



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

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:

ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS SPONTANE RUTSCHUNG / HANGMUREN

Bernhard Krummenacher, Daniel Tobler



Rutschung Feldweid, Gemeinde Entlebuch im August 2005 (Foto: Schweizer Luftwaffe)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:

Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts

Prozess Lawine

Prozess Hochwasser

Prozess Murgang

Prozess Sturz

Prozess spontane Rutschung / Hangmuren

Prozess permanente Rutschung

Prozess Erdbeben

Prozess Sturm

Prozess Hagel

Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzobjekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt werden die gekoppelten Prozesse der spontanen Rutschungen und der Hangmuren charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzeptes aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung von Rutschprozessen

Die Prozessfamilie der Hangbewegungen ist äusserst vielfältig und bedarf daher einer kurzen Beschreibung der einzelnen Typen. Die nachfolgenden Erläuterungen mit den Blockbildern zeigen die Prozessformen im aktiven Zustand. Im Gelände sind die Formen jedoch oft überwachsen und in kombinierter Form unter der Vegetation verborgen. Viele Formen haben ein so grosses Ausmass, dass sie nur im Luftbild oder vom Gegenhang aus erkennbar sind.

Rutschungen können sich an mässig bis steil geneigten Hängen vor allem zwischen 10° und 40° ereignen. Sie sind in ihrer Erscheinung (Grösse, Tiefe, Form der Gleitfläche) vielfältig und laufen je nach Untergrundstruktur, Gesteinsbeschaffenheit und Beteiligung von Wasser sehr unterschiedlich ab. Die beiden Hauptformen sind Rotations- und Translationsrutschungen. Die meisten

Hangrutschungen sind Kombinationen dieser beiden Typen. Zur Auslösung einer Rutschbewegung kommt es, wenn das Verhältnis zwischen den rückhaltenden und den treibenden Kräften einen kritischen Wert (≤ 1) erreicht hat. Die rückhaltende Grösse ist im Wesentlichen die Scherfestigkeit. Die treibenden Kräfte hingegen setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen (u.a. Porenwasserdruck). Die Scherfestigkeit wird vor allem durch innere Einflüsse (u.a. Verwitterung) und durch erhöhten Wasserdruck (Dauerregen, Gewitterregen, Schneeschmelze) im Hang verändert. Natürliche oder anthropogene äussere Einflüsse (z.B. Überlastung eines Hanges oder Anschneiden des Hangfusses) erhöhen die Rutsch tendenz.

1.1.1 Einteilung der Rutschungen im weiteren Sinne

Für die Beurteilung der Rutschungen wurde vom BWG in Ergänzung zu den Richtlinien von 1997 [45] eine Studie an die AGN, Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren der Schweizerischen Fachgruppe für Ingenieurgeologie, SFIG, in Auftrag gegeben. Diese Studie zeigt eine Möglichkeit, die komplexen Rutschprozesse differenziert zu beurteilen [17].

Rutschungen im weiteren Sinne lassen sich gemäss Abbildung 1.2 in verschiedene Prozesse unterteilen.

Permanente Rutschungen: Rutschungen (meist tiefgründige Rotations- oder Translationsrutschungen), die sich kontinuierlich und gleichmässig über lange Zeiträume (Jahrhunderte, Jahrtausende) hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen meist längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen.

Hangkriechen: Über längere Zeiträume anhaltende langsame Verformungen im Lockergestein oder Fels. Dabei finden bruchlose, kontinuierliche Verformungen auf zahlreichen Kleinsttrennflächen statt. Innerhalb von permanenten Rutschkörpern bilden sich meist Bereiche mit mehr oder weniger ausgeprägtem Hangkriechen.

Spontane Rutschungen: Lockergesteinsmassen, die infolge eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit unter Ausbildung einer Bruchfläche (= Gleitfläche) plötzlich und schnell abgleiten. Meist sind es flach- bis mittelgründige Translations- oder Rotationsrutschungen. Bei einem hohen Wasseranteil können daraus auch Hangmuren entstehen.

An der übersteilen Stirn einer permanenten Rutschung bilden sich oft spontane Rutschungen, die gelegentlich auch als sog. «Sekundär rutschungen» bezeichnet werden. Bei spontanen Rutschungen bilden sich stets neue Bruchflächen.

Hangmuren: Relativ rasch abfliessendes Gemisch aus Lockergestein (meist nur der Boden) und Wasser. Hangmuren (auch Fliessrutschung, Haut rutschung) sind eine spezielle Form von spontanen Rutschungen (ausgehend von Translations- oder Rotationsrutschungen; Abbildung 1.2(a)). Sie bilden sich an relativ steilen Hängen mit eher gering durchlässigen Quartärbildungen (Gehängelehm, tonige Moräne usw.). Kennzeichnend ist ein oberflächlich fließendes Gemisch aus Boden, Lockergestein, Vegetation und Wasser, welches über weite Strecken verfrachtet werden kann. Das Volumen ist im allgemeinen beschränkt (Grössenordnung bis ca. 20'000 m³). Hangmuren ereignen sich in der Regel bei sehr hohem Wasseranteil im Boden, bei Quellaustritten, nach intensiver Schneeschmelze oder nach heftigen oder langandauernden Niederschlägen. Dementsprechend hoch ist der Wasseranteil an der

bewegten Masse. Dieser hat auch hohe Prozessgeschwindigkeiten (1 bis 10 m/s) mit entsprechend zerstörerischer Wirkung zur Folge. Hangmuren entstehen lokal an relativ steilen Hängen (oft $> 20^\circ$), wobei bei starker Wassersättigung des Untergrundes bzw. hohem Wassereintrag und hohen Wasserdrücken auch Hänge mit geringeren Neigungen (bis gegen 20°) gefährdet sind (Abbildung 1.2).

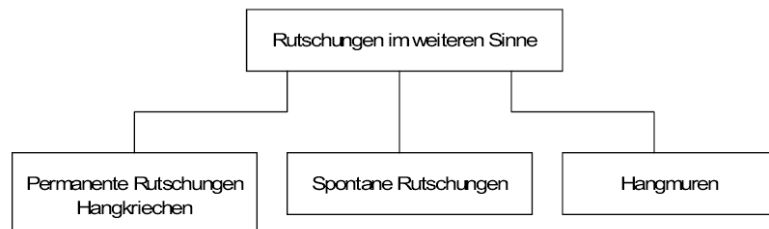


Abbildung 1.1: Schematische Übersicht über verschiedene Typen von Rutschungen. Quelle: [17].

1.1.2 Klassifikation nach der Form der Gleitfläche

In Bezug auf die Gleitfläche lassen sich Rutschungen wie bereits erwähnt in Rotations- und Translationsrutschungen unterteilen.

Rotationsrutschung: Die Gleitfläche ist kreisförmig und fällt in der Ausbruchsnische nahezu vertikal ein (Abbildung 1.2(b)).

Translationsrutschungen: Bei Translationsrutschungen gleiten Schichten oder Schichtpakete auf einer bestehenden Schwächezone ab (oft Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen) (Abbildung 1.2(c)).

Die Gleitfläche kann in verschiedenen Tiefen liegen (in m unter Terrain):

- 0 – 2 m flachgründig
- 2 – 10 m mittelgründig
- > 10 m tiefgründig

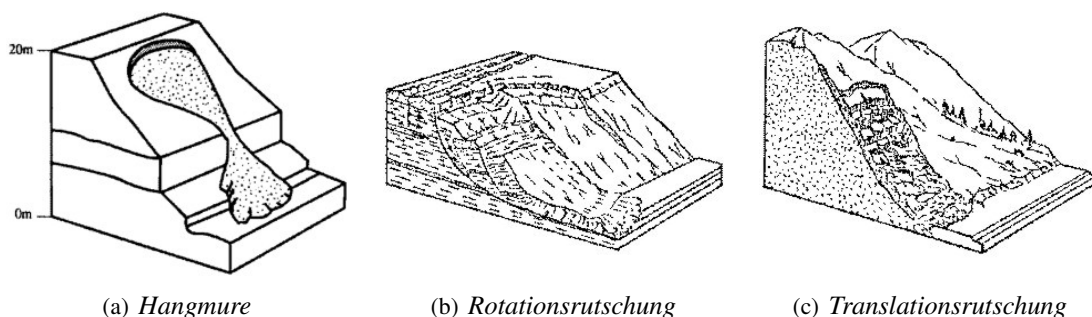


Abbildung 1.2: Blockbilder Hangmure, Rotationsrutschung und Translationsrutschung (aus Empfehlung Naturgefahren BAFU 1997).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess der spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Wie bei allen anderen gefährlichen Naturprozessen erfolgt die Gefahrenbeurteilung einerseits auf der Basis von früheren Ereignissen anhand der Analyse der Einträge im Ereigniskataster, andererseits auf Geländebegehungen. Die Untersuchungen gliedern sich in verschiedene Arbeitsschritte. Neben der Auswertung der vorhandenen Gutachten und Ereignisaufzeichnungen werden mit Hilfe einer Luftbildanalyse (Fotogeologie) die sensiblen Gebiete ausgeschieden und die grossen zusammenhängenden Formen der Tektonik und Geomorphologie kartiert (siehe Grundlagenkarten).

Für die Bewertung/Analyse der Hangmurengefährdung werden entsprechend den geologischen Gegebenheiten (Innere Reibung, Durchlässigkeit) die geotechnischen Eigenschaften (Innere Reibung, Durchlässigkeit) abgeschätzt und die für den Anbruch von flachgründigen Rutschungen relevanten Hangneigungen den entsprechenden lithologischen Einheiten zugeordnet. Anschliessend werden auf der Basis des digitalen Höhenmodells (DHM25) Hangneigungsklassen berechnet und in der Grundlagenkarte klassiert dargestellt.

Alle oben genannten Grundlagen dienen als Basis für die Geländearbeiten. Bei der Geländeanalyse werden mittels geologischer- und geomorphologischer Kartierung alle rutschrelevanten Phänomene aufgenommen und in der Grundlagenkarte (Karte der Phänomene) dargestellt.

Als Ergebnis der Ereignisanalyse werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber die massgebenden Szenarien festgelegt. Die Wahl muss entsprechend begründet werden.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Rutschprozesse und Hangmuren wird die Intensität als Geschwindigkeitskriterium bzw. als Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht definiert. Basis für die Bestimmung der Bemessungsparameter Geschwindigkeit und Mächtigkeit sind Messungen im Gelände über längere Zeiträume und geologisch- geotechnische Analysen, bzw. Analogieschlüsse zu dokumentierten Ereignissen.

In den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» [45], sind die entsprechende Werte für schwache, mittlere und starke Intensitäten tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1: Kriterien zur Beurteilung der Intensität von Rutschprozessen gemäss Empfehlungen 1997 [45].

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Rutschung	$v \leq 2$ cm/Jahr	v : dm/Jahr (> 2 cm/Jahr)	starke Differentialbewegungen; $v > 0.1$ m/Tag bei oberflächlichen Rutschungen; Verschiebungen > 1 m pro Ereignis
Hangmure potentiell	$M < 0.5$ m	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$	$M > 2$ m
Hangmure real	–	$h < 1$ m	$h > 1$ m
Ansenkung, Dolinen	–	Dolinen	–

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht;
 h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure;
 v = langfristige durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit.

Die AGN schlägt vor, für die Beurteilung der Intensität von Hangmuren zusätzlich zu den zwei bestehenden Intensitätskriterien (Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht M und Mächtigkeit der Ablagerung h) den Staudruck q_f [26] als drittes Kriterium einzuführen.

Der Staudruck ist definiert als das Produkt der Dichte mit der quadrierten Geschwindigkeit und dem Anströmwinkel α :

$$q_{f,\alpha} = \rho_f \cdot v_f^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad (1.1)$$

wobei:

- q_f = Staudruck [kN/m²];
- ρ_f = Dichte [t/m²];
- v_f = Fliessgeschwindigkeit [m/s];
- α = Anströmwinkel auf Hindernis (90° entspricht senkrechter Anströmung);

In Anlehnung an die Lawinenkunde können die Klassengrenzen der Intensität des Staudrucks analog zu demjenigen der Lawinen festgelegt werden. Zu diskutieren ist eine Verdoppelung dieser Werte, da die Druckverteilung bei Hangmuren eher dreiecks- denn rechtecksförmig (Lawinen) ist.

Weitere detaillierte Informationen zum Vorschlag AGN sind in der zitierten BWG Studie enthalten [17].

Tabelle 1.2: Einteilung der Intensitätsklassen bei Hangmuren.

Intensität	schwach	mittel	stark
Kriterium 1: Hangmure potentiell (Transitbereich)	$M < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$
Kriterium 2: Hangmure real (Transitbereich)	–	$h < 1 \text{ m}$	$h > 1 \text{ m}$

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht;
 h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure;
 q_f = Staudruck.

1.2.2 Expositionsanalyse

Spontane Rutschungen und Hangmuren können Gebäude, Infrastrukturen, Verkehrswege, ober- und unterirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen im Anriss, Transit- und Ablagerungsraum treffen. Da diese Prozesse eine grosse zerstörerische Kraft haben, sind sowohl die Schadenempfindlichkeiten bei den meisten Objektklassen als auch die Letalitäten bei Personen im Wirkungsbereich der Prozesse hoch.

Expositionssituationen mit Ansammlungen von Menschen in Bereichen mit mittlerer und starker Intensität können die Risiken extrem ansteigen lassen, weshalb es Sinn macht, situativ Expositionsanalysen durchzuführen. So beispielsweise, wenn ein Schulhaus oder Kindergarten am Hangfuss steht, bergseitig grosse Fensterfronten hat und der angrenzende Hang eine hohe Disposition für Hangmuren aufweist.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Bei der Konsequenzenanalyse wird für jedes Objekt im Prozessraum bestimmt, ob und in welchem Mass (Intensität) es durch Rutsch- und/oder Hangmureprozesse betroffen ist. Diese Prozesse wirken i.d.R. durch die beschränkte Mächtigkeit der bewegten Massen einige Meter hoch, was etwa der Höhe des Erdgeschosses entspricht. Es gibt aber auch Situationen, bei denen durch den Rückstau des Bodenmaterials grössere Höhen erreicht werden (Abbildung 1.3).

Da die lokale Position und die Bauart/Struktur des Gebäudes mit den bergseitigen Öffnungen entscheidend für die Schäden und damit die Risiken sind, ist die Definition einer einheitlichen **Schadenempfindlichkeit** für ein Objekt schwierig. Für eine grossräumige Untersuchung mit vielen Objekten ist es deshalb sinnvoll, die Schadenempfindlichkeiten generell hoch anzusetzen. Für eine genaue Risikoanalyse ist es jedoch unabdingbar, die lokale Situation genau zu untersuchen (Abbildung 1.4). Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit müssen daher für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.



Abbildung 1.3: Spontane Rotationsrutschung: Im Transit- und Auslaufbereich konnte die Hauswand des neuen Gebäudes dem Staudruck nur bedingt Stand halten. Ein Teil der Gebäudemauer wurde eingedrückt. Foto: GEOTEST AG (a,b).



Abbildung 1.4: Die spontane Rutschungen, die durch den hohen Wasseranteil in Hangmuren übergegangen sind, zerstörten die Gebäude durch den Staudruck. Foto: GEOTEST AG (a,b).

Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie stark die Unsicherheiten bezüglich Schadenempfindlichkeit bei Rutschungen und Hangmuren sein können [74].

Dem Parameter **Letalität** ist eine grosse Beachtung zu schenken. Gebäuden mit schwacher Struktur, die dem Staudruck nicht Stand halten können, können mindestens bergseitig total zerstört werden. Personen, die sich in diesen Räumen aufhalten, können zu Tode kommen. Im Online-Tool EconoMe sind die Standardwerte der Letalität für mittlere und starke Intensitäten bei Hangmuren auf 0.8 bzw. 1 gesetzt [8].

Die **räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit** innerhalb des potentiellen gesamten Prozessraumes ist vergleichbar mit Lawinen und ist geprägt durch das «Ausfingern» des Prozesses im Auslaufbereich. Im Transitbereich, wo auch die Intensitäten höher sind, ist der Prozessraum durch die Geländeform meist enger begrenzt und deshalb auch der Parameter p_{rA} höher. Die Werte sind im

Berechnungsinstrument EconoMe für mittlere und starke Intensitäten bei Hangmuren auf 0.5 bzw. 0.8 gesetzt [8].

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da bei den Prozessen der spontanen Rutschungen und Hangmuren Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen sowohl Personen- als auch Sachrisiken bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Rutschungsrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen mit Ausnahme der Umsiedlung die raumplanerischen Massnahmen, welche wie im Teil A dargelegt nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Die Planung von Massnahmen gegen spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren erfordert die genaue Kenntnis des Aufbaus des Untergrundes mit allfälligen Gleithorizonten, der Bodenkennwerten und der Hangwasserverhältnisse. Der Interaktion mit anderen Prozessen, wie Wildbachprozesse, Erosion, Infiltration, Kollaps von Bachverbauungen, usw., ist Rechnung zu tragen.

Allgemein gilt, dass bei der Planung von Massnahmen die oben erwähnten Prozesse umfassender untersucht werden müssen, als dies in der Regel bei der Ausarbeitung einer Gefahrenkarte der Fall ist. Es müssen ausreichend Informationen hinsichtlich der Bestimmung von Intensität, Eintretenswahrscheinlichkeit und der Abgrenzung der Szenarien vorhanden sein (Bandbreite möglicher Entwicklungen des Hangsystems, inkl. «Extremfall»).

Tabelle 1.3: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Rutschungen.

Technische Massnahmen	Biologische Massnahmen
Materialabtrag	Schutzwald
Entwässerung, Wasserfassung und -ableitung	Ingenieurbiologische Massnahmen
Stützmauern	Bodenverbesserung
Anker (-wände)	Organisatorische Massnahmen
Pfähle / Pfahlwände	Warnsysteme
Stabilisierung Hangfuss	Evakuierung und Sperrung
Objektschutz	Intervention und Rettung
	Raumplanerische Massnahmen
	Umsiedlung

Wie in Tabelle 1.2 dargestellt, lassen sich die wesentlichen technischen und biologischen Massnahmen in die folgenden Kategorien einteilen:

- Veränderung der Hangwasserverhältnisse (Drainagetechniken s.l.);
- Einbringen von Kräften, welche der treibenden Kraft entgegen gesetzt sind (z.B. Scherwiderstand) und die Bewegungen reduzieren;
- Massenveränderungen (Änderungen in Profil und Materialien).

Die Massnahmen werden oft kombiniert eingesetzt. Bei Massnahmenkombinationen bilden Entwässerungen fast immer einen Bestandteil davon. Massnahmen können auch zeitlich gestaffelt erfolgen. Unter dem Aspekt der Optimierung kann es sinnvoll sein, im Rahmen eines Gesamtkonzeptes die Wirkung einer Massnahmen-Etappe abzuwarten, bevor eine weitere realisiert wird.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Hangentwässerungen verschiedenster Art, Verankerungen und ähnlichen Bautypen, Injektionen und Ähnliche, Stützwerke und Schutzwald entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Bereich der Rutschprozesse kaum gesicherte Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

Die Wirkungsbeurteilung bei Hangmuren umfasst zwei Schritte:

1. Stabilitätsberechnungen wirksam/nicht wirksam;
2. Beurteilung der Flächenwirkung einer Massnahme bzw. des Massnahmenrasters bezüglich den minimal noch möglichen Ausbruchflächen. Verhindert der Verbau das Ausbrechen von Hangmuren < 1-2 Are, so kann die Massnahme als wirksam (++) betrachtet werden (Abbildung 1.5).

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen für den Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen ebenfalls für den Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

Stabilitätsberechnungen	wirksam	+	++
	nicht wirksam	-	-
		ca. 2-5 Aren	< ca. 1-2 Aren
Verbauwirkung			

Abbildung 1.5: Beurteilung der Massnahmenwirkung bei Hangmuren aufgrund der Kriterien Stabilität und Verbauraster (++ = weitgehend wirksam, + = bedingt wirksam, kleine Ausbrüche sind noch möglich; - = unwirksam). Quelle: [61].

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Da es sich bei spontanen Rutschungen meist um relativ kleinräumige Phänomene handelt (Ausbrüche auf einer Fläche von 1 Are sind keine Seltenheit) und an diesen Standorten spezifische Bedingungen herrschen, drängen sich oft nur eine oder zwei Varianten oder Variantenkombinationen auf. In diesem Falle müssen pragmatische Lösungen gesucht werden. Die Kostenwirksamkeit muss jedoch trotzdem nachgewiesen werden, bei fehlenden Kombinationsvarianten muss u.U. mit der Zitierung von analogen, erfolgreichen Projekten der Nachweis untermauert werden.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Damit Massnahmen bewertet werden können, müssen sie vor einer ökonomischen Prüfung nach den Kriterien der Grenzkosten oder der Kostenwirksamkeit folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Tragsicherheit und Funktionalität muss für das Bemessungsereignis erfüllt sein;
- Die Gebrauchstauglichkeit muss nachgewiesen sein;
- Die Massnahme muss auf eine optimale Lebensdauer ausgelegt sein;
- Aufgaben der Kontrolle, Unterhalt und Reparatur müssen verbindlich geregelt sein.

Auf der Basis dieser Grundlagen kann die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen werden. Dabei stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse i.d.R. auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Bantigental, Gemeinde Bolligen, Kanton Bern

2.1 Einleitung

Als Beispiel wird ein kleines Gebiet im Bantigental (Gemeinde Bolligen BE) verwendet, in dem im Jahre 2006 ein Wohnhaus durch eine Hangmure schwer beschädigt wurde.

Das N-S verlaufende Bantigental liegt nördlich des Bantigers im Kanton Bern. Das kleine Tal ist gekennzeichnet durch steile, teilweise bewaldete Abhänge mit anstehenden, aufgeschlossenen Sandsteinfelsen in den oberen Hangbereichen (Abbildung 2.1).

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

2.2.1.1 Grundlagen

Als Grundlagen dienen die geologischen Karten, sowie verschiedene Baugrundgutachten, welche aus dem Raum Bantigen vorliegen.

2.2.1.2 Geländebefunde

Das Untersuchungsgebiet umfasst zwei ständig bewohnte Wohnhäuser, die an einem gegen Osten abfallenden Hang liegen, welcher weiter oben im Wald von senkrecht abfallenden Sandsteinfelsen (ca. 10 – 15 m hoch) begrenzt ist. Darüber befindet sich die Hochebene der Stockeren (mit grossen Schäden durch den Orkan Lothar 1999 [86]). Oberhalb des südlichen Hauses bildet der Hang eine deutliche rinnenartige Mulde. Im oberen Teil ist die Mulde beidseitig von anstehendem Sandstein flankiert, der teilweise von geringmächtigem Verwitterungsmaterial überlagert wird. Die beiden Hangmuren- Ereignisse im Jahre 2006 haben die Mulde praktisch vollständig ausgeräumt. Heute

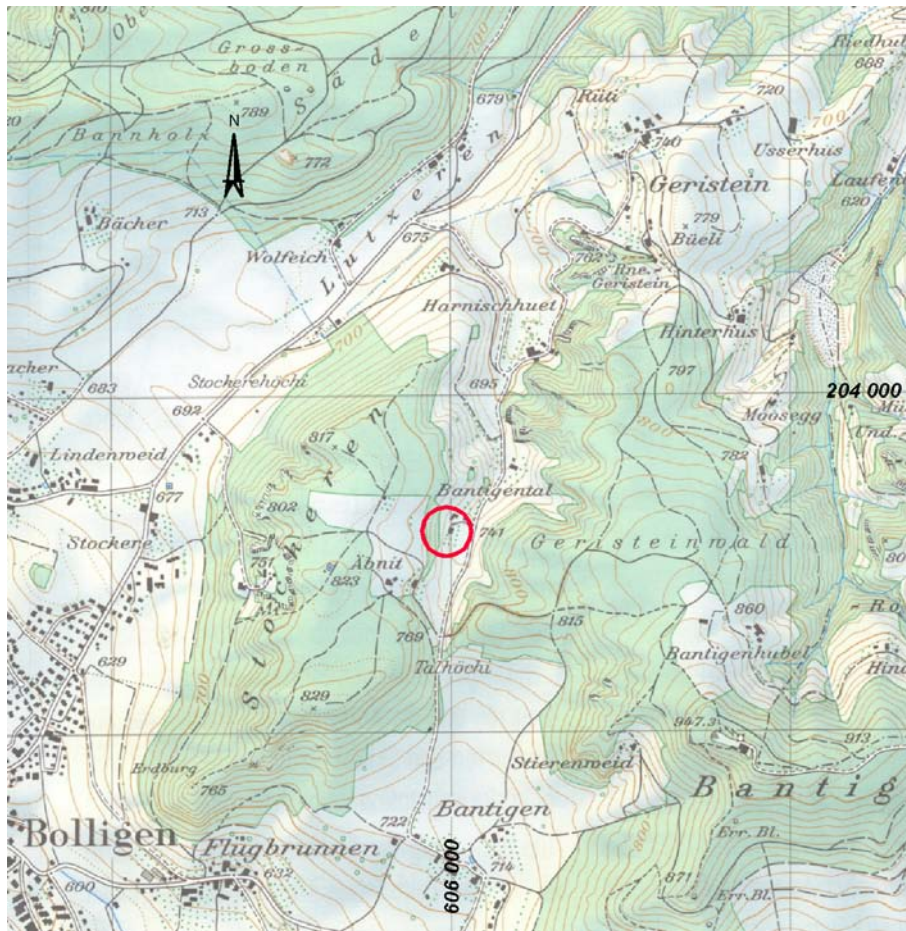


Abbildung 2.1: Ausschnitt Karte 1:25'000 mit Gebietsbegrenzung Beispiel Bantigental. © 2008 swisstopo (JD082774).

befinden sich nur noch kleine Lockermaterialdepots in der Rinne. Oberhalb der Sandsteinfluh bestehen offene Risse im Lockermaterial, welche teilweise bis zu 10 cm betragen. Diese Anzeichen deuten auf weitere mögliche Ereignisse hin.

In der Mulde im Anrissbereich der Hangmuren sammelt sich das Hangwasser aus dem gesamten überliegenden Einzugsgebiet und der Hochebene der Stockeren. Während lang andauernden Niederschlagsperioden oder bei der Schneeschmelze ist daher mit grossen Mengen anfallenden Wassers zu rechnen, welches über die Sandsteinfluh und die umliegenden Böschungen in diese Rinne gelangt. Bei einer Sättigung des Lockermaterials im Böschungsbereich der Rinne, wie auch oberhalb der Sandsteinfluh, können weiterhin kleine Lockermaterialpakete in die Rinne gleiten. Dadurch können sich über die Zeit beträchtliche Lockermaterialdepots in der Rinne aufbauen, die den Abfluss des Wassers behindern. Zudem befinden am Fusse der Felswand Sandsteinblöcke von 0.5 bis 1.0 m³ Volumen. Auch diese Blöcke können bis in die Lockermaterialdepots abgleiten.

Es ist mit spontanen Rutschungen und Hangmuren und von Kubaturen von 50 m³ und mehr zu rechnen.

2.2.1.3 Das Ereignis 2006

Am 4. März 2006, ereignete sich oberhalb eines Hauses eine Hangmure von ca. 500 m³, welche bis zum Haus vordrang. Am 9. März 2006, erfolgte ein zweiter Schub mit erneut ca. 500 - 800 m³ Volumen. Diese spontane Rutschung riss eine grosse Tanne sowie eine bereits früher umgefallene Buche mit. Dabei wurden die Einfahrt der Tenne zerstört und die bergseitige Hausmauer beschädigt. Der Holzstamm der Buche durchschlug die Hausmauer im 1. Stock und drang ins Haus ein. Die Ereignisse wurden durch Wasser ausgelöst. Bereits am 4. März 2006 fiel intensiver Regen und später setzte die Schneeschmelze ein. Von der Stockeren zufließendes Oberflächenwasser wurde oberhalb der Sandsteinfluh kanalisiert und floss hier konzentriert in den oberen Bereich der Mulde. Die Durchnässung des vorhandenen ca. 5 m mächtigen Lockergesteinspakets löste die beiden Hangmuren aus. Der Prozess wurde zudem durch die mitgeführten grossen Bäume verstärkt.

Kausal von Bedeutung war die bereits mehrmals erwähnte Mulde. Sie kanalisierte den Wasserabfluss. Es ist wahrscheinlich, dass hier bereits früher Rutschungen stattgefunden haben.

2.2.1.4 Ereignisszenarien

Aufgrund der Analyse des Ereigniskatasters und den Geländebefunden wurden die Szenarien mit einer Jährlichkeit von 30, 100 und 300 Jahren angenommen. Bei allen Szenarien ist mit Anrissen der gesamten Lockermaterialmächtigkeit zu rechnen. D.h. die Anrisshöhe der Ereignisse beträgt oberhalb der Sandsteinfluh rund 0.7 m (Abbildung 2.2).

2.2.2 Wirkungsanalyse

2.2.2.1 Grundlagen

Die Grundlagen für die Wirkungsanalyse waren der Ereigniskataster und die Ereignisszenarien unterschiedlicher Jährlichkeit. Die Wirkung dieser Szenarien im Sinne von Intensität und räumlicher Ausdehnung wurde, basierend auf Erfahrungswerten, hauptsächlich anhand des Ereignisses 2006 abgeleitet.

2.2.2.2 Intensitätskarten

Die Intensitätskarten wurden gemäss den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamer Tätigkeit» [45] mit den Klassen gering, mittel und schwach (Abbildung 2.3) dargestellt. Die Karten zeigen, dass die beiden Wohngebäude bereits beim 30-jährlichen Szenario mit geringer Intensität erreicht werden können. Sowohl beim 100- als auch beim 300-jährlichen Szenario sind beide Gebäude mit mittlerer Intensität betroffen (Abbildung 2.3).



(a) Anrissstelle mit darüber liegender Sandsteinfluh.



(b) Detail der Anrissstelle, abgerutschtes Lockermaterial auf dem Fels.



(c) Rückstau durch das Gebäude.



(d) Zerstörung der Rückwand.

Abbildung 2.2: Anrissstelle der Hangmure (a, b) und Auswirkungen am Gebäude (c, d). Foto: GEOTEST AG (a-d).

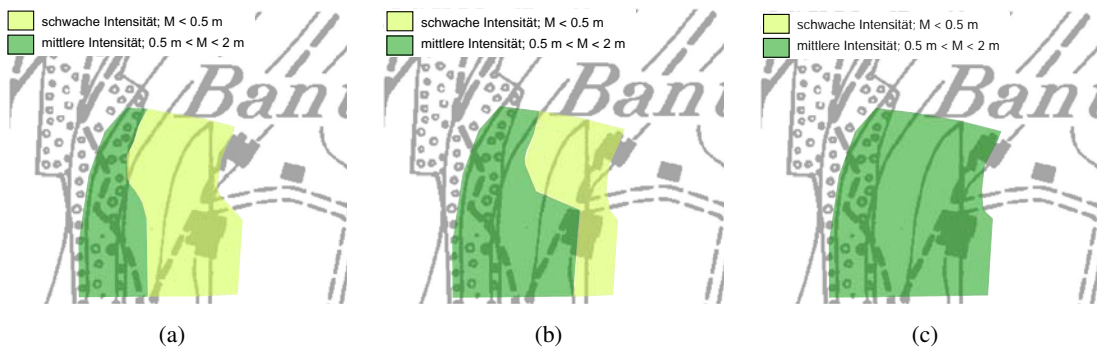


Abbildung 2.3: Intensitätskarten 30-jährlich (a), 100-jährlich (b) und 300-jährlich (c) vor Massnahmen. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Bei den betroffenen Objekten handelt es sich um zwei ständig bewohnte Einfamilienhäuser. Es befinden sich keine weiteren Objekte im Prozessraum. Die Werte der Objekte wurden anhand der

Standardwerte aus EconoMe festgelegt. Das gesamte Schadenpotential der Sachwerte beträgt 1.3 Mio CHF.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Im Gebäude 1 halten sich 4 Personen auf, für das Gebäude 2 wurde die Annahme einer durchschnittlichen Belegung der Objekte gemäss Bundesamt für Statistik verwendet (1 Wohneinheit entspricht 2.24 Personen). Somit sind insgesamt 6.24 Personen exponiert. Werden die exponierten Personen mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert, dann beträgt das gesamte Schadenpotential der exponierten Personen 31.2 Mio. CHF.

2.4 Konsequenzenanalyse

Das Schadenausmass wurde anhand der Intensitätskarten und der Lage der fixen Objekte bestimmt. Dabei musste entschieden werden, ob das Objekt betroffen ist und welche Intensität für ein bestimmtes Szenario angenommen wurde. Dementsprechend erfolgte die Zuordnung. Die für die Bestimmung des Schadenausmasses notwendigen Faktoren räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Schadenempfindlichkeit und Letalität wurden aus EconoMe übernommen (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.1: Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich für das Fallbeispiel Bantigen.

Kategorie	Sz30	Sz100	Sz300
Gebäude [CHF]	6'500	100'750	195'000
Personen [Tf]	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-3}$
Personen [CHF]	156	30'056	46'800
Gesamt [CHF]	6'656	130'806	241'800

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit konnte das kollektive Risiko für Personen im Berechnungsprogramm EconoMe bestimmt werden.

Die Risiken ohne jegliche Massnahmen verteilten sich auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich. Für die Sachwerte ergab sich ein Risiko von 1473 CHF/a und für die Personenrisiken ein Wert von 360 CHF/a. Das Gesamtrisiko beträgt 1'833 CHF/a.

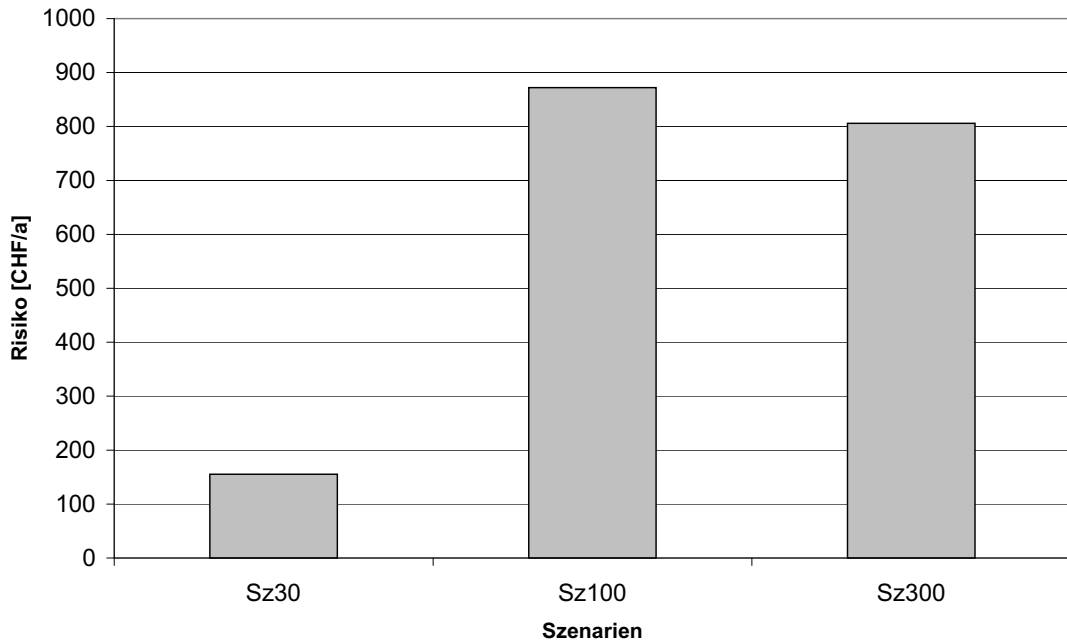


Abbildung 2.4: Verteilung der Risiken im Fallbeispiel Bantigen.

2.5.2 Individuelle Risiken

Das individuelle Risiko wurde für eine Person bestimmt, die sich in Gebäude 1 bzw. 2 während 18 h pro Tag aufhält. Es ergab sich ein individuelles Risiko von $1.1 \cdot 10^{-5}$ für eine Person im Gebäude 1 und $2.9 \cdot 10^{-6}$ für eine Person im Gebäude 2.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Verteilung der kollektiven Risiken ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Es zeigte sich, dass vor allem das 100-jährliche und das 300-jährliche Szenario zum Gesamtrisiko beitragen.

2.6.2 Individuelle Risiken

Das individuelle Risiko für eine Person in Gebäude 1 lag gemäss den Schutzziele für unfreiwillige individuelle Risiken mit $1.1 \cdot 10^{-5}$ über dem definierten Grenzwert (vgl. Tabelle 4.2, Seite 43). Auch eine Person in Gebäude 2 hatte eine erhöhtes individuelles Risiko zu tragen. Aus Sicht des Individualrisikos bestand somit ein Schutzdefizit.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Um die Risiken zu senken, wurden für dieses Fallbeispiel folgende Massnahmen diskutiert bzw. für die Planung herangezogen.

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

Für das Untersuchungsgebiet besteht bereits eine lokale Gefahrenkarte. Die Gebäude liegen beide in der blauen Gefahrenzone. Ohne zusätzliche technische Massnahmen sollen hier keine weiteren Baugebiete mehr ausgeschieden werden.

2.7.2 Biologische Massnahmen

Die Rinne und die Anrisszone kann mittels Stecklingen und Hydrosaat begrünt werden. Diese Massnahme ist aber nur in Kombination mit technischen Bauwerken sinnvoll. Als alleinstehende Massnahme erzielt sie keine positive Wirkung betreffend der Gefahrensituation.

2.7.3 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen im Sinne eines Frühwarndienstes wurden diskutiert, sind jedoch kaum realisierbar, da die Vorwarnzeiten zu kurz sind.

2.7.4 Technische Massnahmen

Bei den technischen Massnahmen wurden drei Varianten für das Gebäude 1 diskutiert:

Holzkastenverbau am Rinnenende oberhalb Gebäude 1: In der Rinne bestehen weitere kleine Lockermaterialdepots. Zur Stabilisierung dieser Materialpakete kann ein Holzkasten ca. 7 m oberhalb des Rinnenendes erstellt werden (Länge: 15 m, Höhe 3 m). Der Holzverbau muss seitlich gut in den bestehenden Böschungen abgestützt werden. So kann eine optimale Stabilität gewährleistet werden.

Damm am Rinnenende oberhalb Gebäude 1: Am Rinnenende kann ein 2 m hoher Damm erstellt werden. Dieser müsste aufgrund der geringen Platzverhältnisse bergseits mit Blockwurf geböscht werden. Die Länge der Schutzmassnahme beträgt 16 m.

Drainage im Anrissgebiet: Der oberste Teil der Rinne (ca. 1/3) verläuft auf dem glatten Fels. Weiter unten bestehen kleine Lockermaterialdepots, welche den anstehenden Fels überlagern. Die Entwässerung sollte bei diesen Lockermaterialdepots angesetzt werden (Distanz bis zum Rinnenende ca. 25 m). Die Sickerleitung sollte dabei auf dem Fels angebracht werden.

Weiter unten besteht die Gefahr der Auswaschung der Strassenkofferung durch Hangwasser. Das Einlegen eines Sickerstranges unmittelbar oberhalb des Gebäudes ist erforderlich. Dadurch kann das aus dem südwestlichen Hangbereich strömende Hangwasser gefasst und mit einem Schacht in die Drainageleitung der Rinne gelenkt werden.

Aufgrund der Geländebefunde reichen die einzelnen Massnahmen nicht aus, um die Gefährdungssituation massgeblich zu verbessern. Es drängt sich eine Kombination dieser drei technischen Massnahmenvarianten auf.

2.8 Wirksamkeit

2.8.1 Konsequenzenanalyse nach Massnahmen

Bei der Beurteilung der Gefährdung nach Massnahmen werden nur die dauernd wirksamen Schutzbauten einbezogen. Damit können die Intensitätskarten nach Massnahmen dargestellt werden (Abbildung 2.5).

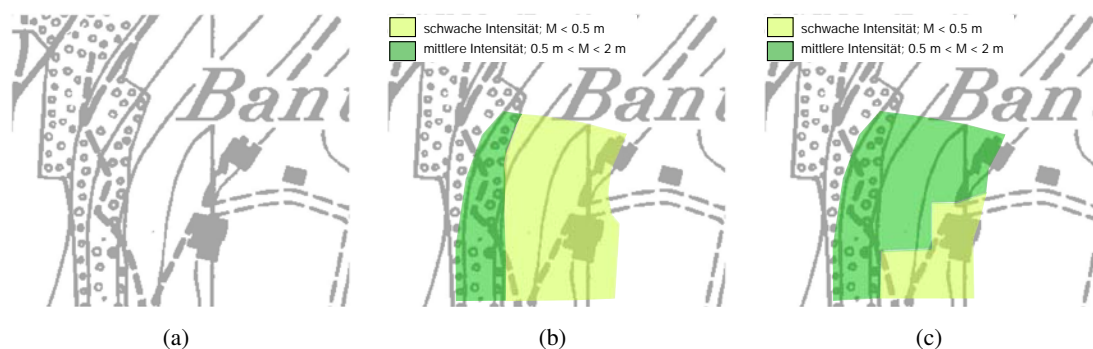


Abbildung 2.5: Intensitätskarten 30-jährlich (a), 100-jährlich (b) und 300-jährlich (c) nach Massnahmen. © 2008 swisstopo (JD082774).

Das Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich reduziert sich dementsprechend. Die Ergebnisse der Konsequenzenanalyse nach Massnahmen sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Tabelle 2.2: Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich für das Fallbeispiel Bantigen nach Massnahmen.

Kategorie	Sz30	Sz100	Sz300
Gebäude [CHF]	0	6'500	100'750
Personen [Tf]	0	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
Personen [CHF]	0	156	16'900
Gesamt [CHF]	0	6'656	117'650

Das Gesamt-Schadenausmass nach den Massnahmen setzt sich zu 14 % aus dem Schadenausmass Personen und 86 % aus dem Schadenausmass Sachwerte zusammen. Es wird zudem klar vom 300-jährlichen Ereignis dominiert.

2.8.2 Risikoermittlung nach Massnahmen

Die Risiken verteilen sich auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich. Für die Sachwerte ergibt sich ein Risiko von 379 CHF/a und für die Personenrisiken ein Wert von 57 CHF/a. Vergleicht man

diese Werte mit denjenigen vor Massnahmen so kann für das 30- und das 100 jährliche Ereignis eine massive Reduktion festgestellt werden.

Das individuelle Todesfallrisiko sinkt für eine Person im Gebäude 1 auf einen Wert von $4 \cdot 10^{-8}$ und für eine Person im Gebäude 2 verbessert sich der Wert leicht auf $4 \cdot 10^{-6}$. Die Werte liegen damit unterhalb den Grenzwerten (Teil A, Tabelle 4.1 und 4.2, Seite 42f).

2.9 Kosten

Die Investitionskosten der Massnahmen betragen:

Tabelle 2.3: Investitionskosten Massnahmenkonzept Fallbeispiel Bantigen.

Massnahme	Kosten [CHF]
Holzkasten (20 m ³) inkl. Sickerleitung	12'000
Erddamm (24 m)	5'000
Entwässerung (80 m)	11'000
Projektierung/Bauleitung	16'500
Gesamt	44'500

Die jährlichen Unterhaltskosten wurden mit 500 CHF/a bestimmt, die Lebensdauer der Massnahme beträgt 50 Jahre. Betriebskosten fallen keine an. Damit errechneten sich jährliche Kosten in der Höhe von 1'835 CHF/a.

2.10 Massnahmenbewertung

Die Gegenüberstellung der mit der Massnahme erzielten jährlichen Risikoverminderung und der jährlichen Kosten der Massnahme ergab ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.8. Da für dieses Beispiel nur eine Massnahmenkombination möglich war, war es nicht möglich ein Risiko-Kosten-Diagramm zu zeichnen. Obwohl das Nutzen-Kosten-Verhältnis knapp keine Wirtschaftlichkeit des Projektes anzeigte, war es aufgrund des erhöhten individuellen Todesfallrisikos notwendig, die Massnahmen auszuführen.

2.11 Realisierte Massnahmen

Die beschriebene Massnahmenkombination wurde ausgeführt. So wurde ein Holzkasten gebaut, der Hang drainiert und oberhalb des Gebäudes 1 ein kleiner Damm errichtet.

2.12 Weitere Einflussfaktoren

Es wurden keine weiteren Einflussfaktoren für die Massnahmenbewertung berücksichtigt.

Kapitel 3

Fazit

Da die Prozesse der spontanen Rutschungen und Hangmuren oft auf sehr kleine Einzelgebiete (wenige Aren) beschränkt sind, zeigen sich bei der Anwendung des vorliegenden Risikokonzepts die Grenzen. Dabei können nicht alle Schritte mit den dazu erforderlichen Daten ausgeführt werden.

Das Fallbeispiel stellte ein in der Praxis klassisches, häufig zu bearbeitendes Problem dar. Es zeigte sich, dass beim Durcharbeiten der Schritte des Risikokonzepts wichtige Ergebnisse zu Stande kommen, die sonst nur implizit und ohne Dokumentation im Projektbericht erfasst werden.

Das Durcharbeiten der Schritte des Risikokonzepts erlaubt auch bei sehr kleinen Projekten eine nachvollziehbare und unmissverständliche Risikoanalyse und Risikobewertung.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für eine detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess spontane Rutschung/Hangmure zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude¹								
Wohninheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.05	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Wohninheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus ²	550000.00	Stück	0.05	0.30	0.50	0.0003	0.003	0.03
Garage (Parkinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox ³	60000.00	Stück	0.10	0.50	0.80	0.0050	0.100	0.50
Hotel - Gästehaus	492.00	m ³	0.07	0.30	0.50	0.0005	0.003	0.03
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Einkaufszentrum	540.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Schule/Kindergarten	580.00	m ³	0.07	0.30	0.50	0.0003	0.003	0.03
Spital	850.00	m ³	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Kirche	720.00	m ³	0.05	0.20	0.30	0.0010	0.010	0.10
Bahnhof	530.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Stationsgebäude Mechanische Aufstieghilfe	500.00	m ³	0.10	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m ³	0.07	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Öffentliche Gebäude	810.00	m ³	0.05	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Stall	180.00	m ³	0.05	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Schuppen / Remise	80.00	m ³	0.02	0.50	1.00	0.0100	0.100	0.20

¹ Alle mit Einheit m³: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

² I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

³ Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und nummeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte⁴								
Kraftwerk		Stück	0.10	0.20	0.40	0.0010	0.010	0.10
ARA		Stück	0.01	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Deponie		Stück	0.01	0.20	0.40	0.0050	0.100	0.50
Campingplatz		Stück	0.30	0.80	0.80	0.0500	0.700	1.00
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.40	0.0000	0.000	0.00
Wasserreservoir		Stück	0.01	0.30	0.60	0.0010	0.010	0.10
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.01	0.50	0.90	0.0500	0.700	1.00
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m'	0.10	0.20	0.30	0.0500	0.100	0.30
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m'	0.10	0.20	0.50	0.0500	0.500	0.80
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m'	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m'	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m'	0.10	0.60	0.90	0.0500	0.700	0.90
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.0500	0.700	0.90
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m'	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m'	0.10	0.20	0.80	0.0500	0.700	0.80

⁴grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separates Objekt z.B als Wohninheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m'	0.10	0.20	0.30	0.0500	0.100	0.30
Schieneverkehr								
Einspur	6300.00	m'	0.40	0.70	1.00	0.0500	0.001	0.01
Doppelspur	10400.00	m'	0.40	0.70	1.00	0.0500	0.001	0.01
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m'	0	0	1.00	0.0500	0.001	0.01
Brücke Doppelspur	420000.00	m'	0	0	1.00	0.0500	0.001	0.01
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanlage innerhalb des Kabel-	21000.00	Anz.	0.50	1.00	1.00			
kanals (pro Schadenstelle)								
Frei wählbares Objekt		m'	0.50	1.00	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Skiilift		m'	0.10	0.70	0.90	0	0	0
Sessellift		m'	0.10	0.50	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.70
Gondelbahn		m'	0.10	0.50	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.70
Luftseilbahn		m'	0.01	0.30	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	0.90
Standseilbahn Zahnradbahn		m'	0.50	0.70	1.00	$1 \cdot 10^{-9}$	0.010	0.20
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) ≤ 60 kV	400000.00	Mast	0.01	0.10	0.30			
Hochspannungsleitung > 60 kV	1000000.00	Mast	0.01	0.10	0.30			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert [SFr.]	Einheit	Schadenempfindlichkeit			Letalitätsfaktor		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0.05	0.10	1.00			
Strom unter Terrain		m'	0	0.50	1.00			
Wasser auf Terrain		m'	0.50	1.00	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0	0.50	1.00			
Gas auf Terrain		m'	0.50	1.00	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0.50	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0	0.50	1.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0	0.50	1.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.01	0.03	1.00			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.03	0.05	1.00			
Schutzwald	1000.00	a	0.20	0.50	0.90			
Nutzwald	200.00	a	0.30	0.60	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0.20	0.35	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.10	0.10	1.00			
Obstplantagen		a	0.30	0.60	1.00			
Parkanlage		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Friedhof		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	Basiswert	Einheit	Schadenempfindlichkeit	Letalitätsfaktor
	[SFr.]		Intensität schwach mittel stark	Intensität schwach mittel stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit) 30 100 300	
alle Objekte			0.10 0.50 0.80	