



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

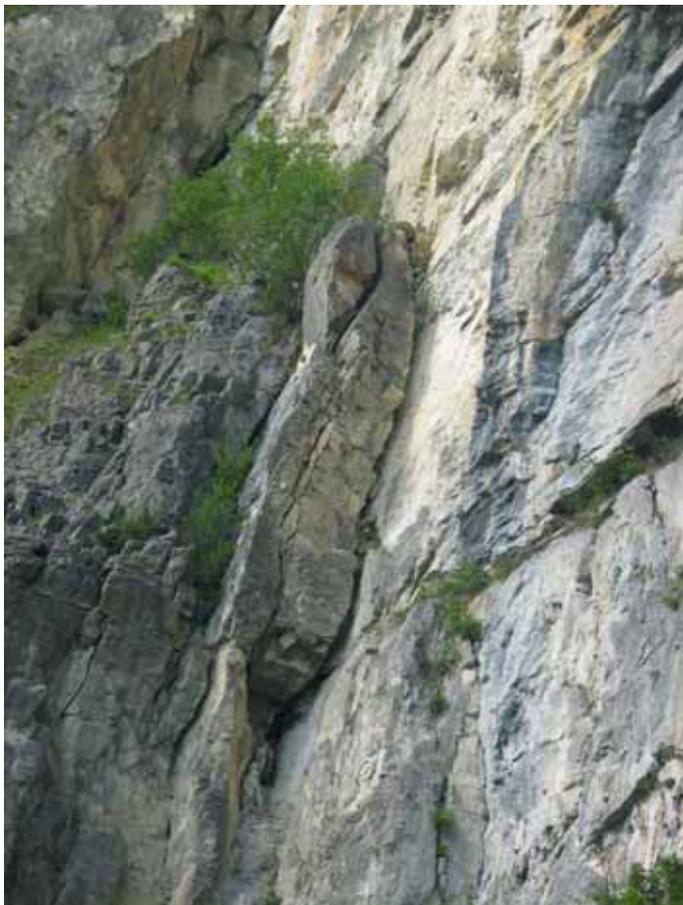
Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung

TEIL C: STURZPROZESSE

Hansruedi Keusen, Werner Gerber, Hermann Rovina



Absturzgefährdete Felsoberfläche an der Axenstrasse bei Sisikon UR (Foto: W. Gerber, WSL)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:

Teil A: Grundlagen und generelles Vorgehen

Teil B: Lawinen

Teil C: Sturzprozesse

Teil D: Rutschungen

Teil E: Wildbäche

Teil F: Flüsse

Inhalt

1.	Charakteristik der Prozesse	1
1.1	Übersicht	1
1.2	Besonderheiten des Prozesses, Szenarien	2
1.3	Stand der Beurteilungsmethoden	2
1.4	Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung	3
2.	Übersicht Schutzmassnahmen	5
3.	Grobbeurteilung	7
3.1	Gefahrenpotential Sturz	7
3.2	Grobanalyse Schutzmassnahmen	7
3.3	Feststellung de Relevanz der Schutzmassnahme	8
4.	Massnahmenbeurteilung	9
4.1	Prozesskenntnisse	9
4.2	Beurteilung der Zuverlässigkeit	10
4.3	Die Zuverlässigkeit der Massnahme Schutzwald	18
5.	Wirkungsbeurteilung	21
5.1	Vorgehen	21
5.2	Neue Szenarien nach wirksamen Massnahmen	24
5.3	Unsicherheiten des Gesamtsystems	25
6.	Nachvollziehbarkeit	25
7.	Fallbeispiel Steinschlagnetz Gersau LU	26
7.1	Grobbeurteilung	26
7.2	Massnahmenbeurteilung	29
7.3	Wirkungsbeurteilung	32
8.	Fallbeispiel Steinschlagdamm Weggis LU	34
8.1	Grobbeurteilung (Schritt 1)	34
9.	Fallbeispiel Steinschlagschutzdamm St. Niklaus VS	36
	Literatur	36

1. Charakteristik der Prozesse

1.1 Übersicht

Sturzprozesse sind in der Schweiz als Alpenland geologisch bedingt sehr häufig. Sie gefährden vielerorts Siedlungen und Verkehrswege und verlangen damit nach Schutzmassnahmen.

Bei den Sturzprozessen sind

- Stein- und Blockschlag (Einzelkomponenten bis mehrere m^3)
- Felsstürze (Ausbruchvolumen Hunderte bis Tausende m^3)
- Bergstürze (Ausbruchvolumen > 1 Mio. m^3)

auseinander zu halten. Da Bergstürze mit technischen Schutzmassnahmen kaum beherrschbar sind, werden sie im vorliegenden Bericht nicht behandelt.

Stein- und Blockschläge wie auch Felsstürze erzeugen isolierte Sturzbewegungen (Fallen, Springen, Rollen) von Einzelkomponenten unterschiedlicher Grösse. Diese Bewegungen gehorchen physikalischen Gesetzen. Sturzprozesse umfassen drei räumlich aufeinander folgende Prozessbereiche: Ausbruchgebiet, Transitstrecke und Ablagerungsgebiet.

Isolierte Sturzbewegungen von Einzelkomponenten

Die Geschwindigkeiten und Energien der Einzelkomponenten werden durch mehrere Faktoren massgeblich beeinflusst:

- Geländetopographie (Relief, Hangneigung, Bruchkanten, Aufprallwinkel)
- Blockgrösse, Blockform (Masse, Rotationsfähigkeit)
- Dämpfung des Untergrundes (Fähigkeit des Untergrundes, sich zu verformen mit entsprechender Energievernichtung)
- Rauigkeit der Oberfläche im Verhältnis zur Blockgrösse
- Wald

In Abb. 1.1 sind die Faktoren und ihre Wirkung dargestellt.

Energieverluste durch:

- weichen Untergrund (Dämpfung)
- grossen Aufprallwinkel
- Reibungseffekte in Folge Rauigkeit des Untergrundes

Vergrösserung des Absprungwinkels durch:

- hohe Rotationsgeschwindigkeit
- Blöcke mit grossen Achsenverhältnissen
- ausgeprägtes Mikrorelief

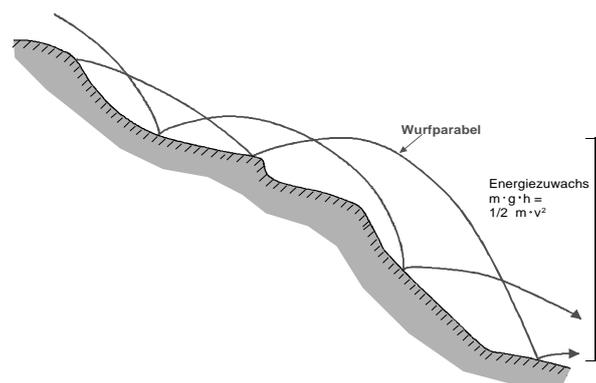


Abb. 1.1: Massgebliche Faktoren, welche die Sturzbahn von Einzelkomponenten beeinflussen.

1.2 Besonderheiten des Prozesses, Szenarien

Kleine Komponenten
häufiger als grosse

Geologisch bedingt zeichnen sich Sturzprozesse in der Regel durch spezifische Blockgrössen mit entsprechender Einwirkung aus. Sturzereignisse mit kleineren Komponenten sind dabei meist häufiger als Blockschläge oder Felsstürze (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Sturzscenarioen am Beispiel Sargans, Passati.

Blockgrösse	Auftreten	Eintretenswahrscheinlichkeiten
Volumen bis ca. $\frac{1}{4}$ m ³	Auftreten häufig, vielfach frisch	0 - 30 Jahre
Volumen > $\frac{1}{4}$ - 2 m ³	deutlich weniger häufig, z.T. frisch, z.T. überwachsen	30 - 100 Jahre
nicht existent	nicht existent	100 - 300 Jahre
Volumen > 2 - 5 m ³	sehr selten, meist überwachsen, Extremereignis	> 300 Jahre

Intensitätskarte als
Grundlage

Grundlage für die Planung von Schutzmassnahmen sind Intensitätskarten für jedes Szenario. Schutzmassnahmen können auf die Beherrschung aller oder aber einzelner Szenarien, z.B. auf das risikoreichste, ausgerichtet werden.

1.3 Stand der Beurteilungsmethoden

Für Modellierung sind
Feldbegehungen
notwendig

Es gibt zahlreiche Modelle, mit welchen Sturzprozesse simuliert und die für Schutzmassnahmen entscheidenden Grössen wie Geschwindigkeit, Energie und Flughöhe bestimmt werden können. Entscheidend für die Qualität der Sturzbahnberechnungen ist neben einem adäquaten Modellierungsansatz auch die richtige Erfassung der massgeblichen Faktoren. Hierzu sind detaillierte Felduntersuchungen erforderlich. Die Blockgrössen werden in der Regel aufgrund der vorhandenen stummen Zeugen oder anhand gefügetektonischer Kriterien im Ausbruchgebiet ermittelt. Auch Dämpfung, Rauigkeit und Waldeigenschaften müssen im Feld erhoben werden.

Energien und Flughöhen sind gut
bestimmbar

Mit sauberen Geländeuntersuchungen und guten Modellen können heute qualitativ befriedigende Bestimmungen der Energien (Translations- und Rotationsenergie) und der Flughöhen erreicht werden. Diese unterliegen jedoch einer Streubreite bedingt durch örtlich stark wechselnde Aufprallbedingungen. Gute Programme generieren deshalb eine grössere Anzahl von möglichen Flugbahnen, womit statistische Häufigkeitsverteilungen von Flughöhen und Energien ermittelt werden können (Abb. 1.2).

Solche Ansätze stellen gute Grundlagen für die Dimensionierung von Rückhaltewerken dar. Im Weiteren gibt es 3D-Programme, mit welchen Trajektorien in einer Geländetopographie räumlich generiert werden können.

Pauschalgefälleansätze
sind ungenügend

Pauschalgefälleansätze, wie sie teilweise noch für Gefahrenhinweiskarten angewendet werden, sind für die Beurteilung von Schutzmassnahmen ungenügend.

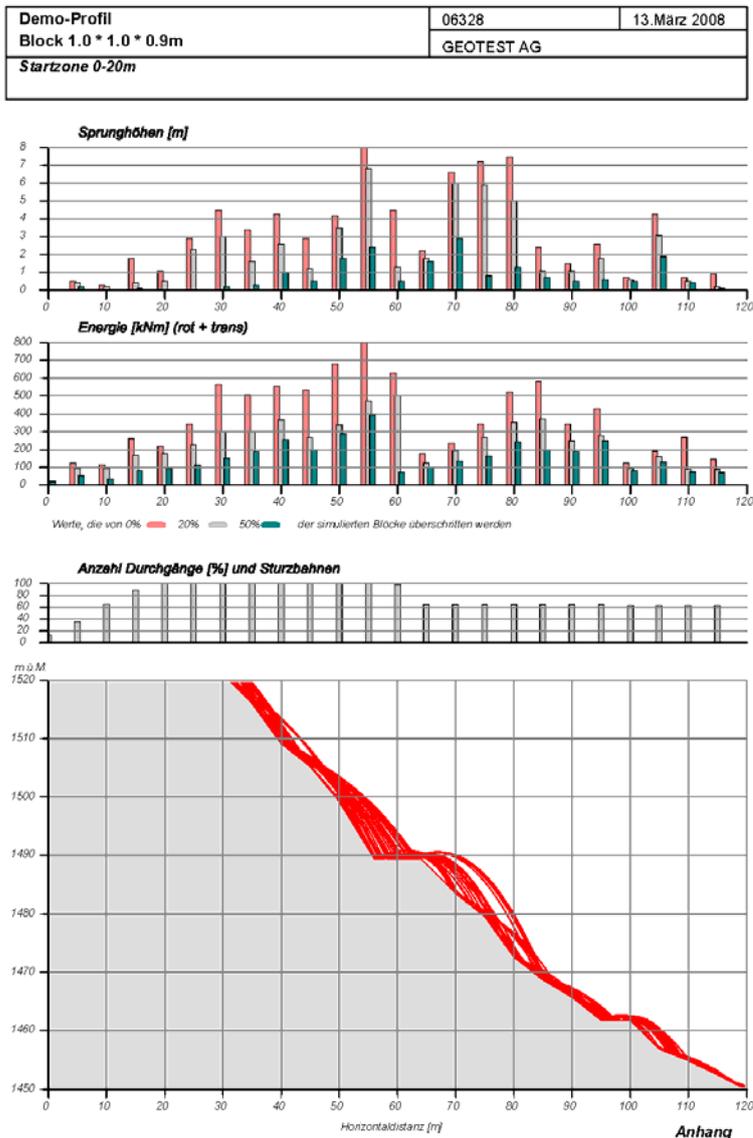


Abb. 1.2: Beispiel einer Sturzbahnberechnung.

1.4 Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung

Obwohl die gängigen Simulationsprogramme auf ähnlichen physikalischen Ansätzen aufbauen, zeigen Quervergleiche in Testgebieten meist erhebliche Unterschiede in den Resultaten. Der Grund dafür liegt einerseits in einer unterschiedlichen Einschätzung und Kartierung der massgeblichen gebiets- und programm-spezifischen Faktoren wie Topographie, Wald, Blockgrösse sowie Dämpfung und Rauigkeit des Untergrundes, andererseits in der unterschiedlichen Implementierung dieser Faktoren ins Modell.

Unterschiedliche Programme erzeugen unterschiedliche Ergebnisse

Es ist daher unumgänglich, die Sturzbahnberechnung auf ihre Plausibilität zu prüfen. Dies kann durch einen Vergleich mit früheren Ereignissen und der im Gelände vorhandenen stummen Zeugen erfolgen.

Sturzbahnberechnung plausibilisieren

Wichtig ist, dass die auf der Prozessseite erkennbaren Unsicherheiten beschrieben werden. Diese sind sowohl für die einzurechnenden Sicherheiten bei der Bemess-

Unsicherheiten beschreiben

sung der Schutzmassnahmen, wie auch für die Berücksichtigung der Schutzmassnahme (Rückstufung) von Bedeutung.

Bei zu grossen Unsicherheiten keine Berücksichtigung

Unsicherheiten ergeben sich in der Prognose der Szenarien sowie in der Sturzbahnberechnung selbst. Unsicherheiten müssen transparent beschrieben werden. Sind diese unverhältnismässig hoch im Vergleich zur Wirkung der Schutzmassnahmen, müssen die Prozessabklärungen vertieft werden. Bleiben die Unsicherheiten zu gross, muss auf die Berücksichtigung der Massnahmen bei der Gefahrenbeurteilung verzichtet werden.

Parameterwahl offen legen

Tab. 1.2 informiert über die wichtigsten Unsicherheiten bei Sturzprozessen und deren Bedeutung. Es zeigt sich, dass bei Sturzereignissen die meisten Kriterien eine grosse Bedeutung haben. Unsicherheiten können damit erhebliche Konsequenzen haben. Deshalb müssen die eingesetzten Parametergrössen nachvollziehbar offen gelegt werden (z.B. bei Sturzbahnberechnungen).

Tab. 1.2: Abschätzung der Bedeutung von Unsicherheiten von Sturzprozessen (Bedeutungsfaktor 3 = gross, 2 = mittel, 1 = klein, 0 = keine Unsicherheit).

Ort	Kriterium	Schwierigkeit	Bedeutungsfaktor (= maximale Unsicherheitspunktzahl)
Allg.	Ereigniskataster, stumme Zeugen, Beobachtungen	Beim Fehlen von Ereignissen grosse Unsicherheiten, Szenarienbildung	3
Ausbruchsort	Geologie, Gebirgsverhältnisse	Zugänglichkeit für geologische Aufnahmen	1
	Grosse Instabilitäten (Felssturz)	Abschätzen Extremereignis	3
Transitbereich	Topographie, Mikrorelief	Erkennen von Bruchkanten	3
	Rauhigkeit	Einschätzung der Rauhigkeitswirkung für verschieden grosse Komponenten	2
	Dämpfung	Einschätzung der Dämpfungswirkung des Untergrundes. Wechsel Fels-Lockergestein. Wirkung von gefrorenem Boden	3
	Wald	Vorhandene Informationen über den Waldtyp. Auswirkungen von Überalterung und Sturmschäden	3
Auslaufbereich	Geländeeigenschaften	Abschätzen von Ausrollbereichen und Reichweiten (häufig schwierig zu modellieren) Wirkung von gefrorenem Boden. Seitliche Streuung der Sturzbahn	3

Als Anhaltspunkt für die Abschätzung der Unsicherheit können folgende Bewertungen dienen:

- Unsicherheit sehr gross: ≥ 15 Punkte
- Unsicherheit gross: 10 - 15 Punkte
- Unsicherheit mässig: 5 - 9 Punkte
- Unsicherheit gering: < 5 Punkte

2. Übersicht Schutzmassnahmen

Schutzmassnahmen können ansetzen:

- im Ausbruchgebiet durch Verhinderung von Ausbrüchen,
- im Transitbereich durch Rückhalten oder Ablenken der Sturzkomponenten,
- am Objekt durch lokale Massnahmen (Bewehrung).

In Tab. 2.1 sind die bei Sturzgefahren möglichen Schutzmassnahmen aufgeführt. Die Zusammenstellung zeigt, welche Schutzmassnahmen bei der Gefahrenbeurteilung grundsätzlich nicht berücksichtigt werden können. Auf diese wird nachfolgend nicht weiter eingegangen. Viele der Massnahmen bedürfen aus verschiedenen Gründen einer differenzierten Betrachtung.

Selektion
Schutzmassnahmen

Tab. 2.1: Übersicht über mögliche Schutzmassnahmen und Berücksichtigung ihrer Wirkung.

Bezeichnung	Ort	Massnahme	Berücksichtigung der Wirkung bei Gefahrenbeurteilung	Bemerkung
SA1	Massnahmen im Ausbruchgebiet	Felsreinigung, teilweise oder vollständige Elimination der Gefahr	nein	neue Gefahrenbeurteilung
SA2		Abdeckungen mit Netz oder Spritzbeton, Vernagelung	differenzierte Betrachtung erforderlich	Problem Dauerhaftigkeit, Unterhalt
SA3		Verankerungen, Pfeiler	differenzierte Betrachtung erforderlich	Problem Dauerhaftigkeit
SA4		Wald	nein	keine genügende Wirkung im Ausbruchbereich
ST1	Massnahmen im Transitgebiet	nicht flexible Netze mit starren Stützen, typengeprüft	ja	Typenprüfung gemäss BUWAL (2001)
		Steinschlagzäune, Pali-saden, starre Werke aus Holz, Stahl, Beton ohne Werkangaben	nein	Ungenügende Trag-sicherheit und Gebrauchstauglichkeit
ST2		flexible Steinschlagnetze, typengeprüft	ja	Typenprüfung gemäss BUWAL (2001)
		flexible Steinschlagnetze mit Werkangaben	differenzierte Betrachtung notwendig	Bauausführung beachten
		flexible Steinschlagnetze ohne Werkangaben	nein	Werke meist älter als 2001, unbekanntes Trag-sicherheit und Gebrauchstauglichkeit
ST3		Erddämme mit bergseitiger Böschung steiler 40 - 45°	ja	
	Erddämme mit bergseitiger Böschung flacher 40°	differenzierte Betrachtung notwendig	Gefahr des Überrollens beachten	
ST4	Wald	differenzierte Betrachtung notwendig	Nachweis der Wirkung mit Modellierung	
SO1	Objekt-schutz	Verstärkung Hausmauern	differenzierte Betrachtung notwendig	nur bei flächenhafter Wirkung (bei nur lokalem Effekt: nein)

Strategien von Schutzmassnahmen

Häufig Restrisiken

Im Idealfall wird man einen möglichst umfassenden Schutz gegen die vorhandenen Sturzgefahren anstreben, d.h. Beherrschung aller Szenarien mit ihrer vollumfänglichen Streubreite. Dies ist in der Praxis häufig nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zweckmässig. Es verbleiben meist Restrisiken durch seltenere Ereignisse mit hoher Intensität.

Massnahmenkombinationen

Beim Steinschlagschutz können Massnahmen sinnvoll kombiniert werden, z.B. durch Massnahmen am Ausbruchsort und ergänzende Rückhaltewerke im Transitbereich.

Kontrolle grosser Volumina am Entstehungsort

Durch geeignete Massnahmen am Entstehungsort von Felsstürzen (Verankerung, Sprengung) kann der Ausbruch grosser Volumina, welche im Transitbereich nicht beherrschbar wären, verhindert werden (Abb. 2.1). Wald, welcher häufig in Transitgebieten von Sturzgefahren vorhanden ist, kann als ergänzende oder unter Umständen als alleinige wirksame Massnahme betrachtet werden.

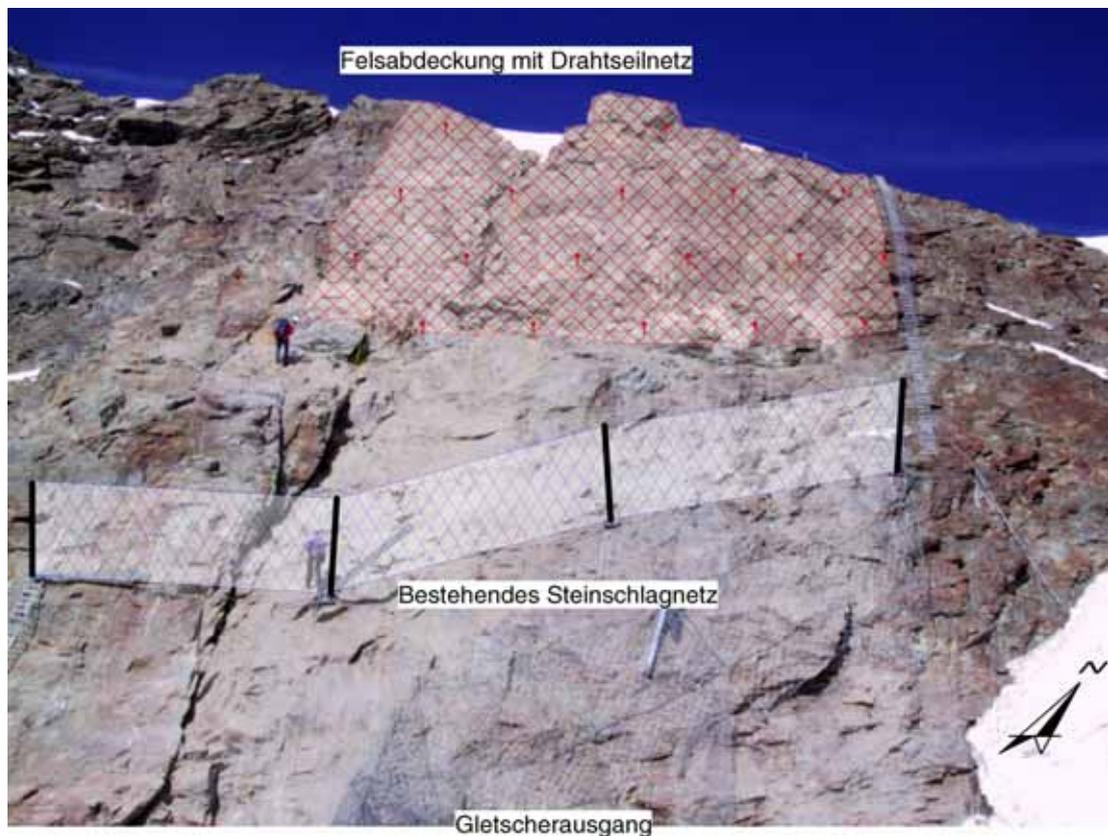


Abb. 2.1: Gletscherausgang Jungfrauoch. Der oberste Teil der Felswand wurde mit Abdecknetz und Anker gegen Ausbrüche gesichert. Hier ausbrechende Steine könnten durch das Steinschlagnetz nicht vollumfänglich (Flughöhe) beherrscht werden. Dieses fängt die in tieferen Lagen ausbrechenden Steine auf.

Beurteilung in vier Schritten

Das generelle Vorgehen bei der Beurteilung von Schutzmassnahmen in vier Schritten ist im allgemeinen Teil A beschrieben. Dort sind auch die massgebenden Kriterien Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit definiert.

3. Grobbeurteilung

Bei der Grobbeurteilung soll erkannt werden, ob die Schutzmassnahmen überhaupt relevant sind und für die weitere Abklärung berücksichtigt werden können. Hierzu muss eine Reihe von Bedingungen erfüllt sein (Abb. 3.1). Andernfalls kann die Untersuchung bereits in diesem 1. Schritt abgebrochen werden. Die in der Übersicht gemäss Tab. 2.1 bereits als ungenügend eingestuft Schutzmassnahmen werden nicht weiterverfolgt. Im Weiteren müssen die Grundsätze gemäss Kapitel 2 in Teil A erfüllt sein.

Klärung der Relevanz

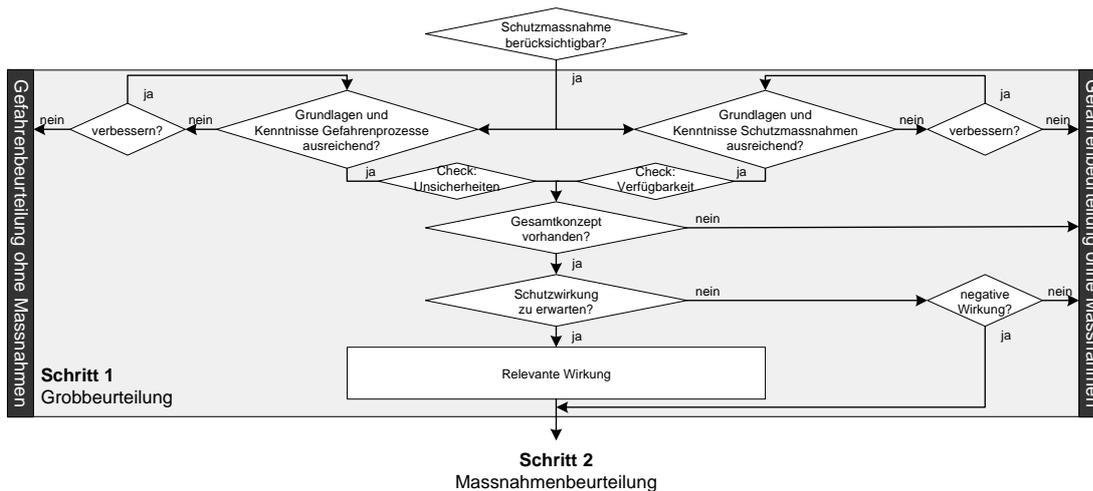


Abb. 3.1: Schrittweises Vorgehen bei der Grobbeurteilung mit Minimalanforderungen und Feststellung der Relevanz der Schutzmassnahme.

3.1 Gefahrenpotential Sturz

Als Grundlage für die Grobbeurteilung müssen folgende Informationen vorliegen:

- Lage und Eigenschaften des Ausbruchsgebietes
- Ereigniskataster, stumme Zeugen, evtl. Karte der Phänomene
- Szenarien der Sturzprozesse
- Prozessraum, Wirkungsraum

Minimal erforderliche Informationen

Die Unsicherheiten des Prozesses werden in Schritt 2 berücksichtigt.

In vielen Fällen werden Karte der Phänomene, Sturzsimulationen, Intensitätskarten und sogar Gefahrenkarte vorhanden sein. Diese Unterlagen sind für die Grobbeurteilung nützlich aber noch nicht zwingend. Beim nachfolgenden Schritt 2 müssen dann vertiefte Prozessbeschreibungen vorliegen.

3.2 Grobanalyse Schutzmassnahmen

Bei neueren Schutzmassnahmen kann für einen ersten Überblick meistens auf die vorhandenen Unterlagen wie Projektdossier, Schutzbautenkataster, Schutzzielbeschreibung und Angaben zu Kontrolle und Unterhalt zurückgegriffen werden. Daneben können weitere spezifische Kriterien von Bedeutung sein (Tab. 3.1). In der Regel genügen hier pauschale Einschätzungen basierend auf den vorhandenen Unterlagen. Wo diese fehlen, was bei den älteren Schutzbauten die Regel sein dürfte, ist eine Feldbegehung mit Erhebung der wichtigsten Kriterien notwendig.

Bei neueren Massnahmen oft gute Unterlagen

Eine wichtige Information ist immer die Bewährung der Massnahme bei früheren Ereignissen (Beschrieb im Ereigniskataster, Gefahrenkarte).

Bei negativer Wirkung
Neubeurteilung der
Gefahrensituation

Negative Wirkungen von Schutzmassnahmen können durch Werkmängel, schlechten Unterhalt aber auch durch negative Einflüsse auf andere Prozesse (Beispiel Steinschutzmauer in Gondo als Mitursache für Rückstau von Wasser und nachfolgende Rutschung) entstehen. Die Schutzmassnahme Wald kann eine negative Wirkung auf andere Prozesse haben, z.B. durch Stöcke und Stämme in Gerinnen. Im Weiteren können Bäume eines Schutzwaldes nahe gelegene Anlagen durch Windfall gefährden. Hier ist von Fall zu Fall zu entscheiden. In den meisten Fällen werden erkannte negative Wirkungen zu einer Neubeurteilung der Gefahrensituation Anlass geben. Je nach Ergebnis kann die Schutzmassnahme weiterverfolgt (Schritt 2 und 3) oder die Untersuchung hier abgebrochen werden.

Tab. 3.2: Wichtigste Kriterien zur generellen Beurteilung von Schutzmassnahmen bei Sturzprozessen.

Massnahme	Kriterium, Information
Verbau im Anrissgebiet	<ul style="list-style-type: none"> - Werktyp (Anker, Netz, Spritzbeton, Betonpfeiler) - Verbaute Fläche - Baulicher Zustand - Stabilitätsprobleme - Bewährung
Dämme	<ul style="list-style-type: none"> - Topographie am Standort - Dammhöhe, Dammlänge, Dammgeometrie (Böschungsneigung) - Auffangvolumen - Geotechnische Stabilität - Bewährung bei früheren Ereignissen
Auffangnetze	<ul style="list-style-type: none"> - Werktyp - Netzlänge, -höhe - Zustand - Bewährung bei früheren Ereignissen
Wald	<ul style="list-style-type: none"> - Ausdehnung der bewaldeten Fläche - Lückenlängen, Stammzahlen - Verjüngungsangaben - Liegenlassen von Stämmen - Zustand (Käfer, Sturm) - Spuren früherer Ereignisse - Gefährdung des Bestandes durch Sturz, Lawinen, Rutschungen

3.3 Feststellung de Relevanz der Schutzmassnahme

Relevant bei Milderung
der Sturzfolgen

Die Beurteilung einer relevanten Wirkung wird gutachtlich bestimmt. Sie ist dann gegeben, wenn die Schutzmassnahme auf die Sturzgefahr ausgerichtet ist und deren Folgen zumindest teilweise zu mildern vermag. Kann keine relevante Wirkung erwartet werden, oder bestehen zu grosse Unsicherheiten auf der Massnahmen- wie Prozessseite, kann die Gefahrenbeurteilung mit Berücksichtigung der Massnahmen abgebrochen und dies in einem Bericht begründet werden. Gefährdungen, welche von den Schutzmassnahmen selbst ausgehen, müssen deklariert werden.

4. Massnahmenbeurteilung

Ziel der Massnahmenbeurteilung ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit der Schutzmassnahme unter Berücksichtigung der Prozesswirkungen aller Szenarien. Die Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen ergibt sich aus Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Das Vorgehen bei der Massnahmenbeurteilung ist aus Abb. 4.1 ersichtlich.

Ziel = Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen

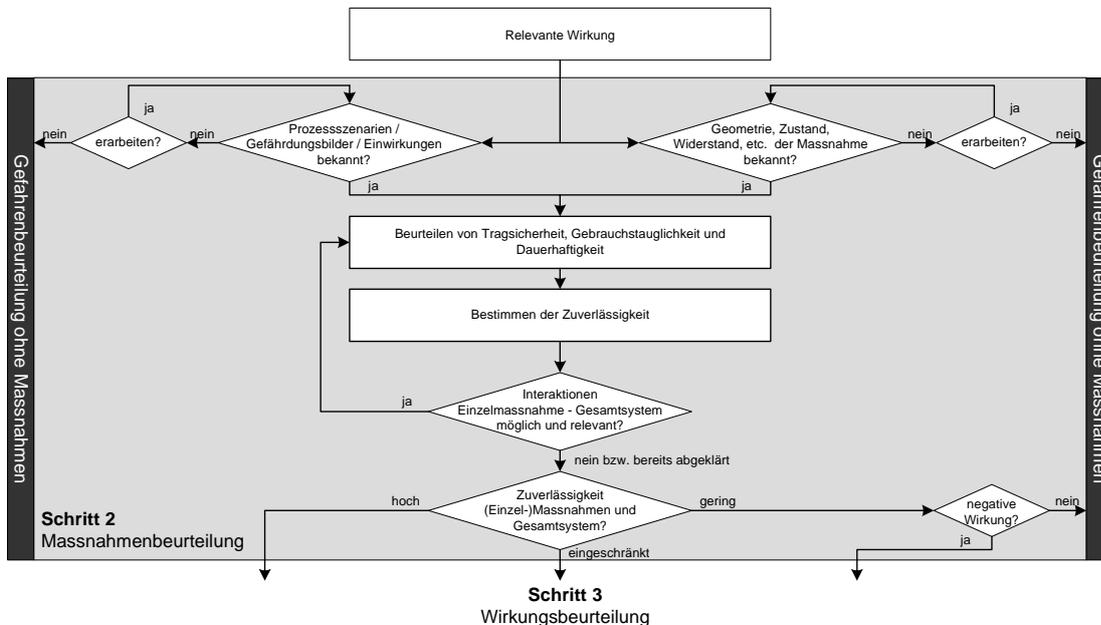


Abb. 4.2: Vorgehen bei der Massnahmenbeurteilung. Nähere Erläuterungen im Text.

4.1 Prozesskenntnisse

Entstehung und Ablauf der möglichen Sturzprozesse müssen verstanden sowie die Unsicherheiten im Prozessverständnis bekannt sein. Die erforderlichen Prozessinformationen und deren Bedeutung für die Schutzmassnahmen sind in Tab. 4.1 dargestellt.

Tab. 4.1: Erforderliche Prozesskenntnisse im Hinblick auf die Typen von Schutzmassnahmen.

Prozesskenntnis	Grundlagen	Bedeutung für Schutzmassnahmen		
		Verbau am Ausbruch	Rückhaltewerke im Transit	Wald im Transit
Potentielles Ausbruchgebiet (Lage, Grösse)	Kartierung, geologische Feldaufnahmen	entscheidend	entscheidend	entscheidend
Geologische Verhältnisse am Ausbruchsort	Geologische Verhältnisse am Ausbruchsort, Trennflächen, Gebirgsqualität, Stabilität	entscheidend	wichtig	wichtig
Grösse Sturzkomponenten	Ereigniskataster, stumme Zeugen, Ausbruchsanalyse	wichtig	entscheidend	entscheidend
Flughöhe, Geschwindigkeit, Energien	Flugbahn-Simulationen, Untergrundeigenschaften, Waldparameter	nicht wichtig	entscheidend	entscheidend

Sturzbahnsimulationen mit mehreren Flugbahnen

Im Idealfall liegen Karte der Phänomene, Intensitätskarten aller Szenarien sowie eine Gefahrenkarte (ohne Massnahmen) vor. Unabdingbar sind Sturzbahnsimulationen mit Angabe von Flughöhen und Energien (Abb. 1.2). Gute Programme generieren eine grössere Anzahl von Flugbahnen in Abhängigkeit von kleinen Unterschieden in der Geländetopographie mit einer Häufigkeitsstatistik der ermittelten Energien und Flughöhen. Solche Berechnungen müssen für alle Szenarien inklusive das mögliche Extremereignis durchgeführt sein.

4.2 Beurteilung der Zuverlässigkeit

Einschätzung der Zuverlässigkeit

In diesem Schritt sollen die zu beurteilenden Schutzmassnahmen auf ihre Zuverlässigkeit gegenüber möglichen Gefährdungsbildern und Einwirkungen untersucht werden. Die Zuverlässigkeit einer Schutzmassnahme ergibt sich aus der Einschätzung der drei Kriterien Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Die allgemeinen Definitionen gemäss SIA sind im Teil A zu finden.

Kriterien für Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

In Tab. 4.2 sind die spezifisch bei Schutzmassnahmen gegen Sturzgefahren vorhandenen Elemente von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zusammengestellt. Bei der Gebrauchstauglichkeit sollen hier allgemein wirkungsmindernde Faktoren sowie klar ersichtliche Schwächen bei der Dimensionierung (nicht zurückgehaltene Ereignisse) erkannt werden. Die eigentliche Funktionalität im Sinne der gefahrenmindernden Wirkung wird in Schritt 3 untersucht.

Tab. 4.2: Elemente und Kriterien, welche Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bei Schutzmassnahmen gegen Sturzgefahren beeinflussen.

Schutzmassnahmen	Gefährdungsbilder, Einwirkungen	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit
Verbauungen im Ausbruchbereich. Netzabdeckungen, Verankerungen, Spritzbeton	<ul style="list-style-type: none"> - instabile Felsverhältnisse - Einwirkung von Wasser und Frost 	<ul style="list-style-type: none"> - Tragende Teile - Stabilitätsnachweis - oberirdisch: Netze, Ankerköpfe, Betonpfeiler, Spritzbeton - unterirdisch: Anker, Unterfangungen, Fundamente von Verankerungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Richtig bemessene Rückhalte- resp. Stützfunktion gegenüber allen Einwirkungen (Wasser, Frost) 	<ul style="list-style-type: none"> Verwitterung des Spritzbetons, Korrosion von Netz und Ankern
Flexible und starre Netze	<ul style="list-style-type: none"> - Impakt durch Sturzkomponenten (Einzel- und Mehrfachereignis) - grösserer Felssturz 	<ul style="list-style-type: none"> - oberirdische Teile: Trag- und Rückhalteseile, Stützen, Netz - Übertragung der auftretenden Kräfte in den Untergrund - unterirdische Teile: Verankerungen der Seile, Foundation und Verankerung der Stützen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verminderung der Nutzhöhe nach Ereignis (Restnutzhöhe) - Verminderung der Nutzhöhe in Folge Verfüllung 	<ul style="list-style-type: none"> Korrosion der Anker. Verwitterung des Ankermörtels

Schutzmassnahmen	Gefährdungsbilder, Einwirkungen	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit
Erddämme	<ul style="list-style-type: none"> - Impakt durch Sturzkomponenten (Einzel- und Mehrfachereignis) - Auffüllung Rückhalteraum - grösserer Felssturz - Erosion, Dammfanken - instabiler Untergrund 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilität des Dammes (Tragfähigkeit Untergrund, Dammstabilität in sich) - Widerstandsfähigkeit gegen das Durchschlagen von Sturzkomponenten 	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr des Überrollens bei zu flachen bergseitigen Böschungen ($< 40^\circ$) - Verminderung der Höhe des Dammes durch Auffüllung - eingeschränkte Funktion nach Sturztrefen 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosion der Dammfanken - Nachgiebigkeit des Untergrundes

Abb. 4.3 bis Abb. 4.5 zeigen die Tragelemente von flexiblen und starren Netzen, Abb. 4.6 illustriert die Lage der Trageile nach einer Belastung. Die Darstellungen geben Hinweise, welche Tragelemente zu prüfen sind.

Tragelemente von Steinschlagnetzen

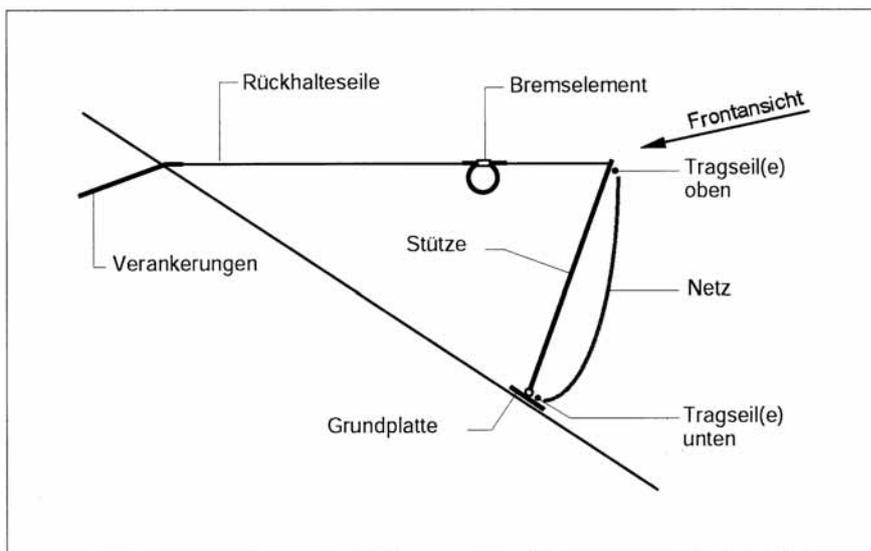


Abb. 4.3: Schematische Ansicht eines rückverankerten flexiblen Schutznetzes mit seinen Tragelementen (BUWAL, 2001).

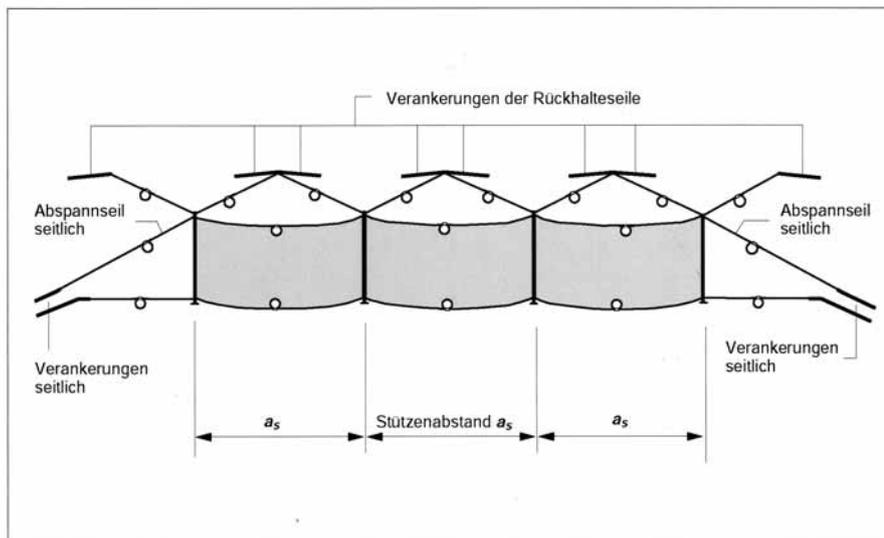


Abb. 4.4: Schematische Frontansicht eines flexiblen Netzes (BUWAL, 2001).

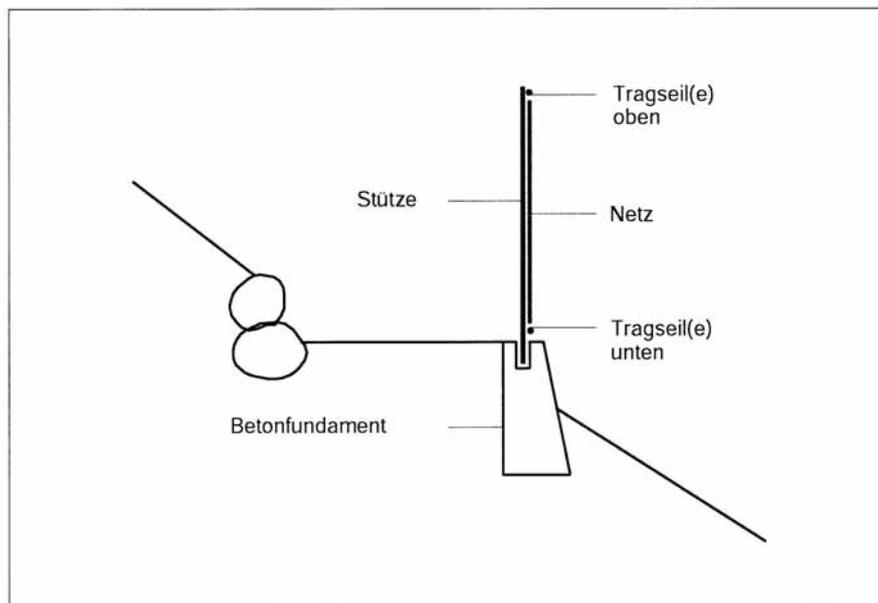


Abb. 4.5: Schematische Ansicht eines Schutznetzes mit eingespannten Stützen (BUWAL, 2001).

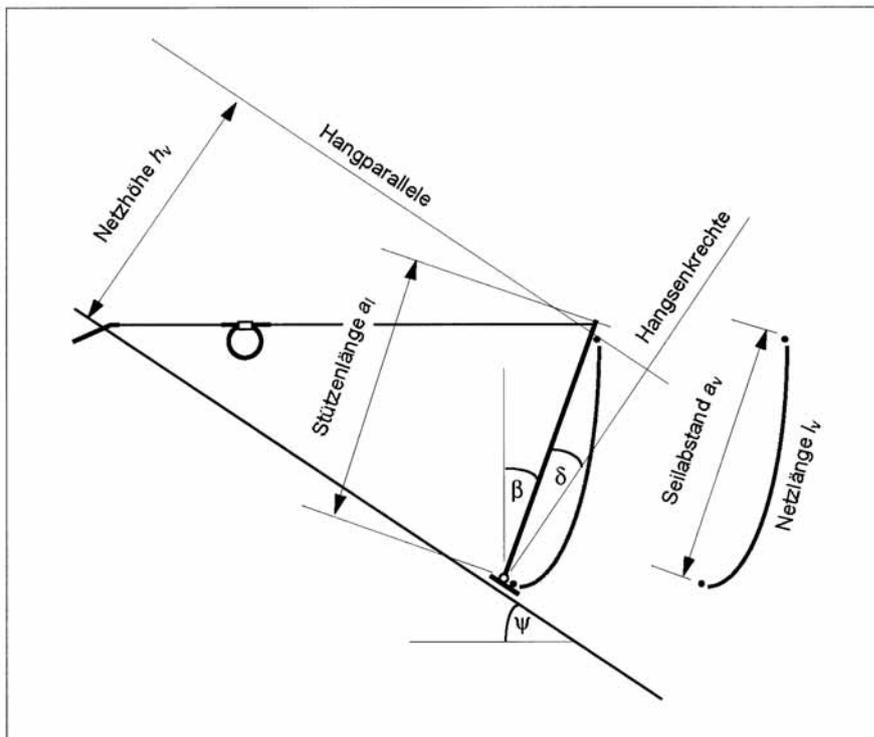


Abb. 4.6: Deformation eines flexiblen Netzes nach Treffer (BUWAL, 2001).

In Tab. 4.3 und Tab. 4.4 wird die Zuverlässigkeit von Schutzmassnahmen an Hand massgebender Kriterien abgeleitet. Dabei werden in der Praxis häufig auftretende Fälle berücksichtigt. Weitere Fälle können sinngemäss behandelt werden. Der Bearbeiter kann an Hand der Kriterien die Zuverlässigkeit bestimmen. Dabei sind Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit stärker zu gewichten als die Dauerhaftigkeit. Es können allenfalls weitere Kriterien eingeführt werden. Tab. 4.3 und Tab. 4.4 zeigen die in der Praxis häufigsten Fälle, sind aber nicht abschliessend.

Tragfähigkeit und
Gebrauchstauglichkeit
stärker als Dauer-
haftigkeit gewichtet

Tab. 4.3: Bestimmung der Zuverlässigkeit von Rückhaltewerken im Transitbereich für ein bestimmtes Szenario unter Berücksichtigung der häufigsten, in der Praxis relevanten Kriterien (nr = nicht relevant für die Massnahme; ? = je nach Situation ja/nein)

Werk	Kriterien										Erfüllung von			
	Unterhalt	gute Bauausführung	Verankerung i. O. (vgl. Tab. 4.5)	Geotechn. Stabilität erfüllt	Keine Schäden (Erosion)	Keine Schäden an Bauteilen	Restnutzhöhe gewährleistet	Überrollgefahr gering	keine nicht-zurückgehaltenen Ereignisse bekannt	genügend Lichtraumprofil	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit	Zuverlässigkeit
flexibles Netz	ja	ja	ja	nr	nr	ja	ja	nr	ja	ja	ja	ja	ja	hoch
typengeprüft	ja	ja	?	nr	nr	ja	ja	nr	ja	ja	teilweise	teilweise	teilweise	eingeschränkt
flexibles Netz mit Werkangaben	ja	ja	?	nr	nr	ja	nein	nr	?	ja	teilweise	teilweise	ja	eingeschränkt
starre Netze	ja	ja	ja	nr	nr	ja	ja	nr	ja	ja	ja	ja	ja	hoch
typengeprüft	ja	ja	?	nr	nr	ja	?	nr	?	ja	teilweise	teilweise	ja	eingeschränkt
flexible oder starre Netze ohne Werkangaben, nicht typengeprüft	ja	?	?	nr	nr	ja	nein	nr	?	ja	teilweise	teilweise	teilweise	gering
Erdämme mit bergseitiger Böschung > 40°	ja	ja	nr	ja	ja	ja	nr	ja	ja	nr	ja	ja	ja	hoch
	ja	ja	nr	nein	nein	ja	nr	ja	ja	nr	teilweise	ja	ja	eingeschränkt
Erdämme mit bergseitiger Böschung < 40°	ja	ja	nr	ja	ja	ja	nr	nein	?	nr	ja	teilweise	ja	eingeschränkt

Tab. 4.4: Bestimmung der Zuverlässigkeit von Verbaumasnahmen im Ausbruchbereich unter Berücksichtigung der häufigsten, in der Praxis relevanten Kriterien
(nr = nicht relevant für die Massnahme; ? = je nach Situation ja/nein)

Werk (häufig auch kombiniert)	Kriterien							Erfüllung von			
	Unterhalt	Gute Bauausführung	keine Schäden an Bauteilen, keine Sackbildungen	Nägels i. O. (vgl. Tab. 4.5)	Verankerung i. O. (vgl. Tab. 4.5)	keine Ausbrüche bekannt	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit	Zuverlässigkeit	
Netzabdeckungen - PVC - Stahl	ja	ja	ja	?	nr	?	teilweise	teilweise	teilweise	eingeschränkt bis gering	
	ja	ja	ja	?	nr	?	teilweise	teilweise	teilweise	eingeschränkt	
Netz + Nägel + Gunit	ja	ja	ja	?	nr	ja	ja	ja	ja	hoch	
Verankerung von grossen Felsmassen, Unterfangungen mit Beton	ja	ja	ja	nr	ja	ja	ja	ja	ja	hoch	

Wartung, Unterhalt, Ersatz vorausgesetzt	Wartung und Unterhalt werden gemäss Grundsatz 6 vorausgesetzt. Dies bedeutet, dass nach Sturzereignissen Reparaturen kurzfristig vorgenommen werden und dass die Dauerhaftigkeit durch Ersatz korrodierter oder verwitterter Teile einigermaßen gewährleistet wird. Die Netze neueren Datums, d.h. ca. ab 2001, sollten typengeprüft gemäss BUWAL (2001) sein. In der Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag wurde ein standardisierter Prüfungsablauf veröffentlicht.
Typengeprüfte Werke i.d.R. mit hoher Zuverlässigkeit	Bei typengeprüften Werken kann in der Regel von einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen werden, immer vorausgesetzt dass das Schutznetz auf das massgebende Szenario resp. Gefährdungsbild ausgerichtet ist. Vor Einführung der Typenprüfung arbeiteten gute Lieferfirmen z. T. mit eigenen Tests und strengen Anforderungen (Werkangaben). Auch hier kann häufig eine befriedigende Zuverlässigkeit erwartet werden. Alte Werke ohne jegliche Werkangaben müssen sehr zurückhaltend eingestuft werden. Hier dürften die Anforderungen häufig nicht erfüllt sein.
Verankerung muss auftretende Kräfte aufnehmen können	Die bei Netzen bei der Foundation und bei den Abspannseilen eingesetzten Anker sind ein wichtiger Bestandteil der Anlagen. Ein qualitativ noch so gutes Schutznetz kann seine Aufgaben nur erfüllen, wenn die Verankerungen die auftretenden Kräfte aufnehmen können. Es kommt hier immer wieder zu Schäden in Folge ungenügender Tragfähigkeit. Dieses wichtige Element ist zudem verborgen und nicht einfach zu beurteilen. Die Ergänzung zur Typenprüfung 2001 betreffend Verankerung und Fundierung von Schutzbauten gegen Steinschlag (Entwurf 2008) gibt hierzu wichtige Ansätze. In Tab. 4.5 sind die massgebenden Kriterien dargestellt.
Schutznetze häufig mit Unsicherheiten verbunden	Flexible Schutznetze sind heute die am häufigsten eingesetzte Schutzmassnahme bei Sturzgefahren. Netze bergen aber häufig Unsicherheiten, welche die Zuverlässigkeit einschränken können. Fachmännisch erstellte Erddämme sind diesbezüglich wesentlich sicherer einzustufen.
Erfahrungen aus Ereignissen	Ein weiteres, unter Umständen sehr aussagekräftiges Kriterium ist das Verhalten der Schutzmassnahme bei Ereignissen: <ul style="list-style-type: none"> – Hat das Werk früheren Sturzereignissen standgehalten? – Haben Komponenten das Werk übersprungen oder überrollt? – Welche Schäden sind entstanden? <p>Antworten auf diese Fragen können Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bestätigen, in Zweifel ziehen oder gar als ungenügend einstufen.</p> <p>Schutzmassnahmen im Ausbruchbereich sind oft aufwendiger als Rückhaltewerke im Transitbereich. Ausbruchsicherungen können aber eine wichtige oder sogar notwendige Ergänzung zu Rückhaltewerken sein, vor allem in folgenden Fällen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ausbrechende Komponenten sind so gross, dass sie im Transitbereich energetisch nicht beherrscht werden können. – Die Topographie hat zur Folge, dass grosse, nicht beherrschbare Flughöhen im Transitbereich entstehen (Beispiel Jungfrauoch, Abb. 2.1).

Tab. 4.5: Kriterien zur Beurteilung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Anker. Bewertung: Bei mehr als 5 Nein Antworten muss die Tragsicherheit der Anker als ungenügend eingestuft werden.

Thema	Kriterium	Fragen	Antwort Ja / Nein
Allgemein	Plangrundlagen Berechnungen, Protokolle	Sind gute und vollständige Unterlagen vorhanden? (Situationsplan mit Ankernummern, Bemessung, Bohr- und Injektionsprotokolle etc.)	
	Identifikation	Kann der zu beurteilende Anker eindeutig den Unterlagen zugeordnet werden?	
	Abmessungen	Stimmen die vorhandenen Abmessungen mit den Unterlagen überein?	
Tragsicherheit	Projekt	Stimmen die Berechnungen für den Tragsicherheitsnachweis?	
	Versuche	Sind zur Bestimmung der Ankerlänge Ausziehversuche durchgeführt worden?	
	Ausführung	Sind in den Bohr- und Injektionsprotokollen keine Unregelmässigkeiten festzustellen?	
		Sind nach dem Einbau an einzelnen Anker Zugproben durchgeführt worden?	
	Zustand	Ist der sichtbare Teil des Ankers schadenfrei?	
Sind keine Verformungen sichtbar?			
Gebrauchstauglichkeit	Zustand	Kann eine hohe Zuverlässigkeit vermutet werden? (Sind keine Bodenbewegungen, Bodenerosionen vorhanden?)	
Dauerhaftigkeit	Korrosionsschutz	Ist der Anker mit Korrosionsschutzstufe 1 geschützt?	
	Korrosionsschutz	Ist der Anker mit Korrosionsschutzstufe 2 geschützt?	

Die Bestimmung der Zuverlässigkeit von Schutzmassnahmen im Ausbruchbereich (Tab. 4.4) kann nach ähnlichen Kriterien erfolgen wie bei den Rückhaltewerken (Tab. 4.3). Die Beurteilung von nicht einsehbaren Vernagelungen und Verankerungen ist aber auch hier schwierig (Tab. 4.5).

Schutzmassnahmen im Ausbruchbereich ähnlich beurteilbar

Aus der Bestimmung der Einzelmassnahmen resp. des Gesamtsystems bei Kombinationen ergibt sich das weitere Vorgehen. Für die Wirkungsbeurteilung sollen nur noch Massnahmen mit eingeschränkter bis hoher Zuverlässigkeit berücksichtigt werden. Massnahmen mit geringer Zuverlässigkeit (meist in Folge von verminderter Tragfähigkeit resp. Gebrauchstauglichkeit) sollen nicht weiterverfolgt werden.

Massnahmen geringer Zuverlässigkeit nicht weiterverfolgen

4.3 Die Zuverlässigkeit der Massnahme Schutzwald

Gute Wirkung im
Transitbereich

Obschon Wald durch die Natur bereitgestellt wird, kann diese ähnlich wie eine technische Massnahme beurteilt werden. Wald hat bei Sturzgefahren häufig eine wichtige Schutzfunktion, sei es allein oder im Verband mit ergänzenden technischen Massnahmen. Schutzwald entfaltet seine Wirkung gegen Steinschlag im Transitbereich und hier im grösseren Verbund. Im Ausbruchbereich des Steinschlages hat Wald praktisch keine oder sogar eine negative Wirkung, indem er selbst Steinschlag auslösen kann.

Zuverlässigkeit
qualitativ beurteilbar

Die Anforderungen des Waldes bezüglich Steinschlag können NaiS (Frehner et al., 2005) entnommen werden (Tab. 4.6). Dank den Vorgaben von NaiS kann die Zuverlässigkeit und damit die Versagenswahrscheinlichkeit von Wald vorwiegend qualitativ beurteilt werden. Bei Steinschlagprozessen, wo die Schutzwirkung des Waldes durch zahlreiche Interaktionen Stein-Baum erreicht wird, sind Stammzahlen und -durchmesser (Baumholz) wichtig.

Tab. 4.6: Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag (NaiS, Frehner et al., 2005).

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	Mittel	Stabilitätsträger Keine instabilen, schweren Bäume	
Transitgebiet	Gross Steine bis 0.05 m ³ (Durchmesser etwa 40 cm)	Gefüge horizontal: Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	Gefüge horizontal: Mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		evt. auch Stockausschläge	
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser ² angepasst	
	Steine 0.05 bis 0.20 m ³ (Durchmesser etwa 40 bis 60 cm)	Gefüge horizontal: Mind. 300 Bäume/ha mit BHD > 24 cm	Gefüge horizontal: Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 24 cm
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser ² angepasst	
	Steine 0.20 bis 5.00 m ³ (Durchmesser etwa 60 bis 180 cm)	Gefüge horizontal: Mind. 150 Bäume/ha mit BHD > 36 cm	Gefüge horizontal: Mind. 200 Bäume/ha mit BHD > 36 cm
	Zusätzliche für alle Steingrössen:	Gefüge horizontal: Bei Öffnungen ¹ in der Fallinie Stammabstand < 20 m Liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen, falls keine Sturzgefahr	
		Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Auslauf- und Ablagerungsgebiet	Gross Der wirksame Mindestdurchmesser der Bäume ist deutlich geringer als im Transitgebiet und liegendes Holz ist immer wirksam	Gefüge horizontal Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	Gefüge horizontal Mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		Gefüge horizontal: Bei Öffnungen ¹ in der Fallinie Stammabstand < 20 m evt. auch Stockausschläge	
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser angepasst liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen	
		Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt

Bei den meisten Schutzwäldern wird die Tragsicherheit wie auch die Dauerhaftigkeit durch ihre Existenz über lange Zeit belegt. Schwieriger zu beurteilen sind gestörte Waldflächen, sei es durch Käferbefall oder Windwurf. Hier sind die Erfahrungen noch gering.

gestörte Waldfläche
schwer beurteilbar

Die hier vorgenommene qualitative Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit wird sich in Schritt 3 durch quantitative Analysen konkretisieren.

Die Dauerhaftigkeit eines Waldes kann im Allgemeinen als erfüllt betrachtet werden, sofern mittelfristig ein befriedigender Zustand erwartet werden kann. Die Schutzwirkung kann hier mit waldbaulichen Massnahmen aufrechterhalten werden. Eine Störung durch das Gefährdungsbild Sturm und Käferbefall kann gemäss NaiS vernachlässigt werden, weil solche Ereignisse relativ selten sind. Das Gefährdungsbild der möglichen partiellen Zerstörung des Waldes durch Felssturz, Lawine oder Rutschung muss aber berücksichtigt werden. Ein solches Gefahrenpotenzial kann die Dauerhaftigkeit in Frage stellen. Tab. 4.7 illustriert bei Schutzwäldern häufig vorkommende Fälle.

Schutzwald i.d.R.
dauerhaft

Tab. 4.7: Häufige Fälle bezüglich der Zuverlässigkeit von Wald.

	Tragfähigkeit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit	Zuverlässigkeit
Anforderungsprofil NaiS erfüllt				
- mit Waldpflege	ja	ja*	ja	hoch
- ohne Waldpflege	ja	ja*	nein	eingeschränkt
Lücken im Schutzwald durch Schäden	nein	nein**	nein	gering**
Überalterter Wald mit geringer Stammzahl und schwieriger Verjüngung	ja	nein**	nein	eingeschränkt
Zerstörung durch Grossereignis möglich (Lawine, Felssturz, Rutschung)	nein	nein	nein	gering

* zu quantifizieren in Schritt 3

** vorübergehend, Resilienz möglich

Das Resultat der Bestimmung der Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen besteht in einer Deklaration einer hohen, eingeschränkten und geringen Zuverlässigkeit gemäss Abb. 4.7. Bei einer hohen Zuverlässigkeit können die Massnahmen als voll wirksam betrachtet werden. Hier sind die Anforderungen an Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt. Bei einer eingeschränkten Zuverlässigkeit besteht eine reduzierte Wirkung der Massnahme. Dies muss bei der Wirkungsbeurteilung entsprechend berücksichtigt werden.

Resultat: hohe,
eingeschränkte und
geringe Zuverlässigkeit

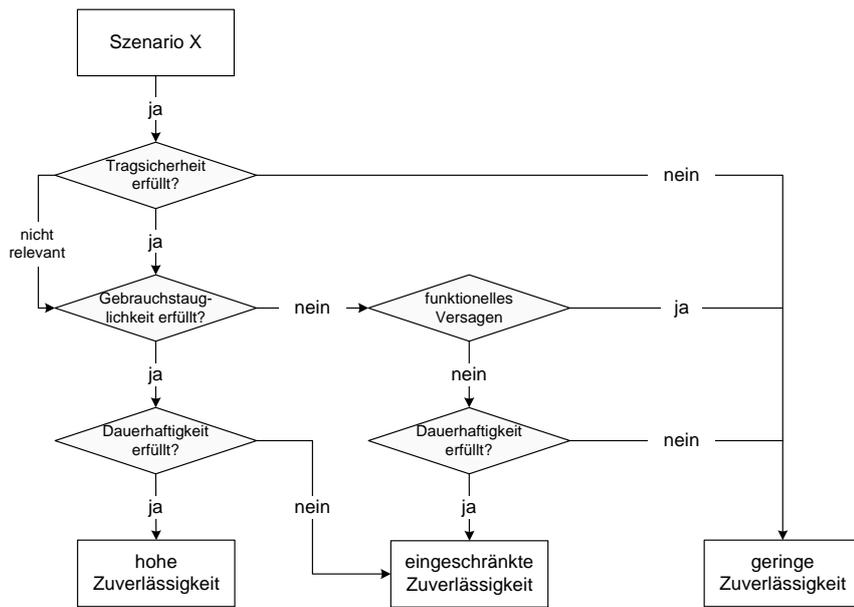


Abb. 4.7: Bestimmung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

Geringe Zuverlässigkeit: Versagen zu erwarten

Bei einer geringen Zuverlässigkeit muss ein Versagen der Schutzmassnahmen erwartet werden. Es besteht keine reduzierende Wirkung auf das Gefahrenpotenzial. Die Schutzmassnahme wird nicht weiter verfolgt. Es muss vielmehr überprüft werden, ob die Massnahme nicht sogar negative Auswirkungen auf den Prozessablauf haben kann. In diesem Fall ist dies zu deklarieren.

5. Wirkungsbeurteilung

5.1 Vorgehen

Das Vorgehen bei der Wirkungsbeurteilung ist schematisch im Diagramm Abb. 5.1 dargestellt.

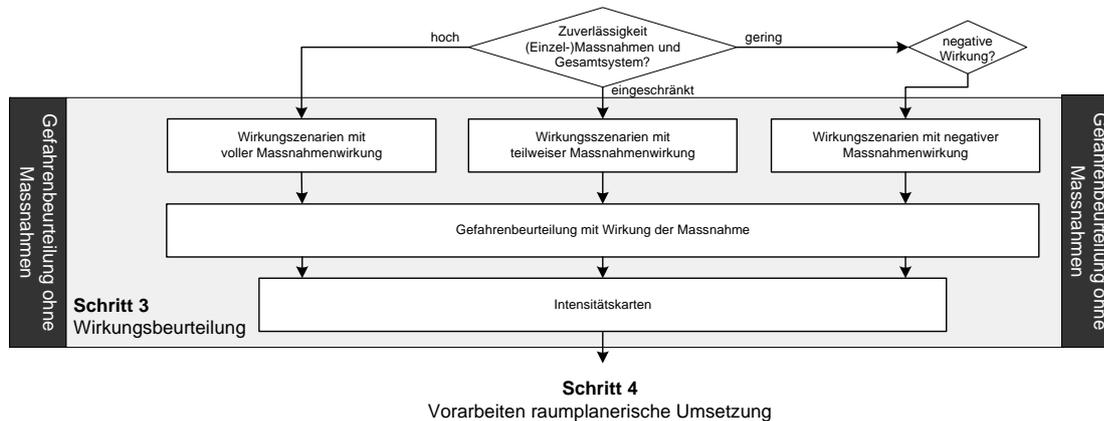


Abb. 5.1: Beurteilung der Wirkung einer Schutzmassnahme.

Die Schutzmassnahmen mit Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (evtl. Reduktion der Funktionstüchtigkeit) greifen im bestehenden Ereignisablauf in die Szenarien ein. Ist eine Kette von Schutzmassnahmen vorhanden, entsteht nach jeder Massnahme eine neue Situation bezüglich der Szenarien. Dabei ist auch ein mögliches Versagen einer Massnahme zu beurteilen. Am Ende resultieren Szenarien nach wirksamen Massnahmen.

Bei mehreren Massnahmen jeweils neue Szenarien bilden

Bei den Szenarien muss auch das Extremereignis berücksichtigt werden. Das Extremereignis kann als Überlastfall auf die Massnahme wirken.

Extremereignis berücksichtigen

Bei einer hohen Zuverlässigkeit der Schutzmassnahme wird die Gefahr unter Berücksichtigung der vollen Wirksamkeit der Massnahme beurteilt. Es resultieren Intensitätskarten nach Massnahmen. Dabei können Sturzmodellierungen unter Einbezug der Massnahme eingesetzt werden (Abb. 5.4). In der Praxis wird gerade bei Rückhaltewerken gegen Sturzgefahren die Gebrauchstauglichkeit häufig nicht vollumfänglich erfüllt sein, d.h. für bestimmte Szenarien ist ein funktionelles Versagen infolge ungenügender Werkhöhe oder Energieaufnahme möglich. Auch die partielle Wirkung der Massnahme kann aber eine Reduktion des Gefahrenpotenzials zur Folge haben, welches auch hier mit den entsprechenden Intensitätskarten abgebildet werden kann.

Hohe Zuverlässigkeit führt zu voller Berücksichtigung

Bei der Schutzmassnahme Wald ist dies besonders augenfällig. Da dieser erst im grösseren Verbund seine Wirkung entfaltet, ist seine Gebrauchstauglichkeit massgeblich auch von der Waldstrecke abhängig. Mit guten Steinschlagprogrammen kann die Gebrauchstauglichkeit resp. die Schutzwirkung von Wald quantifiziert werden.

Gebrauchstauglichkeit bei Wald von Strecke abhängig

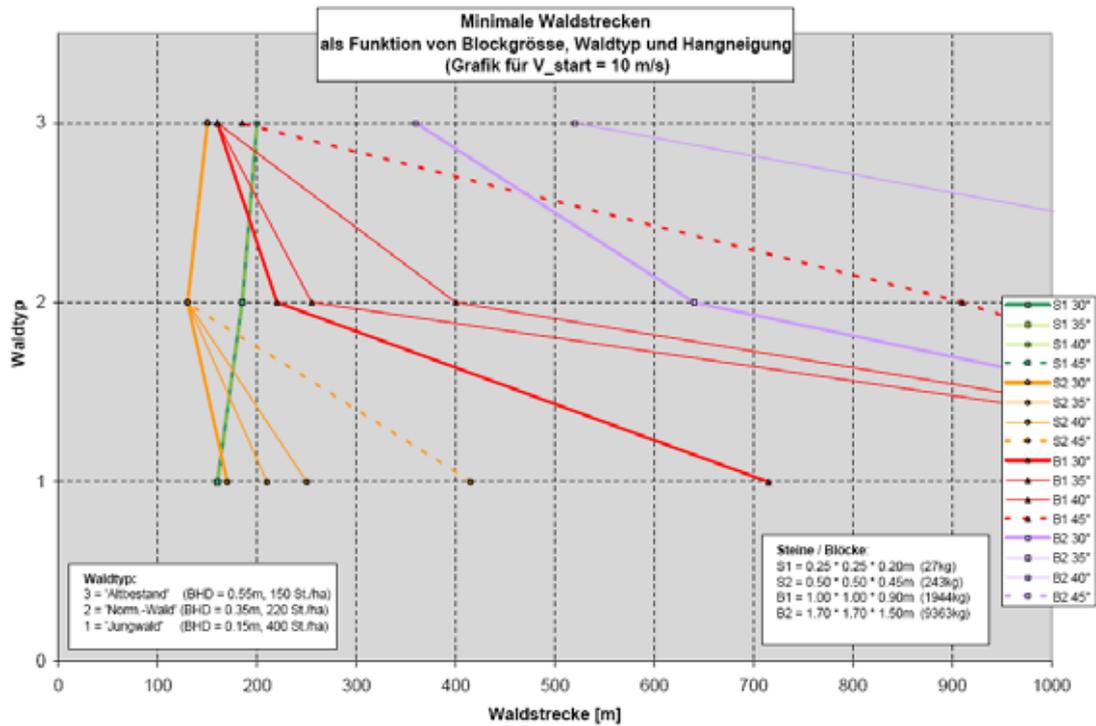


Abb. 5.2: Beispiel einer Steinschlagmodellierung zur Ermittlung minimaler Waldstrecken zum Rückhalt von Sturzkomponenten als Funktion von Blockgröße, Waldtyp und Hangneigung (Eintrittsgeschwindigkeit 10 m/s). Quelle: GEOTEST.

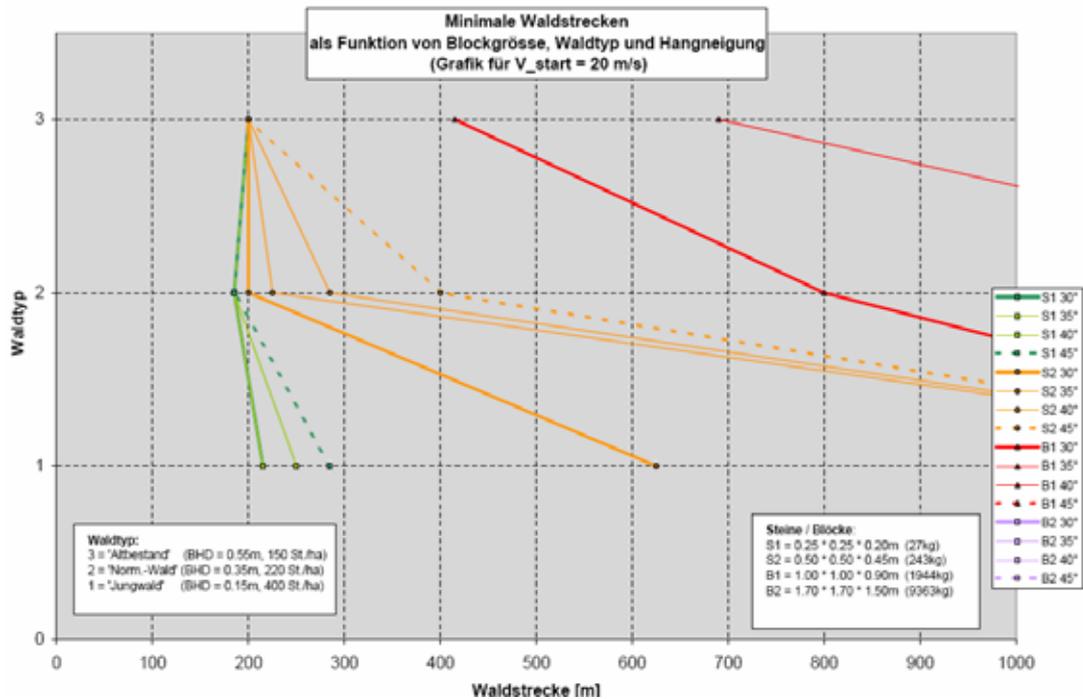


Abb. 5.3: Beispiel einer Steinschlagmodellierung zur Ermittlung minimaler Waldstrecken zum Rückhalt von Sturzkomponenten als Funktion von Blockgröße, Waldtyp und Hangneigung (Eintrittsgeschwindigkeit 20 m/s). Quelle: GEOTEST.

Abb. 5.2 und Abb. 5.3 zeigen beispielhaft Ergebnisse von Steinschlagmodellierungen in Waldgebieten unter verschiedenen Randbedingungen (Waldtyp, Hangneigung, Eintrittsgeschwindigkeit, Blockgrösse). Dabei ist zu erkennen, dass je nach Bedingung eine minimale Waldstrecke vorhanden sein muss, um eine genügende Schutzwirkung zu erreichen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass je nach Blockgrösse erst mehrere bremsende Interaktionen Block-Baum zu einem Rückhalt des Blockes führen. Aus diesem Grunde ist es unerlässlich, die in Schritt 2 qualitativ bestimmte Gebrauchstauglichkeit des Waldes durch eine Modellierung zu quantifizieren, wobei aktuellste Fachgrundlagen (WSL, 2004, Jonsson 2007) und Modelle anzuwenden sind.

Bei Schutzwald
minimale Strecke nötig

In der Praxis wird häufig der Fall auftreten, dass die von Natur aus bestehende Schutzmassnahme Wald durch technische Massnahmen ergänzt werden. Hier ist es zweckmässig, vorerst die Wirkung des Waldes zu bestimmen und in einem 2. Schritt die Wirkung der technischen Massnahmen. Es resultieren Intensitätskarten vor und nach technischen Massnahmen. In gleicher Weise wird bei Verbauungen des Ausbruchgebietes verfahren, welche das Gefahrenpotenzial mehr oder weniger reduzieren und dann z.T. mit nachgeschalteten Massnahmen im Transitbereich kombiniert werden.

Bei Kombination zuerst
Waldwirkung
bestimmen

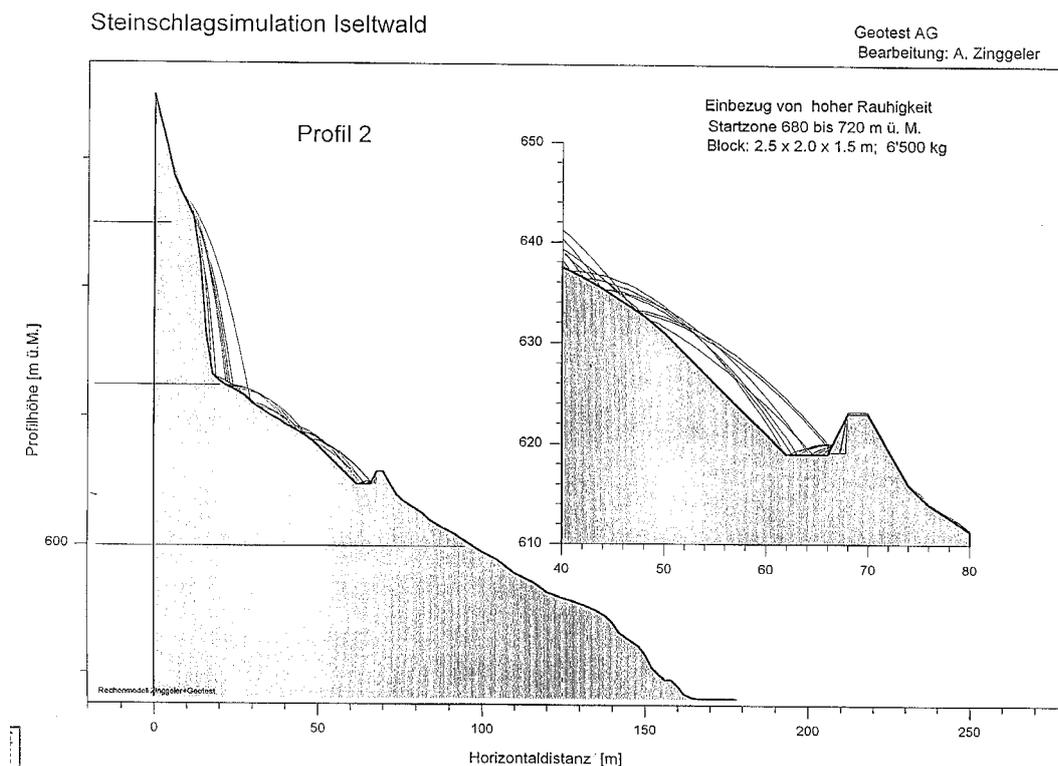
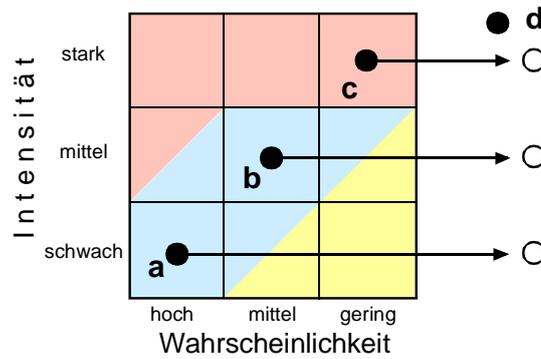


Abb. 5.4: Beispiel einer Blockschlagmodellierung mit Wirkung der Massnahme Damm.

5.2 Neue Szenarien nach wirksamen Massnahmen

Beispiele

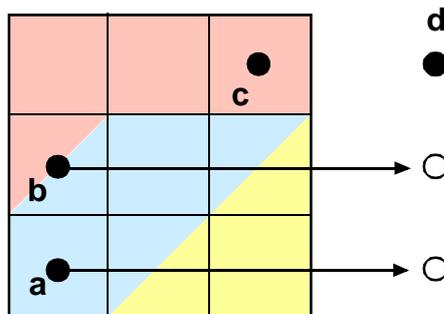
Nachfolgend sind denkbare Ergebnisse einer solchen Analyse dargestellt. a, b, c, d stehen für Sturzsznarien 30, 30 - 100, 100 - 300 Jahre und Extremereignis (ausgefüllte Kreise: Ausgangslage, leere Kreise: Situation nach Massnahme).



Beispiel 1:

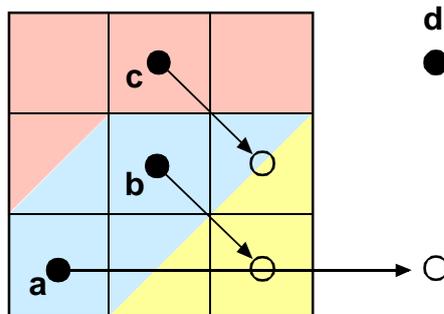
Schutzmassnahme beherrscht Szenarien a – c vollumfänglich.

Sehr seltenes Extremereignis wird nicht beherrscht. Ein solches würde die Wirkung der Massnahme bezüglich Szenarien a, b, c beeinträchtigen.



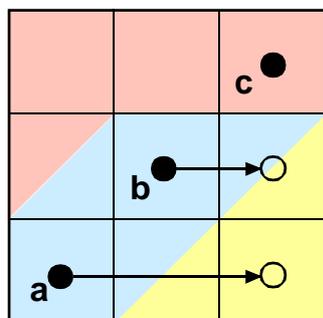
Beispiel 2:

Schutzmassnahme wirkt voll gegen Szenarien a und b, jedoch nicht gegen c und d. Energie von c und d zu hoch.



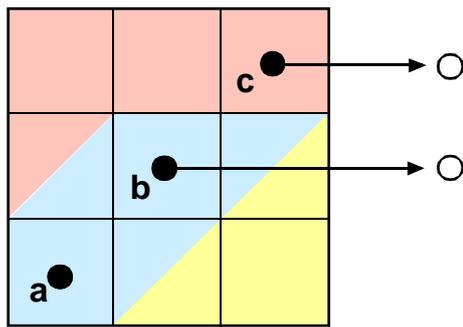
Beispiel 3:

Schutzmassnahme wirkt voll gegen Szenarium a und teilweise durch Verminderung der Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von b und c. Der Damm kann in seltenen Fällen mit Verminderung der Energie überrollt werden.



Beispiel 4:

Ein Teil der Sturzkomponenten wird durch das Werk zurückgehalten. In seltenen Fällen überspringen Blöcke von a und b das Werk (= geringere Eintretenswahrscheinlichkeit). c wird nicht beherrscht.



Beispiel 5:
 Durch einen Verbau im Abbruchgebiet wird die Gefahr von b und c eliminiert. Kleine Steine können weiterhin ausbrechen (a).

Dies ist nur eine beispielhafte Auswahl einiger Fälle. In der Praxis sind weitere Möglichkeiten denkbar. Extremereignisse liegen nicht immer ausserhalb des I / W-Diagramms.

5.3 Unsicherheiten des Gesamtsystems

Unsicherheiten ergeben sich sowohl von der Prozess- wie von der Massnahmen-seite. Sie liegen in der Natur der Sache und sind unvermeidlich. Tab. 5.1 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Quellen der Unsicherheiten. Der Gutachter muss diese Unsicherheiten deklarieren und transparent machen. Im Weiteren kann er sie - nachvollziehbar - bei der Gefahrenbeurteilung nach Massnahmen berücksichtigen. Fälle mit hohen Unsicherheiten auf der Prozessseite und einer geringen Zuverlässigkeit bzw. einer geringen Wirkung im Überlastfall sollen nicht weiter verfolgt werden.

Unsicherheiten deklarieren

Tab. 5.1: Unsicherheiten im Gesamtsystem, Prozess- und Massnahmensseite.

Prozessseite			
Unsicherheit	gering	mässig	hoch
Unsicherheiten Prozess	gemäss	gemäss Tab. 1.2	gemäss Tab. 1.2
Unsicherheiten Extremereignis	Gefahrenpotential bekannt und quantifizierbar	Gefahrenpotential mit Unsicherheiten behaftet gemäss Tab. 1.3, teilweise quantifizierbar	Gefahrenpotential nicht quantifizierbar
Massnahmensseite			
Wirkung	hoch	eingeschränkt	gering
Zuverlässigkeit	gemäss Tab. 4.3 und Tab. 4.4	gemäss Tab. 4.3 und Tab. 4.4	gemäss Tab. 4.3 und Tab. 4.4
Überlastfall	Beherrschung des Extremereignisses durch Massnahme gewährleistet	Beherrschung des Extremereignisses durch die Massnahme mit Unsicherheiten	Extremereignis kann Massnahme zerstören oder stark beschädigen

6. Nachvollziehbarkeit

Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen soll transparent und nachvollziehbar erfolgen. Die Ergebnisse der Analysen sollen gemäss den 3 Schritten sauber dokumentiert werden. Die neue Gefahrenkarte muss den geforderten allgemeinen Qualitätskriterien genügen.

Saubere Dokumentation

7. Fallbeispiel Steinschlagnetz Gersau LU

7.1 Grob beurteilung

7.1.1 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

Mehrere Häuser
gefährdet

In Bezirk Gersau sind im Gebiet „Tal“ mehrere Häuser durch Stein- und Blockschlag gefährdet. Einige steile direkt darüber liegende Felsbänder des Gersauer Stocks sind intensiv zerklüftet und von einem wirksamen Trennflächengefüge zerlegt. Dies bewirkt Abbrüche von unterschiedlicher Grösse und Reichweite.

2005 Erstellung
Schutznetze

1999 wurde ein geologisches Gutachten in Auftrag gegeben mit dem Ziel die Intensität der Gefährdung der Häuser aufzuzeigen und Massnahmen zur Sanierung vorzuschlagen. Die Massnahmen sahen mehrere, verschiedene Schutznetze vor. Die Schutznetze sind im Jahr 2005 erstellt worden. Im Folgenden wird nun auf diese Steinschlagschutznetze eingegangen und ihre Wirkung als Grundlage für die Berücksichtigung in der Raumplanung beurteilt. Abb. 7.1 zeigt die einzelnen Sturzbahnen der Steine und Blöcke und die Lage der Schutznetze.



Abb. 7.1: Sturzbahnen der Steine und Lage der Schutznetze im Gebiet Tal.

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (Ja082265).

7.1.2 Schutznetz und Verfügbarkeit

Die Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen sehen vor, dass diese permanent verfügbar und ihre Dauerhaftigkeit mit üblichen Unterhalt mindestens 50 Jahre betragen soll. Die Verfügbarkeit von Schutznetzen ist, streng genommen, generell nicht dauernd gewährleistet. Sobald eine mittlere oder grössere Belastung stattfindet, wird die Nutzhöhe der Netze reduziert und nachfolgende Steine oder Blöcke können die Netze an der betroffenen Stelle passieren, ohne, dass sie in ihrer Bewegung gehindert werden.

Nach Belastung
Schutzhöhe reduziert

Je nach Auslegung des beschriebenen Grundsatzes könnte die weitere Bearbeitung dieser Beurteilung hier abgebrochen werden, weil diese Schutzmassnahme nicht permanent verfügbar ist.

Daher keine permanente Verfügbarkeit

Auch die geforderte Dauerhaftigkeit von 50 Jahren ist bei Schutznetzen generell in Frage gestellt. In den aktiven Steinschlagzonen finden dauernd Prozesse mit häufigen Ereignissen statt. Diese füllen im Laufe der Zeit die Netze und es bedarf grosser Unterhaltsanstrengungen damit die Netze frei von Ablagerungen bleiben. Sind Ablagerungen im Netz vorhanden, wird die Funktion des Netzes eingeschränkt und die Dauerhaftigkeit ist nicht mehr gegeben.

Keine 50 jährige Dauerhaftigkeit

Trotz diesen eher negativen Voten werden die im Jahr 2005 erstellten Schutznetze einer Grobbeurteilung unterzogen. Dazu müssen eine Reihe von Bedingungen erfüllt werden.

7.1.3 Raumwirksamkeit

Den erstellten Schutznetzen kann durch ihre spezifische Anordnung und Grösse eine räumliche Wirkung attestiert werden. Prinzipiell schützen die Netze auf einer Breite von zirka 150 m das darunter liegende Wohngebiet vor Steinschlag.

Räumliche Wirkung gegeben

7.1.4 Gesamtkonzept

Ein weiterer Grundsatz ist, dass jede Schutzmassnahme in ein Gesamtkonzept eingebunden ist. In diesem Beispiel wird der Schutz des Wohngebietes durch die linienförmige Anordnung der Schutznetze gewährleistet. Bei diesem linienförmigen Konzept, kann nicht von einem Gesamtkonzept gesprochen werden. Ein Gesamtkonzept enthält verschiedene Schutzstufen und nachfolgende Schutzmechanismen. Sobald ein Werk ausfällt oder überlastet wird, tritt eine andere Massnahme in Aktion, um ein allfälliger Schaden trotzdem zu verhindern oder mindestens zu begrenzen.

Kein Gesamtkonzept

7.1.5 Lebensdauer

Abgesehen von der oben beschriebenen Problematik mit dem Hinterfüllen der Netze im Verlaufe der Zeit ist die geforderte Lebensdauer der Massnahme mit 50 Jahren sehr hoch. Das Baumaterial für Schutznetze ist Stahl in verschiedenen Ausführungen. Dieser Stahl ist trotz Korrosionsschutz einem Alterungsprozess unterworfen. Millimeterdünne Einzelteile sind mit zentimeterdicken Seilen verbunden und diese werden filigran und flexibel über die Stützen in den Fundamentpunkten verankert. Diese Konstruktionsart ist nicht so robust wie beispielsweise stählerne Lawinerverbauungen. Die ältesten Lawinerverbauungen aus Stahl sind heute zirka 50 jähig und bei solchen Werken kann abgeschätzt werden, was eine Lebensdauer von 50 Jahren bedeutet.

Stahl ist Alterungsprozess unterworfen

Netze nach 25 ersetzen

Heute sind die ältesten Schutznetze gegen Steinschlag höchstens 30 Jahre alt und sie werden alle und ohne Ausnahme ersetzt. Es ist also ein sehr ehrgeiziges Ziel den eingebauten Schutznetzen mit den Stahlteilen eine Lebensdauer von 50 Jahren zu attestieren. Viel eher müssen auch diese neuen Schutznetze nach 25 Jahren wieder ersetzt werden. Ein teilweiser Ersatz von einzelnen Tragelementen kommt aus unserer Sicht eher weniger in Frage. Aus diesen Gründen kann der geforderten Lebensdauer von 50 Jahren nicht ohne weiteres zugestimmt werden.

7.1.6 Kontrolle und Unterhalt

Ablagerungen
periodisch räumen

Die Kontrolle der Schutznetze und der Unterhalt sind für die Funktionstüchtigkeit zentrale Elemente. Bei einer Belastung wird nicht nur die Wirkungshöhe eingeschränkt sondern auch die wichtigsten Tragelemente beansprucht. Wichtige Tragelemente sind Netz, Tragseile und Bremsen. Die Bremsen nehmen einen grossen Teil der kinetischen Energie der einfallenden Steine auf und müssen beim Erreichen der Kapazitätsgrenzen ersetzt werden. Sie dürfen aber auch nicht unter Steinablagerungen hinter dem Netz „versinken“, sondern müssen jederzeit voll funktionsfähig bleiben. Dies bedingt, dass Ablagerungen hinter Schutznetzen periodisch geräumt werden müssen. Zusätzlich sollte die aufkommende Vegetation, vor allem Sträucher und Bäume, zurück geschnitten werden. Ohne diesen periodischen Unterhalt kann ein Schutznetz nicht die geforderte Energie abbauen. Jedes Tragwerksteil muss voll funktionsfähig bleiben. Fällt ein Tragwerksteil aus, werden die Kräfte verlagert oder steigen übermässig an und es kann zum vorzeitigen Bruch des Schutznetzes kommen. Dabei kann der einfallende Stein nicht abgebremst werden und er wird seinen Sturz unterhalb des Netzes fortsetzen.

Hauseigentümer
beteiligen sich an
Genossenschaft

Die Schutznetze in diesem Fallbeispiel sind im Jahr 2005 nach dem neusten Stand der Technik gebaut und erstellt worden. Als Trägerschaft für diese Schutznetze ist eigens eine Flurgenossenschaft gegründet worden. Die Flurgenossenschaft Tal hat in ihren Statuten auch die Kontroll- und Unterhaltsarbeiten geregelt. Jeder Eigentümer von Grundstücken im gefährdeten Perimeter ist per Grundbucheintrag verpflichtet in der Genossenschaft mitzumachen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass diese Arbeiten längerfristig ausgeführt werden.

7.1.7 Negative Wirkungen

Bei Ablagerungen
Funktionstauglichkeit
unterbunden

Negative Wirkungen von Schutznetzen müssen beschrieben werden, sofern sie zusätzliche Gefährdungen darstellen oder andere Einflüsse auf den Prozess bewirken. Auch kann es vorkommen, dass Schutznetze gegen Steinschlag in temporär Wasser führende Runsen gebaut werden. In solchen Runsen können auch Geschiebetransporte stattfinden und das Netz belasten. Solche Ablagerungen bewirken eine Abminderung der Wirkungshöhe des Netzes und die Funktionstauglichkeit für die vorgesehene Belastung wird unterbunden.

Bei den zu beurteilenden Schutznetzen sind keine negativen Wirkungen bekannt.

7.1.8 Relevanz

Eingeschränkte
Relevanz dieser
Schutznetze

Die zu beurteilenden Schutznetze haben einen Einfluss auf den Prozessraum. Sie wirken bis zu einer bestimmten Grössenordnung der kinetischen Energie der Steine entgegen. Allerdings ist die permanente Verfügbarkeit nach einem ersten Einschlag eines grösseren Blockes kurzfristig nicht mehr gegeben. Nachfolgende kleinere Steine können beim gleichen Ereignis das Schutznetz überspringen. Die linienförmige Anordnung der Schutznetze in nur einer einzelnen Reihe erlaubt nicht von

einem wirkungsvollen Gesamtkonzept zu sprechen. Daher kann diesen Schutznetzen nur eine eingeschränkte Relevanz zugestanden werden. Dennoch wird an diesem Fallbeispiel die Detailbeurteilung der Massnahme durchgeführt.

7.2 Massnahmenbeurteilung

7.2.1 Grundlagen zum Prozess

Im technischen Bericht zum geologischen Gutachten (Louis, 1999) sind die Ausbruchgebiete als zerklüftete Felsbänder beschrieben. Dabei variieren die Kluftabstände je nach Felsbeschaffenheit und Schichtmächtigkeit von wenigen Dezimetern bis zu Metern. Die Ereignisdokumentation zeigt denn auch viele abgelagerte Steine die kleiner als 1 m^3 sind. Es ist aber auch schon vorgekommen, dass ein 5 m^3 grosser Block das Wohngebiet erreicht hat. Mit verschiedenen Simulationen konnte gezeigt werden, dass einzelne Häuser im Wohngebiet einer erheblichen Gefährdung ausgesetzt sind. Weiter unten stehende Häuser weisen noch eine geringe Gefährdung auf (Abb. 7.2).

Häufige Steine 1 m^3



Abb. 7.2: Gefahrenkarte im Gebiet Tal ohne Schutzmassnahmen.

Im Bereich der heutigen Schutznetze (Kote 580 m ü. M.) sind Simulationen auf einer mittleren Sturzbahn durchgeführt worden. Diese Sturzbahn zeigt im Allgemeinen höhere Werte als die Sturzbahnen westlich oder östlich davon. Den einzelnen Ereignissen sind Stein- und Blockvolumina von $0.1-10 \text{ m}^3$ zugeordnet worden. Die Berechnungen zeigen, dass Geschwindigkeiten zwischen 15 und 25 m/s auftreten, wobei die Sprunghöhen 1.5-5 m betragen. Die kinetische Energien (Translation + Rotation) der Steine und Blöcke liegen zwischen 30 und 2'000 kJ. Für den Überlastfall mit einer Wiederkehrperiode grösser als 300 Jahre liegt die Energie bei 10'000 kJ. Aus den Resultaten sind diejenigen Werte in Tab. 7.1 dargestellt, die in etwa der 80%-Fraktile entsprechen.

Tab. 7.1: Gefahrenszenarien der mittleren Sprungbahn im Bereich der Netze.

Szenario	a	b	c	d
Wiederkehrperiode	< 30 Jahre	30-100 Jahre	100-300 Jahre	> 300 Jahre
Ereignisse	häufige	mittlere	seltene	extreme
Wahrscheinlichkeit	hoch	mittel	gering	sehr gering
Stein- Blockgrösse (m)	0.5	1.1	1.5	2.5
Volumen (m ³)	0.1	1.0	2.5	10
Masse (kg)	250	2'700	7'000	27'000
Geschwindigkeit (m/s)	15	20	22	25
Sprunghöhe (m)	1.5	2.5-3.5	3-4	4-5
Kinetische Energie (kJ)	30	650	2'000	10'000
Intensität	schwach	stark	stark	sehr stark

Unsicherheiten in
normalem Rahmen

Die Unsicherheiten bei diesen Szenarien liegen in normalem Rahmen. Sie stützen sich auf die Ereignisdokumentation, die 20 Jahre zurück reicht. In diesen Jahren sind mehrere Blöcke mit einem Volumen von 1 m³ bis ins Wohngebiet vorgedrungen und haben entsprechende Schäden verursacht. Auch wird von einem 20 Tonnen Block gesprochen, der einen Swimmingpool zerstört hat.

7.2.2 Grundlagen zum Schutznetz

Bemessungsereignis
30-100 Jahre

Für die Bemessung der Schutznetze ist von einem mittleren Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 30-100 Jahren ausgegangen worden. Die Sprunghöhen sind dabei mit 2.5 - 3.5 m berechnet worden. Das Schutznetz in der mittleren Sprungbahn weist eine Bauhöhe von 4 m und eine Kapazität von 1'000 kJ auf. Westlich und östlich liegende Schutznetze sind 3 m hoch und für eine Energie von 500 kJ ausgelegt (Abb. 7.1). Die Netze sind im Jahr 2005 erstellt worden. Dies bedeutet, dass sie nach der Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag zertifiziert worden sind (BUWAL, 2001).

7.2.3 Überprüfung des Netzes

Hohe Zuverlässigkeit
zu erwarten

Die Zertifizierung der Netze bedeutet eine gute Qualität des Konstruktionsmaterials. Die einzelnen Tragwerksteile sind aufeinander abgestimmt und weisen eine gute Tragfähigkeit aus. Das Material als solches und die Konstruktion als Ganzes lässt eine hohe Zuverlässigkeit erwarten.

Oberbau und Verankerungen getrennt beurteilen

Um die Tragsicherheit des Netzes im Feld beurteilen zu können, müssen aber weitere Punkte beurteilt werden. Ein Punkt ist die Qualität der Installation zu beurteilen. Diese wird getrennt für den Oberbau und die Verankerungen durchgeführt. Weiter müssen längerfristig auch die Fragen mit dem Unterhalt und der Kontrolle der Netze beurteilt werden.

Qualität des Oberbaus

Die Beurteilung der Installation setzt voraus, dass die Montagevorschriften des Herstellers des Netzes bekannt sind. Werden diese nicht eingehalten, können dadurch Fehler eingebaut werden, die ein korrektes Funktionieren der Anlage verhindern. Im vorliegenden Fall kann nur die obere Hälfte des Netzes und der tragenden Teile beurteilt werden. Die untere Hälfte ist von einer Krautschicht überwachsen und kann nicht beurteilt werden (Abb. 7.3). Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Installation der Schutznetze nach den Vorgaben des Herstellers (Isofer AG, Knonau) erfolgt ist. Auch ist das Netz vom Hersteller nach der Installation überprüft und von der Bauherrschaft abgenommen worden. Spontan sind keine Fehler aufgefallen aber die Krautschicht lässt die Frage nach dem Unterhalt aufkommen.

Wegen Krautschicht
untere Hälfte nicht
beurteilbar



Abb. 7.3: Schutznetz mit 4 m Höhe und Krautschicht in der unteren Hälfte.

Unterhalt und Kontrollen

Die Unterhaltsarbeiten werden durch die Flurgenossenschaft Tal vertraglich geregelt. Dazu ist eigens ein Reglement verfasst worden, welches an der Generalversammlung von 12.9.2006 genehmigt wurde. Unterdessen sind erste Unterhaltsarbeiten, wie zurückschneiden von aufkommenden Bäumen und Sträuchern ausgeführt worden.

Unterhaltsarbeiten
vertraglich geregelt

Qualität der Verankerungen

Bei der Beurteilung der Verankerungen müssen zwei Bereiche betrachtet werden. Es sind dies einerseits die Qualität der Bauausführung und andererseits der aktuelle Zustand. Beim Bau von Verankerungen ist eine gute Dokumentation des Bauablaufes notwendig. Dazu gehören auch Bohr- und Injektionsprotokolle der einzelnen Anker. Zudem sind zur Bemessung der Tragsicherheit von Ankern Ausziehversuche durchzuführen. Sind solche gemacht worden und stimmen die geforderten Bemessungswerte mit den protokollierten Verankerungslängen überein, kann eine hohe Zuverlässigkeit der Verankerung erwartet werden. Detaillierte Kriterien zur Beurteilung der Verankerung sind in Tab. 4.2 aufgeführt.

Gute Dokumentation
bei Verankerungen
notwendig

Für die Verankerungen in unserem Fallbeispiel kann auf Grund der beantworteten Fragen eine hohe Zuverlässigkeit attestiert werden.

7.2.4 Zuverlässigkeit des Netzes

Hohe Zuverlässigkeit
des Netzes

Insgesamt kann diesem Netz eine hohe Zuverlässigkeit attestiert werden. Dies stützt sich auf die Zuverlässigkeit des Konstruktionsmaterials, die gute Bauausführung des Oberbaus und der Verankerung und die vertragliche Regelung des Unterhaltes des Schutznetzes.

7.3 Wirkungsbeurteilung

7.3.1 Prozessbeurteilung

Durch die Erstellung der Schutznetze werden die in Tab. 7.1 dargestellten Szenarien beeinflusst. Die Szenarien a, b und c werden für die Gefahrenbeurteilung verwendet. Das Szenario d wird als Überlastfall bezeichnet und fällt ausserhalb der angegebenen Grenzen aus. Unterhalb der Netze treten infolge der Wirkung der Netze andere Intensitäten und Eintretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen auf. Je nach dem betrachteten Schutznetz (500 kJ oder 1'000 kJ) ist der Einfluss grösser oder kleiner. In der mittleren Sturzbahn ist ein Netz mit 1'000 kJ montiert und wir betrachten lediglich diesen Einfluss.

Wiederkehrperiode
< 30 Jahre

Die Ereignisse a mit einer hohen Eintretenswahrscheinlichkeit sollten mit dem Schutznetz unterbunden werden. Sowohl die Intensität als auch die Wahrscheinlichkeit werden noch geringer werden. In Abb. 7.4 ist das Szenario der Ausgangslage (ohne Netz) und das Szenario mit Berücksichtigung der Netze dargestellt.

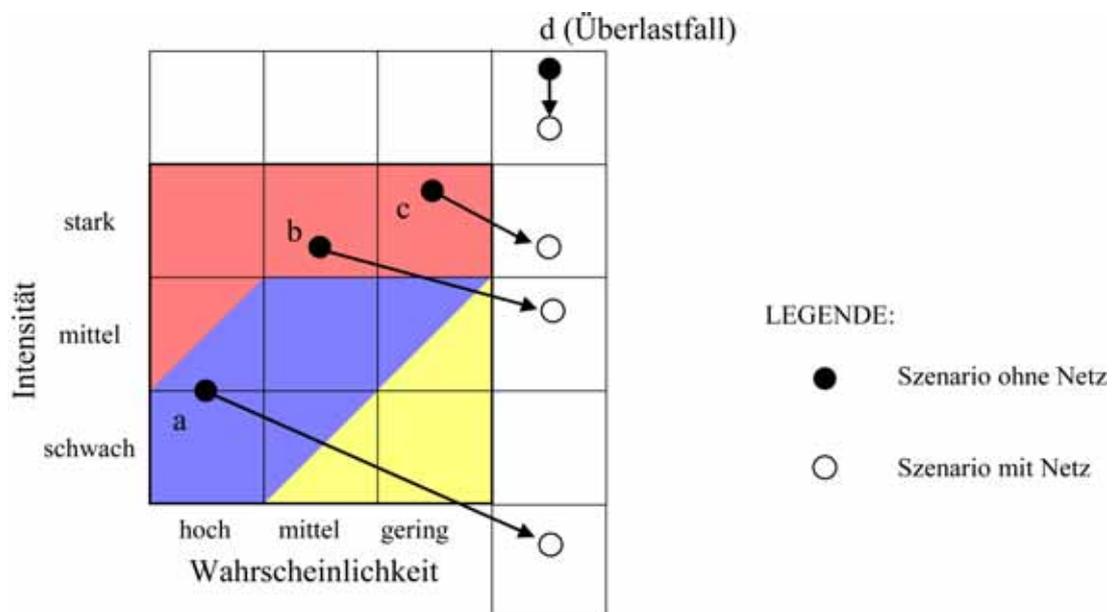


Abb. 7.4: Einfluss der Massnahme auf Intensität und Wahrscheinlichkeit.

Wiederkehrperiode
30-100 Jahre

Die Ereignisse b mit einer mittleren Eintretenswahrscheinlichkeit sollten mit dem Schutznetz ebenfalls unterbunden werden. Die Eintretenswahrscheinlichkeit wird geringer und die Intensität fällt unter einen Wert von 300 kJ. Dies weil angenommen wird, dass die Hauptbelastung vom Netz aufgenommen wird, aber dennoch kleinere Steine das Netz mit der reduzierten Nutzhöhe überspringen und weiteren Schaden verursachen können.

Das Ereignis c mit geringer Wahrscheinlichkeit und hoher Intensität wird durch das Schutznetz nur noch geringfügig beeinflusst. Die Intensität bleibt stark und auch die Wahrscheinlichkeit bleibt gering.

Wiederkehrperiode
100-300 Jahre

Ähnlich verhält es sich beim Ereignis d dem Überlastfall. Dieser wird durch das Netz nur unwesentlich beeinflusst. Die kleineren Netze (500 kJ) können auf Grund der grossen Sprunghöhen sogar übersprungen werden. Das 1'000 kJ - Netz wird die Sturzbahn eines Blockes mit hoher Geschwindigkeit nur unmerklich stören. Im besten Fall wird sich die Geschwindigkeit eines solchen Blockes um 2-3 m/s reduzieren.

Wiederkehrperiode
< 300 Jahre

7.3.2 Intensitätskarte

Die Intensitätskarten sind für die Ereignisse respektive die Szenarien a bis d und den verschiedenen Sturzbahnen noch nicht erstellt worden. Um die Schutznetze in der Raumplanung zu berücksichtigen, sind diese notwendig.

Intensitätskarte noch
nicht erstellt

7.3.3 Unsicherheiten

Zudem sind die Unsicherheiten bei dieser Beurteilung zu deklarieren. Vor allem bei der Prozessanalyse sind sowohl die Stein- und Blockgrössen als auch die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Szenarien für jede Sturzbahn einzeln zu beschreiben und die Variationen anzugeben.

Unsicherheiten einzeln
beschreiben

7.3.4 Gefahrenkarte

Die Gefahrenkarte für den Bezirk Gersau ist noch nicht erstellt. Ob sie infolge dieser Schutznetze abgeändert wird, ist ebenfalls noch nicht festgelegt worden.

Änderung der
Gefahrenkarte unklar

Für das Gebiet Tal wurde eine Gefahrenkarte nach Einbau der Netze erstellt (Louis, 2005). Diese geht von einer deutlich reduzierten Gefährdung aus, was der Bauherrschaft auch mitgeteilt wurde.

8. Fallbeispiel Steinschlagdamm Weggis LU

8.1 Grobbeurteilung (Schritt 1)

8.1.1 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

Über 100 potenzielle
Sturzkörper

Im Gebiet Laugneri - Horloui in der Gemeinde Weggis ist mit der Vorstudie (2004) über die Gefahrenabklärung ein Schutzdefizit festgestellt worden. Verschiedene Bauzonen und Strassenabschnitte sind durch Sturzprozesse erheblich gefährdet. Über 100 potenzielle Sturzkörper mit unterschiedlicher Disposition gefährden die unterliegenden Gebiete. Aufgrund der hohen Intensitäten der Einwirkungen mussten die Gebiete der roten Gefahrenzone zugeordnet werden.

In der Vorstudie wird detailliert auf die Gefährdungen und die möglichen Schutzmassnahmen in den einzelnen Gebieten eingegangen. Im Gebiet Laugneri war vorgesehen, mit einem Auffangdamm und Schutznetzen der Gefährdung zu begegnen.

Neubeurteilung der
Gefahren nach
Hochwasser 2005

Beim Unwetter August 2005 wurden im Gebiet Laugneri 3 Wohnhäuser durch Hangmuren zerstört. In der Folge mussten die Gefahren neu beurteilt und eine solche Gefährdung zusätzlich berücksichtigt werden. Dies hatte sehr direkte Auswirkungen auf das Bauprojekt und die in der Zwischenzeit ausgeführten Schutzbauten.

Sammler und
Auffangdämme erstellt

Hauptsächlich sind Auffangdämme und Sammler für Hangmuren erstellt worden. Ein Auffangdamm dient dabei aber primär als Schutz gegen Steinschlag und ist dementsprechend auch geplant und gebaut worden. Im Folgenden wird nun nur auf diesen Steinschlagschutzdamm eingegangen (Abb. 8.1).



Abb. 8.1: Steinschlagschutzdamm Laugneri Weggis.

8.1.2 Schutzdamm und Verfügbarkeit

Der Schutzdamm ist 2007 nach den gültigen bautechnischen Normen erstellt worden und es kann vermutet werden, dass eine Wirkung für die nächsten 50 Jahre gewährleistet ist. Dies bedeutet, dass keine Materialien oder Werkstoffe verwendet worden sind, die eine kürzere Lebensdauer aufweisen oder sonst wie einem Alterungsprozess unterworfen sind.

Wirkung 50 Jahre
gewährleistet

8.1.3 Negative Wirkungen

Durch den Bau des Schutzdammes sind im Boden die Druckbelastungen partiell erhöht worden. Es muss gewährleistet sein, dass der Boden auch mit dieser zusätzlichen Last stabil bleibt. Die August-Unwetter haben gezeigt, dass der Boden in der Umgebung durch die Infiltration von Wasser oder durch die Erhöhung des Porenwasserdruckes aus dem Gleichgewicht geraten kann und einzelne Stellen abrutschen.

Boden kann aus
Gleichgewicht geraten

8.1.4 Gesamtkonzept und Relevanz

Der Schutzdamm wirkt nicht nur gegen Steinschlag sondern es werden damit auch zukünftige Hangmuren in die mit dem Damm verbundenen Sammler abgeleitet. Diese Prozesse sind aber untergeordnet und beanspruchen den Damm nicht so stark. Sie beeinflussen die Wirkung gegen Steinschlag nur unwesentlich.

Wirkung gegen Hang-
muren und Steinschlag

8.1.5 Fazit

Auf Grund dieser ersten Grobbeurteilung kann diesem Damm eine gute Wirkung gegen Steinschlag attestiert werden und er wird damit als relevante Schutzmassnahme eingestuft, die permanent und über längere Zeit verfügbar ist. Damit sind die Voraussetzungen erfüllt, um den Schritt 2 die Massnahmenbeurteilung einzuleiten.

Gute Wirkung gegen
Steinschlag

9. Fallbeispiel Steinschlagschutzdamm St. Niklaus VS

Nach Vorliegen der Bewilligung wird dieses Fallbeispiel hier ergänzt.

Literatur

BUWAL 2001: Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, 39 S.

Flurgenossenschaft Tal, 2003: Statuten der Flurgenossenschaft „Steinschlagschutz Tal“, Gersau, 6442 Gersau.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NAIS). Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S., (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/>).

Flurgenossenschaft Tal GENOSSENSCHAFT TAL, 2004: Bauprojekt „Steinschlagschutz Tal“ und weitere Unterlagen zur Ausführung, 6442 Gersau.

Jonsson M.J.O., 2007: Energy absorption of trees in a rockfall protection forest. Dissertation ETH Zürich. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/view/eth:29858>

Louis, K. 1999: Gefahrenkartierung Sturzereignisse im Gebiet „Tal“, Gemeinde Gersau. Technischer Bericht mit 5 Beilagen. Kantonsforstamt Schwyz, Fachbereich Naturgefahren, 6430 Schwyz.

Louis, K. 2005: Gefahrenkarte Sturzereignisse nach Massnahmen, Tal / Gersau, Bezirk Gersau. Kantonsforstamt Schwyz, Fachbereich Naturgefahren, 6430 Schwyz.

WSL (Hrsg.) 2004: Schutzwald und Naturgefahren. Forum für Wissen 2004.