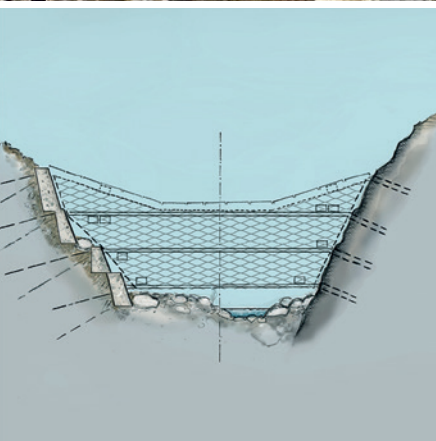




Heft 102, 2020

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

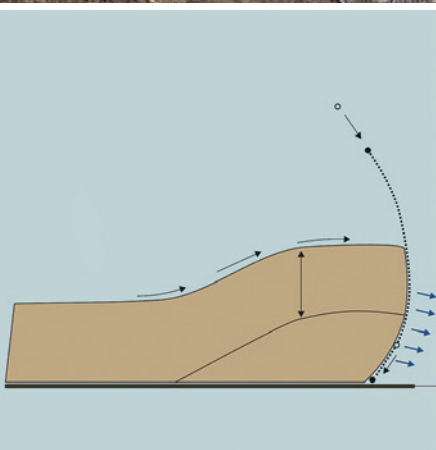


Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze

Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA
und des Bundesamtes für Umwelt BAFU



Catherine Berger
Matthias Denk
Christoph Graf
Lisa Stieglitz
Corinna Wendeler



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Heft 102, 2020

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze

Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA
und des Bundesamtes für Umwelt BAFU

Catherine Berger
Matthias Denk
Christoph Graf
Lisa Stieglitz
Corinna Wendeler

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe
Dr. Christoph Hegg, Acting Director WSL

Verantwortlich für dieses Heft
Dr. Manfred Stähli, Leiter Forschungseinheit Gebirgshydrologie und
Massenbewegungen

Schriftleitung: Sandra Gurzeler, Teamleiterin Publikationen, WSL

Auftraggeber
Bundesamt für Strassen (ASTRA), CH-3003 Bern
Bundesamt für Umwelt (BAFU), CH-3003 Bern

Autorenschaft
Berger Catherine, geo7 AG, geowissenschaftliches Büro
Denk Matthias, Company200 Matthias Denk
Graf Christoph, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Stieglitz Lisa, Emch+Berger AG Bern
Wendeler Corinna, Kanton Appenzell Ausserrhoden, Abteilung Wasserbau

Begleitgruppe
Albaba Adel, Berner Fachhochschule BFH; Arnold Philippe, Bundesamt für Strassen ASTRA;
Baumann Reto, Bundesamt für Umwelt BAFU; Egli Thomas, Egli Engineering AG; Feiger
Nadine, Geobruigg AG; Gertsch-Gautschi Eva, Bundesamt für Umwelt BAFU; Hählen Nils,
Kanton Bern, Abteilung Naturgefahren; Salvetti Andrea, Kanton Tessin, Dipartimento del
Territorio; Schertenleib Adrian, Bundesamt für Umwelt BAFU; Toniolo Marco, MT Swiss
GmbH, Maccaferri; Volkwein Axel, Pfeifer Isofer AG; von Boetticher Albrecht, Staubli, Kurath
& Partner AG

Lektorat: Dieter Rickenmann, WSL; Manfred Stähli, WSL
Layout: Jacqueline Annen, WSL

Zitiervorschlag
Berger, C.; Denk, M.; Graf, C.; Stieglitz, L.; Wendeler, C., 2020: Praxishilfe Murgang- und
Hangmurenschutznetze. Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA und des
Bundesamtes für Umwelt BAFU. WSL Ber. 102. 79 S.

ISSN 2296-3448 (Print)
ISSN 2296-3456 (Online)

Illustrationen und Grafiken: Denis Rochat, Emch+Berger AG Bern

Fotos Umschlag
oben: Trachtbach bei Brienz, Bildquelle [G]/Mitte: Baltisberg bei Arth, Bildquelle [H]/unten:
Gempelegrabe bei Frutigen, Bildquelle [G]

Haftungsausschluss
Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA und des Bundesam-
tes für Umwelt BAFU verfasst. Für den Inhalt ist alleine die Autorenschaft verantwortlich.
Jede Haftung der Urheber für Sach- und Personenschäden jeglicher Art, die trotz, infolge
oder im Zusammenhang mit der Beachtung und Anwendung der vorliegenden Praxishilfe
entstehen, ist ausgeschlossen. Wer die vorliegende Publikation beachtet oder anwendet,
erklärt sich mit dem Haftungsausschluss einverstanden.

Forschung für Mensch und Umwelt: Die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Land-
schaft WSL überwacht und erforscht Wald, Landschaft, Biodiversität, Naturgefahren sowie
Schnee und Eis. Sie ist ein Forschungsinstitut des Bundes und gehört zum ETH-Bereich. Das
WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF ist seit 1989 Teil der WSL.

© Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Birmensdorf, 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Allgemeiner Teil	7
1 Einleitung	7
1.1 Ausgangslage und Zweck der Praxishilfe	7
1.2 Berücksichtigte Naturgefahrenprozesse	7
1.3 Inhalt und Aufbau der Praxishilfe	8
2 Zulassungsverfahren und Zuständigkeiten	9
2.1 Zulassungsverfahren von Netzbarrieren	9
2.2 Involvierte Stellen, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten	9
3 Anwendung von Murgang- und Hangmurenschutznetzen	11
3.1 Tragfähigkeit von Standardsystemen	11
3.1.1 Technische Durchbildung eines Murgangschutznetzes	11
3.1.2 Technische Durchbildung eines Hangmurenschutznetzes	11
3.1.3 Erforderliche Dokumente der Produkte	13
3.2 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit	13
3.2.1 Allgemeine Anforderungen	13
3.2.2 Anforderungen an die Verankerungen und Fundamente	13
3.2.3 Anforderungen an den Oberbau	14
3.3 Berücksichtigung von lokalen Gegebenheiten bei der Planung	14
3.3.1 Durchbildung und Anordnung im Gelände	14
3.3.2 Ökologische und ökomorphologische Begebenheiten	15
3.4 Überlast bei Netzbarrieren	16
4 Schäden an Netzbarrieren und deren Vermeidung	17
4.1 Übersicht Schadensbilder	17
4.2 Schäden und Massnahmen zur Vermeidung	18
5 Entscheidungshilfe für die Planung von Netzbarrieren	21
5.1 Ablaufschema	21
5.2 Qualitative Bewertung von Netzbarrieren im Vergleich zu starren Bauwerken	21
5.3 Geeignete Einsatzmöglichkeiten von Netzbarrieren	23
5.4 Häufig gestellte Fragen zu Netzbarrieren (FAQ)	23
Technischer Teil	27
6 Szenarienbildung und Dimensionierung von Systemgrössen	27
6.1 Szenarienbildung Murgang- und Hangmurenprozesse	27
6.2 Auslegung Murgangschutznetze	28
6.2.1 Restnutzhöhe	28
6.2.2 Freibord	28
6.2.3 Basisdurchlass	29
6.2.4 Rückhaltevolumen	29
6.2.5 Überströmen	30
6.3 Auslegung Hangmurenschutznetze	30
6.3.1 Restnutzhöhe	30
6.3.2 Rückhaltevolumen	30
6.3.3 Überströmen	31
6.3.4 Umströmen	31
7 Bemessung	33
7.1 Sicherheitskonzept	33
7.2 Lastmodelle	34
7.2.1 Murgangschutznetze	34
7.2.1.1 Quasistatisches Lastmodell	34
7.2.1.2 Einzelblockanprall	36
7.2.2 Hangmurenschutznetze	36

7.2.2.1	Quasistatisches Lastmodell	36
7.2.2.2	Fluid-Struktur-Interaktions-Modell FSI	37
7.3	Bemessung der Komponenten	39
7.3.1	Tragseile	39
7.3.2	Rückhalteseile und Stützenbemessung	40
7.3.3	Schutznetz	40
7.3.4	Verankerungen und Fundamente	42
7.3.5	Stützenfundationen	42
7.3.6	Beispiel konstruktive Durchbildung Fundament	42
8	Schutzbautenkontrolle und Unterhalt	45
8.1	Grundlegende Begebenheiten	45
8.2	Arbeitsinstrumente für die Schutzbautenkontrolle	45
8.3	Massnahmen nach Ereignissen	45
8.4	Leerung von Murgang- und Hangmurenschutznetzen	47
9	Sonderbauwerke	49
10	Bemessungsablauf	51
11	Fazit und Ausblick	53
12	Verzeichnisse	55
	Glossar	55
	Abkürzungen	56
	Formelzeichen	57
13	Literatur und Bildquellen	60
Anhang A	Bemessungsbeispiel	63
Anhang B	Kenndatenblätter zu Sonderbauwerken	69
Anhang B.1	Hängeseilnetz im Hüpach	69
Anhang B.2	Mehrstufenverbau im Trachtbach	70
Anhang B.3	Netzbauwerk mit Betonlängsscheiben im Grönbach	71
Anhang B.4	Netzbauwerk mit Betonpfeilern im Innere Sitebach	72
Anhang B.5	Ergänzungsbauwerk mit aufgesetztem Netz im Illgraben	73
Anhang B.6	Erosionsschutz und Filterbauwerk im Durschtbach	74
Anhang B.7	Kombinierte Beanspruchung Baltisberg/Härzigwald	75
Anhang B.8	Schwemmholtznetz in der Chiene	76
Anhang C	Checklisten Schutzbautenkontrolle	77
Anhang C.1	Checklisten reguläre Inspektion	77
Anhang C.2	Checkliste Ereignisfall	79

Zusammenfassung

Murgänge und Hangmuren gefährden in gebirgigen Regionen Personen und Sachwerte. Im Rahmen des integralen Risikomanagements können neben der Berücksichtigung von Naturgefahren in der Raumplanung bauliche, organisatorische oder ingenieurbio-logische Schutzmassnahmen getroffen werden. Die kurzen Vorwarnzeiten für Murgänge und Hangmuren und deren hohen Einwirkungen mit entsprechender Zerstörungskraft sind ein wichtiger Grund dafür, dass bauliche Massnahmen eine wichtige Schutzfunktion übernehmen müssen.

Murgang- und Hangmurenschutznetze sind in der Schweiz erst seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbar und ergänzen das Massnahmenspektrum. Eine charakteristische Eigenschaft dieses Massnahmentyps besteht in der Durchlässigkeit der Netze, welche die gröberen Feststoffe zurückhalten, Wasser und Schwebstoffe jedoch durchfliessen lassen und somit eine Drainage des Murgang- und Hangmurenmaterials bewirken. Neben dem Geschieberückhalt bieten sich weitere Einsatzmöglichkeiten für Netzbarrieren an, z. B. bei der Stabilisierung einer Bachsohle oder zur Umlenkung des Gefahrenprozesses.

Im Rahmen der Projektierung von Schutzmassnahmen und damit auch bei der Frage nach dem zielführendsten Schutzsystem ist wichtig, dass Vor- und Nachteile von unterschiedlichen Bauwerkstypen transparent dargelegt und standortspezifisch beurteilt werden. Murgang- und Hangmurenschutznetze sind relativ neue Massnahmenarten. Aus diesem Grund sind umfassende und langjährige Erfahrungen im Ereignisfall sowie das notwendige Knowhow in Planung, Realisierung, Wartung und Unterhalt bisher noch keinem allgemeinen Fachpublikum zugänglich. Mit der vorliegenden Praxishilfe wollen wir diese Wissenslücke schliessen und für Planer, Behörden und Auftraggeber die bereits gesammelten Erfahrungen aufzeigen. Ganz nach dem Motto der Praxishilfe: von der Praxis – für die Praxis!

Vor dem Hintergrund, eine Übersicht zum Stand der Technik von Murgang- und Hangmurenschutznetzen in der Schweiz zu geben und dabei sowohl ein allgemeineres als auch technischer orientiertes Publikum anzusprechen, ist die Praxishilfe in einen allgemeinen und einen technischen Teil gegliedert. Der Fokus liegt bei den gravitativen Naturgefahrenprozessen Murgang und Hangmuren und im Zentrum stehen CE-gekennzeichnete Standardsysteme für Netzbarrieren.

Im allgemeinen Teil werden wichtige Rahmenbedingungen wie Zulassungsverfahren und Zuständigkeiten beschrieben und es wird aufgezeigt, wie Netzbarrieren korrekt projektiert und gebaut werden. Dabei stehen die Aspekte Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit, Überlast und lokale Gegebenheiten im Zentrum. Anschliessend werden mögliche Schadensbilder und deren Ursachen dargelegt und es wird aufgezeigt, wie diese vermieden werden können. Eine Entscheidungshilfe fasst die wichtigsten Aspekte des allgemeinen Teils zusammen, geht auf Vor- und Nachteile ein und beantwortet häufig gestellte Fragen.

Im technischen Teil wird zunächst kurz auf die Szenarienbildung für Murgang- und Hangmurenprozesse eingegangen und anschliessend werden netzspezifische Details erläutert. Konkrete Angaben erfolgen zur Auslegung von Netzbarrieren, beispielsweise in Bezug auf die Restnutzhöhe oder Festlegung des Basisdurchlasses bei Murgangschutznetzen. Bei der Bemessung der Netzbarrieren bilden das Sicherheitskonzept und Lastmodelle die Basis. Die Projektierung der einzelnen Komponenten wird detailliert aufgezeigt. Schutzbautenkontrolle und Unterhalt sind wie bei allen Schutzbauwerken für einen langfristigen Einsatz unabdingbar und entsprechend werden entscheidende Aspekte für Netzbarrieren beschrieben. Sonderbauwerke erweitern das Einsatzspektrum von Netzbarrieren und ausgewählte Beispiele werden illustriert und vorgestellt. Der Bemessungsablauf für Hangmuren- und Murgangbarrieren bietet Unterstützung bei der konkreten Dimensionierung und fasst den technischen Teil der Praxishilfe zusammen.

Allgemeiner Teil

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zweck der Praxishilfe

Murgänge und Hangmuren gefährden vielerorts in den Schweizer Alpen und Voralpen Personen und Sachwerte. Beim ganzheitlichen Umgang mit Naturgefahren spielen Schutzmassnahmen eine wichtige Rolle [30]. Neben der Berücksichtigung von Naturgefahren in der Raumplanung können bauliche oder organisatorische Schutzmassnahmen getroffen werden. Ingenieurbio-logische Massnahmen wie z.B. Aufforstungen erweitern das Spektrum an Schutzverbauungen. Die schwierige Prognose von Zeit und Ort der Entstehung sowie das plötzliche Auftreten von Murgängen und Hangmuren sind Gründe dafür, dass bauliche Massnahmen eine wichtige Schutzfunktion übernehmen müssen. Aufgrund der hohen Dichte und Geschwindigkeiten resultieren bei beiden Gefahrenprozessen grosse **Anpralldrücke** auf Bauwerke.

Steinschlag- und Schneeschutznetze sind als etablierte bauliche Massnahmen bereits länger im Einsatz. Murgang- und Hangmurenschutznetze sind erst seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbar und haben das Massnahmenspektrum erweitert. Charakteristisch für die Murgang- und Hangmurenschutznetze ist, dass die Feststoffe der Murgänge und Hangmuren zurückgehalten werden und das Wasser die Netze durchfliesst bzw. das zurückgehaltene Material nach einiger Zeit drainiert wird. Neben dem Geschieberückhalt bieten sich weitere Einsatzmöglichkeiten für **Netzbarrieren** an, z.B. zur Stabilisierung einer Bachsohle oder zur Umlenkung des Gefahrenprozesses. Netzbarrieren zeichnen sich insbesondere durch ihr flexibles Verhalten bei Belastung und im Vergleich zu herkömmlichen starren Bauweisen wie Betonbauwerken durch tiefere Installationskosten und reduzierten Montageaufwand aus. Weitere Punkte wie Unterhalt, Zugänglichkeit, **Lebensdauer**, Einsatzgebiet und Details in der Konstruktion sind entscheidende Punkte, die bei der Projektierung unbedingt berücksichtigt werden müssen. Wichtig ist daher, dass Vor- und Nachteile sowie die Grenzen in der Anwendung von Netzbarrieren bekannt sind und darauf aufbauend das zielführende und wirtschaftliche Massnahmensystem bestimmt werden kann. Umfassende und langjährige Erfahrungen im Ereignisfall und das notwendige Knowhow in Planung, Realisierung, Wartung und Unterhalt sind bisher allerdings noch keinem allgemeinen Fachpublikum zugänglich.

Die Praxishilfe soll diese Wissenslücke schliessen und für Planer, Behörden und Auftraggeber die bereits gesammelten Erfahrungen mit Netzbarrieren im Ereignisfall aber auch bei Projektierung, Realisierung, Wartung und Unterhalt aufzeigen. Neben detaillierten technischen Angaben und Hilfestellungen aus der Praxis wird insbesondere auf Chancen und Risiken hingewiesen. Ganz nach dem Motto der Praxishilfe: von der Praxis – für die Praxis!

1.2 Berücksichtigte Naturgefahrenprozesse

Die Praxishilfe befasst sich schwerpunktmässig mit den gravitativen Naturgefahrenprozessen Murgang und Hangmuren. Murgänge sind schnell fliessende Gemische aus Feststoffen (Geschiebe und Schwemmholtz) und unterschiedlichen Anteilen von Wasser in steilen Wildbachgerinnen. Der Abfluss steigt dabei schlagartig an, bildet eine Murfront mit hoher Feststoffkonzentration und unterscheidet sich daher deutlich von Reinwasserabfluss und Geschiebetrieb. Weiter zeichnen sich Murgänge häufig durch ein schubartiges Fliessverhalten aus [21].

Im Gegensatz zu Murgängen bilden sich Hangmuren ausserhalb der Gerinne an offenen und steilen Hangflächen. Sie können sich aus wassergesättigten Bodenschichten spontan lösen und mit relativ grossen Geschwindigkeiten abfliessen. Dabei können sie als flach- bis mittelgründige spontane Rutschungen starten, sich jedoch aufgrund des Wassergehalts zu einer abfliessenden Masse transformieren. In Bezug auf die Fliessei-

enschaften sind Hangmuren vergleichbar mit Murgängen, fallen aber volumenmässig typischerweise kleiner aus [2].

Da **Netzbarrieren** in den letzten Jahren auch vermehrt für den Rückhalt von Schwemmholt zum Einsatz kamen, wird in der Praxishilfe ein Sonderbauwerk für diese Anwendung vorgestellt. Eine kombinierte Beanspruchung der Netzbarrieren durch verschiedene gravitative Prozesse kann bis zu einem gewissen Grad gewährleistet werden. Dies muss jedoch für jeden **Lastfall** rechnerisch überprüft werden. Weitere gravitative Naturgefahrenprozesse wie Steinschlag, Lawinen und Hochwasser werden in der Praxishilfe aber nur insofern erwähnt, als dass sie sich standortbedingt ungünstig auf die Stabilität von Netzbarrieren auswirken können und somit in den Planungsprozess einfließen müssen.

1.3 Inhalt und Aufbau der Praxishilfe

Die vorliegende Praxishilfe schafft eine Übersicht zum Stand der Technik von Murgang- und Hangmurenschutznetzen in der Schweiz. Die Praxishilfe ist in einen allgemeinen und einen technischen Teil gegliedert und fokussiert auf die technischen und funktionalen Aspekte von **Netzbarrieren**. Weitere Anforderungen (z. B. Natur- und Landschaftsschutz) werden inhaltlich nur gestreift und können spezifischen Unterlagen wie [4] entnommen werden. Auch werden allgemeine Kenntnisse zu Projektierung, Realisierung, Unterhalt und insbesondere Qualitätssicherung von Schutzmassnahmen vorausgesetzt und nicht detailliert erläutert, wenn nicht netzspezifische Aspekte behandelt werden.

Im allgemeinen Teil werden zuerst die Zulassungsverfahren für Netzbarrieren und Zuständigkeiten beschrieben. Anschliessend wird aufgezeigt, wie Murgang- und Hangmurenschutznetze angewendet werden können, welche Schäden an den Bauwerken auftreten können und wie diese vermieden werden. Die Entscheidungshilfe fasst die wichtigsten Aspekte des allgemeinen Teils zusammen und häufig gestellte Fragen werden beantwortet.

Im technischen Teil werden die Szenarienbildung für Murgang- und Hangmurenprozesse, Dimensionierung der **Systemgrössen** und Bemessung der Komponenten erläutert. Zudem wird auf Schutzbautenkontrolle und Unterhalt eingegangen. Generell liegt der Fokus der Praxishilfe auf heute verfügbaren marktgängigen **CE**-Standardsystemen in der Schweiz. Da ein Einsatz von Netzbarrieren aber deutlich über die standardmässigen Anwendungsfälle hinausgehen kann, werden ausgewählte Sonderbauwerke beispielhaft beschrieben und illustriert. Hinweise zum Bemessungsablauf fassen die Inhalte des technischen Teils zusammen.

Wichtige Begriffe werden im Glossar erläutert und sind im Text **dunkelgrau** und **fett** dargestellt, verwendete Abkürzungen und Formelzeichen sind in den entsprechenden Verzeichnissen definiert. Für weiterführende Lektüre wird auf das Literaturverzeichnis verwiesen.

Grundsätzlich wird der Begriff «**Netzbarriere**» für unterschiedliche Gefahrenprozesse und Konstruktionsarten verwendet und bezieht sich entsprechend auf Murgang- und Hangmurenschutznetze im Allgemeinen. Mit «**Netztypen**» werden Bauwerke innerhalb der gleichen Prozessfamilie bezeichnet, welche jedoch auf unterschiedliche Einwirkungen bzw. **Lastfälle** ausgelegt sind (z. B. aus der **Prozessfamilie** Murgangschutznetze die **Netztypen** für Lastaufnahmen von 60 kN/m² oder 180 kN/m²).

Hersteller von Netzbarrieren entwickeln ihre marktgängigen Standardsysteme laufend weiter. Mittlerweile sind in der Schweiz zahlreiche Standardsysteme und einige Sonderbauwerke realisiert worden und einige davon haben sich bei Ereignissen bereits bewährt. Die Praxishilfe bildet einen Stand Juli 2020 ab. Aktualisierte Informationen sind auf der Landing Page der vorliegenden Praxishilfe (www.wsl.ch/praxishilfe-murgang-hangmurenschutznetze) zu finden oder direkt bei den Herstellern von Netzbarrieren zu beziehen. Bei Bedarf werden auf dieser Landing Page auch aktualisierte Informationen zum Stand der Technik oder Erkenntnisse aus der Forschung publiziert.

2 Zulassungsverfahren und Zuständigkeiten

2.1 Zulassungsverfahren von Netzbarrieren

Bei der Verwendung eines zertifizierten und zugelassenen Bauproduktes profitieren Bauherrschaft und Planer von den normierten Leistungen und der Gewähr für Qualität [6]. Wichtig ist, dass Etiketten, Kennzeichnungen und mitgelieferte Dokumente sorgfältig aufbewahrt werden, da im Beanstandungsfall die Originaldokumente als Belege vorzuweisen sind.

Bisher gibt es weltweit keine harmonisierten Normen für **Netzbarrieren** unter Murgang- oder Hangmurenbelastung. In der EU besteht die Möglichkeit, ausserhalb von Normen Bauprodukte hinsichtlich ihrer Eigenschaften bewerten zu lassen. Die dafür zuständige Stelle ist die European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Zusammen mit einem Antragsteller entwickelt sie ein sogenanntes Bewertungsverfahren, welches in einem Bewertungsdokument (European Assessment Document, EAD) beschrieben ist. Sobald die EOTA das EAD angenommen hat, können Bauproduktehersteller ihre spezifischen Produkte bzw. Produktfamilien bewerten lassen. Das Resultat ist eine europäische technische Bewertung, ein sogenanntes European Technical Assessment (ETA). Diese ETA's werden wie die EAD's auf der Internetseite der EOTA gelistet (<https://www.eota.eu>).

Für Murgang- und Hangmurenschutznetze wurde das EAD Nr. 340020-00-0106 im Juni 2016 auf der EOTA-Seite publiziert [12]. Auf Basis dieses EAD können anerkannte Stellen (in der Schweiz zum Beispiel die EMPA) europäisch technische Bewertungen (ETA) für Hangmuren- und Murgangschutznetze ausstellen. Der EAD behandelt neben den einzelnen Netzkomponenten und deren Anordnung vor allem die notwendigen Testverfahren beider (im Massstab 1:1 aufgebauten) **Barrierentypen**, um die wichtigen zu deklarierenden Einflussgrössen messen zu können (sogenannte essentiell charakteristische Werte, «essential characteristics» gemäss [12]). Es sind nur grosskalierte Testverfahren beider **Netztypen** erlaubt. Eine Produktreihen Anpassung ist allerdings auf Basis der grosskalierten Feldtests auch mittels kalibrierten finiten Elementmethoden erlaubt.

Die vorgesehene **Mindestlebensdauer** der Murgang- und Hangmurenschutznetze von 25 Jahren ist sowohl produktspezifisch im ETA definiert, als auch allgemein im EAD beschrieben. Im Weiteren benennt das EAD die zuständigen Prüforgane (Prüf-, Bewertungs- und Inspektionsstellen = Konformitätsbewertungsstelle, KBS) und legt die Prüf-abläufe fest. Schliesslich werden auch die Aufgaben der Hersteller zur Sicherung der Produktionsqualität, d.h. das Verfahren der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK bzw. FPC), beschrieben. Sowohl das gültige ETA als auch die jährliche Produktionskontrolle sind Voraussetzung für die fortlaufende **CE-Kennzeichnung**, welche das Bauprodukt trägt. Unterstützend wird vom Hersteller die sogenannte Leistungserklärung (Declaration of Performance, DoP) mit allen charakteristischen Werten erstellt und meist zusammen mit der fortlaufenden **Konformitätsbescheinigung** der Werkskontrolle (WPK-Zertifizierung) abgegeben.

2.2 Involvierte Stellen, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten

Damit Qualität und Funktionstüchtigkeit einer im Feld installierten **Netzbarriere** dauerhaft gewährleistet werden können, müssen von der Produktion über die Planung bis hin zur Montage und Betreibung der Netzbarriere unterschiedlichste Akteure in die Verantwortung miteinbezogen werden. Mögliche Aufgaben der Projektbeteiligten sowie Angaben zu weiterführenden Informationsquellen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Nur wenn sich alle Beteiligten ihrer Verantwortung bewusst sind, kann eine qualitativ hochwertige und dauerhafte Lösung entstehen und gewährleistet werden. Hierbei ist zu beachten, dass Aufgabenbereiche je nach Gefahrenprozess, Massnahmenstandort und Projektkonstellation variieren können und somit zwingend projektbezogen zu definieren sind. Weiterführende Informationen und fachspezifische Erläuterungen in Bezug auf Wald, Fischerei,

Naturschutz, Revitalisierung und dergleichen können dem Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich [4] entnommen werden.

Tab. 1. Aufgaben der beteiligten Fachleute und Angaben zu weiterführenden Informationsquellen.

Wer	Aufgabe (Auswahl)	Erläuterungen siehe
Hersteller	Eigenüberwachung der Produktion mit WPK (FPC)	EAD
	Dokumentation Schutznetz	EAD, ETA
	Berechnung der massgebenden Ankerkräfte	Herstellerangaben
	Beurteilungsbericht (Nachweis der technischen Anforderungen und Dokumentation)	EAD, ETA, DoP
	Identifizierung der Elemente	EAD, ETA
	Verpackungs- und Transportanweisung	EAD
	Montagehandbuch und Begleitung der Montage inkl. technische Abnahme	Herstellerangaben
Zulassungsstelle	Erstprüfung des Produkts	EAD
	Erstinspektion des Werkes und der WPK (FPC)	EAD
	Periodische Fremdüberwachung der WPK durch KBS	EAD
Behörde	Schutzbautenkataster	
	Oberbauleitung	
	Im Weiteren wird auf das Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich verwiesen	[4]
Bauherrschaft	Festlegung der Massnahmenziele und Nutzungsbedingungen	
	Festlegung der Anforderungen (u. a. Eignungs- und Zuschlagskriterien, SIA Nutzungsvereinbarung)	
	Festlegung der Korrosionsschutzstufe der Verankerung	
	Unterhalts- und Wartungsarbeiten	
Planer	Projektierung der Schutznetzverbauung	
	Festlegung der Art und Anzahl von Ankerprüfungen	
	Bemessung der Verankerung und Fundamente	
	Überwachung der Bauarbeiten und Qualitätsprüfungen	
Unternehmung	Versuche an Probeankern	
	Protokoll der Bohrarbeiten und Injektionen	
	Ausführung der Fundamente und Verankerungen	
	Montage der Netze	
Interessenverbände	Situativer Beizug von weiteren Interessengruppen	

3 Anwendung von Murgang- und Hangmurenschutznetzen

3.1 Tragfähigkeit von Standardsystemen

Flexible Netzbarrieren halten hohen dynamischen und statischen Belastungen stand. Wie eingangs erwähnt beziehen sich die Angaben in dieser Praxishilfe auf **CE-gekennzeichnete** Standardsysteme. Sonderbauwerke werden in Kapitel 9 behandelt und in Anhang B näher beschrieben.

Für Murgang- und Hangmurenschutznetze sind **CE-gekennzeichnete** Standardsysteme von verschiedenen Herstellern auf dem Markt erhältlich. Die jeweiligen Geometrien und die durch die unabhängige Prüfung garantierten Tragfähigkeiten der **Netzbarrieren** sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 beschrieben (Stand Juli 2020). Weiterentwicklungen in der Netztechnologie sind möglich und aktuelle Werte/Systeme müssen bei den Herstellern der Netzbarrieren angefragt werden.

Tab. 2. Geometrien und Tragfähigkeiten von Murgangschutznetzen (Stand Juli 2020).

Verbauungshöhe	Breite	Anpralldruck	Ankerkräfte
max. 6.0 m	bis zu 15 m (ohne Stützen)	bis 160 kN/m ²	bis 350 kN
max. 4.0 m	bis zu 25 m (mit Stützen)	bis 160 kN/m ²	bis 350 kN
max. 6.0 m	bis zu 24 m (mit Stützen)	bis 180 kN/m ²	bis 350 kN

Tab. 3. Geometrien und Tragfähigkeiten von Hangmurenschutznetzen (Stand Juli 2020).

Verbauungshöhe	Breite	Anpralldruck	Ankerkräfte
2.0–4.0 m	bis zu 30 m (mit Zwischenabspannung auch länger)	bis 150 kN/m ²	bis 250 kN

Gemäss [7] gelten Netzbarrieren und andere leichte Verbauungen zum Schutz vor Murgängen und Hangmuren nicht als Stauanlagen im Sinne der Stauanlagengesetzgebung. Somit sind Murgang- und Hangmurenschutznetze nicht dem Stauanlagengesetz unterstellt.

3.1.1 Technische Durchbildung eines Murgangschutznetzes

Das Tragsystem von aktuellen Standardsystemen besteht aus quer zum Gerinne gespannten Tragseilen, welche seitlich in den Gerinneflanken mit Ankern eingebunden werden. Das Rückhaltenetz wird zwischen den Tragseilen eingeschäkelt. Durch den Einsatz von sogenannten **Sekundärnetzauflagen** mit kleineren Maschenweiten als das primäre Rückhaltenetz kann zusätzlich auch Feinmaterial zurückgehalten werden. Je nach Gerinnebeschaffenheit sind in der Schweiz aktuell zwei Arten von Standardsystemen verfügbar: Systeme bis 15 m Spannweite für enge, V-förmige Gerinne und Systeme bis 25 m Spannweite für breitere, U-förmige Gerinne. Letztere werden mit einer oder mehreren Stützen, über welche die Tragseile laufen, verbaut. Die einzelnen Komponenten eines Standardsystems sind in Abbildung 1 veranschaulicht. Sowohl ein entsprechender Korrosionsschutz wie auch ein **Abrasionsschutz** der Netzkomponenten sorgen für eine produktspezifische **Lebensdauer** und im Vergleich zu starren Bauwerken zu relativ niedrigen Wartungskosten.

3.1.2 Technische Durchbildung eines Hangmurenschutznetzes

Ein Hangmurenschutznetz besteht standardmässig aus gelenkig gelagerten Stützen, welche auf Betonfundamenten verschraubt und in den Rückhalteraum mit Rückhalte-seilen und ggf. **Energieabsorptionselementen** abgespannt sind. Das **Primärnetz** wird an

den oberen und unteren Tragseilen befestigt. Die **Sekundärnetzauflage** zum Rückhalt des Feinmaterials wird punktuell am **Primärnetz** geführt (ziehharmonikagefaltet). Die **Rückhalteschürze** wird zusätzlich am unteren Tragseil und am **Primärnetz** montiert und mit geeigneten Verankerungselementen hangaufwärts in den Untergrund eingelassen. Die einzelnen Komponenten eines Standardsystems sind in Abbildung 2 veranschaulicht.

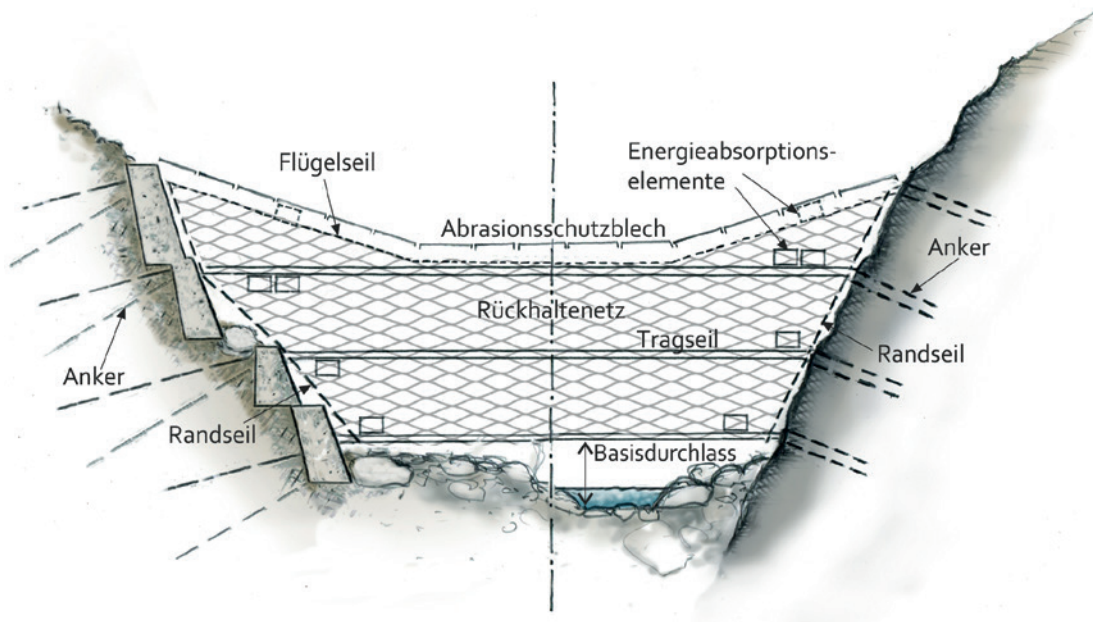


Abb. 1. Schematische Ansicht der Komponenten und Anordnung eines Murgangschutznetzes für schmale, V-förmige Gerinne in Anlehnung an [12].

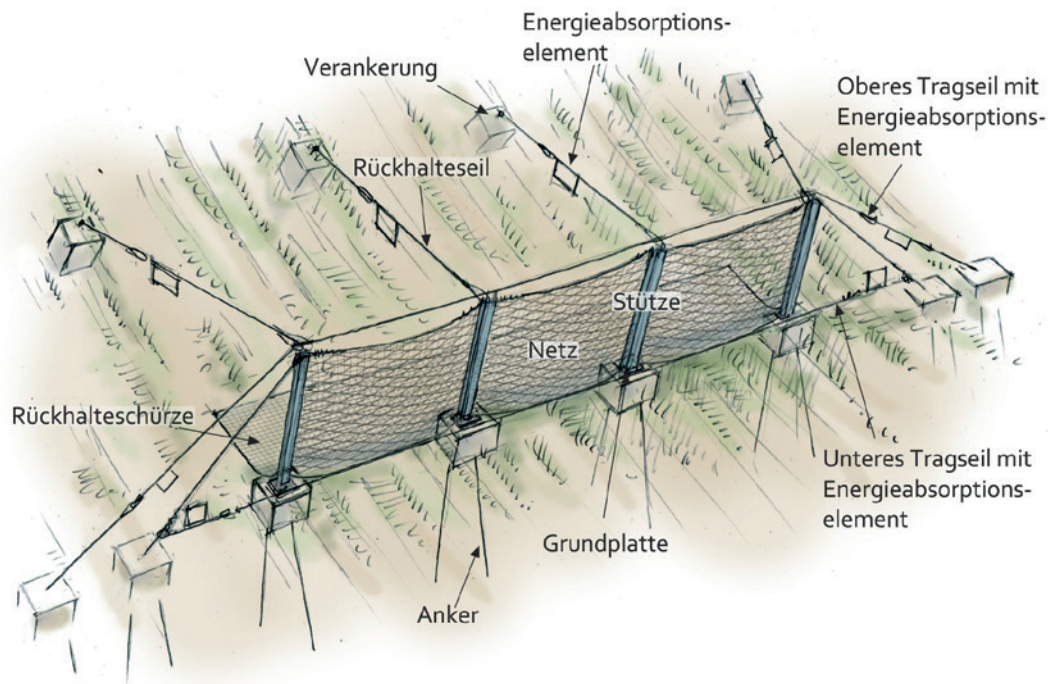


Abb. 2. Schematische Ansicht der Komponenten und Anordnung eines Hangmurenschutznetzes in Anlehnung an [12].

3.1.3 Erforderliche Dokumente der Produkte

Folgende Dokumente sind für Netzprodukte erforderlich und der Bauherrschaft abzugeben:

- Systemhandbuch (herstellerspezifisch)
- Montagehandbuch (herstellerspezifisch)
- Wartungshandbuch (herstellerspezifisch)
- Gültige Leistungserklärung (DoP) des Herstellers am besten mit fortlaufender **Konformitätsbescheinigung** der Werkkontrolle und gültiger ETA-Nummer

Darüber hinaus wird empfohlen, mindestens die Nutzung der Netzbarriere zwischen Bauherrschaft und Planer in einer Nutzungsvereinbarung festzuhalten.

3.2 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Grundsätze der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind dann erreicht, wenn die uneingeschränkte Nutzung eines Bauwerkes für den vorgesehenen Zweck und für die vereinbarte Nutzungsdauer bei angemessenem Unterhaltungsaufwand gewährleistet ist. Obschon mit Hilfe statischer Berechnungen die Tragsicherheitsnachweise erfüllt sein können, sind darüber hinaus die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit projektbezogen zu prüfen. Bezogen auf standardisierte **Netzbarrieren** sind u. a. folgende Aspekte für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen:

- Form und Lage des Gesamtbauwerkes
- Erosionsbeständigkeit der Seitenflanken des Gerinnes bei Murgangschutznetzen
- Kolkschutz des **Basisdurchlasses** bei Murgangschutznetzen bzw. im Bereich der Überfallsektion falls auf Überströmen bemessen
- Korrosionsbeständigkeit des Oberbaus und der Verankerungen, ggf. Erhöhung der **Lebensdauer** durch hochwertigere **Korrosionsschutzklasse**
- Funktionsbeeinträchtigung des Gesamtbauwerkes u. a. durch
 - Verformungen des Gesamtbauwerkes
 - Differentielle Setzungen durch Eigengewicht bzw. Verkippen der Fundamente
 - Risse in den Betonfundamenten und dadurch Verminderung der Dichtigkeit
 - Frostbeständigkeit der Betonkonstruktion
 - Alkali-Aggregat-Reaktion der Betonkonstruktion

Ansätze für die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Murgangschutznetzen sind u. a. in [13] zu finden. Eine sorgfältige Planung, der nötige Unterhalt und regelmäßige Inspektionen der Netzbarrieren beugen einem Defizit in Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit vor.

3.2.2 Anforderungen an die Verankerungen und Fundamente

In die beschriebene Produktebewertung ETA (siehe Kap. 2.1) wird nur der Oberbau einbezogen. In der Planung und Ausführung sind somit der Bemessung und dem Bau der Verankerungen und Fundamente hohe Beachtung zu schenken. Die Verankerungs- und Fundamentverhältnisse sind produkt- und standortabhängig. Idealerweise existiert von der Barrierenstelle ein detailliertes geologisches Profil und es werden Ausziehversuche von Ankern zur Bestimmung der äusseren Mantelreibung des Baugrundes durchgeführt. Die nachfolgende Aufzählung beinhaltet wichtige Faktoren zur Gewährleistung eines dauerhaften Lastabtrags der resultierenden Kräfte aus dem Oberbau in den Untergrund:

- Herstellerangaben zu Ankerkräften von Netzbarrieren inkl. Sicherheiten
- Erhebung der geotechnischen Kennwerte des Baugrundes (Mantelreibung usw.)
- Einsatz von typengeprüften und zugelassenen Ankermörteln (siehe Typenliste BAFU [5]), Mörtelprüfungen auf der Baustelle, Einbautemperatur und Aushärtedauer zur Qualitätssicherung

- Definition der **Korrosionsschutzklasse** gemäss SIA 267 [29] mit der Bauherrschaft
- Ausrichtung der Anker in Seilrichtung
- Ausreichender Ankerabstand, um den Wirkungskreis nicht zu verletzen
- Einsatz von flexiblen Ankerköpfen, um die Lasteinwirkung nicht abzumindern
- allenfalls Einsatz von Selbstbohrankern bei nicht standfestem Bohrloch oder verrohrtes Bohren mit **Gewebestrumpf**
- Ausführung von **Nachinjektionen**, um einen kraftschlüssigen Verankerungskörper zu erhalten
- Gewährleistung des Korrosionsschutzes, insbesondere im Ankerkopfbereich, allenfalls mit kleinen Betonfundamenten
- Erosionsschutz des Verankerungskörpers zur Aufrechterhaltung der nötigen Verankerungslänge
- Durchführung von Ankerzugversuchen
- Vorsicht beim Ankereinbau im Winter bezüglich Eislinsen auf dem Stab

Die Verankerungs- und damit auch die Bohrlochlängen sind massgeblich von den Eigenschaften des Baugrundes abhängig. Um die Verankerungslängen in einem technisch sinnvollen und wirtschaftlich vertretbaren Mass zu halten, sind Einbaustellen zu bevorzugen, welche die folgenden Anforderungen an den Baugrund erfüllen:

- Fels oder Lockergestein, standfest, ausreichende Mantelreibung
- Wenig Überdeckung mit Lockermaterial und geringer Anteil von organischem Material in der Deckschicht
- Keine oder nur wenige Klüfte, günstige Ausrichtung allfälliger Scherflächen
- Kein Kluft- oder Porenwasser in den Bohrlöchern
- Keine geologischen Schichten, welche sensibel auf Bohrungen oder Mörtel eintrag reagieren können
- Kein Quellgebiet

3.2.3 Anforderungen an den Oberbau

Für eine Berücksichtigung des Bauwerkes in der Raumplanung ist eine **Lebensdauer** von 50 Jahren gemäss PROTECT [23] zu gewährleisten. Erste Ansätze, dies für den Oberbau mit zeitlich limitierter **Lebensdauer** umzusetzen, sind für Hangmurenschutznetze in [36] erläutert. Seitens Netzbarrierenhersteller ist der Nachweis eines ausreichenden Korrosionsschutzes der Netzkomponenten vorzulegen. Zudem dient eine fachgerechte Bauausführung sowie, falls das Bauwerk überströmbar ist, der produktbedingte **Abrasionsschutz** dem Bauwerkserhalt während seiner **Lebensdauer**. Nach einem Ereignisfall ist die Netzbarriere zu inspizieren und bei Bedarf entsprechend instand zu stellen.

3.3 Berücksichtigung von lokalen Gegebenheiten bei der Planung

3.3.1 Durchbildung und Anordnung im Gelände

Im Folgenden sind ausgewählte wichtige Faktoren für die Durchbildung und Anordnung von **Netzbarrieren** im Gelände bzw. Gerinne aufgeführt.

Murgangschutznetze

- Netzbarriere nicht in Gerinneknicken anordnen, um Erosion am Prallhang zu vermeiden. Allenfalls sind zusätzliche Stabilisierungsmassnahmen an der Gerinneböschung nötig.
- **Basisdurchlass** berücksichtigen
- **Abrasionsschutz** bei möglichem Überströmen sicherstellen
- Fliesswege und entsprechenden Kolkschutz unterwasserseitig der Netzbarrieren sicherstellen
- Weitere standortbedingte Naturgefahrenprozesse bei der Bemessung berücksichtigen (Windwurf von Bäumen, Lawinen usw.)
- Zugänglichkeit für Wartung und Unterhalt sicherstellen

- Erhöhte Unterhaltskosten bei hoher Murgangaktivität eines Gerinnes in Wirtschaftlichkeitsüberlegungen einbeziehen
- Materialbewirtschaftungskonzept für Betriebsphase erstellen und Deponiestandorte eruieren

Hangmurenschutznetze

- Anordnung einer **Rückhalteschürze** berücksichtigen
- **Abrasionsschutz** bei möglichem Überströmen sicherstellen
- Oberflächenabfluss oder abfließendes Wasser aus der Barriere mittels Drainage oder Ableitung berücksichtigen
- Wildtierkorridore mit entsprechenden Durchgängen und Netzüberlappung sicherstellen
- Zwischenabspannung dem Wildwechsel anpassen
- Geländerunsen und Erhebungen bei der Absteckung prüfen
- Gleitschichttiefe versus Verankerungslänge prüfen
- Weitere standortbedingte Naturgefahrenprozesse bei der Bemessung berücksichtigen (Windwurf von Bäumen, Lawinen usw.)
- Zugänglichkeit für Wartung und Unterhalt sicherstellen
- Materialbewirtschaftungskonzept für Betriebsphase erstellen und Deponiestandorte eruieren

Folgende allgemeine Aspekte haben sich beim Einbau von flexiblen Netzbarrieren gezeigt:

- Die Bohrarbeiten für die notwendigen Verankerungen in Fels oder Lockergestein können mit einer leichten Bohrlafette und Schreitbagger ausgeführt werden
- Der Materialtransport zum Einsatzort ist aufgrund des geringen Volumens und Gewichts der Einbauelemente sowohl mit Lastwagen als auch mit Helikopter möglich und oft wirtschaftlich
- Auf grosse Voraushübe kann verzichtet werden
- Grossflächige Installations- und Umschlagplätze sind nicht notwendig
- Die Dauer der Bauarbeiten ist auf wenige Monate begrenzt, wobei die eigentliche Netzmontage innerhalb weniger Tage erfolgt

3.3.2 Ökologische und ökomorphologische Begebenheiten

Netzbarrieren aus filigranen Netzstrukturen passen sich optisch relativ gut in das Landschaftsbild ein. Murgangschutznetze, welche als bereitgestellter Rückhalteraum mit einem entsprechenden **Basisdurchlass** (siehe Kap. 6.2.2) oberhalb der Gerinnesohle installiert sind, ermöglichen den meisten Tierarten das Passieren der Schutzverbauungen und beeinträchtigen die Fischgängigkeit nicht. Auch der natürliche Geschiebetrieb wird durch solche Netzbarrieren in der Regel nicht eingeschränkt und der Ursprungszustand der Sohle bleibt erhalten. Muss die Gewässersohle jedoch unterhalb des Netzes mit einer Blockrampe oder anderen Massnahmen stabilisiert werden, sind zur Gewährleistung der Fischgängigkeit die zulässigen Sohlenneigungen und Absturzhöhen je nach Fischbestand in Absprache mit der zuständigen Fachstelle einzuhalten. Werden die Netzbarrieren im verfüllten Zustand im Bachbett belassen oder mechanisch beim Bau verfüllt und dienen damit als Sohlenstabilisierung in Form eines Stufenbauwerkes, dann gelten die gleichen Aspekte in Bezug auf ökologische Beeinträchtigungen wie bei anderen Treppen- und Stufenbauwerken.

Hangmurenschutznetze verursachen in der Tierwelt eine vergleichbare ökologische Beeinträchtigung wie Steinschlagschutznetze. Vor allem Wildwechsel und Wildruhezonen sind bei der Planung dieser linienartigen Verbauungen zu berücksichtigen. Eine Zwischenabspannung mit Tragseiltrennung ist an die Tierdurchgängigkeit anzupassen. Kleinlebewesen wie Insekten, Amphibien, Reptilien und kleine Säugetiere wie Hermeline und Mäuse können ohne Einschränkung die Netzbarrieren durch deren Maschenöffnungen passieren.

Bei der Wahl der Einbaustelle muss projektspezifisch abgeklärt werden, ob spezielle planerische Massnahmen für den Gewässer- und Naturschutz notwendig sind (z.B. ver-

zinkte Elemente in Schutzzonen oder Schonzeiten für Wildtiere). Die entsprechenden Anforderungen können der aktuellen Gesetzgebung (GSchG, NHG und WBG) sowie [4] entnommen werden.

3.4 Überlast bei Netzbarrieren

Technische Massnahmen sind auf ein Bemessungsereignis ausgelegt, welches im Rahmen der Massnahmenplanung definiert wird. Grössere Ereignisse im Sinne von grösseren Volumen oder stärkeren Einwirkungen sind jedoch möglich und sollen zu keinem kollapsartigen Versagen der **Netzbarrieren** oder Verschlechterung der Ist-Situation mit grösseren Geschiebemengen führen. Ein Grund für eine Überlast bzw. Überlastung kann das Überschreiten des Bemessungsereignisses sein. Dies wiederum führt zu einem Überschreiten der Lastaufnahmekapazität oder der Volumenkapazität einer Netzbarriere. Als Folge daraus können einzelne Komponenten versagen (z. B. Seilrisse, Netzversagen, Ankerversagen usw.). Ein kollapsartiges Versagen aller Systemkomponenten ist unwahrscheinlich. Im Fall von Netzbarrieren kann auch das Überströmen, das seitliche Umströmen einer Barriere oder das Ausspülen der seitlichen Böschung dafür verantwortlich sein, dass eine Netzbarriere ihre Schutzfunktion nicht mehr erfüllen kann (Überschreiten der geometrischen Systemgrenzen).

Wichtig ist, dass in einem Projekt die Konsequenzen einer Überlast aufgezeigt werden und abgeklärt wird, wie diese durch technische, organisatorische oder raumplanerische Massnahmen bewältigt werden können. Deshalb sind projektspezifische Aussagen zu folgenden Themen zu machen (Auswahl):

- Lagert sich ein Teil des Murgang- oder Hangmurenmaterials unterhalb der Netzbarriere ab?
- Kann unterhalb des Schutzbauwerkes weiteres Material mobilisiert werden?
- Kann das überströmende Material schadlos abgeleitet werden?
- Wird die Situation bei Überlast für die zu schützende Infrastruktur massgeblich verschlechtert?
- Sind deshalb zusätzlich bauliche oder planerische Massnahmen notwendig?
- Sind zusätzliche organisatorische Massnahmen (z. B. Alarmierung, Interventionsstellen, Notfallplanung) nötig und vorzusehen?

Das Überströmen bei **CE-gekennzeichneten** Netzbarrieren ist nicht bei allen Netzbarrieren standardmässig durch die Leistungserklärung abgedeckt:

- Bei den meisten CE-gekennzeichneten Murgangschutznetzen ist das Überströmen einer Barriere durch das Bemessungsereignis durch Feldtests und Simulationen nachgewiesen.
- Hangmurenschutznetze sind in der Regel nicht auf Überströmen bemessen.

Ist das Überströmen herstellerseitig nicht garantiert, so muss dieser Fall in der Dimensionierung gesondert betrachtet und nachgewiesen werden (siehe auch Kap. 6.2.5 und 6.3.3). Auskunft zu den aktuellen Leistungserklärungen können die Netzbarrierenhersteller erteilen. Das Verhalten eines Murgangs bzw. einer Hangmure und der Netzbarriere bei Überströmen insbesondere bei Überlast kann durch geeignete Modellierungen abgeschätzt werden.

4 Schäden an Netzbarrieren und deren Vermeidung

4.1 Übersicht Schadensbilder

Im Zeitraum von 2007 bis Sommer 2020 wurden in der Schweiz ca. 80 Murgang- und 30 Hangmurenschutznetze installiert. An diesen konnten Erfahrungen gesammelt, Schäden beobachtet und Lehren daraus gezogen werden. Die Erfahrungen zeigen, dass primär die in Abbildung 3 dargestellten Schadensbilder an Systemelementen und Beeinträchtigungen der Gebrauchstauglichkeit von **Netzbarrieren** auftreten können.

Schäden am Oberbau von Murgang- und Hangmurenschutznetzen wie Seilrisse, Netzrisse, geknickte Stützen und dergleichen sollten bei zertifizierten und sorgfältig ausgeführten Netzbarrieren höchstens bei der Überschreitung der Bemessungsgrössen auftreten. Deshalb werden Schäden durch Überlast im Folgenden nicht behandelt.

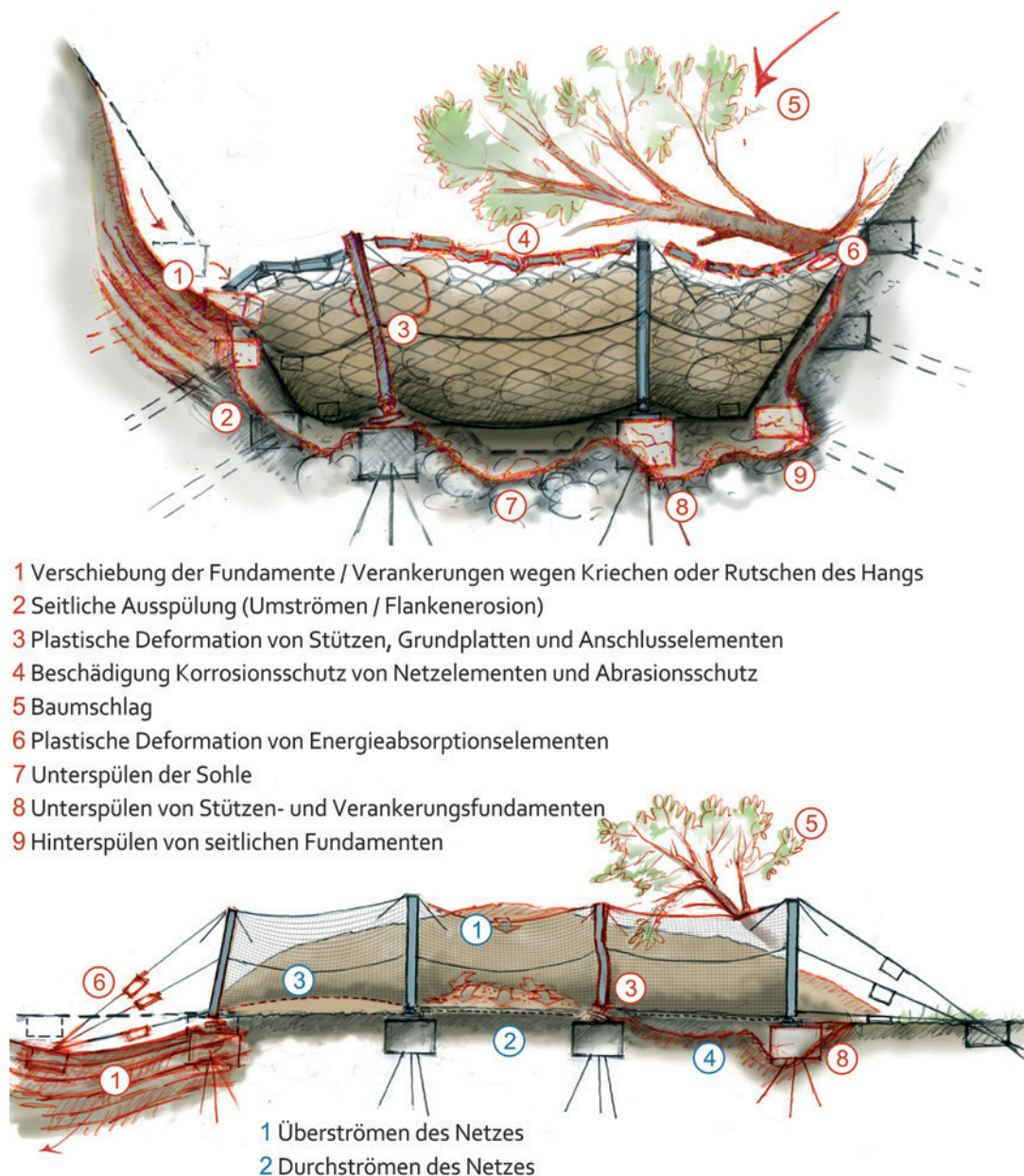


Abb. 3. Übersicht möglicher Schadensbilder und Beeinträchtigungen der Gebrauchstauglichkeit an einem Murgangschutznetz (oben) und einem Hangmurenschutznetz (unten).

4.2 Schäden und Massnahmen zur Vermeidung

Die meisten der in Abbildung 3 beschriebenen Schäden und Beeinträchtigungen der Gebrauchstauglichkeit der **Netzbarrieren** können durch eine sorgfältige Planung, Projektierung, Durchbildung und Bauausführung vermieden werden. Elastische und plastische Deformationen von Netzelementen, insbesondere von **Energieabsorptionselementen**, sind bei Netzbarrieren Teil des Tragverhaltens und systembedingt notwendig. Diese Elemente können nach einem Ereignis ausgewechselt werden (siehe auch Kap. 8). In Tabelle 4 werden einzelne Schadensbilder und mögliche Beeinträchtigungen der Gebrauchstauglichkeit dargestellt sowie Massnahmen zu deren Vermeidung beschrieben.

Tab. 4. Mögliche Schäden und Massnahmen zu deren Vermeidung.

Schäden an Systemkomponenten durch Deformationen, Beschädigung des Korrosionsschutzes	
	Schaden Beschädigung des Korrosionsschutzes von Einzelkomponenten durch Abrasion am Beispiel eines deformierten Abrasionsschutzes bei einem Murgangschutznetz. Massnahmen zur Vermeidung Kann nur beschränkt vermieden werden, da beim Überströmen immer Abrasion auftritt. Netzteile und Abrasionsschutzelemente können in der Regel bei Beschädigung ausgewechselt werden. Bild: [B]
	Schaden Plastisch deformiertes Energieabsorptionselement am Beispiel eines Hangmurenschutznetzes. Massnahmen zur Vermeidung Keine. Im Falle von Energieabsorptionselementen ist die plastische Deformation Teil des Tragverhaltens und systembedingt notwendig. Plastisch deformierte Energieabsorptionselemente können ausgewechselt werden. Bild: [D]
	Schaden Plastische Deformation von Stützen, Grundplatten oder deren Anschlusselemente am Beispiel eines Hangmurenschutznetzes. Massnahmen zur Vermeidung Wenn nötig Verstärkung von Stützenprofilen, Grundplatten und Anschlussteilen. Plastisch deformierte Stützen, Grundplatten und Verbindungselemente können nach einem Ereignis ausgewechselt werden. Für die Anordnung eines ausreichend rückverankerten Betonfundamentes siehe Abbildung 16. Bild: [D]
	Schaden Kippen des Stützenfundamentes (rechts im Bild) mit anschliessendem Abscheren der Grundplatte am Beispiel eines Hangmurenschutznetzes. Massnahmen zur Vermeidung Ausreichende Einbindung der Fundamente sowie ausreichende Einbindung der Mikropfähle (Druck- und Zuganker) in die stabilen Erdschichten. Bild: [G]

Schäden am Gesamtsystem durch Hinter- und Unterspülen von Fundamenten sowie Abrutschen oder Kriechen der seitlichen Böschung



Schaden

Hinterspültes Verankerungsfundament einer Tragseilverankerung am Beispiel eines Murgangschutznetzes.

Massnahmen zur Vermeidung

Ausreichend tiefe Einbindung aller Fundamente für Verankerungen, Ausbildung eines flächigen Erosionsschutzes. Platzierung der Verankerungen für die Rückhalteseile wenn möglich ausserhalb des Bachbettes an den Gerinneflanken.

Bild: [C]



Schaden

Unterspültes Stützenfundament am Beispiel eines Murgangschutznetzes.

Massnahmen zur Vermeidung

Ausreichend tiefe Einbindung aller Stützenfundamente. Platzierung der Stützenfundamente am Gerinnerand sowie Integration in den Kolktschutz, welcher als in Magerbeton gesetzter Blockwurf ausgebildet wird.

Bild: [B]



Schaden

Unterspülen der Sohle bei einem Murgangschutznetz und dadurch deutliche Vergrösserung des **Basisdurchlasses**.

Massnahmen zur Vermeidung

Wahl des Sperrenstandorts an einem Ort mit möglichst wenig Lockergesteinsüberdeckung und stabiler Gerinnesohle. Andernfalls Sohlensicherung mittels Kolktschutz mit ausreichender Einbindung in den Untergrund sowie ausreichend bemessener Breite oberhalb und unterhalb des Netzstandorts. Erfahrungswerte und Empfehlungen sind in [13] beschrieben.

Bild: [G]

Weitere Schäden oder Beeinträchtigungen der Gebrauchstauglichkeit



Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit

Seitliche Ausspülung eines Murgangschutznetzes aufgrund von Umströmen und Flankenerosion.

Massnahmen zur Vermeidung

Wahl des Sperrenstandorts an einem Ort mit möglichst wenig Lockergesteinsüberdeckung. Andernfalls permanente Sicherung der Böschung um die Verankerungspunkte (Erosionsschutz), sodass diese nicht abrutschen bzw. hinterspült werden können. Bau von Schutznetzen auf möglichst gestreckten Gerinneabschnitten (d.h. nicht in Kurven oder Krümmungen des Gerinnes). Bild: [G]



Schaden

Überströmen am Beispiel eines Hangmurenschutznetzes, welches für einen kleineren **Lastfall** bemessen war.

Massnahmen zur Vermeidung

Verstärkung von Komponenten des Hangmurenschutznetzes, Anbringen eines **Abrasionsschutzes**, Wahl eines **Netztyps** mit höherer Lastaufnahmekapazität und/oder grösserer Verbauungshöhe.

Bild: [H]

**Schaden**

Baumschlag auf eine Netzbarriere.

Massnahmen zur Vermeidung

Regelmässiges Ausholzen entlang von Netzbarrieren.

Bild: [D]

**Schaden**

Verschiebung der Fundamente und/oder Verankerungen wegen Kriechen oder Rutschen des Hangs am Beispiel eines Murgangschutznetzes.

Massnahmen zur Vermeidung

Wenn möglich Wahl des Sperrenstandorts ausserhalb von Kriech- und Rutschhängen. Gleitschichten bei der Bemessung der Verankerungen beachten.

Bild: [E]

5 Entscheidungshilfe für die Planung von Netzbarrieren

5.1 Ablaufschema

Die nachfolgende Übersicht fasst zentrale Aspekte zusammen, welche bei der Planung als grundlegende Entscheidungskriterien für oder gegen Murgang- und Hangmurenschutznetze herangezogen werden können. Im Allgemeinen zu berücksichtigende Aspekte wie Schutzbautenkontrolle/Unterhalt oder Überlast sind nicht explizit aufgeführt.

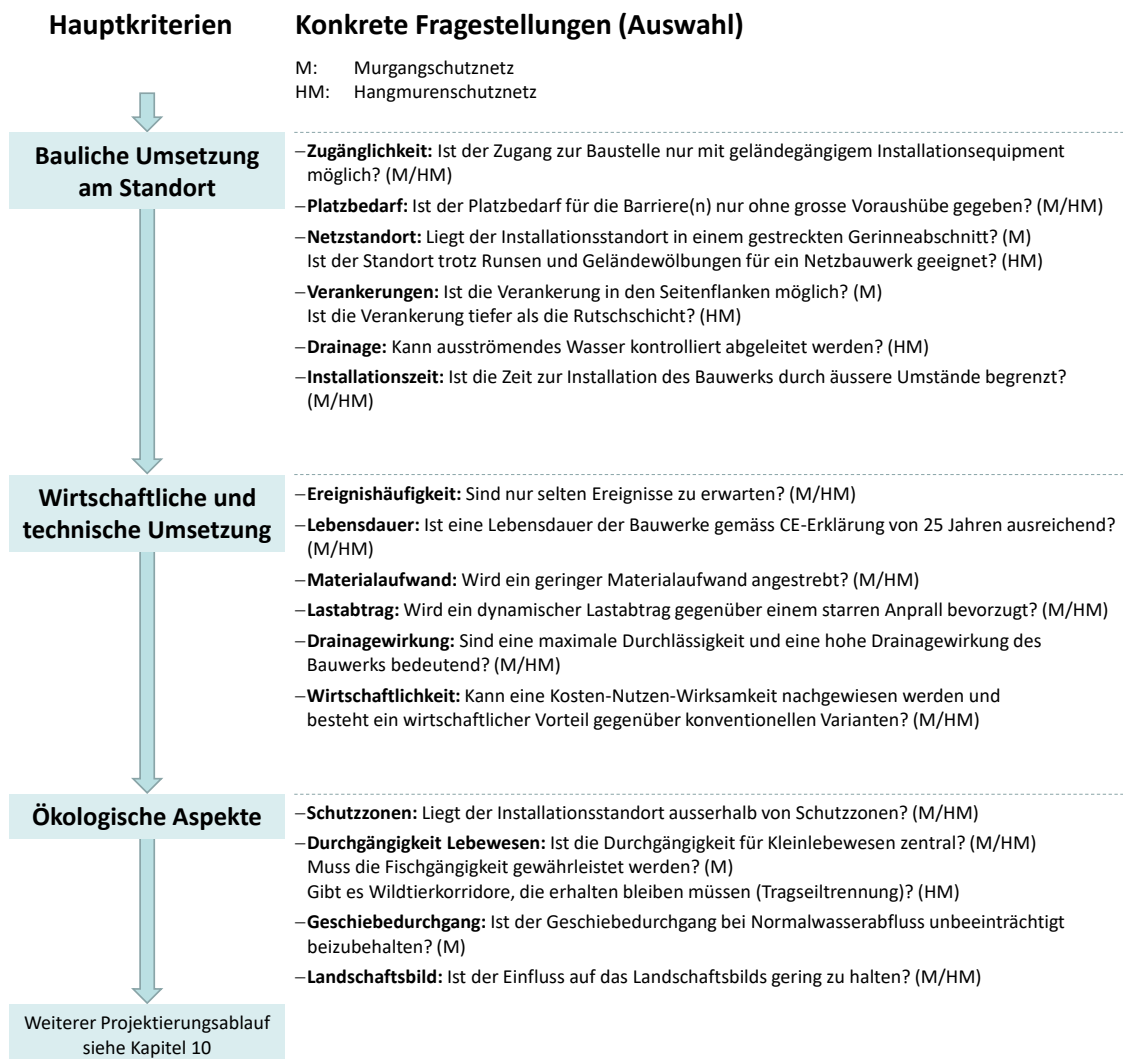


Abb. 4. Entscheidungskriterien für Murgang- und Hangmurenschutznetze. Die Abkürzungen zeigen an, für welche Prozessart die jeweilige Frage gilt.

5.2 Qualitative Bewertung von Netzbarrieren im Vergleich zu starren Bauwerken

Bezüglich der in Abbildung 4 erwähnten Entscheidungskriterien und weiterer Aspekte weisen flexible **Netzbarrieren** (CE-gekennzeichnete Standardbarrieren, siehe Kap. 3.1) im Vergleich zu starren Schutzbauwerken Vor- und Nachteile auf. Für einen qualitativen Vergleich wurden beide Massnahmentypen einander gegenübergestellt (Tab. 5). Eine Bewertung ist natürlich von den konkreten Begebenheiten abhängig und muss projektspezifisch überprüft werden.

Als Bewertungsobjekte werden in Tabelle 5 ein starres Stahlbetonbauwerk mit **Basisdurchlass** und Überfallsektion einem **CE-gekennzeichneten** Murgangschutznetz mit gleicher Geometrie, Rückhaltevolumen und Lastaufnahmekapazität am selben Standort in einem steilen Wildbach im voralpinen Bereich gegenübergestellt. Es wird angenommen, dass die Zugänglichkeit für die Leerung nach einem Ereignis oberwasserseitig der Sperre erfolgen kann. Der Vergleich dient als Orientierungshilfe, ist nicht abschliessend und erfasst nur Kriterien, bei denen signifikante Unterschiede zwischen den Bauwerkstypen bestehen.

Tab. 5. Qualitativer Vergleich zwischen Netzbarrieren und starren Stahlbetonbauwerken an Hand unterschiedlicher Beurteilungskriterien.

Beurteilungskriterium	Qualitative Bewertung	
	Netzbarriere (Standardsystem)	Stahlbetonbauwerk
1. Bauliche Umsetzung am Standort		
Installationsstandort und Ressourceneinsatz	Transportvolumen und Ressourceneinsatz geringer. Daher können auch abgelegene Standorte mit Helikopter wirtschaftlich erschliessbar sein.	Transportvolumen und Ressourceneinsatz grösser. Einsatz an abgelegenen Standorten ist daher aufwändiger und teurer.
Platzbedarf	Platzbedarf für Installationsplatz und Bauwerk meist kleiner	Platzbedarf für Installationsplatz und Bauwerk meist grösser
Maschinen und Geräte	Oft Einsatz von leichterem Equipment (z. B. Bohrlafette), Einsatz von Schreitbagger möglich	Meist schwereres Baugerät (z. B. Betonmischer, Raupenbagger) notwendig, allenfalls Installation von Transportseilbahnen usw. nötig
Bauzeit/Arbeitssicherheit	Tendenziell kürzere Bauzeit und daher kürzere Aufenthaltsdauer im Gefahrengebiet Ohne Voraushübe realisierbar, somit in der Regel wenig kritische Bauzustände	Tendenziell längere Bauzeit und daher längere Aufenthaltsdauer im Gefahrengebiet Aufgrund von Voraushüben tendenziell kritischere Bauzustände
2. Wirtschaftliche und technische Umsetzung		
Bauwerksgrösse und Rückhaltevolumen	Für Standardsysteme eingeschränkt, ansonsten Bau von Sonderbauwerken notwendig	In Regelbauweise auch sehr grosse Dimensionen und Rückhaltevolumina möglich
Ausbau- und Erweiterungsmöglichkeit	Erweiterung/Erhöhung nur bedingt möglich	Erweiterung/Erhöhung generell besser möglich, jedoch statisch zu überprüfen
Erfahrungswerte in der Planung	Eher jüngere Technologie mit weniger Normierungen, Vergleichs- und Erfahrungswerten	Langjährig erprobte Technologie mit etablierten Normen und viel Erfahrungswerten
Baukosten	Für Standardsysteme tendenziell tiefer	Für vergleichbare Dimensionen tendenziell höher
Unterhaltskosten	Stark abhängig von Häufigkeit der Beanspruchung und geforderter Lebensdauer	Weniger abhängig von Häufigkeit der Beanspruchung
Lebensdauer	25 Jahre	80 Jahre
Materialaufwand	Materialaufwand pro Bauwerk bei gleicher Breite und Höhe eher kleiner	Materialaufwand pro Bauwerk bei gleicher Breite und Höhe eher grösser
Einwirkungen/Belastungen	Aufprall auf flexibel und dynamisch reagierendes Bauwerk, dadurch Abminderung der Kraftspitzen	Aufprall auf starres Bauwerk, dadurch grössere dynamisch wirkende Kräfte und Kraftspitzen

Beurteilungskriterium	Qualitative Bewertung	
	Netzbarriere (Standardsystem)	Stahlbetonbauwerk
2. Wirtschaftliche und technische Umsetzung (Fortsetzung Tabelle)		
Drainagewirkung und Verklauungsanfälligkeit	Durchfliessen auf gesamter Netzfläche möglich, daher bessere Drainagewirkung	Reduzierte Drainagewirkung, höhere Verklauungsanfälligkeit
Retentionswirkung Maximalabfluss	Beschränkte Retentionswirkung auf Wasser/Flutwelle, daher höhere Abflüsse im Unterlauf, wo erneute Geschiebemobilisierung möglich ist	Dämpfung des Abflusses unterhalb des Bauwerkes und daher tendenziell weniger Geschiebemobilisierung im Unterlauf
3. Ökologische Aspekte		
Kleintier- und Fischgängigkeit	Gleichwertige Fischgängigkeit, bessere Kleintiergängigkeit	Gleichwertige Fischgängigkeit, eher reduzierte Kleintiergängigkeit
Landschaftsbild	Filigranere Struktur, visueller Impakt kleiner	Massiveres Bauwerk, visueller Impakt grösser
4. Schutzbautenkontrolle und Unterhalt		
Betrieblicher Unterhalt	Regelmässiger Kontroll- und Inspektionsaufwand gleichwertig, jedoch kleinere Robustheit bei den Systemelementen. Bei häufigen Ereignissen grösserer Reparaturaufwand.	Regelmässiger Kontroll- und Inspektionsaufwand gleichwertig, jedoch grössere Robustheit bei den Systemelementen. Für häufige Ereignisse besser geeignet.
Leerung	Aufwand gleichwertig	Aufwand gleichwertig
5. Überlast/Restrisiko		
Überlast/Restrisiko	Für beide Bauwerkstypen sind mögliche Ereignisabläufe bei Überlastung sowie die verbleibenden Restrisiken projektspezifisch abzuklären.	

5.3 Geeignete Einsatzmöglichkeiten von Netzbarrieren

In Anlehnung an die qualitative Bewertung und die Erfahrungen aus der Praxis eignen sich flexible Murgang- und Hangmurenschutznetze besonders gut für die folgenden ausgewählten Einsatzarten und Massnahmen:

- Massnahmen in schwer zugänglichem Gelände
- Temporäre Massnahmen
- Notmassnahmen
- Ergänzung zu starren Massnahmen im Rahmen eines integralen Schutzkonzepts
- Sensitive Begebenheiten, wo starre Massnahmen im Landschaftsbild bzw. in der Biosphäre nicht in Frage kommen

Einsätze von Netzbarrieren als Objektschutzmassnahme, insbesondere für Hangmuren, sind möglich. Die Bewilligungspraxis ist je nach Kanton unterschiedlich. Wichtig ist, dass Kontrolle und Unterhalt durch die (oftmals privaten) Grundeigentümer klar geregelt und sichergestellt sind.

5.4 Häufig gestellte Fragen zu Netzbarrieren (FAQ)

Oft stellt sich für Entscheidungsträger und Interessenvertreter die grundsätzliche Frage, ob im konkreten Fall **Netzbarrieren** eingesetzt werden können. Folgende Antworten auf häufig gestellte Fragen können bei der Abwägung für oder gegen einen Einsatz von Netzbarrieren unterstützen. Es wird dabei auf netzspezifische Fragestellungen fokussiert. Die Liste der aufgeführten Fragen und Antworten ist dabei keineswegs abschliessend und bei Bedarf zu aktualisieren. Weitere Angaben finden sich bei den Netzherstellern sowie auf der Landing Page dieser Publikation.

– **Wie stellt man ein grosses Rückhaltevolumen ohne Sonderbaulösungen sicher?**

Mehrere in Serie angeordnete Murgangschutznetze (**CE-gekennzeichnete** Systeme, welche den **Lastfall** Überströmen abdecken) können gemeinsam ein grösseres Rückhaltevolumen generieren als ein einzelnes Schutznetz.

– **Wie hoch ist die Lebensdauer einer Netzbarriere?**

Ohne Beanspruchung kann von einer **Lebensdauer** von 25 Jahren ausgegangen werden. Nach einem Ereignis muss die Barriere geleert und instand gestellt werden. Nach fachgerecht erfolgter Instandstellung ist die Netzbarriere bezüglich der **Lebensdauer** wieder neu einzustufen.

– **Welchen Vorteil hat eine Netzbarriere gegenüber starren Bauwerken in Bezug auf die zu erwartenden Kosten?**

Netzbarrieren können in vielen Fällen als gleichwertige Alternativen zu starren Betonbauwerken eingesetzt werden. Wichtig dabei ist, dass der gesamte Lebenszyklus inklusive Unterhaltskosten berücksichtigt wird. Projektspezifisch ist eine Kosten-Nutzenanalyse sinnvoll oder sind die Lebenszykluskosten zu ermitteln, um die Wirtschaftlichkeit aufzuzeigen. Bei der Installation, dem Materialverbrauch und der Dauer der Baustelle schlägt sich die Verwendung von Netzbarrieren oft positiv in den Kosten nieder. Entscheidend für die Kostenwirksamkeit ist jedoch, wie häufig das Bauwerk gefüllt und beansprucht wird. Netzbarrieren sind insbesondere in Einzugsgebieten mit häufigen Ereignissen aufgrund kürzerer **Lebensdauer**, weniger robusten Systemelementen und dementsprechend mehr Reparaturaufwand weniger wirtschaftlich.

– **Sind Netzbarrieren bewilligungspflichtig und subventionsberechtigt?**

Netzbarrieren sind immer bewilligungspflichtig. Die Subventionsberechtigung ergibt sich jedoch nicht aus einem Bauwerkstyp, sondern aus den Anforderungen, die ein Projekt erfüllen muss (Zweckmässigkeit, Wirtschaftlichkeit, Gesetzeskonformität) und den Rahmenbedingungen. Massnahmen mit Netzbarrieren konnten in der Vergangenheit in vielen Fällen die Subventionsberechtigung erfüllen. Es empfiehlt sich, in jedem konkreten Projekt vorgängig mit den entsprechenden Behörden abzuklären, ob Netzbarrieren als Massnahme bewilligungsfähig und subventionsberechtigt sind.

– **Wie schnell kann eine Netzbarriere erstellt werden?**

Der Ablauf zur Erlangung einer Baubewilligung (Projektierung, Bauauflage, Einsprache-fristen usw.) ist mit einem starren Bauwerk vergleichbar und beansprucht dementsprechend ähnlich viel Zeit. Der Einbau einer standardisierten Netzbarriere kann nach Vorliegen der Baubewilligung und bei günstigen Witterungsverhältnissen innert weniger Wochen erfolgen.

– **Wo wird im Ereignisfall das Material abgelagert?**

Die Thematik der Deponierung von zu erwartendem, nassem Material aus dem Rückhalteraum der Netzbarriere muss wie auch bei starren Bauwerken frühzeitig geklärt werden. Daher müssen bereits bei der Planung geeignete Erschliessungswege und Deponiestandorte sowie Geschieberückgabestellen unterhalb des Massnahmenstandortes für das Geschiebemanagement definiert und allfällige Kosten berücksichtigt werden.

– **Wie ökologisch und nachhaltig ist eine Netzlösung im Vergleich zu starren Werken?**

Die relativ grossen Maschenöffnungen und der **Basisdurchlass** bei Murgangschutznetzen erlauben eine gute Fisch- und Kleintiergängigkeit.

Für eine Betrachtung der Nachhaltigkeit sollte projektspezifisch eine ökologische Bewertung im Rahmen des Variantenstudiums durchgeführt werden.

– **Wie passen Murgangschutznetze ins Landschaftsbild?**

Im Gegensatz zu massiven Schutzbauwerken aus Stahl und Beton sind Murgangschutznetze visuell relativ dezent und fügen sich in der Regel gut in die Landschaft ein. Sie sind auf Distanz kaum sichtbar.

– **Wie werden Netzbarrieren geleert?**

Netzbarrieren werden in der Regel von oben mittels Schreitbagger oder herkömmlichem Raupenbagger geleert. Die Netzbarrieren können nach einer ersten Entlastung auch geöffnet und schadhafte Elemente ersetzt werden. Verankerungen und Fundamente bleiben in der Regel intakt.

– **Gehören Netzbarrieren zu den baulichen Schutzmassnahmen und müssen sie dementsprechend im Schutzbautenkataster eingetragen sein?**

Netzbarrieren erweitern seit einigen Jahren das Spektrum von Bauten zum Schutz vor Murgängen und Hangmuren. Unterhalt, Leerung und Instandsetzung müssen wie bei starren Schutzbauwerken gewährleistet werden. Netzbarrieren müssen daher auch in kantonale Schutzbautenkataster eingetragen werden.

– **Wo erhält man Informationen über geeignete Modellierungen zu Fliessprozessen?**

Forschungsinstitutionen, wissenschaftliche Netzwerke und Vereinigungen forschen und publizieren laufend über Fliessprozesse und deren Modellierung. Eine Auswahl an Publikationen findet sich im Literaturverzeichnis der vorliegenden Praxishilfe.

– **Wie durchlässig ist ein Murgang- oder Hangmurenschutznetz und wie gross sollte der Basisdurchlass bei einem Murgangschutznetz gewählt werden?**

Die Durchlässigkeit von Netzbarrieren ist stark prozess-, gebiets- und materialabhängig und generelle Aussagen sind daher nicht möglich. In Bezug auf die Durchlässigkeit von Netzen erfolgten an der WSL kleinskalierte Versuche zum Verhältnis von Maschengrösse zu massgebenden Korngrössen (vgl. [37] für weitere Details).

Der Einfluss der Abflusstiefe auf die Verklausung des **Basisdurchlasses** von Murgangschutznetzen wurde in [37] untersucht. Konkrete Angaben zur Dimensionierung des **Basisdurchlasses** können Kapitel 6.2.3 entnommen werden.

Technischer Teil

6 Szenarienbildung und Dimensionierung von Systemgrössen

6.1 Szenarienbildung Murgang- und Hangmurenprozesse

Gefahrenkarten und ergänzende Angaben im technischen Bericht bzw. den Faktenblättern liefern erste Angaben zu den Ereignisszenarien und Fliessparametern. Zur eigentlichen Dimensionierung und Festlegung des Bemessungsereignisses müssen jedoch unbedingt weitere Abklärungen getroffen werden, damit die Beurteilungstiefe der Fragestellung bzw. Planungsstufe gerecht wird. Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen erfolgt gemäss PROTECT [23]. Weiter ist das Verhalten bei Überlastung eines Bauwerkes zwingend abzuklären und bei der Ausgestaltung und Dimensionierung zu berücksichtigen. Unsicherheiten in der Beurteilung von Naturgefahren allgemein und in der Abschätzung von Ereignisgrössen im Spezifischen sind stets zu berücksichtigen, können mit Bandbreiten ausgewiesen und müssen offen deklariert werden.

Murgänge und Hangmuren zeichnen sich durch plötzlich auftretende Schübe aus einer Mischung von Wasser und Feststoffen aus. Dabei überwiegt der Feststoffanteil mehrheitlich und es resultieren hohe Dichten der Mischung. Infolgedessen können grosse, gewichtige Einzelkomponenten an oder nahe der Fliessoberfläche mittransportiert werden. Der Wassergehalt der Mischung definiert zusammen mit der Gerinne- oder Hangneigung die Fliessgeschwindigkeit. Aus der Kombination von grossen Fliesshöhen, hohen Geschwindigkeiten, hohen Dichten sowie zum Teil grossen Einzelblöcken resultieren enorme Kräfte, welche flächig und/oder punktuell direkt auf Bauwerke einwirken. Zur Dimensionierung von Bauwerken ist daher die Bestimmung der Fliessparameter das zentrale Element und weiterführende Angaben können z.B. [21] entnommen werden. Resultierende Einwirkungsbereiche und Einwirkgrössen können in numerischen Modellen ergänzend bestimmt und evaluiert werden.

Bei der Szenarienbildung sind Häufigkeit und Ereignisvolumina von Murgängen entscheidende Ereignisgrössen und wirken sich insbesondere auf die Wahl der geeigneten Schutzmassnahme aus. Für Detailabklärungen stehen bewährte Methoden wie SEDEX [14] und Gertsch [17] zur Verfügung. Sie basieren auf Abschätzungen im Gelände oder auf theoretischen Überlegungen und vergleichen die Ergebnisse mit Werten aus empirischen Formeln. Bezüglich dem Feststoffvolumen muss bei Murgängen klar zwischen Gesamt ereignis und einzelnen Schüben unterschieden werden. Weiter muss abgeklärt werden, ob viskose oder granulare Mischungen zu erwarten sind, wie Ereignisse ablaufen und ob Schwemmholz eine massgebende Rolle spielt.

Im alpinen Bereich sind für Murgänge Ereignisvolumen von wenigen 100 m³ bis zu mehreren 100 000 m³ möglich. Fliessgeschwindigkeiten auf dem Kegel erreichen 1 bis 15 m/s und zugehörige Abflussspitzen liegen im Bereich von 10 bis 1000 m³/s. Der maxima-

Tab. 6. Grössenordnungen für massgebende Fliessparameter von Murgängen (basierend auf diversen Quellen).

Parameter	Einheit	Grössenordnung	Bemerkung
V_{Schub}	[m ³]	100–100 000	Volumen je Schub, Volumen Gesamt ereignis V_{total} ein Mehrfaches möglich
Q_{max}	[m ³ /s]	10–1000	Abflussspitze bzw. maximaler Abfluss an der Schubfront
v	[m/s]	1–15	Geschwindigkeit an der Front
ρ	[kg/m ³]	1600–2200	Dichte der Murgangmischung an der Front
ρ	[kg/m ³]	2200–2650	Dichte des Einzelblocks basierend auf lokaler Geologie
h_{fl}	[m]	0.5–10	Fliesshöhe an der Front
d	[m]	bis maximal h_{fl}	Durchmesser Einzelblock

le Durchmesser eines Einzelblockes erreicht in etwa den Wert der Abflusshöhe. Die für die Dimensionierung massgebenden Parameter und erwarteten Grössenordnungen für Murgänge sind in Tabelle 6 dargestellt.

Für Hangmuren ist eine Grunddisposition gegeben, wenn in einem Untersuchungsgebiet mit Hangneigungen steiler als 20° ungünstige geologische Eigenschaften vorliegen [2]. Hangmuren treten am gleichen Standort meistens nur einmalig auf, die präzise Vorhersage des Auftretens ist aber nach wie vor schwierig. Üblicherweise wird für die Beurteilung des Auftretensorts ein Dispositionsansatz [2] verwendet, welcher primär auf geotechnischen Eigenschaften beruht. Bei der Analyse ist zudem die Erhebung von früheren Hangmuren im Untersuchungsgebiet wichtig. Eintretenswahrscheinlichkeit und Disposition in der Anrisszone sind teilweise ähnlich mit denjenigen von flach- bis mittelgründigen spontanen Rutschungen. Für die Beurteilung kann gemäss Methode AGN [1] etappenweise vorgegangen werden. Resultierende Einwirkungsbereiche und -grössen können in numerischen Modellen ergänzend bestimmt und evaluiert werden.

Die Anrissmächtigkeiten der mobilisierbaren Massen betragen bei Hangmuren in der Regel 0.5–3 m, und selten bis 10 m. Das umgelagerte Volumen ist im Allgemeinen beschränkt. Durch den verhältnismässig grossen Wasseranteil resultieren hohe Prozessgeschwindigkeiten (1 bis 15 m/s), welche eine entsprechend zerstörerische Wirkung zur Folge haben. Der hohe Wasseranteil begünstigt zudem die Reichweite einer Hangmure und der Wirkungsbereich kann die Fläche der Anrisszone um den Faktor 10 bis 100 übersteigen [8]. Die für die Dimensionierung massgebenden Parameter und erwarteten Grössenordnungen für Hangmuren sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tab. 7. Grössenordnungen für massgebende Fliessparameter von Hangmuren (basierend auf diversen Quellen).

Parameter	Einheit	Grössenordnung	Bemerkung
V_{total}	[m ³]	10–10 000	Volumen Gesamt ereignis
Q_{max}	[m ³ /s]	1–100	Abflussspitze bzw. maximaler Abfluss an der Schubfront
v	[m/s]	1–15	Geschwindigkeit an der Front
ρ	[kg/m ³]	1600–2200	Dichte der Hangmurenmischung an der Front
ρ	[kg/m ³]	2200–2650	Dichte des Einzelblocks basierend auf lokaler Geologie
h_{fl}	[m]	0.3–3	Fliesshöhe an der Front
d	[m]	< h_{fl}	Durchmesser Einzelblock

6.2 Auslegung Murgangschutznetze

6.2.1 Restnutzhöhe

Die Restnutzhöhe h_b' ist definiert als kleinste Distanz zwischen dem oberen Trageil und der Bachsohle oder dem unteren Trageil nach einem Füllereignis eines Murgangschutznetzes. Die Angaben zur Restnutzhöhe sind abhängig von Tragsystem, Fliessparameter, Korngrössenverteilung und Füllungsgrad des Murgangschutznetzes. Standardwerte für die Restnutzhöhe können beim Systemhersteller angefragt werden.

6.2.2 Freibord

Das Freibord bezeichnet den Abstand der oberen Trageile zur Gerinneoberkante bei einer Schutzverbauung im unbelasteten Zustand und dient der Sicherheit, dass der Murgang beim Überströmen der Netzbarriere (siehe hierzu auch Kap. 6.2.5) nicht aus dem Gerinne ausbrechen kann. Wichtig ist, dass die Summe aus Restnutzhöhe h_b' und erwarteter Fliesshöhe h_{fl} des überströmenden Murgangs kleiner ist als die Summe aus Verbauungshöhe und gewähltem Freibord.

6.2.3 Basisdurchlass

Der **Basisdurchlass** h_d ist der Abstand zwischen den unteren Tragseilen und der Gerinne-
sohle und dient dem Durchleiten des normalen Abflusses ohne grössere Mengen an Ge-
schiebe und Holz. Ist viel Schwemmholz in einem Gerinne zu erwarten, so empfiehlt es
sich, den **Basisdurchlass** der Netzbarriere grösser zu projektieren als die sonst üblichen
Standardwerte von $h_d = 2/3 h_{fl}$ [35] bzw. ist ein separater Schwemmholzrückhalt ober-
halb der Netzbarriere in Betracht zu ziehen. Bei der Auslegung des **Basisdurchlasses** ist
auch immer die Kapazität des Gerinnes unterstrom der Netzbarriere zu berücksichtigen.

6.2.4 Rückhaltevolumen

Für das Rückhaltevolumen V_R massgebend ist die Restnutzhöhe der Netzbarriere h_b' und
die mittlere Gerinnebreite b_m am Barrierenstandort. Für eine überschlägige Berechnung
werden weiter die Gerinneneigung l_s oberstrom der Netzbarriere sowie die Neigung der
abgelagerten Murgangfracht l_s' im Rückhalteraum benötigt.

Die Neigung des abgelagerten Materials kann gemäss [22] mit $l_s' = 2/3 l_s$ abgeschätzt
werden. Demzufolge ist die Neigung der Ablagerung der Murgangfracht $1/3$ flacher als
die ursprüngliche Gerinneneigung oberstrom der Sperre. Unter der Annahme eines ge-
streckten Gerinneverlaufs oberhalb der Sperre ergibt sich dann gemäss [35] folgender
geometrischer Zusammenhang für eine Grobabschätzung des Rückhalterums bei einer
senkrechten Schutznetzanordnung nach Abbildung 5 und [35].

$$V_R = 0.5(h_b')^2 b_m \sin \xi \left(\frac{\sin \xi}{\tan(\theta - \theta')} + \cos \xi \right) \quad (1)$$

mit

V_R = Rückhaltevolumen der Netzbarriere

h_b' = Restnutzhöhe, siehe 6.2.1

b_m = $(b_u + b_o)/2$ mittlere Breite Schutznetz, meist berechnet aus Breite Schutznetz
oben b_o und Breite Schutznetz unten b_u

ξ = Winkel zwischen Schutzverbauung und Bachbett in $^\circ$

θ = Winkel des Bachabschnitts in $^\circ$

θ' = Winkel der Ablagerung in $^\circ$

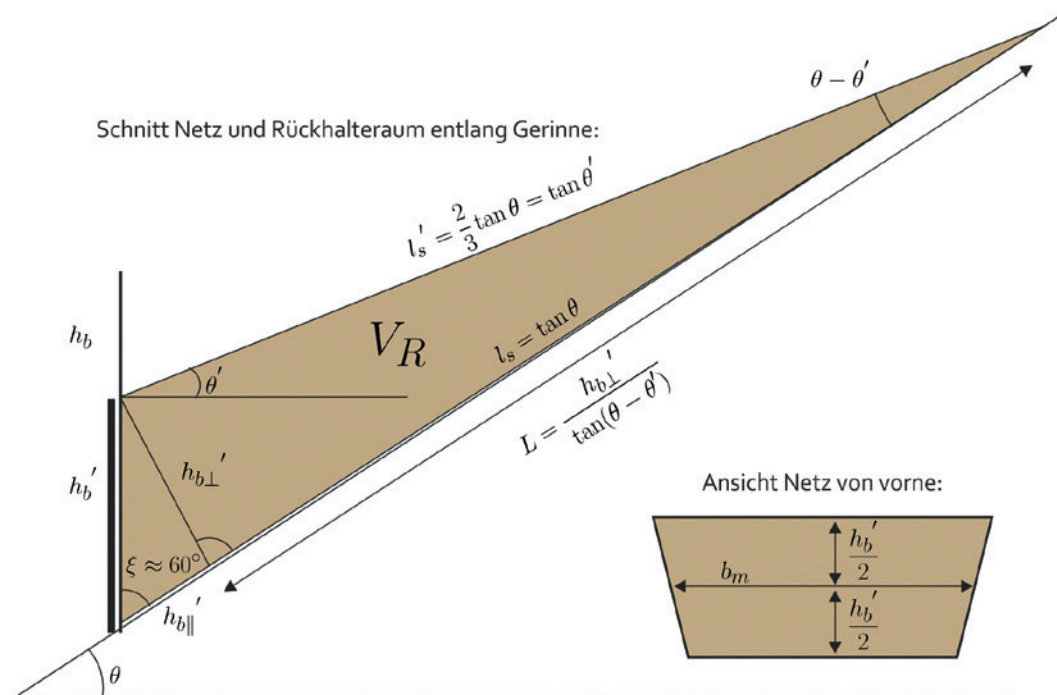


Abb. 5. Schnitt entlang Gerinne und Ansicht Netz von vorne. Abbildung nach [35].

6.2.5 Überströmen

Das Überströmen eines Murgangschutznetzes muss als separater Bemessungslastfall nachgewiesen werden (siehe Kap. 7.2.1) und kann bei hohen Sperren und/oder grossen Fliesshöhen h_{fl} massgebend werden, da in diesem Fall der hydrostatische Druck entsprechend gross wird und auch grösser werden kann als der dynamische Anprall. Niedrigere Sperren werden zwar früher überströmt, jedoch wird dort der hydrostatische Druck meist nicht massgebend. Der **Lastfall** Überströmen ist nicht standardmässig in der Leistungserklärung der DoP zum **CE-Kennzeichen** eines Murgangschutznetzes/ Hangmurenschutznetzes abgedeckt. Zudem ist es wichtig, dass das verbleibende Freibord planerisch grösser ist als die maximale Kote des Murgangs beim Überströmen der Netzbarriere. Es ist dabei unerlässlich, die oberen Trageile der Verbauung mit einem sogenannten **Abrasionsschutz** konstruktiv auszubilden.

6.3 Auslegung Hangmurenschutznetze

6.3.1 Restnutzhöhe

Die Restnutzhöhe h_b' ist definiert als kleinste Distanz zwischen dem oberen Trageil und der Geländeoberkante nach einem Füllereignis eines Hangmurenschutznetzes. Die Angaben zur Restnutzhöhe sind abhängig von Tragsystem, Fliessparameter, Korngrössenverteilung und Füllungsgrad des Hangmurenschutznetzes. Standardwerte für die Restnutzhöhe können beim Systemhersteller angefragt werden.

6.3.2 Rückhaltevolumen

Für das Rückhaltevolumen V_R massgebend ist die Restnutzhöhe der Barriere h_b' und die maximale Ausbreitung des Materials am Barrierenstandort b_{max} . Das Volumen kann, ähnlich wie bei Murgangschutznetzen (siehe Kap. 6.2.4), näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$V_R = 0.5(h_b')^2 b_{max} \sin \xi \left(\frac{\sin \xi}{\tan(\theta - \theta')} + \cos \xi \right) \quad (2)$$

mit

- V_R = Rückhaltevolumen der Netzbarriere
- h_b' = Restnutzhöhe, siehe Kapitel 6.3.1
- b_{max} = maximale Ausbreitung des Materials entlang der Netzbarriere
- ξ = Winkel zwischen Schutzverbauung und Böschung in [°]
- θ = Winkel der Böschung in [°]
- θ' = Winkel der Ablagerung in [°]

Dabei geht man vereinfacht davon aus, dass die Fliesshöhe auf der ganzen Breite b_{max} gleichbleibend ist. Bei der geometrischen Abschätzung der maximalen Ausbreitung b_{max} wird folgendermassen vorgegangen: Kann die Anrissbreite einer Hangmure b_0 abgeschätzt werden und geht man davon aus, dass diese sich maximal mit einem Ausbreitungswinkel von δ [2–10°] fortbewegt, so kann die maximale Ausbreitung des Materials b_{max} mit Hilfe der Distanz zwischen Anriss und Einbaustelle L_0 bestimmt werden (siehe Abb. 6). Daraus resultiert:

$$b_{max} = 2 \tan \delta L_0 + b_0 \quad (3)$$

Alternativ oder als Ergänzung zur geometrischen Betrachtung zwischen Anrissgebiet und der geplanten Einbaustelle des Hangmurenschutznetzes können numerische Simulationen verwendet werden.

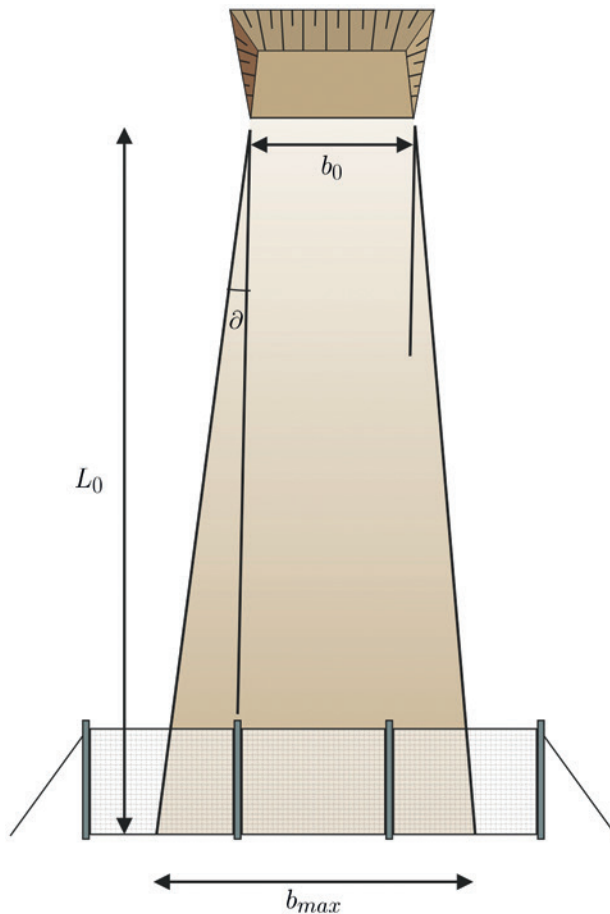


Abb. 6. Skizze geometrische Bestimmung maximale Ausbreitung. Abbildung nach [16].

6.3.3 Überströmen

In der Regel sind **CE-gekennzeichnete** Hangmurenschutznetze nicht auf Überströmen ausgelegt. Dieser Fall ist daher nicht standardmässig in der Leistungserklärung (DoP) eines Hangmurenschutznetzes abgedeckt (siehe Kap. 6.2.5 in Bezug auf Überströmen bei Murgangschutznetzen).

Falls ein Überströmen der Netzbarriere trotzdem vorgesehen wird, muss dies als separater **Bemessungslastfall** nachgewiesen werden (siehe für Details Lastmodell Hangmurenschutznetze in Kap. 7.2.2). Nebst allfälligen Verstärkungen der Tragstruktur müssen die oberen Tragseile in diesem Fall mit einem zusätzlichen **Abrasionsschutz** versehen werden. Zudem muss überprüft werden, ob das Überströmen eine problematische talseitige Erosion zur Folge haben kann und ob allfällige geeignete bauliche oder organisatorische Massnahmen für diesen Fall zu treffen sind.

6.3.4 Umströmen

Das seitliche Umströmen der Barriere sollte wenn immer möglich vermieden werden. Um dies zu gewährleisten, muss die minimale Verbauungslänge $L_{\min}$ deshalb deutlich grösser sein als die maximale Ausbreitung des Materials hinter der Barriere $b_{\max}$ (siehe auch Kap. 6.3.2).

Eine hangseitige Rückhalteschürze als konstruktive Ergänzung von Hangmurenschutznetzen verhindert eine Netzöffnung zwischen Untergrund und unterer Netzkante, welche durch das Anheben des unteren Tragseils entstehen kann. Ein Unterströmen wird da-

durch verhindert. Die Verwendung eines feinmaschigeren **Sekundärgeflechts** bergseitig des eigentlichen Schutznetzes stellt den Rückhalt von Feinmaterial sicher.

Bei Murgangschutznetzen fließt Wasser über das talseitige Gerinne kontrolliert ab. Diese kontrollierte Ableitung fehlt jedoch bei Hangmurenschutznetzen. Daher muss talseitig des Hangmurenschutznetzes eine entsprechende Wasserfassung und Ableitung angeordnet werden, damit Wasser aus der Hangmure und allenfalls abströmendes Oberflächenwasser schadlos gefasst und abgeleitet werden kann.

7 Bemessung

7.1 Sicherheitskonzept

Im Allgemeinen dient ein Sicherheitskonzept der Gewährleistung der Standsicherheit eines Bauwerkes im Rahmen der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit. Der folgende Abschnitt konzentriert sich auf den Grenzzustand der Tragsicherheit. Die beiden anderen Aspekte, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, werden in Kapitel 3.2 behandelt.

Bei Murgang- und Hangmurenschutznetzen sollten folgende wesentliche Aspekte im Grenzzustand der Tragsicherheit untersucht werden:

- Bruchlast der Trageile mit **Energieabsorptionselementen** auf Grund von zu grosser Zug- und Querkrafteinwirkung
- Bruchlast der Netzstruktur infolge zu hoher punktueller Belastungen (z. B. Durchstanzen wegen Einzelblockanprall, Druckspitzen und Überlast)
- Versagen der Anker auf Herausziehen und innerer Widerstand der Anker auf Bruch

Bei starren Schutzbauwerken werden Einwirkung und Widerstandsseite getrennt bemessen mit Teilsicherheitsbeiwerten γ_F für die Einwirkung und γ_R für die Widerstandsseite (z. B. SIA-Norm 261, SIA Norm 263 und SIA Norm 267 [25]–[29]). Für **Netzbarrieren** unter Murgang- oder Hangmurenlast gibt es bisher keine definierten Versagenswahrscheinlichkeiten, wie das bei starren Bauwerken gemäss SIA unter bestimmten Einwirkungsszenarien definiert ist. Eine probabilistische Herangehensweise ist daher in Bezug auf die Netzlösungen noch nicht möglich.

Im Kapitel 5 der SIA 261/1 [27] werden Murgänge und Hangmuren auf der Einwirkungsseite immer als aussergewöhnliche Lasten auf ein Bauwerk bezeichnet. In [31] werden Murgänge bei einer kurzen Wiederkehrperiode (1–30 Jahre) als normale Einwirkung und bei grösseren Jährlichkeiten (>30 Jahre) als aussergewöhnliche Einwirkung ausgewiesen. Für die Basis des Sicherheitskonzeptes stellt somit die Wiederkehrperiode bzw. die Auftretenshäufigkeit sowie die Einordnung als normale oder aussergewöhnliche Einwirkung eine wichtige Einflussgrösse dar. Zudem sind die auftretenden Intensitäten der Belastung von Bedeutung. In der SIA 261/1 [27] und in Gefahrenkarten sind für Murgänge mittlere und starke Intensitäten definiert, bei Hangmuren schwache, mittlere und starke Intensitäten. Die Intensitäten, bzw. Fliessgrössen und Einwirkungen vor Ort sind durch eine Fachperson zu bestimmen und festzulegen.

Zur Einschätzung einer Gefährdung durch ein Murgang- oder Hangmurenereignis für Menschen, Umweltfolgen und wirtschaftlichen Schaden infolge eines Versagens eines Schutzbauwerkes wird in [35] eine Einteilung in Risikoklassen vorgeschlagen. Für die Risikoklassen können z. B. akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeiten gemäss Joint Committee of Structural Safety JCSS [18] beigezogen und den Risikoklassen zugeordnet werden:

- Risikoklasse 3 / Versagenswahrscheinlichkeit $p_f = 10^{-6}$ bei grosser Gefahr für Menschenleben bei Schutzmassnahmen in unmittelbarer Nähe von Siedlungen, Strassen und Industriezonen
- Risikoklasse 2 / Versagenswahrscheinlichkeit $p_f = 10^{-5}$ bei mittlerer Gefahr von Menschenleben bei Ansiedlungen, Strassen, Eisenbahnlinien in der weiteren Umgebung der Schutzmassnahmen
- Risikoklasse 1 / Versagenswahrscheinlichkeit $p_f = 10^{-3}$ bei geringer Gefahr für Menschenleben bei Wald, Schwemm- und Weideland

Diesen Risikoklassen werden die Wiederkehrperioden von Murgang- oder Hangmurenereignissen gegenübergestellt und in Anlehnung an [31] werden die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F auf der Einwirkungsseite gemäss Abbildung 7 zugeordnet. Zum expliziten Schutz von Neubauten durch ein Murgang- oder Hangmurenschutznetz ist die SIA 261/1 [27] beizuziehen, wo in Abhängigkeit der Nutzung Bauwerksklassen definiert sind. Auf der Widerstandsseite werden die Teilsicherheitsbeiwerte γ_R gemäss den entsprechenden SIA-Normen empfohlen (SIA 261, 262, 263, 267 mit [25]–[29]).

Wiederkehr- periode Risiko- klasse	1 – 30 Jahre	30 – 100 Jahre	Über 100 Jahre
1	1.0	1.0	1.0
2	1.3	1.3	1.2
3	1.5	1.3	1.2

Abb. 7. Empfohlener Teilsicherheitsbeiwert γ_F auf der Einwirkungsseite unter Berücksichtigung der Risikoklasse sowie der Wiederkehrperiode des Murgang- oder Hangmurenereignisses in Anlehnung an [31] / entnommen aus [35].

7.2 Lastmodelle

7.2.1 Murgangschutznetze

Basis für die nächsten Unterkapitel ist der WSL-Bericht 8 [33]. Dieser beschreibt vollumfänglich das 2008 publizierte Bemessungskonzept der Dissertation Nr. 17916 an der ETHZ [35] von Corinna Wendeler für flexible Netzstrukturen. Diese Arbeit wurde an der WSL unter der Leitung von Dr. Perry Bartelt und Dr. Axel Volkwein im Rahmen eines gemeinsamen KTI-Forschungsprojekts mit der Geobrug AG realisiert. Die Druckbeiwerte α liegen bei **Netzbarrieren** tiefer als die in der SIA Norm 261/1 [27] publizierten Werte c_p , welche dem gleichen Faktor entsprechen, aber für **Anpralldrücke** gegen starre Hindernisse (Wand, Damm usw.) gelten.

7.2.1.1 Quasistatisches Lastmodell

Ein Ansatz, welcher die auf die Murgangschutznetze wirkenden Drücke und damit einwirkenden Kräfte bestimmt und sehr gut die Situation mit einem vereinfachten Ingenieurmodell abbildet, ist in [35] beschrieben. Der Murgang wird in diesem Modell mit einer konstanten Fließhöhe h_{fl} , konstanten Dichte ρ und einer konstanten Fließgeschwindigkeit v **diskretisiert**. Er trifft beim sogenannten «Erstanprall» auf die Netzbarriere (siehe Abb. 8). Nachdem der Murgang gestoppt wurde, wird im Modell die Netzbarriere mit dem nachfolgenden Material gefüllt (siehe Abb. 9). Dieser kontinuierliche Prozess wird im vereinfachten Lastmodell zeitlich so **diskretisiert**, dass die Netzbarriere in einzelnen sogenannten Fließhöhen-Stößen mit einer gleichmässigen Verteilung der Fließhöhe verfüllt wird (siehe Abb. 9).

Bei den wirkenden hydrostatischen p_{stat} und hydrodynamischen p_{dyn} Drücken (in N/m²) wird angenommen, dass diese über die Gerinnebreite gleichmässig verteilt sind. Es ergeben sich folgende Berechnungsformeln:

$$p_{dyn} = \alpha \rho v^2 \quad (4)$$

mit

ρ = Dichte des Murgangs mit $\rho = 1600\text{--}2200 \text{ kg/m}^3$

α = Druckkoeffizient

(granuläre Murgänge $\alpha = 2.0$; schlammige mit $\rho < 1900 \text{ kg/m}^3$ $\alpha = 0.7\text{--}1.0$)

v = mittlere Geschwindigkeit der Murgangfront in m/s

und

$$p_{stat} = a h_{fl} \rho g \quad (5)$$

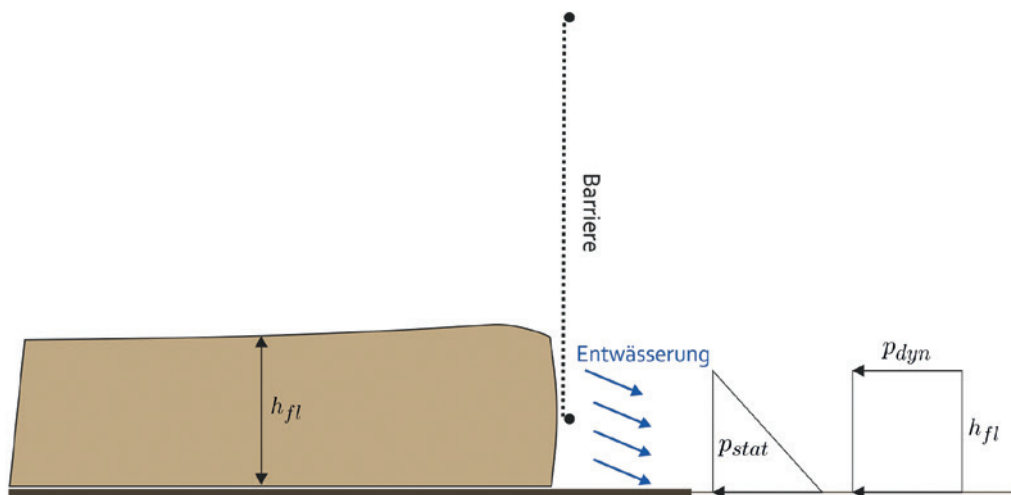


Abb. 8. Erstanprall des Murgangs auf die Barriere mit angewandtem Druckstossmodell bestehend aus hydrostatischem p_{stat} und hydrodynamischem Druck p_{dyn} . Abbildung nach [35].

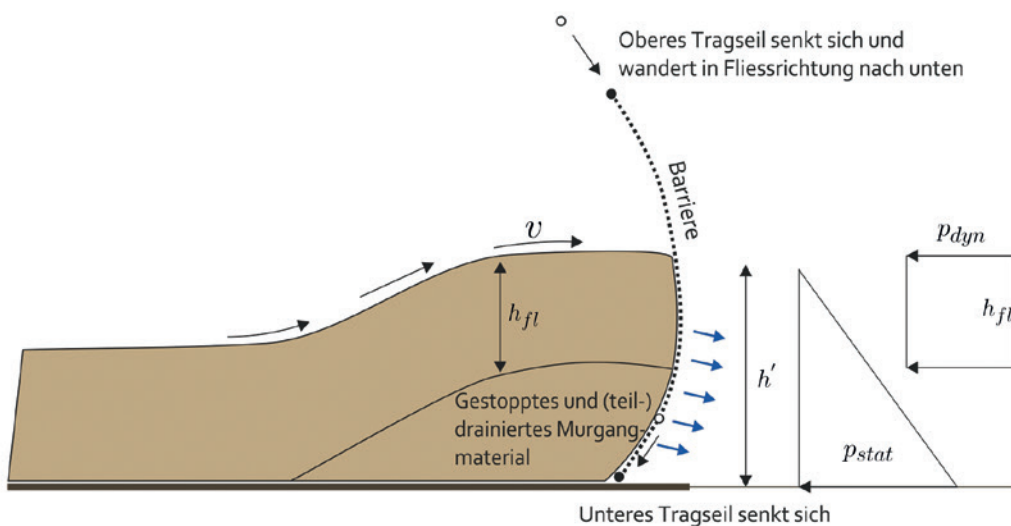


Abb. 9. Zeitlich diskretisierter Auffüllprozess im Druckstossmodell inkl. zu erwartender Deformationen der Barriere. Abbildung nach [35].

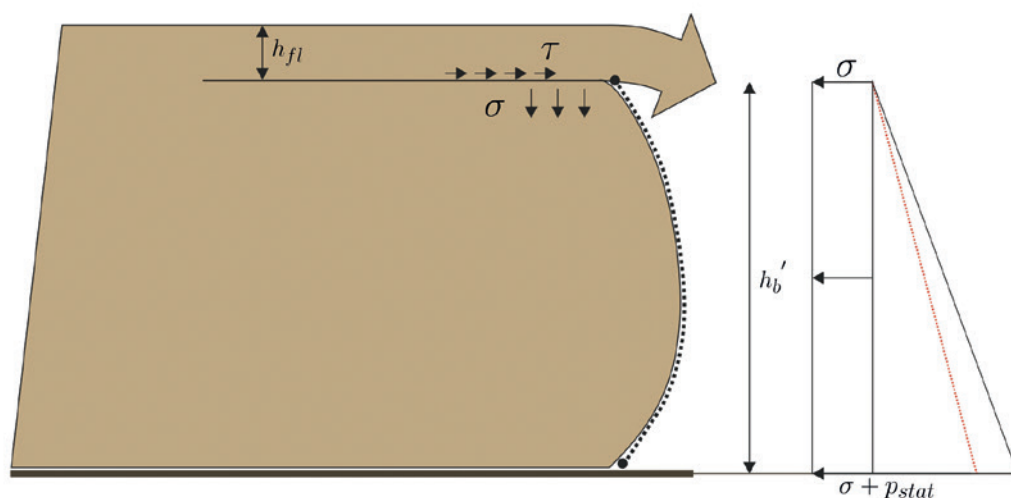


Abb. 10. Lastsituation während des Überströmens einer Barriere, welche infolge Verfüllung ihre verbleibende Restnutzhöhe aufweist. Abbildung nach [35].

mit

a = Erddruckbeiwert $a = 1.0$

g = Gravitationskonstante $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Für spezielle Geometrien mit einseitig tieferer Bachsohle oder sehr flachen Gerinneflanken ist die Theorie im Einzelfall zu prüfen.

Im Fall des **Lastfalls** Überströmen wirkt auf die Oberseite der verfüllten Barriere eine zusätzliche Schubspannung $\tau = h_{fl} \rho g \tan \theta$ in Fliessrichtung und eine Auflast mit $\sigma = h_{fl} \rho g$, welche senkrecht zur Fliessrichtung wirkt. Die Schubspannungskomponente wird häufig aufgrund der geringen Grösse ($\tau \approx 1/10 \sigma$) vernachlässigt.

7.2.1.2 Einzelblockanprall

Massgebend wird der Einzelanprall eines Blocks oder einer anderen Komponente wie z. B. eines Baumstamms meist nur direkt beim Anprall auf ein Tragseil. Liegen die Tragseile weiter auseinander als die Dimensionierungsblockgrösse, dann ist separat ein Durchstanznachweis auf das Netz zu führen. Stösst der Block der Masse m mit der Geschwindigkeit v direkt auf ein Tragseil/Tragseilbündel mit der Länge L , wird die meiste kinetische Energie des Blocks in die Seildehnungsenergie überführt, wobei auch ein Teil der Energie von den **Energieabsorptionselementen** abgebaut wird. Diese Komponente der Energieabsorptionselemente wird im Folgenden als eine vereinfachende Annahme auf der sicheren Seite vernachlässigt.

Die Seildehnungsenergie $E_{pot,Seil}$ (in J) kann bestimmt werden mit

$$E_{pot,Seil} = 0.5 k_s \Delta L^2 \quad (6)$$

mit

k_s = $E A/L$ Federsteifigkeit des Seils der Länge L

E = Elastizitätsmodul des Seils

A = effektive Querschnittsfläche des Seils

ΔL = elastische Dehnung des Seils

Im Folgenden kann man die Seilkraft F_{Seil} (in N) mit dem Ansatz des Federgesetzes $k_s = F_{Seil}/\Delta L$ berechnen zu

$$F_{Seil} = \sqrt{\frac{mv^2 EA}{L}} \quad (7)$$

mit

m = Masse des Einzelblocks

v = mittlere Frontgeschwindigkeit des Murgangs

E = Elastizitätsmodul des Seils

A = effektive Querschnittsfläche des Seils

L = Seillänge

Vereinfacht wird angenommen, dass die gleiche Federsteifigkeit k_s über die Seillänge L herrscht und die Absorptionsenergie der Bremsen vernachlässigt wird.

7.2.2 Hangmurenschutznetze

7.2.2.1 Quasistatisches Lastmodell

Das quasistatische Lastmodell für Hangmurenschutznetze funktioniert analog den Formeln aus Kapitel 7.2.1.1 sowie 7.2.1.2. Der einzige Unterschied ist, dass die Hangmurenschutznetze meist nicht für den **Lastfall** Überströmen nachzuweisen sind, da Hangmuren

deutlich geringere Volumen aufweisen als Murgänge. Die Einschlagbreite oder maximale Ausbreitung des Materials am Barrierenstandort einer Hangmure kann nach Kapitel 6.3.2 bestimmt werden.

7.2.2.2 Fluid-Struktur-Interaktions-Modell FSI

Als Alternative zum quasistatischen Lastmodell kann die Interaktion der **Netzbarriere** mit dem Hangmurenmaterial mit dem Fluid-Struktur-Interaktions-Modell FSI abgebildet werden. Dieses Modell wurde unter der Leitung von Dr. Axel Volkwein an der WSL im Rahmen der Dissertation von Albrecht von Boetticher [34] in einem gemeinsamen KTI-Forschungsprojekt mit der Geobrug AG realisiert.

Das maximale Rückhaltevolumen V_R wird unter Berücksichtigung der aktuellen Geländetopographie berechnet. Es wird sowohl die Volumenreduktion aufgrund der zu erwartenden Absenkung der Barrierenoberkante auf die Restnutzhöhe h_b' als auch die Neigung des abgelagerten Hangmurenmaterials i_s' berücksichtigt (siehe Abb. 5). Daraus resultiert die horizontale Länge des Rückhalterums l_r . Mit einer maximalen Einwirkungsbreite im Rückhalteraum von b_{max} kann die Füllzeit t_f für ein Stossvolumen V_{Stoss} bestimmt werden durch:

$$t_f = \frac{V_{Stoss}}{h_{fl} b_{max} v} \quad (8)$$

mit

V_{Stoss}	=	Stossvolumen
h_{fl}	=	Fliesshöhe
b_{max}	=	max. Ausbreitung der Hangmure am Netzstandort
v	=	mittlere Fliessgeschwindigkeit der Hangmurenfront

Im sogenannten «Erstanprall» wird angenommen, dass das Material mit einer ausgeprägten Front in die Netzbarriere einschlägt und diese entsprechend über die Fliesshöhe h_{fl} und Einschlagbreite b_{max} schlagartig belastet wird. Der Einschlag des nachfolgenden Materials wird in einzelne Stösse aus sich überlagernden Füllstufen **diskretisiert**.

Die Belastung aus einzelnen sich überlagernden Füllstufen, die mit der Fliesshöhe h_{fl} , Frontfliessgeschwindigkeit v und Dichte ρ auf das Netz treffen (Kraft-Zeitansatz nach Wendeler [35]) wird auf der jeweiligen Netzbarrierenhöhe auf in sich überlagernde Drücke umgerechnet. Der Druck einer Füllstufe x setzt sich wie bei Murgängen aus einem statischen und einem dynamischen Anteil zusammen:

$$p_x = p_{stat} + p_{dyn,x(t)} \quad (9)$$

Der dynamische Anteil am **Anpralldruck** einer Füllstufe $p_{dyn,x(t)}$ klingt über die Zeit t_x ab. Man kann diesen günstigen Effekt vereinfacht berücksichtigen, indem man den dynamischen **Anpralldruck** der Füllstufe ab dem Zeitpunkt, bei dem der Füllstoss das Netz erreicht, linear über die Bremszeit t_b abbaut (erweiterter Kraft-Zeitansatz nach [34]).

Der Wellenstoss nach dem Erstanprall $p_{dyn,1(t)}$ ergibt sich dann zu:

$$p_{dyn,1(t)} = \max \left(\frac{t_{b1} - (t - t_1)}{t_{b1}}, 0 \right) \cdot p_{dyn} \quad (10)$$

Die Bremszeit t_b ist von dem in der Realität nicht-linear abklingenden **Anpralldruck** abhängig. Der als linear abklingend vereinfachte **Anpralldruck** würde die Bremszeit unterschätzen. Daher sollte die Bremszeit als diejenige Zeit angesetzt werden, die erforderlich ist, um einen Block der Masse m und Blockgeschwindigkeit v_f mit einer mittleren Bremsbeschleunigung α_b abzubremesen. Entsprechend kann die Bremszeit folgendermassen bestimmt werden:

$$t_{b,i} = \frac{v_f}{a_{b,i}} = \frac{v_f \rho h l_{r,i} b_{max}}{k p_{dyn} h b_{max}} \quad (11)$$

mit

- v_f = Blockgeschwindigkeit
 $a_{b,i}$ = $k p_{dyn} h b_{max} / m$ Bremsbeschleunigung bei Wellenstoss i
 p_{dyn} = hydrodynamischer Murdruck
 m = $\rho h l_r b_{max}$ Masse des Blocks
 k = 0.1, Kalibrierungswert aus Versuchen in Veltheim (AG) [9]

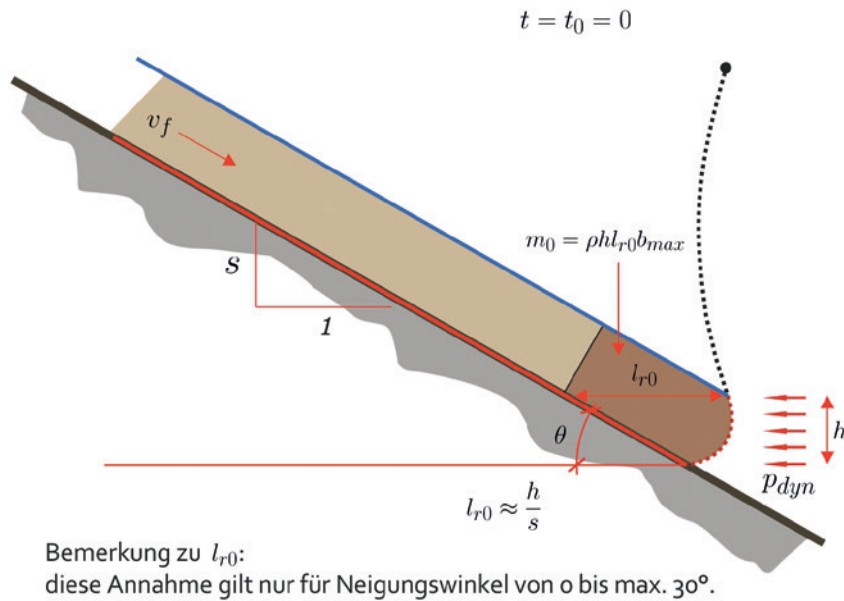


Abb. 11. Schematische Darstellung der FSI Diskretisierung beim Erstanprall in Anlehnung an [34].

$$p_{dyn,1(t)} = \max\left(\frac{t_{b1} - (t - t_1)}{t_{b1}}, 0\right) \cdot p_{dyn}$$

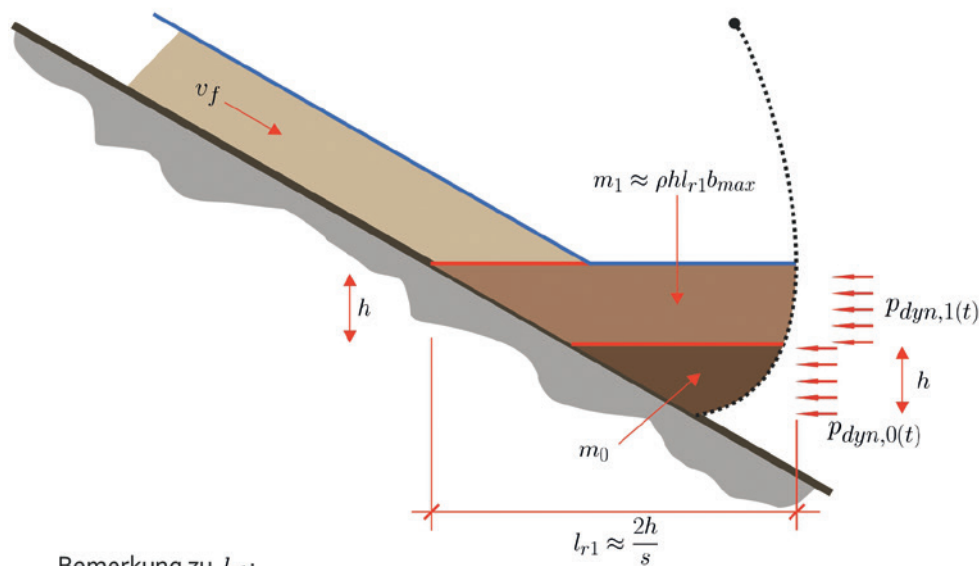


Abb. 12. Weitere Füllstossdiskretisierung bei der FSI Methode nach gestopptem Erstanprall der Masse m_0 in Anlehnung an [34].

Der Zeitpunkt des Eintreffens einzelner Schübe ist nicht ohne weiteres abzuschätzen. Als Grundlage kann angenommen werden, dass sich nachfolgendes Material über das von der Netzbarriere abgebremste Material schiebt. Bei niedrigen Froude-Zahlen <1 kann vereinfacht angenommen werden, dass die Bremswirkung der Netzbarriere auf das Material des ersten Füllstosses bis in eine Distanz von $l_{r0} = h/s$ in den Rückhalteraum wirkt. Daher formiert sich die nachfolgende Laststufe in einer Entfernung von l_{b1} oberhalb der Netzbarriere. Ein dritter Schub entsteht analog in einer Distanz $l_{r1} = 2 h/s$ zur Barriere, im Zeitpunkt des Eintreffens des zweiten Schubes. Die Einschlagsmomente der Schübe können so zu $t_0 = 0$ [s], $t_1 = l_{r0}/v$, $t_2 = t_1 + l_{r1}/v$ usw. bestimmt werden.

Die entsprechenden **Anpralldrücke** $p_0, p_1, p_2 \dots$ wirken auf die Netzbarriere über die Höhen $0-h$, $h-2h$, $2h-3h$ usw. bis zum Überströmen der Netzbarriere. Damit kann bei der Berechnung bzw. Simulation der kritische Zeitpunkt der Überlagerung mit maximaler Belastung der Tragseile bestimmt werden.

Eine Plausibilitätskontrolle der so geschätzten Lastüberlagerung ist unerlässlich, sowohl bezüglich der Belastung als auch hinsichtlich der Abstimmung der Ankunftszeit des letzten Schubes mit der Gesamtfüllzeit t_f . Im Zweifelsfall muss der Abbau des dynamischen Druckes über einen längeren Zeitraum angesetzt werden indem man den Parameter k reduziert.

Setzt man den Ansatz für die Bremszeit in die Formel für den dynamischen Druck ein, dann ergibt sich der dynamische Druck für die Füllstufe x zu:

$$p_{dyn,x(t)} = \max \left(\frac{\frac{v_f \rho l_{rx}}{k p_{dyn}} - (t - t_x)}{\frac{v_f \rho l_{rx}}{k p_{dyn}}}, 0 \right) \cdot p_{dyn} \quad (12)$$

Die schliesslich mit einer Überfallhöhe h_b' überströmte Netzbarriere mit einer Fließhöhe h_{fl} unterliegt dem hydrostatischen Druck p_{stat} über die gesamte Höhe $h_b' + h_{fl}$. Zusätzlich wirkt durch die überströmende Hangmure eine Schubbelastung τ :

$$\tau = h_{fl} \rho g \tan \theta \quad (13)$$

wobei θ den Böschungswinkel des Hangmurenhangs darstellt. θ kann je nach Bewuchs und Materialreibungswinkel variieren [11].

7.3 Bemessung der Komponenten

7.3.1 Tragseile

Die Tragseile führen die auf das Schutznetz einwirkenden Lasten zu den Verankerungen ab. Je nach zu erwartender Last kann ein Tragseilstrang auch aus mehreren Einzelseilen bestehen. Mehrere Tragseilstränge sind in der Regel gleichmässig über die Netzbarrierenhöhe h_b verteilt. Die Tragseillage sollte auch hinsichtlich der zu erwartenden Verformungen der Netzbarriere optimiert werden. In die Tragseile integrierte Elemente, welche grosse Verformungen zulassen (sog. **Energieabsorptionselemente**), ermöglichen eine optimale Ausrichtung der Seile. Auf eine gute konstruktive Anschlussart der Seile an Betonelemente, Seilanker oder Selbstbohranker ist unbedingt zu achten, um die Seilkraft möglichst in Zugrichtung in die Verankerung einzuleiten.

Anhand folgender Nachweise können die Seile analytisch nach [35] bemessen werden. Die wirkenden Drücke auf das Schutznetz werden anhand mittlerer **Einzugsflächen** auf die Tragseile übertragen. Die Belastung auf die horizontalen Seile kann als gleichverteilt angenommen werden, vorausgesetzt der Auffüllprozess findet über die ganze Breite der Netzbarriere statt. Eine hierfür geeignete Seildifferentialgleichung wird dann iterativ mittels Newton-Verfahren gelöst, bis die berechneten Seilkräfte mit den für diese Kräfte zu erwartenden Seil- und Bremsenlängen übereinstimmen [20]. Für die Seilgleichung gilt dabei (vgl. auch Abb. 13):

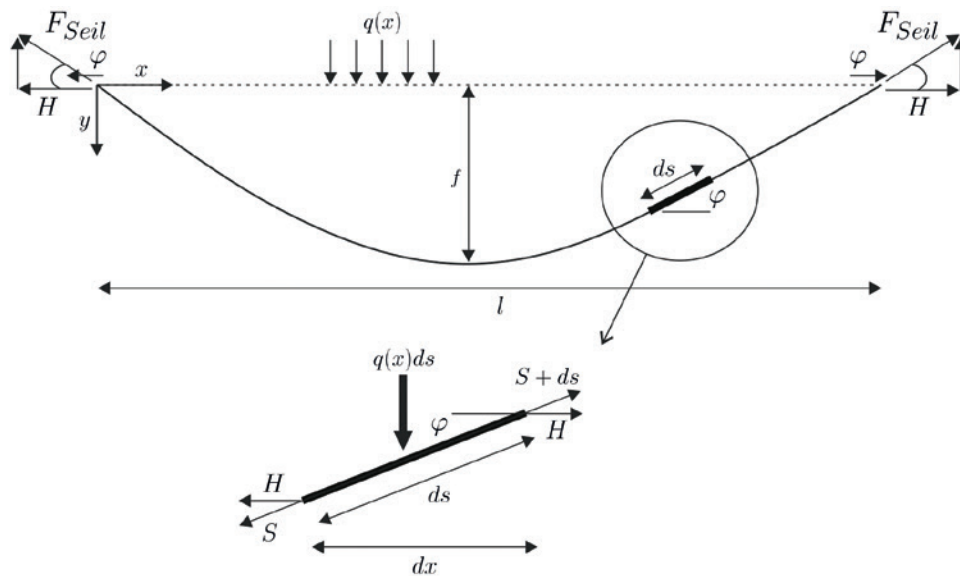


Abb. 13. Darstellung der Seilgleichung für Gleichbelastung am ausgelenkten Seil nach [20] und [35].

$$H^3 + H^2 EA \left[1 - \frac{1}{s_0} (l - \alpha_t \Delta t s_0) \right] = \frac{EA}{2s_0} \int_0^l Q^2 dx \quad (14)$$

mit

- H = horizontale Seilhaltekraft
- E = Elastizitätsmodul des Seils
- A = effektive Querschnittsfläche des Seils
- s_0 = horizontale Seillänge
- α_t = Temperaturkoeffizient für Stahl
- Δt = Temperaturgradient
- Q = Werte des Integrals nach [20]

Die Rückhalteseile können nicht auf diese Weise berechnet werden, da auf sie keine kontinuierliche Gleichbelastung wirkt. Deren Bemessung wird im nachfolgenden Kapitel erläutert. Die praktische Umsetzung der Seilgleichung kann dem Bemessungsbeispiel im Anhang A entnommen werden.

7.3.2 Rückhalteseile und Stützenbemessung

Die Rückhalteseilkräfte ergeben sich aus den massgebenden Stützenkräften und einem kleinen Kraftanteil aus Umströmen des Murganges bei Stützensenilen, welche im Gerinne verankert sind. Dieser Anteil wird meistens vernachlässigt. Massgebend für die Belastung der Rückhalteseile ist meist der **Lastfall** Überströmen bei vollgefüllter Netzbarriere. Die Drücke werden über die mittlere Breite der **Stützeineinzugsflächen** auf die Stützen umgerechnet. Ein **Biegedrillknicknachweis** der Stützen aus Normalkraft und Kraft in Fliessrichtung des Murgangs ist daher für den Stützennachweis erforderlich. Die obere Auflagerkraft der Stütze geht in die Rückhalteseile und muss gemäss den Seilwinkeln umgerechnet werden (siehe Abb. 14).

7.3.3 Schutznetz

Massgebend für die Bemessung des eigentlichen Schutznetzes der Netzbarriere ist die Anordnung der horizontalen Tragseile. Der vereinfachte **Netznachweis** betrachtet das Netz als Seil mit der maximalen Auslenkung der Netzbarriere und einer Spannweite vom oberen zum unteren Tragseil (siehe Abb. 15). Der Bemessungslastfall mit mittleren Tragseilen wie im **Bemessungsbeispiel** im Anhang A muss gesondert betrachtet werden. Mittels Seilgleichung (Abb. 13) und Netzparameter pro Laufmeter kann die Kraft auf die Netzfläche ermittelt werden.

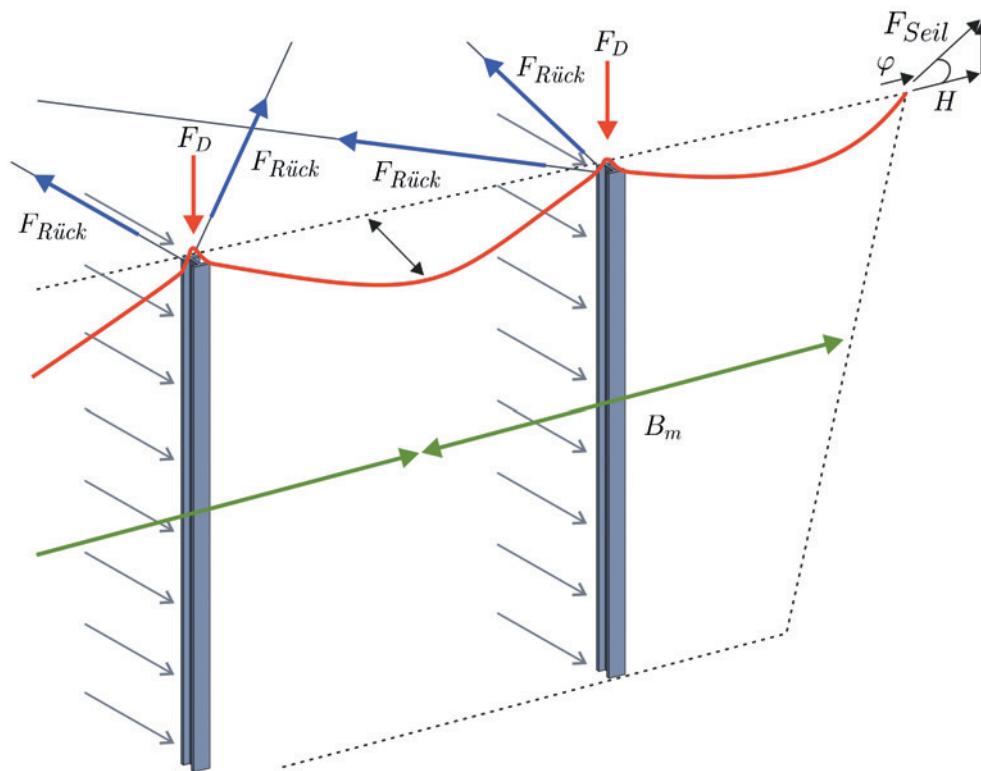


Abb. 14. Murgangschutznetz mit Stützen und deren Kraftvektoren aus den Trag- und Rückhalte-seilen in Anlehnung an [35].

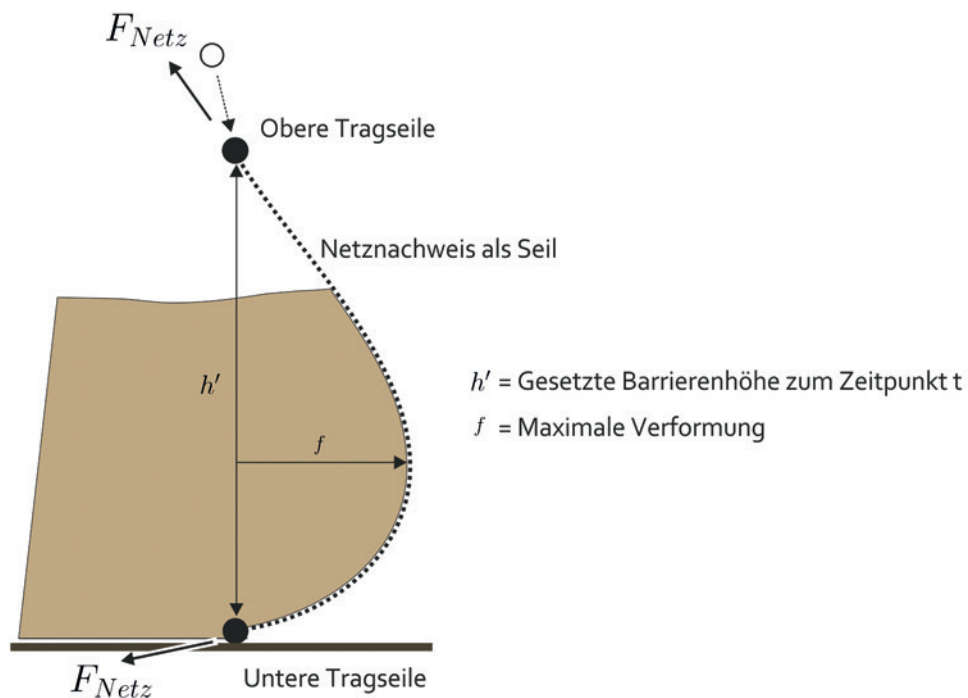


Abb. 15. Murgangschutznetz im Schnitt für den Nachweis des Schutznetzes und dessen Kraftkomponente.

7.3.4 Verankerungen und Fundamente

Wir empfehlen, die Belastungen für die Verankerungen der Murgang- und Hangmurenschutznetze nach den Angaben des Herstellers auszuführen. Zudem sollten, wenn immer möglich, Probeanker getestet werden. Die Anzahl der Probeanker hängt von den Baugrundverhältnissen, der Grösse des Bauvorhabens und dem potentiellen Risiko des Versagens ab [3], sollte aber mindestens den Vorgaben gemäss SIA 267 [29] entsprechen. Prüfungen von ungespannten Boden- und Felsankern (Nägel) mit Vollverbund sind in der SIA 267/1 Geotechnik/Ergänzende Festlegungen beschrieben [29].

Aufgrund der Unsicherheiten bei den auftretenden Belastungen empfiehlt sich bei Netzbarrieren, die ganze Bruchkraft des Seils mit **Energieabsorptionselementen** in den Untergrund einzuleiten. Bei den Verankerungen muss deklariert werden, bis zu welchen Einwirkungen sie standhalten. Die zusätzlich empfohlenen Fundamente dienen der Lasteinleitung der Seilkräfte in die Verankerung und als Korrosionsschutz des Ankerkopfes. Es empfiehlt sich bei Lockermaterial zu prüfen, ob ein seitlicher Betonriegel durchgezogen werden sollte, um ein Freispülen der Verankerung an den Gerinneflanken zu vermeiden. Weiter sollte in die Fundamente eine Mindestbewehrung von 10 mm Durchmesser alle 10 cm eingebaut werden, um die Rissbreiten zu minimieren. Die **Betondruckfestigkeitsklasse** sollte entsprechend der auftretenden **Korrosionsschutzklasse** gewählt werden. Hinweise zur Bemessung und Konstruktion der Verankerung können [35], [3] und [29] entnommen werden.

7.3.5 Stützenfundationen

Die Stützenfundationen schützen die Druck- und Zuganker vor Freispülung und Korrosion und leiten gleichzeitig die Druckkräfte flächig in den Boden ein. Bei der Bemessung sind die Stützendruckkräfte und die Zugkräfte aus den unteren Tragseilen auf das Fundament zu berücksichtigen. Bei exzentrischen Stützenanschlüssen an der Grundplatte zu den Verankerungen entsteht zudem ein Drehmoment, welches bei der Auslegung der Druck- und Zuganker zu berücksichtigen ist. Bewehrungstechnisch gilt ebenfalls die Empfehlung, dass die erforderliche Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung einzulegen ist.

7.3.6 Beispiel konstruktive Durchbildung Fundament

Die geometrischen Begebenheiten von Murgang- und Hangmurenschutznetzfundationen hängen stark von den geometrischen Bedingungen der Grund- und Verankerungspalten der einzelnen Hersteller ab. Ein exemplarisches Beispiel ohne Berechnungsnachweise ist in Abbildung 16 und Abbildung 17 für Stützenfundationen mit Druck- und zwei Zugankern im Winkel von 45° gezeigt.

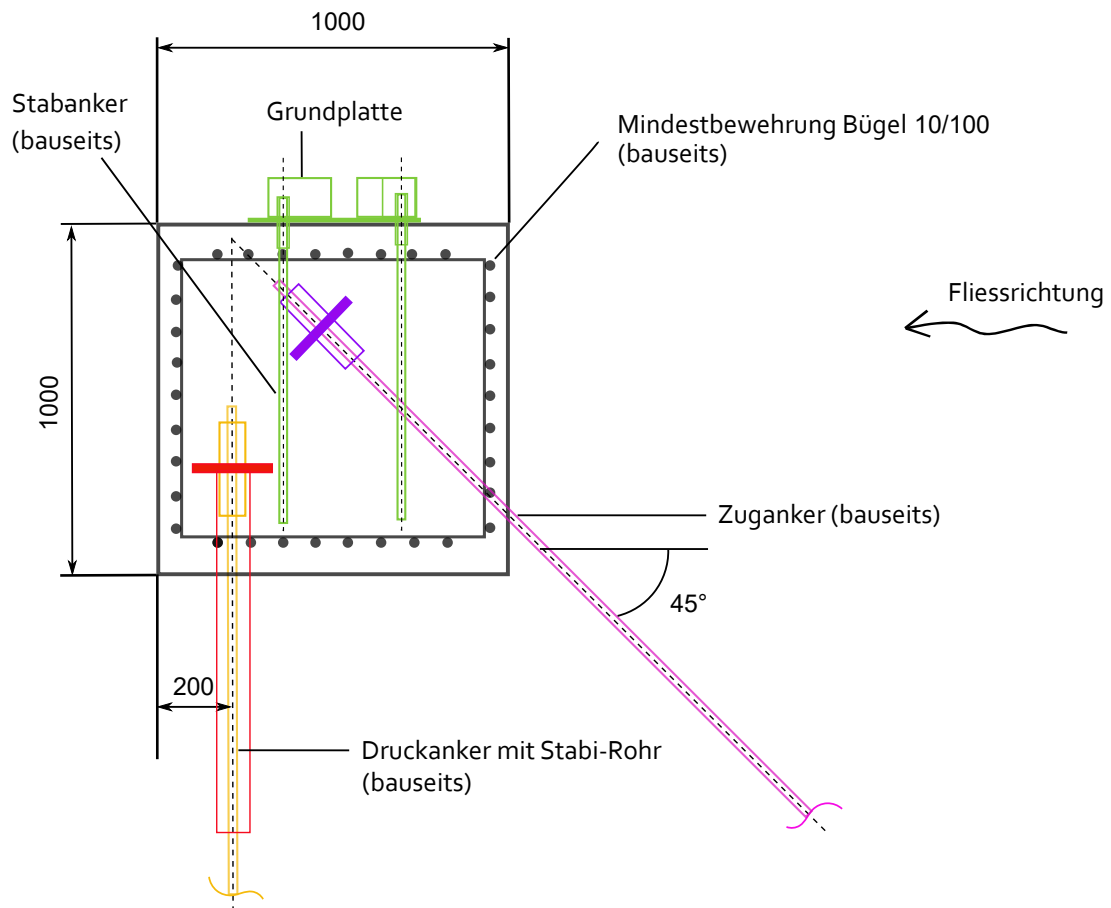


Abb. 16. Seitenansicht eines bewerten Betonfundamentes mit einem Druck- und zwei Zugankern in Anlehnung an [15].

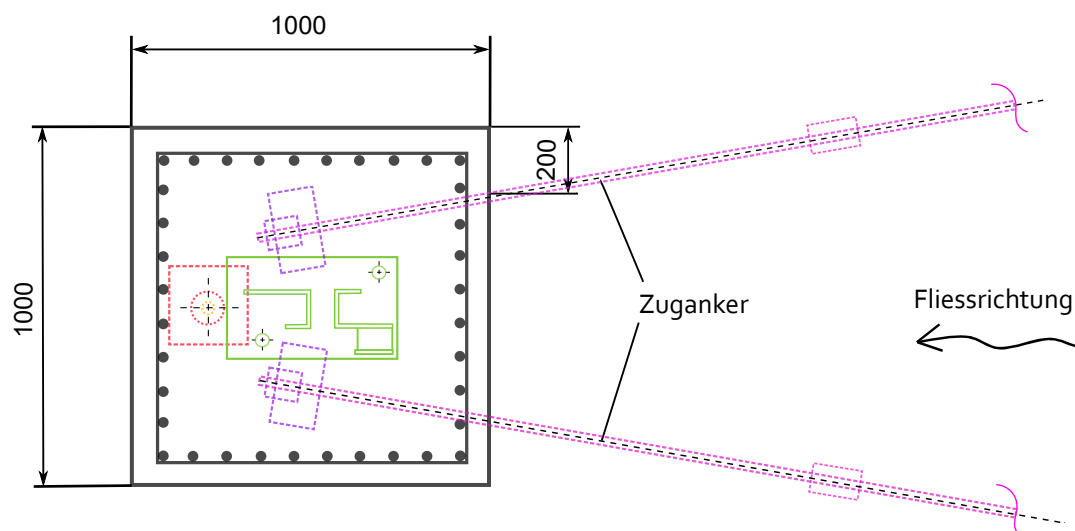


Abb. 17. Draufsicht eines bewerten Betonfundamentes mit einem Druck- und 2 Zugankern in Anlehnung an [15].

8 Schutzbautenkontrolle und Unterhalt

8.1 Grundlegende Begebenheiten

An Schutzbauten werden Anforderungen bezüglich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit gestellt. Um eine Funktionstüchtigkeit über die definierte **Lebensdauer** von **Netzbarrieren** zu gewährleisten, sind regelmässige Schutzbautenkontrollen und entsprechender Unterhalt notwendig [19].

Die Verantwortlichkeiten und die Periodizität für die Schutzbautenkontrolle sowie für den laufenden und den baulichen Unterhalt werden je nach Kanton und Werkseigentümer unterschiedlich gehandhabt und müssen deshalb schon in der Planungsphase berücksichtigt und ausgewiesen werden. Laufender Unterhalt kann durch den Eigentümer resp. angegliederte Fachdienste wie Schwellenkorporationen oder den Forstdienst erfolgen. Für allfälligen baulichen Unterhalt (Instandsetzung des Werkes) empfiehlt sich der Beizug des Netzbarrierenherstellers, der zuständigen kantonalen Fachstellen sowie einer spezialisierten Unternehmung. Wichtig ist, dass Schutzbautenkontrolle und Unterhalt nur durch vorgängig geschultes Personal durchgeführt werden. Die Arbeitssicherheit der Beteiligten muss gemäss geltenden gesetzlichen Bestimmungen jederzeit gewährleistet sein.

Eine geeignete Frühwarnung und Alarmierung kann auch bei der Schutzbautenkontrolle von Netzbarrieren einen grossen Nutzen aufweisen. Die Praxishilfe des Bundes «Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren» [24] zeigt anhand von Theorie und Fallbeispielen verschiedenen Möglichkeiten auf.

8.2 Arbeitsinstrumente für die Schutzbautenkontrolle

Folgende bestehende Arbeitsinstrumente können für die Schutzbautenkontrolle sowie den laufenden und baulichen Unterhalt verwendet werden:

- Handbuch zur Kontrolle und zum Unterhalt forstlicher Infrastruktur (KUfl-Handbuch) [19]
- Wartungshandbücher der Systemlieferanten

Bei Murgang- und Hangmurenschutznetzen werden in der Regel gleiche oder ähnliche Systemkomponenten wie bei Steinschlagschutznetzen eingesetzt. Für die Schutzbautenkontrolle von Murgang- und Hangmurenschutznetzen können deshalb sinngemäss die gleichen Formulare für die Schadenserhebung wie für Steinschlagschutznetze gemäss KUfl-Handbuch [19] übernommen werden. Auch die Wartungshandbücher der Systemlieferanten verfügen in der Regel über entsprechende Formulare (Beispiel im Anhang C). Im Schadensfall kann auch die Instandsetzung des Werkes ähnlich abgewickelt werden wie bei Steinschlagschutznetzen.

8.3 Massnahmen nach Ereignissen

Nach einem Ereignis (Teil- oder Vollfüllung, vgl. Beispiele in Tab. 8) sind für die Instandstellung insbesondere folgende Schritte notwendig:

- Information der kantonalen Fachstellen durch die Eigentümer bzw. die angegliederten Fachdienste
- Der Situation angepasste Information der Bevölkerung durch die Gemeinde oder die kantonalen Fachstellen
- Sicherstellen der Sicherheit der zu schützenden Infrastrukturen (z. B. Strassensperrung durch Gemeinde oder Kanton)
- Beauftragung einer Unternehmung durch die Eigentümer für die Leerung
- Sicherstellen der Arbeitssicherheit durch die Unternehmung
- Leerung der Netzbarriere durch die Unternehmung
- Auswechseln aller schadhaften Komponenten der Netzbarriere durch die Unternehmung
- Abnahme/Wiederinbetriebnahme des Bauwerkes durch den Netzbarrierenhersteller unter Beizug der kantonalen Fachstellen

Nach einer fachgerecht erfolgten Wiederinstandstellung einer Netzbarriere ist diese bezüglich der **Lebensdauer** wieder neu einzustufen.

Tab. 8. Situation nach einer Teil- oder Vollfüllung.



Verklauserung des Basisdurchlasses aufgrund der Teilfüllung eines Murgangschutznetzes.

Bild: [C]



Gefülltes und überströmtes Murgangschutznetz.

Bild: [D]



Durch Geschiebetransport gefülltes Murgangschutznetz.

Bild: [G]

8.4 Leerung von Murgang- und Hangmurenschutznetzen

Wie alle Rückhaltebauwerke müssen auch Murgang- und Hangmurenschutznetze nach einer vollständigen oder teilweisen Füllung geleert und wieder instand gestellt werden. Dabei müssen bei der Leerung von Hangmuren- und Murgangschutznetzen (siehe auch Tab. 9) insbesondere folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Zugang, Entnahme, Abtransport, Deponiestandorte und Geschiebezugabestellen müssen zwingend bei der Planung definiert werden.
- Aufgrund der Netzfüllung befindet sich die Tragstruktur unter Spannung. Daher ist bei allen Leerungsarbeiten besondere Vorsicht geboten. Bezüglich der Methoden zur Netzauftrennung geben die System- oder Wartungshandbücher der Netzbarriernhersteller Auskunft.

Wie bei übrigen Rückhaltebauwerken sind auch die folgenden Punkte zu beachten:

- Murgang- und Hangmurenschutznetze werden, wenn immer möglich, von der Bergseite her geleert. Eine Leerung von der Talseite her ist zwar oft auch möglich, jedoch aus Sicht der Arbeitssicherheit meist schwieriger durchzuführen.
- Falls die Gefahrensituation es zulässt, erfolgt die Leerung möglichst umgehend, um den Rückhalteraum so rasch wie möglich wieder zur Verfügung zu stellen.
- Der Arbeitssicherheit ist besonders hohe Aufmerksamkeit zu schenken.
- Das Erstellen eines Leerungskonzepts mit Arbeitsschritten und Notfallszenarien wird empfohlen.

Tab. 9. Leerung von Murgang- bzw. Hangmurenschutznetzen nach einem Ereignis.



Leerung eines Murgangschutznetzes von der Bergseite her mit Schreitbagger.

Bild: [G]



Leerung eines Hangmurenschutznetzes von der Talseite her mit Bagger.

Bild: [G]

9 Sonderbauwerke

Besondere Anforderungen verlangen nach besonderen Lösungen. Dies gilt insbesondere bei den **Netzbarrieren**, wenn die Systemgrenzen gemäss Kapitel 3.1 erreicht sind. In der Schweiz wurden bis 2020 mehrere Sonderbauwerke realisiert. Im Folgenden wird eine Auswahl präsentiert. Nähere Angaben können den Kenndatenblättern in Anhang B entnommen werden. Wichtig ist, dass Sonderbauwerke meist eine hochkomplexe Tragstruktur aufweisen und einer detaillierten Betrachtung und Dimensionierung bedürfen. Zudem kann eine numerische Simulation des Tragsystems zusätzliche Detailinformation liefern.



Hängeseilnetz

Hüpbach in Oberwil im Simmental

Bild: [F]



Mehrstufenverbau

Trachtbach in Brienz

Bild: [G]



Netzbauwerk mit Betonlängsscheiben

Grönbach in Merligen

Bild: [F]



Netzbauwerk mit Betonpfeilern

Innere Sitebach an der Lenk i.S.

Bild: [F]

**Ergänzungsbauwerk mit aufgesetztem Netz**

Illgraben in Leuk

Bild: [A]

**Erosionsschutz und Filterbauwerk**

Durschtbach am Simplon

Bild: [G]

**Bauwerk für kombinierte Beanspruchung**

Baltisberg

Bild: [H]

**Schwemmh Holznetz**

Chiene in Reichenbach i.K.

Bild: [F]

10 Bemessungsablauf

Ist die Entscheidung zur Errichtung einer **Netzbarriere** gefallen, muss diese dimensioniert werden. Der schematisch dargestellte Bemessungsablauf für Murgang- und Hangmurenschutznetze in Abbildung 18 und Abbildung 19 bietet dabei Unterstützung.

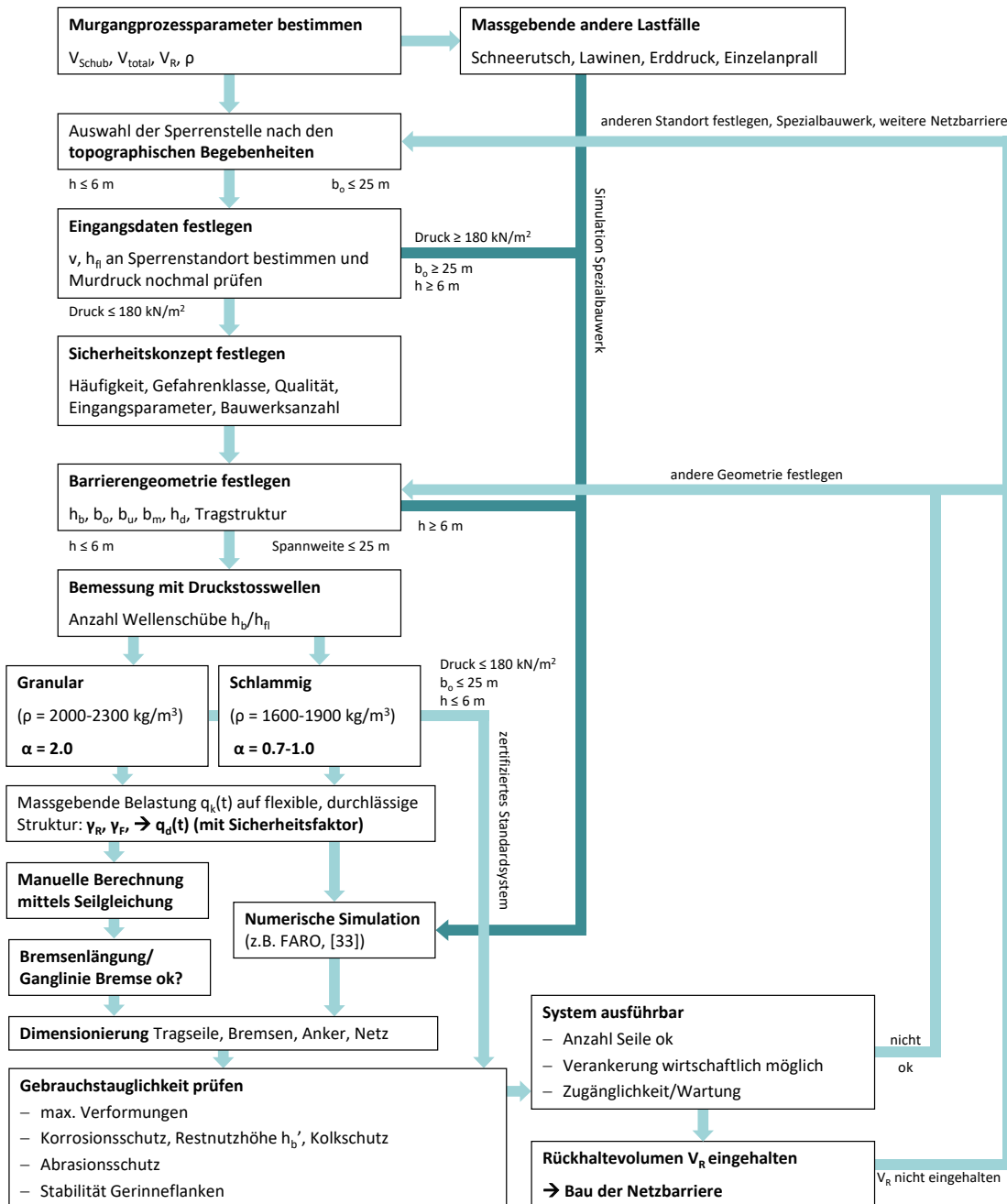


Abb. 18. Ablaufschema Bemessung für Murgangschutznetze gemäss [35].

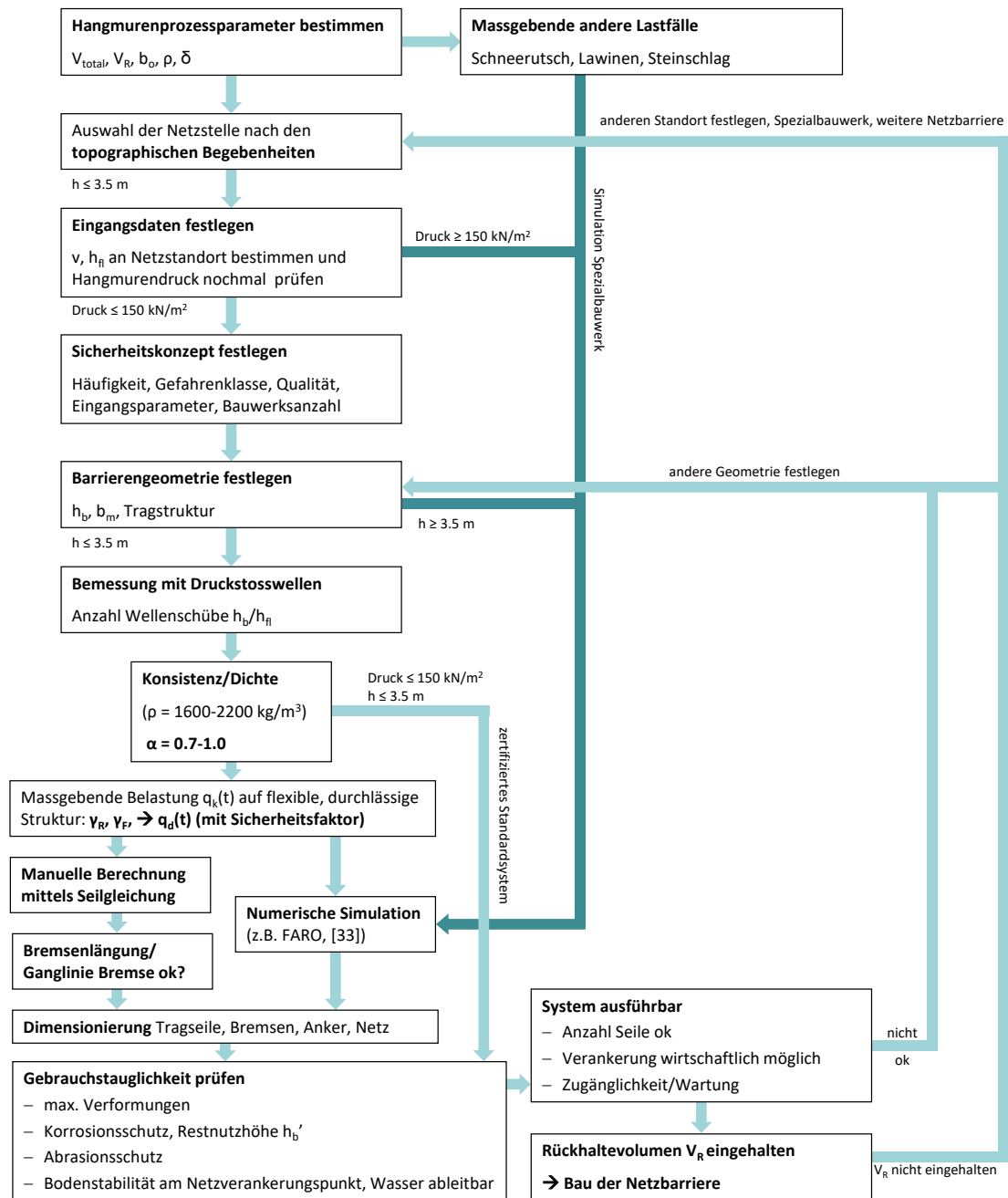


Abb. 19. Ablaufschema Bemessung für Hangmurenschutznetze in Anlehnung an [35].

11 Fazit und Ausblick

Schutzbauten sind neben raumplanerischen, organisatorischen und ingenieur-biologischen Schutzmassnahmen ein wichtiges Element im integralen Schutz vor Naturgefahren. Richtig projektiert und fachgerecht unterhalten erfüllen sie langfristig ihre Schutzfunktion. Entsprechend ihrer Lage im Prozessraum können Naturgefahren an der Entstehung gehindert, abgelenkt, gebremst oder gestoppt werden. In den letzten Jahrzehnten konnten in der Schweiz viele Siedlungen und Verkehrswege mit Verbauungen der Anriss- und Ausbruchgebiete oder mit Bauwerken nahe oder an zu schützenden Objekten gesichert werden. Neben den traditionellen, eher starren Verbauungstypen wurden in der jüngeren Vergangenheit auch leichtere und flexible Lösungen in Form von Netzbarrieren entwickelt.

Die Praxishilfe schafft eine Übersicht zum Stand der Technik von Murgang- und Hangmurenschutznetzen in der Schweiz. Zentrale Themen sind die Anwendung und ihre Grenzen sowie die Dimensionierung und Bemessung von Murgang- und Hangmurenschutznetzen. Entscheidungshilfen unterstützen in der Frage, ob in der jeweiligen Situation eine Netzbarriere ein zweckmässiges Schutzbauwerk ist und welche Aspekte in Planung und Realisierung zu berücksichtigen sind. Es wird aufgezeigt, dass für einen langfristigen Einsatz Schutzbautenkontrolle und Unterhalt wie bei allen Schutzbauwerken unabdingbar sind. In der Praxishilfe werden verschiedene Netzbarrieren behandelt, denn neben den CE-gekennzeichneten Standardsystemen gibt es eine Reihe von realisierten Sonderbauwerken, welche das Einsatzspektrum von Netzbarrieren erweitern.

Die Lehren aus Naturgefahrenereignissen und dem Verhalten von Schutzbauwerken im Ereignisfall bilden einen wertvollen Erfahrungsschatz. Dieser ermöglicht es, den Schutz vor Naturgefahren im Rahmen des integralen Risikomanagements zu verbessern. Unseren Auftraggebern, dem Bundesamt für Strassen ASTRA und dem Bundesamt für Umwelt BAFU, verdanken wir, dass die Publikation in dieser Form realisiert werden konnte. Die Praxishilfe profitiert vom umfassenden Knowhow von Expertinnen und Experten zum Thema Murgang- und Hangmurenschutznetze. Ein grosser Dank gilt somit allen, welche zu diesem Gemeinschaftswerk beigetragen haben: von der Praxis – für die Praxis!

Wichtig ist, dass auch weiterhin die gemachten Erfahrungen im Umgang mit Netzbarrieren gesammelt und ausgetauscht werden. Auf diese Weise liefern die Erkenntnisse aus der Vergangenheit einen wertvollen Schlüssel für die Zukunft und bilden eine Basis für die stetige Weiterentwicklung und Optimierung der Murgang- und Hangmurenschutznetze.

12 Verzeichnisse

Glossar

Begriff	Erläuterung
Abrasionsschutz	Schutzelement auf dem oberen Trageseil einer Netzbarriere zur Verhinderung von Seilbeschädigungen beim Überfließen desselben
Anpralldruck	Kurzzeitiger Spitzendruck auf die Netzfläche im Bereich des Anpralls
Barrierentyp	Klassifizierung eines Bauwerks nach Art der Bauweise (z. B. starres Bauwerk oder flexible Netzbarriere)
Basisdurchlass	Bei Murgangsschutznetzen: Öffnung zwischen Gerinnesohle und unterem Trageseil, damit der Normalabfluss und kleinere, unkritische Ereignisse unter der Netzbarriere hindurchfliessen können
Betondruckfestigkeitsklasse	Für die Klassifizierung der Betondruckfestigkeit wird die charakteristische Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge ($f_{ck,cyl}$) oder von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck,cube}$) im Prüfalalter von 28 Tagen verwendet.
Biegedrillknicknachweis	Nachweis einer Stütze nach SIA 263 [28], welcher die kombinierte Beanspruchung durch Biegung und Druckbelastung untersucht.
CE-Kennzeichnung	Vom Hersteller deklarierte Produktkonformität nach EU-Verordnung 765/2008. Das Produkt genügt den geltenden Anforderungen, die in den Harmonisierungsvorschriften der Gemeinschaft über ihre Anbringung festgelegt sind.
Diskretisierung	Die Diskretisierung ist die Aufteilung des Berechnungsgebietes in kleine Teile, sodass ein idealisiertes Modell als Berechnungsmodell im Rechner aufbereitet vorliegt. Zudem wird die Zeitschrittweite als Größe des Zeitschrittes bzw. die Länge des Zeitintervalls einer dynamischen Simulation definiert. Der zeitliche Fortschritt in einzelne Abschnitte aufgeteilt (diskretisiert) und die Lösung schrittweise für aufeinanderfolgende Zeitschritte berechnet ist ebenfalls eine Diskretisierung in der Finiten Element Methode.
Einzugsflächen	Im statischen Sinn ein bestimmter Flächenbereich des zurückgehaltenen Materials, von dem rechnerisch gesehen eine Einwirkung auf ein bestimmtes untersuchtes Bauteil ausgeht.
Energieabsorptionselement	Bauteil, meist aus Metall, welches auftretende Kräfte in der Netzstruktur aufnimmt und durch eine plastische Verformung des Elements die Energie absorbiert (umgangssprachlich oft auch Bremsselement genannt).
Gewebestrumpf	Zur Reduktion des Verlusts von Verankerungsmörtel im Bohrloch eingesetztes Gewebe.
Konformitätsbescheinigung/ Konformitätserklärung	Die Konformitätserklärung ist eine schriftliche Bestätigung am Ende einer Konformitätsbewertung, mit welcher der Verantwortliche (z. B. Hersteller, Händler, Betreiber, Unternehmer) für ein Produkt, die Erbringung einer Dienstleistung oder eine Organisation (z. B. Prüflabor, Betreiber eines Qualitätsmanagementsystems) verbindlich erklärt und bestätigt, dass das Objekt (Produkt, Dienstleistung, Stelle, QMS) die auf der Erklärung spezifizierten Eigenschaften aufweist.
Korrosionsschutzstufe	Gemäss SIA 267 [29] stufenweise Klassifizierung einer Verankerung zur Bestimmung der erforderlichen Korrosionsschutzmassnahmen. Die Schutzstufe ist von der geplanten Nutzungsdauer, der Bauwerksklasse und der Korrosionsgefährdung abhängig.
Lastfall	In der Baustatik wird ein Lastfall als Angabe von Lastanordnungen, Verformungen und Imperfektionen, die gleichzeitig auf ein Tragwerk einwirken können, definiert.
Lebensdauer	Zu erwartende zeitliche Begrenzung der vollumfänglichen Gebrauchstauglichkeit einer Netzbarriere.

Begriff	Erläuterung
Nachinjektion	Nochmaliges Injizieren von Ankermörtel ins Bohrloch, um den Verbund zwischen Ankermörtel und Bohrloch zu erhöhen. Zudem wird dadurch auch der Verbund zwischen Mörtelsäule und Anker erhöht.
Netzbarriere	Bauwerk zum Rückhalt einer gravitativen Naturgefahr bestehend aus Verankerungen und flexiblen Stahlnetzen. Bezieht sich im vorliegenden Dokument auf Murgang- und Hangmurenschutznetze.
Netznachweis	Tragsicherheitsnachweis für das reine Schutznetz der Netzbarriere
Netztypen	Als Netztypen werden Bauwerke innerhalb der gleichen Prozessfamilie bezeichnet, welche jedoch auf unterschiedliche Einwirkungen bzw. Lastfälle ausgelegt sind.
Primärnetz	Netzelement zum hauptsächlichen Lastabtrag und Materialrückhalt, meist grobmaschig
Prozessfamilie	Klassierung der Schutznetze gemäss ihrem Einsatz bei einem bestimmten Naturgefahrenprozess (z.B. Murgangschutznetze, Steinschlagschutznetze). Innerhalb der Prozessfamilie erfolgt eine Unterteilung nach Netztypen.
Rückhalteschürze	Bergseitig der Netzbarriere schlaff montiertes Hilfsnetz zur Verhinderung des Unterströmens einer Netzbarriere.
Sekundärnetz	Auf Primärnetz bergseitig montiertes, feinmaschigeres zweites Netz zum Rückhalt von Feinmaterial
Systemgrösse	Bauwerksbedingte Grössen wie Schutznetzgrösse (Spannweite und Höhe), Widerstandskraft, Schutznetztyp, Verankerungsbelastung usw.

Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
AGN	Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
DoP	Declaration of Performance; Leistungserklärung
EAD	European Assessment Document; Bewertungsdokument von Bauprodukten
EMPA	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EOTA	European Organisation for Technical Assessment
ETA	European Technical Assessment; technische Bewertung von Bauprodukten
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FAN	Fachleute Naturgefahren
FPC	Factory Production Control (siehe auch WPK)
GSchG	Gewässerschutzgesetz
JCSS	Joint Comitee of Structural Safety
KBS	Konformitätsbewertungsstelle
KTI	Ehemalige Kommission für Technologie und Innovation im ehemaligen Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT)
KUfl	Kontrolle und Unterhalt forstlicher Infrastruktur
NHG	Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
WBG	Gesetz über Gewässerunterhalt und Wasserbau
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle (siehe auch FPC)
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	
<i>Griechische Buchstaben</i>		
α	Druckkoeffizient für Murgang- oder Hangmurenaufprall auf Netzbauwerk	[–]
α_t	Temperaturdehnkoeffizient vom Stahldraht der Seile	[–]
δ	Ausbreitungswinkel Murgang bzw. Hangmure	[°]
ξ	Winkel zwischen Schutzverbauung und Bachbett	[°]
ρ	Dichte des Murgangs bzw. der Hangmure an der Front aber auch: Dichte des Einzelblocks basierend auf lokaler Geologie	[kg/m ³]
σ	Auflast des Murgangs beim Überströmen mit der Fliesshöhe h_{fl}	[N/m ²]
τ	Schubspannung des Murgangs bzw. der Hangmure an der Sohle und beim Überströmen	[N/m ²]
θ	Winkel des Bachabschnitts bzw. Winkel der Böschung am Netzstandort	[°]
θ'	Winkel der Ablagerung	[°]
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungsseite Murgang/Hangmuren	[–]
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite	[–]
<i>Lateinische Buchstaben</i>		
A	effektive Querschnittsfläche des Seils	[m ²]
a	Erddruckbeiwert, $a = 1.0$	[–]
$a_{b,i}$	mittlere Abbremsbeschleunigung beim Wellenstoss i	[m/s ²]
B_m	Mittragende Breite der Stütze	[m]
b_m	mittlere Breite Schutznetz, bestimmt aus Breite oben b_o und Breite unten b_u , dabei gilt: $b_m = (b_u + b_o)/2$	[m]
b_{max}	max. Ausbreitung des Materials entlang der Netzbarriere	[m]
b_o	Breite Schutznetz oben	[m]
b_u	Breite Schutznetz unten	[m]
b_0	Anrissbreite einer Hangmure	[m]
c_p	Druckbeiwert für Murgänge/Hangmuren gemäss SIA 261/1 [27]	[–]
d	Durchmesser Einzelblock	[m]
E	Elastizitätsmodul des Seils	[N/m ²]
$E_{pot,Seil}$	Dehnungsenergie des Seils beim Einzelblockanprall	[J]
F_D	Druckkraft der Stütze	[N]
F_g	Kraft aus Eigengewicht der Netzausbauchung	[N]
F_{Netz}	Kraft im Netz pro Laufmeter	[N/m]
$F_{Rück}$	Seilkraft der Rückhalteseile	[N]
F_{Seil}	Seilkraft der horizontalen Seile	[N]
G	Gewichtskraft der Seilausbauchung	[kN/m]
f	maximale Verformung der Barriere	[m]

Formelzeichen	Erläuterung	
g	Gravitationskonstante	[m/s ²]
H	horizontale Seilhaltekraft bei der Seilgleichung	[N]
H'_0	abgesenkte Barrierenhöhe während des Auffüllprozesses	[m]
h	Höhe der Netzbarriere	[m]
h'	gesetzte Barrierenhöhe zum Zeitpunkt t . Wenn die Barriere gefüllt ist entspricht $h' = h_b'$	[m]
h_b	ursprüngliche Verbauungshöhe vor Belastungszustand	[m]
h_b'	Restnutzhöhe, bzw. gesetzte Barrierenhöhe	[m]
h_d	Höhe Basisdurchlass der Netzbarriere	[m]
h_{fl}	Fliesshöhe	[m]
I_s	Gerinneneigung oberstrom	[–]
I_s'	Neigung des zurückgehaltenen Materials	[–]
k_s	Federsteifigkeit des Seils der Länge L	[N/m]
L	Seillänge	[m]
ΔL	elastische Dehnung des Seils	[m]
L_0	Distanz zwischen Anriss Hangmure und Netzbarriere	[m]
L_{min}	minimale Verbauungslänge Netzbarriere	[m]
L_r	Länge des Rückhalteriums entlang des Bachbetts	[m]
l	effektive Spannweite des betrachteten Seils	[m]
l_{r1}, l_{r2}	einzelne Rückhalteriumslängen horizontal beim FSI-Modell je Wellenstoss	[m]
l_r	Länge Rückhalterium horizontal im FSI-Modell	[m]
m	Masse des Einzelblocks	[kg]
m_0, m_1	Masse des diskretisierten Füllstosses	[kg]
n	Anzahl Seile	[–]
p_0, p_1	Anpralldruck FSI nach diskretisierter Stossnummer	[N/m ²]
p_{dyn}	hydrodynamischer Murdruck	[N/m ²]
p_f	Akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeit eines Netzbauwerkes in Abhängigkeit der Risikoklassifizierung	[–]
p_{stat}	hydrostatischer Murdruck	[N/m ²]
Q	Werte des Integrals der Seilgleichung nach [20]	[–]
Q_{max}	Abflussspitze bzw. maximaler Abfluss an der Front des Murgangs bzw. der Hangmure	[m ³ /s]
q	Gleichbelastung auf das Seil aus dem Murdruck	[kN/m]
R	Resultierende Lastfall Überströmen	[kN/m]
S	diskretisiertes Seilstück S	[m]
s	Steigung der Böschung	[–]

Formelzeichen	Erläuterung	
s_0	Ausgangslänge vom Seil mit Durchhang von $L/30$ und Eigengewicht berücksichtigt	[m]
t_f	diskretisierte Ist-Füllzeit beim FSI Modell	[s]
t_b	Bremszeit beim FSI Modell	[s]
t_x	diskretisierte Füllzeit für einen Wellenstoss des Volumens V	[s]
Δt	Temperaturgradient	[–]
V_R	Rückhaltevolumen der Netzbarriere	[m ³]
v	mittlere Frontgeschwindigkeit des Murgangs bzw. der Hangmure	[m/s]
v_f	Blockgeschwindigkeit im FSI-Modell	[m/s]
V_{Schub}	Volumen je Schub eines Murgangs	[m ³]
V_{Stoss}	Volumen des Wellenstosses FSI-Modell	[m ³]
V_{total}	Volumen Gesamt ereignis eines Murgangs bzw. einer Hangmure	[m ³]

13 Literatur und Bildquellen

- [1] AGN, 2004: Gefahreneinstufung Rutschungen i. w. S. Arbeitsgruppe für Naturgefahren AGN. Arbeitsbericht zu Händen des Bundesamts für Wasser und Geologie BWG, Bern. 44 S.
- [2] BAFU (Hrsg.), 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608. 98 S.
- [3] BAFU (Hrsg.), 2018a: Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Steinschlagschutznetzen und deren Foundation. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1805. 42 S.
- [4] BAFU (Hrsg.), 2018b: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817. 294 S.
- [5] BAFU (Hrsg.), 2019: Typenliste Ankermörtel. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1007. 5 S.
- [6] BBL (Hrsg.), 2017: Wegleitung zur Bauproduktegesetzgebung. Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern. 103 S. (Zugriff über <https://www.bbl.admin.ch/bbl/de/home/themen/fachbereich-bauprodukte/downloads.html>, Stand: 27.07.2020)
- [7] BFE (Hrsg.), 2015: Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen. Teil A: Allgemeines. Bundesamt für Energie BFE. Version 2.0, 01.03.2015. 23 S.
- [8] BRP; BWW; BUWAL, (Hrsg.), 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen 1997. Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 42 S.
- [9] BUGNION, L.; McARDELL, B. W.; BARTELT, P.; WENDELER, C., 2012: Measurements of hillslope debris flow impact pressure on obstacles. In: Landslides – Journal of the International Consortium on Landslides 9: 179–187.
- [10] BUWAL (Hrsg.), 2004: Wegleitung Grundwasserschutz. BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute Bundesamt für Umwelt BAFU), Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2508. 143 S.
- [11] DORREN, L.; SCHWARZ, M., 2016: Quantifying the Stabilizing Effect of Forests on Shallow Landslide-Prone Slopes. In: Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 255–270.
- [12] EAD 340020-00-0106, 2016: Flexible kits for retaining debris flows and shallow landslides/open hill debris flows. European Assessment Document EAD. European Organisation for Technical Assessment EOTA 2016. 25 S. (Zugriff über www.eota.eu, EAD-Nummer 340020-00-0106, Stand: 27.07.2020)
- [13] FEIGER, N., 2019: Analyse der Gebrauchstauglichkeit von Murgangnetzen nach 10 Jahren Praxiserfahrung. Masterarbeit, ETH Zürich. 30 S.
- [14] FRICK, E.; KIENHOLZ, H.; ROMANG, H., 2011: SEDEX (SEDiments and EXperts), Anwenderhandbuch. Geographica Bernensia P42. Geographisches Institut der Universität Bern, Bern. 128 S.
- [15] GEOBRUGG AG (Hrsg.), 2016: Systemhandbuch Murgangbarrieren VX/UX. Ausgabe 164-N-FO/05, Romanshorn.
- [16] GEOBRUGG AG (Hrsg.), 2020: Dimensioning Tool for Flexible Barriers against Shallow Landslides. (Zugriff über <https://www.geobrugg.com/en/Dimensioning-Tools-115308.html>, Stand: 27.07.2020)
- [17] GERTSCH, E., 2009: Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen – Ereignisanalysen und Entwicklung eines Abschätzverfahrens. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern, Bern. 203 S.
- [18] JCSS (Hrsg.), 2001: Probabilistic Model Code. Part I. Joint Comitee of Structural Safety JCSS. (Zugriff über https://www.jcss-lc.org/publications/jcsspmc/part_i.pdf Stand: 07.08.2020)
- [19] Kantone GR, BE, VS (Hrsg.), 2012: Handbuch zur Kontrolle und zum Unterhalt forstlicher Infrastruktur (KUfl-Handbuch). Amt für Wald und Naturgefahren Kanton Graubünden, Abteilung Naturgefahren des Amts für Wald des Kantons Bern und Dienststelle für Wald und Landschaft des Kantons Wallis. 82 S.
- [20] PALKOWSKI, S., 1990: Statik der Seilkonstruktionen. Theorie und Zahlenbeispiele. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 108 S.

- [21] RICKENMANN, D., 2014: Methoden zur quantitativen Beurteilung von Gerinneprozessen in Wildbächen. Birmensdorf. WSL Bericht 9: 105 S.
- [22] RICKENMANN, D., 2016: Methods for the Quantitative Assessment of Channel Processes in Torrents (Steep Streams). IAHR Monograph Series (ed. Peter A. Davies), London. <https://doi.org/10.1201/b21306>
- [23] ROMANG, H. (Hrsg.), 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen/PROTECT. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.
- [24] SÄTTELE, M.; BRÜNDL, M., 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS (Hrsg.), Bern. 61 S.
- [25] SIA 260, 2003: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizer Norm. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia.
- [26] SIA 261, 2003: Einwirkung auf Tragwerke. Schweizer Norm. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia.
- [27] SIA 261/1, 2020: Einwirkung auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen. Schweizer Norm. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia.
- [28] SIA 263, 2003: Stahlbau. Schweizer Norm. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia.
- [29] SIA 267, 2003: Geotechnik. SIA 267/1, 2013: Geotechnik/Ergänzende Festlegungen. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia.
- [30] SUDA, J.; RUDOLF-MIKLAU F. (Hrsg.), 2012: Bauen und Naturgefahren. Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz. Springer Verlag, Wien. 507 S.
- [31] VKF (Hrsg.), 2005: Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF, Bern. 105 S.
- [32] VOLKWEIN, A., 2004: Numerische Simulation von flexiblen Stinschlagschutzsystemen. Dissertation an der ETH Zürich. 134 S.
- [33] VOLKWEIN, A., 2014: Flexible Murgangbarrieren – Bemessung und Verwendung. WSL Bericht 8: 31 S.
- [34] VON BOETTICHER, A., 2012: Flexible Hangmurenbarrieren: Eine numerische Modellierung des Tragwerks, der Hangmure und der Fluid-Struktur-Interaktion. Dissertation an der Techn. Universität München, München. 186 S.
- [35] WENDELER, C., 2008: Murgangrückhalt in Wildbächen – Grundlagen zu Planung und Berechnung von flexiblen Barrieren. Dissertation an der ETH Zürich, Zürich. ETH Diss Nr. 17916. 277 S.
- [36] WENDELER, C., 2010: In wie weit können trotz der grossen Prozessunsicherheit bei einer Hangmure flexible Netze zu einer Rückstufung der Gefahrenkarte gemäss PROTECT führen? CAS Gebäudeschutz gegen Naturgefahren. Berner Fachhochschule BFH, Bern. 60 S.
- [37] WENDELER, C.; VOLKWEIN, A., 2015: Laboratory tests for the optimization of mesh size for flexible debris-flow barriers. In: Natural Hazards and Earth System Science 15: 2597–2604.

Bilder

Die verwendeten Bilder stammen von den nachfolgend aufgeführten Personen / Stellen.

- [A] Berger Catherine
- [B] Feiger Nadine
- [C] Hählen Nils
- [D] Toniolo Marco
- [E] Wendeler Corinna
- [F] Emch+Berger AG
- [G] Geobruigg AG
- [H] Pfeifer-Isofer AG
- [I] Teyssiere & Candolfi AG
- [J] Ausschnitt Landeskarte 1:25000 der swisstopo, reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100118)

Anhang A Bemessungsbeispiel

Berechnung massgebender Kräfte bei einem Schutznetz mit Stützen

1. Geometrie/Inputparameter

Das Bemessungsbeispiel zeigt ein 4 m hohes System mit Stützen, welches durch einen Murgang/Hangmurenaufprall mit einer Fließhöhe von 1 m und einer Fließgeschwindigkeit von 6 m/s und einer Dichte von 2200 kg/m³ belastet wird. Der Lastfall Überströmen ist nachzuweisen.

Die Geometrie der Verbauung ist in Abbildung 20 dargestellt.

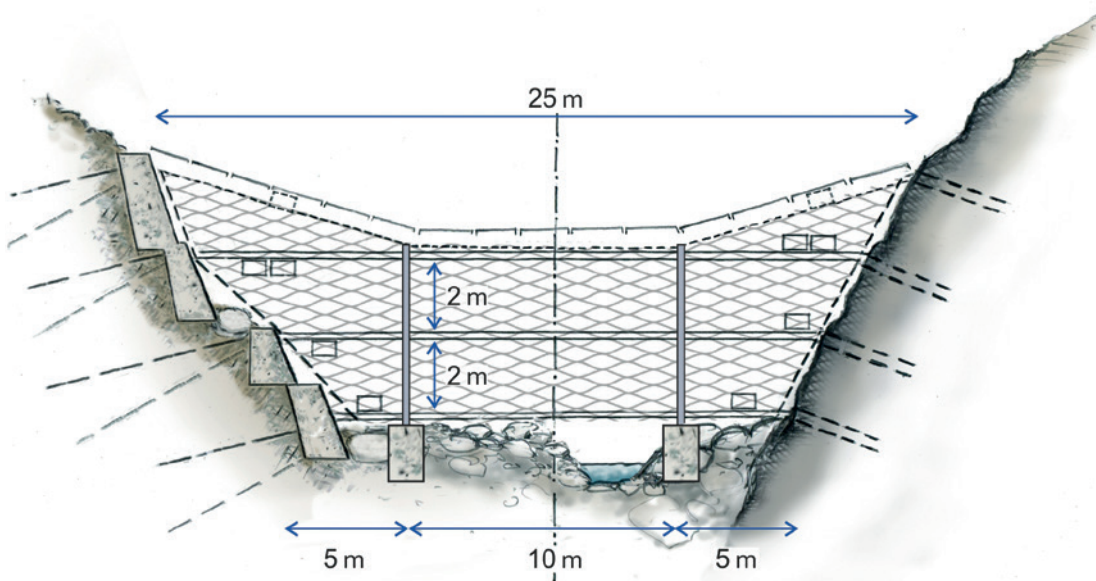


Abb. 20. Schematische Darstellung der Geometrie der Netzbarriere im Bemessungsbeispiel.

2. Massgebende Lastfälle

Es werden folgende Lastfälle untersucht, um den massgebenden Lastfall für das Tragsystem zu ermitteln.

Erstanprall (siehe Abb. 8, Kap. 7.2.1.1):

$$p_{dyn} = \alpha \rho v^2 = 2.0 \cdot 2'200 \cdot 6^2 = 158 \frac{kN}{m^2} \quad \text{mit } \alpha = 2.0 \text{ für granulare Murgänge}$$

$$p_{stat} = a h_{fl} \rho g = 1.0 \cdot 1 \cdot 2'200 \cdot 9.81 = 21.6 \frac{kN}{m^2} \quad \text{mit } a = 1.0$$

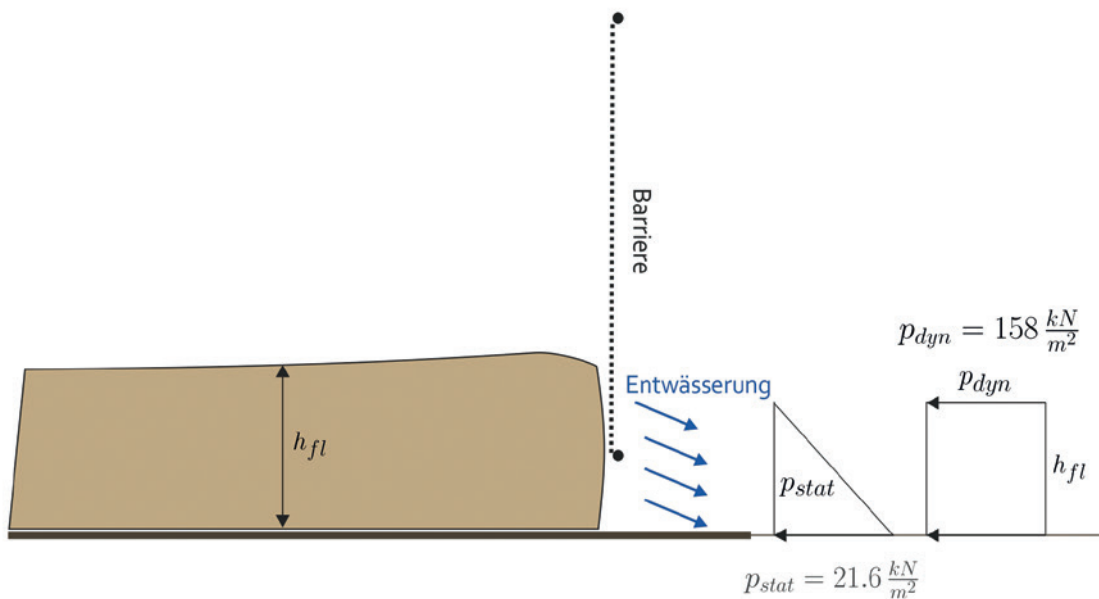


Abb. 21. Lastaufteilung beim dynamischen Erstanprall gemäss Lastannahmen.

Da die Fliesshöhe 1 m hoch ist und der Abstand zwischen den Tragseilen 2 m beträgt, trifft bei einem Basisdurchlass der Höhe $h_d = 0.0$ m der Erstanprall komplett auf das untere Seilbündel. Ist die Fliesstiefe grösser als $h_{fl} = 1.5 \cdot h_d$ so kommt es zu einer Verklauung der Barriere ([36], [37]). In diesem Fall ist $h_d = 0$.

Die Druckbelastung auf die unteren Tragseile resultiert dann zu:

$$p_{\text{Erstanprall}} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0.5 + 158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1 \text{ m} = 168.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{siehe Abb. 21})$$

Der weitere Auffüllvorgang wird nun Wellenstoss für Wellenstoss für eine Fliesshöhe von 1 m nach Abbildung 9 betrachtet.

Ist die Barriere gefüllt und wird sie vom nachfolgenden Murgangmaterial überflossen, ist der Lastfall Überströmen zu berechnen. Hier ergeben sich folgende Belastungen aus dem Lastmodell nach [35] mit der gesetzten Barriere $h_{b'} = 3/4 \cdot 4 \text{ m} = 3 \text{ m}$ und $h_{fl} = 1.0 \text{ m}$. Daraus resultiert eine Gesamthöhe für den hydrostatischen Drucknachweis von 4 m (3 m gesetzte Barrierenhöhe plus 1 m Fliesshöhe als Auflast) und der folgenden Berechnung:

$$p_{\text{stat}} = a(h_{b'} + h_{fl})\rho g = 1.0 \cdot 4.0 \cdot 2'200 \cdot 9.81 = 86.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{mit } a = 1.0$$

Bei einem Seilabstand von 2 m ergibt sich die Resultierende aus der Belastung Überströmen R auf die unteren Tragseile von $R = 75.5 \text{ kN/m}$ und wird somit nicht massgebend im Vergleich zum Erstanprall.

3. Bemessung der Tragseile

Ist in Bezug auf das Gefahrenpotential direkt unterhalb des Schutznetzes von einer hohen Personenaufenthaltswahrscheinlichkeit auszugehen, dann wird mit $\gamma_F = 1.5$ gerechnet. Bei niedriger Personenaufenthaltswahrscheinlichkeit kann ein kleinerer Sicherheitsfaktor verwendet werden.

Die unteren Tragseile verlaufen als Mehrfeldsystem, da sie an die Grundplatte geführt werden. Exemplarisch ist in Abbildung 22 die Seilbelastung nach Palkowski [20] für ein Mehrfeldsystem dargestellt.

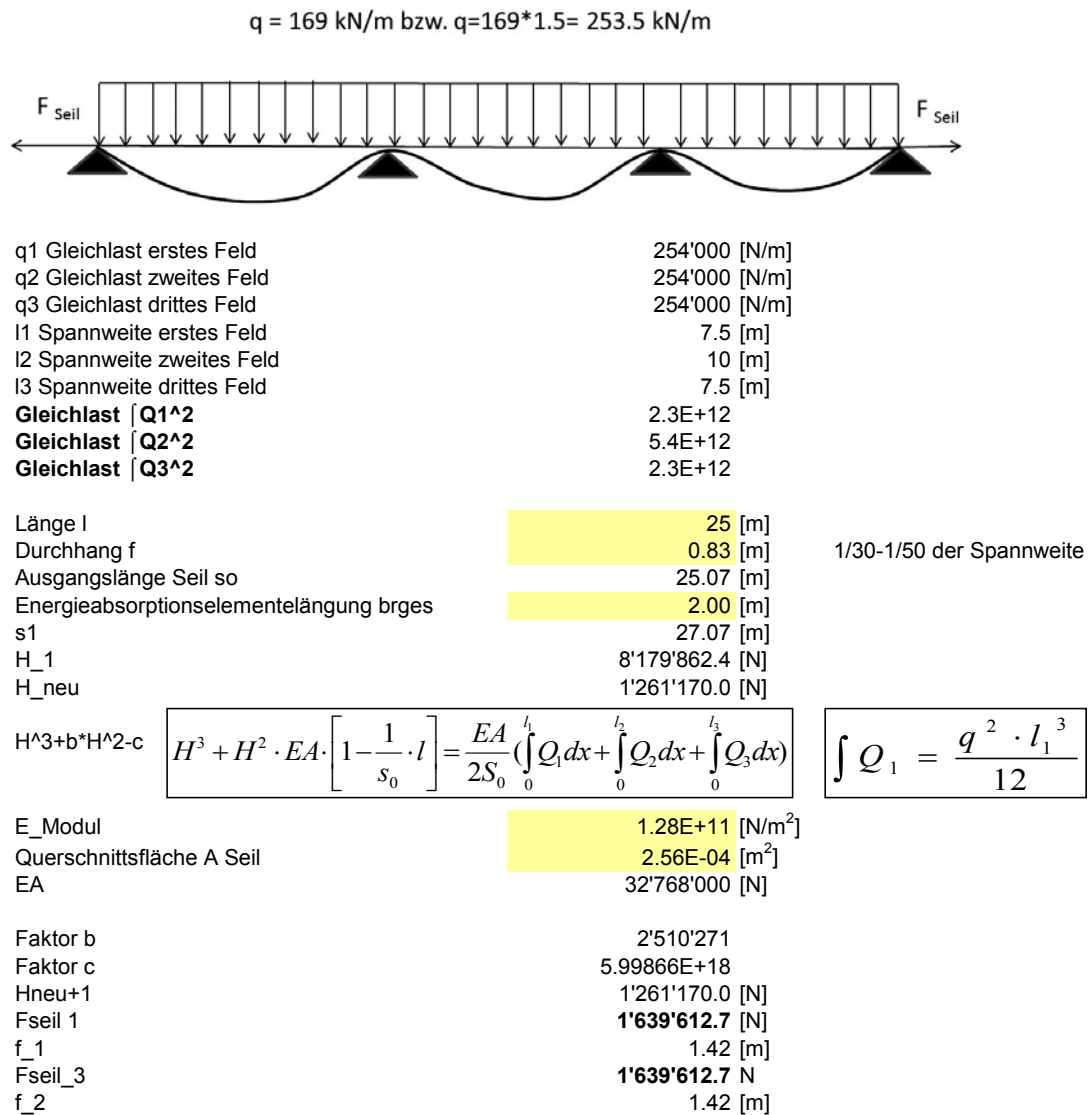


Abb. 22. Berechnung der unteren Seilkräfte nach [20] exemplarisch in Tabellenkalkulationsprogramm mit schematischer Seildarstellung.

Daraus ergeben sich die massgebenden Kräfte über die Newton-Iteration der Seilgleichung von 1300 kN Gesamtkraft bei einer Längung von 2 m der Energieabsorptionselemente. Geht man von einer Bruchkraft der verwendeten Seile mit Energieabsorptionselementen von 350 kN aus ergeben sich mit Sicherheitsbeiwerten folgende Seilanzahl n :

$$n = \frac{1'300 \text{ kN}}{350 \text{ kN}} = 3.7$$

Folglich werden 4 Seile mit einer Bruchlast von 350 kN erforderlich.

4. Bemessung der Rückhalteseile

Für die Belastung der Rückhalteseile ist der letzte Wellenstoss vor der Volfüllung für die Barriere massgebend (vgl. Abb. 23). Es wird hier bereits mit einer gesetzten Höhe $h_b' = 3/4 \cdot 4 \text{ m} = 3 \text{ m}$ gerechnet. Bei horizontal abgespannten Rückhalteseilen ergibt sich die horizontale Kraftkomponente näherungsweise bei einer mittleren Einzugsbreite von 8.5 m zu $F_{\text{Rück}} = 1548 \text{ kN}$. Diese muss nun vektoriell in die eigentliche Richtung der Rückhalteseile transformiert werden.

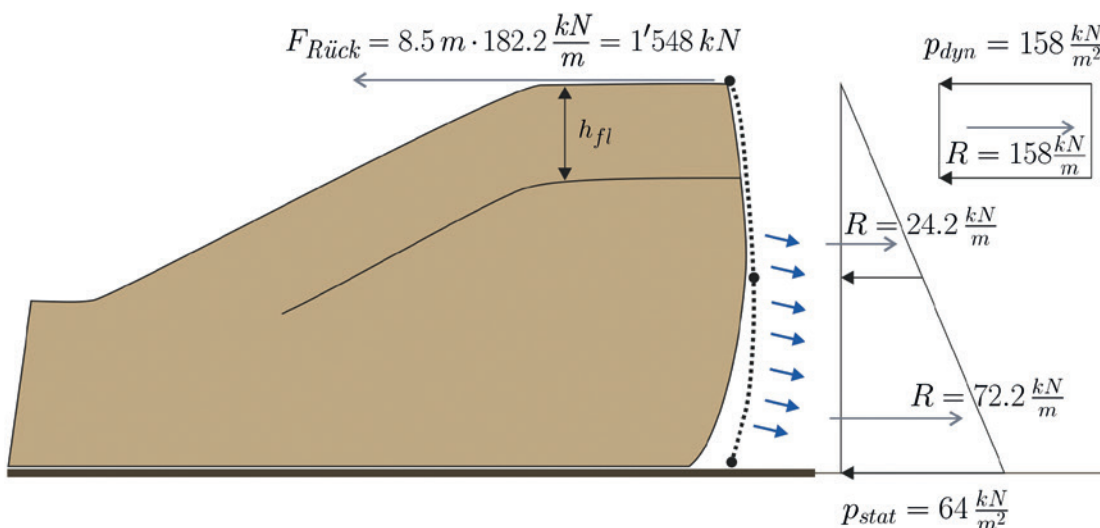


Abb. 23. Letzter Wellenstoss in das Schutznetz bevor das Überströmen beginnt. Massgebend für die Berechnung der Rückhalteseile.

5. Bemessung der Flügelseile

Für die Bemessung der Flügelseile wird das maximale Gewicht der Barriere näherungsweise abgeschätzt nach Abbildung 24 und dem ungefähren Eigengewicht des Bauches F_g bei einer Auslenkung von $f = 2.5 \text{ m}$ nach $F_g = 0.5 \cdot g \cdot f \cdot h_b' \cdot b_m \cdot \rho = 0.5 \cdot 9.81 \cdot 2.5 \cdot 3 \cdot 22.5 \cdot 2200 = 1820 \text{ kN}$. Das ergibt beim Flügelseil und oberen Tragseil eine vertikale Kraftkomponente $G = 1820 \text{ kN} / 25 \text{ m} = 72.8 \text{ kN/m}$. Bei einer Sicherheit von 1.5 ergeben sich 109 kN/m über eine Seillänge von 25 m. Daraus resultiert aus der Einfeldseilgleichung eine maximale Seilbelastung bei 2 m Energieabsorptionselementenlänge von 2043 kN. Daraus resultieren 6 Seile mit 22 mm Durchmesser. Da schon 4 Seile aus dem Erstanprall für jeden Wellenstoss resultieren, werden noch 2 Flügelseile daraus erforderlich.

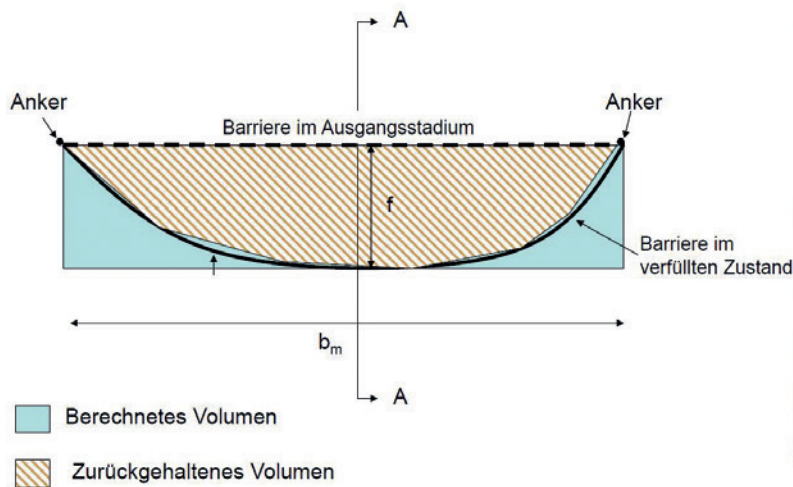
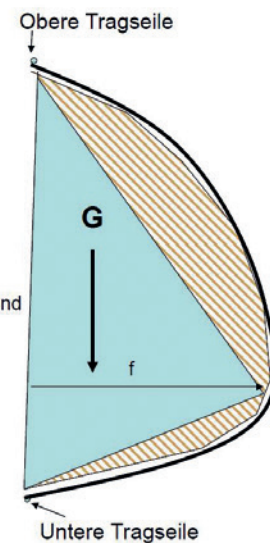
Draufsicht Barriere:**Schnitt A-A:**

Abb. 24. Netzauslenkung und Eigengewicht des Bauches. Abbildung nach [35].

Gleichlast Q^2	1.5E+13	
q Gleichlast Einfeldseil	109'000 [N/m]	
Horizontale Seillänge l	25 [m]	
Durchhang f	0.83 [m]	1/30-1/50 der Spannweite
Ursprüngliche Seillänge s ₀	25.07 [m]	
Energieabsorptionselementlänge br _{ges}	2.00 [m]	
s ₁	27.07 [m]	
H ₁	1'931'162.2 [N]	Formel 6.32 in Wendeler 2008, [34]
H _{neu}	1'523'443.9 [N]	Formel 6.34 in Wendeler 2008, [34]
H ³ +b·H ² -c	$H^3 + H^2 \cdot EA \cdot \left[1 - \frac{1}{s_0} \cdot l \right] = \frac{EA \cdot q^2 \cdot l^3}{24 \cdot s_0}$	Formel 6.30 in Wendeler 2008, [34]
E-Modul	1.28E+11 [N/m ²]	
Querschnittsfläche A	2.56E-04 [m ²]	
EA	32'768'000 [N]	
Faktor b	2510270.9	
Faktor c	9.36177E+18	
H _{neu} +1	1'523'443.9 [N]	Formel 6.33 in Wendeler 2008, [34]
F _{seil}	2'043'841.4 [N]	
f _{Deformation}	6.56 [m]	

Eingabefelder für Berechnung

Vorgehensweise gemäss Palkowski, 1990

Abb. 25. Iterierte Einfeldseilgleichung nach [20] exemplarisch in Tabellenkalkulationsprogramm für die Berechnung der Flügelseile.

6. Bemessung der Stützen

Für die Stützen muss die Vertikalkomponente der oberen und mittleren Tragseile (falls vorhanden bzw. falls sie an die Stütze geführt werden) als Druckkraft in die Stützen eingeleitet werden. Allenfalls ist auch die Komponente der Murgangflächenlast als kontinuierliche Schubkomponente gemäss Abbildung 28 miteinzubeziehen. Aus der Seilgleichung der Mehrfeldsysteme resultiert aus der kontinuierlichen Gewichtskraft des Netzbauches eine Belastungskomponente vertikal von $F_D = (109 \text{ kN/m} \cdot 10 \text{ m})/2 = 545 \text{ kN}$ Druckkraft an der Stütze. Es wird die Vertikalkomponente der mittleren Seile auf die Stütze nun vereinfacht vernachlässigt, da für diese Belastung die gesamte Gewichtskraft auf die oberen Seile gerechnet wurde. Zusätzlich muss eine kontinuierliche Belastung aus den **Einzugsflächen** der Stützen beim letzten Wellenstoss angesetzt werden. Daraus muss der **Biegedrillknicknachweis** nach SIA 263 [28] geführt werden.

7. Bemessung des Netzes

Für die Netzbemessung ist in diesem Beispiel der Lastfall «letzter Wellenstoss» massgebend, da dort der grösste Gesamtdruck auf das Bauwerk wirkt. Dieser ermittelt sich aus dem Druckbild aus Abbildung 28 über die mittlere Breite der Barriere. Das Verhalten der Netzfläche ist herstellerspezifisch und der detaillierte Nachweis wird hier daher nicht geführt.

8. Zusammenfassung der Bemessungsergebnisse

Tab. 8. Resultate Bemessungsbeispiel Murgangschutznetz.

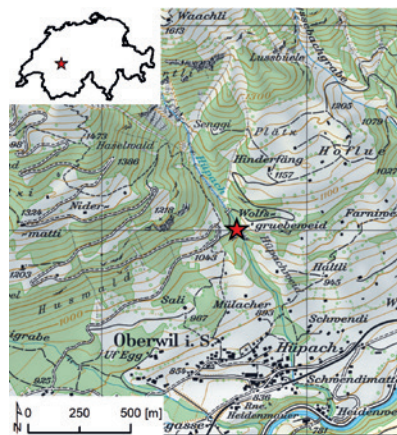
Zu bemessende Komponenten	Untere Tragseile	Mittlere Tragseile	Obere Tragseile	Flügelseile	Stützen
	4 Stück Seile 22 mm, mind. 350 kN Bruchlast	4 Stück Seile 22 mm, mind. 350 kN Bruchlast	4 Stück Seile 22 mm, mind. 350 kN Bruchlast	2 Stück Seile 22 mm, mind. 350 kN Bruchlast	2 Stück HEA 180 S235

Anhang B Kenndatenblätter zu Sonderbauwerken

Anhang B.1 Hängeseilnetz im Hüpach

Kurze Projektbeschreibung

Die Murgangssperre besteht aus einem grossflächigen Stahlnetz, welches an 10 schlaff übereinander angeordneten Stahlseilen ($d = 90 \text{ mm}$, Zugkraft 1000 t pro Seil) hängt. Die Tragseile sind über einen Trompetenanschluss, welcher eine zwangungsfreie Verankerung der Seile ermöglicht, im umlaufenden Betonriegel verankert. Die Traglast wird von den Stahlseilen in den Betonriegel und von diesem mit bis zu 15 m langen, voll verpressten Bodennägeln in den Untergrund abgetragen. Der flächige Murgang- und Schwemmhölzrückhalt erfolgt einzig über das flexible Rückhaltenetz. Somit resultieren aus dem dynamischen Lastabtrag kleinere Gesamt- und Ankerkräfte. Zudem konnte auf einen quer zum Bach verlaufenden Betonriegel verzichtet werden, wodurch grösstmögliche Durchlässigkeit über die gesamte nicht hinterfüllte Netzfläche gewährleistet ist.



Projektstandort (Quelle [J]).

Die Hochwasserentlastung im Überlastfall ist über die gesamte Netzbreite von 42 m möglich, wird jedoch aufgrund der Durchbiegung der schlaffen Seile in Netzmitte kanalisiert. Durch die aufgelöste Tragstruktur und den geringen Betonverbrauch konnte trotz abgelegenen Sperrenstandort ein sehr wirtschaftliches Bauwerk errichtet werden. Das grossformatige und trotzdem filigrane Bauwerk fügt sich gut in die Landschaft ein.



Sperre oberwasserseitig (Bild: [F]).



Sperre unterwasserseitig (Bild: [F]).

Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Murgang
Einwirkungen:	schlammiger bis granularer Murgang, dynamischer Druck bis 215 kN/m^2
Standort:	Oberwil im Simmental, Gewässer Hüpach
Abmessungen:	max. Einstauhöhe 14.5 m , Maximale Spannweite 42 m , Freibord 2 m , Basisdurchlass $3.5 \times 1 \text{ m}$
Rückhaltevolumen:	13000 m^3
Materialisierung:	Vollverschlossene Stahlseile mit Rückhaltenetzauflage sowie seitlich umlaufendem, bewehrtem Betonriegel, rückverankert mit Bodennägeln SAS 670/800
Geologie:	Malmkalk, teilweise Mergelschiefer des Doggers
Baukosten:	rund 2 Mio. CHF
Bauzeit:	1 Jahr
Berechnung:	Modellierung Murgang mit 2D-Simulationsprogramm RAMMS und Bauwerk mit FARO [32]
Bemerkung:	Zusätzlicher Rückhalt im Unterlauf mit Standardsystem Typ UX-180_H6 mit 3000 m^3 Rückhaltevolumen
Projektverfasser:	Emch+Berger AG Bern

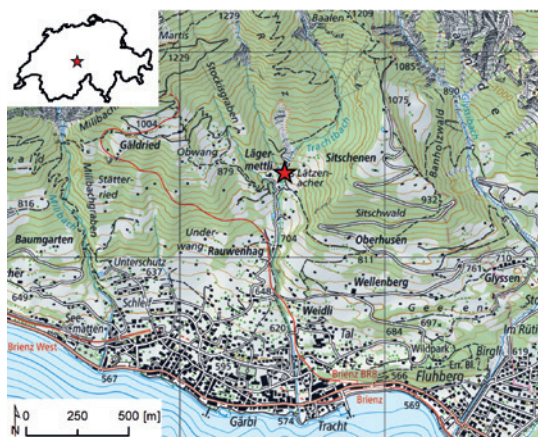
Anhang B.2 Mehrstufenverbau im Trachtbach

Kurze Projektbeschreibung

Nach den verheerenden Murgängen 2005 schützen im Trachtbach seit 2009 4 flexible Murgangbarrieren mit einem Rückhaltevolumen von 22000 m³ das Dorf Brienz. Die grosse Rutschung Ritzwald wird durch eine Betonsperre unterhalb gesichert.

Die 3 VX Barrieren in Serie sollen durch ein vollständiges Verfüllen den Materialrückhalt in der Schale erzwingen.

Zum Fliessverhalten und den Verklausungseigenschaften der Netzsperrern wurden an der WSL kleinskalierte Tests durchgeführt (Laborversuche Murgangrückhalt Trachtbach. WSL, Corinna Wendeler, Birmensdorf, 28.4.2007).



Projektstandort (Quelle [J]).



Sperre UX-180-H6 (Bild: [G]). Sperre VX-080-H4 (Bild: [G]).

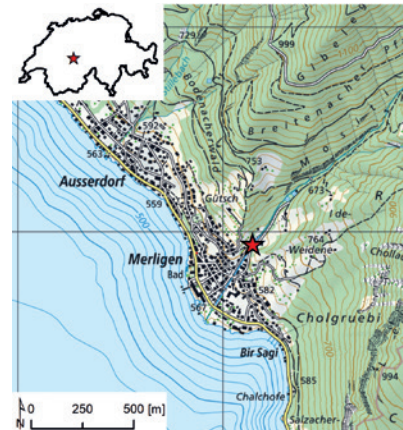
Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Murgang
Einwirkungen:	Granularer Murgang
Standort:	Brienz, Gewässer Trachtbach
Abmessungen:	UX-180-H6 mit 31 m Spannweite und 6 m Barrierenhöhe, VX140-H5 mit 15 m Spannweite und 5 m Barrierenhöhe
Rückhaltevolumen:	22000 m ³
Materialisierung:	Hochfeste Standardsysteme UX-180-H6 und VX140-H5 mit Ringnetzen
Geologie:	Kieselkalk und kalkig mergelige Schichten in schlechter Qualität (Kreide und Juraformationen)
Baukosten:	UX-180-H6 Barriere mit 31 m Spannweite etwa 0.8 Mio. CHF, Gesamtprojektkosten inkl. Betonsperre etwa 7 Mio. CHF
Bauzeit:	Bauzeit der Netzbarrieren etwa 4 Monate
Berechnung:	Simulation der Bauwerke mit FARO [32]
Projektverfasser:	NDR Consulting / Niederer + Pozzi Umwelt AG

Anhang B.3 Netzbauwerk mit Betonlängsscheiben im Grönbach

Kurze Projektbeschreibung

Die Murgangssperre besteht aus einem starren, bogenförmigen Betontragwerk, auf welchem die Rückhaltenetze über Stahlseile befestigt sind. Das Betontragwerk besteht aus 4 massiven Leitwänden, welche monolithisch mit 2 Querrippen verbunden sind. Die Leitwände ragen rund 7.5 m über die Gerinnesohle und weisen eine Breite von rund 1.0 m auf. Die Erosionssicherheit wird durch ein Tosbecken aus Blocksteinen in Hinterbeton gewährleistet, welches mit einem Querabschluss direkt an eine Bachschale anschliesst. Die Haupttraglast wird von den Stahlseilen über Beton-scheiben und Querrippe sowie über Zug- und Druckpfähle in Bachmitte in den Untergrund abgetragen. Der flächige Murgang- und Schwemmholtzrückhalt erfolgt über die 3 flexiblen Rückhaltenetze. Somit resultieren aus dem dynamischen Lastabtrag kleinere Gesamtkräfte.



Projektstandort (Quelle [J]).

Die Hochwasserentlastung erfolgt im Überlastfall über die gesamte Netzbreite von 23.9 m. Mit dem Einsatz eines segmentierten Hubtores wurde die Passierbarkeit des Grönbaches bei gleichzeitiger Gewährleistung des Murgangrückhalts im Ereignisfall sichergestellt. Das Hubtor ist im Normalfall geschlossen und kann nur mit Erlaubnis/Schlüssel geöffnet werden. Die filigrane und aufgelöste Bauwerksstruktur fügt sich verhältnismässig gut in die Landschaft ein.



Sperre oberwasserseitig (Bild: [F]).



Sperre unterwasserseitig (Bild: [F]).

Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Murgang
Einwirkungen:	schlammiger bis granularer Murgang, dynamischer Druck max. 100 kN/m ²
Standort:	Merligen, Gewässer Grönbach
Abmessungen:	max. Einstauhöhe 7.5 m, Überfallbreite 23.9 m, Freibord 2.5 m, Basisdurchlass 2 Felder à 7.47/7.37 x 1.0 m
Rückhaltevolumen:	12 000 m ³
Materialisierung:	Stahlbeton, Stahltragseile mit Rückhaltenetzaufgabe, vollvermörtelte Mikropfähle
Geologie:	Ton- und Mergelschiefer der Palfriesformation
Baukosten:	rund 2.2 Mio. CHF
Bauzeit:	rund 2 Jahre
Berechnung:	Modellierung Murgang mit 2D-Simulationsprogramm RAMMS und Bauwerk mit FARO [32]
Projektverfasser:	Emch+Berger AG Bern

Anhang B.4 Netzbauwerk mit Betonpfeilern im Innere Sitebach

Kurze Projektbeschreibung

Die Murgangssperre besteht aus sechs Betonpfeilern, welche jeweils auf einem Stahlbetonfundament eingespannt sind. Die fünf Rückhaltenetze sind mittels Stahlseilen zwischen die Pfeiler gespannt. Die Randfelder sind jeweils durch Flügelmauern in das angrenzende Terrain eingebunden, welche u.a. das Umströmen der Sperre verhindern. Die Haupttraglast wird von den Stahlseilen über die Pfeilerscheiben mit Ortbetonpfählen und Bodennägeln in den Untergrund abgetragen. Der flächige Murgang- und Schwemmholtzrückhalt erfolgt über die flexiblen Rückhaltenetze. Daraus resultieren aus dem dynamischen Lastabtrag kleinere Gesamtkräfte. Die Hochwasserentlastung erfolgt im Überlastfall über die 3 mittleren Netzfelder auf einer Breite von 22.2 m. Das Tosbecken wird durch eine pfahlgestützte Vorsperre aus Stahlbeton begrenzt.



Projektstandort (Quelle [J]).

Der Unterlauf ist durch ein Raubettgerinne mit anschliessender Sperrentreppe gegen Erosion gesichert. Infolge der aufgelösten, feldweisen Bauweise konnte an dieser Sperrstelle mit der Problematik eines oberflächlichen Kriechhangs und tiefliegendem Gleithorizont ein wirtschaftliches Bauwerk errichtet werden. Die filigrane und aufgelöste Bauwerksstruktur fügt sich verhältnismässig gut in die Landschaft ein.



Sperre oberwasserseitig (Bild: [F]).



Sperre unterwasserseitig (Bild: [F]).

Kenndaten

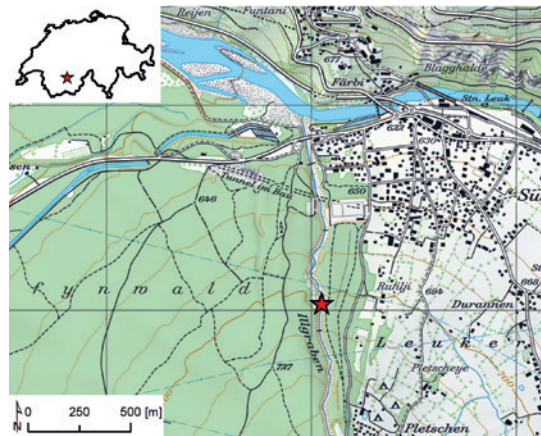
Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Murgang
Einwirkungen:	schlammiger bis granularer Murgang, dynamischer Druck max. 190 kN/m ²
Standort:	Lenk im Simmental, Gewässer Innere Sitebach
Abmessungen:	max. Einstauhöhe 13 m, Überfallbreite 22.2 m, Freibord 2 m, Basisdurchlass 6.4 x 0.5 m
Rückhaltevolumen:	40 000 m ³
Materialisierung:	Stahlbeton, Tragseile mit Rückhaltenetzaufgabe, Ortbetonpfähle sowie rückverankert mit vollvermörtelten Bodennägeln Typ SAS 670/800
Geologie:	Aalenienschiefer
Baukosten:	rund 3.5 Mio. CHF
Bauzeit:	rund 2 Jahre
Berechnung:	Modellierung Murgang mit 2D-Simulationsprogramm RAMMS und Bauwerk mit FARO [32]
Projektverfasser:	Emch+Berger AG Bern

Anhang B.5 Ergänzungsbauwerk mit aufgesetztem Netz im Illgraben

Kurze Projektbeschreibung

Nach unzähligen Murgängen im Illgraben war die Sperre 25 in Fliessrichtung rechts komplett erodiert und die Betonflügel wurden umflossen.

Zur nachhaltigen Sicherung des Gerinneverlaufes über die alte Betonschwelle wurde im Jahr 2007 in einem ersten Bauabschnitt die untere Netzsperre installiert (Bild links). Nach der Verfüllung der unteren Netzsperre durch einen Murgang wurde im Folgejahr der rechte Mauerflügel saniert und eine zweite, erhöhte und leicht bergseits versetzte Netzsperre installiert (Bild rechts).



Projektstandort (Quelle [J]).



Sanierungsabschnitt 1 mit VX-Barriere gefüllt (Bild: [G]).



Zweite Sanierung des Mauerflügels und Installation einer weiteren VX Barriere, welche am Rand teilweise verfüllt wurde. (Bild: [A]).

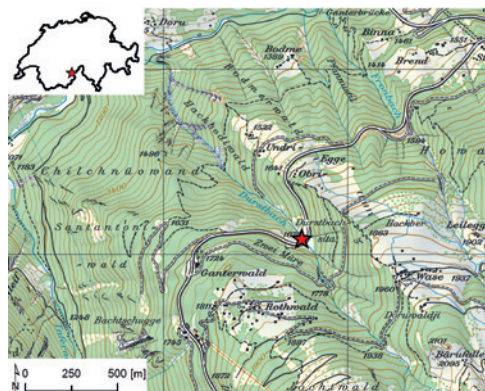
Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Murgang
Einwirkungen:	granularer/schlammiger Murgang
Standort:	Leuk, Gewässer Illgraben (bei Sperre 25)
Abmessungen:	15 m Spannweite und 4 m Netzhöhe
Rückhaltevolumen:	Etwa 4000 m ³ unter Berücksichtigung beider Netzbarrieren
Materialisierung:	2 VX-Barrieren adaptiert an die Geländeeigenschaften
Geologie:	Triasischer Dolomit/Kalkige Ablagerungen und Quarzite führen zu starken Erosionserscheinungen
Baukosten:	Beide VX-Netzbarrieren inklusive Bauarbeiten/Betonarbeiten beliefen sich auf 200 000 CHF
Bauzeit:	Bauzeit je Netzbarriere etwa 1 Monat
Berechnung:	Berechnung anhand von Erfahrungswerten einer Testsperre im Unterlauf
Projektverfasser:	Geobru gg AG/ WSL

Anhang B.6 Erosionsschutz und Filterbauwerk im Durschtbach

Kurze Projektbeschreibung

Vorverfüllte UX-180-H6 Barriere als Erosions- und Kolkschutz des Brückenbauwerks der Simplonstrasse. Der gewünschte Filtereffekt durch die Sperre zeigt sich ausgeprägt auf beiden Bildern unten, da der Abfluss innerhalb des unbefestigten Blockwurfs hindurchfliesst und nicht über die Überfallsektion der Netzbarriere strömt. So kann dauerhaft die Brücke der Simplon Passstrasse gegen Auskolkungen geschützt werden.



Projektstandort (Quelle [J]).



Sperre UX-180-H6 vorverfüllt in Blickrichtung Bach aufwärts (Bild: [G]).



Sperre mit grossen Blöcken vorverfüllt, Blick von oben (Bild: [I]).

Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Lawinen/Murgang
Einwirkungen:	Überströmen von Murgängen, Lawinen und normalem Abfluss
Standort:	Simplon, Gewässer Durschtbach
Abmessungen:	UX-180-H6 mit 33 m Spannweite und 4.5 m Höhe nach Vorverfüllung
Rückhaltevolumen:	22000 m ³
Materialisierung:	Hochfeste Ringnetzbarriere mit 4 Stützenprofilen zum Erhalt der Restnutzhöhe angelehnt an das CE-gekennzeichnete Standardprodukt
Geologie:	Moräne/Hangschutt
Baukosten:	rund 1 Mio. CHF inklusive aller Installationsarbeiten/Tiefbauarbeiten
Bauzeit:	Bauzeit der gesamten Netzbarriere etwa 6 Monate
Berechnung:	Die Sperre wurde analytisch auf Überströmen von Lawinen und Murgängen bemessen.
Projektverfasser:	Teyssiere & Candolfi AG / ASTRA

Anhang B.7 Kombinierte Beanspruchung Baltisberg/Härzigwald

Kurze Projektbeschreibung

Im Rahmen des SBB-Projekts «Infrastrukturmassnahmen Zugersee Ost» soll auf der Strecke Zug-Goldau das Bahntrasse vor Steinschlag mit einer Energie von bis zu 2000 kJ geschützt werden. Die Verbauung muss zusätzlich auch dynamische Hangmuren-Einwirkungen von bis zu 60 kN/m² aufnehmen können.

Aufgrund der Komplexität der Dynamik bei einem Steinschlagereignis wird eine Barriere gewählt, die hierfür zertifiziert ist. Für die zu erwartenden Hangmuren werden kleinere konstruktive Systemanpassungen vorgenommen. Diese dürfen die Performance im Lastfall Steinschlag nicht negativ beeinflussen.

Vorgehen zum Nachweis der Barriere: Grundlage ist das Steinschlagschutzsystem «Isostop 2000Ev», welches gemäss [3] für den CH-Markt zugelassen ist; Simulation des zertifizierten Schutzsystems, Vergleich mit den Messdaten aus dem Zertifikat; Konstruktive Modifizierung zur Erfüllung der geometrischen Randbedingungen gemäss Leistungsverzeichnis UND zur Schaffung der Tauglichkeit als Hangmurenbarriere analog zur Hangmurenbarriere «Debris Stop 150-HM», welche gemäss [12] getestet und zertifiziert ist; Simulationen und Nachweise für die Lastfälle 2000kJ-Steinschlag und 60kN/m²-Hangmure; Prüfung und Freigabe der Barriere durch das Bundesamt für Umwelt



Projektstandort (Quelle [J]).



Blick auf die Verbauung von unten (Bild: [H]).



Blick in den Rückhalteraum (Bild: [H]).

Kenndaten

Gewässertyp:	Hanglage mit Geländeneigungen von bis zu 40°
Prozessart:	Steinschlag oder Hangmure
Einwirkungen:	Dynamischer Hangmurendruck 60 kN/m ² , Fliesshöhe 1 m und Steinschlag 2000kJ
Standort:	Baltisberg & Härzigwald, Arth SZ
Abmessungen:	6 Werke mit Werklängen zwischen 62 und 168 m (Tragseiltrennung mind. alle 6 Felder)
Rückhaltevolumen:	max. Einstauhöhe 4 m
Materialisierung:	Modifiziertes Standardsteinschlagschutzsystem ISOSTOP 2000Ev, Reduktion Stützenabstand, Verdoppelung Anzahl Rückhalteseile, Erhöhung Stützen- und Tragseilquerschnitte
Geologie:	Nagelfluh der subalpinen Molasse mit Block- bzw. Hangschuttbedeckung
Baukosten:	Rund 3 Mio. CHF
Bauzeit:	6 Monate
Berechnung:	Modellierung Bauwerk mit FARO [32]
Bemerkung:	Prüfung des Barrierendesigns durch WSL im Auftrag des BAFU
Projektverfasser:	Emch+Berger AG

Anhang B.8 Schwemmholtznetz in der Chiene

Kurze Projektbeschreibung

Nach den verheerenden Überflutungen vom August 2005 wurde der Unterlauf der Chiene vor der Einmündung in die Kander auf rund 1 km Länge komplett umgestaltet. Die Gerinnekapazität wurde mehr als verdoppelt und ein Geschieberückhalteraum sowie ein Überlastkorridor wurden eingerichtet. Zudem musste ein grosser Schwemmholtzrückhalt vorgesehen werden. Mittels Modellversuchen an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil konnte die Detailgestaltung des Schwemmholtz- und Geschieberückhaltes optimiert werden. Es zeigte sich, dass der Holzrechen eine genügende Distanz zum Auslaufbauwerk aufweisen und zwingend über die gesamte Breite des Rückhalterumes reichen muss. So wird verhindert, dass Teile des Abschlussdammes mit Holz überstapelt und schliesslich überflutet werden.



Projektstandort (Quelle [J]).

Der Holzrechen ist in seinem Aufbau der jeweiligen Funktion angepasst: auf der linken Seite reicht er als geschlossenes, undurchlässiges Bauwerk (Beton/Dammbalken bei der Durchfahrt) über den Abschlussdamm hinweg bis in die Bergflanke hinein. Im anschliessenden Bereich hinter dem Damm ist der Rechen mit einem wasserdurchlässigen Ringnetz ausgerüstet und nur im direkten Zufluss zum Auslaufbauwerk ist der Holzrechen geschiebedurchlässig ausgebildet. Dieser eigentliche Holzrechenteil ist auf dem anstehenden Fels fundiert und besteht aus 11 mit unterwasserseitigen Betonscheiben abgestützten Betonsäulen von 1.0 m Durchmesser und beinahe 10 m Höhe. Die 4 horizontalen Seile sind in offenen Halterungen (zum einfacheren späteren Ersatz) an den Säulen fixiert.



Sperre oberwasserseitig (Bild: [F]).



Sperre unterwasserseitig (Bild: [F]).

Kenndaten

Gewässertyp:	Wildbach
Prozessart:	Hochwasser mit Schwemmholtz und Geschiebe
Einwirkungen:	dynamischer Wasserdruck, verstärkt um 2 m Schwemmholtzauflandung
Standort:	Kien in Reichenbach im Kandertal, Gewässer Chiene
Abmessungen:	max. Einstauhöhe 7 m, max. Spannweite 90 m, Freibord 2 m Durchlass Auslaufbauwerk 2 x 5.00 x 0.75 m
Rückhaltevolumen:	60 000 m ³ Geschiebe/3000 m ³ Schwemmholtz
Materialisierung:	Betonbauwerke mit Ringnetz und Abspannseilen
Geologie:	Alpenkalk (Sohle und rechtes Ufer)
Baukosten:	rund 1.1 Mio. CHF Schwemmholtzrechen, rund 16 Mio. CHF/Gesamtbauwerk
Bauzeit:	1/2 Jahr Schwemmholtzrechen, 4 Jahre Gesamtbauwerk
Berechnung:	HSR Hochschule für Technik Rapperswil im Modellversuch
Projektverfasser:	Emch+Berger AG Bern

Anhang C Checklisten Schutzbautenkontrolle

Quelle: [14]

Anhang C.1 Checklisten reguläre Inspektion

Datum _____

Sperrennummer/Gewerksbezeichnung _____

BearbeiterIn _____

Überprüfungskriterien	JA	NEIN	Bemerkungen
Sind noch alle Schäkel am Netz vorhanden?			
Wurden Energieabsorptionselemente aktiviert?			Deformation der Energieabsorptionselemente: Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung.....
Sind die Ursachen einer Längung der Energieabsorptionselemente bekannt?			Ursache:
Ist Korrosion sichtbar?			Ort der beobachteten Korrosion:
Ist eine visuelle Überprüfung der Verankerungen, sowohl bei den Rückhalteseilen, Tragseilen und auch den Stützfundamente erfolgt?			
Ist eine Überprüfung aller Drahtseilklemmen mittels Drehmomentschlüssel erfolgt? (nach einer Standzeit von 6 Monaten sollten alle Drahtseilklemmen nochmals nachgezogen werden).			

Zusätzlich nur bei Murgangschutznetzen

Überprüfungskriterien	JA	NEIN	Bemerkungen
Liegen grössere Verklausungen vor?			
Sind Verklausungen zu beseitigen bzw. ist das Schutznetz auszuräumen?			
Hat sich der Basisdurchlass im Vergleich zur letzten Inspektion verändert?			Gemessener Basisdurchlass:
Ist sichergestellt, dass keine Energieabsorptionselemente in den Basisdurchlass hineinragen?			

Zusätzlich nur bei Hangmurenschutznetzen

Überprüfungskriterien	JA	NEIN	Bemerkungen
Ist das Schutznetz auszuräumen?			
Ist die Rückhalteschürze intakt?			
Ist das Sekundärgeflecht noch ziehharmonikaförmig gefaltet?			

Anhang C.2 Checkliste Ereignisfall

Datum Ereignis _____ Datum Begehung _____

Sperrnummer/Gewerksbezeichnung _____

BearbeiterIn _____

Überprüfungskriterien	JA	NEIN	Bemerkungen
Wurden Energieabsorptionselemente aktiviert?			Umfang der Deformation der Energieabsorptionselemente: Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung..... Nr..... Längung.....
Müssen Energieabsorptionselemente ersetzt werden? Wenn ja, welche?			
Wurde das System ganz gefüllt bzw. wurde es überströmt?			
Wurden Tragseile oder Rückhalteseile beschädigt? Die Kontrolle der Rückhalteseile ist oft erst nach einer Entleerung möglich.			
Wurde das Netz plastisch verformt?			
Wurden Stützen, Grundplatten, Verbindungselemente (Bolzen usw.) beschädigt?			
Sind Schäden an Stabankern der Grundplatte oder am Betonfundament erkennbar?			
Sind Schäden an den Ankern der Trag- oder Rückhalteseile vorhanden? Sind die Ankerköpfe noch intakt?			
Wie viele Kubikmeter müssen ungefähr ausgeräumt werden?	m ³		
Sind lokale Erosionsspuren am Bauwerk sichtbar?			
Nur bei Murgangschutznetzen, Abrasionsschutzbleche: Sind diese verbogen bzw. wurden Langlöcher oder Schäkel zerstört?			