsbereich für Geotechnik der Universität Innsbruck untersucht dazu die einwirkenden Drücke auf verschiedenste Barrieren. Im ersten Schritt wurden hierfür die Modellversuche mit starren Bauwerken von [13] repliziert. Im Anschluss wurde das Versuchsprogramm mit Dammkonstruktionen und flexiblen Bauwerken erweitert. Aus den vor-

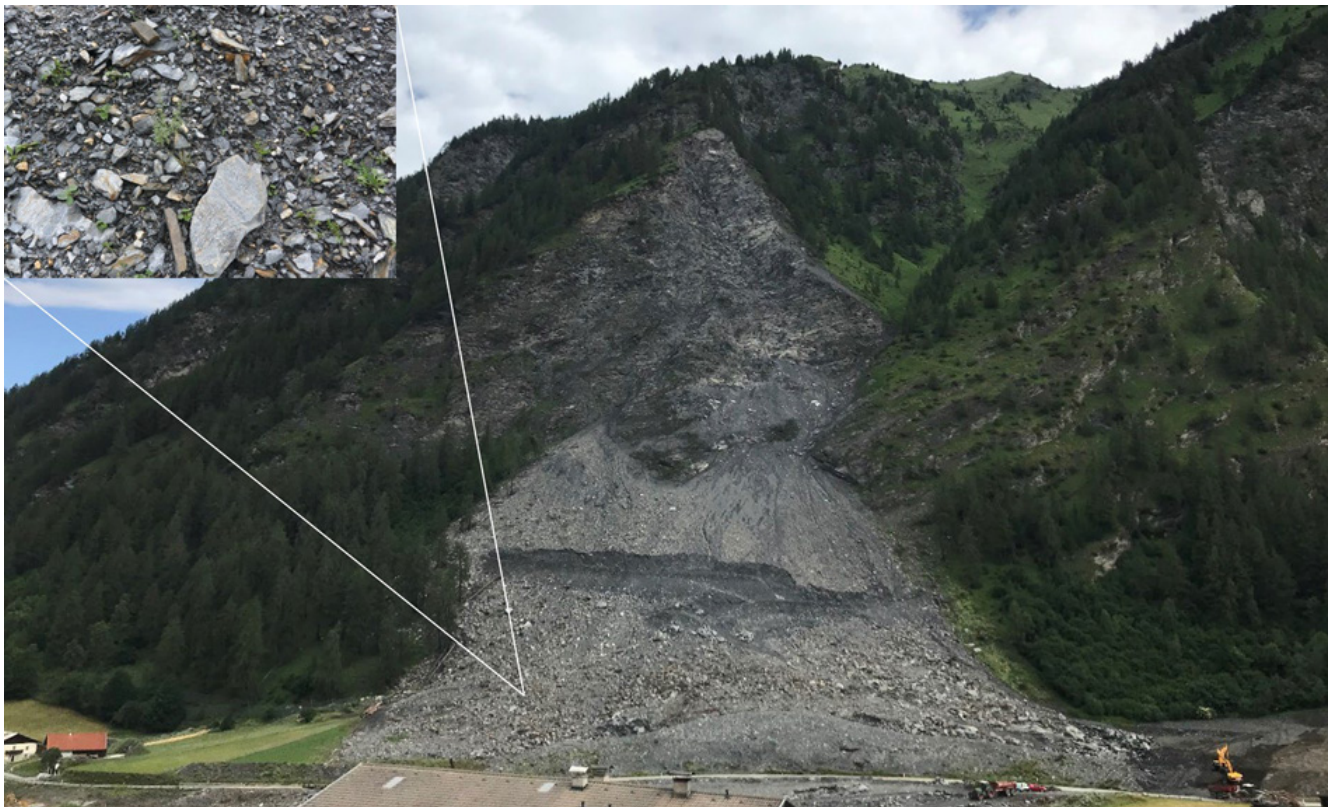


Abbildung 5 - Felssturz im Valsertal (2017) und Detailaufnahme des fragmentierten Materials



her erwähnten Bergstürzen lassen sich mit dem Froudschen Modellgesetz ein Maßstabsskalierung auf 1:30 bis 1:50 festlegen. Das Modell besteht aus einer 317 cm langen und 32,5 cm breiten Transportebene, auf dessen Länge mehrere Laser zur Messung der Fließhöhe und Geschwindigkeit angebracht sind. Am oberen Ende schließt ein Reservoir an, welches pneumatisch geöffnet wird (Abbildung 6). Am Fußpunkt des Modellversuchs werden die verschiedenen Barrieren (Dämme, starre und flexible Systeme) auf einem Schlitten installiert, wodurch die Messung der Einwirkungen über die Zeit auf das gesamte Bauwerk möglich ist.

Für die Versuche wurde die Neigung der Rutsche zwischen 20° und 40° variiert und unterschiedliche Materialien verwendet. Folgende Versuchsmaterialien wurden eingebaut:

- » Sand mit Korngrößen von 0,5-1 mm
- » Stahlkugeln mit einem Durchmesser von 2 mm (zur Abschätzung einer „oberen Schranke“)
- » Mischung/Mixtur aus 50 % Sand (Korngröße: 0,5-1 mm) und 50 % Kies (Korngröße: 4-8 mm)

Mithilfe der Modellversuche konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Versuchsmaterialien (Material, Kornform und Kornrauheit) die Geschwindigkeit, Ablagerungsgeometrie und das Verhältnis von dynamischer zur statischen Einwirkung wesentlich beeinflussen. Zusätzlich wurden die gemessenen Einwirkungen auf die starre Barriere mit verschiedenen Bemessungsansätzen der Erddrucktheorie verglichen. Diese Erkenntnisse sind [14] und [15] zu entnehmen.

#### 4. AUSBLICK

Neben den präsentierten Forschungsprojekten arbeitet der Arbeitsbereich Geotechnik an der Entwicklung von innovativen Schutzbauwerken. Dazu zählen flexible, mit hochzugfesten Geogittern bewehrte Konstruktionen, sowie Stahlbauwerke für den Einsatz bei Wildbächen. In diesem Jahr werden verschiedene Bautypen von Wildbachsperrern in Kriechhängen instrumentiert. Ziel der geotechnischen Messungen (Erddrücke und Stauchungen) an den Flügelmauern der Wildbachsperrern ist es, die Kriechdrücke bei Massenbewegungen zu ermitteln und diesen den ingenieurgeologischen Verhältnissen gegenüberzustellen. In weiterer Folge wäre die Ausarbeitung der Erfahrungen mit Sperrern in Kriechhängen sowie Schadensanalysen durchzuführen, um einen Vergleich der verschiedenen Bauweisen zu erstellen. Die geotechnischen Messungen bei den Bauwerken, aber auch der Vergleich mit den Baugrundverhältnissen, sollen die Grundlagen für die Entwicklung neuer, gegenüber hangkriechen nachhaltigen und geringer verletzbarer, Bautypen liefern. Die Erkenntnisse werden auch mit den Bauwerken zur Sicherung der Massenbewegung in Südtirol (z.B. Hahnebaum/Passer) verglichen. Seit der Errichtung der Sperrern wurden Verschiebungen der Flügelmauern von ca. 50 cm beobachtet.

#### QUELLEN

- [1] ONR 24800:2009, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung, Austrian Standards Institute, 2009.
- [2] R. Hofmann, M. Molk und L. Vollmert, „Steinschlag-schutzdämme – Bemessungsvorschlag für verschiedene Bautypen,“ geotechnik 40, 2017.
- [3] R. Hofmann und L. Vollmert, „Steinschlag-schutzdämme: Konstruktion und Bemessung,“ Geomechanics and Tunneling 13, 2020.
- [4] ONR 24801:2013, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Statische und dynamische Einwirkungen, Austrian Standards Institute, 2013.
- [5] R. Hofmann und D. Kolymbas, „Wasserdruck auf Wildbachsperrern,“ Bauingenieur, 2020.
- [6] EOTA, EAD 340059-00-0106: Falling Rock Protection Kits, 2018.
- [7] EOAT, ETAG 027: Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits, 2013.
- [8] ÖNORM EN 14199:2016, Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau- Mikropfähle, Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- [9] ONR 24810:2020, Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung, Austrian Standards Institute, 2020.
- [10] W. Gerber, „Bemessung von Verankerungen basierend auf Daten der Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag,“ FAN-Agenda, 2005.
- [11] R. Störi, BAFU- Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau, Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2017.
- [12] J. Schweizer, S. Margreth und P. Bartelt, „SLF Gutachten G2017.20: Modellierung des Cengalo Bergsturzes mit verschiedenen Rahmenbedingungen, Bondo, GR,“ WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, 2018.
- [13] W. Ashwood und O. Hungr, „Estimating total resisting force in flexible barrier impacted by a granular avalanche using physical and numerical modeling,“ Canadian Geotechnical Journal 53.10, pp. 1700- 1717, 2016.
- [14] S. Berger, R. Hofmann und L. Wimmer, „Einwirkungen auf starre Barrieren durch fließähnliche gravitative Massenbewegungen,“ Geotechnik, 2021.
- [15] L. Wimmer, Modellversuch von fließähnlichen gravitativen Massenbewegungen auf Bauwerke [Masterarbeit], Universität Innsbruck, 2020.
- [16] R. Hofmann, S. Berger und A. Steinwender, „Beschreibung des Verhaltens von Mikropfählen für Gründungen von Steinschlagschutznetzen,“ Universität Innsbruck-Arbeitsbereich für Geotechnik und Tunnelbau, Innsbruck, 2020.

[17] L. Wimmer, R. Hofmann, S. Berger und A. Steinwender, „Versuche mit Mikropfählen bei statischer und stoßartiger Belastung,“ Universität Innsbruck- Arbeitsbereich für Geotechnik, Innsbruck, 2021.

## ABBILDUNGEN

Abbildung 1- Ansicht auf die Konsolidierungssperren am Toedterbach (Stahl- und Stahlbetonsperre)

Abbildung 2 - Maximal gemessene Porenwasserdrücke auf die Stahlbetonsperre Toedterbach

Abbildung 3 – Steinschlagschutznetzstütze und Umlenkwinkel bei einem Treffer [10] (links) und die untersuchten Stützenfundierungen (Typ 1 und 2- rechts)

Abbildung 4 - Versuchsanlage für die stoßartige Belastung von Mikropfählen und Stützenfundierungen

Abbildung 5- Felssturz im Valsertal (2017) und Detailaufnahme des fragmentierten Materials

Abbildung 6 - Versuch zur Untersuchung von gravitativen Massenbewegungen

Alle Abbildungen sind von den Autoren erstellt worden. Die Zeitschrift ÖIAZ erhält das Recht zum Druck der Abbildungen im Zusammenhang mit der Veröffentlichung dieses Artikels. Alle übrigen Bildrechte verbleiben bei den Autoren.

## PROJEKTPARTNER

Wir möchten uns hiermit herzlich bei den folgenden Projektpartnern bedanken:

Wildbach- und Lawinenverbauung – Sektion Tirol  
Wilhelm-Greil-Straße 9  
6020 Innsbruck

ÖBB Infrastruktur AG  
Nordbahnstraße 50  
1020 Wien

Zentralstelle Ingenieurbauwerke und Georisiken (ZIG)-  
Referat 55  
Landesbaudirektion Bayern  
Schwere-Reiter-Straße 41  
D-80797 München

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG  
Eduard-Wallnöfer-Platz 2  
6020 Innsbruck

Mair Wilfried GmbH  
Bruneckerstraße 22  
39030 St. Lorenzen (BZ)

Trumer Schutzbauten  
Maria Bühel-Straße 7  
5110 Oberndorf

Potyka & Partner ZT GmbH  
Altmannsdorfer Straße 76A/9  
1120 Wien

## AUTOREN

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

Dipl.-Ing. **Simon Berger**  
Arbeitsbereich für Geotechnik – Universität Innsbruck  
Technikerstraße 13  
6020 Innsbruck  
simon.berger@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. **Andreas Steinwender**  
Arbeitsbereich für Geotechnik – Universität Innsbruck  
Technikerstraße 13  
6020 Innsbruck  
andreas.steinwender@uibk.ac.at