

Zehn Jahre Erfahrung mit flexiblen Murgang-Barrieren

Corinna Wendeler
Geobruigg AG, Romanshorn, Schweiz

Eberhard Gröner
Geobruigg AG, Romanshorn, Schweiz

Matthias Denk
EMDES Environmental Engineering, St.Gallen, Schweiz

Zusammenfassung

Mehr als 250 flexible Ringnetzbarrieren zum Schutz gegen Murgang wurden in den letzten 10 Jahren in über 25 Ländern installiert und haben in vielen Fällen Infrastrukturen wie Strassen oder Bahnanlagen vor bedeutenden Schäden bewahrt. Die flexiblen Murgang-Barrieren mit hochfesten Stahldrahtnetzen haben sich mittlerweile als zertifiziertes europäisches Produkt etabliert (ETA und CE-Kennzeichnung). Dieser Beitrag zeigt die Entwicklung von den ersten Testverbauungen, der Entwicklung von Standardbarrieren, bis hin zu ausgeführten Projekten mit erfolgreich zurückgehaltenen, grossen Murgang-Ereignissen auf. Anhand von Fallbeispielen werden die Vorteile und Herausforderungen dieser Technologie in Bezug auf Bautechnik, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit beleuchtet.

1. Einleitung

Seit dem Jahr 2005 wurden über 250 flexible Murgang-Barrieren in mehr als 25 Ländern gebaut. Zwischen 2005 und 2008 wurden mit Pilotprojekten die Machbarkeit für den Murgangrückhalt in Grossfeldversuchen im Illgraben (Wallis / Schweiz) nachgewiesen und erste Referenzprojekte, meist in der Schweiz, gebaut und deren Wirksamkeit untersucht. Aufgrund des gemeinsam mit der WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) entwickelten Lastansatzes wurden Standardsysteme mit der Software FARO definiert und mit Daten aus den Grossfeldversuchen verifiziert. In der Folge verbreitete sich die Technik der flexiblen Ringnetzbarrieren als Alternative zu konventionellen Murgangsperrern in Europa, USA und Südamerika. In Kundenprojekten mit mehreren Netzen in Serie wurde sowohl die Eignung dieser Netze für grössere Volumen als auch deren Funktionsweise in Reihe geschaltet nachgewiesen. Als Ergänzung zu konventionellen Sperrern im Rahmen von Schutzkonzepten für ein ganzes Einzugsgebiet sind Netzsperrern ebenfalls beliebt, praxistauglich und eine wirtschaftliche Alternative. Heute hat sich die Technik etabliert und dient Planern und Ingenieuren als Erweiterung ihrer Möglichkeiten bei der Planung zum Schutz von Murgängen. 10 Jahre Erfahrung mit flexiblen Murgang-Barrieren bedeuten, dass Bauherren die Vorteile von flexiblen Murgang-Sperrern anerkennen und der Nutzen in der Praxis ausgewiesen ist. Die zunehmende Erfahrung von

Einzelsperrern, Sperrern in Serie und Grosssperrern führten zu einem besseren Verständnis was die Vorteile betrifft, aber auch den Grenzen eines Netzsystems für den Murgangrückhalt. Einige der daraus gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden anhand von Beispielen präsentiert und kommentiert.

2. Grossfeldversuche zur Entwicklung von Standardbarrieren - ETA und CE-Kennzeichnung

2.1 Grossfeldversuche Illgraben

Zwischen 2005 und 2008 fanden im Murgang-Gerinne Illgraben, (Wallis / Schweiz) Grossfeldversuche in Zusammenarbeit mit der WSL statt (Wendeler 2008). Zuvor hatten einige flexible Steinschlagbarrieren auch Rutsche erfolgreich zurückgehalten. Es fehlten aber die Bemessungsgrundlagen sowie der Nachweis, dass flexible Ringnetze auch grösseren Murgängen in einem Gerinne schadlos Stand halten können. Im Illgraben, wo jährlich mindestens ein mittlerer bis grösserer Murgang natürlich entsteht, konnte so regelmässig ein flexibles Murgang-Netz einem Härtetest unterzogen werden (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Murgangstestverbauung im Illgraben 2006, Rückhaltevolumen ca. 1000 m³.

Beide Anforderungen wurden durch die Grossfeldversuche aufgezeigt und nachgewiesen. Einerseits zeigte sich, dass eine einzelne Barriere, je nach Gerinne-Geometrie, über 1000 m³ Murgang-Material zurückhalten kann. Andererseits wurde beobachtet, wie die Testbarriere jeweils von mehreren 10'000 m³ Murgang-Material schadlos überflossen wurde. Damit war der Weg frei, um mehrstufige Murgang-Rückhalte zu planen und auszuführen.

Auf der Bemessungsseite konnten die Lasten, welche auf das Murgang-Netz beim Aufprall einer Front entstehen, besser verstanden werden und in einem Lastansatz zusammengefasst werden (Wendeler 2008). Dazu dienten umfangreiche Messvorrichtungen in und um die Testverbauung (Wendeler et al 2006).

2.2 Entwicklungen von Standardbarrieren

Sowohl der Lastansatz als auch die Wirkungsweise von Murgang-Lasten auf flexible Ringnetzbarrieren wurden in die Finite Elemente Software FARO (Volkwein 2004) integriert und damit erste Kundenprojekte berechnet. Danach wurden basierend auf Berechnungsmodellen sogenannte Standardbarrieren mit einer vorgegebenen Druckaufnahmekapazität in kN/m² entwickelt. VX-Barrieren sind für Gerinne bis zu 15 m Breite geeignet und für Verbauungshöhen bis zu 6 m ausgelegt und können Drücken von bis zu 160 kN/m² standhalten. UX-Barrieren kommen bei breiteren Gerinnen zum Einsatz und verfügen über Stützen im Gerinne. Sie sind für Verbauungshöhen bis 6 m erhältlich und können auf Drücke von bis zu 180 kN/m² ausgelegt werden (Geobruigg 2016).

Heute ist der Lastansatz auf flexible Murgang-Netze Stand der Technik und in die frei zugängliche Bemessungssoftware DEBFLOW¹ integriert. Mit einer vorherigen Registrierung kann das Berechnungsmodul für Abschätzungen und die Netzdimensionierung genutzt werden.

¹ (<https://www.geobruigg.com> >> myGeobruigg)



Abb. 2: Murgang-Barriere UX mit Stützen im Trachtbach (Schweiz) für breitere Bachquerschnitte. Zusätzlicher Kolkerschutz mit Blockwurf und Magerbeton an der Bachsohle.

2.3 ETA und CE-Kennzeichnung

Die Grossfeldversuche dienten als Grundlage für die Standardisierung und CE-Kennzeichnung (EAD Dokument Nr. 340020-00-106²). Um die Gleichwertigkeit von Systemen zu prüfen, liegt dem CE-Kennzeichen ein sogenanntes „Europäisches Assessment Dokument“ zugrunde. Es werden Testverfahren und zu messende Lasten als Vergleichswerte festgelegt. Zusätzlich werden Typenklassifizierungen und jährliche Qualitätsüberwachungen genau definiert. Die Systeme erfüllen die europäischen Vorschriften bezüglich Produktqualität, Systemverhalten und Praxistauglichkeit (ETA 17/0268-17/0276 und ETA 17/0439).

3. Dimensionierung

Eine Vordimensionierung für Standardbarrieren bis 6 m Höhe kann mit der oben erwähnten Software, DEBFLOW erfolgen, beziehungsweise komplexere Bemessungen können weiterhin durch die Geobruigg AG oder die WSL mit der Software FARO dimensioniert werden. Einige bautechnische Spezialfälle werden im Folgenden beschrieben.

3.1 Auslegung auf Lasten wie Schneegleiten und Steinschlag

Im alpinen Raum muss in steilem Gelände bei Neigungen > 35° mit Schneerutschen oder Kleinlawinen gerechnet werden, welche auf die Murgang-Barrieren aufschlagen können. Zusätzlich muss im Bereich von Felswänden und Steillängen der Lastfall Steinschlag in Betracht gezogen werden. Beispiele dafür sind die Barrieren im Hasliberg (Kt. Bern / Schweiz) im Berner Oberland, welche sich teilweise auf 2'000 m über Meer befinden. Da flexible Netzbarrieren auch

² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF>

zum Schutz gegen Lawinen und Steinschlag eingesetzt werden, kann eine kombinierte Beanspruchung bis zu einem gewissen Grad gewährleistet und fachmännisch dimensioniert werden. Mit der Finite Element Software FARO (Volkwein 2004) werden diese zusätzlichen Lasten im Modell auf die Barriere aufgebracht und deren Tauglichkeit für diese Lastfälle projektspezifisch nachgewiesen. Gegebenenfalls müssen einzelne Komponenten angepasst werden (Wendeler 2014). Abbildung 3 zeigt die finite Element Simulation einer Barriere im Hasliberg. Der Aufprall durch eine Lawine erfolgt seitlich in einem Winkel von 10° mit einem Druck von 120 kN/m^2 . Die Murgang-Barriere ist in diesem Fall zu 70 % in den Rückhalteseilen ausgelastet.

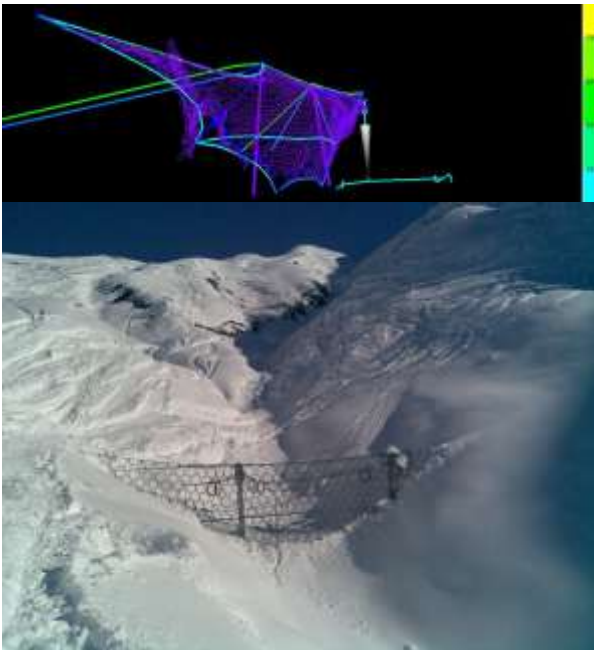


Abb. 3: FARO Simulation des Lawinenlastfalls auf eine Murgang-Barriere im Hasliberg (Kt. Bern / Schweiz) oben. Unten das Murgang-Netz im Winter teilweise eingeschnitten.

4. Bautechnische Aspekte

4.1 Untergrund und Verankerungen

Während der Oberbau eines Schutznetzes gut modelliert und dimensioniert werden kann, sind bei den Verankerungen geologische Parameter Voraussetzung, um die Kräfte schadensfrei in den Untergrund einzuleiten. Ideal ist es, wenn von der Sperrstelle detaillierte geologische Profile vorliegen oder Ausziehversuche an Bodennägeln durchgeführt wurden, um die äussere Mantelreibung zu bestimmen. Murgang-Material ist oft inhomogen gelagert, so dass für die Bestimmung der Tragfähigkeit der Verankerungen Spezialwissen benötigt wird. Zudem empfiehlt es sich, bei nichtstandfestem Bohrloch die Verwendung von Selbstbohrnägeln in Kombination mit einem flexiblen Ankerkopf zu verwenden. Die Verwendung von sogenannten Flexköpfen

ist wichtig, da sich die Barriere bei einer Füllung stark verformt und damit die Kräfte ungünstig auf den Nagel einwirken können. Bei einem Flexkopf können sich die Abspannwinkel bis zu 30° aus der Zugrichtung verändern ohne Abminderung der Lastaufnahme.

4.2 Gebrauchstauglichkeit der Verankerungen nach einem Ereignis

Ohne zusätzliche Flankenstabilisierung im Lockergestein kann es bei einem Ereignis zu Auswaschungen an den Gerinneflanken kommen. Nach dem Entleeren des Netzes können die Verankerungen in der Regel wiederverwendet werden. Der Flexkopf wird abgeschraubt und der hervorstehende Teil der Verankerung abgeschnitten, ggf. können erneut Belastungsversuche an der Verankerung durchgeführt werden. Voraussetzung ist, dass die Ankerlängen eine entsprechende Reserve aufweisen. Wird mit einer häufigen Füllung des Schutznetzes gerechnet, lohnt es sich, die Verankerungen deutlich länger auszuführen oder mit Wasserbaumassnahmen die Auskolkung an den Flanken zu verhindern (Abb. 4).



Abb. 4: Freigespülte Verankerung einer Murgang-Sperre. Verankerung teilweise im Lockergestein und in bestehender Betonsperre.

4.3 Wasserbauliche Überlegungen: Schutz bei Richtungsänderungen in Gerinnen

Speziell in Kurven des Baches kann es bei Teil- oder Komplett-Füllung zu Auswaschungen und Erosion am sogenannten Prallhang kommen. Massgebend sind dabei das Volumen und die Geschwindigkeit des nachfliessenden Wassers und Geschiebes. Deshalb ist an entsprechenden Stellen besondere Vorsicht geboten. Je nach Situation können Verstärkungen der Gerinne-Aussenseite relevant sein. Dies kann aus Blocksteinen oder Leitmauern (Abb. 8), Betonriegeln, Gabionen und zusätzlicher Böschungsstabilisierung mit Geflechtauf-lage (Abb. 5) erfolgen. Diese werden auf entsprechende Ereignisse ausgelegt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Scherkräfte eines Murgangs erheblich grösser sein

können als diejenigen von reinem Wasser. Sie müssen bei der Auslegung zwingend berücksichtigt werden.

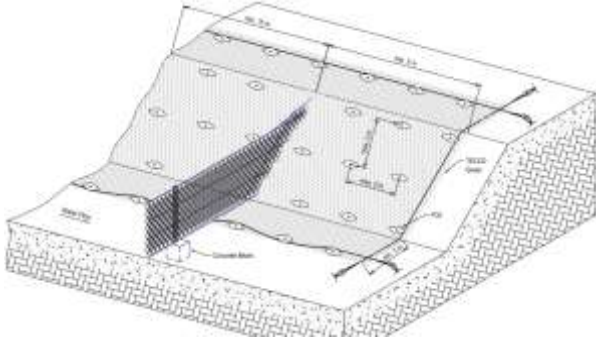


Abb. 5: Murgang-Netz mit einer mit einem Drahtgeflecht stabilisierten Böschungsflanke im Lockergestein.

4.4 Kolkenschutz

Bei gefüllten und teilweise gefüllten Barrieren ist weiter darauf zu achten, dass der Murgang unterstrom wieder in den ursprünglichen Flusslauf zurückgeleitet wird. Dies ist speziell wichtig für Bauwerke, welche nicht in einem Gerinne, sondern auf offenem Feld einen Murgang zurückhalten sollen. Bei der Planung muss überlegt werden, ob das Gelände unterstrom grabenförmig angepasst werden muss. Ebenso ist ein Kolkenschutz, beispielsweise aus verankerten Blocksteinen, zu prüfen (Abb. 2). Je nach Grösse und Ausmass des Murgangs muss bedacht werden, was dies im Falle eines Aufschwimmens und Wegreissens des Kolk-schutzes (Überlastfall) für die Unterlieger bedeutet.

5. Planerische Aspekte

Oft werden Murgang-Netze im Bereich des Entstehungsgebietes erstellt und grössere Bauwerke wie Rückhaltebecken und Ausleitbauwerke weiter unten. Netzbarrieren und massive Stahlbetonbauwerke können somit ohne Weiteres kombiniert eingesetzt werden. So werden die Vorteile der beiden Verbauungsvarianten gezielt eingesetzt. Beispiele dafür sind die Netzverbauungen in der Region Brienz für den Trachtbach und Hasliberg den Milibach (Schweiz). Bei diesen Projekten war unter anderem ausschlaggebend, dass deren Anordnung nicht nur den Geschieberückhalt im Entstehungsgebiet vergrössert, sondern auch die Erosion des Gerinnes vermindert. Somit konnten Betonbauwerke weiter unten in reduziertem Umfang umgesetzt und bestehende Schutzbauwerke wie Schwellen oder Bachschalen mit weniger Aufwand saniert werden.

5.1 Schutznetze als Sofortmassnahme

Schutznetze im Entstehungsgebiet des Murgangs sind bedeutsam, da sich dadurch die Fliesszeit des Murgangs bis zur bedrohten Infrastruktur vergrössert und damit die Zeit für die Alarmierung erhöht. Dies ist v.a. bei kleinen Einzugsgebieten mit kurzen Fliesszeiten wichtig. Die relativ schnell zu installierenden Murgang-

Netze eignen sich deshalb besonders gut als Sofortmassnahme. Sie erhöhen die Sicherheit der darunterliegenden Infrastrukturen sowie Bauarbeiten an grösseren, konventionellen Massnahmen stromabwärts. Sie können auch zusätzlich mit einem Alarmierungssystem zur Überwachung ausgestattet werden.

5.2 Landschaftsschutz

Murgangschutznetze anstelle von Betonsperren werden vermehrt auch aufgrund der geringen Sichtbarkeit eingesetzt. Die filigrane Bauweise lässt die Systeme für das Auge von weitem kaum in Erscheinung treten. Dies kann in touristischen Regionen entscheidend sein. Im UNESCO Weltkulturerbe entlang des Mittelrheins zwischen Bingen und Koblenz sind Murgang-Zäune kaum sichtbar installiert (Abb. 6 und 7).



Abb. 6: Kaum sichtbare Murgang-Zäune im UNESCO Weltkulturerbe Mittelrheintal.



Abb. 7: Teilverfülltes Murgang-Netz oberhalb der DB Strecke im Mittelrheintal

5.3 Durchgängigkeit für Tiere und Kleinlebewesen, Begrünung

Die relativ grossen Ringnetzöffnungen sind für Kleinlebewesen durchgängig, so lange die Barriere nicht verfüllt ist. Es gibt Beispiele, wo dieser Punkt ausdrücklich von der Bauherrschaft gewünscht wurde.

6. Anordnung und Typen von Murgang-Netzen

6.1 Einzelbarriere

Die meisten Barrieren werden als Einzelbarriere installiert. Je nach Topographie können sie mit konventionellen Massnahmen wie Leitmauern kombiniert werden (Abb. 8).



Abb. 8: Murgangschutznetz oberhalb einer Siedlung. Die Anprallseite des Murgangs wurde hier mit einer Blockmauer stabilisiert.

6.2 Barrieren in Serie (Multi-Level)

Murgang-Netze können in Serie gebaut werden, um das Rückhaltevolumen zu erhöhen. Die erste Multi-Level Testverbauung befand sich im Gerinne Merdenson (Wallis / Schweiz) als Beobachtungstation der WSL (Denk et al 2008). Es wurden Laborversuche zum Überströmverhalten von Multi-Level Barrieren an der Hochschule in Rapperswil / Schweiz durchgeführt. Untersucht wurde vor allem die Geschwindigkeitsentwicklung beim Überströmen: Der Lastansatz für Multi-Level Barrieren wurde bestätigt (Speerli et al 2010). Beispiele dafür sind die mehrstufigen Barrieren in Hasliberg / Schweiz (Wendeler et al 2014) und Portainé in Spanien (Luis et al 2010) sowie Ana Chosica in Peru (Abb. 10). Die meisten dieser Mehrstufenverbauungen konnten erfolgreich Murgänge zurückhalten.



Abb. 9: Murgang-Barriere im Hasliberg / Schweiz mit erfolgreich gestopptem Murgang.



Abb. 10: Gefülltes Schutznetz in Peru.

6.3 Rückhalt grösserer Murgangvolumen

In bestimmten Fällen kann eine Murgang-Barriere höher als 6 m und mit grösseren Spannweiten gebaut werden. Ein Beispiel dafür ist die Murgang-Barriere Hüpach bei Oberwil im Berner Oberland (Schweiz) mit einer Höhe von 10 m und einer Spannweite von 40 m (Berger et al 2016). Die Verbauung hat ein Rückhaltevolumen von über 12'000 m³. Eine solche Barriere benötigt starke Widerlager aus Stahlbeton, lange Verankerungen und muss mit Schwereisen aus der Seilbahntechnik aufgehängt werden, welche präzise eingepasst werden. Es waren umfangreiche Berechnungen des Netzes und der Seilkonstruktion, Anpassungen der Verankerungen und Spezialtiefbauarbeiten an exponierter Stelle notwendig. Der Entscheid für einen Grossrückhalt mittels Netz Sperre an dieser Stelle fiel neben der geringen Sichtbarkeit, aufgrund der topografischen Situation, der schweren Zugänglichkeit und mangelnder Alternativen mit konventionellen Massnahmen.



Abb. 9: Spezialbauwerk Murgangrückhalt Hüpach (Schweiz) mit 40 m Spannweite und 10 m Netzhöhe.

Ein weiteres Spezialbauwerk befindet sich im Sitebach an der Lenk (Schweiz) mit Betonscheiben und Netzflächen dazwischen (Abb. 10).



Abb. 10: Spezialbauwerk Murgangrueckhalt Sitebach Schweiz mit Betonscheiben.

7. Überwachung

Schutznetze können mit Sensoren überwacht werden (Sentinel System). Bei grösseren Verbauungen können die Teile des Bauwerks, z.B. die integrierten Bremsringe instrumentiert und bei einer gewissen Belastung ein Alarm ausgelöst werden. Ein Beispiel dafür ist der Murgang-Rueckhalt in Magnacun (Schweiz) für die Rhätischen Bahnen RhB, welcher im Jahr 2009 als Sofortmassnahme ausgeführt wurde. Nach Angaben der Bauherrschaft hat das Überwachungssystem seit damals einwandfrei funktioniert.

8. Unterhalt und Leerung

Wie jedes Bauwerk benötigen auch flexible Murgang-Barrieren von Zeit zu Zeit Unterhalt. Empfehlenswert sind regelmässige, beispielsweise jährliche Kontrollen der Bauwerke, falls keine grössere Murgänge oder Geschiebe auftraten. Dazu eignet sich ein Unterhaltsschema mit entsprechenden Checklisten, wie sie auch für andere permanente Schutzbauwerke eingesetzt werden.

Ein gefüllte Barriere kann beispielsweise von hinten ausgebaggert, das Material abtransportiert und defekte Elemente ersetzt werden. Bei der Planung ist deshalb zu berücksichtigen, was mit dem Aushubmaterial passiert und nötigenfalls sind entsprechende Deponieplätze zu reservieren. Weiters muss bei der Budgetierung damit gerechnet werden, dass Teile des Netzes nach einer Vollfüllung ersetzt werden müssen. Die Verankerungen können im Normalfall wieder verwendet werden. Eine Leerung kann auch von unten erfolgen, sofern die Masse hinter der Barriere stabil, das heisst trocken genug ist. Hierbei sind zwingend vorher Arbeitssicherheitsmassnahmen zu treffen und das Netz muss vor der Öffnung gegen hinten gesichert werden. Im Zweifelsfall muss mit lokalen Experten die Arbeitssicherheit vertieft abgeklärt und sichergestellt werden.

9. Vorteile und Systemgrenzen von flexiblen Netzen zum Murgang-Rueckhalt

Ein grosser Vorteil einer flexiblen Murgang-Barriere ist ihr relativ leichtes Gewicht und die kurze Installationszeit. Dies ist vor allem in steilem, schwer zugänglichem Gelände von grossem Vorteil. Wo eine Zufahrt für grosse Baumaschinen nicht realistisch und nicht wirtschaftlich wäre, kann das Material beispielsweise mit Helikoptern abtransportiert werden. Für Sofortmassnahmen in stark gefährdeten Gebieten sind ebenfalls Netzsperrungen eine gute Möglichkeit, einen gewissen Schutz der darunterliegenden Infrastruktur bis zum Bau einer definitiven Massnahme zu gewährleisten. Die Netze können damit auch in ein Schutzkonzept für ein ganzes Einzugsgebiet mit eingebunden werden.

Gleichzeitig wurde mit zunehmender Erfahrung deutlich, dass Ringnetzsperrungen zum Murgang-Rueckhalt konventionellen Massnahmen aus Stahlbeton wie Schlitzsperrungen oder Leitbauwerken gleichwertig sein können, wenn entsprechend eine stimmige Planung, hinreichend konstruktive Umsetzungen wasserbaulich und ein fundiertes Wartungskonzept vorliegen.

Natürlich gibt es auch Standorte, an welchen herkömmliche Massnahmen Netzlösungen vorzuziehen sind, vor allem bei guter Zugänglichkeit und ständiger Beaufschlagung.

10. Schlussfolgerung

Seit der Publikation des Lastansatzes von flexiblen Schutznetzen und deren Eignungsprüfung mit der Testverbauung im Illgraben in der Schweiz vor 10 Jahren wurden viele Projekte mit flexiblen Schutznetzen erfolgreich realisiert. Konstruktive Details wurden überarbeitet und verbessert. Und mit einem gut überlegten Wasserbaukonzept in der Projektierungsphase können flexible Schutznetze im Murgang-Bereich meist als gleichwertig zu konventionellen Massnahmen gesehen werden. Der an der WSL damals entwickelte Lastansatz, welcher heutzutage weltweit angewendet wird, hat sich durch mehrere erfolgreiche Füllereignisse bestätigt. Eine Verfeinerung von diesem Modell wäre nun mit einer weiteren Versuchsserie möglich, jedoch fehlt es hierzu gerade an weiteren Fördermitteln.

Literaturverzeichnis

- [1] Wendeler C. (2008): Murgangrueckhalt in Wildbächen – Grundlagen zu Planung und Berechnung von flexiblen Barrieren, Dissertation ETHZ, Schweiz.
- [2] Wendeler C., B.W. McArdeall, D. Rickenmann, A. Volkwein, A. Roth and M. Denk (2006): Testing and numerical modeling of flexible debris flow barriers. In Zhang, M. and H. Wang (eds.): Proc. Of the sixth International Conference on Physical Modeling in Geotechnics, pp. 1573-1578. Balkema.

- [3] Volkwein A. (2004): Numerische Simulation von flexiblen Steinschlagschutzsystemen, Dissertation ETHZ, Schweiz.
- [4] Geobruigg (2016): Ringnetzbarrieren aus hochfestem Stahldraht: Die ökonomische Lösung gegen Murgänge, Schweiz.
- [5] Wendeler C., J. Glover (2014): Multiple load case on flexible shallow landslide barriers – mudslide and rockfall, IAEG Conference Turin, Italy.
- [6] Wendeler C., A. Volkwein, A. Roth and N. Nishimura (2014): Successful hazard prevention using flexible multi-level barriers, Interpraevent in Nara, Japan.
- [7] Denk M., A. Roth, C. Wendeler und A. Volkwein (2008): 1:1 Feldversuche für flexible Schutznetze gegen Murgang – Versuche, Bemessung, Anwendung, Publikation für die Technische Akademie Esslingen, Deutschland.
- [8] Speerli J., R. Hersperger, A. Roth and C. Wendeler (2010): Physical modeling of debris flow over flexible ring net barriers, Conference on Physical Modelings in Geotechnics ETHZ, Switzerland.
- [9] Luis-Fonseca R., C. Raimat, J. Albalate and J. Fernandez (2010): Proteccion contra Corrientes de derrubios en areas del Pirineo. Obras Urbanas, Julio/Agosto 2010 numero 22, Spain.
- [10] Berger C., C. Wendeler, L. Stieglitz and G. Lauber (2016): Examples of debris retention basins combining concrete and net structures, Interpraevent Luzern, Switzerland.