



Berg Huettenmaenn Monatsh (2023) Vol. 168 (10): 497–501  
<https://doi.org/10.1007/s00501-023-01390-z>  
 © The Author(s) 2023

**BHM** Berg- und  
Hüttenmännische  
Monatshefte

# Die Zukunft der Prüfung und Entwicklung flexibler Steinschlagschutzsysteme am Prüf- und Forschungszentrum Erzberg

Christian A. Heiss

Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Eingegangen 2. August 2023; angenommen 14. August 2023; online publiziert 25. September 2023

**Zusammenfassung:** Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme sind Bauprodukte, die unter das Regime der EU-Bauprodukteverordnung fallen und dadurch bestimmte Leistungskriterien erfüllen müssen, bevor sie am Europäischen Binnenmarkt CE-gekennzeichnet vertrieben werden dürfen. Zur Leistungsbewertung bzw. um Auskunft über „Wesentliche Merkmale“ des Produkts geben zu können, muss ein Bausatz standardisierten Systemerstprüfungen im Maßstab 1:1 unterzogen werden. Diese sehr kostenintensiven Prüfungen liefern zwar in einem gewissen Bereich die Möglichkeit, Systeme miteinander zu vergleichen, eignen sich aber nur bedingt für die Weiterentwicklung derartiger Systeme und deren Bemessung und konstruktiven Gestaltung im Gelände. Der Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft an der Montanuniversität Leoben hat in den vergangenen Jahren durch die erfolgreiche Übertragung der standardisierten Prüfverfahren und eines handelsüblichen flexiblen Steinschlagschutzsystems in den Labormaßstab Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Leistungsvermögen derartiger Systeme detailliert und gleichzeitig kostengünstig untersucht und dadurch eine umfangreiche Datenbasis für die numerische Simulation flexibler Steinschlagschutzsysteme geschaffen werden kann. Im von der FFG geförderten Projekt NAGEMA (Naturgefahrenmanagement) werden von der Trumer Schutzbauten GmbH in enger Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben die Erkenntnisse der Systemmodellierung im Labormaßstab für die Errichtung einer neuen Schrägwurfanlage umgesetzt, sodass am Steirischen Erzberg zukünftig flexible Steinschlagschutzsysteme auch im 1:1 Maßstab effektiver und effizienter geprüft werden können.

**Schlüsselwörter:** Gefahr, Stein- und Blockschlag, Technischer Steinschlagschutz, Flexibles Steinschlagschutzsystem

## The Future of Testing and Developing Rockfall Protection Kits at the Erzberg Testing and Research Centre

**Abstract:** Falling rock protection kits are construction products that fall under the regime of the EU Construction Products Regulation and therefore have to meet certain performance criteria before they may be sold on the European market with a CE mark. To evaluate the performance or to be able to provide information about the “Essential Characteristics” of the product, a kit must be subjected to standardized initial system tests on a scale of 1:1. Although these very cost-intensive tests provide the opportunity to compare systems with one another in a certain area, they are only suitable to a limited extent for the further development of such systems and their dimensioning and structural design in the field. In recent years, the Chair of Mining Engineering and Mineral Economics at the Montanuniversität Leoben has shown the possibilities of examining the performance of such systems in a detailed and, at the same time, cost-effective manner through the successful transfer of the standardized test methods and a commercially available flexible rockfall protection kit to the laboratory scale, and thus a comprehensive database for the numerical simulation of flexible rockfall protection systems can be created. In the FFG-funded project NAGEMA (natural hazard management), Trumer Schutzbauten GmbH, in close cooperation with the Montanuniversität Leoben, is implementing the findings of system modelling on a laboratory scale for the construction of a new inclined test site so that the testing of flexible rockfall protection kits on a 1:1 scale will be more effective and efficient in the future.

**Keywords:** Danger, Rockfall, Technical rockfall protection, Falling rock protection kit

Dr. Dr. mont. C. A. Heiss (✉)  
 Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft,  
 Montanuniversität Leoben,  
 Franz-Josef-Straße 18,  
 8700 Leoben, Österreich  
[christian.heiss@unileoben.ac.at](mailto:christian.heiss@unileoben.ac.at)

## 1. Stein- und Blockschlag als Gefahrenquelle

Ein Naturereignis, bei dem einzelne Blöcke aus dem Gebirgsverband gelöst werden oder bei dem lose Gesteinskörper in der Größe von bis zu  $100\text{m}^3$  impulsiv in Bewegung geraten und gravitativ beschleunigt mit charakteristischen Geschwindigkeiten von bis zu  $30\text{m/s}$  zu Tal stürzen, wird im Allgemeinen als Stein- und Blockschlag bezeichnet. Befindet sich im Einwirkungsbereich eines derartigen Ereignisses menschliches Hab und Gut, das beschädigt werden kann, spricht man von Stein- und Blockschlag als Naturgefahr [1].

Auch im Bergbau repräsentiert Stein- und Blockschlag eine Gefahrenquelle, die sowohl die Arbeits- wie auch die Prozesssicherheit gefährden kann. In der Tagbauverordnung (TAV), die den Arbeitnehmerschutz in österreichischen Tagebaubetrieben konkretisiert, wird Stein- und Blockschlag als geogene Gefahr definiert, der mit unterschiedlichen Maßnahmen begegnet werden muss [2].

## 2. Technischer Steinschlagschutz

Da eine Substitution der Gefahrenquelle bei Stein- und Blockschlag (z. B. durch Abtragungssprengungen im Quellgebiet) – gerade im öffentlichen Bereich – häufig nicht möglich ist, müssen meist technische und/oder organisatorische Maßnahmen gegen diese Gefahr umgesetzt werden, um den Menschen und dessen Umfeld zu schützen. Bei technischen Steinschlagschutzmaßnahmen unterscheidet man heute zwischen Maßnahmen mit aktivem und Maßnahmen mit passivem Charakter.

Aktive technische Steinschlagschutzmaßnahmen agieren direkt, d. h. sie werden im Quellgebiet errichtet und reduzieren die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses (im Idealfall) gegen Null. Passive Maßnahmen werden nahe den Schutzobjekten verbaut. Sie reagieren auf ein Ereignis, d. h. sie beeinflussen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses nicht, reduzieren aber dessen Auswirkungen. Das Risiko wird in beiden Fällen reduziert, wobei das Restrisiko beim Einsatz passiver Maßnahmen höher einzuschätzen ist, als das beim Einsatz aktiver Maßnahmen. Passive Maßnahmen werden heute dennoch präferiert verbaut, da aktive Maßnahmen in vielen Fällen, z. B. aufgrund ungünstiger Errichtungsbedingungen im Quellgebiet (Ausdehnung, Zugänglichkeit), nur schwierig bzw. nur in Verbindung mit sehr hohen Kosten zu realisieren sind.

Werden passive Steinschlagschutzverbauungen von einem Sturzkörper getroffen, wird dieser entweder durch die Schutzverbauung gefangen (z. B. durch einen Steinschlagschutzdamm) oder in einen Bereich umgelenkt (z. B. durch eine Steinschlagschutzgalerie), in dem sich keine Schutzobjekte befinden, d. h. in einen Bereich, wo mit keinen negativen Auswirkungen für den Menschen und dessen Umfeld zu rechnen ist.

## 3. Flexible Steinschlagschutzsysteme als passive Schutzmaßnahme

Flexible Steinschlagschutzsysteme zählen zu den passiven Schutzmaßnahmen gegen Steinschlag, die einen Sturzkörper im Falle eines Impakts abfangen und zum Stillstand bringen, bevor dieser auf ein Schutzobjekt trifft. Ähnlich funktionieren auch Steinschlagschutzdämme und starre Steinschlagschutzverbauungen, die genauso wie flexible Steinschlagschutzsysteme bei einem Impakt (mechanische Arbeit ( $W_{\text{System}}$ ) leisten und dadurch die kinetische Energie eines Sturzkörpers ( $E_{\text{kin}}$ ) abbauen. Das Energieaufnahmevermögen einer passiven Schutzverbauung ist daher ein wesentliches Auswahlkriterium bei deren Anwendung.

## 4. Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme als Bauprodukt

Flexible Steinschlagschutzsysteme (siehe Abb. 1) bestehen aus einem Unter- und einem Oberbau. Sie gelten rechtlich als Bauwerke, deren Einzelkomponenten unter die EU-Bauprodukteverordnung fallen, in der geregelt wird, unter welchen Voraussetzungen Bauprodukte am Europäischen Binnenmarkt vertrieben werden dürfen [3]. Werden Bauprodukte von einer harmonisierten Europäischen Norm (hEN) erfasst, müssen sie CE-gekennzeichnet auf den Markt gebracht werden und mit einer Leistungserklärung des Produzenten versehen sein. In der Leistungserklärung werden Angaben zu den „Wesentlichen Merkmalen“ des Produkts gemacht, durch die die Grundanforderungen eines Bauwerks erreicht werden sollen. Die „Wesentlichen Merkmale“ eines Bauprodukts findet man in einer korrespondierenden harmonisierten Europäischen Norm (hEN) und die Grundanforderungen an ein Bauwerk werden in Anhang 1 der EU-Bauprodukteverordnung definiert [3]. Der Oberbau eines flexiblen Steinschlagschutzsystems wird als Bausatz gedeutet, der strukturiert aufgebaut ist und dessen Strukturen wiederum aus Einzelkomponenten bestehen, die großteils durch harmonisierte Europäische Normen (hEN) erfasst werden. Der Bausatz selbst wird jedoch nicht durch eine harmonisierte Europäische Norm (hEN) repräsentiert. Dennoch können Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme CE-gekennzeichnet am Euro-



Abb. 1: Systemerstprüfung nach EAD 340059-00-0106 am ehemaligen Prüf- und Forschungszentrum Erzberg der Trumer Schutzbauten GmbH

päischen Binnenmarkt vertrieben werden, nämlich dann, wenn sie über eine Europäische Technische Bewertung (European Technical Assessment, kurz ETA) verfügen. Eine Europäische Technische Bewertung (ETA) wird nach Antrag eines Produzenten von einer (nationalen) Bewertungsstelle auf Basis eines Europäischen Bewertungsdokuments (European Assessment Document, kurz EAD) ausgestellt. Beim Europäischen Bewertungsdokument handelt es sich um eine harmonisierte europäische Spezifikation, in der bestimmt wird, welche „Wesentlichen Merkmale“ des Produktes wie ermittelt werden müssen, und in der Europäischen Technischen Bewertung (ETA) werden folglich die ermittelten Werte der „Wesentlichen Merkmale“ des Produkts wiedergegeben. Die Europäische Technische Bewertung (ETA) liefert in weiterer Folge die nötigen Informationen für die Leistungserklärung des Produzenten, die wiederum für die CE-Kennzeichnung des Produkts notwendig ist. Der Weg zur CE-Kennzeichnung über eine Europäische Technische Bewertung (ETA) beruht auf freiwilliger Basis und ist nicht, wie für Produkte, die durch eine harmonisierte Europäische Norm (hEN) erfasst sind, für den Produzenten obligatorisch.

## 5. Prüfung von Bausätzen flexibler Steinschlagsysteme

Für Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme (Oberbau) existiert bereits seit 2018 ein Europäisches Bewertungsdokument (EAD), sodass für ein derartiges System auf Ansuchen eines Produzenten relativ rasch eine Europäische Technische Bewertung (ETA) ausgestellt werden kann. Für die Ausstellung einer Europäischen Technischen Bewertung (ETA) müssen für ein System aber vorab die Werte der „Wesentlichen Merkmale“ bestimmt werden. Für „Wesentliche Merkmale“, die die Grundanforderung „Festigkeit und Standsicherheit“ des Gesamtbauwerks (Ober- plus Unterbau) betreffen, muss der Bausatz (Oberbau) nach dem gültigen Bewertungsdokument EAD 340059-00-0106 Falling Rock Protection Kits [4] einem Prüfverfahren im 1:1 Maßstab unterzogen werden.

Das Bewertungsdokument EAD 340059-00-0106 Falling Rock Protection Kits sieht für die Erstprüfung eines Bausatzes flexibler Steinschlagschutzsysteme zwei Prüfscenarien vor: den MEL-Test (Maximum Energy Level-Test) und den SEL-Test (Service Energy Level Test). Beide Prüfscenarien wurden im Wesentlichen dem Vorgängerdokument des Bewertungsdokuments, der ETAG 027 (Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für Bausätze für Steinschlagschutznetze) [5], entnommen und wurden bereits in den BHM 156 (2011) [6] ausführlich erläutert.

Zusammengefasst sei hier erwähnt, dass auch das aktuelle Bewertungsdokument EAD 340059-00-0106 Falling Rock Protection Kits für die Systemerstprüfung folgende Prüfanordnung zur Bestimmung der Werte „Wesentlicher Merkmale“ festhält: Sowohl beim MEL-Test, wie auch beim SEL-Test muss ein zu evaluierendes System aus drei Funktionsmodulen, dies entspricht drei Feldern, bestehen (siehe Abb. 1). Der Energieeintrag hat im Zentralfeld mittig durch einen beschleunigten Wurfkörper (aus Beton) mit definier-

ter Form und Dichte zu erfolgen. Die Impaktgeschwindigkeit ( $v_i$ ) muss dabei mindesten 25 m/s betragen, woraus folgt, dass der Energieeintrag ( $E_{\text{Impakt}}$ ) über die Wurfkörpermasse ( $m$ ) bestimmt wird.

## 6. Systemerstprüfungen am Steirischen Erzberg durch den Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft

Der Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft an der Montanuniversität beschäftigt sich schon seit über 20 Jahren in enger Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) – der Österreichischen Bewertungsstelle – und der Trumer Schutzbauten GmbH – Österreichs einzigem Hersteller derartiger Systeme – mit der Entwicklung und Prüfung flexibler Steinschlagsysteme.

Die Trumer Schutzbauten GmbH hatte bis ins Jahr 2021 zu diesem Zwecke am Haldengelände des Steirischen Erzberges eine Schrägwurfanlage in Betrieb, auf der Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme – ursprünglich nach Vorgaben der ETAG 027 und dann nach Vorgaben des EAD 340059-00-0106 – Prüfungen im Maßstab 1:1 unterzogen werden konnten (siehe Abb. 1). Die Schrägwurfanlage wurde seit ihrer Inbetriebnahme im Jahr 2000 einige Male umgebaut und adaptiert, sodass letztendlich standardisierte Prüfungen bis zu einem Energieeintrag von 5000 kJ realisiert werden konnten. In einem Zeitraum von knapp über zwanzig Jahren konnte so auf Basis von etwa 200 standardisierten Einzelprüfungen bzw. Systemtests im 1:1 Maßstab eine umfangreiche Expertise bezüglich der Prüfung und Entwicklung flexibler Steinschlagschutzsysteme erarbeitet werden. Rasch wurde offensichtlich, dass die in der Leitlinie ETAG 027 bzw. im Bewertungsdokument EAD 340059-00-0106 vorgeschriebenen Prüfverfahren für die Weiterentwicklung von Systemen, aber auch für die Bemessung und konstruktive Durchbildung flexibler Steinschlagschutzsysteme (als Gesamtbauwerk) nur bedingt anwendbar sind: Bei standardisierten Systemerstprüfungen muss der Oberbau eines flexiblen Steinschlagschutzsystems durch einen sehr gleichförmigen Wurfkörper mit sehr hoher Sphärizität und ausschließlich kinetischer Translationsenergie (ohne Rotation) in einem Bereich getroffen werden, der bezüglich zu leistender Systemarbeit bzw. Energieverteilung im System als optimal angesehen werden kann (siehe Abb. 1). Folglich führen Prüfergebnisse nicht nur zu falschen Grundlagen für die Dimensionierung des Unterbaus, sondern auch zu gefälschten bzw. irreführenden Ergebnissen der Systembewertung. Als Konsequenz dieser Tatsachen konnte man in den letzten Jahren europaweit beobachten, dass einerseits Versuchsanlagen exakt für die im Bewertungsdokument standardisierten Prüfverfahren optimiert wurden und daher z. B. dezentrale Trefferpositionen nicht oder nur unter hohem Aufwand realisiert werden könn(t)en und dass zu prüfende Systeme speziell für standardisierte Belastungssituationen ausgelegt werden. D. h. diese Systeme funktionieren nur unter standardisierten Bedingungen, die jedoch in der Realität, also beim Einsatz der Systeme im Gelände, nicht anzutreffen sind, optimal.



Abb. 2: Modellierung des Systems TSC-2000-ZD auf einer schrägen Prüf-anordnung (mit Referenzgeländeneigung von 30°)

## 7. Modellierung von Systemprüfungen im Labormaßstab

Um Mankos dieser Entwicklungen aufzuzeigen, wurden vom Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft an der Montanuniversität Leoben ein gängiger Bausatz flexibler Steinschlagschutzsysteme der Trumer Schutzbauten GmbH, nämlich das System TS-2000-ZD, und die in der Leitlinie ETAG 027 bzw. im Bewertungsdokument EAD 340059-00-0106 vorgeschriebenen Prüfverfahren derart in den Labormaßstab übertragen, dass zwischen Modell und Original eine ausreichend mechanische Ähnlichkeit nachgewiesen werden konnte (siehe Abb. 2, [7]).

Für die Übertragung in den Labormaßstab wurde dafür auf Basis der Energiebilanz des Prüfverfahrens das Froudesche Ähnlichkeitsgesetz, das besagt, dass zwei Vorgänge sich hinsichtlich der Trägheitskräfte und Gewichtskräfte mechanisch ähnlich verhalten, wenn ihre Froudeschen Kennzahlen ( $Fr$ ) übereinstimmen, gewählt. Die Froudesche Kennzahl ( $Fr$ ) entspricht dabei dem Verhältnis  $v^2/(l \cdot g)$ , mit  $v$  = Geschwindigkeit,  $g$  = Erdbeschleunigung und  $l$  = Länge. Für die Modellierung wurde schließlich ein Längenverhältnis ( $l_M/l_o$ ) von 1:20 gewählt, sodass sowohl einzelne Systemkomponenten geometrisch und mechanisch ähnlich nachgebildet werden konnten, aber auch eine praktikable Handhabung des Gesamtsystems mit seiner lateralen Erstreckung von etwa 2,5 m im Labor gewährleistet war. Aus der freien Wahl des Längenmaßstabs ergab sich für den Zeitmaßstab ( $t_M/t_o$ ) das Verhältnis 1:4,5. Der Kräftemaßstab ( $F_M/F_o$ ) wurde basierend auf der Energiebilanz mit 1:1500 gewählt, was bedeutet, dass 1 N im Modellversuch 1,5 kN im Originalversuch entspricht.

Neben der Übertragung vom Verbausystem und der Prüf-anordnung ins Modell mussten auch die Datenerfassungssysteme an die neuen Randbedingungen angepasst werden, was bei dynamischen Messungen eine Erhöhung der Messrate um den Faktor 4,5 zur Folge hatte.

Die Evaluierung der Modellierung erfolgte über die Ergebnisse von Systemerstprüfungen, die am Prüf- und Forschungszentrum Erzberg der Trumer Schutzbauten GmbH

im Jahr 2009 am System TSC-2000-ZD durchgeführt wurden. Bei den im EAD 340059-00-0106 definierten wesentlichen Systemmerkmalen lag die maximale Längenabweichung der Modellierung im Vergleich zum Originalversuch bei 8% und die der maximalen Kräfteabweichung unter 10%. Somit konnte (zumindest für das modellierte System TSC-2000-ZD) eine ausreichend gute mechanische Ähnlichkeit der Modellversuche nachgewiesen werden, um damit weiterführende Untersuchungen bezüglich Systemperformance und standardisierter Prüfverfahren durchzuführen.

Im Rahmen zahlreicher Versuchsserien im Modellmaßstab konnten so die Auswirkungen unterschiedlicher Prüf-anordnungen (vertikal vs. schräg) auf Systemperformance und die Bewertung der „Wesentliche Merkmale“ eines Bausatzes flexibler Steinschlagschutzsysteme untersucht werden. Es wurden dezentrale Systembelastungen mit standardisierten Systembelastungen verglichen und es konnten multiple Systembelastungen (als Mehrfeldbelastungen) simuliert werden.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der Modellversuche war natürlich die Tatsache, dass mit ausreichendem Verständnis der Systemperformance, das über die Ergebnisse von standardisierten Erstprüfungen nach EAD 340059-00-0106 gewonnen werden kann, und der Kenntnis des mechanischen Verhaltens von Einzelkomponenten Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme im Labormaßstab mit ausreichend guter mechanischer Ähnlichkeit nachgebildet werden können, um damit Situationen zu simulieren, die auf 1:1 Prüfanlagen aktuell nicht oder nur mit hohem finanziellen Aufwand realisiert werden können.

Die Versuchsserien haben weiters gezeigt, dass unterschiedliche Prüf-anordnungen (schräg oder vertikal) nicht – wie bis dato reklamiert – zu signifikanten Unterschieden bei den dynamischen Prüfergebnissen (d. h. die Systemperformance betreffend) führen, jedoch einige bei der standardisierten Erstprüfung nach EAD 340059-00-0106 zu untersuchende „Wesentliche Merkmale“ nicht direkt mit der Systemleistung zusammenhängen, sondern mit der Neigung des Referenzgeländes, und daher für eine Systembewertung ungeeignet sind [8].

Eine ganz wesentliche Feststellung, die basierend auf durchgeführten Modellversuchen gemacht werden kann, ist, dass dezentrale Treffer und Treffer in kritischen Bereichen des Systems im Regelfall zu einem Systemversagen führen können bzw. zu einem Systemversagen führen werden.

## 8. Projekt NAGEM – Naturgefahrenmanagement

Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die sich mit flexiblen Steinschlagschutzsystemen befassen, nutzen das Wissen, das durch die Durchführung von Modellversuchen generiert werden konnte, und die Möglichkeit der Modellierung im Labormaßstab selbst. So wird nicht nur in der Schweiz die Aufnahme alternativer bzw. ergänzender Prüfkriterien für die Beurteilung flexibler Steinschlagschutzsysteme angedacht, sondern auch in Österreich werden Schritte gesetzt, um zukünftig Bausätze flexibler Steinschlagsys-

teme einer effektiveren und effizienteren Prüfung, als sie im entsprechenden EAD derzeit gefordert wird, zu unterziehen, bevor sie auf den Markt gebracht werden:

Im Rahmen des von der FFG geförderten Projekts NAGEMA – Naturgefahrenmanagement wird seit November 2021 von der Trumer Schutzbauten GmbH in enger Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben (Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft) und der Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Alpine Naturgefahren) das Entwicklungs- und Forschungszentrum Erzberg nicht nur aktualisiert und für neue Prüfmethode adaptiert, sondern auf Erkenntnissen der Modellierung im Labormaßstab gänzlich neu errichtet. Dadurch soll gewährleistet werden, dass in naher Zukunft unter anderem Bausätze flexibler Steinschlagschutzsysteme mit unterschiedlichsten Geometrien und Systemanordnungen in allen Bereichen des Systems dynamisch belastet werden können. Dies wird Systeme mit einem höheren Leistungsvermögen und einer höheren Zuverlässigkeit nach sich ziehen und in Kombination mit Modellversuchen, der numerischen Simulation und Rückanalysen bei Realereignissen die Expertise einzelner Akteure über die optimale Gestaltung flexibler Steinschlagschutzsysteme bedeutend verbessern.

Obwohl eine rasche Änderung der aktuell gültigen Beurteilungsmethoden auf europäischer Ebene nicht in Aussicht steht, kann durch eine enge Zusammenarbeit aller Stakeholder und deren Akzeptanz alternativer bzw. ergänzender Beurteilungsmethoden der technische Steinschlagschutz in Österreich gravierend verbessert und zuverlässiger gestaltet werden. Dazu müssen aber Stellen gefunden werden, die die Ergebnisse von 1:1 Systemerstprüfungen, Schlussfolgerungen von Versuchen im Labormaßstab, Resultate der numerischen Simulation und Analysen von Realereignissen zusammenführen und kombiniert auswerten. Nur so kann ein umfassendes Bild des Leistungsvermögens von Bausätzen flexibler Steinschlagschutzsysteme entstehen und der Einsatz derartiger Schutzsysteme zukünftig nachhaltiger realisiert werden.

**Funding.** Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namens-

nennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

- Hübl, J.: Alpine Naturgefahren – Ein Handbuch für Praktiker Vorarlberg (2011)
- Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen bei der Durchführung von Arbeiten im Tagbau (Tagbauarbeitenverordnung – TAV)
- Europäisches Parlament, Europäischer Rat: erordnung (EU) Nr. 305/2011 DES Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, A. f. v. d. E. Union. Europäisches Parlament, Europäischer Rat, Brüssel (2011)
- EOTA (European Organisation for Technical Assessment), EAD 340059-00-0106 Falling Rock Protection Kits, Brüssel, 2018.
- EOTA (European Organisation for Technical Approvals), ETAG 027 Falling Rock Protection Kits, Brüssel, 2013.
- Heiss, C.: Die Prüfung flexibler Steinschlagschutzsysteme nach der ETAG 027 und das Funktionsprinzip derartiger Systeme am Beispiel der Produktreihe TSC-xxxx-ZD. *Berg Hüttenm Monatsh* **156**, 57–62 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00501-011-0628-5>
- Heiss, C.: Überlegungen zur Sicherung von Personen und Infrastrukturbawerken gegen Steinschlag im alpinen Bereich unter besonderer Berücksichtigung flexibler Steinschlagsysteme. Montanuniversität Leoben, Leoben (2017)
- Heiss, C.: Über den Einfluss unterschiedlicher Prüfanordnungen (schräg vs. vertikal) auf die Beurteilung flexibler Steinschlagschutzsysteme nach ETAG 027. *Z. Wildbach Lawinen Erosion Stein-schlag* **82**(182), 318–335 (2018)

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.