

Neues Dämpfungssystem für Steinschlagschutzgalerien

New damping system using high-tensile steel wire mesh and cellular glass for rockfall protection galleries

Rafael Wyrsh¹, Armin Roduner²

¹ Dipl. Bauing. FH/SIA/REG A, Rafael Wyrsh, Casutt Wyrsh Zwicky AG, Bad Ragaz / Chur, Schweiz, rafael.wyrsh@cwz.ch

² Dipl. Bauing. FH/MSc, Armin Roduner, Geobrugg AG, Romanshorn, Schweiz, armin.roduner@geobrugg.com

Zusammenfassung

Als Alternative für das herkömmliche Kies-Dämpfungsmaterial wird auf dem Dach von Steinschlagschutzgalerien ein neues Dämpfungssystem vorgeschlagen, das verbessert dämpft und damit die Steinschlageinwirkung auf die Galeriendecke stark reduziert. Der leichte Aufbau mit speziellem Schaumglasfüllmaterial verringert die Auflast zu herkömmlichem Erdmaterial um ca. den Faktor 8. Die neu entwickelte und patentierte Konstruktion mit Zylindern aus hochfestem Stahldrahtgeflecht vermag mit dem Schaumglas auf elastoplastische Weise die Fallenergie besser zu vernichten als ein herkömmliches Eindeckmaterial. Damit ist das Dämpfungsmaterial im Ereignisfall ideal seitlich begrenzt und kann einen Teil der Energie absorbieren. Dies bewirkt eine wesentliche Reduktion der Einwirkung auf die Tragkonstruktion der Galerie. Das System wurde anhand von Laborversuchen und großmaßstäblichen Aufschlagsversuchen in Zusammenarbeit mit Universitäten entwickelt und getestet. Dieser Beitrag beschreibt das neue Dämpfungssystem und zeigt die Anwendung anhand eines ausgeführten Projekts für die Ertüchtigung zweier Steinschlaggalerien in Amden, Schweiz auf.

Schlüsselworte: Dämpfungssystem, Instandsetzung, Steinschlagschutzgalerie, hochfestes Stahldrahtgeflecht, Glasschaumschotter

Abstract

Over the last 10 years, there has been an increase in the number of incidents of rockfall events causing damage to rockfall galleries, endangering people's lives, and threatening the roads and infrastructure the galleries are supposed to be protecting. Although the galleries have been in use for over 40 years, many of them do not fulfil our requirements today, as we have a better understanding of the dynamics and impacts of rockfalls. Since we can now accurately predict impact energies, these energies can sometimes be higher than what the existing galleries were engineered to withstand, hence many of them require upgrading. Aside from building a new structure, one method for upgrading an existing rockfall gallery is to increase the damping ability by installing a bigger layer of gravel on top. This is not always straight forward, as the weight from additional gravel cannot be transferred by the existing structure. More often, repair work is required to the gallery anyway, so the other method for upgrading is to schedule additional strengthening at the same time, which is cost intensive. Because of this, a need has arisen for a method that will allow existing rockfall galleries to be upgraded, cost effectively. As an alternative to the normal gravel damping material on the roof of the rockfall galleries, a new system is suggested which improves the damping and at the same time reduces the impact force on the gallery roof structure. The lightweight construction with special cellular glass modules gives the possibility to use up to eight times the volume of damping material at the same weight than before. This special construction, with cylinders made from high-tensile steel wire mesh together with the cellular glass, can in an elastic-plastic way, reduce the impact energy better than the normal gravel installations. Using high-tensile steel wire mesh, the damping material is confined laterally during an event, and it also absorbs some of the energy. This results in a reduction of the rockfall impact-force on the gallery. The system has been developed and modified with laboratory tests as well as large scale field tests together with universities. This paper describes the new damping system and shows the application in a recently installed project.

Keywords: Damping system, reconstruction, rockfall protection gallery, high-tensile steel wire mesh, cellular glass

1 Einleitung

Es gibt unzählige Beispiele, wo jüngste Steinschlagereignisse zu enormen Schäden an Steinschlagschutzgalerien, Straßen und Infrastrukturen geführt haben. Weiter kam es dabei oft zu Gefährdung von Personen bis hin zu Personenschäden mit Todesfolge. Die neusten Erkenntnisse aus Forschung, Betrieb und Unterhalt solcher Infrastrukturen und den normativen Entwicklungen der Tragkonstruktionen

zeigen auf, dass viele bestehende Schutzbauwerke nicht mehr den heutigen Anforderungen entsprechen. Die heutigen Risikoüberlegungen führen oft zu höheren Steinschlageinwirkungen, welche kaum durch die vorhandenen Tragwerke aufgenommen werden können. Im Weiteren hat sich das Verkehrsaufkommen häufig vervielfacht und die Sicherheitsbedürfnisse der Gesellschaft haben zugenommen. Mit der Modifikation der schützenden Erdeindeckung



können die Dämpfungseigenschaften wesentlich verbessert werden. Weiter besteht die Möglichkeit eigentliche Systemtragfähigkeiten durch Umbau des statischen Systems zu nutzen. Oft stehen auch weitergehende Instandsetzungsarbeiten an, die mit der Steinschlagertüchtigung kombiniert werden können. Aus diesen Gründen werden in naher Zukunft bei vielen Galerien kostenintensive Ertüchtigungen unumgänglich. Oft muss das Tragverhalten optimiert und die Dämpfungseigenschaften des Eindeckmaterials verbessert werden, um der gegebenen Steinschlaggefahr zu genügen.

2 Beschreibung des neuen Dämpfungssystems

Als Alternative für die herkömmliche Kieseindeckung wird auf dem Dach von Steinschlagschutzgalerien ein neues Dämpfungssystem vorgeschlagen, das verbessert dämpft und damit die Steinschlageinwirkung auf die Galeriendecke stark reduziert. Der leichte Aufbau mit speziellem Schaumglasfüllmaterial ermöglicht die Anwendung eines ca. achtfachen Volumens an Dämpfungsmaterial bei gleicher Auflast. Die spezielle Konstruktion mit den Zylindern aus hochfestem Stahldrahtgeflecht vermag mit dem Schaumglas auf elastoplastische Weise die Fallenergie besser zu vernichten als ein herkömmliches Eindeckmaterial. Damit ist das Dämpfungsmaterial im Ereignisfall ideal seitlich begrenzt und kann ein Teil der Energie absorbieren. Dies bewirkt eine wesentliche Reduktion der Einwirkung auf die Schutzgalerie. Das System wurde anhand von Laborversuchen und großmaßstäblichen Aufschlagsversuchen in Zusammenarbeit mit Universitäten entwickelt, getestet und patentiert.

Die Dämpfungsmodule bestehen aus folgenden drei einfachen Systemkomponenten:

2.1 Hochfestes Stahldrahtgeflecht

Das Kernstück des Dämpfungssystem ist das hochfeste Stahldrahtgeflecht. Es wird horizontal über dem Dämpfungsmaterial verlegt und verfügt über eine Zugfestigkeit von 150 kN/m. Bei Maximalereignissen baut das Geflecht zusammen mit dem Dämpfungsmaterial die Aufschlagenergie elastoplastisch ab. Die Fläche, über welche die Restaufschlagenergie an die Galeriestruktur geleitet wird, vergrößert sich dabei.

2.2 Schaumglasschotter als Dämpfungsmaterial

Schaumglas wird aus Recycling-Glas in Korngrößen zwischen 10 und 50 mm hergestellt und verfügt über eine Würfeldruckfestigkeit von 6 N/mm^2 (siehe Abbildung 1). Mit seiner Dichte von max. 250 kg/m^3 ist es ca. achtmal leichter als herkömmlicher Kies. Das Dämpfungsmaterial wird standardmäßig in Schaumglasmodulen von bis zu 1.8 m^3 (2 m hoch, Durchmesser 0.95 m) ausgeliefert, die mit dem hochfesten Stahldrahtgeflecht ummantelt sind. Damit ist das Dämpfungsmaterial im Ereignisfall ideal seitlich begrenzt und kann die Energie optimal absorbieren. Das Schaumglas enthält keine Kapillarporen und ist somit frostsicher. Damit die Sickerwasserdurchlässigkeit sichergestellt ist, werden die vorgefertigten Umhüllungen mit Drainageöffnungen versehen.



Abb. 1: Glasschaumschotterkorn (links) und mit einem hochfesten Stahldrahtgeflecht ummantelte Dämpfungsmodule (rechts).

Fig. 1: Grain of a cellular glass (left) and with a high tensile steel wire mesh encased damping modules (right).

2.3 Umfassungsseil (optional)

Ein Umfassungsseil fasst die einzelnen Schaumglasmodule zu einer Einheit zusammen. Im Ereignisfall werden Horizontalkräfte in die Abspannseile geleitet, so dass sich das Füllmaterial nicht seitlich verschieben kann. Bei den Galerien in Amden wurden die Schaumglasmodule talseits durch eine Betonbrüstung und bergseits durch die anstehende Felswand eingegrenzt.



Abb. 2: Umfassungsseil zur Aufnahme der horizontalen Kräfte aus einem Steinschlagereignis.

Fig. 2: Enclosing rope for transmission of the horizontal forces coming from a rockfall event.

3 Labor- und großmaßstäbliche Feldversuche

3.1 Laborversuche

Bei den ersten an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) durchgeführten Laborversuchen wurde das Verhalten der neuen Dämpfungsmodule untersucht und dabei Sand, Kies und Schaumglas als Füllmaterial miteinander verglichen (SCHELLENBERG 2009). Jedes Modul wurde auf eine separate Stahlbetonplatte gelegt und mit zwei Aufschlägen eines aus 2 m Höhe fallenden, 825 kg schweren Versuchskörpers geprüft. Das Schaumglasmodul wurde zusätzlich ein drittes Mal getestet. Die Versuchsanordnung ist in der Abbildung 3 ersichtlich.

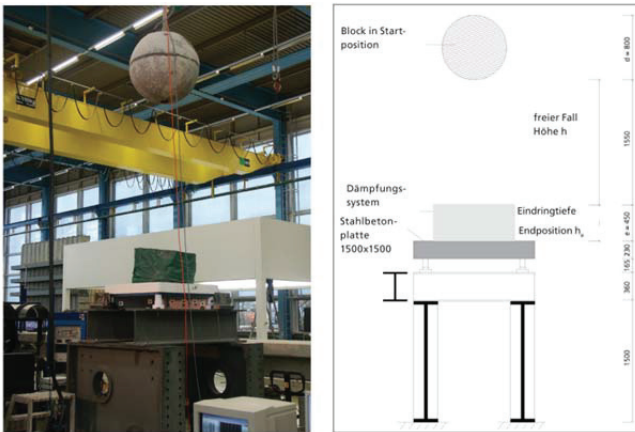


Abb. 3: Versuchsanordnung der Laborversuche mit Zylindermodulen.

Fig. 3: Test setup for the laboratory tests with cylinder modules.

Der erste Einschlag erfolgte auf das unverdichtete Eindeckmaterial und verursachte die größten Eindringtiefen und somit die geringsten Verzögerungen und Auflagerkräfte. Wegen der Verdichtung waren die nachfolgenden Stöße härter mit entsprechend größeren Verzögerungen und Auflagerkräften.

		S1	S2	C1	C2	C3	G1	G2
Start position	H [m]	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	2.00	2.00
Final position	h_e [m]	0.26	0.24	0.20	0.15	0.13	0.21	0.18
Thickness of cushion layer	e [m]	0.45	0.26	0.45	0.20	0.15	0.45	0.21
Free falling height	h [m]	1.55	1.74	1.55	1.80	1.35	1.55	1.79
Impact velocity	v [m/s]	5.5	5.8	5.5	5.9	5.1	5.5	5.9
Kinetic impact energy	E_i [kJ]	12.5	14.1	12.5	14.6	10.9	12.5	14.5
Penetration depth	s [m]	0.19	0.02	0.25	0.05	0.02	0.24	0.03
Impact time	t [ms]	55.0	32.5	66.9	28.8	27.5	73.1	38.8
Maximum reaction forces	F [kN]	233	491	213	374	424	236	615
Maximum boulder acceleration	$a_{b,max}$ [m/s ²]	236	421	227	410	478	232	563
Maximum slab acceleration	$a_{p,max}$ [m/s ²]	-26	-264	-57	-135	-180	-43	-277
Minimum slab acceleration	$a_{p,min}$ [m/s ²]	21	180	30	80	109	28	198
Total energy	E [kJ]	14.1	14.2	14.6	15.0	11.1	14.5	14.7
Rebound height	s_{sp} [m]	0.028	0.036	0.022	0.041	0.045	0.017	0.028
Rebound energy	E_{sp} [kJ]	0.227	0.291	0.178	0.332	0.364	0.138	0.227
Energy dissipated	D [%]	98.4%	98.0%	98.8%	97.8%	96.7%	99.1%	98.5%

Abb. 4: Tabelle aus SCHELLENBERG 2009 / VOGEL 2007 Versuchsergebnisse mit Sand (S1, S2), Glasschaumschotter (C1, C2, C3) und Kies (G1, G2).

Fig. 4: Table from SCHELLENBERG 2009 / VOGEL 2007 Test results with sand (S1, S2), cellular glass (C1, C2, C3) and gravel (G1, G2).

Die maximalen Werte der Auflagerreaktionen mit Schaumglasschotter (213 kN) betragen in der Erstbelastung ca. 90% des Wertes mit Sand- (233 kN) oder Kiesüberdeckung (236 kN). Bei der Wiederbelastung liegt der Maximalwert (374 kN) bei ca. 75% des jeweiligen Wertes mit der Sand- (491 kN) bzw. bei ca. 60% des Maximalwertes mit der Kiesüberdeckung (615 kN). Bei der Wiederbelastung ist die Lastdifferenz deutlich grösser.

3.2 Großmaßstäbliche Aufschlagsversuche auf Steinschlagschutzgalerien

In einer zweiten Versuchsreihe wurde das Verhalten der Dämpfungsmodule geprüft und dabei die Wechselwirkungen zwischen dem Versuchskörper, dem Puffersystem und der Betonplatte untersucht (SCHELLENBERG 2009). Die Feldversuche wurden zusammen mit der ETH und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL in der Steinschlag-Versuchsanlage in Walenstadt, Schweiz, durchgeführt. Insgesamt erfolgten 38

Aufschläge mit 800 kg und 4000 kg wiegenden Versuchskörpern aus Höhen von 2 bis 15 m. Die Versuchskörper wurden auf die Dämpfungskörper mit Kies- bzw. Schaumglasfüllung fallen gelassen. Die Dämpfungssysteme wurden auf Stahlbetonplatten platziert, die eine Steinschlagschutzgalerie-Konstruktion im Maßstab 1:2 simulierten. Die Prüfungen wurden durchgeführt, bis die plastischen Verformungen der Platten einen bestimmten Wert erreichten oder ein Schubversagen auftrat (siehe Abb. 5). Dies wurde durch eine schrittweise Vergrößerung der Fallhöhe des Versuchskörpers erreicht.



Abb. 5: Schubversagen der Versuchsbetonplatte nach mehreren Aufschlagsversuchen.

Fig. 5: Shear failure in concrete test slab after multiple impact tests.

Drei Ausführungen des Dämpfungsmoduls wurden geprüft. Ein Modul mit einem Durchmesser von 3 m, gefüllt mit Kies und mit einer Dicke von 0.4 m, sowie zwei mit Schaumglas gefüllte modulare Systemkonstruktionen. Die erste davon bestand aus drei aufeinander gestapelten, 0.4 m dicken Modulen mit einem Durchmesser von 3 m und mit Geflechtern unterteilt. Die zweite davon war ein Wabensystem, bestehend aus 7 kleineren Modulen mit einem Durchmesser von 1 m und einer Dicke von 0.6 m. Zwei Lagen dieses Systems wurden verwendet, jede mit einem Umfassungseil verbunden.

Kraftmesszellen maßen die Reaktionskräfte an der Platte; ihre Anordnung ermöglichte eine Simulation der verschiedenen Lagerungsbedingungen, die bei Steinschlagschutzgalerien üblich sind. Zwei zwischen der Versuchsbetonplatte und dem Träger angeordnete Kraftmesszellen simulierten die talseitigen Stützen als Punktlagerungen. Die Rückwandlagerung wurde mit einem Stahlträger als Linienlager simuliert. Die Stahlträgerenden lagen wiederum auf Kraftmesszellen mit denen die Auflagerreaktionen aus dem Fallereignis gemessen werden konnte (siehe Abb. 6).

Auch hier wurden mit Beschleunigungssensoren die Kinematik der Platte und des Fallkörpers sowie die Beanspruchung innerhalb der Platte gemessen. Die Plattenunterseite wurde weiß gestrichen, um die Rissausbreitung verfolgen zu können. Die umfangreich aufgezeichneten Daten ermöglichten eine detaillierte Analyse des dynamischen Verhaltens des gesamten Systems. Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen zeigen das elastoplastische Verhalten der Dämpfungsmodule (siehe Abb. 7).

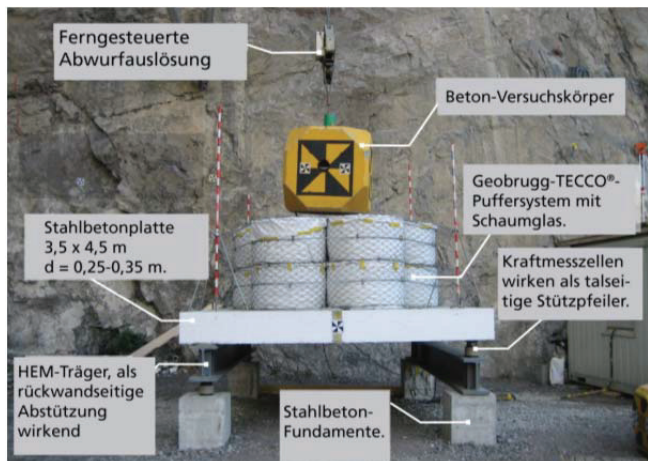
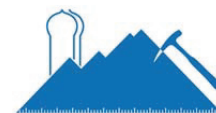


Abb. 6: Großmaßstäbliche Aufschlagsversuche auf Steinschlag-galerien, Versuchsanordnung.

Fig. 6: Large scale impact tests on rockfall galleries, test setup.

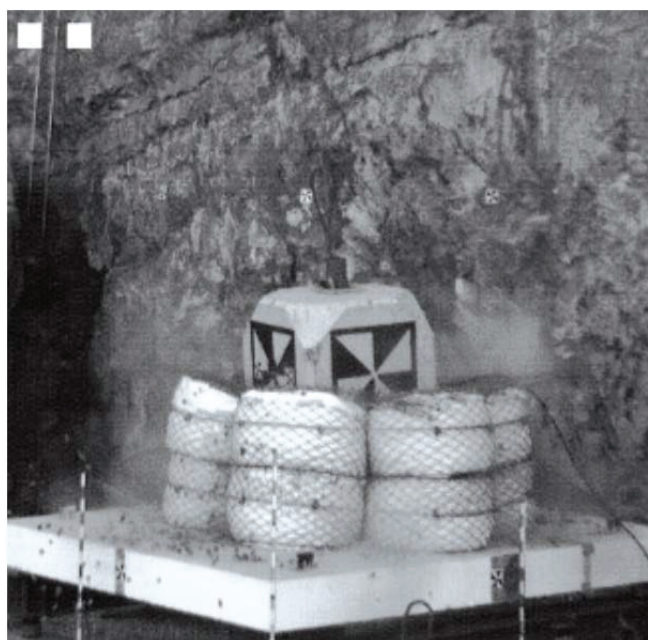


Abb. 7: Großmaßstäblicher Test mit 4000 kg Fallgewicht.

Fig. 7: Large scale test using a 4000 kg drop weight.

4 Dimensionierung gegen Steinschlag

Die Einwirkung aus Steinschlag wird nach der Richtlinie „Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien“ vom Schweizerischen Bundesamt für Straßen (ASTRA, 2008) ermittelt. Die Ausgangsgrößen für die Berechnung der statischen Ersatzkraft bestehend aus Masse m_k , Geschwindigkeit v_k und dem Neigungswinkel der Flugbahntrajektorie am Aufprallort α_k werden durch einen Geologen und weitere Sachverständige unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien festgelegt.

Aus den Labor- und den großmaßstäblichen Aufschlagsversuchen in Walenstadt wurden verschiedene Systeme getestet. Daraus lässt sich nun der charakteristische Wert des Faktors $M_{E,k}^{0.4} \cdot \tan \phi_k$ in Funktion des getesteten Eindeckungs-material bestimmen.

$$F_k = 2.8 \cdot e^{-0.5 \cdot r^{0.7}} \cdot M_{E,k}^{0.4} \cdot \tan \phi_k \cdot \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{2} \right)^{0.8}$$

$$t = \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{F_k} \right)$$

wobei:

t	[m]	Eindringtiefe
F_k	[kN]	charakt. Wert der Kraft am Aufprallort
m_k	[t]	charakt. Wert der Masse des Steinblocks
r	[m]	Radius der Ersatzkugel
v_k	[m/s]	charakt. Wert der Aufprallgeschwindigkeit
e	[m]	Schichtstärke der Eindeckung
$M_{E,k}$	[kN/m ²]	charakt. Wert des statischen M_E -Moduls des Eindeckungs-materials
ϕ_k	[°]	charakt. Wert des Reibungswinkels des Eindeckungs-materials

Abb. 8: Auszug aus Richtlinie ASTRA 2008 – Berechnung der statischen Ersatzkraft

Fig. 8: Extract from Guideline ASTRA 2008 - Calculation of the static equivalent impact force

Durch die Wahl der Dämpfungsmodulhöhen lässt sich die Durchstanzzlast auf der Decke bei vergleichbarer Auflast optimal steuern. Es wird einerseits die Ausbreitung auf die Betondecke und andererseits das Dämpfungsvermögen der Eindeckung beeinflusst, was wiederum die statische Ersatzkraft verändert. So kann die Dämpfungsmodulhöhe abge-stimmt auf die vorhandene Durchstanzzugkraft der Galerie-decke optimiert werden. Hierfür empfiehlt es sich mit ak-tualisierten Baustoffkennwerten zu rechnen (z.B. Druckfestig-keit des vorhandenen Betons).

5 Ertüchtigung der Steinschlagschutz-Galerien Mattstock und Churfirten, Weesen / Amden, Schweiz

5.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Die Staatsstraße Nr. 17 zwischen Weesen und Amden in der Schweiz ist zwischen Ortsausgang Weesen (Fly) bis zur Lokalität Lehni (Amden) durch Stein- und Blockschlag gefährdet. Zum Schutz und Verbreiterung der Straße wurden zwischen Herbst 1978 und August 1981 die Stein-schlagschutzgalerien Mattstock (110 m Länge) und Chur-firten (155 m Länge) erstellt (siehe Abb. 9).

Aufgrund von verschiedenen Steinschlagereignissen und Aktivitäten wurde der gesamte Straßenabschnitt unter der Leitung des Tiefbauamtes des Kantons St.Gallen, Abteilung Strassen und Kunstbauten, einer umfassenden Überprüfung der Gefahrensituation unterzogen.

In einer statischen Nachrechnung konnte gezeigt werden, dass die Galerien Mattstock und Churfirten mit der ur-sprünglichen Kieseindeckung in der Lage sind, Energien von nur 300 bis max. 500 kJ normgemäß aufzunehmen. Dabei wird die Durchstanz- respektive Schubtragfähigkeit der Decke maßgebend. Diese geringe Tragfähigkeit ist ins-besondere auf die dürftige Kieseindeckungsstärke zurückzu-führen.

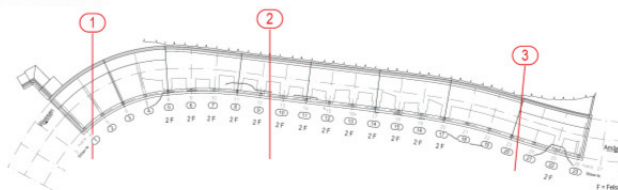
Mittels Risikobetrachtungen und unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit wurde schließlich das Szenario mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit mit einer Widerkehrpe-riode von 10–30 Jahren (Energien von 200–1900 kJ) als Schutzziel in der Nutzungsvereinbarung festgelegt. Das typische Normalprofil der Galerie ist in der Abbildung 11 ersichtlich.



Abb. 9: Ansicht Steinschlagschutz-Galerien Mattstock und Churfürsten, Amden, Schweiz.

Fig. 9: Frontview rockfall protection galleries Mattstock and Churfürsten, Amden, Switzerland.

GA Mattstock



Wahrscheinlichkeit sehr hoch → 1-10 Jahre (Masse = 0.518t, Radius Ersatzkugel = 0.36m)

	Steinschlagprofil 1		Steinschlagprofil 2		Steinschlagprofil 3	
Fallhöhe	64m		45m		13m	
Energie	325kJ		230kJ		66kJ	
EG = Rd/Sd	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge
Biegung plastisch mit C=1.0	5.81	4.20	4.91	3.43	6.80	4.97
Durchstanzen mit C=1.2	1.42	1.07	1.41	1.06	3.31	2.48

Wahrscheinlichkeit hoch → 10-30 Jahre (Masse = 2.268t, Radius Ersatzkugel = 0.59m)

	Steinschlagprofil 1		Steinschlagprofil 2		Steinschlagprofil 3	
Fallhöhe	63m		47m		14m	
Energie	1'410kJ		1'035kJ		310kJ	
EG = Rd/Sd	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge
Biegung plastisch mit C=1.0	2.83	1.87	2.18	1.41	3.55	2.43
Durchstanzen mit C=1.2	0.48	0.36	0.48	0.36	1.06	0.80

Wahrscheinlichkeit mittel → 30-100 Jahre (Masse = 12.636t, Radius Ersatzkugel = 1.04m)

	Steinschlagprofil 1		Steinschlagprofil 2		Steinschlagprofil 3	
Fallhöhe	64m		45m		11m	
Energie	7'950kJ		5'550kJ		1'370kJ	
EG = Rd/Sd	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge	EG Innen	EG Fuge
Biegung plastisch mit C=1.0	0.90	0.57	0.66	0.42	1.43	0.93
Durchstanzen mit C=1.2	0.15	0.11	0.15	0.11	0.39	0.29

Abb. 10: Auszug aus Tragwerksanalyse bezüglich Steinschlag auf Galerie Mattstock, Casutt Wyrsh Zwicky AG, 2009 - Erforderliche Sicherheiten nach Norm SIA 260 (2003): Erfüllungsgrad $EG \geq 1.0$

Fig. 10: Extract from structural analysis respect to rockfall gallery Mattstock, Casutt Wyrsh Zwicky AG, 2009 - Required safety according to SIA 260 (2003): Degree of fulfillment $EG \geq 1.0$

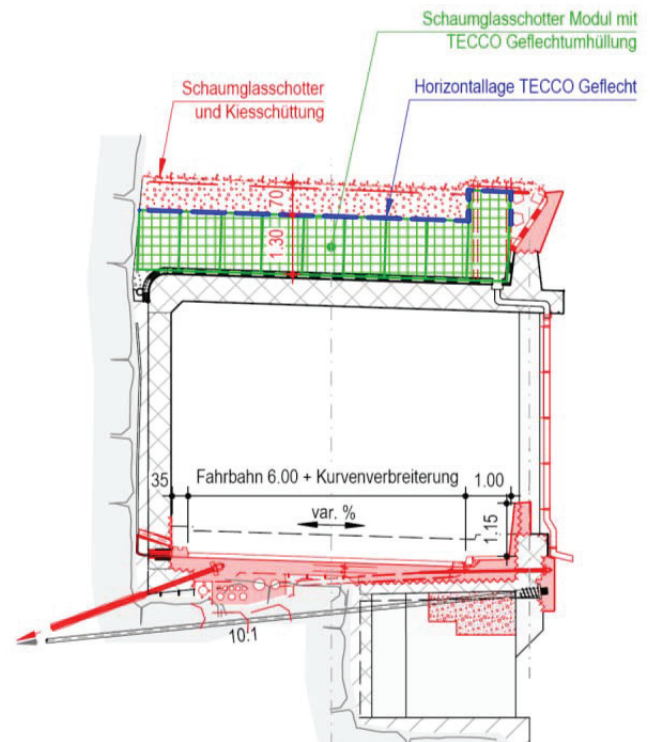


Abb. 11: Querschnitt der Steinschlagschutz-Galerie nach der Instandsetzung mit Dämpfungssystem.

Fig. 11: Cross section of the rockfall protection gallery after upgrading with damping system.

5.2 Alternative Schutzmaßnahmen

Die Installation einer flexiblen Steinschlagbarriere war aufgrund der notwendigen Auskragung, gestalterischen Aspekten und im Speziellen der Frage des Unterhaltes nicht gewünscht. Um den Aufwand des Unterhaltes so gering wie möglich zu halten, wäre eine „selbstreinigende“ Barriere denkbar. Für dieses Projekt ist so eine Ausführung nicht sinnvoll, da sich talseitig der Steinschlagschutzverbauung eine weitere öffentliche Straße entlang des Sees befindet.

5.3 Installation

Die Installation der 1300 Stück 1.3 m hohen Dämpfungsmodulen und der 575 Stück 2.0 m hohen Modulen erfolgte im September / Oktober 2011.

Zuerst wurden die Galeriefugen monolithisch verbunden, damit die Systemtragfähigkeit insbesondere im Fugenbereich maßgeblich erhöht werden konnte. Parallel dazu war der talseitige Dachrandabschluss zu erhöhen, damit der höhere Systemaufbau umfasst werden konnte. Anschließend war das Galeriedach alternierend freizulegen damit das Dach mit den vorfabrizierten Dämpfungsmodulen bestückt werden konnte. Der Antransport der Module gefüllt mit Schaumglasschotter und umhüllt mit hochfestem Stahl- drahtgeflecht erfolgte per Lastwagen.



Abb. 12: Anlieferung der Schaumglasschotter Module per LKW.
Fig. 12: Delivery of the damping moduls by truck.

Die einzelnen Dämpfungsmodule wurden mit dem Helikopter auf das Galeriedach geflogen. Bis zu 4 Schaumglas-schotter Module konnten mit dem Helikopter in einer Rotation transportiert werden (siehe Abb. 13). Danach wurden die einzelnen Schaumglasschotter Module positioniert und aneinandergereiht. Auf die ausgerichteten Big Bags folgte das Horizontalgeflecht, welches mit dem in Längsrichtung zwischengelagerten Eindeckmaterial zu überdecken war. Das alte Eindeckmaterial konnte so auf dem Galeriedach belassen werden, was aufgrund der schlechten Zugänglichkeit praktisch zwingend war (siehe Abb. 14).



Abb. 13: Die einzelnen Dämpfungsmodule wurden mit dem Helikopter auf das Galeriedach geflogen und aneinandergereiht.
Fig. 13: The damping modules were flown by helicopter to the roof of the rockfall protection gallery and positioned.

5.4 Unterhalt

Nach jedem größeren Ereignis werden die Felsblöcke entfernt und alle Systemkomponenten auf Schäden überprüft. Bei einem Extremereignis empfiehlt es sich, das Dämpfungsmaterial im Bereich der Einschlagstelle zu ersetzen. Eine Begrünung des Galeriedachs beeinträchtigt die Schutzfunktion nicht. Von der Bepflanzung mit Bäumen ist aus Unterhaltsgründen abzusehen.



Abb. 14: Installation des Horizontalgeflechts auf den Modulen und Abschluss mittels Kiesschüttung darauf.

Fig. 14: Installation of the horizontal mesh covering the damping system and gravel is placed above the installed damping system.

6 Schlussfolgerung

Feldversuche haben gezeigt, wie die mit Schaumglas gefüllten Dämpfungsmodule die statischen als auch die dynamischen Belastungen aus Steinschlag auf Tragkonstruktionen reduzieren können. Die Tests haben zu einem besseren Verständnis des Verhaltens von Steinschlägen auf Schutzgalerien beigetragen und somit zu einer Verfeinerung der Bemessungsgrundsätze für die Verstärkung und Instandsetzung bestehender Schutzgalerien verholfen. Die Dämpfungsmodule weisen insbesondere bei der Anwendung auf bestehenden Schutzgalerien gegenüber herkömmlichen Dämpfungsmaterialien zahlreiche Vorteile auf:

- Geringeres Eigengewicht des Systemaufbaus ermöglicht höhere Schüttstärken des eigentlichen Puffers gegen Steinschlag, was insbesondere bei nachträglich strengeren Schutzzielen respektive bei zu schwach ausgebildeten Galerien im Rahmen von Instandsetzungen zur Anwendung gelangt.
- Das elastoplastische Verhalten des Systems hält eine größere Dicke des Dämpfungsmaterials aufrecht und verbessert so das Verhalten des Systems über mehrere Aufschläge hinaus.
- Befahr- und Begehrbarkeit des Dämpfungssystems sind ähnlich wie bei üblichen Eindeckmaterialien aus Kies oder anderen Erdmaterialien ohne dass die Dämpfungseigenschaften durch Verdichtung beim Befahren (z.B. bei Materialeinbau) wesentlich verändert werden.

Literatur

- ASTRA (2008): Einwirkung infolge Steinschlags auf Schutzgalerien
- VOGEL, T. (2007): Beton bei Bau und Erhaltung von Steinschlag-galerien.
- SCELLENBERG, K. (2009): On the design of Rockfall Protection Galleries. – PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.