

UMGANG MIT LAWINENVERBAUUNGEN AUS STEINMAUERN UND MAUER TERRASSEN

PRAXISANLEITUNG FÜR OPTIMALE ERHALTUNGSSTRATEGIEN

Stefan Margreth¹ und Reto Baumann²

ZUSAMMENFASSUNG

Alte Lawinenverbauungen bestehen oft aus Steinmauern und Mauerterrassen. Auf Grund ihres Alters ist ihr Zustand heute vielerorts schlecht. Weil ihre Wirkung gegen das Anbrechen von Lawinen meist nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht, stellt sich die Frage, ob sie noch in Stand gesetzt werden sollen, oder ob ein Rückbau und Ersatz mit modernen Stützwerken besser ist. Um die Praxis bei der Evaluation der im konkreten Einzelfall zu wählenden Erhaltungsstrategie und durchzuführenden Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen zu unterstützen, wurde ein Leitfaden ausgearbeitet, der hier vorgestellt wird. Das Verfahren ermöglicht die Bewertung von möglichen Erhaltungsstrategien basierend auf einer Wirkungsanalyse, der Untersuchung möglicher Massnahmenvarianten und der Beurteilung der Risikoreduktion, der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit.

Keywords: Lawinenverbau, Steinmauer, Mauerterrasse, Instandsetzung

ABSTRACT

Old avalanche control structures often consist of stone walls and masonry terraces. Due to their long service life, the walls and terraces are in many locations in poor condition. Because their effect in preventing avalanche release no longer meets the current technical requirements, the question arises as to whether such structures should be repaired or whether it would be better to dismantle them and replace them with modern snow supporting structures. In order to support the practice with the selection of the best maintenance strategy and measures in a release area with existing stone walls and earth terraces, a manual was prepared, which is introduced here. The manual allows the evaluation of possible maintenance strategies based on an analysis of the effectiveness, the investigation of possible structural measures and an evaluation of the risk reduction, the economy and the sustainability.

Keywords: avalanche control, stone wall, masonry terrace, maintenance

EINLEITUNG

In der Schweiz gibt es in Lawinenanrissgebieten gegen 1000 Kilometer Steinmauern und Mauerterrassen (Frutiger 1972). Sie wurden mehrheitlich im Zeitraum zwischen 1890 und 1940 gebaut. Diese Schutzwerke waren damals «state of the art» (Hess 1936). Lawinenverbauungen bestehend aus Steinmauern und Mauerterrassen wurden in vielen Gebieten der Schweiz erstellt. Ab 1940 wurden sie durch gegliederte Stützwerke in der Form von Stahlschneebrücken oder Schneenetzen abgelöst (Rudolf-Miklau und Sauer Moser (Ed.) 2011). Gegliederte Stützwerke wurden oft auch in Verbauungen mit Mauern integriert, um deren Wirkung zu erhöhen. Wegen der langen Nutzungsdauer ist der Zustand der Mauern heute vielerorts schlecht. Es besteht ein grosser Erhaltungsbedarf. Zurzeit gibt es jedoch keine einheitliche Strategie, ob resp. wie solche

¹ Stefan Margreth, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, CH-7260 Davos, Schweiz (e-mail: margreth@slf.ch)

² Reto Baumann, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abt. Gefahrenprävention, CH-3003 Bern, Schweiz

Verbauungen unterhalten werden sollen. Die Sanierung von Mauern ist sehr kostspielig. Ihre Wirkung insbesondere für den Siedlungsschutz entspricht meist nicht mehr den heutigen Anforderungen der «Technischen Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet» (Margreth 2007). Zusätzlich können einstürzende Mauern wieder selber eine Gefahrenquelle darstellen. Der Unterhalt von Steinmauern ist meist nicht nachhaltig. Um die Praxis in diesem Thema zu unterstützen, wurde die Anleitung «Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrasse» (Margreth und Blum 2011) herausgegeben.

STÜTZVERBAUUNGEN MIT STEINMAUERN UND MAUER TERRASSEN

Steinmauern und Mauerterrassen sind sogenannte massive Bauwerke, das heisst Bauwerke ohne durchbrochene Flächen. Meist wurde das an Ort und Stelle vorhandene Material wie Steine und Erde für den Bau verwendet. Die maximalen Mauerhöhen betragen bis 9 m. Bei Steinmauern handelt es sich um sogenannte Schwergewichtsmauern. Die Einwirkungen infolge von Schneedruck, Lawinenaufprall, Wasserdruck oder Erddruck und das Eigengewicht der Mauer stehen im Gleichgewicht mit der Reaktionskraft am Fundament resp. dem Tragwiderstand des Mauerwerkes. Die Stabilität ist insbesondere von der Dicke der Mauer und der Fundamentbreite abhängig (SIA 1996). Es werden die folgenden Werktypen unterschieden (Fig. 1):

- Freistehende Steinmauer: die doppelhäuptige Mauer ist im Gelände freistehend. Die Vorderseite weist typischerweise einen Anzug von 1:5 auf, die Rückseite wird senkrecht ausgebildet. Die Kronenstärke beträgt ca. 0.6–0.8 m.
- Hinterfüllte Steinmauer: die Mauer weist bergseitig eine schräge Anschüttung auf, um das Mauerwerk vor Verwitterung, Steinschlag und Lawinenaufprall zu schützen.
- Mauerterrasse: die Mauer weist bergseitig eine horizontale Anschüttung auf. Seit ca. 1910 wurden mehrheitlich Terrassen gebaut, da sie auch billiger waren.

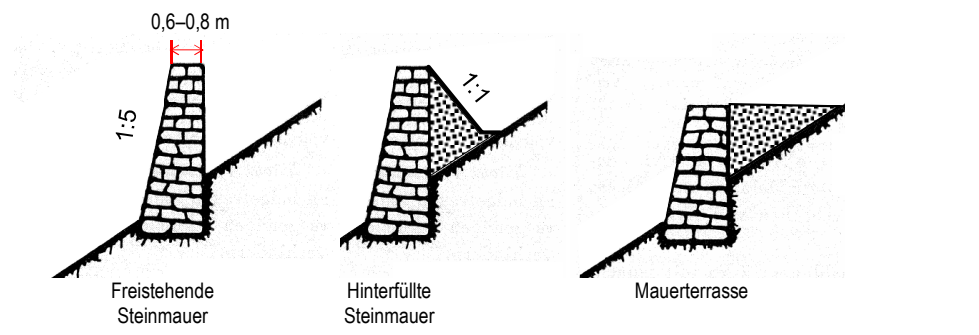


Fig. 1 Definition der verschiedenen Mauertypen

Fig. 1 Definition of different wall types

Steinmauern und Mauerterrassen zeigen als Lawinenschutz erfahrungsgemäss eine ungenügende Wirkung, weil insbesondere die Werkhöhe für extreme Lawinensituationen zu klein ist. Massive Werke sind zusätzlich infolge von Tribschneeansammlungen bedeutend schneller hinterfüllt als gegliederte Stützwerke, was die Bildung von Oberlawinen begünstigt. Das Rückhaltevermögen ist im Vergleich zu gegliederten Stützwerken kleiner (Roch und Sommerhalder 1960). Wegen ihrer ungenügenden Wirkung wurden Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen nachträglich oft mit Stützwerken zwischen respektive auf den Mauern oder Schneehägen ergänzt (Fig. 2). Mauern wurden mehrheitlich als aufgelöste Verbauung erstellt. Eine solche Anordnung entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen, die an eine Stützverbauung gestellt werden. Die Werkabstände in der Falllinie wurden in Funktion der Terrassenbreite resp. der Hangneigung bestimmt, die Schneehöhe wurde nicht berücksichtigt. Die Werkabstände von Mauern in der Falllinie sind im Vergleich zur «Technischen Richtlinie» (Margreth 2007) oft zu gross.

Schon früh wurde erkannt, dass das Fundament sowie das fachgerechte Ableiten des Hangwassers einen grossen Einfluss auf die Stabilität einer Mauer haben. Bei günstigen Standorten und Umweltbedingungen können sich Mauern auch nach einer Nutzungsdauer von 100 Jahren in einem guten Zustand befinden. Häufig befinden sich die Bauwerke jedoch am Ende ihrer Nutzungsdauer:

Steine sind gebrochen, sowie Auflockerungen und Deformationen treten auf. Ohne Unterhalt können Steinmauern oder Mauerterrassen zerfallen und Steinschlag auslösen. In der Vergangenheit wurden in vielen Verbauungen Mauern nach unterschiedlichen Methoden saniert (Stiftung Umwelteinsatz Schweiz 1996), vereinzelt auch rückgebaut. Meistens wurden nur einzelne, sanierungsbedürftige Mauern wieder in Stand gestellt. Erhaltungsstrategien für gesamte Verbauungen wurden nur selten erstellt. Der Unterhalts- und Instandsetzungsbedarf wird in den nächsten Jahren ansteigen, da viele Mauern ihre Nutzungsdauer erreichen.

METHODIK FÜR DIE EVALUATION VON ERHALTUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHEN BAULICHEN MASSNAHMEN AN MAUERN

Die «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) enthält ein Beurteilungsschema (Fig. 3) mit dem mögliche Erhaltungsstrategien und Unterhaltsmassnahmen bei Anrissverbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen bestimmt werden können. Das strukturierte Vorgehen, das mehrheitlich auf bisherigen Erfahrungen aufbaut, ermöglicht eine schrittweise Analyse und eine umfassende Massnahmenevaluation. Wichtige Grössen in der Beurteilung sind die Standortbedingungen, die Verbauungsart, die erwartete Wirksamkeit, sowie mögliche negative Wirkungen, die von den Mauern ausgehen können. Zum Schluss wird unter Berücksichtigung der erwarteten Wirksamkeit resp. Risikoreduktion, Kostenbetrachtungen, sowie natur- und landschaftsschützerischen Aspekten die zweckmässigste Erhaltungsstrategie resp. Massnahme festgelegt. Im Folgenden werden die verschiedenen Schritte aufgezeigt.

SCHRITT 1: VORARBEITEN

Zuerst verschafft man sich einen Überblick über die Verbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen und die Lawinensituation. Die erforderlichen Grundlagen über die Verbauung umfassen Faktoren wie Werktyp, Werkhöhe, Baujahr, Position der Werke und Bewährung der Verbauung. Bei der Lawinen- und Schneesituation sind u.a. die Topographie, das Klima und die Geologie zu betrachten. Der Verbauungstyp (Fig. 2) ist für die spätere Herleitung von möglichen bautechnischen Massnahmen von Bedeutung. Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen wurden später oftmals mit Stützwerken oder Schneehägen ergänzt, teilweise sind sie in der Zwischenzeit im Wald eingewachsen. Ist eine Zuordnung zu einem Verbauungstyp nicht möglich (z.B. Lawinenablenkmauer), ist eine Beurteilung mit dem Schema nicht möglich.

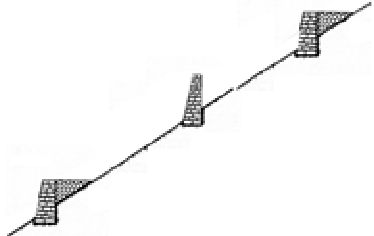
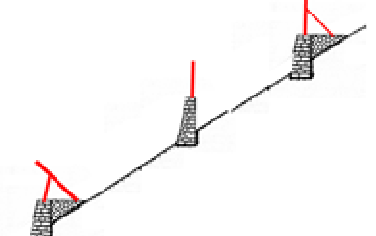
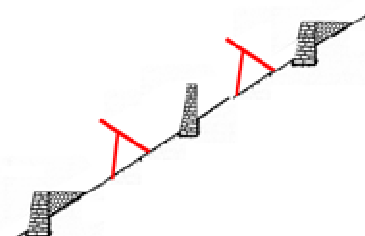
Typ 1: Steinmauern und Mauerterrassen <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung nur durch Mauern evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet. • Anordnung und Werkhöhe meist nicht richtlinienkonform, Wirkung gegen Lawinenanbrüche oft ungenügend. • Gewisse Schutzwirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten. 	Typ 2: Steinmauern und Mauerterrassen kombiniert mit Stützwerken <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung durch Stützwerke und Mauern evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet. • Werkhöhe oft genügend. • Stützwerke und Mauern bilden ein zusammengesetztes System: Schäden an Mauern gefährden Wirkung Verbauung. 	Typ 3: Steinmauern und Mauerterrassen ergänzt mit Stützwerken <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung insbesondere durch Stützwerke evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet • Stützwerke meistens richtlinienkonform errichtet
		

Fig. 2 Verbautypen und Merkmale. Die Verbautypen können auch mit Wald kombiniert sein.

Fig. 2 Structure type and characteristics. The different types can be combined with forest.

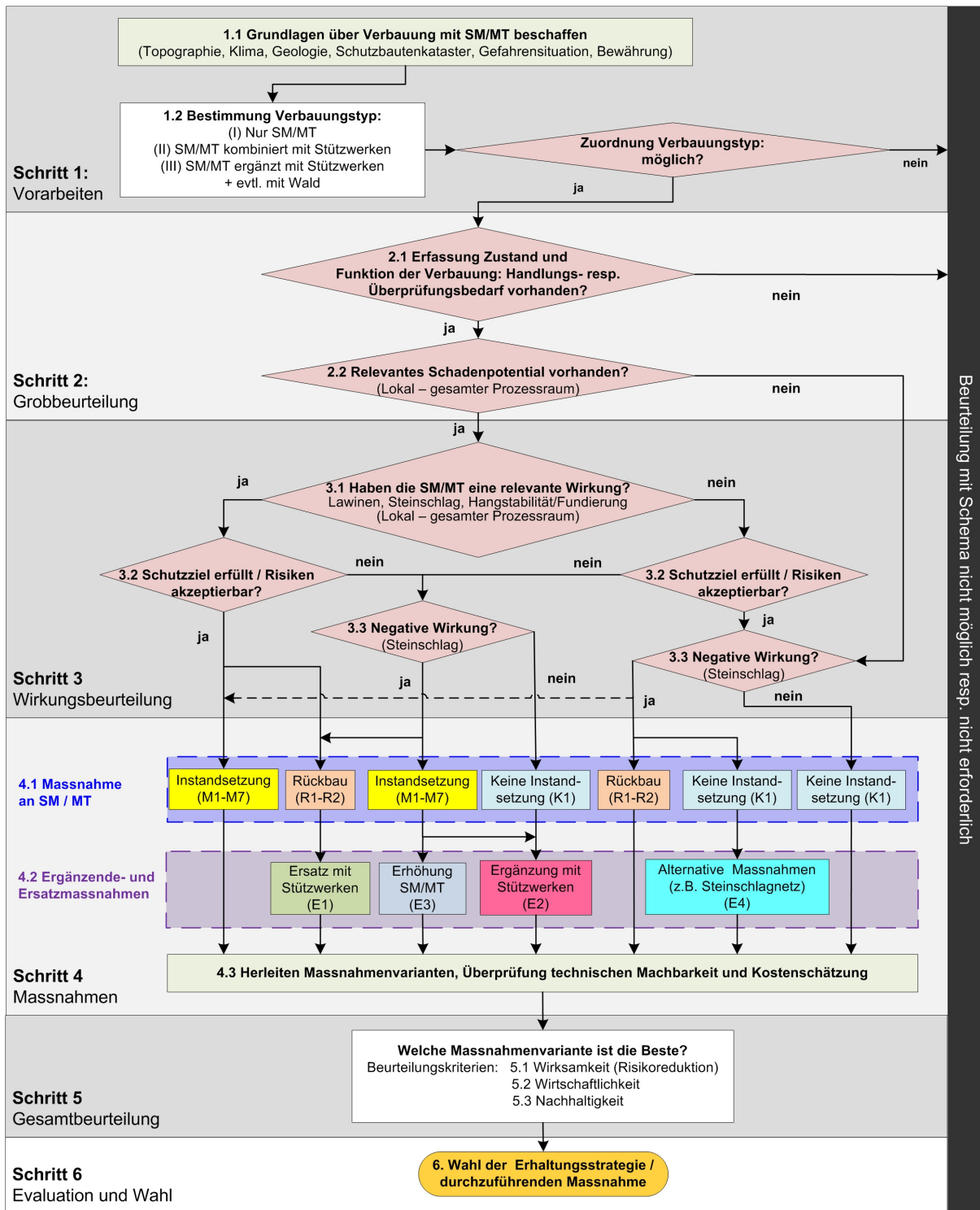


Fig. 3 Beurteilungsschema für die Evaluation von Erhaltungsstrategien und durchzuführenden Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern (SM) und Mauerterrassen (MT)

Fig. 3 Flowchart for the evaluation of maintenance strategies and measures to be accomplished for release areas with stone walls (SM) and earth terraces (MT)

SCHRITT 2: GROBBEURTEILUNG

Generell besteht ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf, wenn der Zustand der Mauern nicht mehr einwandfrei ist oder wenn die Funktion der Verbauung nicht mehr genügt, um das gegenwärtige

Schutzziel zu erreichen. Eine intakte Mauer erkennt man insbesondere an einer korrekten Geometrie, einer intakten Mauerkrone und einer unversehrten Oberfläche (keine fehlenden Steine). Schäden an Mauern treten insbesondere durch Verwitterung des Steinmaterials von Mauer und Fundament, bei Entwässerungsproblemen, durch Auflockerung des Steingefüges, bei Steinschlag, sowie bei Deformationen infolge Erddruck oder Geländebewegungen auf. Ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf kann weiter bestehen, wenn die Mauer selber eine Gefahrenquelle darstellt (z.B. Steinschlag) oder wenn sich die Mauern in einem zu bearbeitenden Projektperimeter befinden. Verbauungen mit Mauern sind meistens relativ alt. Das Schadenpotential hat sich seit deren Erstellung meistens verändert. Deshalb ist das aktuelle Schadenpotential zu erheben respektive zu überprüfen. Die Überprüfung hat lokal, das heisst im eigentlichen Verbauggebiet, und im gesamten Beurteilungsperimeter, das heisst auch in der Sturzbahn und im Auslaufgebiet, zu erfolgen. Unter relevantem Schadenpotential versteht man Sachwerte (z. B. Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege oder Stützwerke) und Personen, die durch Naturgefahrenprozesse gefährdet sein können. In den meisten Situationen dürfte relevantes Schadenpotential vorhanden sein und im Ablaufschema wird im nächsten Schritt die vollständige Wirkungsanalyse durchgeführt.

SCHRITT 3: WIRKUNGSBEURTEILUNG

Die Wirkungsbeurteilung ist ein zentraler Teil im Beurteilungsschema (Fig. 2). Die Wirkung wird quantifiziert, indem Intensitätskarten für verschiedene Szenarien mit und ohne Mauern erarbeitet werden. Anschliessend wird beurteilt, ob die vorhandene Wirkung genügend ist, um die Schutzziele zu erfüllen. Allenfalls ist noch zu beurteilen, ob von den Mauern eine negative Wirkung ausgehen kann.

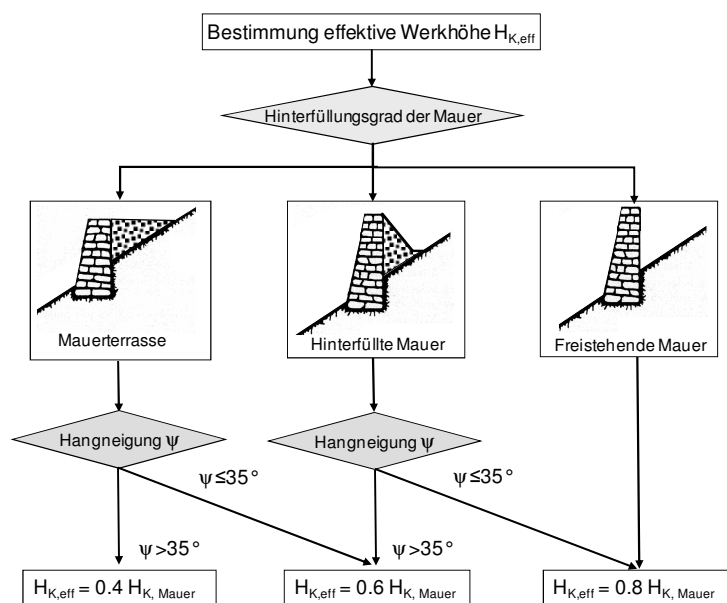


Fig. 4 Bestimmung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ von Mauern
Fig. 4 Determination of the effective structure height $H_{K,eff}$ of walls

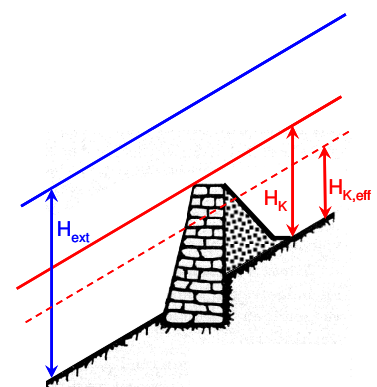


Fig. 5 Definition der Werkhöhe H_K , der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ und der extremen Schneehöhe H_{ext}
Fig. 5 Definition of the structure height H_K , the effective structure height $H_{K,eff}$ and the extreme snowheight H_{ext}

3.1 Überprüfung der Wirkung gegen Lawinen, Steinschlag und Hanginstabilitäten

Bei Mauern ist wegen der oft ungenügenden Werkhöhe meist der Fall des Anbruchs einer Oberlawine massgebend. Im Vergleich zu gegliederten Stützwerken muss bei massiven Mauern eine grössere Anrissmächtigkeit einer Oberlawine erwartet werden. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird die Anrissmächtigkeit einer Oberlawine in Funktion der effektiven Werkhöhe und den effektiven Werkabständen abgeschätzt (Fig. 5 und Tab. 1). Das Verfahren stellt eine Spezifizierung zur Wirkungsbeurteilung nach PROTECT (Romang (Ed.) 2009) dar. Infolge ihrer geschlossenen Bauweise sind Mauern früher eingeschneit als gegliederte Stützwerke. Deshalb wird die Werkhöhe H_K für die Abschätzung der Anrissmächtigkeit in Funktion des Hinterfüllungsgrades der Mauer und der Hangneigung korrigiert (Fig. 4). Die effektive Werkhöhe kann mit einem Vergleich der am

Die Beurteilung, ob Mauern eine relevante hangstabilisierende Wirkung zugesprochen werden kann, muss meist gutachtlich durch einen Vergleich der Hangstabilität an Stellen mit und ohne Mauern erfolgen. Den Mauern kann eine relevante hangstabilisierende Wirkung zugesprochen werden, wenn die Anordnung und Konstruktion den Regeln des Hangverbaus (Böll 1997) entspricht und wenn ohne Mauern nur eine verminderte oder ungenügende Hangstabilität besteht. Bestehen Zweifel an der hangstabilisierenden Wirkung, so ist keine relevante Wirkung anzunehmen. Eine relevante Wirkung als Fundation kann in gemischten Verbauungen vom Typ 2 (Fig. 2) bestehen, wenn die gegliederten Stützwerke auf Mauern fundiert sind.

3.2 Überprüfung von Schutzziel und Risikogrenzwerten

In diesem Teilschritt wird überprüft, ob das Schutzziel erfüllt und die Risiken im Prozessraum akzeptierbar sind oder ob der Schutz verbessert werden muss. Die Risiken können gemäss dem Leitfaden «Risikokzept für Naturgefahren» (Bründl (Ed.) 2009) oder «EconoMe» (BAFU 2010) berechnet werden. Die Risiken werden für den aktuellen Zustand der gesamten Verbauung bestimmt. Kann eine relevante Wirkung der Mauern nachgewiesen werden (vgl. Schritt 3.1), so tragen die Werke zur Erfüllung des Schutzziels resp. zur Senkung der Risiken bei. Werden die Schutzziele resp. die zulässigen Risiken nicht erfüllt, muss die Sicherheit erhöht werden, in dem z. B. ergänzende Massnahmen vorgesehen werden (z. B. Ersatz der Mauern durch gegliederte Stützwerke).



Fig. 6 Steinschlag zerstörte eine Steinmauer und beschädigte weiter unten Stahlschnee-brücken (Photo C. Rönnau)

Fig. 6 Rockfall destroyed a stonewall and damaged steel bridges (Photo C. Rönnau)

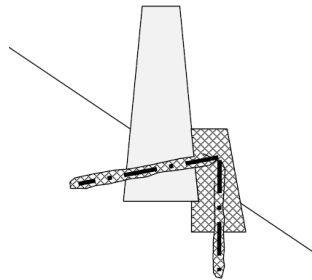


Fig. 7 Mit Betonvorbau sanierte Mauer (Photo S. Margreth)

Fig. 7 Stone wall repaired with a front wall made of concrete (Photo S. Margreth)



3.3 Negative Wirkung von Mauern

Nicht unterhaltene Mauern können instabil werden, was zum Ausbruch einzelner Steine oder zum Einsturz der gesamten Mauer führen kann. Diese Beurteilung ist wichtig, falls keine Massnahmen an der Mauer geplant werden. Durch Steinschlag können einerseits Personen und Objekte im Verbauperimeter, andererseits auch in der Sturzbahn und im Auslaufgebiet gefährdet werden. Wenn die von den Mauern ausgehende Steinschlaggefahr nicht akzeptierbar ist, muss die Mauer unterhalten oder abgebrochen werden oder das Schadenpotential ist z.B. mit einem Damm zu schützen. Gegliederte Stützwerke können durch Steinschlag beschädigt oder zerstört werden. Stahlschneebrücken werden bei Aufprallenergien von mehr als 20 bis 50 kJ beschädigt (Fig. 6) und flexible Schneenetze bei mehr als etwa 100 bis 150 kJ. Es wird empfohlen an Standorten, wo ein relevantes Schadenpotential besteht, die von zerfallenden Mauern ausgehende Steinschlaggefährdung durch ein geologisches Gutachten genauer abzuklären.

SCHRITT 4: MASSNAHMEN

4.1 Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrassen

Die Herleitung von möglichen Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrasse hängt von den Resultaten der Schritte 1 bis 3 ab. In der Tab. 3 sind die wichtigsten Instandsetzungsmassnahmen aufgezeigt, um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Mauern wieder herzustellen. Die angegebenen Methoden und Kennwerte beruhen auf praktischen Erfahrungen. Eine 3 bis 4 m hohe

Steinmauer umfasst typischerweise zwischen 3.5 und 4.5 m³ Steine pro Laufmeter Mauer. In der Schweiz werden auffällige Mauern am häufigsten mit Betonvorbauten, einem Umbau in Drahtsteinkörbe und durch verankerte Netzabdeckungen saniert (Fig. 7, 8 und 9).

Tab. 3 Massnahmen, um beschädigte Steinmauern und Mauerterrassen in Stand zu setzen

Tab. 3 Measures to repair damaged stone walls and stone terraces

Massnahme	Beschreibung	Voraussetzungen, Probleme	Kosten, Nutzungsdauer
Ab- und Wiederaufbau	Abtrag der alten Mauer, anschliessend wieder ohne Mörtel aufgebaut. Verwitterte Steine werden ersetzt	Aufwändig und Erfahrung erforderlich	CHF 500-800.- pro m ³ Mauer, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Vermörtelung	Mauer wird durch die Injektion von Mörtel stabilisiert. Deformierte Mauern müssen zuerst abgebaut werden.	Entwässerung muss gewährleistet sein. Mauer verliert Verformungsfähigkeit.	CHF 500-600.- pro m ³ Mauer, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Betonvorbau	Bei defektem Fundament wird ein Betonvorbau angesetzt, der rückverankert werden kann. Oft angewendet.	Mauer darf nicht zu stark deformiert sein. Drainage muss gewährleistet sein.	CHF 600-1500.- pro m ³ Beton, Nutzungsdauer ca. 60 Jahre.
Umbau in Drahtsteinkörbe	Mauer wird abgebrochen und in am Boden fundierte Drahtsteinkörbe umgepackt. Oft angewendet.	Stabiler Baugrund. Nicht geeignet, wenn Stützwerk auf der Mauer steht.	CHF 600-1000.- pro m ³ Drahtsteinkorb, Nutzungsdauer ca. 60 Jahre.
Netzabdeckung mit Verankerung	Steine werden mit einem verankerten Drahtgeflecht stabilisiert. Kein Abbau erforderlich.	Mauer bleibt wasserdurchlässig und flexibel. Mauerfront muss homogen sein.	CHF 500-600.- pro m ² abgedeckte Mauerfront, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Rückverankerungen	Mit 4 bis 7 m langen Verankerungen werden ausgebaute Mauer stabilisiert. Distanz zwischen den Ankern: 3 bis 4 m.	Mauer muss stabil und im Bereich der Anker hinterfüllt sein. Einleitung Ankerkräfte kann schwierig sein.	CHF 1100.- pro m ² Mauer, Nutzungsdauer maximal 60 Jahre.
Verkleidung mit Spritzbeton	Mauer wird mit Spritzbeton verkleidet. Für guten Verbund sind Bewehrungsnetze erforderlich. Wird selten eingesetzt.	Drainage problematisch. Reduzierte Deformierbarkeit, nur in stabilem Gelände.	CHF 2000.- pro m ² Mauer, Nutzungsdauer ca. 40 Jahre.

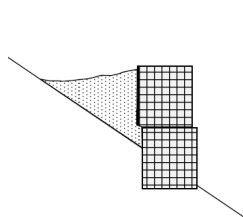


Fig. 8 Umbau von Steinmauern in Drahtsteinkörbe (Photo BLS)

Fig. 8 Repacking of stone walls in gabions (Photo BLS)

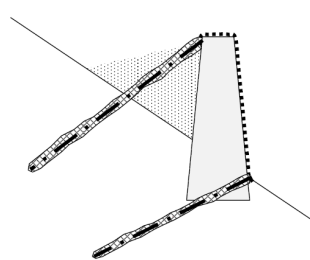


Fig. 9 Steinmauer mit rückverankertem TECCO-Drahtgeflecht (Photo M. Gächter)

Fig. 9 Stone wall stabilized with anchored TECCO steel wire mesh (Photo M. Gächter)

Der Abbruch und Rückbau von Mauern ist dort angezeigt, wo sie sich in einem schlechten Zustand befinden oder wo die Mauern für Ersatzmassnahmen mit gegliederten Stützwerken hinderlich sind. Ein Abbruch und Rückbau kann gut in Etappen erfolgen, indem kontinuierlich die einsturzgefährdeten Mauern abgebrochen werden. Falls möglich werden die Steine in alten Ausbruchstellen, Geländeterrassen oder Geröllfeldern lokal deponiert. Dazu sollte das Gelände nicht steiler als ca. 38° sein, damit Schreitbagger noch eingesetzt werden können. Die deponierten Steine dürfen durch Schneebewegungen und Geländeinstabilitäten nicht mobilisierbar sein. Die Kosten für den Abbruch von Mauern betragen je nach Transportdistanz zum Deponiestandort zwischen CHF 200 und 300.- pro m³ Mauer. Wenn das Gelände zu steil ist für eine lokale Ablagerung der Steine können sie mit dem Hubschrauber wegtransportiert werden. Dies ist insbesondere für kleine Steinkubaturen interessant. Die Kosten hängen stark von der Transportdistanz ab und betragen zwischen CHF 500 und 1000.- pro m³ Mauer. Die kostengünstigste Massnahme ist, wenn die Mauern dem natürlichen Zerfall überlassen werden können. Dies ist jedoch nur möglich, wenn kein Schadenpotential besteht und die Steinschlaggefährdung als Restrisiko akzeptiert werden kann. Erfahrungen haben gezeigt, dass die

Mauern in der Regel langsam und stückweise zerfallen. Durch periodische Kontrollen der zerfallenden Mauern können gefährliche Situationen meist rechtzeitig erkannt werden.

4.2 Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen

Wenn die bestehende Verbauung aus Mauern keinen genügenden Schutz bietet, sind Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen erforderlich. Am häufigsten werden die Mauern mit gegliederten Stützwerken ergänzt (Fig. 10). Die Stützwerke werden richtliniengemäss zwischen den Mauern eingebaut. Werden die Mauern nicht unterhalten, muss die Steinschlaggefährdung beurteilt werden. Die Kosten für permanente Stützwerke betragen zwischen CHF 1500 und 2500.- pro Laufmeter Stützwerk. Eine etwas kostengünstigere und insbesondere in der Vergangenheit oft angewendete Methode ist die Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen (Fig. 11). Die Kosten betragen zwischen CHF 1000 und 2200.- pro Laufmeter Schneezäun. Voraussetzung ist, dass der Zustand der Mauer einwandfrei ist. Oft muss ein Betonriegel eingebaut werden, damit die Mauer die zusätzlichen Kräfte aufnehmen kann.

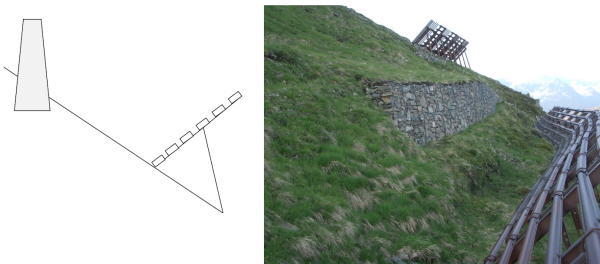


Fig. 10 Mauerterrasse ergänzt mit
Stahlschneebrücken (Photo S. Margreth)
Fig. 10 Stone terrace completed with steel bridges
(Photo S. Margreth)

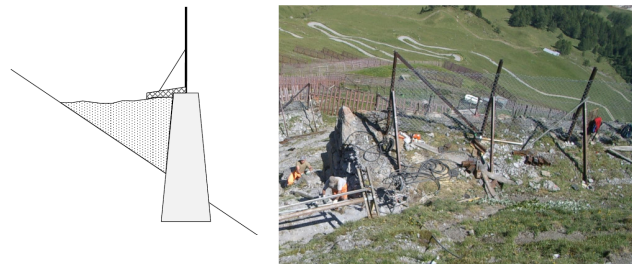


Fig. 11 Steinmauer, die mit einem Schneehag
kombiniert wird (Photo S. Margreth)
Fig. 11 Stone wall combined with a snow fence (Photo
S. Margreth)

4.3: Massnahmenvarianten und Kostenschätzung

Auf der Grundlage der aufgezeigten Massnahmen werden für die zu untersuchende Verbauung mögliche Massnahmenvarianten hergeleitet. Die Art und der Umfang der Massnahmen sind entsprechend dem jeweiligen Verbauungs- und Mauertyp anzupassen. Oft sind Massnahmenkombinationen die optimale Lösung. Die technische Machbarkeit ist anhand der für die verschiedenen Massnahmen aufgeführten Voraussetzungen zu prüfen. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird vorgeschlagen, die Kosten der verschiedenen Varianten mit Verfahren der Lebenszykluskostenanalyse zu bewerten wie zum Beispiel der statischen Kostenvergleichsrechnung. Bei dieser Methode werden die durchschnittlichen jährlichen Kosten auf der Grundlage der jährlichen Unterhaltskosten, der jährlichen Abschreibungskosten und den jährlichen Kapitalkosten berechnet. Die jährlichen Kosten variieren für verschiedene Massnahmenvarianten, da die Investitionskosten und insbesondere die Nutzungsdauer, die Unterhaltskosten und eventuelle Abbruchkosten verschieden sind. Da bei Varianten, wo Mauern zuerst rückgebaut werden, einmalige Abbruchkosten ohne Folgekosten entstehen, müssen diese Kosten zusätzlich berücksichtigt werden. Wir schlagen vor, die einmaligen Abbruchkosten als Investitionskosten mit einer pauschalen Nutzungsdauer von 200 Jahren zu berücksichtigen. In Anlehnung an «EconoMe» (BAFU 2010) können die jährlichen Kosten unter Berücksichtigung von evtl. Abbruchkosten und unter Vernachlässigung von Betriebs- und Reparaturkosten wie folgt berechnet werden:

$$K_j = K_u + \frac{(I_o - L_n)}{n} + \frac{(I_o + L_n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad [\text{CHF/Jahr}] \quad (1)$$

K_j : Jährliche Kosten der Massnahmenvariante [CHF/Jahr]

K_u : jährliche Unterhaltskosten (gemäss Schritt 4) [CHF/Jahr]

I_o : Investitionskosten (Kosten für Instandsetzungs-, Ergänzungs-, Ersatzmassnahmen und einmalige Abbruch- resp. Rückbaukosten gemäss Schritt 4) [CHF]

L_n : Restwert nach n Jahren, in der Regel $L(n) = 0$ [CHF] (Evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer einer Massnahme können als negativer Restwert eingeführt werden).

n: Nutzungsdauer der Massnahme (gemäss Schritt 4) [Jahre]
p: Zinssatz = 2 %

SCHRITT 5: GESAMTBEURTEILUNG

Die Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und die Nachhaltigkeit der verschiedenen Massnahmen werden gemäss der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) pauschal mit Punkten bewertet. Pro Kriterium werden maximal 3 Punkte und minimal 1 Punkt verteilt. Die beste Massnahme ist jene mit den meisten Punkten. Für die ausgearbeiteten Massnahmenvarianten wird ihre Wirksamkeit hinsichtlich Lawinen, Steinschlag und Hangstabilität/Fundierung beurteilt.

5.1: Die **Wirksamkeit** wird im Vergleich zum Ausgangszustand der Verbauung beurteilt, d.h. der Zustand, bevor die Massnahmen ergriffen werden. Die Wirksamkeit der verschiedenen Varianten wird zusammenfassend pauschal mit drei Stufen bewertet:

- reduzierte Wirkung der Verbauung = 1 Punkt (z. B. rückgebaute Mauern)
- unveränderte/ausgeglichene Wirkung der Verbauung = 2 Punkte (z. B. Instandsetzung ohne Ergänzungen)
- erhöhte Wirkung = 3 Punkte (z. B. Ergänzung oder Ersatz mit Stützwerken)

5.2: Die **Wirtschaftlichkeit** der verschiedenen Massnahmen wird in drei Stufen bewertet. Die Massnahme mit den tiefsten Kosten wird mit 3 Punkten und die teuerste Massnahme mit 1 Punkt bewertet. Die Kosten von weiteren Massnahmen werden durch lineare Interpolation bewertet. Kosten-Wirksamkeitsberechnungen sind bei Unterhaltsmassnahmen im Allgemeinen nicht zielführend, weil sich die Wirksamkeit der Massnahme praktisch nicht verändert und der Nutzen nur schwierig monetär bewertet werden kann.

5.3: Die **Nachhaltigkeit** der verschiedenen Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung von Technischen Aspekten (C1), Ökologie (C2), Natur- und Landschaftsschutz (C3), sowie weiteren Aspekten (C4) werden gutachtlich in drei Stufen wie folgt bewertet, wobei die technischen Aspekte doppelt gewichtet werden:

- positiver Einfluss/Verbesserung = 3 Punkte
- unveränderter/ausgeglichener Einfluss = 2 Punkte
- negativer Einfluss/Verschlechterung = 1 Punkt

Die Gesamtbewertung der Nachhaltigkeit C wird mit den oben genannten Aspekten C1 bis C4 wie folgt berechnet:

$$C = 0.4 \cdot C_1 + 0.2 \cdot C_2 + 0.2 \cdot C_3 + 0.2 \cdot C_4 \quad [\text{Anzahl Punkte}] \quad (2)$$

Bei den technischen Aspekten C1 stehen die Beurteilung der Nutzungsdauer, der Systemsicherheit insbesondere hinsichtlich von Bauwerkskontrollen und der Aufwand für einen späteren Rückbau im Vordergrund. In den Öffnungen einer Steinmauer finden Lebewesen und Pflanzen einen willkommenen Lebensraum (SIA 1996). Ökologische Untersuchungen über die Bedeutung von Trockensteinmauern auf den Höhenstufen von Lawinenanbruchgebieten fehlen weitgehend. Wichtige Faktoren für die Bewertung der Ökologie C2 sind insbesondere Standort und Bauweise einer Mauer. Tendenziell haben Steinmauern in Lawinenanrissgebieten eine geringere ökologische Bedeutung als im Kulturland, da dort bereits zahlreiche andere Steinstrukturen wie Stein- oder Schutthalden bestehen. In Tab. 4 wird eine pauschale Bewertung der verschiedenen Massnahmen hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung vorgeschlagen.

Steinmauern und Mauerterrassen prägen seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts in etlichen Lawinenanrissgebieten das Landschaftsbild und verkörpern kulturhistorisches Erbe unserer Vorfahren. Dieser Aspekt muss in der gesamthaften Bewertung der Erhaltungsstrategie einer Verbauung berücksichtigt werden. Eine quantitative Bewertung hinsichtlich Kultur- und Landschaftsschutz C3 ist schwierig. Nach der «Richtlinie Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten» (ASTRA 1998) ist ein Bauwerk schützenswert, wenn es an sich erhaltungswürdig ist und wenn es

durch sein Bestehen auch in Zukunft einem Zweck dient, sofern die erforderlichen Unterhaltsarbeiten machbar und im Verhältnis zu Zielsetzung angemessen sind. Wesentlich ist, dass die Kosten für die Erhaltungsmassnahmen nicht unverhältnismässig sind. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird empfohlen eine pauschale Bewertung der möglichen Massnahmen gemäss Tab. 4 in drei Stufen vorzunehmen.

Tab. 4 Bewertung der Instandsetzungsmassnahmen an Mauern hinsichtlich Ökologie, Kultur- und Landschaftsschutz

Tab. 4 Evaluation of the rehabilitation measures at walls regarding ecology, cultural and landscape protection

Massnahmen an Mauer	Ökologie (C2)		Kultur- und Landschaftsschutz (C3)	
Ab- und Wiederaufbau ohne Vermörtelung	3	Mauer bleibt erhalten	3	Mauer bleibt im Originalzustand erhalten, Verwendung des ursprünglichen Handwerks
Vermörtelung mit Ab- und Wiederaufbau	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	2/1	Geometrie unverändert, jedoch Baumaterial und Erscheinungsbild verändert, nicht mehr original
Betonvorbau	2	Mauer bleibt mehrheitlich erhalten, Öffnungen gehen z. T. verloren.	1	Baumaterial mehrheitlich noch original, Geometrie und Erscheinungsbild verändert
Umpacken in Drahtsteinkörbe	2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
Netzabdeckung mit Verankerung	1/2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten, Wildproblematik	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
Verkleidung mit Spritzbeton	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	1	Baumaterial und Erscheinungsbild stark verändert
Rückbau und Deponierung der Steine im Projektgebiet	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
Rückbau und Wegtransport der Steine	1	Steinstrukturen bleiben im Verbauggebiet nicht erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
Natürlicher Zerfall der Mauern	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	2	Mittelfristig bleiben Mauern erhalten, langfristig Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

Je nach Standort einer Verbauung sind weitere Aspekte C4 bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit wie die regionale Bedeutung eines Verbauprojektes oder die Akzeptanz einer Massnahme zu berücksichtigen.

SCHRITT 6: EVALUATION DER ERHALTUNGSSTRATEGIE

Die Evaluation der Erhaltungsstrategie resp. der Massnahmenvarianten für eine Verbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen erfolgt unter Berücksichtigung der im Schritt 5 aufgestellten Kriterien. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird empfohlen die Wirksamkeit (Risikoreduktion) und die Wirtschaftlichkeit mit je einem Faktor 3 und die Nachhaltigkeit mit einem Faktor 1 zu gewichten. Die gewichteten Punkte der verschiedenen Schritte werden summiert. Anschliessend können die einzelnen Varianten bewertet und rangiert werden. Das Resultat dieser Bewertung muss kritisch beurteilt werden. Oft macht es wenig Sinn, in einer gesamten Verbauung dieselbe Massnahme anzuwenden. Massnahmenkombinationen und ein Vorgehen in Etappen stellen oft optimale Lösungen dar. Je nach Situation ist es empfehlenswert, das Verfahren anzupassen und mit eigenen situationsspezifischen Kriterien zu ergänzen.

FOLGERUNGEN

Steinmauern und Mauerterrassen sind historische Verbaumethoden, die heute nicht mehr angewendet werden. Mauern haben meist ihre Nutzungsdauer erreicht und es stehen vielerorts Instandsetzungsprojekte an. Instandsetzungsmassnahmen an Mauern sind meist teurer als der Bau von neuen gegliederten Stützwerken. Zusätzlich zeigen Mauern eine ungenügende Wirkung und können Steinschlag verursachen. Mit einem radikalen Schnitt (Rückbau und Ersatz durch richtlinienkonforme Stützwerke) kann die Situation in einer Verbauung langfristig verbessert werden. Ein solcher Schritt erfordert Mut, denn meist wurde viel Geld und Engagement in den Unterhalt bestehender Mauern gesteckt. Zukünftig dürften Mauern in Lawinenanrissgebieten vermehrt rückgebaut und durch Stützwerke ersetzt werden. Die vorgestellte «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) ermöglicht entsprechende Entscheide mit einem strukturierten, vollständigen und nachvollziehbaren Vorgehen zu begründen.

DANK

Die Erarbeitung dieser «Praxisanleitung» wurde durch das BAFU unterstützt. Ein spezieller Dank geht an M. Blum, der seine Masterarbeit zu diesem Thema verfasst hat. Weiter danken wir der Expertenkommission Lawinen und Steinschlag (EKLS), sowie zahlreichen Praktikern für Ihren Beitrag.

LITERATUR

- ASTRA (1998). Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten. Richtlinie Bereich Kunstbauten. EDMZ Bern.
- BAFU (2010). EconoMe 2.0 - Online Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, Bern 2010.
- Böll A. (1997). Wildbach und Hangverbau. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 343. WSL Birmensdorf.
- Bründl M. (Ed.) 2009: Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- Fankhauser F. (1920). Der Lawinenverbau mittels Terrassen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 71 (7): 216- 230.
- Frutiger H. (1972). Zur Geschichte des schweizerischen Lawinenverbaus. Bündnerwald Beiheft Nr. 9: 57-66.
- Hess E. (1936). Erfahrungen über Lawinenverbauungen. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen Nr. 4. Eidg. Departement des Innern. Bern.
- Margreth S., Blum M. 2011: Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen. Anleitung für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1109: 79 S. *PDF-Download* www.umwelt-schweiz.ch/uw-1109-d
- Margreth S. (2007). Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Roch A., Sommerhalder E. (1960). Comportement de divers types d'ouvrages de stabilisation de la neige. SLF Winterbericht 24 (1959/60): 128-133.
- Romang H. (Ed.) (2009). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- Rudolf-Miklau F., Sauer Moser S. (Ed.), (2011). Handbuch Technischer Lawinenschutz. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
- SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (1996): Leben zwischen den Steinen – Sanierung historischer Mauern. SIA-Dokumentation D 0134, Zürich.
- Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz (1996). Trockenmauern - Anleitung für den Bau und die Reparatur. Haupt Verlag Bern. 9. Auflage 2009.