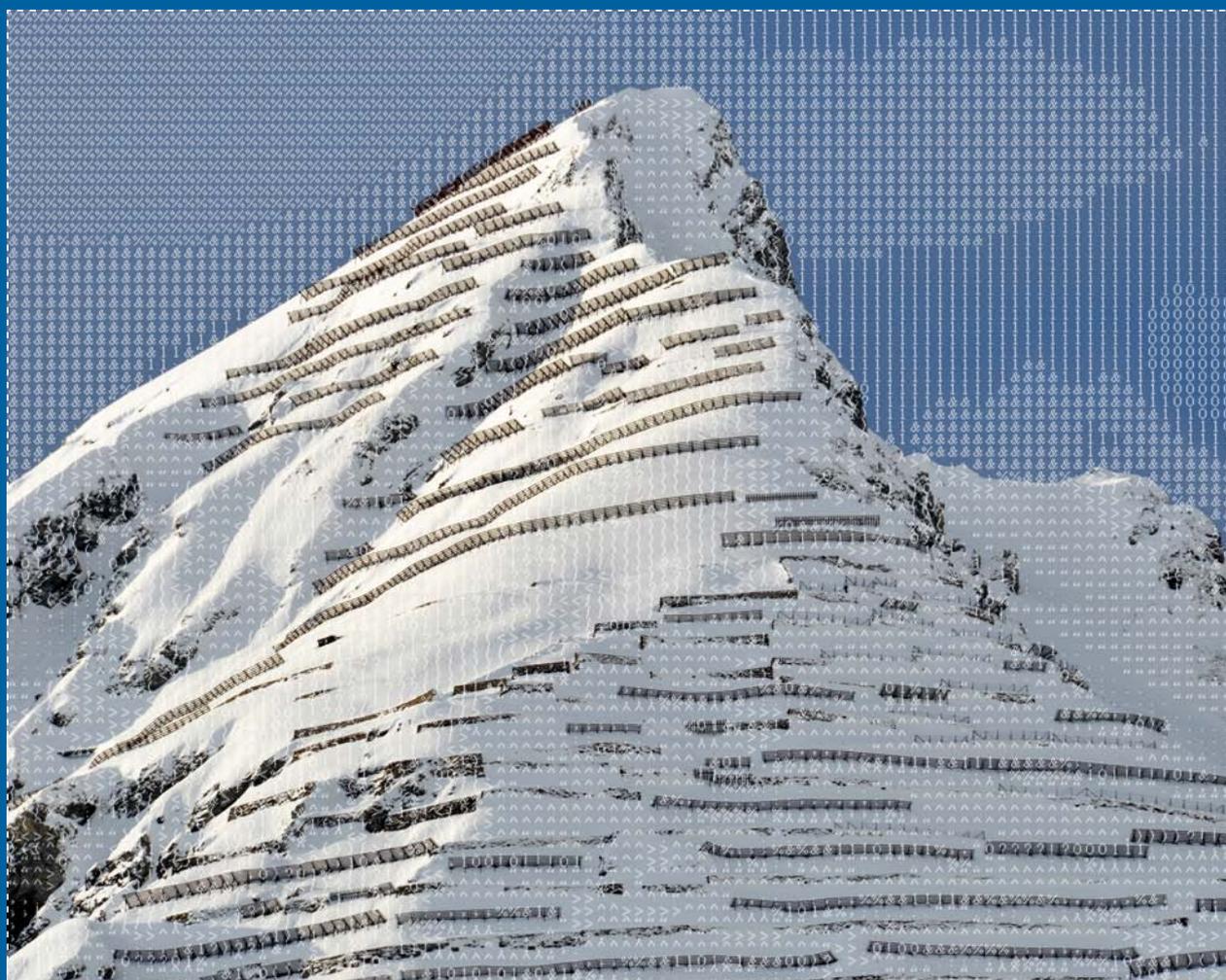


> Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen

Anleitung für die Praxis



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen

Anleitung für die Praxis

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Stefan Margreth, Abteilung Warnung und Prävention, WSL –
Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos
Martin Blum, IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Thun

Begleitung

BAFU, Reto Baumann, Abt. Gefahrenprävention, Bern
Expertenkommission Lawinen und Steinschlag (EKLS)

Zitierung

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.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelbild

Davos Schiahorn, SLF Davos

PDF-Download

www.umwelt-schweiz.ch/uw-1109-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2011

> Inhalt

Abstracts	5
Vorwort	7
<hr/>	
1 Einleitung und Abgrenzung	8
<hr/>	
2 Übersicht Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Werktypen	9
2.3 Wirkung	10
2.4 Anordnung	10
2.5 Nutzungsdauer	11
<hr/>	
3 Allgemeine Vorgehensweise	12
3.1 Schritt 1: Vorarbeiten	12
3.2 Schritt 2: Grobbeurteilung	16
3.3 Schritt 3: Wirkungsbeurteilung	19
3.4 Schritt 4: Massnahmen	30
3.5 Schritt 5: Gesamtbeurteilung	51
3.6 Schritt 6: Evaluation der Erhaltungsstrategie resp. der durchzuführenden Massnahme	57
<hr/>	
4 Umsetzung der Erhaltungsstrategie	58
<hr/>	
Anhang	59
A1 Berechnungsbeispiel der jährlichen Kosten	59
A2 Anwendungsbeispiel	62
<hr/>	
Verzeichnisse	76
Literatur	79

> Abstracts

Old avalanche control structures in Switzerland often consist of stone walls and masonry terraces. Due to their long duration of use, the walls and terraces in many locations are 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 control structures. This manual helps in the evaluation of conservation strategies to be adopted in individual cases and in identifying the measures to be carried out on avalanche control structures consisting of stone walls and masonry terraces. The manual is addressed to cantonal authorities and the owners of such structures.

Keywords:
avalanche control structures,
stone walls,
masonry terraces,
conservation,
replacement,
evaluation

Alte Lawinenverbauungen in der Schweiz bestehen oft teilweise aus Steinmauern und Mauerterrassen. Wegen der langen Nutzungsdauer ist deren Zustand heute vielerorts schlecht. Weil ihre Wirkung gegen das Anbrechen von Lawinen meist nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht, stellt sich Frage, ob sie noch in Stand gesetzt werden sollen, oder ob ein Rückbau und Ersatz mit Stützwerken besser ist. Die vorliegende Anleitung hilft bei der Evaluation der im konkreten Einzelfall zu wählenden Erhaltungsstrategie und durchzuführenden Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen. Sie richtet sich insbesondere an kantonale Stellen und Bauherrschaften.

Stichwörter:
Lawinenverbauungen,
Steinmauern,
Mauerterrassen,
Erhaltung,
Ersatz,
Evaluation

Les anciens ouvrages paravalanches réalisés en Suisse sont souvent composés de murs de pierres et de terrasses en maçonnerie. Du fait de leur longue durée d'utilisation, ils sont généralement en mauvais état aujourd'hui. Comme leur action contre le déclenchement d'avalanches ne répond généralement plus aux exigences actuelles, la question se pose de savoir s'il faut les remettre en état ou plutôt les démonter et les remplacer par des ouvrages de stabilisation. Le présent guide pratique peut se révéler utile, d'une part dans l'évaluation de la stratégie de conservation à mettre en place dans des cas concrets, et d'autre part, dans le choix des mesures à exécuter sur des ouvrages constitués de murs et de terrasses. Il s'adresse plus particulièrement aux services cantonaux et aux maîtres d'ouvrages.

Mots-clés:
ouvrages paravalanches,
murs de pierres,
terrasses en maçonnerie,
conservation,
remplacement,
évaluation

Le vecchie opere di premunizione contro le valanghe ancora in funzione in Svizzera sono spesso costituite da muri di pietra e terrazze sottomurate. Data la lunga durata di utilizzazione prevista, molte opere sono ora in pessime condizioni e l'effetto di protezione contro le valanghe di un gran numero di esse non corrisponde ormai più ai requisiti moderni. Per tale motivo, si pone quindi la domanda se valga la pena ripararle o se non convenga invece sostituirle con strutture di sostegno. Le presenti istruzioni aiutano a valutare la strategia di conservazione da applicare nei singoli casi concreti e le misure da adottare per le opere di premunizione costituite da muri di pietra e terrazze sottomurate. Questa pubblicazione si rivolge in particolare ai servizi cantonali specializzati e ai committenti.

Parole chiave:
opere di premunizione contro
le valanghe,
muri di pietra,
terrazze sottomurate,
conservazione,
sostituzione,
valutazione

> Vorwort

Wegen der Aktualität dieser Thematik hat die Expertenkommission Lawinen und Steinschlag (EKLS) ihre Jahrestagung 2008 mit dem Schwerpunktthema «Steinmauern im Lawinenverbau» durchgeführt. Die Referate und anschliessenden Diskussionen haben bestätigt, dass der Umgang mit sanierungsbedürftigen Steinmauern in der Schweiz sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Breit abgestützte und wissenschaftlich fundierte Strategien fehlen. Gesammelte Erfahrungswerte der einzelnen Regionen stehen nicht allen Beteiligten zur Verfügung, individuelle Lösungen sind die Folge. Im Jahre 2009 hat Martin Blum seine Masterarbeit an der Professur für Forstliches Ingenieurwesen an der ETH Zürich mit Betreuung durch Stefan Margreth, SLF Davos zu diesem Thema geschrieben. Anlässlich dieser Arbeit wurden zahlreiche Gespräche mit Experten, sowie Besichtigungen von Verbauungen mit Mauern durchgeführt. Diese Masterarbeit bildete eine wertvolle Grundlage für die vorliegende Anleitung. Sie soll die Praxis bei der Evaluation von Erhaltungsstrategien für Lawinenverbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen unterstützen. Die Bewertung von Verbauungen mit dem vorgestellten Verfahren ermöglicht ein strukturiertes und nachvollziehbares Vorgehen.

Andreas Götz
Vizedirektor BAFU
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 > Einleitung und Abgrenzung

In der Schweiz gibt es in Lawinenanrissgebieten gegen 1000 Kilometer Steinmauern und Mauerterrassen. Sie wurden mehrheitlich im Zeitraum zwischen 1890 und 1940 gebaut. Diese Schutzwerke waren damals «state of the art». Lawinenverbauungen bestehend aus Steinmauern und Mauerterrassen wurden in vielen Gebieten der Schweiz erstellt. Ab 1940 wurden Steinmauern und Mauerterrassen durch gegliederte Stützwerke in der Form von Stahlschneebrücken oder Schneesnetzen abgelöst. 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. Zur Zeit gibt es jedoch keine einheitliche Strategie, ob resp. wie solche 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. Mit einem radikalen Schnitt (Rückbau und Ersatz durch richtlinienkonforme Stützwerke) könnte die Situation in einer Verbauung langfristig verbessert werden.

Die vorliegende Anleitung behandelt Steinmauern und Mauerterrassen im Lawinenanbruchgebiet. Ablenkmauern oder Verwehungsbauwerke in Form von Steinmauern werden nicht behandelt. Diese Anleitung stellt eine Ergänzung zur «Technischen Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet» (Margreth 2007) und zu «PROTECT – Wirkung von Schutzmassnahmen» (Romang 2009) dar.

2 > Übersicht Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen

2.1 Allgemeines

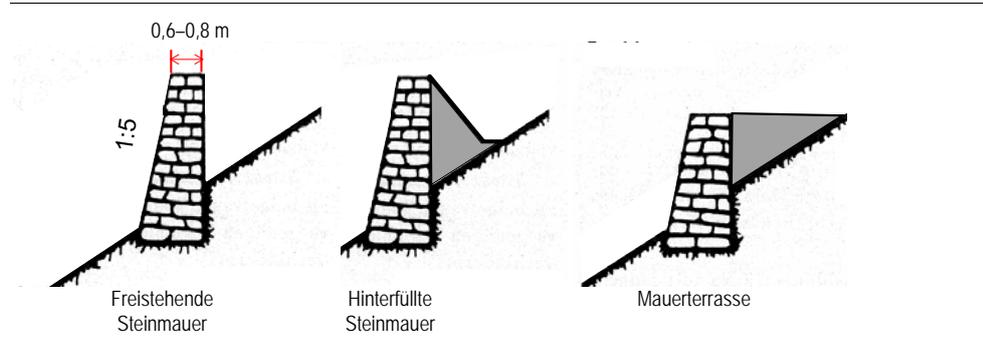
Steinmauern und Mauerterrassen sind sogenannte massive Bauwerke, das heisst Bauwerke ohne durchbrochene Flächen. Meist wurde das an Ort und Stelle vorhandene Material wie Steine und Erde für den Bau verwendet. Die maximalen Mauerhöhen betragen bis 9 m. Bei Steinmauern handelt es sich um sogenannte Schwergewichtsmauern. 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.

2.2 Werktypen

Es werden die folgenden Werktypen unterscheiden (Abb. 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. Von Terrassen wurde ein besseres Abstützen der Schneedecke erwartet. Seit ca. 1910 wurden mehrheitlich Terrassen gebaut, da sie auch billiger waren.

Abb. 1 > Definition der verschiedenen Mauertypen



2.3

Wirkung

Steinmauern und Mauerterrassen zeigen als Lawinenschutz erfahrungsgemäss eine ungenügende Wirkung, weil insbesondere die Werkhöhe für extreme Lawinensituationen zu klein ist. In steilem Gelände wird auch mit grossen Mauerhöhen nur eine kleine Wirkungshöhe erzeugt. Massive Werke sind zusätzlich infolge von Triebsschneean-sammlungen bedeutend schneller hinterfüllt als gegliederte Stützwerke, was ein frühzeitiges Hinterfüllen und die Bildung von Oberlawinen begünstigt (Abb. 2). Das Rückhaltevermögen ist im Vergleich zu gegliederten Stützwerken kleiner (Abb. 3). Wegen ihrer ungenügenden Wirkung wurden Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen oft mit Stützwerken zwischen respektive auf den Mauern oder Schneehägen ergänzt.

Abb. 2 > Lawinerverbauung Schiachorn

Die Mehrzahl der Mauern sind stark eingeschnitten, die Schneehäge und Stahlschneebrücken sind dagegen praktisch noch voll wirksam, Feb. 2008.



Foto S. Margreth

Abb. 3 > Lawinenanbruch in der Verbauung Schafberg

Die rückhaltende Wirkung der Mauern war klein, die Lawinen konnten nicht gestoppt werden. Pontresina, 2001.

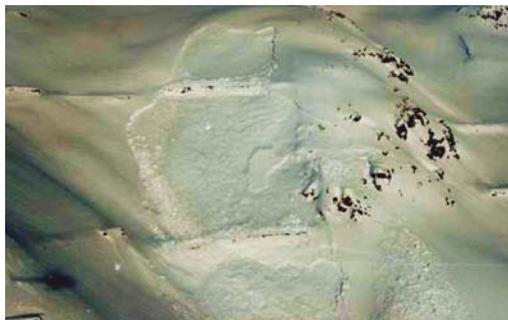


Foto Amt für Wald, Graubünden

2.4

Anordnung

Die Anordnung der Steinmauern und Mauerterrassen entspricht meist nicht den heutigen Anforderungen, die an eine Stützverbauung gestellt werden. Die Mauern wurden mehrheitlich als aufgelöste Verbauung erstellt. 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.

2.5 Nutzungsdauer

Schon früh wurde erkannt, dass das Fundament sowie das fachgerechte Ableiten des Hangwassers einen grossen Einfluss auf die Stabilität einer Mauer hat. 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, 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, 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 Bauwerke ihre Nutzungsdauer erreichen.

3 > Allgemeine Vorgehensweise

Mit dem in Abb. 4 aufgezeigten Beurteilungsschema können mögliche Erhaltungsstrategien und Unterhaltsmassnahmen bei Anrissverbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen bestimmt werden. Das strukturierte Vorgehen ermöglicht eine schrittweise Analyse und eine umfassende Massnahmeevaluation. Wichtige Grössen in der Beurteilung sind die Standortbedingungen, die Verbauungsart, die erwartete Wirkung, sowie mögliche negative Wirkungen, die von den Mauern ausgehen können. Je nach Art einer Verbauung können gewisse Massnahmenkonzepte gar nicht ausgeführt werden. Zum Schluss wird unter Berücksichtigung der erwarteten Wirksamkeit resp. Risikoreduktion, Kostenbetrachtungen, sowie natur- und landschaftsschützerischen Aspekten die zweckmässigste Erhaltungsstrategie resp. Massnahme festgelegt.

3.1 Schritt 1: Vorarbeiten

Die Vorarbeiten haben zum Ziel, die erforderlichen Grundlagen über die Verbauung und den Lawinenzug zu beschaffen, um das Schema anwenden zu können.

Schritt 1:
Vorarbeiten

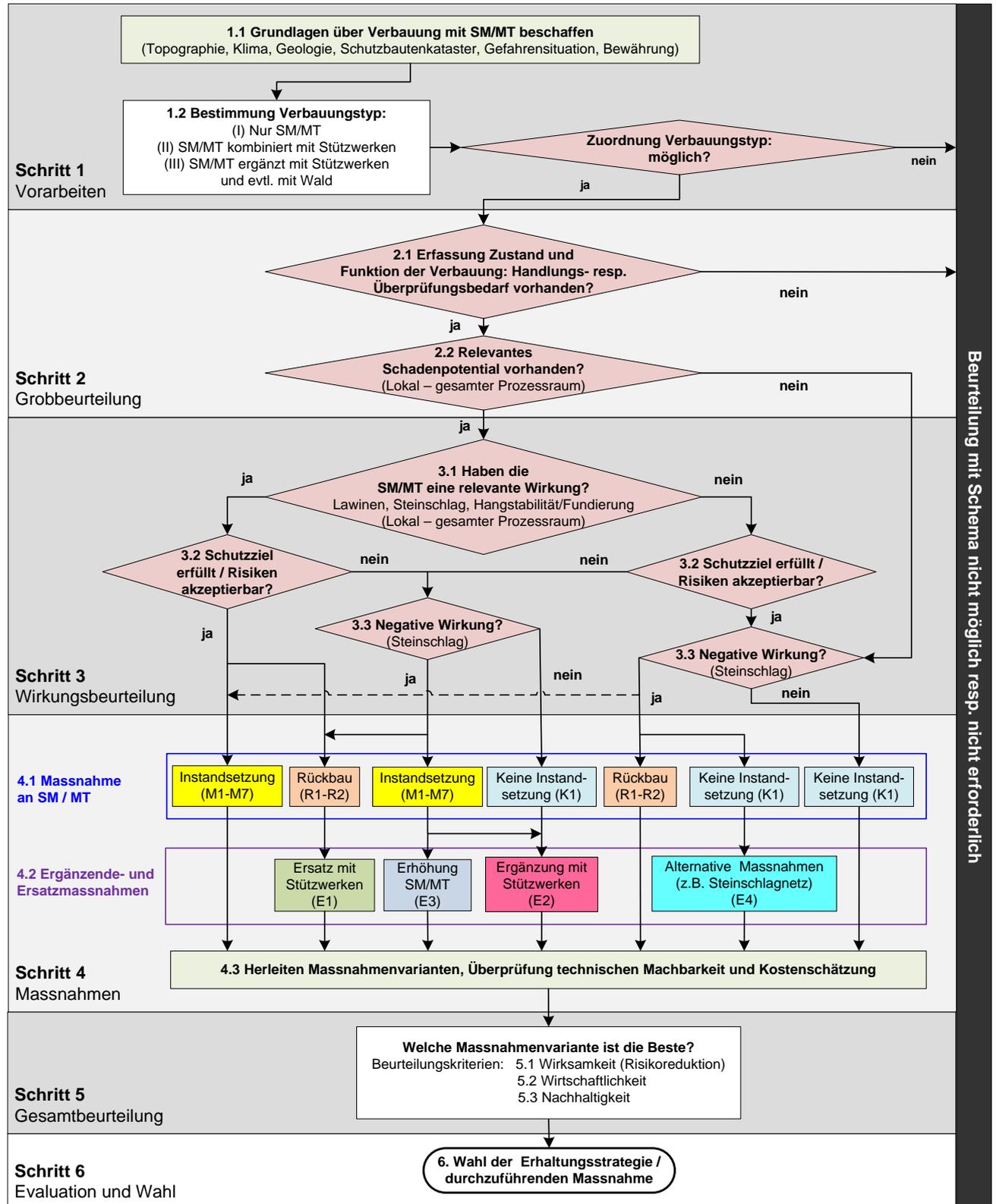
3.1.1 Schritt 1.1: Grundlagenbeschaffung

Die erforderlichen Grundlagen betreffend der Lawinen- und Schneesituation sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1 > Erforderlichen Grundlagen betreffend der Lawinen- und Schneesituation

Kriterium	Dokumente/Aktivitäten
<ul style="list-style-type: none"> • Potenzielles Lawinenanbruchgebiet • Gefahrensituation 	<ul style="list-style-type: none"> • Hangneigungskarte • Übersichtskarte • Beobachtungen • Gefahrenkarte
<ul style="list-style-type: none"> • Geländesituation • Bodenbedeckung • Geologie • Vegetation 	<ul style="list-style-type: none"> • Übersichtskarte • Begehung
<ul style="list-style-type: none"> • Lawinhäufigkeit und -grösse 	<ul style="list-style-type: none"> • Lawinenkataster/Photos • Beobachtungen
<ul style="list-style-type: none"> • Schneehöhen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schneehöhenkarte der Technischen Richtlinie (Abb. 11 in Margreth 2007) • Schneedaten spezifischer Messstationen (Extremwertstatistik) • Winterphotos/Beobachtungen

Abb. 4 > Beurteilungsschema für die Evaluation von Erhaltungsstrategien und durchzuführende Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern (SM) und Mauerterrassen (MT)



Die folgenden Informationen über die Schutzmassnahme werden benötigt (Tab. 2):

Tab. 2 > Erforderliche Informationen über die Schutzmassnahme

Kriterium	Dokumente/Aktivitäten
• Verbauperimeter	• Ausdehnung verbaute Fläche gemäss Situationsplan
• Werktyp	• Schutzbautenkataster • Feldaufnahmen
• Werkhöhe	• Schutzbautenkataster • Feldaufnahmen
• Position Werke • Werkabstände • Hangneigungen	• Werkplan • Feldaufnahmen
• Standortfaktoren	• Projektakten • Feldaufnahme (Werkhöhe H_k oder D_k , Gleitfaktor N)
• Baujahr	• Projektakten
• Zustand • Mängel • Sanierungen	• Projektakten • Schutzbautenkataster • Feldaufnahmen
• Zweck der Massnahme • Schutzziel	• Projektakten
• Bewährung	• Feldaufnahmen • Lawinenkataster

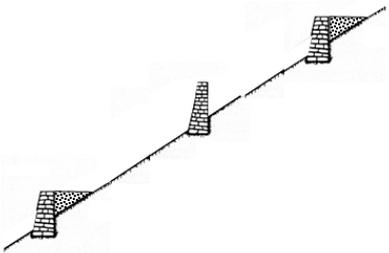
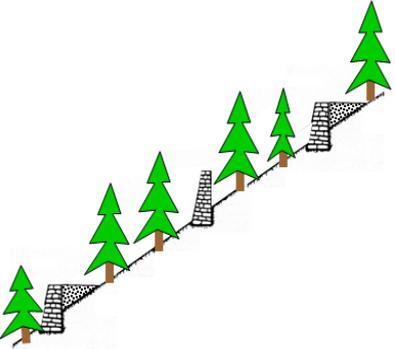
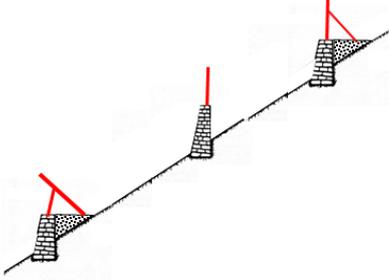
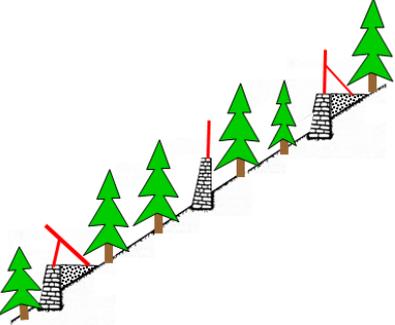
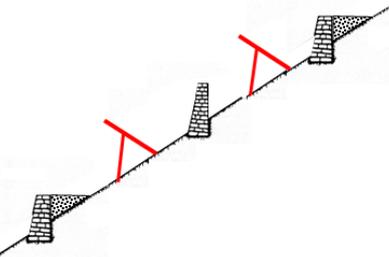
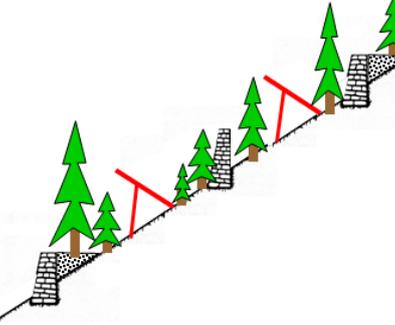
3.1.2 Schritt 1.2: Bestimmung Verbauungstyp

Der Verbauungstyp ist für die spätere Herleitung von möglichen bautechnischen Massnahmen von Bedeutung (Tab. 3). Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen wurden später oftmals mit Stützwerken oder Schneehägen ergänzt, teilweise sind sie in der Zwischenzeit im Wald eingewachsen. Es gibt aber auch Verbauungen, die noch heute nur aus Mauern bestehen. Je nach Baugeschichte können in einem Anrissgebiet verschiedene Verbauungstypen bestehen. Dann empfiehlt sich eine Aufteilung in verschiedene Sektoren mit gleichen Verbauungstypen.

In waldfähigem Gebiet ist im Schutze der Mauern oft Wald aufgekommen, der heute die Lawinenschutzfunktion übernehmen kann. Mauern und Stützwerke können die Waldpflege und die Holzernte behindern resp. können dadurch beschädigt werden. Zerfallende Mauern können Jungwald gefährden.

Falls eine Zuordnung zum einem der drei Verbauungstypen nicht möglich ist, ist eine Beurteilung gemäss dem Leitfaden nicht möglich oder nicht erforderlich.

Tab. 3 > Verbautypen

Verbautypen und Merkmale	Ohne Wald	Mit Wald
<p>Typ 1: Steinmauern und Mauerterrassen</p> <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 • Häufig untergeordnete Bedeutung der Verbauung • Gewisse Schutzwirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten 		
<p>Typ 2: Steinmauern und Mauerterrassen kombiniert mit Stützwerken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung durch Stützwerke und Mauern evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet • Anordnung oft nicht richtlinienkonform, Werkhöhe oft genügend • Stützwerke und Mauern bilden ein zusammengesetztes System: Schäden an Mauern gefährden Wirkung Verbauung • Steinschlag aus Mauern gefährdet Stützwerke und reduziert Wirkungshöhe 		
<p>Typ 3: Steinmauern und Mauerterrassen ergänzt mit Stützwerken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung insbesondere durch Stützwerke evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet • Mauern entlasten Stützwerke vor Schneedruck • Stützwerke meistens richtlinienkonform errichtet • Steinschlag aus Mauern gefährdet Stützwerke und reduziert Wirkungshöhe 		

3.2 Schritt 2: Grobbeurteilung

Im Schritt 2 wird zuerst der Handlungs- und Überprüfungsbedarf hinsichtlich der Lawinenverbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen abgeklärt, indem ihr Zustand und das Schutzziel beurteilt wird. Dann erfolgt eine Beurteilung des Schadenpotentials.

Schritt 2:
Grobbeurteilung

3.2.1 Schritt 2.1: Erfassung Zustand und Funktion der Verbauung

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. Die visuelle Kontrolle der einzelnen Mauern kann mit der Checkliste gemäss Tab. 4 gemacht werden. Die Checkliste betreffend Schäden Steinmauern und Mauerterrassen wurde auf der Grundlage vom «Handbuch Kontrolle und Unterhalt forstlicher Infrastruktur» (Amt für Wald Graubünden 2007) erstellt.

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, Entwässerungsprobleme, Auflockerung des Steingefüges, Deformationen infolge Erddruck oder Geländebewegungen und infolge Steinschlag auf.

Ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf hinsichtlich Zustand und Funktion der Verbauung ist vorhanden, wenn mindestens eine der folgenden Fragen positiv beantwortet werden muss.

a) Sind an den Steinmauern und Mauerterrassen Schäden vorhanden?

Tab. 4 > Typische Schadenbilder an Steinmauern und Mauerterrassen mit Angaben zu entsprechenden Beobachtungen und Ursachen

Schadenbild	Beobachtungen	Typische Ursachen
	Mauereinsturz (vollständig oder teilweise)	<ul style="list-style-type: none"> • Verwitterung • Überbeanspruchung Mauer und Fundament durch Schneedruck, Lawinaufprall oder Wasserdruck • Rückgang Permafrost
	Verformung der Mauer (Ausbauchung)	<ul style="list-style-type: none"> • Geländebewegungen • ungenügende Entwässerung • schlechter Maueraufbau • kleines Steinmaterial • Frost-Tauwechsel (zu geringe Fundationstiefe)
	Verschobene, überhängende Mauerkrone, fehlende Steine an der Krone oder Ecken	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Verwitterung • Überbeanspruchung durch Schneedruck, Steinschlag oder Lawinen • verschiedene Gesteinsarten
	Fundament der Mauer nicht mehr tragfähig, Risse in Steinen	<ul style="list-style-type: none"> • Fundament zu klein ausgebildet (Fundamentbreite = 1/3...1/2 Mauerhöhe) • Alterung Baumaterial • Erosion/Unterspülung Fundament • Verwitterung Fundament
	Durchwurzelung Mauerkörper mit Bäumen und Sträuchern, Überschüttung mit Geröll/Erdmaterial	<ul style="list-style-type: none"> • Wurzeldruck • natürliche Ansammlung • Erosion • Steinschlag

b) Stellen Mauern eine Gefahrenquelle dar?

Durch ausbrechende Steine oder Zerfall von Mauern kann in oder unterhalb der Verbauung Steinschlag entstehen. Weiter können Mauern oder Stützwerke durch die abgehenden Steine aufgefüllt werden.

c) Ist die Funktion der Verbauung ungenügend?

Winterbeobachtungen zeigen, dass die Mauern im Winter überschneit waren oder dass im Verbauperimeter Lawinenanbrüche aufgetreten sind. Die Wirkung der Verbauung wird als ungenügend eingeschätzt.

d) Liegen die Mauern in einem aktuellen oder zukünftig zu bearbeitenden Projektperimeter?

Im Verbauperimeter sind Verbauaktivitäten geplant. Die vorhandenen Mauern erschweren die Planung einer richtlinienkonformen Verbauung.

3.2.2 Schritt 2.2: Relevantes Schadenpotential vorhanden?

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 Beurteilungssperimeter, 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.

Insbesondere bei Verbauungen, die noch heute nur aus Mauern bestehen, kann der Fall auftreten, wo nach heutigem Massstab **kein relevantes Schadenpotential** mehr besteht (z. B. Mauern zum Schutze von Wald, Alpweiden sowie nicht mehr benutzten Verkehrsachsen oder Gebäude). In solchen Fällen ist zu prüfen ob allenfalls von den Mauern eine bedeutende **negative Wirkung** auf relevantes Schadenpotential oder weniger wichtige Sachwerte z. B. in der Form von Steinschlag oder Bodenerosion ausgehen kann (Schritt 3.3).

3.3 Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

Die Wirkungsbeurteilung ist ein zentraler Teil im Beurteilungsschema von Steinmauern und Mauerterrassen. Zuerst wird die Wirkung quantifiziert, indem Intensitätskarten für die verschiedenen 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. Das hier aufgezeigte Verfahren stellt eine Spezifizierung zur Wirkungsbeurteilung nach PROTECT (Romang 2009) dar.

Schritt 3:
Wirkungsbeurteilung

3.3.1 Schritt 3.1: Haben die Steinmauern und Mauerterrassen eine relevante Wirkung?

Eine relevante Wirkung besteht dann, wenn die Mauern den Prozess (Lawinen, Steinerschlag, Hangstabilität/Fundierung) stärker beeinflussen als die Unsicherheiten in dessen Beurteilung sind. Die Relevanz ist für die jeweiligen Szenarien (30, 100 und 300 Jahre) sowohl lokal wie auch für den gesamten Prozessraum zu beurteilen.

Schritt 3.1.1: Schutzwirkung gegen Lawinen

Es wird empfohlen, vor einer detaillierten Wirkungsanalyse in Anlehnung an Kapitel 3.4 von PROTECT (Romang 2009) einen groben Check zu machen, ob mit einer relevanten Wirkung der Mauern gerechnet werden kann. Falls dies nicht der Fall ist, wird auf die detaillierte Wirkungsanalyse verzichtet. Ein Stützverbau zeigt in der Regel **keine relevante Wirkung**, wenn mindestens einer der folgenden Punkte zutrifft:

- > Die mit Stützwerten verbaute Fläche beträgt weniger als 20% der potentiellen Anrissfläche (bei Verbauungen mit Mauern ist dies oft der Fall, weil sie meist alt sind).
- > Die Verbauung wurde klar nicht richtliniengemäss ausgeführt (z. B. Einzelwerke mit zu grossen Werkabständen und zu kleinen Werkhöhen. Für Verbauungen mit Mauern trifft dies oft zu).
- > Die Verbauung ist selber durch weiter oben anbrechende Lawinen oder Sturzereignisse gefährdet (für freistehende Mauern kann dieser Punkt entscheidend sein, für Terrassen jedoch nicht).
- > Die Mehrzahl der Stützwerte ist nicht typengeprüft und klar ungenügend bemessen (insbesondere für freistehende Mauern kann dieser Punkt relevant sein).
- > Die mittlere Werkhöhe der Verbauung ist absolut ungenügend. Dies ist dann der Fall, wenn die mittlere Werkhöhe H_K um 2 m kleiner ist als die 300-jährliche extreme Schneehöhe H_{ext} (entspricht der Wirkungsklasse 5 in Tab. 8; bei Mauern und Terrassen trifft dies insbesondere in höheren Lagen oft zu).

Eine Stützverbauung zeigt eine **relevante Wirkung**, wenn die oben genannten Punkte **nicht** zutreffen und die Mauern der Wirkungsklasse 1 (vgl. Tab. 8) zugeordnet werden können. Ob Mauern der Wirkungsklasse 2, 3 und 4 eine relevante Schutzwirkung zugeordnet werden kann, besteht im Ermessensspielraum. Bei Wirkungsklasse 3 und 4 muss eine relevante Wirkung oft verneint werden. Entscheidend ist insbesondere auch

die Ausdehnung der Verbauung und die Eigenheiten des Lawinenzuges (z. B. offene Sturzbahn, wo angebrochene Lawinen zusätzlichen Schnee aufnehmen können).

Für die genaue Bestimmung der Schutzwirkung von Steinmauern und Mauerterrassen muss gemäss Kapitel 5 von PROTECT (Romang 2009) vorgegangen werden. Die dort aufgezeigten Fälle:

- > Fall 1: Lawinenanbruch ausserhalb der Stützverbauung
- > Fall 2: Lawinenanbruch in der Stützverbauung
- > Fall 3: Anbruch einer Oberlawine in der Stützverbauung

gelten prinzipiell auch für Verbauungen mit Mauern. Es sind aber Anpassungen erforderlich. Infolge ihrer beschränkten Werkhöhe und dem nur kleinen Auffangvolumen ist bei Mauern im Allgemeinen Fall 3 und evtl. auch Fall 1 gemäss PROTECT, wenn die Verbauung nicht das gesamte Anbruchgebiet umfasst, massgebend. Je nach Situation muss Fall 1 und 3 auch kombiniert werden. Fall 2 ist im Allgemeinen nicht relevant. Im Folgenden wird das Vorgehen für Fall 3 gemäss PROTECT erläutert.

Da es sich bei Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen im Allgemeinen um alte Bauwerke handelt, liegen hinsichtlich ihrer Wirkung oft Erfahrungen vor. Diese Erfahrungen können bei der Wirkungsbeurteilung natürlich berücksichtigt werden. Wichtig ist aber, dass die Erfahrungen z. B. mit dem Ereignis- oder Verbaukataster belegt werden können (Abb. 5).

Abb. 5 > Lawinenanbruch in einer Verbauung, die aus Steinmauern und gegliederten Stützwerken besteht

Die Lawine erreichte den Talboden nicht (Lawinenzug Mengiots in Pontresina im Winter 2001).



Praktische Anleitung für die quantitative Beurteilung des Anbruches einer Oberlawine in einer Verbauung aus Steinmauern und Mauerterrassen (gemäss PROTECT, Romang 2009)

Die Wirkung einer Verbauung wird bestimmt, indem eine Gefahrenbeurteilung ohne und mit Mauern resp. Stützwerken durchgeführt wird. Die Quantifizierung der Wirkung für ein bestimmtes Szenario wird mit lawinentechnischen Berechnungen und der Erstellung von Intensitätskarten durchgeführt. Im Ausgangszustand wird mit der Anrissmächtigkeit d_0 (ohne Mauern resp. Stützwerke) gerechnet. Im verbauten Zustand wird die Berechnung mit einer reduzierten Anrissmächtigkeit $d_{0,R}$ durchgeführt. Bei gegliederten Stützwerken kann die reduzierte Anrissmächtigkeit $d_{0,R}$ gemäss PROTECT (Romang 2009) bestimmt werden. Im Vergleich zu gegliederten Stützwerken muss bei massiven Mauern eine grössere Anrissmächtigkeit der Oberlawinen erwartet werden. Bei massiven Mauern kann die Anrissmächtigkeit der Oberlawine in Funktion der effektiven Werkhöhe und der effektiven Werkabstände gemäss den folgenden vier Punkten bestimmt werden.

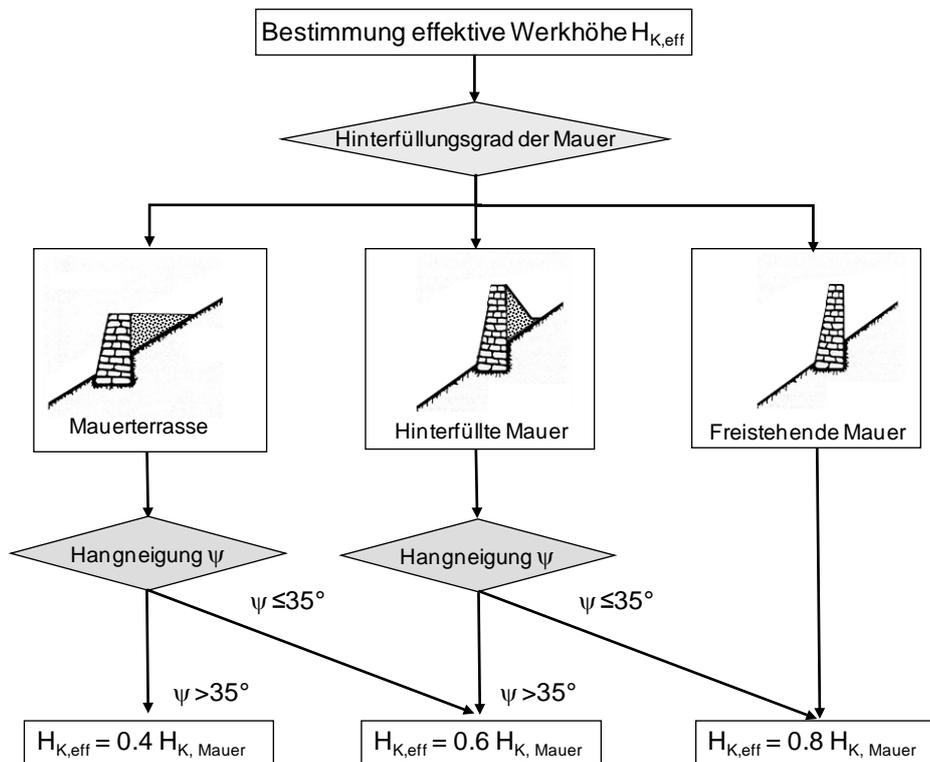
Punkt I: Bestimmung der effektiven Werkhöhe

Infolge der geschlossenen Bauweise sind massive Mauern im Vergleich zu gegliederten Stützwerken bedeutend früher eingeschneit. Deshalb wird die Werkhöhe H_K der Mauern für die Bestimmung der Anrissmächtigkeit der Oberlawine reduziert. Die Reduktion der Werkhöhe von Mauern hängt insbesondere von den folgenden zwei Faktoren ab:

- > Hinterfüllungsgrad der Mauern: freistehende Mauern sind weniger schnell hinterfüllt als Terrassen und ihr Auffangvermögen ist grösser.
- > Mittlere Hangneigung im Bereich der Mauern (Durchschnittsneigung zur oberen Mauer): bei kleineren Hangneigungen ist das Auffangvermögen erhöht und die Anbruchwahrscheinlichkeit von Lawine reduziert.

Die Herleitung und Beurteilung der effektiven Werkhöhe ist in Abb. 6 angegeben.

Abb. 6 > Bestimmung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ von Mauern in Funktion des Mauertyps, des Hinterfüllungsgrades und der Hangneigung



Punkt II: Beurteilung der effektiven Werkhöhe

Die effektive Werkhöhe $H_{K,eff}$ einer Steinmauer oder Mauerterrasse wird für ein bestimmtes Szenario mit einem Vergleich zur extremen Schneehöhe H_K beurteilt (Abb. 7, Tab. 5). Die extreme Schneehöhe kann mit Beobachtungen (Einschneigungsgrad der Mauern in schneereichen Wintern), lokalen Pegel-Messungen oder Extremwertstatistiken einer nahen SLF-Vergleichsstation in Funktion der Wiederkehrdauer bestimmt werden. Liegen keine solchen Daten oder Beobachtungen vor, kann die extreme Schneehöhe für eine Wiederkehrdauer von 100 Jahren gemäss Ziffer 3.5.4 der Technischen Richtlinie (Margreth 2007) ermittelt werden. Für andere Wiederkehrdauern kann die extreme Schneehöhe gemäss Tab. 6.1 umgerechnet werden.

Falls angezeigt können die extremen Schneehöhen infolge des Einflusses der Sonneneinstrahlung (Einfluss Hangexposition und Hangneigung) und der lokalen Topographie (Windeinfluss; siehe Abb. 9) gemäss Tab. 6.2 korrigiert werden. Erfahrungsgemäss variieren die extremen Schneehöhen gegenüber dem Ausgangswert in Luv- und Leegebieten um $\pm 30\%$ und infolge des Einflusses der Sonneneinstrahlung um $\pm 20\%$. Bei durchschnittlichen Verhältnissen oder fehlender lokaler Erfahrung empfehlen wir auf eine Korrektur zu verzichten.

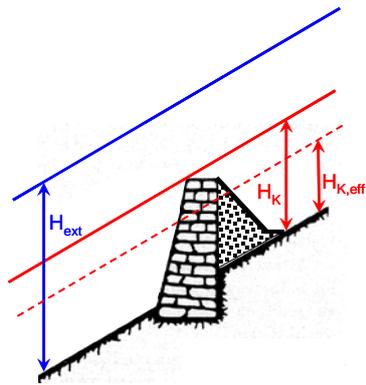
Bei Szenarien ≥ 100 Jahren ist die Werkhöhe von Mauern meist ungenügend oder sogar absolut ungenügend.

Tab. 5 > Beurteilung der effektiven Werkhöhe von Steinmauern und Mauerterrassen

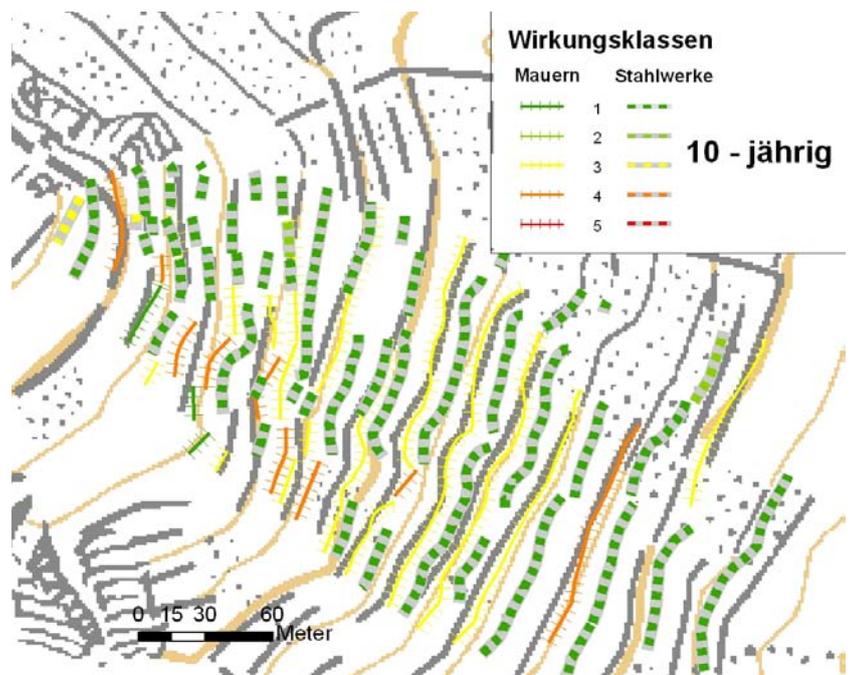
Beurteilung Werkhöhe	Kriterium
Absolut ungenügend (-) (Mauer zeigt keine relevante Wirkung).	$(H_{\text{ext}} - H_{K,\text{eff}}) > 2 \text{ m}$
Ungenügend (-)	$0 < (H_{\text{ext}} - H_{K,\text{eff}}) \leq 2 \text{ m}$
Genügend (+)	$H_{\text{ext}} \leq H_{K,\text{eff}}$

Abb. 7 > Definition der Werkhöhe H_K , der effektiven Werkhöhe $H_{K,\text{eff}}$ und der extremen Schneehöhe H_{ext}

Beachte, dass bei unterschiedlich geneigtem Gelände die talseitige Höhe einer Mauer grösser sein kann als H_K .


Abb. 8 > Darstellung der Wirkungsklasse für verschiedene Mauern und Stützwerke für ein 10-jährliches Szenario

Je extremer ein Szenario ist, desto mehr Mauern und Stützwerke werden den oberen Wirkungsklassen mit schlechterer Wirkung zugeordnet.



Tab. 6.1 > Berechnung der Schneehöhen H_{ext} für verschiedene Wiederkehrdauern

Mittelwerte über die gesamte Schweiz von Extremwertstatistiken ausgewählter Messstationen ohne Windeinfluss.

Wiederkehrdauer	Umrechnungsfaktor bezüglich der Schneehöhe mit einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren
30 Jahre	0,83
100 Jahre	1,0 Ausgangswert gemäss Technischer Richtlinie
300 Jahre	1,15
1000 Jahre (Extremereignis)	1,25

Tab. 6.2 > Korrekturfaktoren für die extreme Schneehöhe H_{ext} infolge Sonneneinstrahlung K_1 und Windexposition K_2

Die Faktoren K_1 und K_2 werden miteinander multipliziert ($H_{ext, korr} = H_{ext} \cdot K_1 \cdot K_2$).

Einflussfaktor	Korrekturfaktor für die extreme Schneehöhe
Nordsektor und Hangneigung > 15°	$K_1 = \text{ca. } 1,2$
Ost- und Westsektor und Hangneigung > 15°	$K_1 = 1$
Südsektor und Hangneigung > 15°	$K_1 = \text{ca. } 0,8$
Stark windexponiert (Luv; Kuppe, Rippe)	$K_2 = \text{ca. } 0,7$
Normal windexponiert	$K_2 = 1$
Windschatten (Lee; Senke, hinter Gratrücken)	$K_2 = \text{ca. } 1,3$

Abb. 9 > Pizzo Pettine, Leventina

Die mittlere Werkhöhe H_k der nur aus Steinmauern bestehenden Verbauung beträgt rund 2,4 m. Erfahrungsgemäss ist die Verbauung infolge der Windexponiertheit praktisch immer stark abgeblasen. Der Wind weht parallel zum Hang. Gemäss der technischen Richtlinie beträgt die extreme Schneehöhe H_{ext} für eine Wiederkehrdauer von 100 Jahren 6,1 m.



Photo: G. Valenti

Punkt III: Beurteilung der effektiven Werkabstände

Die Werkabstände sind gemäss der Technischen Richtlinie (Margreth 2007) abhängig von der Werkhöhe, dem Gleitfaktor (N), der Beschaffenheit der Bodenoberfläche ($\tan\phi$) und der Hangneigung. Bei Steinmauern und Mauerterrassen sind die Werkabstände mit der angepassten effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ (Abb. 6 und Abb. 7) zu berechnen. In vielen Fällen sind die tatsächlichen Werkabstände grösser als gemäss den Richtlinien. Bei zu grossen Werkabständen nimmt die Lawinenanbruchwahrscheinlichkeit zu. Dies wird pauschal bei der Bestimmung der Anrissmächtigkeit der Oberlawine berücksichtigt, indem der effektive mit dem richtliniengemässen Werkabstand unter Berücksichtigung der Hangneigung verglichen wird (Tab. 7).

Tab. 7 > Beurteilung der effektiven Werkabstände L'_{eff} im Vergleich zu den richtliniengemässen Werkabständen L'

Beurteilung	Hangneigung	
	< 40°	> 40°
genügend (+)	$L'_{eff} \leq 1,1 L'$	$L'_{eff} \leq 1,05 L'$
knapp genügend (+/-)	$1,1 L' < L'_{eff} \leq 1,25 L'$	$1,05 L' < L'_{eff} \leq 1,15 L'$
ungenügend (-)	$L'_{eff} > 1,25 L'$	$L'_{eff} > 1,15 L'$

Punkt IV. Bestimmung der Anrissmächtigkeit der Oberlawine

Die Anrissmächtigkeit der Oberlawine $d_{0,R}$ wird gemäss Tab. 8 unter Berücksichtigung der Beurteilung der Werkhöhe und des Werkabstandes in Funktion der Anrissmächtigkeit d_0 (Ausgangswert der Anrissmächtigkeit ohne Verbauung) bestimmt. Bei unterschiedlichen Werkhöhen und Werkabständen wird empfohlen, die Anrissmächtigkeit der Oberlawine mit Durchschnittswerten für repräsentative Sektoren oder für die gesamte Verbauung festzulegen. Die einzelnen Anrisshöhen der Mauern sind dabei mit dem Produkt aus Mauerlänge und Werkabstand zu gewichten, um die unterschiedliche Geometrie und Anordnung der Mauern zu berücksichtigen. Die Bestimmung der Anrissmächtigkeit der Oberlawine für Wiederkehrdauern von weniger als 50 Jahre ist gemäss diesem Verfahren als eher konservativ einzustufen (bei Lawinenberechnungen kann dies durch die Wahl von etwas kleineren Anrissflächen oder grösserer Reibung kompensiert werden). Die flächenhafte Darstellung der Wirkungsklassen der vorhandenen Mauern und Stützwerken für die zu untersuchenden Szenarien gibt einen guten Überblick über die zu erwartende Wirkung (Abb. 8).

Tab. 8 > Bestimmung der Wirkungsklasse von Mauern und der Anrissmächtigkeit von Oberlawine $d_{0,R}$ in Funktion der Werkhöhe, des Werkabstandes und der Anrissmächtigkeit im Ausgangszustand d_0

Beurteilung Werkhöhe (Tab. 6)	Beurteilung Werkabstand (Tab. 7)		Anrissmächtigkeit Oberlawine $d_{0,R}$	Wirkungsklasse	Relevante Wirkung*	
Genügend (+)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	$d_{0,R} = 0$	1	Ja	
Genügend (+)	Ungenügend (-)		$d_{0,R} = 0,5 d_0$	2	Bedingt	
Ungenügend (-)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	$d_{0,R} = H_{ext} - H_{K,eff}$ und $0,5 d_0 \leq d_{0,R} < 0,75 d_0$	3	Bedingt	
Ungenügend (-)	Ungenügend (-)		$d_{0,R} = 0,75 d_0$	4	Nein	
Absolut ungenügend (-)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	Ungenügend (-)	$d_{0,R} = d_0$	5	Nein

* grober Check, genaue Bestimmung gemäss PROTECT

Schritt 3.1.2: Schutzwirkung gegen Steinschlag

Steinmauern und Mauerterrassen können Steine abbremsen und auffangen (Abb. 10). Gegenüber von gegliederten Stützwerken sind Mauerterrassen in der Regel gegenüber von Sturzprozessen etwas weniger schadenempfindlich. Freistehende Steinmauern sind jedoch gegenüber Steinschlag schadenempfindlich und werden bei Aufprallenergien von mehr als 30 bis 50 kJ beschädigt. Wegen ihrer kleinen Wirkungshöhe werden Steinmauern und Mauerterrassen jedoch oft von Steinen übersprungen. Für einen Wanderweg direkt am Fusse einer Mauer kann z. B. eine bestimmte Schutzwirkung erwartet werden. In Verbauungen vom Typ 2 und 3 können die gegliederten Werke durch die Mauern einen gewissen Schutz vor Steinschlag erhalten. Die Schutzwirkung der Mauern hängt von der Hinterfüllung, der Werkhöhe und der Tragsicherheit resp. geotechnischen Stabilität ab. Bei grösseren Steinschlagereignissen können die Mauern zerstört und mitgerissen werden, was sich verschärfend auf den Prozess auswirken kann (Abb. 11 und Abb. 12).

Abb. 10 > Lawinenverbauung Faldum

Einzelne Steine wurden durch die Mauer aufgefangen.



Abb. 11 > Lawinenverbauung Faldum

Eingestürzte Mauer.



Photos M. Blum

Die Schutzwirkung von Mauern gegen Steinschlag kann durch geologische Beurteilungen evtl. verbunden mit Steinschlagsimulationen gemäss PROTECT (Romang 2009) abgeschätzt werden. Dabei werden Energien und Sprunghöhen ohne und mit Mauern bestimmt. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass bei Mauern je nach Bauart meist nur bei kleinen Steinschlagereignissen eine Schutzwirkung erwartet werden kann (rollende Steine mit Energien von weniger als 100 kJ). Zu beachten ist, dass die Mauer selber ein Ausbruchgebiet für Steinschlag darstellen kann (Abb. 11). Wenn den Mauern nicht mittels Steinschlagsimulationen oder Beobachtungen (Ereigniskataster) einen signifikanten Einfluss bezüglich Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden kann, ist keine relevante Wirkung anzunehmen. Die Relevanz ist lokal und für den gesamten Prozessraum zu beurteilen.

Schritt 3.1.3: Wirkung als Hangstabilisierung und Fundation

Die Beurteilung, ob Mauern eine relevante hangstabilisierende Wirkung zugesprochen werden kann ist schwierig. Meist muss die Beurteilung gutachtlich durch einen Vergleich der Hangstabilität und Bodenabtrag 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.

Mauern können im Allgemeinen nur oberflächennahe Rutschungen stabilisieren. Eine entsprechende Wirkung kann bei Mauerterrassen und teilhinterfüllten Mauern in steilem Gelände vorhanden sein. Die Mauern sind in den Hang eingebunden und die natürliche Hangneigung hat sich vielerorts aufgrund der Mauern neu eingestellt. Die Hangneigung ist durch die Mauern verkleinert worden, was zu einer Erhöhung der Hangstabilität führt. Tiefgründige Rutschungen können durch Mauern nicht stabilisiert werden. Wenn Mauern in kurzen Abständen gebaut wurden, kann der Ausfall einer Mauer zu einer Kettenreaktion mit einem Versagen von weiteren Mauern führen. Die hangstabilisierende Wirkung ist lokal und für den gesamten Prozessraum zu untersuchen.

Eine Wirkung als Fundation besteht in gemischten Verbauungen vom Typ 2. Die gegliederten Stützwerke sind auf oder im Bereich der Mauern fundiert. Eine relevante Wirkung kann dann bestehen, wenn ohne die Mauern die Tragsicherheit und Funktion des darüber liegenden Stützwerkes nicht gewährleistet ist. Ob diese Wirkung als relevant eingestuft werden kann, muss gutachtlich abgeschätzt werden.

3.3.2 Schritt 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 et al. 2009) oder «EconoMe» (BAFU 2010) berechnet werden. Die Risiken werden für den aktuellen Zustand der gesamten Verbauung bestimmt. Konnte 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. Andernfalls ist von einem unbedeutenden Beitrag der Mauern auszugehen. Die Resultate sind für die Festlegung der weiteren Erhaltungsstrategien wesentlich. Werden die Schutzziele resp. die zulässigen Risiken nicht erfüllt, muss die Sicherheit erhöht werden, in dem z. B. ergänzende Massnahmen vorgesehen werden (z. B. werden die Mauern durch gegliederte Stützwerke ersetzt, Beurteilungsschema Abb. 4: Massnahme E1).

3.3.3 Schritt 3.3: Überprüfung von negativen Wirkungen von Mauern

Nicht unterhaltene Mauern können instabil werden, was zum Ausbruch einzelner Steine oder zum Einsturz der gesamten Mauer führen kann. Die Beurteilung dieses Teilschrittes ist wichtig, falls keine Massnahmen an der Mauer geplant werden (Beurteilungsschema Abb. 4: keine Massnahme K1 und K2). Durch Steinschlag können einerseits 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 zu schützen.

Die Aufprallenergie eines Steines ist abhängig von der Höhe über Boden der Ausbruchsstelle in der Mauer, von der Grösse und Geometrie des Steines, von der Hangneigung, von der Bodenrauigkeit und von der Sturzstrecke bis zum Aufprall. Für den Mauerbau wurden mehrheitlich Steine mit einem mittleren Durchmesser von rund 0,5 m bis 1,0 m verwendet. Die Steine haben typischerweise Kubaturen von rund 0,2 m³ und ein Gewicht von 500 kg. Da die Steine eher abgeflacht sind, ist ihre «Bewegungsfreundlichkeit» im Vergleich zu runden Formen eingeschränkt. Zwischen Hangneigungen von 30° und 35° rollen oder gleiten die Steine, über 35° können sie auch springen. In Lawinenanrissgebieten liegen die Sprunghöhen meist zwischen 1 bis 3 m. In Lawinenanrissgebieten mit eher grossen Unebenheiten und tiefgründigen Böden kann mit einem Pauschalgefälle eines ausgebrochenen Steines von rund 70 % gerechnet werden.

Schritt 3.3.1: Steinschlag im Verbauperimeter

Gegliederte Stützwerke können durch Steinschlag beschädigt oder zerstört werden. Stahlschneebrücken werden bei Aufprallenergien von mehr als 20 bis 50 kJ beschädigt (Abb. 12) und flexiblen Schneenetze bei mehr als etwa 100 bis 150 kJ (Abb. 13). Die folgenden Faustregeln gelten für eine Steingrösse von 0,2 m³ mit einem Gewicht von 500 kg resp. 0,4 m³ mit 1000 kg und für eine Höhe der Ausbruchsstelle ab Boden von ca. 5 m:

- > Steine mit einer Kubatur von weniger als 0,2 m³ vermögen bis zur einer Hangneigung von 45° Stahlschneebrücken nicht wesentlich zu beschädigen (Aufprallenergie nach einem halben Werkabstand ca. 40 kJ und nach einem ganzen Werkabstand ca. 65 kJ), sofern die Sturzstrecke nicht grösser als ein richtliniengemässer Werkabstand ist.
- > Steine mit einer Kubatur von 0,4 m³ können Stahlschneebrücken stark beschädigen, die Zerstörung von Schneenetzen ist dagegen eher unwahrscheinlich, sofern die Sturzstrecke nicht grösser als ein richtliniengemässer Werkabstand ist (Aufprallenergie < ca. 120 kJ).

Zerfallende Mauern können die Wirkungshöhe von Stützwerken reduzieren. Ab einer Reduktion der Werkhöhe von 0,5 m wird ein Wegschaffen der Steine empfohlen (Abb. 12).

Abb. 12 > Lawinenverbauung Schönmad

Steinschlag zerstörte eine Steinmauer, die mitgerissen wurde. Weiter unten wurden und Stahlschneebrücken und Schneenetze beschädigt.



Foto C. Rönnau

Abb. 13 > Lawinenverbauung Duchli, Davos/GR

Schneenetze sind bei Steinschlag infolge des flexiblen Netzes weniger schadenempfindlich als starre Stahlschneebrücken.



Foto S. Margreth

Schritt 3.3.2: Steinschlag im Transit und Auslaufgebiet

Steine, die im Verbauperimeter nicht stoppen, können Personen und Objekte im Transit und Auslaufgebiet gefährden. Im Vergleich zu Steinschlag von natürlichen Ausbruchstellen ist die Kubatur, die Anzahl und die Aufprallenergien der Mauersteine beschränkt. Es wird empfohlen an Standorten, wo ein relevantes Schadenpotential besteht, die von zerfallenden Mauern ausgehende Steinschlaggefährdung durch ein geologisches Gutachten genauer abzuklären. Im Gutachten ist auch die natürliche Steinschlagaktivität zu berücksichtigen. Sind die Risiken infolge von natürlichem Steinschlag viel grösser, dürften spezielle Schutzmassnahmen gegen den von den Mauern ausgehenden Steinschlag oft nicht verhältnismässig sein.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang die Werkeigentümerhaftung, die die schärfste der gewöhnlichen Kausalhaftungen ist. Der Eigentümer von zerfallenden Steinmauern haftet für Schäden, die von zerfallenden Mauern ausgehen. Problematisch könnte dies sein, wenn Verkehrsachsen oder Wanderwege gefährdet sind (Portner 1996). Die Frage, wieweit die Werkeigentümerhaftpflicht bei Schadenereignissen infolge von durch zerfallende, nicht mehr unterhaltene Mauern geht, müsste im Einzelfall geklärt werden.

Nach dem Merkblatt «Naturgefahren bei Fuss- und Wanderwegen» (Tiefbauamt Bern 2002) gilt, dass «Wer einen Gefahrenzustand schafft, ist somit verpflichtet, alle notwendigen Vorsichts- und Schutzmassnahmen zu ergreifen, damit sich die entsprechende Gefahr nicht verwirklicht». Beispielsweise auf Bergwanderwegen müssen Wanderer grundsätzlich mit gefährlichen Naturereignissen rechnen (insbesondere Steinschlag und Lawinen). Das vielerorts und permanent vorhandene Steinschlagrisiko soll dabei nicht speziell signalisiert werden. Dagegen kann eine Signalisation auf spezielle Gefahrenstellen (oder sich abzeichnende Entwicklungen) hinweisen. Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, ob die Beseitigung allfälliger Mängel oder das Anbringen von Sicherheitsvorrichtungen technisch möglich ist und die entsprechenden Kosten in einem vernünftigen Verhältnis zum Schutzinteresse der Benutzer und zum Zweck des Werks stehen.

3.4 **Schritt 4: Massnahmen**

Ziel von Schritt 4 ist, die in einem Verbaugelände möglichen und sinnvollen Massnahmen festzulegen. Im Schritt 4.1 werden mögliche Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrassen aufgezeigt. Im Schritt 4.2 werden Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen diskutiert. Die Herleitung der möglichen Massnahme hängt von den Resultaten der Schritte 1, 2 und 3 ab. Für die einzelnen Massnahmen sind am Schluss im Schritt 4.3 die technische Machbarkeit zu überprüfen und die erwarteten Kosten zu schätzen. Oft stellen Massnahmenkombinationen eine optimale Lösung dar.

Schritt 4:
Massnahmen

3.4.1 **Schritt 4.1: Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrassen**

Schritt 4.1.1: Instandsetzung von Mauern

Die im Folgenden aufgezeigten Instandsetzungsmassnahmen an Trockensteinmauern und Mauerterrassen wurden anhand von Literatur (Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz, 1996; SIA 1996 und Schwing, E. 2007), Projektunterlagen, Experteninterviews und Feldaufnahmen zusammengestellt. Sie stellen die wichtigsten Massnahmen dar, um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Mauern wiederherzustellen, die sich in einem schlechten oder schadhafte Zustand befinden. Es gibt noch weitere Massnahmen und Massnahmen-Kombinationen sind ebenfalls möglich. Wenn sich eine Mauer in einem guten Zustand befindet, sind im Allgemeinen bis zur nächsten Werkkontrolle keine Instandsetzungsmassnahmen erforderlich.

M 1: Ab- und Wiederaufbau nach ursprünglicher Methode

Beschreibung: Die Trockensteinmauer wird an den defekten Stellen soweit abgetragen, bis stabiles Gefüge erreicht wird (Abb. 14.1). Anschliessend wird die Mauer nach alter Bauweise ohne Mörtel wieder aufgebaut (Abb. 14.2). Verwitterte Steine können ersetzt werden. Mit dieser Massnahme wird die Trockensteinmauer erhalten und stabilisiert.

Abb. 14.1 > Prinzipskizze vom Ab- und Wiederaufbau einer Trockensteinmauer nach ursprünglicher Methode

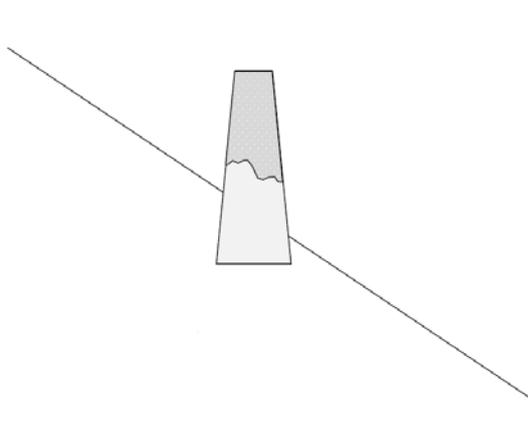


Abb. 14.2 > Bau einer Trockenmauer am Schafberg



Foto Amt für Wald, Graubünden

Der Ab- und Aufbau, der viel Erfahrung voraussetzt, erfolgt meist händisch. Die Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz hat eine Anleitung für den Bau und die Reparatur von Trockenmauern herausgegeben (1996). Der Einsatz von Maschinen ist nur ausnahmsweise möglich.

Voraussetzungen

- Nicht geeignet für Mauern die mit Stützwerken kombiniert wurden (Verbaumungstyp II)
- Kenntnisse zum Bau von Trockenmauern erforderlich (fehlt heute oft!)
- Gewicht der Steine sollte nur in Ausnahmefällen 100 kg überschreiten
- Problematisch, wenn Mauer teilweise eingestürzt ist und die Steine unterhalb der Mauer abgelagert wurden oder wenn die Qualität der Steine durch die Verwitterung nicht mehr genügt.

Kosten und Nutzungsdauer

- Kosten Ab- und Wiederaufbau: CHF 500–800.– pro m³
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- In stabilen Böden kann erfahrungsgemäss mit einer Nutzungsdauer von rund 80 Jahren gerechnet werden. In instabilen Böden kann die Nutzungsdauer reduziert sein. Die Nutzungsdauer kann mit den Erfahrungswerten der bestehenden Verbaumung abgeschätzt werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Qualität der Steine durch zunehmende Verwitterung abnimmt, was die Nutzungsdauer verkürzen kann.

Bewertung

Vorteile

- Schutzwirkung bleibt erhalten
- Kein neues Baumaterial erforderlich
- Falls erforderlich, relativ einfacher Rückbau
- Handwerkliche Kunst des Mauerbaus bleibt erhalten
- Kulturgut bleibt erhalten

Nachteile

- Geschultes Fachpersonal erforderlich
- Zeitintensive und teure Bauweise, insbesondere im steilen Gelände und wenn Steine abgestürzt sind
- Bei grossen Steinen problematisch
- Keine verbesserte Wirkung
- Problematik wiederkehrend

M 2: Vermörtelung evtl. kombiniert mit Ab- und Wiederaufbau

Beschreibung: Der Mörtel wird von aussen zwischen die Steinfugen eingespritzt. Angewitterte Steine erhalten ein grösseres Auflager und die Steine sind besser verankert. Bei dieser Methode wird die Mauer nicht abgebaut (Abb. 15.1 und 15.2).

Abb. 15.1 > Prinzipskizze einer Vermörtelung evtl. kombiniert mit Ab- und Wiederaufbau einer Trockensteinmauer

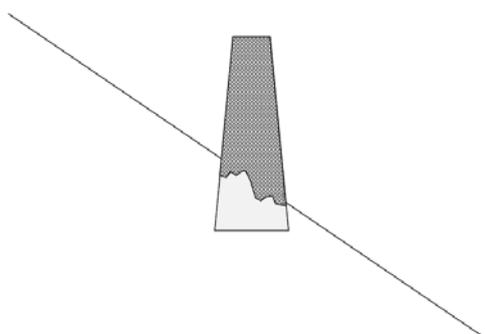


Abb. 15.2 > Vermörtelte Trockenmauer



Foto M. Gächter

Das Ausinjizieren sollte jedoch nicht auf der gesamten Mauerlänge durchgeführt werden, um eine genügende Entwässerung zu haben. Es ist auch möglich den Kern der Mauer mit Injektionen zu verstärken. Wenn die Mauer deformiert ist, muss sie zuerst abgebaut werden. Dabei sind die Steine zu reinigen. Beim anschliessenden Wiederaufbau werden die Steine vermörtelt. Problematisch ist, dass die Mauer ihre natürliche Verformungsfähigkeit verliert. Es ist auch möglich, nur beschädigte Kronen zu sanieren oder defekte Stellen soweit abzutragen, bis stabiles Gefüge erreicht wird.

Voraussetzungen

- Kenntnisse zum Bau von Trockenmauern erforderlich
- Für Ausinjizieren darf Mauer nicht zerfallen sein und die Baustelle muss mit Wasser erschlossen sein.
- Ein Ab- und Wiederaufbau ist für Mauern, die mit Stützwerten kombiniert wurden (Verbauungstyp 2), nicht geeignet.

Kosten und Nutzungsdauer

- Kosten Ab- und Wiederaufbau: CHF 500–600.– pro m³ (wegen einfacherer Bauweise ungefähr gleich wie M 1)
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- In stabilen Böden kann erfahrungsgemäss mit einer Nutzungsdauer von rund 80 Jahren gerechnet werden. In instabilen Böden kann die Nutzungsdauer stark reduziert sein.

Bewertung

Vorteile

- Schutzwirkung bleibt erhalten
- Durch den Einbau von vertikalen Stabankern kann der Mauerkörper stabilisiert werden.

Nachteile

- Mauerkörper weniger flexibel (starres Element)
- Bei ungenügender Drainage Aufbau von Wasserdruck
- Vermörtelung bis zum Fundament erforderlich.
- Verändertes Erscheinungsbild
- Zukünftiger Rückbau schwierig.

M 3: Betonvorbau

Beschreibung: Für die Sanierung defekter Fundamente ist es möglich, einen Vorbau aus bewehrtem Beton am Fuss der Steinmauern zu erstellen (Abb. 16.1 und 16.2). Der Betonvorbau ist dabei im tragfähigen Boden fundiert und bei Bedarf verankert. Die Anker weisen typischerweise einen Abstand von ca. 2 bis 4 m auf. Der Vorbau kann auf beliebiger Länge vor der Mauer hochgezogen werden. Die Höhe richtet sich nach der Stabilität der Mauer. Mit dieser Methode können ganze Fundamente oder auch nur einzelne Ecken einer Mauer saniert werden. An den nicht abgestützten Bereichen der Mauer können weiterhin Schäden entstehen. Diese Sanierungsmethode wird oft angewendet.

Abb. 16.1 > Prinzipskizze eines Betonvorbaus an einer freistehenden Steinmauer

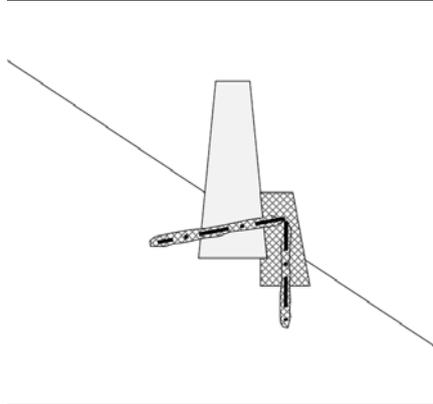


Abb. 16.2a > Faldumalp



Foto M. Blum

Abb. 16.2b > Schafberg



Foto S. Margreth

Voraussetzungen

- Für alle Verbauungstypen geeignet.
- Massnahme nur anwendbar, wenn Mauer nicht stark deformiert ist und nur Schäden am Fundament oder an Ecken aufweist.
- Drainage der Mauer muss gewährleistet bleiben – Hangwasser darf nicht zu Wasserdruck führen.

Kosten und Nutzungsdauer

- Kostenentscheidend sind die Transportdistanzen für den Beton und die erforderliche Fundationstiefe: CHF 1800–2000.– pro m' (Laufmeter Betonvorbau) resp. CHF 600.– bis 1500.– pro m³ Beton.
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- Da diese Sanierungsmassnahme in eher problematischen Situationen (Stabilität Mauer, Geländeverschiebung) zum Einsatz kommt, ist mit einer etwas reduzierten Nutzungsdauer von rund 60 Jahren zu rechnen.

Bewertung

Vorteile

- Schutzwirkung bleibt erhalten

Nachteile

- Kostenschätzung schwierig
- Zeitaufwändig
- Beim Fundamentaushub wird Stabilität der Mauer reduziert.
- Bei ungenügender Drainage Aufbau von Wasserdruck
- Stark verändertes Landschaftsbild
- Zukünftiger Rückbau schwierig.
- Stabilität Mauerkrone wird nicht verändert.

M 4: Umpacken in Drahtsteinkörbe

Beschreibung: Die Mauer wird abgebrochen und anschliessend werden die Steine in Drahtsteinkörbe umgepackt (Abb. 17.1 und 17.2). Grosse Steine müssen evtl. zerkleinert werden. Falls das Fundament der Mauer ausreichend stabil ist, können die Drahtsteinkörbe auf dem Mauerfundament aufgebaut werden. In der Regel ist dies nicht der Fall und die Drahtsteinkörbe müssen im Boden fundiert werden. Das Fundament muss evtl. mit Beton stabilisiert und gegebenenfalls rückverankert werden. Für das Erstellen einer Mauer aus Drahtsteinkörben mit unveränderter Mauerhöhe wird ein grösseres Steinvolumen benötigt, da die Mauern in der Regel eine kleinere Breite aufweisen als die Drahtsteinkörbe. Diese Massnahme wird häufig eingesetzt.

Abb. 17.1 > Prinzipskizze von in Drahtsteinkörben umgepackten Steinmauer

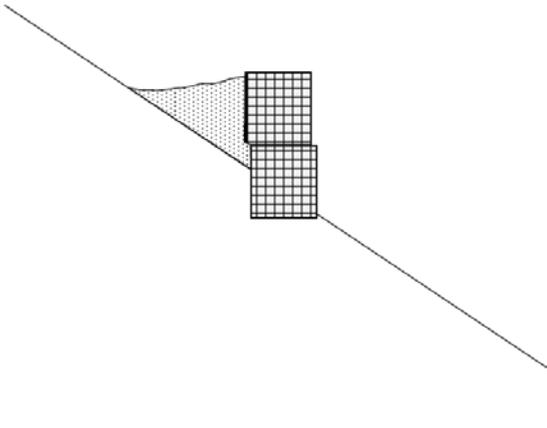


Abb. 17.2 > Füllen von Steinkörben

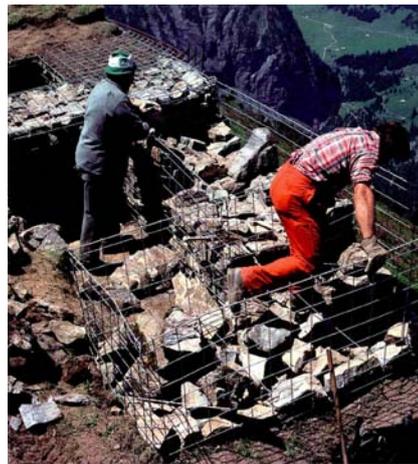


Foto BLS

Voraussetzungen

- Nicht geeignet für Mauern, die mit Stützwerken kombiniert wurden (Verbauungstyp 2)
- Drahtsteinkörbe müssen als Gewichtsmauern fundiert werden können.
- Steine dürfen nur in Ausnahmefällen das Gewicht von 100kg überschreiten (Zerkleinerung erforderlich, um ein Einbau von Hand zu ermöglichen)
- Der Baugrund muss stabil und die Einwirkungen infolge von Schneedruck und Steinschlag müssen von der Mauer aufgenommen werden können (vgl. Abb. 17.3 und 17.4).

Kosten und Nutzungsdauer

- Die Qualität des Fundaments ist für die Kosten entscheidend. Muss die gesamte Mauer mit Fundament abgetragen werden, fallen höhere Kosten an, als wenn das Fundament der bestehenden Mauer verwendet werden kann: CHF 600–1000 pro m³ Drahtsteinkorb.
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 1–2 % der Baukosten
- Die Nutzungsdauer ist insbesondere von möglichen Hangbewegungen, Steinschlag und Korrosion abhängig. Unter normalen Bedingungen kann mit einer Lebensdauer von mindestens 50 Jahren gerechnet werden.

Abb. 17.3 > Deformierte Drahtsteinkörbe, Lawinerverbauung Forcella



Photo: Amt für Wald, Graubünden

Abb. 17.4 > Sicherung deformierter Drahtsteinkörbe mit Rückhalteseilen, Lawinerverbauung Forcella. Problematisch ist, dass die Rückhalteseile Steinschlag und Schneedruck ausgesetzt sind



Photo: Amt für Wald, Graubünden

Bewertung

Vorteile

- Schutzwirkung wird nur wenig reduziert
- Steinmaterial kann vor Ort gesichert werden.
- System kann Hangbewegungen zu einem gewissen Grad aufnehmen
- Kein Wasserstau
- Geringe Materialtransporte
- Bautechnisch relativ einfach durchführbar
- Zukünftiger Rückbau relativ einfach möglich

Nachteile

- Es muss ein gutes Fundament/stabiler Baugrund vorhanden sein
- In steilem Gelände ist die Baudurchführung problematisch
- Bei grossen Steinen erschwerte Bedingungen
- Häufig nicht genügend Steinmaterial vorhanden
- Bei hinterfüllten Mauern fällt viel Material an
- Maximale mögliche Höhe mit geschichteten Steinkörben ca. 3–4 m (meist ungenügende Wirkung)

M 5: Netzabdeckung mit Verankerung

Beschreibung: Die Steine der Mauer werden mit einem verankerten Stahldrahtgeflecht stabilisiert (Abb. 18.1 und 18.2). Die Mauer bleibt im ursprünglichen Zustand erhalten. Durch das Geflecht wird auf die Mauer eine gewisse Vorspannung ausgeübt. Die Mauer wird so in ihrer Form gehalten. Das Netz wird typischerweise mit 2 bis 3 Ankerlagen rückverankert. Meistens mit einer Ankerlage am Mauerfuss, im Bereich der Mauerkrone und evtl. am bergseitigen Ende der Einschüttung. Die Abstände zwischen den Ankern betragen 2 bis 5 m und die Ankerlängen zwischen 4 und 7 m. Am oberen und unteren Ende wird das Stahldrahtgeflecht mit einem Drahtseil gehalten. Evtl. sind zusätzliche Anker, die das Netz an Einbuchtungen an die Mauer drücken, erforderlich.

Abb. 18.1 > Prinzipskizze einer Netzabdeckung mit Verankerung

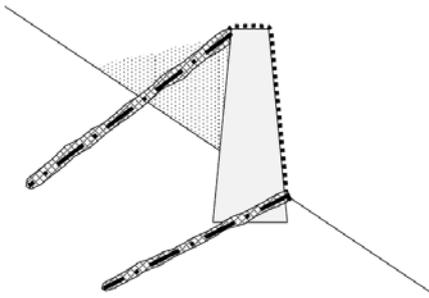


Abb. 18.2 > Trockenmauer mit rückverankertem TECCO-Drahtgeflecht



Foto M. Gächler

Voraussetzungen

- Nur bedingt geeignet für Mauern die mit Stützwerken kombiniert wurden (Verbauungstyp 2)
- Die Mauer muss mehrheitlich hinterfüllt sein, um das Netz bündig zur Oberfläche fixieren zu können.
- Das Erstellen von Verankerungen muss möglich sein
- Die Mauer sollte nicht zu inhomogen sein, Trittsteine stellen jedoch in der Regel kein Problem dar

Kosten und Nutzungsdauer

- Kosten ca. CHF 500–600.– pro m² abgedeckte Mauerfront.
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- Erfahrungsgemäss kann mit einer Nutzungsdauer von rund 80 Jahren gerechnet werden.

Bewertung

Vorteile

- Mauer bleibt in ursprünglicher Form erhalten
- Geringe Verschiebung von Steinmaterial nötig
- Gute Erfahrungen
- Schutzwirkung bleibt erhalten
- Durch die entstehende Mörtelsäule der Anker wird die Mauer zusätzlich gestützt
- Netz kann leichte Hangbewegungen aufnehmen
- Mauer ist nach wie vor wasserdurchlässig

Nachteile

- In Gelände mit Steinschlagaktivität kann das Stahldrahtgeflecht beschädigt werden
- Mauern müssen hinterfüllt sein
- Bei hohen Mauern ist das Bohren des obersten Ankers schwierig
- Netz auf und hinter der Mauer kann eine Gefährdung für Wild darstellen

M 6: Rückverankerungen

Beschreibung: Wenn der Zustand einer Mauer als Ganzes gut ist, jedoch der untere Teil baucht oder sich hangabwärts bewegt, kann das Bauwerk durch Verankerungen im tragfähigen Boden stabilisiert werden (Abb. 19.1). Die Erddruckbelastung auf das Mauerwerk wird reduziert. Dazu werden Bodennägel oder Injektionsbohranker durch die Mauer in den Boden abgeteufelt und vermörtelt (Abb. 19.2). Für eine bessere Übertragung der Ankerkräfte auf die Mauer können Stahlplatten oder Betonriegel als Lastverteilungselemente eingesetzt werden. Je nach Zustand der Mauer beträgt die Distanz zwischen den Anker 3 bis 4 Meter. Die Ankerlängen betragen zwischen 4 und 7 m. Die konzentrierte Kraftabgabe ohne Lastverteilungselemente auf eine auffällige Mauer lässt sich statisch meist nicht verantworten.

Abb. 19.1 > Prinzipskizze einer rückverankerten Steinmauer

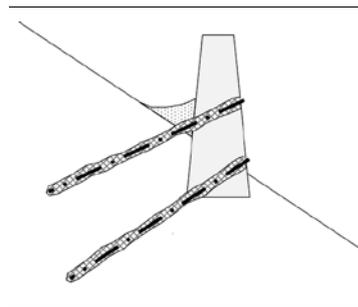


Abb. 19.2a > Versetzen von Anker in Trockenmauer



Foto M. Gächter

Abb. 19.2b > Steinmauer mit vermörteltem Anker ohne Kopfplatte

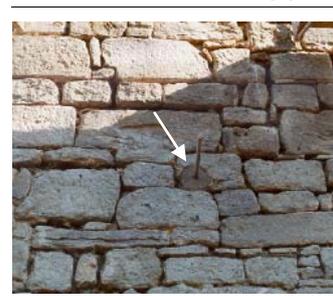


Foto Ischebeck

Voraussetzungen

- Für alle Verbauungstypen geeignet.
- Der Zustand der Mauer muss gut sein (Steine nicht aufgelockert)
- Je grösser die Steine der Mauer sind, desto einfacher ist die technische Umsetzung. Bei sehr kleinen Steinen können diese nicht stabilisiert werden
- Mauer muss im Bereich der Anker hinterfüllt sein
- Die Geländebedingungen müssen das Bohren von Anker zulassen

Kosten und Nutzungsdauer

- Kosten: ca. CHF 1100.– pro m' Mauer resp. CHF 300 bis 500.– pro m' Anker.
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- Bei dieser Massnahme handelt es sich um eine Stabilisierung bestehender Deformationen einer Mauer. Deshalb wird von einer reduzierten Nutzungsdauer von maximal 60 Jahren ausgegangen

Bewertung

Vorteile

- Relativ geringer Materialaufwand
- Durch entstehende Mörtelsäule wird Mauer zusätzlich stabilisiert
- Zukünftiger Rückbau relativ einfach möglich
- Schutzwirkung bleibt erhalten

Nachteile

- Bei hohen Mauern ist das Bohren der oberen Anker schwierig
- Bei zu geringem Abstand der Anker, kann bei nicht funktionierender Drainage Wasserdruck entstehen
- Bemessung der Anker ist unsicher
- Einleitung Ankerkraft auf Mauer ist schwierig
- Nur bei grossen Steinen möglich
- Haltbarkeit Mörtelsäule im Mauerbereich beschränkt (Brüche und Korrosion)
- Bohre kann zu Auflockerung des Gesteingefüges führen, Stabilität der Mauerkrone wird nicht verbessert.

M 7: Verkleidung mit Spritzbeton

Beschreibung: Die Mauer wird mit Spritzbeton verkleidet (Abb. 20.1 und 20.2). Für einen guten Verbund mit dem Mauerwerk ist das Anbringen von Bewehrungsnetzen erforderlich. Es entsteht eine starre Mauer mit ursprünglicher Höhe. Verkleidungen mit Spritzbeton wurden nur ganz selten eingesetzt. Die Drainage der Mauer ist schwierig.

Abb. 20.1 > Prinzipskizze einer Steinmauer mit einer Verkleidung aus Spritzbeton

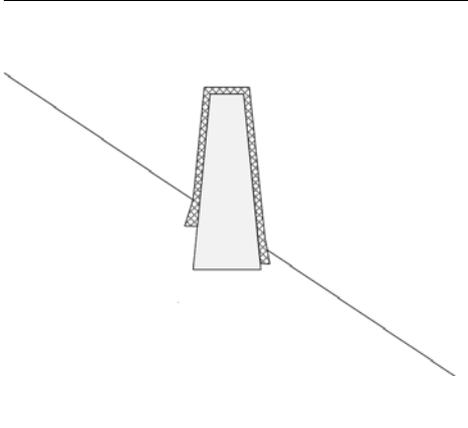


Abb. 20.2 > Mit Spritzbeton sanierte Trockenmauer



Foto Amt für Wald und Jagd, Kt. Uri

Voraussetzungen

- Für Verbauplast 2 nur bedingt geeignet
- Die Mauer darf nicht zu grosse Deformationen aufweisen.
- Das Projektgebiet muss gute erschlossen sein.
- Für Mauerterrassen oder hinterfüllte Mauern wegen möglichem Wasserdruck nur bedingt geeignet.
- In instabilem Gelände nicht empfehlenswert.

Kosten und Nutzungsdauer

- Kostenentscheidende Faktoren sind die Zugänglichkeit der Baustelle, der Zustand der Mauer und die erforderliche Stärke der Betonumhüllung. Kosten: > CHF 2000.- pro m² Mauer.
- Zukünftige Unterhaltskosten pro Jahr: ca. 2 % der Baukosten
- Die Nutzungsdauer dieser Massnahme ist stark abhängig von externen Einflüssen wie Steinschlag oder Hangbewegungen. Wir schätzen die Nutzungsdauer auf rund 40 Jahre.

Bewertung

Vorteile

- Schutzwirkung der Mauer bleibt erhalten
- Stabilisation des gesamten Mauerkörpers

Nachteile

- Mauer wird zu einem starren Element
- Verkleidete Mauer ist sehr anfällig auf Hangbewegungen und Wasserdruck
- Sehr grosser Arbeitsaufwand
- Anfällig auf Steinschlagereignisse
- Gute Sichtbarkeit
- Zukünftiger Rückbau schwierig

Schritt 4.1.2: Rückbau der Mauern

Der Abbruch und Rückbau ist insbesondere für Mauern angezeigt, die sich in einem schlechten Zustand befinden oder wenn 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.

R 1: Rückbau und Deponieren der Steine im Projektgebiet

Beschreibung: Die Mauern werden soweit abgebrochen bis der Rest stabil ist. Das Steinmaterial wird so im Projektgebiet deponiert, dass es gegen Losrollen gesichert ist (Abb. 21.1). Falls es das Projektgebiet zulässt, können die Steine auch auf Schutt- und Geröllhalden sowie in Runsen deponiert werden. Häufig ist es möglich einen Teil der Steine an den früheren Ausbruchstellen zu deponieren. Im Projektgebiet werden die Steine der Mauern mit Schreitbaggern (Abb. 21.2), Motorkaretten oder von Hand abgebrochen und deponiert. Maschinen sind dann interessant, wenn eine grosse Kubatur zu bewältigen ist. Wenn kleinere Wege vorhanden sind oder leicht erstellt werden können, ist es möglich Raupenbagger einzusetzen.

Abb. 21.1 > Prinzipskizze einer rückgebauten Steinmauer, wo die Steine bergseitig deponiert werden

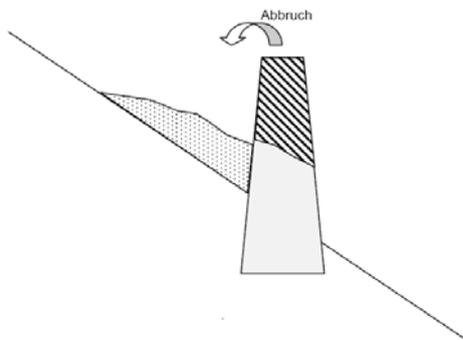


Abb. 21.2 > Rückbau einer Steinmauer mit einem Schreitbagger. Bis zu einer Hangneigung von etwa 38° können solche Maschinen rationell eingesetzt werden



Foto M. Gächter

Voraussetzungen

- Für alle Verbautypen geeignet. Wenn sich die Mauern im Wald befinden, kann der Einsatz von Baumaschinen eingeschränkt sein.
- Die deponierten Steine dürfen nicht durch Schneebewegungen oder Starkniederschläge weggerissen werden.
- Durch den Rückbau der Mauern darf keine Gefährdung durch Steinschlag entstehen:
- Mittlere Hangneigung nicht grösser als ca. 38° (80 %)
- Genügend natürliche Ablagerungsstellen (Mikrotopographie) müssen vorhanden sein
- Das Projektgebiet muss für die Bauausführung (Motorkarette, Schreit- oder Raupenbagger) wenn möglich erschlossen sein.
- Für ein manuelles Deponieren der Steine sollte ein Gewicht von 100 kg (ca. 0,05 m³) nicht überschritten werden.
- Während den Abbrucharbeiten sind Sicherungsmassnahmen für versehentlich abstürzende Steine in Betracht zu ziehen.

Kosten und Nutzungsdauer

- Es entstehen einmalige Investitionskosten für den Rückbau der Mauern im Projektgebiet. Unterhaltskosten sind nicht zu berücksichtigen.
- Kostenentscheidende Faktoren: Erschliessungssituation, Transportdistanz zu den Ablagerungsmöglichkeiten und Steingrössen. Kosten: ca. CHF 200–300.– pro m³ Mauer.
- Um Kostenvergleiche mit anderen Massnahmen durchführen zu können, soll eine pauschale Nutzungsdauer von 200 Jahren angenommen werden.

Bewertung

Vorteile

- Nur einmalige Investitionskosten, keine Folgekosten
- Bautechnisch einfaches Vorgehen
- Relativ gut abschätzbare Kosten
- Steine bleiben im Projektgebiet erhalten (Biodiversität)
- Keine Steinschlagproblematik

Nachteile

- Hangneigung nicht grösser als 38°
 - Mauern mit grossen Steinen sind schwieriger für Rückbau
 - Schutzwirkung wird reduziert
 - Unsorgfältig deponierte Steine können abstürzen oder durch Schneebewegungen weggerissen werden
 - Bei gemischten Verbauungen (Verbautyp II und III) ist der Werkabstand oft zu klein, um die Steine in Mauernähe zu deponieren.
 - Massnahme kann zu Unverständnis in der Bevölkerung führen.
-

R 2: Rückbau und Wegtransport der Steine

Beschreibung: Wenn das Gelände für eine Deponierung der Steine nicht geeignet ist, kann das Steinmaterial auch wegtransportiert werden (Abb. 22.1). Das Material muss bis zu einem geeigneten Lagerplatz befördert werden. Je nach Geländebeschaffenheit geschieht der Transport per Lastwagen, Transportseilbahn oder Helikopter (Abb. 22.2). Dabei wird nur so viel Material abtransportiert, wie nicht im Projektgebiet deponiert werden kann. Eine Transportseilbahn ist nur wirtschaftlich, wenn eine grosse Anzahl Steine wegtransportiert werden muss. Problematisch sind die Quertransporte zur Seillinie. Der Helikopter ist insbesondere bei kleineren Steinkubaturen attraktiv. Wenn es die Geländeeigenschaften zulassen, kann man die Steine auch bis zu einem geeigneten Verladeplatz kontrolliert den Hang abstürzen lassen und erst anschliessend wegtransportieren. Diese Variante ist ungeeignet im Wald und bei gemischten Verbauungsgebieten (Verbauungstyp 2 und 3).

Abb. 22.1 > Prinzipskizze einer Steinmauer, die rückgebaut wird und wo die Steine wegtransportiert werden

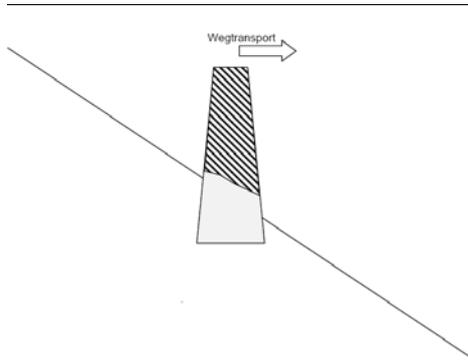


Abb. 22.2 > Wegtransport von Mauersteinen in Transportsäcken z. B. mit Helikopter



Foto Air Glacier

Voraussetzungen

Nur bedingt geeignet für Mauern die mit Stützwerken ergänzt wurden (Verbauungstyp III)

Wahl des Verfahrens hängt stark von der Befahrbarkeit des Geländes und der Transportdistanz ab:

- Lastwagen: befahrbare Strasse im Projektgebiet ist Voraussetzung
- Transportseilbahn ist technisch meist durchführbar, jedoch werden für einen rentablen Einsatz sehr grosse Mengen an Steinen benötigt (Einsatz Ausnahmefall)
- Helikopter ist im Gelände fast immer anwendbar. Aufgrund der Grösse der Transportsäcke ist in der Regel mit Kleinhelikoptern vorzugehen

Für das manuelle Abbrechen der Mauern sollten die Steine nur in Ausnahmefällen das Gewicht von 100kg überschreiten. Andernfalls ist ein maschinelles Vorgehen empfohlen.

Während den Abbrucharbeiten sind Sicherungsmassnahmen für versehentlich abstürzende Steine in Betracht zu ziehen.

Kosten und Nutzungsdauer

Es entstehen einmalige Kosten für den Abbruch der Mauern.

Kostenentscheidende Faktoren:

- Lastwagen: Erschliessung, Transportdistanz
- Helikopter: Meereshöhe, vertikale/horizontale Distanz

Investitionskosten

Lastwagen: Abbruch, Be-/Entladen: ca. CHF 200–400.– pro m³ Mauer

Helikopter:

- Abbruch in Transportsack: CHF 200–250.– pro m³
- Transport: CHF 250–750.– pro m³
- Leeren Transportsäcke: CHF 50.– pro m³
- **Totale Kosten** ca. CHF 500–1000.– pro m³ Mauer

Um Kostenvergleiche mit anderen Massnahmen durchführen zu können, soll eine pauschale Nutzungsdauer von 200 Jahren angenommen werden.

Bewertung

Vorteile

- Nur einmalige Investitionskosten
- Bautechnisch einfaches Vorgehen
- Relativ gut abschätzbare Kosten
- Keine Steinschlagproblematik

Nachteile

- Rückbau der Mauern führt zu reduzierter Schutzwirkung
 - Für Transport mit Lastwagen muss das Projektgebiet gut erschlossen sein
 - Bei Transport mit Helikopter Lärm- und Umweltbelastung problematisch
 - Bei gemischten Verbauungen (Verbautypen II und III ist der Abstand zwischen den Werken für ein effizientes Arbeiten oft zu gering.
 - Massnahme kann zu Unverständnis bei der Bevölkerung führen
-

Schritt 4.1.3: Keine Instandsetzung

K 1: Natürlicher Zerfall der Mauern

Beschreibung: Die Mauer wird nicht mehr Instand gehalten und dem natürlichen Zerfall überlassen (Abb. 23.1). Mit der Zeit brechen Steine aus und lagern sich unterhalb der Mauer ab. Erfahrungen haben gezeigt, dass die Mauern in der Regel langsam und stückweise zerfallen (Abb. 23.2). Ein einmaliger totaler Zusammenbruch ist selten. Durch den Zerfall der Mauern ist mit erhöhter Steinschlagaktivität zu rechnen, die je nach örtlichen Gegebenheiten genauer analysiert werden muss. Durch periodische Kontrollen der zerfallenden Bauwerke können gefährlich Situationen oft rechtzeitig erkannt werden (z. B. Gerölllawine durch totalen Einsturz einer Mauer mit weiteren Folgeeinstürzen).

Abb. 23.1 > Prinzipskizze einer zerfallenden Steinmauer

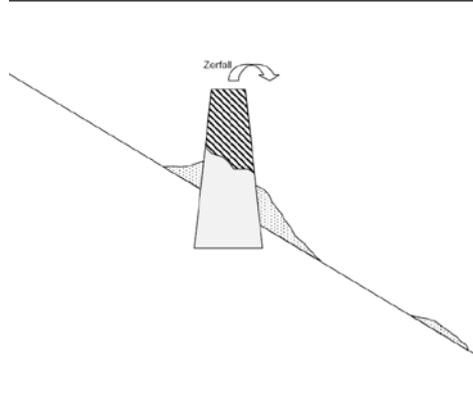


Abb. 23.2 > Zerfallende Mauerterrasse, Val Clùx, Pontresina



Foto S. Margreth

Voraussetzungen

- Nur bedingt geeignet für Mauern, die mit Stützwerken kombiniert wurden (Verbauungstyp II) resp. nicht geeignet für Mauern, die mit Stützwerken ergänzt wurden (Verbauungstyp III)
- Durch den Zerfall der Mauer darf keine Gefährdung entstehen:
- Kein Schadenpotential (Stützverbau, Wald, Verkehrswege, Wanderwege, Siedlungsgebiet) im Prozessraum oder
- Steinschlaggefährdung wird als akzeptierbares Restrisiko eingestuft, d. h. Energien und Intensitäten durch Steinschlag sind entsprechend klein oder die natürliche Steinschlaggefährdung ist um Faktoren grösser.

Kosten und Nutzungsdauer

- Neben allfälligen Begehungskosten und evtl. geologischen Abklärungen entstehen keine weiteren Kosten.

Bewertung

Vorteile

- Es entstehen keine Kosten
- Massnahme ist unabhängig von Zugänglichkeit
- Mauern bleiben als «Zeitzeugen» über eine gewisse Zeit erhalten
- Bautechnisch einfaches Vorgehen
- Steine bleiben im Projektgebiet erhalten (Biodiversität)
- Es ist möglich einige Mauern als «Fangmauern» zu erhalten, um die darüber stehenden Mauern bei einem totalen Zerfall aufzufangen

Nachteile

- Aufgabe der Mauern führt zu reduzierter Schutzwirkung
- Zerfallende Mauern können zu Steinschlagaktivität führen
- Der Zerfall der Mauern kann zu erhöhter Bodenerosion führen
- Zusätzliche geologische Beurteilungen können erforderlich sein
- Massnahme kann zu Unverständnis in der Bevölkerung führen

K2: Späterer Unterhalt

Bei alten Mauern (Nutzungsdauer > 50 Jahre), die sich in einem guten Zustand befinden und die bisher nicht saniert wurden, besteht kein dringender Handlungsbedarf. Zu beachten ist aber, dass infolge der fortgeschrittenen Nutzungsdauer mittelfristig mit erhöhten Unterhaltskosten zu rechnen ist (ca. 4 % der Investitionskosten).

3.4.2 Schritt 4.2: Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen

E 1: Ersatz der Mauern mit gegliederten Stützwerken

Beschreibung: Abgebrochene Mauern (R 1 und R 2) werden durch neue, richtliniengemässe Stützwerke ersetzt (Abb. 24.1 und 24.2). Da alte Verbauungen mit Mauern meist nicht richtliniengemäss erstellt wurden, werden in der Regel mehr Laufmeter Stützwerke benötigt. Es können einzelne Mauern, aber auch gesamte Verbauungen aus Mauern mit Stützwerken ersetzt werden. Wenn die bestehende Verbauung eine ungenügende Wirkung aufweist und von den Mauern eine Steinschlaggefährdung ausgeht, stellt diese Massnahme eine gute Lösung dar.

Abb. 24.1 > Prinzipskizze einer rückgebauten Steinmauer, die durch gegliederte Stützwerke ersetzt wird

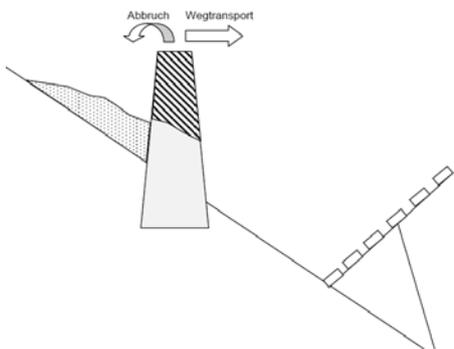


Abb. 24.2 > Schneebrücken ohne wirksame Mauern am Schiahorn, Davos



Foto S. Margreth

Voraussetzungen

- Nur bedingt geeignet für Mauern, die mit Stützwerken kombiniert wurden (Verbauungstyp 2)
- Mauern müssen soweit rückgebaut werden können, dass die gegliederten Stützwerke richtliniengemäss erstellt werden können.
- Im Verbauperimeter muss es bautechnisch möglich sein, gegliederte Stützwerke zu bauen (Baugrundverhältnisse, Steinschlag, Topographie, noch vorhandene Mauern, Steindeponien).

Kosten und Nutzungsdauer

- Neben den Kosten für den Rückbau der Mauern entstehen Investitionskosten für den Neubau der Stützwerke. Die Kosten für gegliederte Stützwerke sind von den Standortbedingungen abhängig (Schneehöhe, Schneegleiten, Fundationsverhältnisse, Transportverhältnisse):
- Permanente Stützwerke: CHF 1500–2500.– pro m'
- Temporäre Stützwerke: CHF 600–800.– pro m'
- Die Unterhaltskosten für gegliederte Stützwerke betragen im Durchschnitt rund 1 % der Investitionskosten.
- Bei permanenten Stützwerken kann mit einer Nutzungsdauer von 80 Jahren gerechnet werden.

Bewertung

Vorteile

- Erhöhung der Schutzwirkung durch einen richtlinienkonformen Verbau möglich
- Mauern sind einem richtlinien-konformen Verbau nicht im Weg
- Relativ gut abschätzbare Kosten
- Problem langfristig gelöst
- Es ist möglich einige Mauern als «Fangmauern» zu erhalten, um die darüber stehenden Mauern bei einem totalen Zerfall aufzufangen

Nachteile

- Beim lokalen Deponieren der Steine darf die Hangneigung nicht grösser als ca. 38° (80 %) sein
- Unsorgfältig deponierte Steine können mobilisiert werden
- Hohe Kosten

E 2: Ergänzung der Mauern mit gegliederten Stützwerken

Beschreibung: Die wirksame Höhe von Mauern ist oft zu klein. Um die Wirksamkeit der Verbauung zu erhöhen kann diese mit gegliederten Stützwerken ergänzt werden (Abb. 25.1 und 25.2). Die Stützwerke werden richtliniengemäss zwischen die Mauern eingebaut und übernehmen die Schutzwirkung. Wenn die Mauern eine relevante Wirkung haben, werden sie unterhalten. Zeigen die Mauern jedoch keine relevante Wirkung, werden sie nicht mehr unterhalten. Ohne Unterhalt der Mauern muss die Steinschlaggefährdung beurteilt werden und die Stützwerke sind entsprechend anzupassen (Schneenetze anstelle von Schneebrücken; Rost evtl. abdecken). Handelt es sich um sehr hohe Mauern und eine relevante Steinschlaggefährdung empfiehlt es sich entweder die Mauern vorgängig abzubrechen oder zu unterhalten. Wenn die Mauern in aufgelöster Verbauweise erstellt wurden, kann die Errichtung von richtliniengemässen, durchgehenden Werkreihen schwierig sein. Dann ist ebenfalls ein Abbruch bzw. Rückbau der hinderlichen Mauern angezeigt.

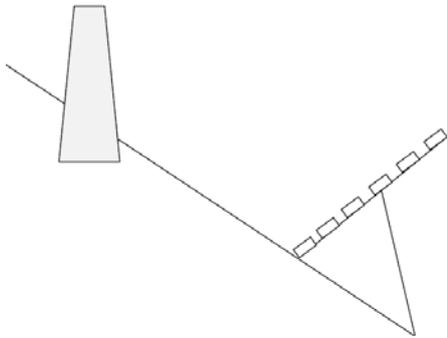
Abb. 25.1 > Prinzipskizze einer Steinmauer, die mit gegliederten Stützwerken ergänzt wird**Abb. 25.2 > Mauerterrassen ergänzt mit Stützwerken, Dorfberg, Davos**

Foto S. Margreth

Voraussetzungen

- Für alle Verbautypen geeignet, sofern sie sich nicht im Wald befinden.
- Die Ergänzung der Mauern ist für die Massnahmenvarianten mit Instandsetzung (M1 – M7) und ohne Instandsetzung (K1 und K2) möglich.
- Werden die Mauern nicht unterhalten, darf durch den Zerfall der Mauer keine Gefährdung entstehen:
- Gefährdung durch Steinschlag ist als akzeptierbares Restrisiko einzustufen, d. h. Aufprallenergien und Intensitäten sind entsprechend klein (vergleiche negative Wirkung von Steinmauern – Schritt 3.3).
- Hangneigung muss wegen Aufprallenergie kleiner als 45° sein.
- Neue Stützwerke werden durch abbrechendes Steinmaterial nicht mehr als 0,5 m hinterfüllt.
- Temporäre Stützwerke aus Holz sind nicht geeignet.
- Verbau mit modernem Stützwerken muss im Gebiet möglich sein (insbesondere Anordnung).
- Die neuen Stützwerke sollten unabhängig von den Mauern fundiert werden.
- Die wirksame Höhe der neuen Stützwerke darf durch die Mauern nicht beeinträchtigt werden (Stützwerke nicht direkt unterhalb von Mauern erstellen).

Kosten und Nutzungsdauer

- Durch den Neubau von gegliederten Stützwerken entstehen sowohl Investitions- als auch Unterhaltskosten. Werden die Mauern nicht unterhalten, muss an den Stützwerken mit erhöhten Unterhaltskosten gerechnet werden (Steinschlag, Hinterfüllen der gegliederten Stützwerke)
- Als kostenentscheidender Faktor ist die Wahl des Schutzsystems massgebend. Die Kosten für gegliederte Stützwerke sind von den Standortbedingungen abhängig (Schneehöhe, Schneegleiten, Fundationsverhältnisse, Transportverhältnisse): Permanente Stützwerke: CHF 1500–2500.– pro m²
- Die Unterhaltskosten pro Jahr für gegliederte Stützwerke betragen im Durchschnitt rund 1 % der Investitionskosten. Wenn sich die Mauern in einem schlechten Zustand befinden und zerfallen können ist mit erhöhten Unterhaltskosten pro Jahr von rund 2 % zu rechnen.
- Bei permanenten Stützwerken kann mit einer Nutzungsdauer von 80 Jahren gerechnet werden.

Bewertung**Vorteile**

- Erhöhung der Schutzwirkung
- Richtlinienkonformer Verbau möglich
- Falls kein Unterhalt an den Mauern, relativ geringe Kosten
- Alte Mauern entlasten die neuen Stützwerke vor Steinschlag und Schneedruck

Nachteile

- Zerfallende Mauern können neue Stützwerke gefährden (höhere Unterhaltskosten)
- Zerfallende Mauern können Stützwerke hinterfüllen (höhere Unterhaltskosten)
- Wenn Mauern erhalten werden: hohe Kosten
- Mauern können einem richtlinien-konformen Verbau im Weg stehen

E 3: Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen

Beschreibung: Die wirksame Höhe von Mauern kann mit Schneezäunen oder Stützwerten vergrößert werden (Abb. 26.1 und 26.2). Generell ist eine Erhöhung problematisch, da zusätzliche Kräfte direkt auf die Mauer übertragen werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Mauer in einem guten Zustand ist und unterhalten wird. Weiter empfiehlt es sich mit einem Betonriegel oder Verankerungen die Kräfte bergseitig der Mauer in den Untergrund einzuleiten. Bewährt haben sich gelenkig angeschlossene Stützen mit einer bergseitigen Strebe und einer Verstrebung zwischen den Stützen (genügende seitliche Stabilität). Die Stützfläche kann mit einem Stahldrahtgeflecht ausgebildet werden. Bei freistehenden Mauern ist eine zusätzliche Erhöhung heikel resp. nicht möglich.

Abb. 26.1 > Prinzipskizze einer Steinmauer, die mit einem Schneehag kombiniert wird

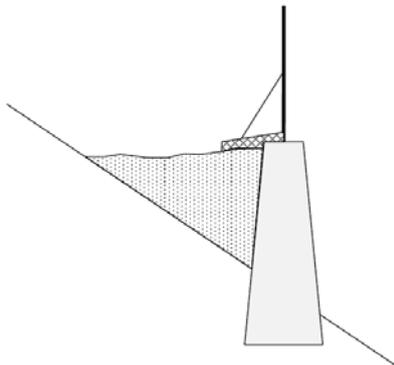


Abb. 26.2 > Schneehäge auf Mauerterrassen, Schiachorn, Davos. Die Stützen werden durch eine bergseitige Strebe stabilisiert



Foto S. Margreth

Voraussetzungen

- Insbesondere für den Verbautyp 1 geeignet, wobei es sich um Mauerterrassen oder teilhinterfüllte Mauern handeln muss.
- Eine Erhöhung ist nur bei standfesten Mauerterrassen zu empfehlen. Bei schadhaften Mauern ist von dieser Variante abzusehen. Die Mauern müssen unterhalten werden.
- Tragfähigkeit der Mauer muss ausreichend sein (möglichst grosse Steine, gute Verzahnung, keine Deformation) oder verbessert werden können
- Die Erhöhung der Mauer ist auf die zu erwartende extreme Schneehöhe auszulegen, wobei Zaunhöhen von mehr als 3,5 m schwierig zu realisieren sind.
- Die Werkabstände gemäss der technischen Richtlinie müssen eingehalten sein und die Werke müssen auf den zu erwartenden Schneedruck dimensioniert werden. Ein besonderes Augenmerk ist auf die bergseitige Strebe und Verankerung zu legen.

Kosten und Nutzungsdauer

- Die Kosten für die Erstellung von Schneezäunen auf Mauern betragen etwa CHF 1000–1200.– pro m'. Je nach Zustand der Mauer kommen noch Erhaltungskosten dazu.
- Die Unterhaltskosten pro Jahr für die Schneezäune und Mauern werden auf rund 3 % der Investitionskosten geschätzt.
- Wenn sich die Mauern in einem guten Zustand befinden, kann eine Nutzungsdauer von etwa 60 Jahren erwartet werden.

Bewertung

Vorteile

- Die Schutzwirkung wird erhöht und die bestehende Mauerhöhe kann ausgenutzt werden
- Mauermaterial verbleibt im Projektgebiet
- Massnahme wurde oft angewendet
- Durch die Terrasse wird der Schneedruck auf die Schneezäune etwas reduziert.

Nachteile

- Ein erfolgreicher Einbau ist stark von der Bausubstanz der Mauer abhängig (nur auf stabilen und intakten Mauern anwendbar)
 - Die Mauer wird zusätzlich belastet
 - Es gibt keine typengeprüften Schneezäune (mehrheitlich Eigenfabrikate)
 - Schutzwirkung wird nur lokal erhöht
 - Dynamische Aufprallkräfte können nur beschränkt abgetragen werden
 - Zukünftiger Rückbau aufwendig
 - Zukünftiger Unterhalt der Mauern notwendig
-

E 4: Alternative Massnahmen (z. B. Steinschlagschutznetz)

Beschreibung: Durch zerfallende, nicht mehr unterhaltene Mauern kann Steinschlag entstehen. Wenn die Steinschlaggefahr sehr gross ist können Steinschlagschutzmassnahmen erforderlich werden (vergleiche Schritt 3.3). Während gegliederte Stützwerke im Anrissgebiet meist nicht zweckmässig geschützt werden können, ist eine Sicherung z. B. von Verkehrsachsen im Transit- und Ablagerungsgebiet oft mit Steinschlagschutznetzen oder Auffangdämmen möglich (Abb. 27.1). Bei der Standortwahl der Schutznetze sind die Sprunghöhen, Aufprallenergien und der Unterhalt (z. B. Leeren der Netze) zu berücksichtigen. Zu beachten ist eine eventuelle Lawinengefährdung der Steinschlagschutznetze. Oft kann auch Wald, der im Schutze der Mauern aufgekommen ist, den Steinschlagschutz übernehmen. Im Anrissgebiet können Wanderwege z. B. mit Schutzgalerien oder Auffangdämmen vor Steinschlag geschützt werden (Abb. 27.2). Bei grossen Lawinenverbauungen aus Mauern, die nicht mehr erforderlich sind, kann die Errichtung von Steinschlagschutzmassnahmen ökonomisch interessant sein. Bis heute wurden relativ selten Steinschlagschutzmassnahmen zur Sicherung von zerfallenden Mauern realisiert.

Abb. 27.1 > Prinzipskizze einer zerfallenden Steinmauer, wo die Steine mit Steinschlagschutznetzen gestoppt werden

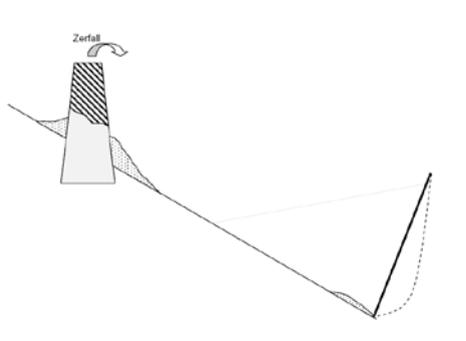


Abb. 27.2 > Schutzgalerie gegen Gleitschneelawinen in Wellstahl für einen Wanderweg, Grindelwald



Foto Bossard + Staerke AG

Voraussetzungen

- Insbesondere für den Verbautyp 1 geeignet, d. h. Verbauungen, die nur aus Mauern bestehen.
- Vor der Planung von Steinschlagschutzmassnahmen ist eine geologische Beurteilung der Steinschlaggefahr erforderlich. Es ist abzuklären, ob das Schadenpotential zweckmässig geschützt werden kann. Dazu sollten sich die zu schützenden Objekte unterhalb eines geeigneten Standortes für eine Steinschlagschutzmassnahme befinden.
- Wird ein Steinschlagschutzzaun geplant, muss auch eine eventuelle Lawinen- und Schneedruckgefährdung abgeklärt werden.

Kosten und Nutzungsdauer

- Die Kosten und die Nutzungsdauer hängen stark von der jeweiligen Massnahme und vom Standort ab. Es entstehen ebenfalls Unterhaltskosten.

Bewertung

Vorteile

- Mit einem Steinschlagschutz kann Steinschlag aus einer gesamten zerfallenden Verbauung mit Mauern auf einmal gesichert werden.
- Mit der Massnahme kann zusätzlich ein Schutz gegen natürlichen Steinschlag erreicht werden.

Nachteile

- Aufgabe der Mauern führt zu reduzierter Schutzwirkung
- Bei grossen Steinen in der Mauer können hohe Energien entstehen
- Nur bedingt anwendbar, wenn sich schützenswerte Objekte im Anrissgebiet oder in der Sturzbahn befinden.
- Steinschlagschutzverbau kann durch Lawinen gefährdet werden

3.4.3 Schritt 4.3: Herleiten von möglichen Massnahmenvarianten, Überprüfung der technischen Machbarkeit und Kostenschätzung

Auf der Grundlage der in Schritt 4.1 aufgezeigten Massnahmen an den Mauern und der in Schritt 4.2 aufgeführten Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen sind für die zu untersuchende Verbauung mögliche Massnahmenvarianten herzuleiten. Die Art und der Umfang der Massnahme ist entsprechend dem jeweiligen Verbauungs- und Mauertyp anzupassen. Das heisst, oft dürften Massnahmenkombinationen eine optimale Lösung darstellen. Die technische Machbarkeit ist anhand der für die verschiedenen Massnahmen aufgeführten Voraussetzungen zu prüfen. Empfehlenswert ist die Ausarbeitung von verschiedenen Massnahmenvarianten mit Kostenschätzung. Für eine grobe Kostenschätzung kann mit Durchschnittswerten für typische Sektoren in einer Verbauung gearbeitet werden. Für eine detaillierte Kostenschätzung ist jede einzelne Mauer zu betrachten.

Die Kosten der verschiedenen Massnahmenvarianten werden am zweckmässigsten mit Verfahren der Lebenszykluskostenanalyse bewertet wie zum Beispiel der statischen Kostenvergleichsrechnung. Bei dieser Methode werden die durchschnittlichen jährlichen Kosten einer Massnahmenvariante 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. Bei Massnahmenkombination werden die jährlichen Kosten getrennt berechnet und am Schluss zusammengezählt (siehe Anwendungsbeispiel Anhang A1). Da bei Varianten, wo Mauern zuerst rückgebaut werden, einmalige Abbruchkosten ohne Folgekosten entstehen, müssen diese Kosten noch zusätzlich berücksichtigt werden. Wir schlagen vor, die einmaligen Abbruchkosten als Investitionskosten mit einer pauschalen Nutzungsdauer von 200 Jahren zu berücksichtigen. Sollen bei allen Varianten die am Ende der Nutzungsdauer entstehenden Abbruchkosten berücksichtigt werden, können die Abbruchkosten als negativer Restwert L_n eingeführt werden. 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 (siehe Anwendungsbeispiel Anhang A1):

$$K_j = K_u + \frac{(I_0 - L_n)}{n} + \frac{(I_0 + L_n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad [\text{CHF/Jahr}]$$

- K_j : Jährliche Kosten der Massnahmenvariante [CHF/Jahr]
 K_u : jährliche Unterhaltskosten (gemäss Schritt 4) [CHF/Jahr]
 I_0 : 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 %

3.5 Schritt 5: Gesamtbeurteilung

Die Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und die Nachhaltigkeit der verschiedenen Massnahmen werden pauschal mit Punkten bewertet. Pro Kriterium werden maximal 3 Punkte und minimal 1 Punkt verteilt. Typischerweise werden nur ganze Punkte verteilt, falls angezeigt können jedoch auch Zwischenstufen gewählt werden. Die beste Massnahme ist jene mit den meisten Punkten.

Schritt 5:
Gesamtbeurteilung

3.5.1 Schritt 5.1: Beurteilung der Wirksamkeit (Risikoreduktion)

Für die verschiedenen Massnahmenvarianten wird ihre Wirksamkeit hinsichtlich Lawinen, Steinschlag und Hangstabilität/Fundierung beurteilt. Die Wirkung wird im Vergleich zum Ausgangszustand der Verbauung beurteilt, d.h. der Zustand, bevor die Massnahmen ergriffen werden.

- > Erfolgen nur Unterhaltsmassnahmen an Mauern, verändert sich die Wirkung der Verbauung respektive das Risiko nicht. Die Wirkung ist identisch mit Schritt 3 des Beurteilungsschemas.
- > Werden die Mauern mit Stützwerken erhöht oder ergänzt, kann die erhöhte Wirkung gemäss PROTECT bestimmt werden.
- > Werden die Mauern in einer kombinierten Verbauung (Typ 2) unterhalten, kann eine gewisse Entlastung der Stützwerke vom Schneegleiten erwartet werden
- > Werden die Mauern rückgebaut, nimmt das Risiko in der Lawinenbahn zu. Es ist zu prüfen, ob das Schutzziel immer noch erfüllt ist resp. die Risiken akzeptierbar sind.

Die Wirksamkeit der verschiedenen Varianten werden 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)
- > erhöhte Wirkung = 3 Punkte (z. B. Ergänzung oder Ersatz mit Stützverbau)

3.5.2 Schritt 5.2: Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

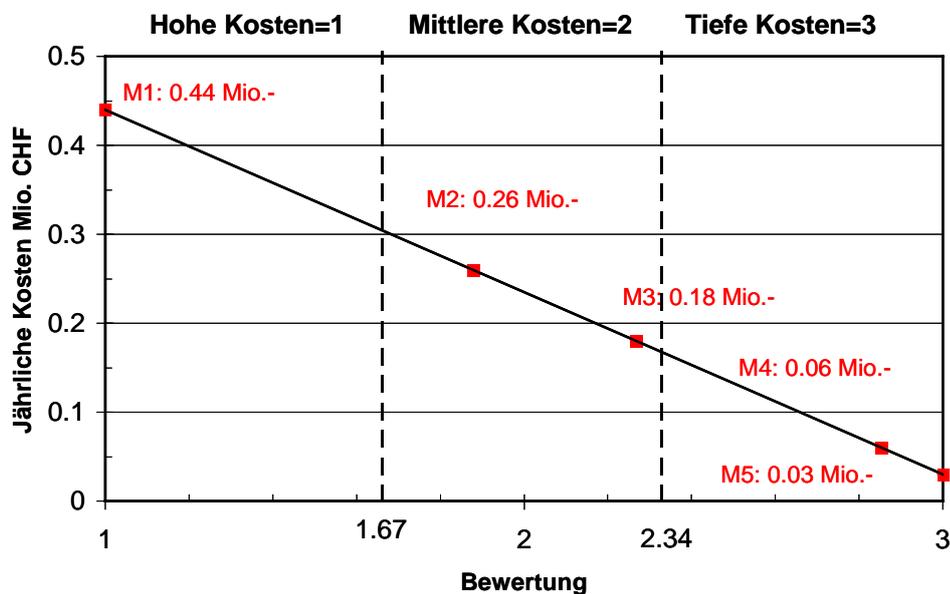
Im Schritt 5.2 werden die zu erwartenden jährlichen Kosten der verschiedenen Massnahmenvarianten bewertet. Die jährlichen Kosten der verschiedenen Massnahmen werden in drei Stufen eingeteilt. Die Massnahme mit den tiefsten Kosten wird mit 3 Punkten und die teuerste Massnahme mit 1 Punkt bewertet. Die Kosten von weiteren Massnahmen werden durch lineare Interpolation bewertet, das heisst es werden nicht nur ganze Punkte verteilt, sondern die Abstufung erfolgt in Zehntelpunkten (vgl. Abb. 28).

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. Wenn eine bestehende

Verbauung gemäss Schritt 3 zu wenig wirksam ist und die Schutzziele nicht erfüllt werden, muss der Schutz verbessert werden. Dies kann z. B. mit dem Bau von gegliederten Stützwerken zwischen den Mauern oder einem Auffangdamm im Tal gemacht werden. Beide Varianten erzielen einen verbesserten Schutz. Die beiden Massnahmenvarianten können mit der Berechnung des Kosten-Wirksamkeitsverhältnisses z. B. gemäss EconoMe (BAFU 2010) verglichen und entsprechend bewertet werden.

Abb. 28 > Bewertung der jährlichen Kosten von verschiedenen Erhaltungsstrategien

Zuerst werden die Massnahmen mit den höchsten (M1) und tiefsten Kosten (M5) mit 1 resp. 3 Punkten bewertet. Die weiteren Massnahmen werden durch lineare Interpolation in Zehntelpunkten bewertet.



3.5.3 Schritt 5.3: Beurteilung der Nachhaltigkeit

Wir empfehlen die Nachhaltigkeit der verschiedenen Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung von Technischen Aspekten (C1), Ökologie (C2), Natur- und Landschaftsschutz (C3), sowie weitere Aspekte (C4) gutachtlich in drei Stufen wie folgt zu bewerten, wobei die technischen Aspekte doppelt gewichtet werden:

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

Falls für einen Aspekt keine Bewertung möglich ist, werden 2 Punkte eingesetzt. Falls angezeigt, können auch Zwischenstufen gewählt werden (z. B. 1.5). Die Gesamtbewertung C von Schritt 5.3 wird wie folgt berechnet:

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

Schritt 5.3.1: Technische Aspekte (C₁)

Bei den Technischen Aspekten steht die Beurteilung der folgenden Punkte im Vordergrund:

- > **Nutzungsdauer:** Bei den Massnahmen R1 und R2 werden die Mauern rückgebaut und das Lawinenanrissgebiet in den Ursprungszustand zurückversetzt. Es entstehen keine weiteren Bauemissionen und Folgekosten mehr (positiver Einfluss, 3 Punkte). Werden die Mauern instand gesetzt, treten auch zukünftig immer wieder hohe Unterhaltskosten auf. Die Unterhaltskosten dürften langfristig sogar ansteigen, da das Steinmaterial immer mehr verwittert (negativer Einfluss).
- > **Systemsicherheit/Schwachstellen:** Durch Deformationen lässt sich die Tragsicherheit einer Mauer abschätzen (reine Steinmauern, Drahtsteinkörbe, Abdeckungen = positiver Einfluss). Eingebaute Anker oder vermörtelte Mauern lassen sich nur schwierig kontrollieren – solche Bauwerke reagieren empfindlich auf Geländeverschiebungen (unveränderter bis negativer Einfluss).
- > **Späterer Rückbau:** der Rückbau von verankerten oder mit Beton verstärkten Mauern ist aufwändig (negativer Einfluss).

Schritt 5.3.2: Ökologie (C₂)

In den Öffnungen einer Steinmauer finden unzählige Lebewesen einen willkommenen Lebensraum. Steinmauern werden auch von zahlreichen Pflanzen geschätzt. Ökologische Untersuchungen über die Bedeutung von Trockensteinmauern wurden bisher immer im Kulturland und nicht auf den Höhenstufen von Lawinenanbruchgebieten durchgeführt (Abb. 29). Ein abgestütztes Vorgehen über die Bewertung der ökologischen Bedeutung von Steinmauern in Lawinenanbruchgebieten fehlt. Wichtige Faktoren für eine solche Bewertung 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 Felsbänke, Stein- oder Schutthalden bestehen. Weiter ist der Zustand der Mauer nicht von wesentlicher Bedeutung. In Tab. 10 wird eine pauschale Bewertung der verschiedenen Unterhaltsmassnahmen hinsichtlich der ökologischen Bedeutung vorgeschlagen.

Abb. 29 > Trockenmauer eines Weinberges in Süddeutschland mit typischen Bewuchs

Trockenmauern in Lawinerverbauungen weisen meistens keinen Bewuchs auf.



Foto R. Kreja

Abb. 30 > Speziell entwickelte Kerzen reflektierten die Steinmauern am Schiahorn

Lichtinstallation des Solothurner Künstlers Ueli Studer 2004.



Foto: S. Mühleisen, Solothurn

Schritt 5.3.3: Kultur- und Landschaftsschutz (C₃)

Steinmauern und Mauerterrassen prägen seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts in etlichen Lawinanrissgebieten das Landschaftsbild und verkörpern kulturhistorisches Erbe unserer Vorfahren (Abb. 30). Steinmauern und Mauerterrassen sind interessante Zeugnisse einer traditionellen Bautechnik und stellen eine wichtige Etappe der Entwicklung des baulichen Lawinenschutzes dar (Stiftung Umwelt Einsatz Schweiz 2002). Dieser Aspekt muss deshalb in der gesamthaften Bewertung der Erhaltungsstrategie einer Verbauung berücksichtigt werden. Eine quantitative Bewertung ist jedoch sehr 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. Die Erhaltungswürdigkeit einer Verbauung mit Mauerterrassen kann mit Kriterien, die dem kulturellen und geographischen Umfeld des Standortes des Objektes entsprechend anzupassen sind, gemäss Tab. 9 beurteilt werden.

Auf Grund der in Tab. 9 genannten Kriterien lässt sich die Erhaltungswürdigkeit von ganzen Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen wahrscheinlich nur selten rechtfertigen. Weiter ist die Verhältnismässigkeit in Bezug auf den Umfang der erforderlichen Unterhaltsmassnahmen und die zu erwartende Funktion in der Regel nicht gegeben. Überlegenswert kann aber die Erhaltung einzelner Mauern als Zeuge der Ingenieurgeschichte der Schweiz sein (Gusic et al. 2008).

Wir empfehlen in einem ersten Schritt die Erhaltungswürdigkeit gemäss Tab. 9 zu beurteilen und in einem zweiten Schritt eine pauschale Bewertung der möglichen Unterhaltsmassnahmen gemäss Tab. 10 in drei Stufen vorzunehmen.

Tab. 9 > Grundsätze und Hauptkriterien zur Beurteilung der Erhaltungswürdigkeit einer Brücke nach ASTRA (1998) mit Ergänzungen für Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen

Kriterium	Erläuterungen für Brücken	Bemerkungen zu Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen
Zeuge für eine technische Leistung	Bauwerk stellte eine wichtige Neuerung oder Fortschritt dar, stellte wegen seiner Grösse eine Leistung dar oder verdeutlicht ein bekanntes Bauprinzip besonders gut	Mauern zählen zu ersten Anbruchverbauungen der Schweiz Teilweise grosse Anzahl von Mauern, die von Hand gebaut wurden (1000 km Mauern)
Symbol für eine historische oder soziale Entwicklung	Bauwerk ist verbunden mit der geschichtlichen Entwicklung einer Region und hat die Lebensweise in einer Region beeinflusst	Dank ersten Verbauungen mit Mauern war die Entwicklung von alpinen Siedlungen begünstigt Oft starker Bezug, sowie grosser Stolz der Menschen zu solchen Verbauungen
Innerer künstlerischer Wert	Bauwerk zeichnet sich durch harmonische Formen oder durch anerkannte Schönheit aus	Mauern wurden nicht mit künstlerischen oder ästhetischen Ansprüchen gebaut.
Integration in das Umfeld	Bauwerk ist ein unabdingbarer Bestandteil einer Ort- oder Landschaft	Mauern gliedern sich wegen vor Ort entnommenen Baumaterialien gut in die Landschaft ein
Alter und Seltenheitswert	Erscheinungsbild, Anordnung und Baustoffe kommen anderswo kaum vor	Verbauungen mit Mauern sind weit verbreitet
Verwendungszweck	Bauwerk dient einem besonderen Zweck, der sowohl für die Gegenwart als auch für die Zukunft feststeht	Verbauungen mit Mauern erfüllen die heutigen Kriterien von Lawinen-anbruchverbauungen meist nicht

Tab. 10 > Bewertung der Instandsetzungsmassnahmen an Mauern hinsichtlich Ökologie, Kultur- und Landschaftsschutz

positiver Einfluss= 3 Punkte, kein Einfluss= 2 Punkte, negativer Einfluss= 1 Punkt.

Massnahmen an Mauer	Ökologie (C2)		Kultur- und Landschaftsschutz (C3)	
M1: Ab- und Wiederaufbau ohne Vermörtelung	3	Mauer bleibt erhalten	3	Mauer bleibt im Originalzustand erhalten, Verwendung des ursprünglichen Handwerks
M2: Vermörtelung mit Ab- und Wiederaufbau	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	2/1	Geometrie unverändert, jedoch Baumaterial und Erscheinungsbild verändert, nicht mehr original
M3: Betonvorbau	2	Mauer bleibt mehrheitlich erhalten, Öffnungen gehen z. T. verloren.	1	Baumaterial mehrheitlich noch original, Geometrie und Erscheinungsbild verändert
M4: Umpacken in Drahtsteinkörbe	2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
M5: Netzabdeckung mit Verankerung	1/2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten, Wildproblematik zu beurteilen	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
M6: Verankerung	2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten	2	Geometrie, Baumaterial und Erscheinungsbild mehrheitlich noch original
M7: Verkleidung mit Spritzbeton	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	1	Baumaterial und Erscheinungsbild stark verändert
R1: Rückbau und Deponierung der Steine im Projektgebiet	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
R2: Rückbau und Wegtransport der Steine	1	Steinstrukturen bleiben im Verbaubereich nicht erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
K1: Natürlicher Zerfall der Mauern	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	2	Mittelfristig bleiben Mauern erhalten, langfristig gehen sie verloren.

Schritt 5.3.4: Weitere Aspekte (C₄)

Um die Nachhaltigkeit einer Erhaltungsstrategie zu beurteilen sind weitere Aspekte von Bedeutung wie z. B.:

- > Regionale Bedeutung: Gesamtkonzept
- > Öffentliches Interesse: starke Identifikation der Bevölkerung mit dem Bauwerk, intuitiv werden alte Steinmauern als wertvoll betrachtet. Einbezug der Akteure (Massnahmen R1 und R2: 1 Punkt)
- > Akzeptanz der Massnahme (Massnahmen M1 bis M7: 2 Punkte).

4 > Umsetzung der Erhaltungsstrategie

Ergibt die Evaluation der Erhaltungsstrategie in Schritt 6 einen Handlungsbedarf, so können die erforderlichen Massnahmen in ein Bauprojekt überführt werden. Gestützt auf das Bundesgesetz über den Wald (WaG; SR 921.0) sind solche Massnahmen meist subventionierbar. Anforderungen und Vorgehen sind im Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich (BAFU 2011) beschrieben. Stellen die Mauern für Dritte, insbesondere Wanderer, selbst eine Gefahr dar (z. B. Steinschlag), so ist die Frage der Werkeigentümerhaftung genau abzuklären (Portner 1996). In solchen Fällen ist die Subventionierung der Instandsetzung bzw. des Rückbaus fraglich und muss mit den Behörden fallweise geklärt werden.

> Anhang

A1 Berechnungsbeispiel der jährlichen Kosten

In einer Verbauung bestehen freistehende Steinmauern in einem schadhafte Zustand. Die Mauern haben eine durchschnittliche Kubatur von 3,5 m³ Steinen pro m'. Für die Sanierung werden zwei Varianten näher untersucht. Bei beiden Varianten werden vergleichsweise die Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer zusätzlich berücksichtigt.

Variante 1: Umpacken in Drahtsteinkörbe

Pro m' Mauer müssen 3,5 m³ Steine umgepackt werden. Das Umpacken von 1 m³ Steinen kostet CHF 800.–.

- > Die Kosten I₀ betragen etwa CHF 2800.– pro m'.
- > Nutzungsdauer n = 50 Jahren
- > Unterhaltskosten K_u von 2 % von CHF 2800.– pro Jahr = 56.–
- > Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer der mit Drahtsteinkörben sanierten Mauern L_n: Kosten Rückbau und teilweise Abtransport der Mauern:
 $L_n = - 3,5 \text{ m}^3/\text{m}' \cdot \text{CHF } 400.-/\text{m}^3 = - \text{CHF } 1400.-/\text{m}'$

Tab. 12 > Umpacken in Drahtsteinkörbe OHNE spätere Abbruchkosten

Jährliche Unterhaltskosten	K _u [CHF/Jahr]	56.– pro m'
Investitionskosten (Instandsetzungs resp. einmaliger Rückbau)	I ₀ [CHF]	2800.– pro m'
Restwert nach n Jahren resp. evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer	L _n [CHF]	0
Nutzungsdauer der Massnahme	n [Jahre]	50
Zinssatz	p [%]	2
Jährliche Kosten der Massnahmenvariante	K _j [CHF/Jahr]	$56 + \frac{(2800 - 0)}{50} + \frac{(2800 + 0)}{2} \cdot \frac{2}{100} = 140.- \text{ pro m}'$

Tab. 13 > Umpacken in Drahtsteinkörbe MIT Abbruchkosten Steinmauern nach 50 Jahren

Jährliche Unterhaltskosten	K _u [CHF/Jahr]	56.– pro m'
Investitionskosten (Instandsetzungs resp. einmaliger Rückbau)	I ₀ [CHF]	2800.– pro m'
Restwert nach n Jahren resp. evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer	L _n [CHF]	- 1400.–/m'
Nutzungsdauer der Massnahme	n [Jahre]	50
Zinssatz	p [%]	2
Jährliche Kosten der Massnahmenvariante	K _j [CHF/Jahr]	$56 + \frac{(2800 + 1400)}{50} + \frac{(2800 - 1400)}{2} \cdot \frac{2}{100} = 154.- \text{ pro m}'$

Bei Variante 1 betragen die jährlichen Kosten CHF 140.– pro m' und wenn am Ende der Nutzungsdauer die Abbruchkosten der Drahtsteinkörbe berücksichtigt werden erhöhen sich die Kosten auf CHF 154.– pro m'.

Variante 2: Rückbau mit teilweise Abtransport und Ersatz mit gegliederten Stützwerken

Es müssen 3,5 m³ Mauern pro m' rückgebaut werden. Die gegliederten Stützwerke haben eine Werkhöhe von 3 m und kosten CHF 1500.–/m'.

- > Kosten Rückbau und teilweise Abtransport der Mauern: $I_0 = 3,5 \text{ m}^3/\text{m}' \cdot \text{CHF } 400.-/\text{m}^3 = \text{CHF } 1400.-/\text{m}'$; Nutzungsdauer 200 Jahre.
- > Kosten Bau von gegliederten Stützwerken:
 - $I_0 = \text{CHF } 1500.-/\text{m}'$
 - Nutzungsdauer $n = 80$ Jahre
 - Jährliche Unterhaltskosten $K(u)$ von 1 % von $I_0 = \text{CHF } 15.-$.
 - Abbruchkosten der Stützwerke am Ende der Nutzungsdauer von 80 Jahren (Annahme 20 % von I_0) $L_n = -300.-/\text{m}'$.

Tab. 14 > Einmalige Abbruchkosten der bestehenden Mauern vor Erstellung Stützwerke

Jährliche Unterhaltskosten	K_u [CHF/Jahr]	0
Investitionskosten (Instandsetzungs resp. einmaliger Rückbau)	I_0 [CHF]	1400.– pro m'
Restwert nach n Jahren resp. evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer	L_n [CHF]	0
Nutzungsdauer der Massnahme	n [Jahre]	200
Zinssatz	p [%]	2
Jährliche Kosten der Massnahmenvariante	K_j [CHF/Jahr]	$0 + \frac{(1400 + 0)}{200} + \frac{(1400 - 0)}{2} \cdot \frac{2}{100} = 21.- \text{ pro m}'$

Tab. 15 > Kosten der Ersatzmassnahmen (Stützwerke) OHNE spätere Abbruchkosten

Jährliche Unterhaltskosten	K_u [CHF/Jahr]	15.– pro m'
Investitionskosten (Instandsetzungs resp. einmaliger Rückbau)	I_0 [CHF]	1500.– pro m'
Restwert nach n Jahren resp. evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer	L_n [CHF]	0
Nutzungsdauer der Massnahme	n [Jahre]	80
Zinssatz	p [%]	2
Jährliche Kosten der Massnahmenvariante	K_j [CHF/Jahr]	$15 + \frac{(1500 + 0)}{80} + \frac{(1500 - 0)}{2} \cdot \frac{2}{100} = 49.- \text{ pro m}'$

Tab. 16 > Kosten der Ersatzmassnahmen MIT Abbruchkosten Stützwerke nach 80 Jahren

Jährliche Unterhaltskosten	K_u [CHF/Jahr]	15.- pro m'
Investitionskosten (Instandssetzungs resp. einmaliger Rückbau)	I_o [CHF]	1500.- pro m'
Restwert nach n Jahren resp. evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer	L_n [CHF]	- 300.- pro m'
Nutzungsdauer der Massnahme	n [Jahre]	80
Zinssatz	p [%]	2
Jährliche Kosten der Massnahmenvariante	K_j [CHF/Jahr]	$15 + \frac{(1500 + 300)}{80} + \frac{(1500 - 300)}{2} \cdot \frac{2}{100} = 50.- \text{ pro m'}$

Bei Variante 2 betragen die jährlichen Kosten CHF 70.- pro m' (CHF 21.- + 49.-) und wenn am Ende der Nutzungsdauer die Abbruchkosten der Stützwerke berücksichtigt werden erhöhen sich die Kosten auf CHF 71.- pro m' (CHF 21.- + 50.-).

A2 Anwendungsbeispiel

Die praktische Anwendung der Anleitung wird am Beispiel der Lawinenverbauung Schafberg in Pontresina aufgezeigt und zwar für das Teilgebiet Gianda – Las Sours. Dieses Gebiet ist nur mit Steinmauern und Mauerterrassen verbaut. Die Datengrundlage für dieses Gebiet ist sehr gut. Alle Mauern sind mit Position, Länge und Höhe im Schutzbautenkataster des Amtes für Wald aufgenommen.

Hinweis: Mit dem Beispiel soll primär das konkrete Vorgehen bei den verschiedenen Arbeitsschritten für ein 10- und 300-jährliches Szenario beispielhaft aufgezeigt werden. Die im letzten Schritt durchgeführte Bewertung ist nicht als abschliessend zu betrachten, dazu müssten weitere Szenarien untersucht und verschiedene Teilaspekte (z. B. Kosten der Massnahmen oder Steinschlagproblematik) vertieft betrachtet werden. Eine Diskussion der Resultate mit lokalen Interessenvertretern hat nicht stattgefunden. Weiter ist zu berücksichtigen, dass nur ein Teilgebiet der Lawinenverbauung Schafberg bearbeitet wurde. Die Resultate vom Anwendungsbeispiel können deshalb nicht für eine Überprüfung der bestehenden Gefahrenkarte oder für die Wahl einer Erhaltungsstrategie für den zukünftigen Umgang mit den Steinmauern und Mauerterrassen in Pontresina verwendet werden.

Abb. 31 > Übersicht Schafberg – Pontresina mit untersuchtem Lawinenzug



geodata © swisstopo

Abb. 32 > Übersicht Schafberg – Pontresina mit untersuchtem Lawinenanrissgebiet Gianda Cotschna

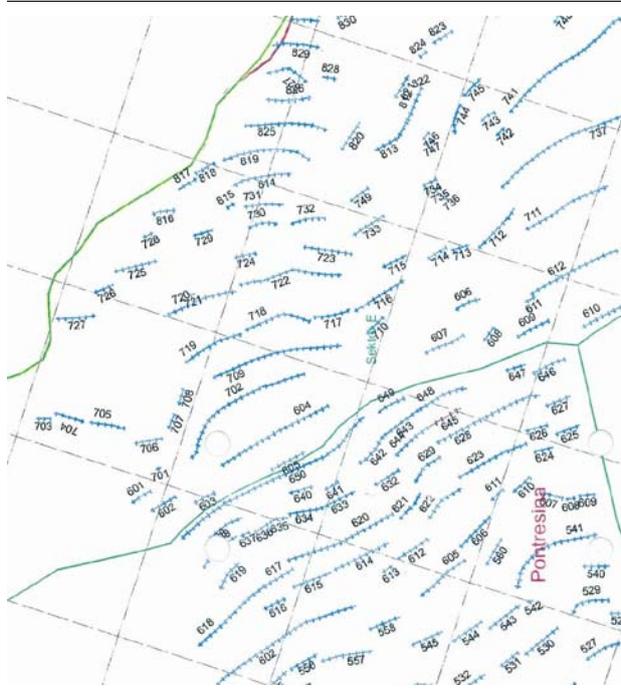


A2-1 Schritt 1: Vorarbeiten

A2-1.1 Schritt 1.1: Grundlagen über Verbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen beschaffen

- > Technische Berichte, Schutzbautenkataster (Abb. 33), Projektdossiers, Begehung:
Im Teilgebiet Gianda – Las Sours stehen rund 3,1 km Trockenmauern mit einer mittleren Werkhöhe von 3 m und einer totalen Kubatur von 11 000 m³ Steinen. Die Mauern wurden zwischen 1894 und 1910 gebaut. Rund 2/3 des potentiellen Anbruchgebietes sind verbaut. Am Beginn der Auslaufstrecke der Lawine befindet sich der 10 bis 14 m hohe Lawinenauffangdamm Val Giandains (Abb. 31 und Abb. 34). Die Verbauungen befinden sich zwischen 2900 und 2350 m. Bei den eingebauten Mauern handelt es sich mehrheitlich um Mauerterrassen resp. hinterfüllte Steinmauern und nur zum Teil um freistehende Steinmauern (Abb. 32). Die Hangneigung im Anrissgebiet beträgt zwischen 33° und 40°.

Abb. 33 > Schutzbautenkataster Schafberg – Pontresina



Amt für Wald, Graubünden

Abb. 34 > Blick vom Anrissgebiet mit Steinmauern zum Auffangdamm Val Giandains



Foto S. Margreth

- > Extremwertstatistik SLF-Vergleichsstation Alp Languard (2330 m, 50 Winter): Die zu erwartende Schneehöhe und Anrissmächtigkeit für eine Höhenlage von 2600 m wurde in Tabelle 17 angegeben. Die 100-jährliche Schneehöhe kann auch der Technischen Richtlinie (Margreth 2007) entnommen und umgerechnet werden, lokale Messungen und Beobachtungen sind jedoch vorzuziehen.

Tab. 17 > Schneedaten Schafberg, Pontresina

Wiederkehrdauer	10 Jahre	300 Jahre
Schneehöhe H_{ext} (2600 m)	250 cm	355 cm
Ausgangswert Anrissmächtigkeit d_0^* (2600 m, Neigung 28°)	73 cm	106 cm

- > Ereigniskataster, Beobachtungen: In schneereichen Winter sind die Mauern mehrheitlich überschneit. Im Winter 2001 ist im verbauten Gebiet eine Lawine angebrochen, die den Standort des Auffangdammes erreicht hat.

A2-1.2 Schritt 1.2: Bestimmung Verbautyp

Die Verbauung besteht nur aus Steinmauern und Mauerterrassen (Typ I). Im untersten Teil der Verbauung befinden sich wenige Mauern im Wald. Eine Zuordnung ist klar möglich (Abb. 35).

Abb. 35 > Übersicht Anrissgebiet Gianda Cotschna

Die Verbauung besteht nur aus Steinmauern und Mauerterrassen, Verbautyp I.



Foto S. Margreth

Abb. 36 > Zwischen den Mauern führt ein viel begangener Wanderweg durch

Die gefährdete Länge beträgt total rund 400 m.



A2-2 Schritt 2: Grobbeurteilung

A2-2.1 Schritt 2.1: Erfassung Zustand und Funktion Verbauung

Die Mauern sind über 100 Jahre alt. Sie erreichen mehrheitlich ihre Nutzungsdauer, was sich in einer Zunahme der Schäden wie Auflockerungen, Deformationen, Überschüttungen durch Geröll und Ausbrüche von Steinen auswirkt (Abb. 34). Die Werkabstände sind vielerorts zu gross und die Werkhöhe zu klein. Einige Mauern wurden saniert. Die Verbauung entspricht nicht den heutigen Standards.

Die ursprüngliche Funktion der Verbauung bestand darin, Pontresina vor Lawinnengängen zu schützen. Nach dem Bau des Auffangdammes hat sich das Problem entschärft.

Handlungs- resp. Überprüfungsbedarf vorhanden?

- > Für die Lawinerverbauung Schafberg besteht ein Vorprojekt. Das Anrissgebiet Gianda – Las Sours ist im Projektperimeter.
- > Zerfallende Mauern können Steinschlag verursachen.
- > Lawinnengänge treffen den Auffangdamm. Es ist unklar, wie sich die Mauern auf die Wirkung des Dammes auswirken.

Es besteht ein Handlungs- resp. detaillierter Überprüfungsbedarf.

A2-2.2 Schritt 2.2: Relevantes Schadenpotential vorhanden?

- > Die Lawine läuft im Siedlungsgebiet von Pontresina aus. Unterhalb vom Lawinendamm befinden sich rund 15 Gebäude im blauen Gefahrengebiet.
- > Das Anrissgebiet und die Sturzbahn der Lawine werden von zwei viel begangenen Sommerwanderwegen durchquert. Die gefährdete Länge beträgt total rund 400 m (Abb. 36).

Es ist ein relevantes Schadenpotential vorhanden.

A2-3 **Schritt 3: Wirkungsbeurteilung**

A2-3.1 Schritt 3.1: Haben die Steinmauern und Mauerterrassen eine relevante Wirkung?

> **Vorarbeiten:**

Daten aus Schutzbautenkataster, GIS (DHM25, Pixelkarte25), Feldaufnahmen

- Festlegung Anrissgebiet (Fläche, Breite: 60–190 m, Unterteilung in 5 Abschnitte: 2845–2494 m)
- Festlegung Geländeprofil und Fließbreite
- Mauertypen im Anrissgebiet (34 freistehend, 44 teilhinterfüllt, 41 hinterfüllt)
- Mauerhöhen H_K , Mauerlängen
- Hangneigung und Werkabstand oberhalb Mauer
- Da praktisch das gesamte Anrissgebiet verbaut ist, wird «Fall 1: Anbruch einer Oberlawine» als massgebend erachtet.

Schritt 3.1.1: Wirkung gegen Lawinen

I Bestimmung der effektive Werkhöhen der Mauern

Beispiel Mauer Nr. 524, Höhenlage 2550 m

$H_K = 3,2$ m, Mauer freistehend, Hangneigung $\psi = 39^\circ$, Werkabstand $L' = 27$ m

Effektive Werkhöhe $H_{K,eff} = 0,8 \cdot H_K = 0,8 \cdot 3,2 = 2,56$ m

II Beurteilung der effektiven Werkhöhe

Tab. 18 > Beurteilung der effektiven Werkhöhe

Wiederkehrdauer	Extreme Schneehöhe H_{ext}	Effektive Werkhöhe $H_{K,eff}$	$H_{ext} - H_{K,eff}$	Beurteilung
10 Jahre	240 cm	256 cm	Erfüllt, $H_{ext} < H_{K,eff}$	genügend
300 Jahre	345 cm	256 cm	89 cm	ungenügend

III Beurteilung der effektiven Werkabstände

Gemäss Technische Richtlinie (Margreth 2007) Tab. 3.1: mit $H_{K,eff} = 2,4$ m, $\psi = 39^\circ$ mit $N \geq 1,3$ und $\tan\phi = 0,55$ wird $L'_{eff} = \sim 12$ m. $L' = 27$ m $> L'_{eff} \cdot 1,15 = 12 \cdot 1,15 = 13,8$ m – vorhandener Werkabstand ist ungenügend.

IV Bestimmung der Anrissmächtigkeit der Oberlawine

Tab. 19 > Anrissmächtigkeit einer Oberlawine bei Mauer Nr. 524

Wiederkehrdauer	Anrissmächtigkeit $d_0 = d_0^* \cdot f(\psi)$ $= d_0^* \cdot 0,62$	Beurteilung Werkhöhe	Beurteilung Werkabstand	Wirkungsklasse	Anrissmächtigkeit der Oberlawine
10 Jahre	45 cm	genügend	ungenügend	2	$d_{0,R} = 0,5 \cdot d_0 = 0,5 \cdot 45 = 23$ cm
300 Jahre	66 cm	ungenügend	ungenügend	4	$d_{0,R} = 0,75 \cdot d_0 = 0,75 \cdot 66 = 50$ cm

Analog kann für die zu betrachtenden Szenarien jeder Mauer eine Wirkungsklasse zugeordnet und anschliessend die Anrissmächtigkeit der Oberlawine festgelegt werden. Um sich einen flächenhaften Überblick zu verschaffen, können die verschiedenen Wirkungsklassen der Mauern auf einem Übersichtsplan dargestellt werden:

- > Beim 10-jährlichen Lawinenszenario liegen 6 % in der Wirkungsklasse 1, 11 % in der Klasse 2, 23 % in der Klasse 3, 44 % in Klasse 4 und 11 % in der Klasse 5 (Abb. 37).
- > Beim 300-jährlichen Lawinenszenario liegen 20 % in der Wirkungsklasse 3, 48 % in der Klasse 4 und 32 % in der Klasse 5 (Abb. 38).

Um die Durchführung der Lawinenberechnungen zu vereinfachen, werden für die festgelegten Abschnitte des Anrissgebietes mittlere Anrissmächtigkeiten der Oberlawinen $\bar{d}_{0,R}$ festgelegt. Dabei ist die jeweilige Anrissmächtigkeit einer Mauer $d_{0,Ri}$ mit dem Produkt aus Mauerlänge b_i und Werkabstand L'_i zu gewichten:

$$\bar{d}_{0,R} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{0,R} \cdot (b_i \cdot L'_i)}{\sum_{i=1}^n (b_i \cdot L'_i)}$$

In der Tab. 20 sind die Anrisshöhe der Oberlawine für die fünf Abschnitte des Anrissgebietes angegeben.

Abb. 37 > Wirkungsklassen beim 10-jährlichen Szenario

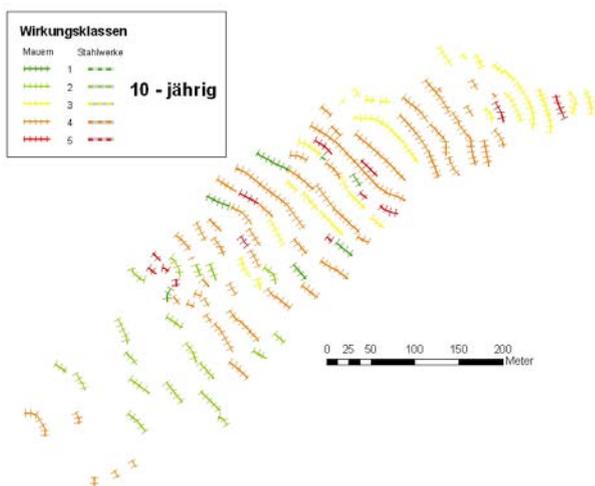
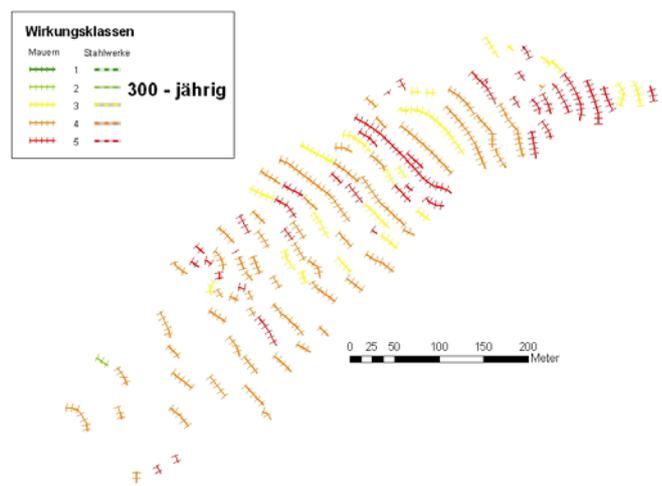


Abb. 38 > Wirkungsklassen beim 300-jährlichen Szenario



Tab. 20 > Anrisshöhe der Oberlawine $d_{0,R}$ in den fünf Abschnitten des Anrissgebietes

	Höhenlage	Hangneigung		Wiederkehrdauer	
				10 Jahre	300 Jahre
Abschnitt 1	2850–2750 m	38°	ohne Mauern	0,36 m	0,55 m
			mit Mauern	0,24 m	0,53 m
Abschnitt 2	2750–2700 m	37°	ohne Mauern	0,38 m	0,57 m
			mit Mauern	0,29 m	0,47 m
Abschnitt 3	2700–2650 m	35°	ohne Mauern	0,43 m	0,65 m
			mit Mauern	0,31 m	0,58 m
Abschnitt 4	2650–2550 m	33°	ohne Mauern	0,51 m	0,78 m
			mit Mauern	0,32 m	0,59 m
Abschnitt 5	2650–2500 m	40°	ohne Mauern	0,29 m	0,46 m
			mit Mauern	0,20 m	0,36 m

Mit dem Lawinenberechnungsprogramm AVAL-1D wurden für das 10- und 300-jährliche Szenario Lawinensimulationen mit den Anrisshöhen gemäss Tab. 20 mit und ohne Mauern durchgeführt. Die Berechnungen wurden mit den Reibungsparametern für mittelgrosse Lawinen durchgeführt. Die berechneten Kennwerte der Lawine am Standort des Auffangdammes sind in Tab. 21 angegeben. Sowohl beim 10-jährlichen wie beim 300-jährlichen Lawinenereignis unterscheiden sich die Berechnungsergebnisse für die Situation mit und ohne Mauern nur wenig (Geschwindigkeit ca. 2m/s und Fliesshöhe 0,2 m). Beim 10-jährlichen Lawinenereignis erachten wird die Resultate als eher konservativ. Mit der verwendeten Methodik zur Bestimmung der Anrissmächtigkeit von Oberlawinen wird die Anrisshöhe überschätzt. Beim 300-jährlichen Szenario ist die Wirkung der Mauern praktisch vernachlässigbar. Die Unterschiede zwischen der Situation mit und ohne Mauern liegen in der Beurteilungsgenauigkeit von Lawinen. Die Steinmauern und Mauerterrassen haben beim 300-jährlichen Szenario, das für die Gefährdung von Pontresina massgebend ist, keine relevante Wirkung.

Tab. 21 > Lawinenkennwerte am Standort des Auffangdammes Giandains

	10 Jahre		300 Jahre	
	ohne Mauern	mit Mauern	ohne Mauern	mit Mauern
Anrissvolumen	47 000 m ³	32 000 m ³	72 000 m ³	60 000 m ³
Geschwindigkeit	13 m/s	11 m/s	19 m/s	17 m/s
Fliesshöhe	0,7 m	0,5 m	1,1 m	0,9 m

Schritt 3.1.2: Wirkung gegen Steinschlag

Die Hangneigung im Gebiet der Mauern liegt oberhalb des minimalen Pauschalgefälles von 65 % und es ist grundsätzlich von einem potentiell steinschlagfähigen Gelände auszugehen. Im Projektgebiet ist sowohl mit natürlichem Steinschlag wie auch mit Steinschlag, der von zerfallenden Mauern ausgeht, zu rechnen. Die bergseitigen Werkhöhen sind einerseits durch die oftmals hinterfüllten Mauern und andererseits durch die geringe Mauerhöhe, relativ klein. Ausgebrochene Steine erreichen schnell Sprunghöhen, die die bergseitigen Mauerhöhen übertreffen. Es ist davon auszugehen, dass die Mauern die Beschleunigung von Blöcken reduzieren und insbesondere kleine Blöcke auch abbremsen können. Die Mauern können durch den Aufprall jedoch auch beschädigt werden. Für eine Quantifizierung der Wirkung gegen Steinschlag müsste eine detaillierte Untersuchung vorgenommen werden. Die vorhandenen natürlichen und an den Mauern bestehenden Ausbruchstellen wären zu beurteilen und mit Steinschlagsimulationen könnten Berechnungen mit und ohne Mauern für verschiedene Blockgrößen durchgeführt werden. Sehr wahrscheinlich werden die Mauern keinen signifikanten Einfluss auf die Intensität und Auftretenswahrscheinlichkeit zeigen.

Schritt 3.1.3: Wirkung hinsichtlich Hangstabilisierung und Fundation

Insbesondere im oberen Teil der Verbauung sind etliche Mauern in den Hang eingebunden. Hinter den Mauern hat sich Lockermaterial abgelagert. Einzelne Mauern sind komplett eingedeckt. Diese Mauern befinden sich meist in Runsen. Eine bedeutende Wirkung bezüglich Stabilisierung kann diesen Mauern jedoch nicht zugesprochen werden, da meist nur das oberflächlich aufliegende Material lokal gestützt wird. In anderen Bereichen ist der Fels anstehend und die Mauern haben keinerlei Wirkung für eine Erhöhung der Hangstabilität.

Die Mauern haben keine Fundationswirkung, da sie im Anrissgebiet unabhängig voneinander angeordnet sind und keine weiteren Stützwerke vorhanden sind.

Bei allen drei Teilaspekten (Lawinen, Steinschlag und Hangstabilität/Fundation) kann gemäss den vorliegenden Untersuchungen und Beurteilungen nicht von einer relevanten Wirkung der Mauern ausgegangen werden. Im Ablaufschema muss die Wirkungsfrage mit «Nein» beantwortet werden und mit der Beurteilung bezüglich Schutzziel zulässige Risiken (Schritt 3.2) fortgefahren werden.

Ob bei Steinschlag allenfalls die Wirkung positiver beurteilt werden könnte, müsste durch vertiefte Untersuchungen abgeklärt werden.

A2-3.2 Schritt 3.2: Schutzziel erfüllt/Risiken akzeptierbar?

Für die Überprüfung des Schutzzieles und der bestehenden Risiken wurden die Unterlagen der Gefahrenbeurteilung im Gebiet Giandains von 2005 herangezogen. Einerseits geht aus diesen Unterlagen hervor, dass für das Siedlungsgebiet der Kessel des Val Giandains als massgebendes Anrissgebiet betrachtet wird und nicht das hier untersuchte Gebiet Gianda Cotschna. Andererseits wird der heutige Verbauzustand mit dem Auffangdamm Giandains als ausreichend betrachtet, sodass keine zusätzlichen Verbau massnahmen empfohlen wurden. Zusammen mit dem Resultat, dass die modellierte Lawine aus dem Gebiet Gianda Cotschna vom Auffangdamm gestoppt werden, kann man annehmen, dass das Schutzziel eingehalten wird und die Risiken im Siedlungsgebiet von Pontresina akzeptierbar sind. Hinsichtlich den Risiken für Wanderer infolge Steinschlag, müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

A2-3.3 Schritt 3.3: Negative Wirkung (Steinschlag)?

Zerfallende Mauern können Steinschlag verursachen. Mit der Anwendung der Pauschalgefällsmethode und einer gutachtlichen Beurteilung kommt man zum Schluss, dass dadurch für das Siedlungsgebiet von Pontresina keine Gefährdung entsteht. Anhand der Pauschalgefällsmethode kann gezeigt werden, dass sowohl bei einem Pauschalgefälle von 75 % als auch 65 % die Steine spätestens im Rückhalteraum des Auffangdammes aufgehalten werden.

Für die zwei Wanderwege, die das Anrissgebiet und die Sturzbahn auf einer Gesamtlänge von mehr als 300 m queren, besteht jedoch eine unmittelbare Gefährdung, wenn Steine aus Mauern ausbrechen. Da es sich um einen viel begangenen Wanderweg handelt, dürfte es empfehlenswert sein, eine geologische Gefahrenbeurteilung und eine Risikoanalyse durchzuführen. Ein wichtiger Punkt ist, dass die von den zerfallenden Mauern ausgehende Steinschlaggefahr mit dem natürlichen Steinschlag verglichen wird. Inwieweit hinsichtlich der Werkeigentümerhaftpflicht der Steinschlaggefahr mit Massnahmen zu begegnen wäre, müsste mit einem juristischen Gutachten abgeklärt werden.

A2-4 Schritt 4: Massnahmen

Die Frage von Schritt 3.3, ob mit einer negativen Wirkung zu rechnen ist («ja» oder «nein»), ist für die Wahl der Massnahmen entscheidend. Ohne weitere Untersuchungen nehmen wir an, dass mit einer negativen Wirkung zu rechnen ist und dass folglich auf den Wanderwegen Steinschlag infolge von einstürzenden Mauern zu vermeiden ist.

A2-4.1 Schritt 4.1 und 4.2: Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrassen

Tab. 22 > Mögliche Instandsetzungsmassnahmen an Mauern im Gebiet Gianda Cotschna

Variante	Schritt 4.1: Massnahmen an TSM/MT	Schritt 4.2: Ergänzende- und Ersatzmassnahmen	Schritt 4.3		
			Machbarkeit/Kosten	Investitions- resp. Abbruchkosten	Jährliche Kosten
1	M1: Ab- und Wiederaufbau	-	Technisch machbar, infolge Alter der Mauern z. T. Steine ersetzen, ca. CHF 600.- /m ³ , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 80 Jahre.	6.6 Mio.	280 500.-
2	M2: Vermörtelung	-	Technisch mehrheitlich machbar, CHF 600.- /m ³ , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 80 Jahre.	6.6 Mio.-	280 500.-
3	M3: Betonvorbau	-	Technisch teilweise durchführbar, bei starkdeformierten Mauern nicht sinnvoll, CHF 2000.- /m ³ , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 80 Jahre.	6.2 Mio.-	263 500.-
4	M4: Umpacken in Drahtsteinkörbe	-	Technisch ohne Maschineneinsatz möglich, stellenweise Foundation schwierig, CHF 800.- /m ³ , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 50 Jahre.	8.8 Mio.-	440 000.-
5	M5: Netzabdeckung mit Verankerung	-	Nur teilweise machbar, da ca. 50 % der Mauern freistehend sind; CHF 500.- /m ² , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 80 Jahre.	4.7 Mio.-	201 875.-
6	M6: Verankerung	-	Massnahme nur teilweise durchführbar, da Mauern freistehen; meist Betonriegel erforderlich, CHF 1200.- /m ³ , Unterhalt 2 %, Nutzungsdauer 60 Jahre.	3.7 Mio.-	173 600.-
7	M7: Verkleidung mit Spritzbeton	-	Nicht zu empfehlen	-	-
8	R1: Deponieren im Projektgebiet	-	Technisch machbar, Deponie bei Mauern möglich oder in Flächen unterhalb Verbau (Absturz), Kosten CHF 250.- /m ³	2.8 Mio.-	28 000.-
9	R2: Wegtransport	-	Mit Helikopter machbar, Deponiegebiete in Nähe Verbauung, Rotationszeit 2 Min., Kosten CHF 600/m ³	6 Mio.-	60 000.-
10	K1: Natürlicher Zerfall	Schutzgalerie Wanderweg	Länge ca. 300 m, Wintertauglich, halb eingegrabene Konstruktion in Wellstahl. Ca. 2000.-/m ³ , Nutzungsdauer 50 J., Unterhalt 1,5%/Jahr	0.6 Mio.-	27 000.- bis Zerfall der Mauern

- > Die Investitionen für eine Gesamtanierung aller Mauern variieren für die untersuchten Massnahmen (Tab. 22: Variante M1 bis M7) zwischen 3.7 Mio. und 8.8 Mio. Fr. Sowohl technisch wie finanziell dürfte jedoch eine Teilsanierung mit einer Variation der Massnahmen je nach Zustand der zu Mauer eine optimalere Lösung darstellen.
- > Die Kosten für einen Rückbau (Tab. 22: Variante R1 und R2) variieren zwischen 2.8 Mio und 6 Mio. Fr. Diese Variante ist langfristig interessant, da kein Unterhalt und spätere Instandsetzung mehr anfällt.
- > Variante K1 (Tab. 22) ist am kostengünstigsten. Schutzgalerien für den Wanderweg kosten rund 0.6 Mio. Fr. Falls die Steinschlaggefährdung des Wanderweges durch einstürzende Mauern als akzeptierbar beurteilt werden kann, kann auf den Bau der Schutzgalerien verzichtet werden.

A2-5 Schritt 5: Gesamtbeurteilung

A2-5.1 Schritt 5.1: Beurteilung der Wirksamkeit (A)

Lawinengefährdung Siedlungsgebiet von Pontresina:

- > Bei den Massnahmenvarianten M1 bis M6 wird die schon bestehende als nicht relevant eingestufte Wirkung der Mauern beibehalten (2 Punkte).
- > Bei den Massnahmenvarianten R1 und R2 geht die Wirksamkeit der Verbauung verloren. Infolge der Wirkung des Dammes wird die Risikoerhöhung im Siedlungsgebiet jedoch minimal sein (1 Punkt).
- > Bei der Variante K1 bleibt kurz bis mittelfristig, solange die Mauern nicht zerfallen sind, die Wirkung bestehen. Langfristig nimmt sie jedoch ab (1.5 Punkte).

Steinschlaggefährdung Wanderwege:

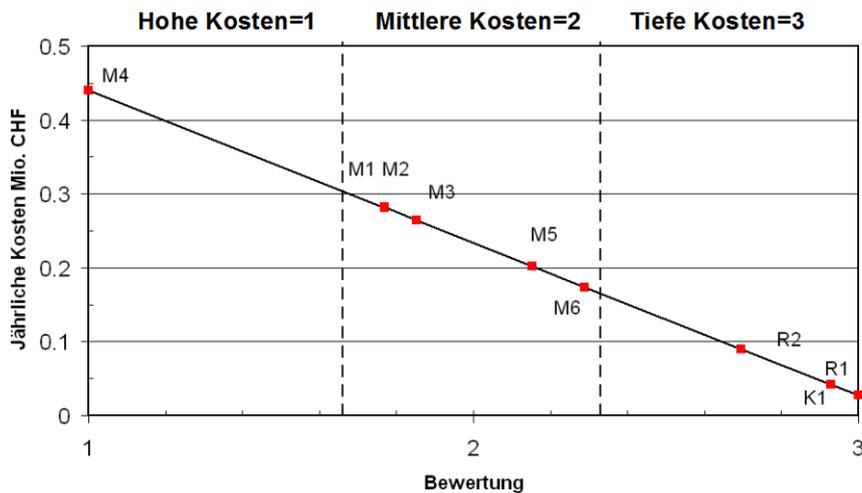
- > Mit allen Varianten kann für den Wanderweg eine Gefährdung durch Steinschlag ausgeschlossen werden.
- > Bei der Variante K1, wo der Wanderweg durch eine Galerie geschützt wird, ist das Steinschlagrisiko am kleinsten.

A2-5.2 Schritt 5.2: Beurteilung der Wirtschaftlichkeit (B)

In der Abb. 39 wurde die teuerste Massnahme M4 mit 1 Punkt und die kostengünstigste Massnahme K1 mit 3 Punkten bewertet. Die übrigen Massnahmen wurden durch eine lineare Interpolation der jährlichen Kosten bewertet. Die Massnahmenvariante K1 ist mit Investitionskosten von 0.6 Mio. CHF am kostengünstigsten. Auf dem zweiten Rang folgt die Massnahmenvariante R1 mit 2.8 Mio. CHF (Rückbau und Deponieren im Verbaugbiet). Die übrigen Varianten verursachen Investitionskosten zwischen 3.7 Mio. und 8.8 Mio. CHF. Langfristig gesehen sind die Varianten R1, R2 und K1 am kostengünstigsten, weil keine oder nur relativ kleine Unterhaltskosten anfallen. Bei den Varianten M1 bis M6 fallen relativ hohe Unterhaltskosten an und nach Ende der Nutzungsdauer fallen wieder hohe Kosten für die erneute Instandstellung an. Bei diesen Varianten muss zusätzlich der genaue Sanierungsbedarf der Verbauung festgelegt werden. Da kaum mehr als 50 % der Mauern sanierungsbedürftig sind, werden sich die Kosten zusätzlich reduzieren.

Abb. 39 > Bewertung der jährlichen Kosten der verschiedenen Erhaltungsstrategien

Zuerst werden die Massnahmen mit den höchsten und tiefsten Kosten mit 1 resp. 3 Punkten bewertet. Die weiteren Massnahmen werden durch lineare Interpolation bewertet.



A2-5.3 Schritt 5.3: Beurteilung der Nachhaltigkeit (C)

Schritt 5.3.1: Technische Aspekte (C1):

- > Bei den Varianten R1 und R2 (Rückbau der Mauern) wird im Lawinenanrissgebiet wieder der Ausgangszustand erreicht. Es fallen keine zukünftigen Unterhaltsmassnahmen an. Die Mauerproblematik ist langfristig gelöst. Falls erforderlich könnten auch moderne gegliederte Stützwerke eingebaut werden (3 Punkte).
- > Bei der Variante K1 fallen ebenfalls nur sehr kleine Unterhaltskosten an (2,5 Punkte).
- > Insbesondere bei den Varianten M1 bis M6 müssen nach Ablauf der Nutzungsdauer der Mauern dieselben Fragen wie heute erneut beantwortet werden. Trotz sehr hohen Investitionen wird die Wirksamkeit der Verbauung nicht verbessert (1 Punkt).

Schritt 5.3.2: Ökologie (C2):

- > Ökologisch betrachtet haben die Mauern wegen den bereits zahlreich vorhandenen natürlichen Felsstrukturen nur eine sehr eingeschränkte Bedeutung.
- > Bei den Varianten M1 und R1, sowie mittelfristig auch K1, bleiben die Mauern resp. Steine im Projektgebiet erhalten, das heisst hinsichtlich ökologischen Aspekten gibt es praktisch keine Änderungen (3 Punkte).
- > Bei den übrigen Varianten muss eine leichte Verschlechterung erwartet werden (2 bis 1 Punkte).

Schritt 5.3.3: Kultur- und Landschaftsschutz (C3):

- > Die Verbauung Schafberg ist eine der grössten mit Steinmauern verbauten Lawinengebiete der Schweiz. Das Gebiet liegt zudem im Fernbereich der Pufferzone zum UNESCO-Weltkulturerbe «Albula- und Bernina der Rhätischen Bahn» und in der Landschaft- und Naturdenkmal von nationaler Bedeutung «Oberengadiner Seenlandschaft und Berninagruppe». Der Verbauung muss deshalb ein kultur- und landschaftsschützerischer Wert zugesprochen werden. Detailliertere Untersuchungen wurden bisher jedoch nicht durchgeführt. Eine gesamthafte Erhaltung der Verbauung dürfte dadurch jedoch kaum begründbar sein.
- > Bei der Massnahme M1 und mittelfristig bei der Massnahme K1 bleibt der kultur- und landschaftsschützerische Wert der Verbauung bestehen (3 resp. 2 Punkte).
- > Beim Umpacken der Mauern in Drahtsteinkörbe geht die ursprüngliche Konstruktion der Mauern verloren, der Einfluss auf das Landschaftsbild ist jedoch nur wenig eingeschränkt (2 Punkte).
- > Bei den übrigen Massnahmen jedoch geht dieser Wert vollständig resp. teilweise verloren (1 bis 2 Punkte).
- > Bei den Massnahmen, wo die Mauern rückgebaut werden, wird wieder das ursprüngliche Landschaftsbild zurückgewonnen, mittelfristig bleiben aber Spuren zurück (Massnahmen R1: 2.5 Punkte und Massnahme R2: 2.5 Punkte)

Schritt 5.3.4: Regionale und weitere Aspekte (C4):

- > Seit mehr als 100 Jahren wurde viel Geld in die Verbauung investiert. Ein Rückbau der Verbauung gemäss den Varianten R1 und R2 resp. eine Einstellung des Unterhaltes bei Variante K1 könnte bei Gemeinde und Bevölkerung und auf Unverständnis stossen und müsste gut begründet werden (Variante R1 und K1: 1,5 Punkte).
- > Beim Wegtransport der Steine mit Helikopter in Variante R2 entsteht Lärm (1 Punkt).
- > Die übrigen Varianten beurteilen wir als ausgeglichen (2 Punkte)

A2-6 **Schritt 6: Wahl der durchzuführenden Massnahmen**

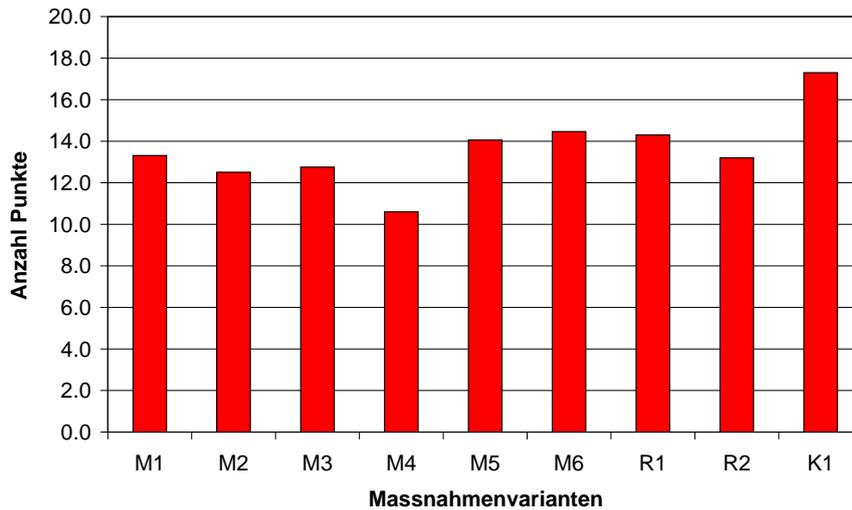
In der Tab. 23 ist das Resultat der Nutzwertanalyse der verschiedenen Massnahmenvarianten dargestellt.

Tab. 23 > Massnahmenevaluation mit Nutzwertanalyse im Gebiet Gianda Cotschna

Massnahme	Schritt 5.1 Wirksamkeit/ Risikoreduktion (A)		Schritt 5.2 Wirtschaftlichkeit (B)		Schritt 5.3						Summe (Σ) (Σ =GA+GB+GC)	Rang
	Bewertung	gewichtete Bewertung	Bewertung	gewichtete Bewertung	Technische Aspekte (C1)	Ökologie (C2)	Kultur/Landschaft (C3)	Weitere Aspekte (C4)	Nachhaltigkeit (C) (C=0,4·C1+0,2·C2+ 0,2·C3+0,2·C4)	Bewertung		
Gewichtungsfaktor G	3	G·A	3	G·B	0,4	0,2	0,2	0,2	1	G·C	-	-
1 M1: Ab- und Wiederaufbau	2	6	1,8	5,4	1	3	3	2	2	2	13,3	5
2 M2: Vermörtelung	2	6	1,8	5,4	1	1	1	2	1,2	1,2	12,5	8
3 M3: Betonvorbau	2	6	1,9	5,7	1	1	1	2	1,2	1,2	12,8	7
4 M4: Umpacken in Drahtsteinkörbe	2	6	1,0	3	1	2	2	2	1,6	1,6	10,6	9
5 M5: Netzabdeckung mit Verankerung	2	6	2,2	6,6	1	2	2	2	1,6	1,6	14,2	4
6 M6: Verankerung	2	6	2,3	6,9	1	2	2	2	1,6	1,6	14,5	2
7 R1: Deponieren im Projektgebiet	1	3	2,9	8,7	3	3	2,5	1,5	2,6	2,6	14,3	3
8 R2: Wegtransport	1	3	2,7	8,1	3	1	2,5	1	2,1	2,1	13,2	6
9 K1: Natürlicher Zerfall + Schutzgalerie	2	6	3,0	9	2,5	3	2	1,5	2,3	2,3	17,3	1

Die Bewertung ergibt für die Massnahmenvariante K1 «Natürlicher Zerfall und Schutzgalerie» die höchste Punktzahl und damit die beste Bewertung. Anschliessend folgt Massnahmenvariante M6 «Verankerung», und R1 «Deponieren im Projektgebiet». Zu beachten ist, dass die Punktzahl der Massnahmen sehr nahe beieinander liegen – nur die Variante K1 hebt sich etwas stärker ab (Tab. 23 und Abb. 40). Bei einer Berücksichtigung der Abbruchkosten nach Ende der Nutzungsdauer würde die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen M1 bis M6 um ca. 10 bis 20 % abnehmen (siehe Anwendungsbeispiel Anhang A1).

Abb. 40 > Zusammenstellung der Anzahl Punkte der verschiedenen Massnahmenvarianten



Nach dieser ersten Bewertung möglicher Massnahmenvarianten empfiehlt es sich die folgenden Schritte durchzuführen, um die definitive Massnahmenvariante treffen zu können:

1. Bestimmung des kurz- und mittelfristigen Sanierungsbedarfes der einzelnen Mauern und festlegen der möglichen Instandsetzungsvarianten. Die optimale Lösung kann auch in der Anwendung verschiedener Massnahmen liegen.
2. Abklärung der Steinschlaggefährdung im Projektgebiet (natürliche Ausbrüche und Steinschlag von einstürzenden Mauern).

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1 Definition der verschiedenen Mauertypen	9	Abb. 14.2 Bau einer Trockenmauer am Schafberg	31
Abb. 2 Lawinenverbauung Schiahorn	10	Abb. 15.1 Prinzipiskizze einer Vermörtelung evtl. kombiniert mit Ab- und Wiederaufbau einer Trockensteinmauer	32
Abb. 3 Lawinenanbruch in der Verbauung Schafberg	10	Abb. 15.2 Vermörtelte Trockenmauer	32
Abb. 4 Beurteilungsschema für die Evaluation von Erhaltungsstrategien und durchzuführende Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern (SM) und Mauerterrassen (MT)	13	Abb. 16.1 Prinzipiskizze eines Betonvorbaus an einer freistehenden Steinmauer	33
Abb. 5 Lawinenanbruch in einer Verbauung, die aus Steinmauern und gegliederten Stützwerken besteht	20	Abb. 16.2a Faldumalp	33
Abb. 6 Bestimmung der effektiven Werkhöhe $H_{k,eff}$ von Mauern in Funktion des Mauertyps, des Hinterfüllungsgrades und der Hangneigung	22	Abb. 16.2b Schafberg	33
Abb. 7 Definition der Werkhöhe H_k , der effektiven Werkhöhe $H_{k,eff}$ und der extremen Schneehöhe H_{ext} .	23	Abb. 17.1 Prinzipiskizze von in Drahtsteinkörben umgepackten Steinmauer	34
Abb. 8 Darstellung der Wirkungsklasse für verschiedene Mauern und Stützwerke für ein 10-jährliches Szenario	23	Abb. 17.2 Füllen von Steinkörben	34
Abb. 9 Pizzo Pettine, Leventina	24	Abb. 17.3 Deformierte Drahtsteinkörbe, Lawinenverbauung Forcella	35
Abb. 10 Lawinenverbauung Faldum	26	Abb. 17.4 Sicherung deformierter Drahtsteinkörbe mit Rückhalteseile, Lawinenverbauung Forcella. Problematisch ist, dass die Rückhalteseil Steinschlag und Schneedruck ausgesetzt sind	35
Abb. 11 Lawinenverbauung Faldum	26	Abb. 18.1 Prinzipiskizze einer Netzabdeckung mit Verankerung	36
Abb. 12 Lawinenverbauung Schönmad	29	Abb. 18.2 Trockenmauer mit rückverankertem TECCO-Drahtgeflecht	36
Abb. 13 Lawinenverbauung Duchli, Davos/GR	29	Abb. 19.1 Prinzipiskizze einer rückverankerten Steinmauer	37
Abb. 14.1 Prinzipiskizze vom Ab- und Wiederaufbau einer Trockensteinmauer nach ursprünglicher Methode	31	Abb. 19.2a Versetzen von Ankern in Trockenmauer	37
		Abb. 19.2b Steinmauer mit vermörteltem Anker ohne Kopfplatte	37
		Abb. 20.1 Prinzipiskizze einer Steinmauer mit einer Verkleidung aus Spritzbeton	38
		Abb. 20.2 Mit Spritzbeton sanierte Trockenmauer	38

Abb. 21.1 Prinzipskizze einer rückgebauten Steinmauer, wo die Steine bergseitig deponiert werden	39	Abb. 29 Trockenmauer eines Weinberges in Süddeutschland mit typischen Bewuchs	54
Abb. 21.2 Rückbau einer Steinmauer mit einem Schreitbagger. Bis zu einer Hangneigung von etwa 38° können solche Maschinen rationell eingesetzt werden	39	Abb. 30 Speziell entwickelte Kerzen reflektierten die Steinmauern am Schiahorn	54
Abb. 22.1 Prinzipskizze einer Steinmauer, die rückgebaut wird und wo die Steine wegtransportiert werden	41	Abb. 31 Übersicht Schafberg – Pontresina mit untersuchtem Lawinenzug	62
Abb. 22.2 Wegtransport von Mauersteinen in Transportsäcken z. B. mit Helikopter	41	Abb. 32 Übersicht Schafberg – Pontresina mit untersuchtem Lawinenanrissgebiet Gianda Cotschna	62
Abb. 23.1 Prinzipskizze einer zerfallenden Steinmauer	43	Abb. 33 Schutzbautenkataster Schafberg – Pontresina	63
Abb. 23.2 Zerfallende Mauerterrasse, Val Clüx, Pontresina	43	Abb. 34 Blick vom Anrissgebiet mit Steinmauern zum Auffangdamm Val Giandains	63
Abb. 24.1 Prinzipskizze einer rückgebauten Steinmauer, die durch gegliederte Stützwerte ersetzt wird	44	Abb. 35 Übersicht Anrissgebiet Gianda Cotschna	64
Abb. 24.2 Schneebrücken ohne wirksame Mauern am Schiahorn, Davos	44	Abb. 36 Zwischen den Mauern führt ein viel begangener Wanderweg durch	64
Abb. 25.1 Prinzipskizze einer Steinmauer, die mit gegliederten Stützwerten ergänzt wird	46	Abb. 37 Wirkungsklassen beim 10-jährlichen Szenario	66
Abb. 25.2 Mauerterrassen ergänzt mit Stützwerten, Dorfberg, Davos	46	Abb. 38 Wirkungsklassen beim 300-jährlichen Szenario	66
Abb. 26.1 Prinzipskizze einer Steinmauer, die mit einem Schneehag kombiniert wird	47	Abb. 39 Bewertung der jährlichen Kosten der verschiedenen Erhaltungsstrategien	72
Abb. 26.2 Schneehäge auf Mauerterrassen, Schiahorn, Davos. Die Stützen werden durch eine bergseitige Strebe stabilisiert	47	Abb. 40 Zusammenstellung der Anzahl Punkte der verschiedenen Massnahmenvarianten	75
Abb. 27.1 Prinzipskizze einer zerfallenden Steinmauer, wo die Steine mit Steinschlagschutznetzen gestoppt werden	49	Tabellen	
Abb. 27.2 Schutzgalerie gegen Gletschneelawinen in Wellstahl für einen Wanderweg, Grindelwald	49	Tab. 1 Erforderlichen Grundlagen betreffend der Lawinen- und Schneesituation	12
Abb. 28 Bewertung der jährlichen Kosten von verschiedenen Erhaltungsstrategien	52	Tab. 2 Erforderliche Informationen über die Schutzmassnahme	14

Tab. 3 Verbautypen	15	Tab. 15 Kosten der Ersatzmassnahmen (Stützwerke) OHNE spätere Abbruchkosten	60
Tab. 4 Typische Schadenbilder an Steinmauern und Mauerterrassen mit Angaben zu entsprechenden Beobachtungen und Ursachen	17	Tab. 16 Kosten der Ersatzmassnahmen MIT Abbruchkosten Stützwerke nach 80 Jahren	61
Tab. 5 Beurteilung der effektiven Werkhöhe von Steinmauern und Mauerterrassen	23	Tab. 17 Schneedaten Schafberg, Pontresina	63
Tab. 6.1 Berechnung der Schneehöhen H_{ext} für verschiedene Wiederkehrdauern	24	Tab. 18 Beurteilung der effektiven Werkhöhe	65
Tab. 6.2 Korrekturfaktoren für die extreme Schneehöhe H_{ext} infolge Sonneneinstrahlung K_1 und Windexposition K_2	24	Tab. 19 Anrissmächtigkeit einer Oberlawine bei Mauer Nr. 524	66
Tab. 7 Beurteilung der effektiven Werkabstände L'_{eff} im Vergleich zu den richtliniengemässen Werkabständen L'	25	Tab. 20 Anrisshöhe der Oberlawine $d_{0,R}$ in den fünf Abschnitten des Anrissgebietes	67
Tab. 8 Bestimmung der Wirkungsklasse von Mauern und der Anrissmächtigkeit von Oberlawine $d_{0,R}$ in Funktion der Werkhöhe, des Werkabstandes und der Anrissmächtigkeit im Ausgangszustand d_0	25	Tab. 21 Lawinenkennwerte am Standort des Auffangdammes Giandains	67
Tab. 9 Grundsätze und Hauptkriterien zur Beurteilung der Erhaltungswürdigkeit einer Brücke nach ASTRA (1998) mit Ergänzungen für Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen	55	Tab. 22 Mögliche Instandsetzungsmassnahmen an Mauern im Gebiet Gianda Cotschna	70
Tab. 10 Bewertung der Instandsetzungsmassnahmen an Mauern hinsichtlich Ökologie, Kultur- und Landschaftsschutz	55	Tab. 23 Massnahmenevaluation mit Nutzwertanalyse im Gebiet Gianda Cotschna	74
Tab. 11 Beispiel für die Evaluation der durchzuführenden Massnahmenvarianten mit einer Nutzwertanalyse	57		
Tab. 12 Umpacken in Drahtsteinkörbe OHNE spätere Abbruchkosten	59		
Tab. 13 Umpacken in Drahtsteinkörbe MIT Abbruchkosten Steinmauern nach 50 Jahren	59		
Tab. 14 Einmalige Abbruchkosten der bestehenden Mauern vor Erstellung Stützwerke	60		

> Literatur

ASTRA 1998: Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten. Richtlinie Bereich Kunstbauten. EDMZ Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2011: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller, Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1105: 222 S.

Blum M. 2009: Erhaltungsstrategien und Umgang mit Steinmauern im Lawinenverbau. Masterarbeit an der Professur für Forstliches Ingenieurwesen, UWIS, ETH Zürich. Dezember 2009.

Böll A. 1997: Wildbach und Hangverbau. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 343. WSL Birmensdorf.

Bründl M. (Ed.) 2009: Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.

Fankhauser F. 1920: Der Lawinenverbau mittels Terrassen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 71 (7): 216- 230.

Gusic B., Imboden P., Weber M. 2008: Lawinenverbauungen aus Trockenmauern am Beispiel Faldumalp. Diplomwahlfacharbeit. Institut für Denkmalpflege und Bauforschung. ETH Zürich.

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.

Portner C. 1996: Haftung für Unfälle auf Wanderwegen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 266, BUWAL, Bern 1996.

Romang H. (Ed.) 2009: Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.

Tiefbauamt des Kantons Bern 2002: Naturgefahren bei Fuss- und Wanderwegen: Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Gemeinden. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern.

Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz 1996: Trockenmauern – Anleitung für den Bau und die Reparatur. Haupt Verlag Bern. 9. Auflage 2009.

Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz 2002: 8. Internationaler Trockenmauerkongress «Trockenmauerbau im Berggebiet». 29. bis 31. August 2002. Visp, Schweiz. Tagungsband.

Schwing E. 2001: Gute Haltung. Sicherung von Stützmauern aus Natursteinen. Deutsche Bauzeitung Jg.: 135, Nr.9, 2001, 113–120 (www.bau-sanierungstechnik.de/downloads/sonder.pdf).

SIA 1996: Leben zwischen den Steinen. Sanierung historischer Mauern. SIA-Dokumentation D 0134.