

> Schutz vor Massenbewegungsgefahren

*Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen,
Steinschlag und Hangmuren*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Schutz vor Massenbewegungsgefahren

*Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen,
Steinschlag und Hangmuren*

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u. a. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Die vorliegende Vollzugshilfe ersetzt die Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BRP, BWW, BUWAL 1997).

Impressum

Herausgeber

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

Autoren

Hugo Raetzo, Bernard Loup (Abt. Gefahrenprävention, BAFU)

Fachtechnische Begleitung

Christophe Bonnard, PBBG SA, Lausanne (ancien collaborateur scientifique de l'EPFL)
Hans Rudolf Keusen, GEOTEST
Arthur Sandri, Abt. Gefahrenprävention, BAFU

Arbeitsgruppe der Kantone während der Überarbeitung 2015

Daniel Bollinger, Kanton Schwyz
Christophe Déneraud, Kanton Neuenburg
Lukas Eggimann, Kanton Uri
Jörg Häberle, Kanton Bern
Nils Hählen, Kanton Bern
Andreas Huwiler, Kanton Graubünden
Raphaël Mayoraz, Kanton Wallis
Andrea Pedrazzini, Kanton Jura

Redaktionelle Beiträge

Gian Reto Bezzola, Abt. Gefahrenprävention, BAFU
Thomas Egli, Egli Engineering AG
Werner Gerber, WSL
Mark Govoni, Abt. Recht, BAFU
Christoph Haemmig, BWG, derzeit GEOTEST AG

Lektorat

Roland Wyss, Dr. Roland Wyss GmbH

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.

Gestaltung

Stefanie Studer, 5444 Künten

Titelbild

Von der Rutschung Falli Hölli zerstörtes Haus, Gemeinde Plasselb, Kt. Freiburg, 1994 (Foto Hugo Raetzo)

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Vertrieb Bundespublikationen, CH-3003 Bern
Tel. +41 58 465 50 50
verkauf.zivil@bbl.admin.ch
Bestellnummer: 810.100.099d
www.bafu.admin.ch/uv-1608-d

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier

Diese Publikation ist auch in französischer und englischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2016

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	8		
<hr/>			
1 Rechtliche Grundlagen und Konzept	10		
1.1 Einleitung	10		
1.2 Rechtliche Grundlagen	10		
1.3 Konzept der neuen Vollzugshilfe	11		
<hr/>			
2 Situationsanalyse	14		
2.1 Raumnutzung	14		
2.2 Behandelte Prozesse	15		
2.3 Grundlagen	15		
2.3.1 Grundlagen und Methoden	15		
2.3.2 Naturereigniskataster	16		
2.3.3 Schutzbautenkataster	17		
2.3.4 Karte der Phänomene	18		
2.4 Wirkung bestehender Schutzmassnahmen	20		
2.4.1 Berücksichtigung der Wirkung von Schutzbauten bei der Gefahrenbeurteilung	20		
2.4.2 Berücksichtigung organisatorischer Massnahmen bei der Gefahrenbeurteilung	21		
2.5 Anforderungen bei der Gefahrenbeurteilung	22		
2.6 Kartographische Gefahrenprodukte	24		
2.6.1 Gefahrenhinweiskarten	25		
2.6.2 Intensitätskarten	26		
2.6.3 Gefahrenkarten	27		
2.7 Gefahrenbeurteilung mit dem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm	29		
2.8 Kriterien zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit	31		
2.8.1 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Sturzprozessen	33		
2.8.2 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Gleitprozessen	33		
2.8.3 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Fliessprozessen	35		
2.9 Kriterien zur Beurteilung der Intensität	38		
2.9.1 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Sturzprozessen	42		
2.9.2 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Gleitprozessen	42		
2.9.3 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Fliessprozessen	43		
2.10 Szenariendefinition	44		
2.10.1 Szenarienbildung	44		
2.10.2 Szenarienwahl	44		
2.11 Umgang mit Unsicherheiten	45		
<hr/>			
3 Handlungsbedarf	47		
3.1 Ermittlung von Risiken	47		
3.2 Sicherheitsniveau und Schutzziele	48		
3.3 Verbleibendes Risiko	50		
<hr/>			
4 Massnahmen	52		
4.1 Optimierung von Schutzmassnahmen	52		
4.2 Planungsphasen	55		
4.3 Unterhalt von bestehenden Massnahmen	55		
4.4 Raumplanerische Umsetzung	57		
4.5 Schutzwaldpflege und waldbauliche Massnahmen	58		
4.6 Bauliche Massnahmen bei Sturzprozessen	59		
4.7 Bauliche Massnahmen bei Gleitprozessen	61		
4.8 Bauliche Massnahmen bei Fliessprozessen	64		
4.9 Überlastfall	65		
4.10 Organisatorische Massnahmen und Notfallplanung	66		
4.10.1 Frühwarnsysteme	67		
4.10.2 Notfallplanung	71		
4.11 Periodische Überprüfung und Erfolgskontrolle	72		
<hr/>			
Anhang	73		
A1 Rechtsgrundlagen	73		
A2 Identifikation der Prozesse von Massenbewegungen	79		
A3 Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Fliessprozessen	87		
A4 Raumplanerische Umsetzung der Gefahrengrundlagen	90		
A5 Beispiel Schutzzieldiagramm	92		
<hr/>			
Literatur	94		
Verzeichnisse	97		

> Abstracts

This guideline explains the management of landslides, hillslope debris flows and rockfall processes. These natural hazards are identified and evaluated using state-of-the-art methods. The criteria of probability of occurrence and intensity are determined for the compilation of hazard maps. The evaluation of risks, definition of protection objectives and target measures and the determination of the action requirement is necessary for planning. The process to be implemented for the optimisation of measures incorporates the examination of all options for action. These include spatial planning, biological, structural and organisational measures. The evaluation of measures takes technical, economic, ecological and social criteria into account.

Keywords:
landslides,
hillslope debris flows,
rockfall, hazard evaluation,
hazard map,
protective measures

Die Vollzugshilfe erläutert den Umgang mit Rutschungen, Hangmuren und Sturzprozessen. Diese Naturgefahren werden mit modernen Methoden lokalisiert und beurteilt. Bei der Erstellung der Gefahrenkarte werden die Kriterien der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Intensität bestimmt. Die Beurteilung von Risiken, die Festlegung von Schutzziele und von Massnahmenzielen sowie die Ermittlung des Handlungsbedarfs sind bei der Planung notwendig. Das Vorgehen bei der Optimierung von Massnahmen umfasst die Überprüfung aller Handlungsoptionen. Dazu gehören raumplanerische, biologische, bauliche und organisatorische Massnahmen. Die Bewertung der Massnahmen berücksichtigt technische, ökonomische, ökologische und soziale Kriterien.

Keywords:
Rutschungen,
Hangmuren, Steinschlag,
Gefahrenbeurteilung,
Gefahrenkarte,
Schutzmassnahmen

Cette aide à l'exécution indique comment traiter les glissements de terrain, les coulées de boue et les processus de chute. Ces dangers naturels sont localisés et évalués en appliquant des méthodes modernes. La carte des dangers est élaborée en tenant compte de la probabilité d'occurrence et de l'intensité des processus dangereux. La planification des mesures à prendre demande d'évaluer les risques, de fixer des objectifs de protection, d'assigner des objectifs aux mesures envisagées et de déterminer les travaux à entreprendre. La méthode préconisée pour optimiser les mesures inclut un examen de toutes les options concevables – mesures d'aménagement du territoire, biologiques, constructives ou d'organisation. Les mesures considérées sont évaluées en tenant compte de critères techniques, économiques, écologiques et sociaux.

Mots-clés:
glissement de terrain,
coulée de boue, chute de pierres,
évaluation des dangers,
carte des dangers,
mesure de protection

L'aiuto all'esecuzione spiega come gestire i scivolamenti, le colate detritiche di versante e i processi di crollo. Questi pericoli naturali vengono localizzati e valutati applicando metodi moderni. Nell'allestimento delle carte dei pericoli si determinano i parametri «probabilità di accadimento» e «intensità». Per la pianificazione delle misure occorre valutare i rischi, definire sia gli obiettivi di protezione che gli obiettivi delle misure e stabilire la necessità d'intervento. L'ottimizzazione delle misure richiede una verifica di tutte le opzioni d'intervento: dai provvedimenti di pianificazione del territorio a quelli edili, biologici e organizzativi. La valutazione delle misure considera criteri tecnici, economici, ecologici e sociali.

Parole chiave:
scivolamenti,
colate detritiche di versante,
caduta sassi,
valutazione dei pericoli,
carta dei pericoli,
misure di protezione

> Vorwort

Das Waldgesetz soll dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlag geschützt werden. Die vorliegende Vollzugshilfe «Schutz vor Massenbewegungsgefahren» erläutert die rechtskonforme Umsetzung dieses Gesetzes. Den Ausgangspunkt für die Erarbeitung dieser neuen Vollzugshilfe bildeten die in Fachkreisen etablierten Bundesempfehlungen zur «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» von 1997, deren Grundprinzipien beibehalten wurden. Neu werden für die Beurteilung von Rutschungen aktuelle Forschungsergebnisse berücksichtigt und detailliertere quantitative Vorgaben aufgenommen. So fließt die zeitliche Variation der Geschwindigkeit in die Beurteilung ein. Reaktivierungen und Beschleunigungen sind häufige Ursachen von Schäden oder Zerstörungen, weshalb dem Ereigniskataster eine grössere Bedeutung zukommt. Auch Massnahmen zum Umgang mit Massenbewegungen, etwa die Überwachung und der Betrieb von Frühwarndiensten, werden präzisiert. Die Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeiten von Hangmuren wird neu in fünf Arbeitsschritten umschrieben.

Im Herbst 2009 schickte das BAFU den Entwurf dieser Vollzugshilfe in die Vernehmlassung und im Jahr 2015 übernahm eine Arbeitsgruppe aus Bundes- und Kantonsvertretern die Überarbeitung. Die zahlreichen Stellungnahmen wurden soweit möglich in der bereinigten Fassung berücksichtigt. Die Vollzugshilfe ist im Kontext mit anderen Publikationen des BAFU über das integrale Risikomanagement und den Hochwasserschutz zu sehen. Sie bezieht sich auch auf die Publikation der PLANAT «Sicherheitsniveau für Naturgefahren» und die darin enthaltenen Schutzziele (PLANAT 2013).

Die vorliegende Vollzugshilfe stellt einen Beitrag zu einem angemessenen, präventiven Umgang mit Massenbewegungsgefahren dar. Sie unterstreicht die Notwendigkeit von objektiven sowie nachvollziehbaren Gefahregrundlagen und Risikobeurteilungen. Ein nachhaltiger und gesamtheitlicher Umgang mit Massenbewegungsgefahren – also ein integrales Risikomanagement – ist nur gewährleistet, wenn alle Massnahmen ideal kombiniert und ökonomische, ökologische und soziale Kriterien berücksichtigt werden. Deshalb soll bei der Massnahmenplanung eine optimale Abstimmung der raumplanerischen, biologischen, baulichen und organisatorischen Massnahmen angestrebt werden.

Josef Hess
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Die Vollzugshilfe «Schutz vor Massenbewegungsgefahren» erläutert, wie mit Rutschungen, Hangmuren und Sturzprozessen im Sinn des Waldgesetzes (WaG) umgegangen wird. Im zweiten Kapitel wird das Vorgehen bei der Erstellung von Gefahrengrundlagen beschrieben. Bei der Gefahrenbeurteilung werden auch die Zuverlässigkeit und die Wirkung von bestehenden Schutzmassnahmen berücksichtigt. Die Anforderungen an die Gefahrenbeurteilung werden von der Zielsetzung bestimmt und können neu in drei Bearbeitungsstufen unterteilt werden. Sehr hohe Anforderungen gelten für Bauprojekte, Gutachten und Detailstudien (Massstab 1:1000 bis 1:5000). Auch für Gefahrenkarten wird ein hoher Standard verlangt, der in seiner räumlichen Genauigkeit bei circa zehn Metern liegt (Massstab 1:2000 bis 1:10000).

Die Gefahrenstufen von Massenbewegungen werden mit dem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm bestimmt (Kapitel 2). Als Grundlage für die Beurteilung dienen dabei mögliche Szenarien. Ziel ist es, jährliche Eintretenswahrscheinlichkeiten zu ermitteln, die mit den Wiederkehrperioden der Prozesse Hochwasser und Lawinen übereinstimmen. Für Sturzprozesse gelten folgende Intensitätsklassen: schwach <30 kJ, mittel 30–300 kJ, stark >300 kJ. Bei der Beurteilung von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren wird eine Methode angewendet, die primär die Dispositionsanalyse und die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit verbessert. Für permanente Rutschungen gelten drei Intensitätsstufen durchschnittlicher Geschwindigkeit ($v = 0\text{--}2$ cm/Jahr, $v = 2\text{--}10$ cm/Jahr und $v > 10$ cm/Jahr). Basierend auf den Erkenntnissen aus Ereignisanalysen werden mögliche Beschleunigungen und Differentialbewegungen einbezogen. Aus diesem Grund werden bei der Bestimmung der Intensitäten zusätzliche Kriterien eingeführt: a) Beschleunigungen von Rutschungen entsprechend der maximalen Geschwindigkeit; b) Differentialverschiebungen und c) Tiefe der Gleitfläche. Für Hangmuren gelten die Kriterien Mächtigkeit und Ablagerungshöhe. Einsturzprozesse und Absenkungen (z. B. in Dolinen) werden beurteilt, wenn im Feld klare Indizien für die räumliche Ausdehnung nachgewiesen werden.

Im dritten Kapitel werden die Ermittlung von Risiken und die Festlegung von Schutzzielen erläutert. Der Bund strebt ein schweizweit vergleichbares Sicherheitsniveau für alle Naturgefahren an, das ökologisch vertretbar, ökonomisch verhältnismässig und sozial verträglich ist. Mithilfe der Schutzziele klärt die öffentliche Hand ab, wo für sie Handlungsbedarf besteht. Bei einem Schutzdefizit wird geprüft, ob geeignete Massnahmen das Risiko reduzieren können. Für die Planung von Massnahmen legen die Verantwortungsträger spezifische Massnahmenziele fest.

Das vierte Kapitel enthält Erläuterungen zur Planung und Realisierung von Massnahmen. Bei der Planung und Optimierung von Massnahmen werden alle Handlungsoptionen überprüft. Mit passiven Massnahmen wird das Ausmass eines möglichen Schadens verringert. Die Kantone berücksichtigen die Gefahrenkarten bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung. Das Schadenpotenzial soll in erster Linie durch raumplanerische Massnahmen vermindert werden. Mit akti-

ven Massnahmen wird der Prozessablauf beeinflusst. Dazu zählen flächendeckende Massnahmen wie beispielsweise Schutzwaldpflege, Aufforstungen und auch punktuelle bauliche Schutzmassnahmen wie Steinschlagnetze. An Orten, an denen eine schützenswerte Nutzung bereits besteht oder nach Abwägung aller Interessen eine Änderung der Nutzung unbedingt erforderlich ist, können bauliche Schutzmassnahmen zum Einsatz kommen. Ein baulicher Schutz vor Massenbewegungen ist aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht in jedem Fall möglich, was insbesondere bei grossen Massen und hohen Energien eintreffen kann. Ist für die Gefahrenzone deshalb kein vollständiger Schutz möglich, können Überwachungs-, Alarm- und Warnsysteme den Schutz von Personen trotzdem kosteneffizient gewährleisten. Dabei werden vier verschiedene Stufen mit unterschiedlichen Anforderungen festgelegt. Es gelten hohe Sicherheitsanforderungen an Frühwarnsysteme, wenn Personen evakuiert und Verkehrswege gesperrt werden.

Die Anhänge enthalten fachtechnische Erläuterungen und Informationen, die für die Umsetzung der vorhergehenden Kapitel notwendig sind. Nach den Rechtsgrundlagen folgen die Definitionen der Massenbewegungen und Erläuterungen. In weiteren Anhängen sind Informationen zur raumplanerischen Umsetzung und zur risikogerechten Festlegung von Schutzzielen zusammengefasst.

1 > Rechtliche Grundlagen und Konzept

1.1 Einleitung

Gebiete mit bekannten Massenbewegungen nehmen in der Schweiz eine Fläche von 6–8 % ein, wobei hiermit heute aktive und in der Vergangenheit aktive Rutschungen eingerechnet werden. Zu den am meisten betroffenen Regionen gehören die Alpen, die Voralpen sowie einige Zonen im Jura. Die Bedeutung von Massenbewegungen hat den Bund 1997 veranlasst, Empfehlungen zur Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren zu formulieren (BRP et al. 1997). In der Folge haben die Kantone mit der Gefahrenbeurteilung von Massenbewegungen begonnen. In den letzten Jahren sind aus den kantonalen Erfahrungen Ergänzungsvorschläge an den Bund adressiert worden. Im Jahr 2004 verfasste die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN 2004) einen Arbeitsbericht, der aufgrund der Praxiserfahrungen Ergänzungen zur bestehenden Methode vorschlug. Die Unwetteranalysen der Jahre 2005 und 2007 haben aufgezeigt, dass Reaktivierungen und Beschleunigungen von Rutschungen in der Vergangenheit teilweise unterschätzt wurden. Zudem wurden in den Unwettern auch Hänge instabil, die vorher nicht erfasst oder beurteilt wurden. Die grossvolumigen Ereignisse verursachten direkte Schäden und eine Materialzufuhr in Wildbachgerinne, in denen dann Murgänge entstanden. Die Analyse von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren mündete auch in eine bessere Beurteilung der Disposition dieser spontanen Prozesse.

Die Bundesempfehlung «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» wurde von den drei Bundesämtern (damalige Bundesämter für Raumplanung – BRP, für Wasserwirtschaft – BWW und für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL) gemeinsam im Jahr 1997 publiziert und bildete den Ausgangspunkt für die Erarbeitung dieser Vollzugshilfe. Die Grundprinzipien werden beibehalten, wobei für das Vorgehen im Detail mehr quantitative Angaben gemacht werden. Mit der vorliegenden Vollzugshilfe wird eine «unité de doctrine» und einheitliche Gefahrenbeurteilung von Steinschlag, Rutschungen, Hangmuren und Erosionsprozessen angestrebt. Im Weiteren macht der Bund mit dieser Vollzugshilfe Aussagen über mögliche Schutzkonzepte.

1.2 Rechtliche Grundlagen

Für den Bereich Gefahrengrundlagen stützt sich die Vollzugshilfe auf den Artikel 15 der Waldverordnung vom 30. November 1992 (WaV). Gemäss diesem Artikel erarbeiten die Kantone die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen, wie Schutzbaukataster, Ereigniskataster, Gefahrenkarten und Notfallplanungen (Abs. 1). Bei der Erarbeitung der Grundlagen berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien (Abs. 2). Die vorliegende Vollzugshilfe macht Vorgaben, wie die Gefahrengrundlagen, insbesondere die Gefahrenkarten, von den Kantonen zu erarbeiten sind und soll dazu dienen, die geolo-

gischen Massenbewegungsgefahren in der ganzen Schweiz nach einheitlichen Kriterien und Massstäben zu erfassen. Die allgemein gültigen Kriterien können im Management von Hochwassergefahren und Lawinen analog angewendet werden. Im Umgang mit den Naturgefahren werden somit identische Grundsätze angewendet, was den einheitlichen Vollzug von Waldgesetz und Wasserbaugesetz in Bezug auf die Erstellung der Gefahrengrundlagen gewährleistet. Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung (Abs. 3). Sie stellen die Grundlagen dem Bundesamt auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich (Abs. 4).

Was die Themenbereiche betrifft, welche über den Bereich der Gefahrengrundlagen hinausgehen (siehe Kapitel 3 und 4), so stützt sich diese Vollzughilfe auf die allgemeine Aufsichtskompetenz des BAFU beim Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Diese Kompetenz ermächtigt das BAFU dazu, in diesen Bereichen unbestimmte Rechtsbegriffe zu konkretisieren und dadurch eine einheitliche Vollzugspraxis zu fördern.

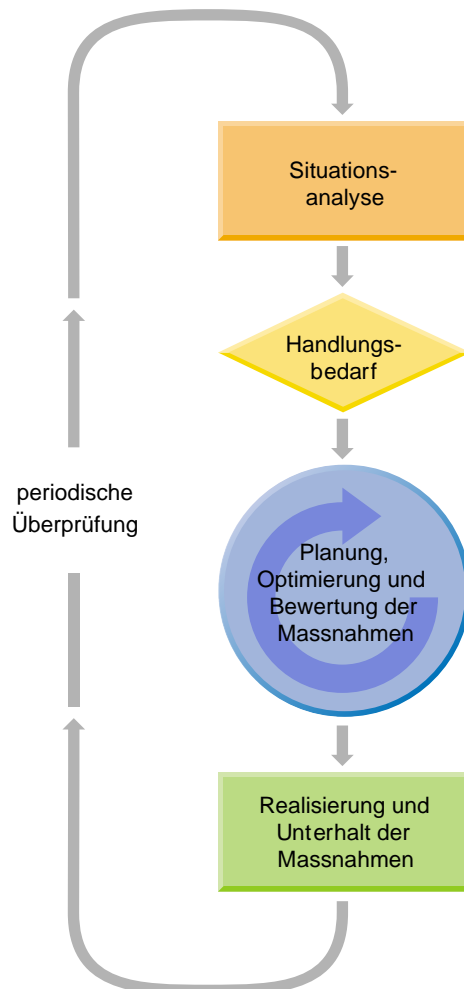
Die relevanten Gesetzesartikel und Verordnungen sind auszugsweise im Anhang A1 aufgeführt.

1.3

Konzept der neuen Vollzugshilfe

Das Konzept der Vollzugshilfe übernimmt die Grundsätze im Umgang mit Naturgefahren und erläutert das Vorgehen bei der Erstellung von Gefahrengrundlagen (Abb. 1). Anforderungen und Methodik werden im zweiten Kapitel «Situationsanalyse» dargestellt. Vor einer Massnahmenplanung werden der Handlungsbedarf ermittelt und die Schutzziele festgelegt (Kapitel 3). Der Auftrag zum Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten kann erfüllt werden, wenn die Planung und die Realisierung von Massnahmen den Vorgaben im vierten Kapitel folgt. Die Kapitel 2 bis 4 bilden den Hauptteil der Vollzugshilfe und konkretisieren die Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen. Im Anhang folgen fachtechnische Erläuterungen und Zusatzinformationen, welche nicht den rechtlichen Stellenwert einer Vollzugshilfe haben.

Abb. 1 > Vorgehen beim Management von Naturgefahren



Die neue Vollzugshilfe übernimmt soweit möglich anerkannte Grundsätze und präzisiert bestimmte Anforderungen (s. Abb. 1 für das allgemeine Vorgehen). Die Gefahrenbeurteilung, die Massnahmenplanung und die Bewertung sind im Grundsatz vergleichbar mit der Praxis im Hochwasserschutz, abgesehen von prozessspezifischen Besonderheiten.

Die wichtigsten Neuerungen der Vollzugshilfe sind:

- > Verbesserte Definition der Prozesse im Anhang A2: In der Schweiz treten Sturzprozesse, Rutschungen und Hangmuren häufig auf. Für diese Prozesse werden präzise Definitionen und Kriterien für die Gefahrenbeurteilung erläutert. Die in der Natur häufig auftretenden Prozesskombinationen und -übergänge werden mit der Unterscheidung von Initial- und Sekundärprozessen definiert («first move» – «second move»).
- > Die Anforderungen an die Gefahrenbeurteilung werden von der Zielsetzung und der rechtlichen Stellung der Resultate bestimmt. In diesem Sinn werden die Anforde-

rungen im zweiten Kapitel nach drei Bearbeitungsstufen unterschieden. Sehr hohe Anforderungen gelten für Bauprojekte, Gutachten und Detailstudien. In diesem Fall sind Unsicherheiten in der Beurteilung möglichst klein zu halten und mögliche Bauwerke richtig zu dimensionieren. Im Rahmen der Gefahrenkarten müssen für Behörden verbindliche Gefahrengrundlagen erstellt werden. Auch hier wird ein hoher Standard verlangt, der in seiner räumlichen Genauigkeit bei circa zehn Metern liegt.

- > Die Beurteilung von Massenbewegungen soll mit möglichen Szenarien erfolgen. Es sollen jährliche Eintretenswahrscheinlichkeiten (0,033, 0,01, 0,003, <0,003) bestimmt werden, die mit den Wiederkehrperioden (30, 100, 300, >300 Jahre) der Prozesse Hochwasser und Lawinen übereinstimmen.
- > Die Gefahrenstufen von Massenbewegungen werden mit dem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm bestimmt. Für permanente Rutschungen gelten drei Intensitätsstufen durchschnittlicher Geschwindigkeit. Basierend auf den Erkenntnissen aus Ereignisanalysen werden mögliche Beschleunigungen und Differentialbewegungen stärker gewichtet. Neue, zusätzliche Kriterien in der Bestimmung der Intensitäten wurden deshalb eingeführt:
 - Beschleunigungen oder Reaktivierungen von Rutschungen entsprechend der maximalen Geschwindigkeit während einer Krise (v_{\max}).
 - Differentialverschiebungen (D). In Zonen von Differentialverschiebungen treten in der Regel die grössten Schäden auf, weil das Gestein mit unterschiedlicher Geschwindigkeit talwärts rutscht.
 - Tiefe der Gleitfläche (T). Ab einer Tiefe von circa 30 Metern kann eine Intensitätsrückstufung erfolgen, wenn alle folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden: grössere zusammenhängende Rutschmassen, phänomenologisch homogene Bereiche und geodätisch belegte gleichförmige Bewegungsdynamik.
- > Zur Beurteilung von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren wird mit dieser Vollzugshilfe eine neue Methode eingeführt. Eine geologische und geomorphologische Untersuchung sowie die Analyse von vergangenen Ereignissen ergeben statistische Angaben, die zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit genutzt werden.
- > Die Beurteilung von Dolinen wird in dieser Vollzugshilfe präzisiert, wobei rote Gefahrengebiete für Dolinen nur im Fall von nachgewiesener Einsturzgefährdung ausgeschrieben werden sollen.
- > Eisschlag wird analog zu den Sturzgefahren beurteilt.
- > Zur Berücksichtigung von Massnahmen bei der Gefahrenbeurteilung werden allgemein gültige Grundsätze festgelegt.
- > Schutzziele werden nach einem Risikoansatz definiert. Ein hoher Schutz ist für grosse Risiken anzustreben. Kein Schutz oder geringe Aufwendungen werden für geringe Risiken vorgesehen (Kapitel 3).
- > Die möglichen Massnahmen zum Schutz vor Massenbewegungsgefahren werden im vierten Kapitel dargelegt (raumplanerische, biologische, bauliche, organisatorische). Neu wird auch den organisatorischen Massnahmen mehr Gewicht gegeben, insbesondere weil bei Felssturz- und tiefgründigen Rutschgefahren diese Option häufig im Vordergrund steht.

2 > Situationsanalyse

Für den Schutz vor Naturereignissen erarbeiten die Kantone die notwendigen Grundlagen (Art. 15 WaV). Um Risiken meiden bzw. mindern zu können, müssen diese zuerst erkannt und bewertet werden. Im Rahmen der Situationsanalyse werden einerseits die vorhandenen Gefahren beurteilt (Abschnitt 2.2 bis 2.10) und andererseits die bestehenden sowie die geplanten Nutzungen und Objekte erhoben (Abschnitt 2.1). Der Verschnitt der Gefahren- und Nutzungsgrundlagen hebt die Gebiete hervor, wo Personen, Sachwerte, Infrastrukturen und weitere Objekte durch Naturgefahren potenziell betroffen sind.

Der Detaillierungsgrad der Analyse kann je nach festgelegter Aufgabe und Zielsetzung stark variieren, sei es in Abhängigkeit des räumlichen Perimeters (Schweiz, Kanton, Region, Gemeinde, Projekt), oder der zur Verfügung stehenden Grundlagen (Art, Massstab, Inhalt usw.).

2.1 Raumnutzung

Nutzungen und Objektkategorien werden entsprechend den Aufgaben unterschiedlich fein aufgeteilt. Für Übersichten in grösseren räumlichen Systemen reicht eine Zusammenfassung z. B. in folgende Hauptkategorien (Schutzgüter):

- > Personen
- > Gebäude
- > Infrastrukturen (z. B. Bahnen, Strassen) und Lifelines (z. B. Stromleitungen)
- > Kulturgüter
- > Sonderobjekte

Im Rahmen der Massnahmenplanung ist in der Regel eine detaillierte Erhebung notwendig, wie sie z. B. in EconoMe zur Anwendung kommt. Diese Schadenpotenzialübersicht wird erhalten, indem die Nutzungen und Objekte feiner aufgeschlüsselt und allenfalls durch weitere Detailinformationen ergänzt werden.

Ungeachtet des Detaillierungsgrades gilt es bei der Erstellung der Schadenpotenzialübersicht nebst den bestehenden Nutzungen auch die geplanten oder zukünftigen Entwicklungen zu berücksichtigen, um auch eine Aussage über die möglichen Veränderungen des Schadenpotenzials bzw. der Risiken zu erhalten. Informationen zur zukünftigen Entwicklung liefern der Nutzungsplan und wo vorhanden die kommunalen Richtpläne. Weitere Grundlagen zu geplanten Entwicklungen sind unter anderem die Sachpläne des Bundes, die Richtpläne der Kantone sowie kantonale bzw. regionale Entwicklungskonzepte.

2.2 Behandelte Prozesse

Das Waldgesetz soll unter anderem dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Rutschungen, Erosion, und Steinschlag (Naturereignisse) geschützt werden (Art. 1 Abs. 2 WaG). Die vorliegende Vollzugshilfe der Massenbewegungsgefahren behandelt:

- > Sturzprozesse: Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz, Eisschlag und Einsturzprozesse
- > Gleitprozesse: Rutschungen und Sackungen
- > Fließprozesse: Hangmuren

Der Prozess Hangmure wird in dieser Vollzugshilfe erläutert. Der Prozess Murgang wird im Dokument für Hochwasserschutzgefahren behandelt (BWW et al. 1997). Die Berücksichtigung von Prozessverkettungen (z. B. Rutschungen, Hangmuren, Murgänge) ist von besonderer Bedeutung, weil die Massenbewegungen oftmals weit weg vom Schadenpotenzial liegen.

Die Prozessdefinitionen der berücksichtigten Massenbewegungen werden im Anhang A2 erläutert. Schneelawinen werden nicht in dieser Vollzugshilfe behandelt.

2.3 Grundlagen

Der Umgang mit Massenbewegungsgefahren erfordert in einer ersten Phase eine wertfreie Dokumentation aller verfügbaren Informationen, Beobachtungen und Messungen, die auf eine bestehende Gefahr hindeuten. Bei der Gefahrenerkennung sind objektive Beobachtungen festzuhalten, welche möglichst frei von Interpretation sind. Dabei sind Angaben über die Qualität der Beobachtungen – ob sie auf Schätzungen, Berechnungen oder Messungen beruhen – unbedingt erforderlich. Die Gefahrenerkennung basiert auf einer ganzen Reihe von Quellen und Methoden. Vor allem frühere Ereignisse und «stumme Zeugen» sind wichtige Hinweise, auch wenn in der Zwischenzeit Schutzmassnahmen realisiert worden sind.

2.3.1 Grundlagen und Methoden

Die Grundlagen und Methoden zur Beurteilung von Massenbewegungsgefahren werden kurz in diesem Abschnitt aufgeführt (Auswahl exklusive Naturereigniskataster und Karte der Phänomene: siehe Abschnitte 2.3.2–2.3.4).

Die topographische Analyse ist Teil eines ganzheitlichen Konzepts, das auch Orthophotos, Höhenmodelle, Fernerkundungsdaten und thematische Karten integriert. Aus den Höhenmodellen lassen sich unter anderem Neigungskarten und Reliefbilder («hillshade») generieren, die bei hoher Auflösung der geomorphologischen Kartierung dienen.

Die Fernerkundung umfasst alle Methoden, die aus dem Weltraum, aus der Luft oder terrestrisch aus entfernten Standorten eingesetzt werden. Sie umfasst unterschiedliche physikalische Methoden:

- > Optische Aufnahmen
- > Radaraufnahmen (Mikrowellen)
- > Laseraufnahmen (LIDAR)

Satelliten-, Luft- (z. B. Flugzeuge, Helikopter, Drohnen) oder Bodenaufnahmen sind bei allen Methoden möglich.

Mit dem Begriff «Vermessung» werden sehr verschiedene, klassische und moderne Methoden zusammengefasst, die zur Erfassung von Verschiebungen eingesetzt werden (z. B. GPS, Tachymeter). Im Gebiet der Hanginstabilitäten ist das Ziel all dieser Methoden, die Verschiebung zu messen und Geschwindigkeiten zu bestimmen.

Die geologische Karte bildet eine wichtige Grundlage bei der Kartierung von Massenbewegungen, bei der verschiedene Formen wie Rutschungen oder Sackungen unterschieden werden.

Wasser spielt bei gravitativen Massenbewegungen eine wichtige Rolle. Deshalb sind Angaben über die hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet nötig.

Bohrungen können mit einem gewonnenen Kern oder zerstörend mittels Spülbohrung (Luft, Wasser) ausgeführt werden. Die Kernbohrung ist die einzig sichere Methode, um die Art des Gesteins in der Tiefe und dessen geotechnischen Eigenschaften zu bestimmen. In den Bohrungen können zum Beispiel Inklinometer, Extensometer und Piezometer installiert werden. Ein Inklinometer kann eine aktive Gleitfläche in grosser Tiefe mit Sicherheit identifizieren und die Bewegung quantifizieren.

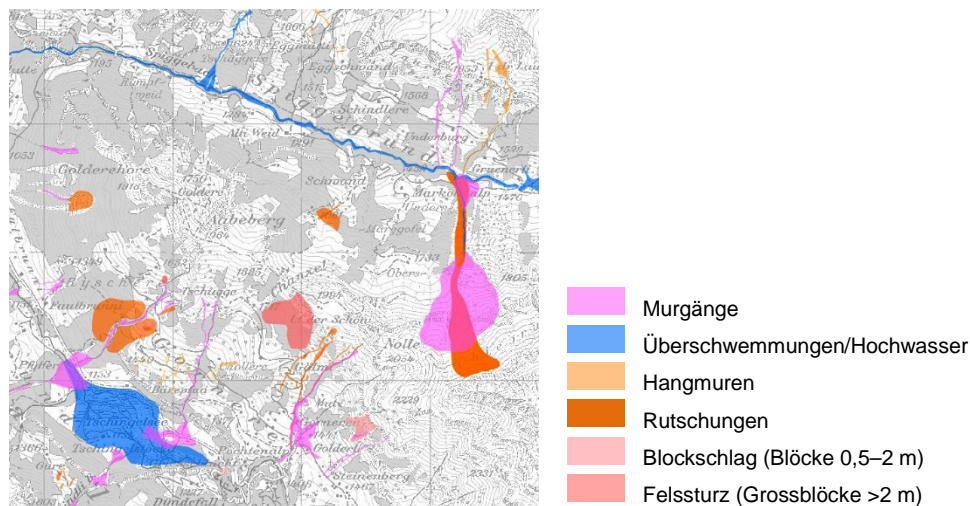
2.3.2 Naturereigniskataster

Wer vorausschauen will, muss zurückblicken können. Die in Naturereigniskatastern dokumentierten Prozessräume und Zeugnisse liefern wertvolle Hinweise zur Ausscheidung potenzieller Gefahrenbereiche, helfen bei der Abschätzung der Wiederkehrperiode, bei der Festlegung der Szenarien und bei der Eichung von Prozesssimulationen. Weiter dienen die dokumentierten Ereignisse zur Erstellung von Schadenübersichten.

Der Naturereigniskataster wird von den kantonalen Fachstellen geführt und laufend nachgeführt. Der Bund stellt standardisierte Erhebungsformulare zur Erhebung von Ereignisdaten für die Prozessstypen Lawine, Sturz, Rutschung, Wasser und Einsturz/Absenkung zur Verfügung. Die erfassten Informationen werden zentral in einer online zugänglichen Datenbank (StorMe) verwaltet. Die Ereignisse werden räumlich dargestellt. Dokumentiert werden mindestens die massgebenden Prozesse, ihr Wirkungsbereich, der Zeitpunkt ihres Auftretens und das grobe Ausmass der Schäden. Optional kann auch das meteorologische Umfeld erfasst werden. Die Aufzeichnung kann in

verschiedenen Detaillierungsgraden erfolgen (s. auch Kasten «Datenmodellierung» in Abschnitt 2.3.4).

Abb. 2 > Naturereigniskataster



Geoportal des Kantons Bern, www.apps.be.ch/geo

2.3.3 Schutzbautenkataster

In den letzten Jahrzehnten konnten viele Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen mit Verbauungen in den Ausbruchgebieten oder mit Schutzmassnahmen im Transit- oder Auslaufbereich gesichert werden. Damit die Schutzwirkung der zahlreichen Verbauungen langfristig gewährleistet werden kann, müssen regelmässige Kontrollen und der Unterhalt organisiert sein (Kontrolle von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit).

Ein wichtiges Instrument für ein zweckmässiges Schutzbautenmanagement ist der Schutzbautenkataster. Dieser Kataster enthält insbesondere Informationen über die Art, die Lage, den Zustand, das Alter und die Dimensionen des betreffenden Bauwerks oder der Verbauung. Angaben über die geschützten Güter, die Bauherrschaft, die Baukosten, den Unterhaltsplan, die Zuständigkeiten usw. können im System auch erfasst werden. Der Bund hat Grundsätze sowie minimale Anforderungen bezüglich Inhalten, Struktur und Führung eines Schutzbautenkatasters bestimmt. Die kantonalen Fachstellen erheben die notwendigen Daten und führen ihren Kataster laufend nach (s. auch Kasten «Datenmodellierung» in Abschnitt 2.3.4).

Abb. 3 > Steinschlagschutznetz



BAFU

2.3.4 Karte der Phänomene

Die Karte der Phänomene hält die im Feld beobachteten geologisch-geomorphologischen Merkmale und Indikatoren für Massenbewegungen kartographisch fest. Die Geländeanalyse ist eine wichtige Ergänzung zur Ereignisdokumentation. Sie stellt primär Fakten kartographisch dar, soll aber auch notwendige Interpretationen wertfrei integrieren. Sie dient der Erkennung und Abschätzung möglicher Gefahrenarten (Disposition, Auslösemechanismen, Wirkungsweise). Die Karte der Phänomene wird unabhängig von der Gefahrenstufe, die später bestimmt wird, erstellt.

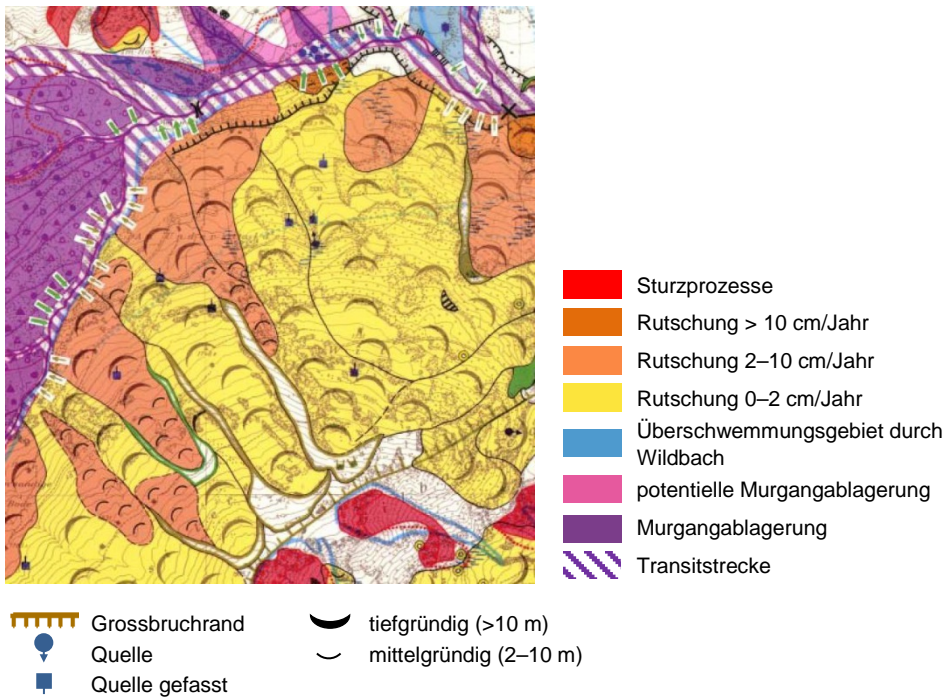
Die Geländeanalyse stützt sich auf die Beobachtung und Interpretation von Geländeformen, Vegetation, Wasserverhältnissen und «stummen Zeugen» von früher abgelauenen oder gegenwärtig ablaufenden gefährlichen Prozessen (z. B. abgestürzte Blöcke). Damit wird es oft möglich, Ursachen, Eintretenswahrscheinlichkeiten und weitere wichtige Merkmale von Ereignissen zu eruieren (z. B. zur Festlegung der Szenarien).

Gefährliche Prozesse und deren Erscheinungsformen werden mit einer spezifischen, einheitlichen Legende erfasst und dargestellt (Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, BWB und BUWAL 1995).

- > Masstab: 1:2000 bis 1:25 000 in Abhängigkeit des Verwendungszweckes
- > Nachführung oder Überprüfung: Bei neuer Gefahrensituation bzw. bei Überarbeitung der Gefahrenkarte

Abb. 4 > Karte der Phänomene

Beispiel erstellt mit dem Symbolbaukasten. In der Legende ist eine Auswahl der verwendeten Symbole aufgeführt, die für Rutschungen von Bedeutung sind.



BWW et. al. 1995

Datenmodellierung und Veröffentlichung der Gefahrengrundlagen

Damit direkt Betroffene sowie die Bevölkerung über die Gefährdungssituation möglichst gut informiert sind, machen die Kantone die Gefahrengrundlagen der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich (Art. 15 Abs. 4 WaV).

Damit die erfassten Informationen möglichst einfach weiterverarbeitet und ausgetauscht werden können, ist eine sorgfältige und nachvollziehbare Beschreibung der Geodaten bzw. der Geodatensätze notwendig. Die Datenstruktur und -inhalte müssen minimale Anforderungen erfüllen. Des Weiteren verpflichten das Geoinformationsgesetz (GeoIG, SR 510.62) und die zugehörige Geoinformationsverordnung (GeoIV, SR 510.620) die zuständigen Bundesämter, zusammen mit den Kantonen minimale Geodatenmodelle zu erstellen (Art. 66a WaV). Aufgrund Anhang I GeoIV wurde eine Sammlung der Geobasisdatensätze des Bundesrechts erstellt. In diesem Rahmen sind die folgenden Geobasisdatensätze zu modellieren, die unter www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle veröffentlicht werden:

- > «Gefahrenkataster» mit dem Identifikator 167.1 (entspricht dem Naturereigniskataster, Abschnitt 2.3.2)
- > «Schutzbautenkataster Naturgefahren Hochwasser» mit dem Identifikator 81.2 (entspricht dem Schutzbautenkataster und umfasst die Katasterdaten für alle Gefahrenprozesse, Abschnitt 2.3.3)

Bei der Erarbeitung der erwähnten Produkte durch die Kantone sind die vom Bund entwickelten Datenmodelle zu berücksichtigen. Diese Datenmodelle bestehen aus zwei Teilen, dem sogenannten «minimalen Datenmodell» gemäss Geoinformationsgesetzgebung, welches einen verpflichtenden Charakter aufweist, und dem «erweiterten Datenmodell», das Empfehlungsscharakter hat.

Weitere Informationen

- > Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, BWW und BUWAL 1995
- > Datenmodelle: www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle

2.4 Wirkung bestehender Schutzmassnahmen

Zu den bestehenden Schutzmassnahmen gehören der Schutzwald, die Schutzbauten und die organisatorischen Massnahmen. Die Wirkung des Schutzwaldes soll bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt und im technischen Bericht dokumentiert werden (zum Beispiel nach der Methode von Protect-Bio).

Schutzbauten werden erstellt, um sich vor gefährlichen Prozessen zu schützen, d. h. um die Intensität oder die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren. Eine nachhaltige Reduktion der Personen- und Sachrisiken ist aber nur dann gewährleistet, wenn die Schutzbauten und -massnahmen ihre Wirkung im Ereignisfall erzielen. Die Funktionstüchtigkeit der Bauten muss aktuell und auch zukünftig für die vorgesehene Lebensdauer gewährleistet sein. In der Wirkungsbeurteilung ist aufzuzeigen, was bei einem Überlastfall passiert. In diesem Sinne hat der Unterhalt der Schutzbauten eine hohe Priorität und braucht eine langfristige Organisation.

Schutzbauten unterliegen einer ständigen Abnutzung und ihr Zustand muss regelmässig, insbesondere nach Ereignissen, überprüft werden. Viele Bauten aus dem 19. und den Anfängen des 20. Jahrhunderts erreichen heute das Ende ihrer Lebensdauer und müssen erneuert werden. Zudem basiert die Dimensionierung vieler bestehender Bauten auf dem Wissen und den Erfahrungen aus Zeiten, die verhältnismässig arm an ausserordentlichen Ereignissen waren (etwa die Jahre zwischen 1927 und 1977).

2.4.1 Berücksichtigung der Wirkung von Schutzbauten bei der Gefahrenbeurteilung

Bei der Gefahrenbeurteilung können Schutzbauten nur bei gegebener Zuverlässigkeit berücksichtigt werden, weil dies Konsequenzen sowohl für die raumplanerische Umsetzung als auch für die Dimensionierung von neuen Schutzbauten haben kann. Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren umfasst drei Schritte:

- > Im ersten Schritt wird eine Grobbeurteilung geliefert. Sie beinhaltet eine Einschätzung der Relevanz der Schutzmassnahmen und ermöglicht den Entscheid, ob eine weitere detaillierte Betrachtung nötig ist.
- > Die Zuverlässigkeit der Massnahme wird in einem weiteren Schritt beurteilt: Sie basiert auf der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit (s. Kasten, Abschnitt 2.4.2).
- > Der Einfluss auf den Prozessablauf wird anschliessend mit der Wirkungsbeurteilung quantifiziert. Verschiedene Szenarien mit entsprechenden Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten werden beurteilt.

Die Wirkung von Schutzmassnahmen muss mit angemessener Sicherheit quantifizierbar und permanent verfügbar sein (50 Jahre). Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen setzt den Unterhalt des Systems als Ganzes und der Massnahmen im Speziellen voraus. Der Zustand der Schutzbauwerke und die Gefahrensituation müssen periodisch überprüft werden. Sie können auch überwacht werden (s. Abschnitt 4.10). Bei Mängeln ist die Wirkung nicht mehr gegeben oder es können zusätzliche Gefahren auftreten. Die Verminderung der Schutzwirkung kann bereits durch ein einzelnes Bauteil, das die Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllt, vermindert werden. Kritisch ist es, wenn das Versagen eines Einzelteils sogar das ganze Schutzsystem funktionsunfähig macht.

Des Weiteren gelten folgende Grundsätze:

- > Sind die Unsicherheiten in der Prozessbeurteilung grösser als die Auswirkungen der Massnahmen, so kann keine Berücksichtigung erfolgen.
- > Es werden grundsätzlich vier Szenarien betrachtet: Szenarien mit hoher, mittlerer und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit sowie ein Extremszenario mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit. Es müssen auch Prozessverkettungen und –kombinationen berücksichtigt werden.
- > Die Massnahme ist als Einzelsystem und auch in Bezug auf das Gesamtsystem zu betrachten.

2.4.2 Berücksichtigung organisatorischer Massnahmen bei der Gefahrenbeurteilung

Im Gegensatz zu den permanenten baulichen Massnahmen werden die organisatorischen Massnahmen der Vorsorge bei der Gefahrenbeurteilung nicht berücksichtigt. Die Systeme zur Überwachung, Warnung und Alarmierung reduzieren zwar die Personenrisiken (z. B. mittels Sperrung) und auch die Sachrisiken. Sie haben aber in der Regel keine Wirkung auf den Gefahrenprozess. Deshalb werden die temporären Massnahmen, deren Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit auch nicht in allen Situationen gegeben ist, in der Gefahrenkarte nicht berücksichtigt.

Tragsicherheit

Es wird überprüft ob das Bauwerk für die aus den Szenarien resultierenden Einwirkungen einen ausreichenden Tragwiderstand hat. Ist die Tragsicherheit/Kapazität nicht ausreichend, so weist die Massnahme eine geringe Zuverlässigkeit auf.

Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist die Fähigkeit eines Bauwerkes, die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die festgelegte Nutzungsanforderung (z. B. Netzhöhe) während des Einsatzes zu gewährleisten.

Dauerhaftigkeit

Die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit einer Massnahme sollten im Rahmen der vorhersehbaren Einwirkungen über längere Zeit erfüllt bleiben.

Zuverlässigkeit

Für eine hohe Zuverlässigkeit müssen Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt sein (Massnahme voll wirksam). Eine eingeschränkte Zuverlässigkeit ist durch eine reduzierte Wirkung der Massnahme gekennzeichnet. Bei geringer Zuverlässigkeit (keine oder negative Wirkung) muss ein Versagen der Massnahme erwartet werden.

Wirkungsbeurteilung

Die Wirkungsbeurteilung basiert auf der Zuverlässigkeit und quantifiziert den Einfluss der Massnahme auf den Prozessablauf.

Weitere Informationen

- > Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- > Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke
- > Norm SIA 269: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
- > Norm SIA 269/1: Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
- > Romang Hans (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (Strategie Naturgefahren Schweiz), Einzelprojekt A 3 (2008). Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.

2.5

Anforderungen bei der Gefahrenbeurteilung

Die Anforderungen bei der Gefahrenbeurteilung nehmen mit dem Detaillierungsgrad zu. Es werden deshalb drei Stufen mit unterschiedlichen Massstäben M1–3 unterschieden:

1. Stufe: Gefahrenhinweiskarte (grober Massstab, M1)
2. Stufe: Gefahrenkarte (mittlerer Massstab, M2)
3. Stufe: Untersuchungen bei Bauprojekten oder für Detailstudien (detaillierter Massstab, M3)

M1: Anforderungen an die Gefahrenhinweiskarte

Die Gefahrenhinweiskarte gibt eine Übersicht über das räumliche Auftreten von Gefahrenprozessen und zeigt damit auf, wo etwas passieren kann. Sie soll möglichst alle Gebiete, die von Massenbewegungen betroffen sein können, darstellen. Die Gefahrenhinweiskarten beinhalten keine Gefahrenstufen, die nach Intensität und Wahrscheinlichkeit definiert werden. Sie zeigen lediglich, ob eine potentielle Gefährdung vorliegt oder nicht (ja/nein-Klassifizierung).

M1; Massstab 1

M2: Anforderungen an das Vorgehen bei der Erstellung der Gefahrenkarte

Die Gefahrenkarte dient der Gemeinde und dem Kanton bei der raumplanerischen Umsetzung (Nutzungsplan). Deshalb muss sie möglichst genau das genutzte Gebiet in die Gefahrenstufen einteilen. In der Regel wird für die Gefahrenkarte ein Massstab 1:5000 oder 1:10000 verwendet. Punktuell und in Spezialfällen kann der Massstab auch detaillierter sein (z. B. 1:2000). Der Detailgrad einer Gefahrenkarte mit fünf Gefahrenstufen ist inhaltlich und räumlich grösser als diejenige der Gefahrenhinweiskarte.

M2; Massstab 2

Gefahrenkarten, Intensitätskarten und die dazugehörigen technischen Berichte enthalten detaillierte Angaben über Ursachen, Ablauf, räumliche Ausdehnung, Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit von möglichen Massenbewegungsprozessen. Die Beurteilung von Massenbewegungsgefahren basiert in einem ersten Schritt auf einer Dokumentation, die bestehende Gefahren aufzeigt. Aus früheren Ereignissen werden für die Gefahrenbeurteilung Hinweise zum Prozess und zu dessen räumlicher Ausdehnung abgeleitet. Dazu gehören Beobachtungen, Bilddokumente und Messungen. Die Resultate werden einerseits im Naturereigniskataster registriert und andererseits kartographisch dargestellt.

Zusammenstellung der notwendigen Dokumente für das Dossier der Gefahrenkarte:

- > Naturereigniskataster, Ereignisdokumentation (StorMe)
- > Karte der Phänomene im Massstab 1:10 000 oder detaillierter
- > Schutzbautenkataster und Beurteilung der Wirkung der Schutzbauten
- > Intensitätskarten für die Szenarien mit Wiederkehrperioden von 30, 100, 300 Jahren und bei Bedarf für das Extremereignis
- > Technischer Bericht mit allen notwendigen Berechnungen, Modellierungen und Erläuterungen
- > Bei Sturz- und grossen Rutschprozessen sind Profile bzw. Trajektorien im Anhang anzufügen
- > Gefahrenkarten mit den 5 Gefahrenstufen und den Perimetern der beurteilten Zonen

M3: Anforderungen an das Vorgehen bei der Erstellung von Bauprojekten oder detaillierten Studien

Bauprojekte und komplexe Prozesse erfordern eine vertiefte Bearbeitung, die den üblichen Aufwand bei der Erstellung der Gefahrenkarte übersteigt. Diese Detailstudie kann für ein Massnahmenprojekt, dessen Dimensionierung, ein grosses Risiko oder für einen speziell gefährlichen Hang erstellt werden. Die Stufe M3 ist auch für anspruchsvolle

M3; Massstab 3

volle Beurteilungen, die möglicherweise umstritten sind, im Rahmen eines Gutachtens anzuwenden. In der Regel wird für eine detaillierte Karte ein Massstab 1:5000 oder grösser verwendet. Bauprojekte, insbesondere die baulichen Massnahmen, werden meistens in Massstäben 1: 2000 oder grösser dargestellt.

Auf der Stufe der Bauprojekte (M3), die vom Bund subventioniert werden, müssen grundsätzlich alle Produkte der Gefahrenkarte (M2) vorliegen und es werden zusätzliche Produkte verlangt, wobei die Verhältnismässigkeit für den Aufwand unter Berücksichtigung des Risikos fallweise evaluiert werden soll:

- > Geologisches Modell inklusive Bestimmung der Materialeigenschaften
- > Hydrogeologisches Modell, wenn der Einfluss des Wassers entscheidend ist
- > Quantitative Angaben über Verschiebungen, Geschwindigkeiten und Scherdeformationen
- > Bohrungen für tiefgründige Rutschungen mit grossem Risiko
- > Resultate der Modellierungen von Sturzprozessen, inklusive Energien und Sprunghöhen am Ort der baulichen Massnahmen (für die Dimensionierung der Schutzbauten)
- > Modellierungen von Rutsch- und Fliessprozessen
- > Quantitative Beurteilung der Wirkung der Schutzbauten
- > Intensitäts- und Gefahrenkarte vor und nach Massnahmen

2.6

Kartographische Gefahrenprodukte

Um mit Risiken umgehen zu können, müssen zuerst die Gefahren beschrieben und beurteilt werden. Die Hauptprodukte der Gefahrenbeurteilung sind Intensitätskarten und Gefahrenkarten. Sie dienen als Grundlage für die nachfolgende Prüfung des Handlungsbedarfs, für die Risikoanalyse (Kapitel 3) und die Massnahmenplanung (Kapitel 4).

Die Gefahrenkarten stellen die Massenbewegungsgefahren und die daraus resultierende Gefährdung für Menschen, Sachwerte, Umwelt und andere Werte räumlich dar. Zusammen mit den Intensitätskarten und weiteren Unterlagen bilden sie eine Grundvoraussetzung, um den Behörden und den Betroffenen die Gefahren verständlich zu machen. Nur damit sind diese in der Lage, den Handlungsbedarf zu prüfen und geeignete Massnahmen zu ergreifen (Ausführung vorbeugender Massnahmen, Bewältigung ausserordentlicher Ereignisse, usw.).

Die Gefahrenanalyse hat durch ausgewiesene Fachleute zu erfolgen. Die kantonalen Naturgefahrenfachstellen sind für die sachliche Erarbeitung verantwortlich. Es gilt, viele Grundlagen auszuwerten und zu erheben. Diese betreffen nicht nur die erwiesenen Prozesse in einem bestimmten Gebiet, sondern auch die vermuteten und denkbaren (siehe Abschnitt 2.10, Szenariendefinition):

- > Ereignisse, die dokumentiert sind
- > Ereignisse, die an der betreffenden Stelle nicht nachgewiesen werden können, die aber in vergleichbaren Gebieten oder Situationen aufgetreten sind

-
- > Ereignisse, die nach der Beurteilung sämtlicher Kriterien im betreffenden Prozessraum eintreten könnten

Im Folgenden werden wichtige Produkte der Gefahrenbeurteilung kurz beschrieben.

2.6.1 Gefahrenhinweiskarten

Die Gefahrenhinweiskarte gibt eine grobe Übersicht über die Gefährdungssituation. Sie hält für grosse Gebiete flächendeckend fest, wo potenzielle Gefährdungen vorliegen, jedoch ohne Angabe der Gefahrenstufe (Abb. 5). Diese Hinweiskarte wird einzeln für jede Prozessart erstellt. Sie kann auf geowissenschaftlichen Grundlagen sowie auf Modellrechnungen basieren und wird mit dem Naturereigniskataster plausibilisiert. Bezüglich der räumlichen Abgrenzung kann sie Ungenauigkeiten enthalten und das Vorkommen einer Gefährdung nicht in jedem Fall genau wiedergeben. Diese Karte enthält nur Hinweise, nicht verifizierte Fakten der Gefährdung. Die Gefahrenhinweiskarte wird nur dort verwendet, wo keine verbindliche Gefahrenkarte vorliegt (z. B. ausserhalb der Siedlungsgebiete) oder für spezifische Übersichten.

Aus der Gefahrenhinweiskarte lassen sich mit relativ geringem Aufwand mögliche Konfliktstellen zwischen Gefährdung und Nutzung ableiten.

- > Zweck: Grundlage für die kantonale Richtplanung, Erkennung von Konfliktgebieten, Grundlage für die Beurteilung von Baugesuchen ausserhalb des Perimeters der Gefahrenkarte, Prioritätensetzung beim Erarbeiten der Gefahrenkarten
- > Bearbeitungstiefe: Gering, kann Ungenauigkeiten enthalten, nicht lokal verifiziert
- > Massstab: 1:10000 bis 1:50000
- > Perimeter: meist für einen Kanton (oder Region/Gemeinde)
- > Nachführung: Periodisch im Rahmen der Richtplanung

Abb. 6 > Intensitätskarte für Steinschlag*Wiederkehrperiode 100 Jahre.*

Kanton Waadt, Projet CDN-VD, GEODE-DN

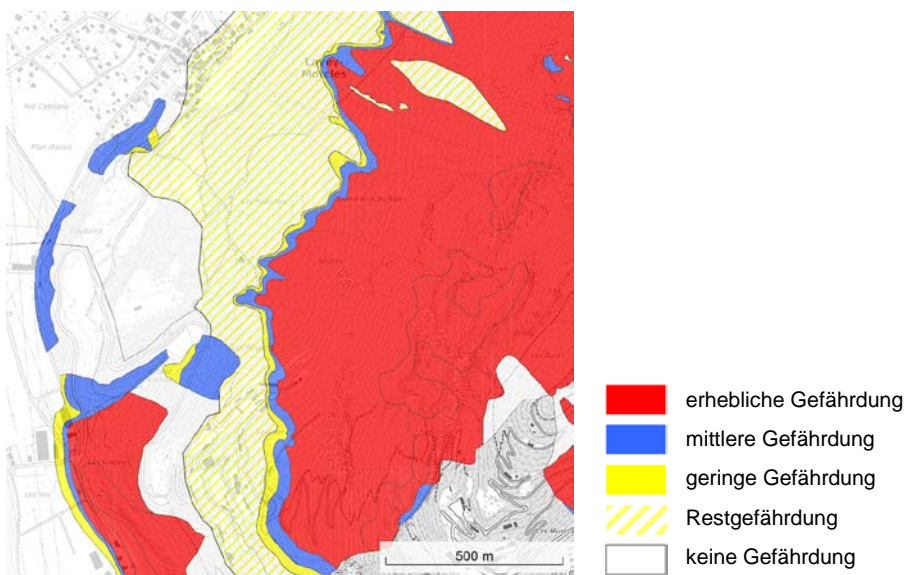
2.6.3 Gefahrenkarten

Gefahrenkarten und die zugehörigen technischen Berichte enthalten detaillierte Angaben über Ursachen, Ablauf, räumliche Ausdehnung, Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren (Abb. 7). Sie sind für die Behörden verbindlich. Gefahrenkarten bilden in erster Linie die fachliche Grundlage für die Berücksichtigung der Naturgefahren bei der Ausarbeitung kommunaler Nutzungspläne (Ortspläne). Sie sind aber auch für die Planung und Anordnung von Massnahmen des Objektschutzes und für die Notfallplanung von Bedeutung. Gefahrenkarten zeigen hingegen nicht, welche Risiken mit den dargestellten Prozessen verbunden sind.

- > Zweck: Grundlage für eine angepasste Raumnutzung, die Ausscheidung von Gefahrenzonen in der Nutzungsplanung, die Formulierung von Bauauflagen, die Massnahmenplanung
- > Inhalt: Genaue Angabe zu Gefahrenarten, räumlicher Ausdehnung der Gefahrengebiete und Gefahrenstufen (5 Stufen, abgestuft nach Intensität und Wahrscheinlichkeit); detaillierte Dokumentation
- > Bearbeitungstiefe: Hoch, hohe Abgrenzungsgenauigkeit (parzellengenau)
- > Massstab: 1:2000 bis 1:10000
- > Perimeter: Region, Gemeinde oder Teilgebiet (nicht flächendeckend, d. h. im Erfassungspereimeter, der im Sinn der Prävention möglichst weit und zukunftsorientiert festgelegt werden soll)

- > Nachführung: Periodisch, z. B. im Rahmen einer Nutzungsplanungsrevision; bei erheblich veränderter Gefahrensituation (zum Beispiel nach Realisierung von Schutzmassnahmen oder bei veränderten natürlichen Voraussetzungen); wenn neue Beurteilungsmethoden und -grundlagen eine wesentlich verbesserte Bewertung erlauben; nach Ereignissen (Abweichungen mit den Szenarien oder in der Wirkungsbeurteilung).

Abb. 7 > Gefahrenkarte für Sturzgefahren



Kanton Waadt, Projet CDN-VD, GEODE-DN

Datenmodellierung und Veröffentlichung der Gefahrenkarten

Damit direkt Betroffene sowie die Bevölkerung über die Gefährdungssituation möglichst gut informiert sind, machen die Kantone die Gefahrengrundlagen der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich (Art. 15 Abs. 4 WaV).

Geodatenmodell:

- > «Gefahrenkarten» mit dem Identifikator 166.1 (entspricht den Produkten Gefahrenhinweiskarte, Intensitätskarte und Gefahrenkarte, Abschnitte 2.6.1 bis 2.6.3).

Weitere Informationen

- > www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahrengrundlagen > Gefahrenkarten, Intensitätskarten und Gefahrenhinweiskarten
- > Datenmodelle: www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle, inkl. Datenmodell Gefahrenkartierung, BAFU 2015.

2.7 Gefahrenbeurteilung mit dem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm

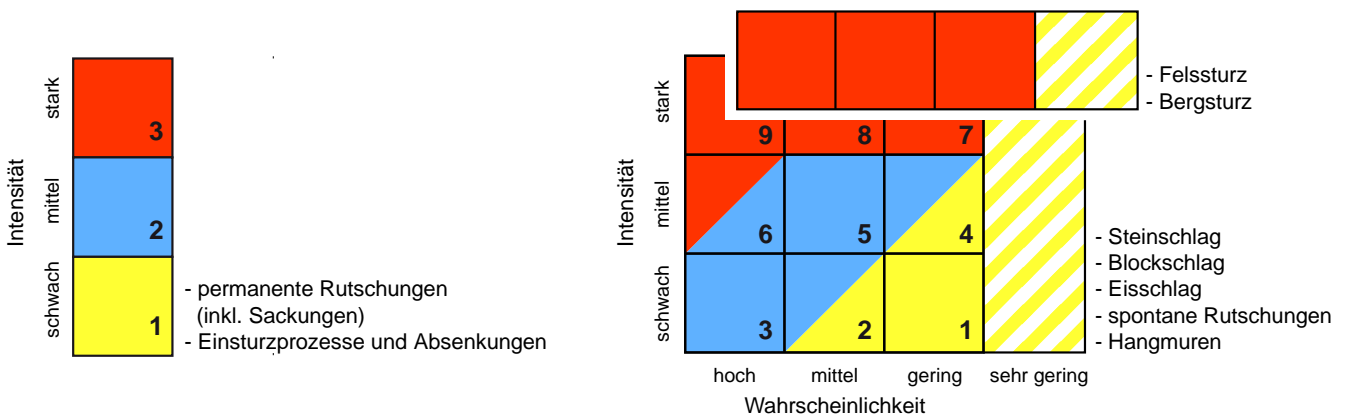
Die Erstellung der Gefahrenkarte wurde massgebend von raumplanerischen Zielsetzungen beeinflusst und enthält deshalb nur drei Gefahrenstufen sowie eine Restgefährdungszone bei sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeiten. Wenn in beurteilten Gebieten keine Gefährdung ermittelt wurde, dann bleiben diese weiss. Die Einteilung erfolgt nach einheitlichen Kriterien hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf Personen und Sachwerte. Damit wird das Ziel verfolgt, alle Naturgefahrenprozesse gleichwertig zu beurteilen. Die Vergleichbarkeit ist für Massnahmen der Raumplanung, zur Erstellung von Schutzbauten aber auch generell zwingend notwendig. Diese allgemeinen Kriterien werden für Lawinen, Hochwasser und Massenbewegungsgefahren einheitlich beurteilt (siehe BWB et al. 1997, BFF und EISLF 1984).

Als Grad der Gefährdung werden die beiden Parameter Intensität und Wahrscheinlichkeit (bzw. Wiederkehrperiode) für die jeweiligen Prozesse festgelegt. Die Parameter werden in einem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm zusammengefasst (Abb. 8). Dieses wird auch «Gefahrenstufendiagramm» genannt. Das Diagramm mit neun Feldern wird für spontane Massenbewegungen eingesetzt. Für permanente Rutschungen und Einsturzprozesse wird ein Diagramm mit drei Feldern verwendet (ohne Wahrscheinlichkeit). Zur Unterscheidung von permanenten und spontanen Rutschprozessen:

Spontane Rutschprozesse sind plötzlich auftretende Phänomene, d. h. es gab zuvor keine Bewegungen oder keine Anzeichen für derart hohe Geschwindigkeiten. Beispiele von spontanen Bewegungen sind Primärprozesse (erstmalig), Reaktivierungen oder Teilabbrüche, die in der Anriss- oder Frontalzone abgehen und eine erhöhte Aktivität aufweisen. Diesen Ereignissen kann eine Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Bei permanenten (kontinuierlichen) Rutschprozessen gibt es keine Unterteilung in Spalten mit unterschiedlichen Eintretenswahrscheinlichkeiten, bzw. die Wahrscheinlichkeit ist 100 %. In permanenten Rutschungen können ebenfalls Geschwindigkeitsvariationen auftreten (Beschleunigung, Verlangsamung), die gemäss den Intensitätskriterien (Abb. 11) in die Beurteilung einfließen.

Abb. 8 > Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramme für permanente Prozesse (links) und spontane Massenbewegungsprozesse (rechts)

Der Prozess Eisschlag wird analog zum Steinschlag mit dem rechten Diagramm beurteilt. Sackungen werden gemäss Definition im Anhang A2 gleich wie permanente Rutschungen behandelt, d. h. mit dem linken Diagramm. Für Einsturzprozesse und Absenkungen (inkl. Dolinen) wird die Disposition in die drei Klassen eingeteilt: schwach, mittel und stark. Analog zu den Intensitätsklassen bei den permanenten Rutschungen werden mit dem linken Diagramm die gelben, blauen und roten Gefahrenstufen ermittelt. Weitere Erklärungen im Text und in den folgenden Kapiteln.



Die Gefahrenstufen zeigen den Grad der Gefährdung von Menschen, Tieren, Gebäuden, Infrastrukturen und erheblichen Sachwerten auf. Dabei wird berücksichtigt, dass die Sicherheit von Menschen in Gebäuden allgemein höher ist als im Freien.

Tab. 1 > Bedeutung der Gefahrenstufen

Für die Umsetzung in die Raumplanung wird auf den Anhang 4 (Tab. 6) und die Publikation «Raumplanung und Naturgefahren» verwiesen (ARE et al. 2005).

Gefahrenstufe	Bedeutung
Rot: erhebliche Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> • Personen sind sowohl innerhalb als auch ausserhalb von Gebäuden gefährdet. • Mit der raschen Zerstörung von Gebäuden ist zu rechnen. oder: <ul style="list-style-type: none"> • Die Ereignisse treten zwar in schwächerem Ausmass, dafür aber mit hoher Wahrscheinlichkeit auf. In diesem Fall sind Personen vor allem ausserhalb von Gebäuden gefährdet. Gebäude sind von relevanten Schäden betroffen oder werden unbewohnbar.
Blau: mittlere Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> • Personen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, jedoch ausserhalb davon. • Mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen, jedoch sind rasche Gebäudezerstörungen in diesem Gebiet nicht zu erwarten, falls gewisse Auflagen bezüglich Bauweise beachtet werden.
Gelb: geringe Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> • Personen sind kaum gefährdet. • Mit geringen Schäden an Gebäuden bzw. mit Behinderungen ist zu rechnen.
Gelb-weiss gestreift: Restgefährdung	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdungen mit einer sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeit können durch eine gelb-weiss gestreifte Signatur bezeichnet werden. Das gelb-weiss gestreifte Gebiet ist ein Hinweissbereich, der eine Restgefährdung bzw. ein Restrisiko aufzeigt. • Die Ausscheidung von Hinweissbereichen ist restriktiv zu handhaben. Sie soll prozessspezifisch und schadenpotenzialorientiert erfolgen.
Weiss	<ul style="list-style-type: none"> • Nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine oder vernachlässigbare Gefährdung.

Die Gefahrenstufen werden grundsätzlich für jede Gefahrenquelle und jeden Prozess getrennt bestimmt. Diese sind mit einem Index auf der Gefahrenkarte anzugeben. Für Massenbewegungen werden folgende Abkürzungen verwendet:

- > Steinschlag und Blockschlag: SS
- > Felssturz: SF
- > Bergsturz: SB
- > Rutschung flachgründig: RF
- > Rutschung mittelgründig: RM
- > Rutschung tiefgründig: RT
- > Hangmure: HM
- > Einsturz und Absenkung (inkl. Dolinen): D

Das Bewegungsverhalten von Rutschungen kann mit einem Zusatzindex ergänzt werden: Permanent (P) und Spontan (S).

Zusätzlich zu den Prozessabkürzungen wird die Feldnummer aus dem Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm angefügt (Zahlen 1–9 im Diagramm, oder 1–3 für permanente Rutschungen und Einsturzprozesse, siehe Abb. 8). Ein Index mit «SS8» bedeutet demzufolge: Steinschlag mit hoher Intensität und mittlerer Wahrscheinlichkeit (Feld 8).

Falls eine Fläche durch mehrere Gefahren bedroht wird, so ist die höchste Gefahrenstufe für die Gefahrenkarte massgebend. Hingegen werden die Gefahrenstufen nicht summiert, um eine höhere Stufe auszuscheiden. Ein Beispiel: Blau für Hangmuren und blau für Rutschung ergeben eine blaue Gefahrenstufe (nicht rot). Dies ist begründet, da die Gefährdung pro Prozess in der Regel nicht grösser wird und da gegen jeden Prozess Schutzmassnahmen möglich sind. Hingegen ist die Wahrscheinlichkeit eines Schadens bei einer Überlagerung eventuell grösser, womit auch das Risiko zunimmt. Zudem muss ein allfälliger Einfluss der Interaktion von Prozessen auf die resultierende Intensität geprüft werden.

2.8 Kriterien zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit

Mit der vorliegenden Methode wird jedem Prozess eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Im Hochwasser- und Lawinenschutz hat sich der Begriff der Wiederkehrperiode stark etabliert. Für Massenbewegungen wird hier der Begriff der jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeit verwendet. Mathematisch sind die beiden Begriffe reziprok:

$$P_y = 1/T$$

P_y = jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit

T = Wiederkehrperiode

Die jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit ist ein statistischer Wert für das Eintreffen eines Ereignisses. Ein P_y von 0,033 bedeutet somit, dass ein solches Ereignis mit 3,3 % Wahrscheinlichkeit während eines Jahres resp. durchschnittlich während 30 Jahren einmal eintritt. Analog zu den Wiederkehrperioden im Hochwasser- und Lawinenschutz (30-, 100-, 300-jährig, und >300) werden für Massenbewegungen in der Regel die jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeiten (0,033; 0,01; 0,003; <0,003) verwendet. In Anbetracht der Klimaszenarien wird mit einer Veränderung von Niederschlagsmengen und -intensitäten sowie mit einem Temperaturanstieg gerechnet. Diese Veränderungen sowie das Schmelzen von Eis im glazialen und periglazialen Umfeld (z. B. Permafrost) sollen nach Möglichkeit berücksichtigt werden.

Aus der jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit lässt sich die Eintretenswahrscheinlichkeit für eine bestimmte Zeitperiode (z. B. Lebensdauer eines Gebäudes) berechnen:

$$P_n = 1 - (1 - P_y)^n$$

mit: $n = \text{Zeitdauer}$
 $P_y = \text{jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit}$
 $P = \text{Eintretenswahrscheinlichkeit}$

Die Beurteilung der Wahrscheinlichkeiten von Massenbewegungsprozessen kann unter Umständen durch Überwachung und Monitoring verbessert werden (s. Kapitel 4). Insbesondere die Analyse der Dynamik grosser und tiefgründiger Gesteinsmassen kann wichtige Informationen zur Wahrscheinlichkeit und zur potenziellen Entwicklung liefern.

Tab. 2 > Beziehung zwischen Eintretenswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperiode

Eintretenswahrscheinlichkeit	
Eintretenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren	Eintretenswahrscheinlichkeit verbal
100 bis 82 %	hoch
82 bis 40 %	mittel
40 bis 15 %	gering
<15 %	sehr gering
Wiederkehrperiode	
Wiederkehrperiode in Jahren	Wiederkehrperiode verbal
<30	häufig
30 bis 100	mittel
100 bis 300	selten
>300	sehr selten

2.8.1 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Sturzprozessen

Bei Massenbewegungen kann die Analyse historischer Ereignisse nur bedingt als Grundlage zur Bestimmung der jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeit dienen: Für kleinere Sturzereignisse wie Stein- und Blockschlag ist eine Analyse der Schuttproduktion im Ablagerungsraum ein gutes Mittel zur empirischen Bestimmung der Wahrscheinlichkeit. Bei grösseren Ereignissen wie Felsstürzen oder Bergstürzen muss die Eintretenswahrscheinlichkeit hingegen aufgrund der Eigenschaften potentieller Anrissgebiete abgeschätzt werden. Daher identifizieren die Geologen zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeiten ähnlich ablaufende Prozesse und bestimmen die Bruchmechanismen. Auch hier kommt der Beurteilung von sich ändernden Rahmenbedingungen (Gletscherschwund, Drainagen, Temperaturanstieg etc.) eine zentrale Bedeutung zu.

In der Praxis der Gefahrenkartierung kann die Wahrscheinlichkeit von Sturzprozessen aus mehreren Informationen abgeleitet werden:

- > Die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eines Bruchs, bzw. einer Beschleunigung der Gesteinsmasse beruht auf einer geologischen Felsanalyse im Herkunfts- bzw. Anrissgebiet, das auch Liefergebiet genannt wird. Eine Gefügeanalyse und die Erfassung von Störungen oder Bruchstellen gehören zu diesem Arbeitsschritt.
- > Die Beobachtung der stummen Zeugen erfolgt auf dem Schuttkegel bzw. im Ablagerungsgebiet. Die abgestürzten Steine und Blöcke werden mithilfe des Naturereigniskatasters einer Wahrscheinlichkeitsklasse zugeordnet.

Alle Beobachtungen und Informationen werden zur Festlegung der Szenarien integriert.

2.8.2 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Gleitprozessen

Bei permanenten Rutschungen beträgt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens 1 (oder 100%), d. h. das Ereignis ist bereits eingetreten. Deshalb wird zur Gefahrenbeurteilung empfohlen, in einem ersten Schritt die mittlere langjährige Geschwindigkeit (v) zu ermitteln. In einem zweiten Schritt ist die erhöhte Geschwindigkeit (v_{\max}) einzubeziehen. Die Geschwindigkeitsvariationen sind von verschiedenen Faktoren abhängig, wobei Niederschläge, Hangwasserstände, Mechanismus, Gründigkeit und Volumen eine bedeutende Rolle einnehmen. Mit zunehmendem Volumen, bei tiefgründigen Prozessen und unterirdischer Wasserzirkulation nehmen der Analyseaufwand zu und die umfassende Beurteilungsmöglichkeit ab.

Bei aktiven Rutschungen ist generell mit seltenen ($P_y = 0,01$) und sehr seltenen ($P_y = 0,003$) erhöhten Gleitgeschwindigkeiten (v_{\max}) zu rechnen. Dabei müssen ungünstige Entwicklungen oder Szenarien berücksichtigt werden (spontaner Abbruch, «first move», «second move», Hochwasser gleichzeitig wie Rutschung, usw.). Während einer Beschleunigung kann sich eine Rutschung ausdehnen und bisher labile oder inaktive Gesteinsmassen mobilisieren. Beschleunigungen und Reaktivierungen von Rutschungen sind insbesondere dann möglich, wenn der Wasserdruck in Poren oder Diskontinuitäten stark ansteigt. Mit einer detaillierten Karte der Phänomene können solche Gefahren zu einem grossen Teil lokalisiert werden (Raetzo H. und Rickli C.

2007). Lockergesteine, die zwar noch nie gerutscht sind, aber im kritischen Gleichgewicht stehen, können mit Berechnungen und Modellierungen bezüglich der Wahrscheinlichkeit einer Instabilität beurteilt werden (potenzielle Rutschungen). Im Felsgestein muss man sich in diesem Fall auf geomechanische Annahmen abstützen.

Ein Spezialfall einer aktiven Rutschung liegt dann vor, wenn an der Front eine sekundäre Gleitfläche einen «spontanen» Abbruch verursacht. Das entspricht einer massiven Beschleunigung einer Teilmasse. Diese schnellen Prozesse werden im nächsten Abschnitt behandelt. In der Beurteilung von Beschleunigungsszenarien sind eine Ausdehnung der Rutschung, die Ausbildung von sekundären Gleitflächen und die Zunahme von Differentialbewegungen zu berücksichtigen.

Spontane Rutschungen können:

- > flach- bis tiefgründige Rotations- oder Translationsrutschungen sein, die ohne Vorzeichen und vorgängige Bewegung schnell und spontan auftreten. In den Unwettern der letzten Jahre sind solche spontanen Prozesse gehäuft nach Niederschlagsspitzen aufgetreten. Das Volumen dieser Rutschmassen kann bis 100000 m³ umfassen. Zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten von flachgründigen Rutschungen (first move), die als Hangmure weiterfliessen («second move»), ist die Methodik in Abb. 9 anwendbar.
- > einen Teil einer tiefgründigen Rutschmasse betreffen, die beispielsweise an übersteilten Fronten durch höhere Geschwindigkeiten oder fluviale Erosion spontan abgleiten oder abbrechen. Die Wahrscheinlichkeit eines derartigen Abbruchs ist abhängig von den geotechnischen Eigenschaften, der Geschwindigkeit der Hauptrutschung, den hydrogeologischen Bedingungen und der Erosionsrate im unterliegenden Gerinne. In der Regel wird beim spontanen Abrutschen eine (neue) sekundäre Gleitfläche aktiv. Das Volumen dieser Prozesse kann in seltenen Fällen einige Millionen Kubikmeter umfassen. Die Energie solcher Ereignisse und die Wirkung auf Bauten können mit jenen von Felsstürzen verglichen werden.

Mit der Wahrscheinlichkeit wird ausgedrückt, ob eine Zustandsänderung zu einer aktiven Rutschung führen kann. Die Eintretenswahrscheinlichkeit einer Reaktivierung dieser Rutschungen ist stark von der Witterung abhängig. So können beispielsweise lang anhaltende Niederschläge, eventuell in Kombination mit der Schneeschmelze, eine inaktive Rutschung reaktivieren.

Ein Spezialfall der inaktiven Rutschung sind die potentiellen Gleitprozesse an Stellen, wo früher keine Bewegung vorlag. Bei Unwettern können sich Rutschungen überraschend oder «spontan» in zuvor inaktiven Hängen ereignen («first move»). Im Gelände kann das Potenzial für flachgründige Rutschungen mit einer Kartierung von Phänomenen, der Hangneigung, einer Lockergesteinsanalyse und den Hangwasserbedingungen beurteilt werden (s. auch Kapitel 2.3.4).

2.8.3 Die Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Fließprozessen

Hangmuren können als Initialprozess («first move») oder als Sekundärprozess («second move») auftreten. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und die Disposition in der Anrisszone sind dementsprechend teilweise ähnlich mit denjenigen von flach- bis mittelgründigen spontanen Rutschungen (s. Abschnitt 2.8.2). Die Mächtigkeiten der mobilisierbaren Massen betragen in der Regel 0,5–3 m, und selten bis 10 m.

Für Hangmuren werden mit Geländeuntersuchungen und Modellierungen die Disposition und der betroffene Prozessraum festgelegt. Diese Analyse soll in einem geologisch uniformen Untersuchungsgebiet erfolgen, d. h. in geologisch homogenen oder vergleichbaren Lockergesteinsverhältnissen. Primär sind die geotechnischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Die untenstehende Methodik (Abb. 9) basiert auf den Arbeiten der AGN (Auftrag des BWG an die AGN 2004) und gibt Anhaltspunkte zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eines Bruchs in einem potentiellen Anrissgebiet. Bei der Gefahrenanalyse ist die Erhebung von früheren Hangmuren im Untersuchungsgebiet wichtig. Liegen keine Katasterdaten vor, dann können für vergleichbare geologische Einheiten Daten aus Nachbarregionen oder aus anderen Quellen als Näherungswerte verwendet werden.

Für die Bearbeitung der Fließprozesse kann etappenweise vorgegangen werden:

Bestimmung des Untersuchungsgebietes

Etappe 1

Das Untersuchungsgebiet wird anhand von geologischen Kriterien festgelegt. Das Ziel ist die Bestimmung einer ähnlichen Grunddisposition. Dazu werden Zonen mit einer einheitlichen, homogenen Geologie ausgeschieden. Locker- und Felsgesteine sind prinzipiell zu unterscheiden, weil zumeist das Gestein über dem Fels mobilisiert wird. Dabei sollen auch geotechnische Gesteinseigenschaften berücksichtigt werden (z. B. Korngrösse, Reibungswinkel, Kohäsion, Plastizität).

Naturereigniskataster und Kartierung der Phänomene

Etappe 2

Der Naturereigniskataster gibt Auskunft über die registrierten Hangmuren und flachgründigen Rutschungen. Die früheren Ereignisse im Untersuchungsgebiet werden erhoben und beurteilt (stumme Zeugen im Gelände, Indizien für Geländeinstabilität, Befragungen bei der lokalen Bevölkerung).

Unwetteranalysen haben gezeigt, dass bei mehr als 70 % der Ereignisstellen Spuren von früheren Ereignissen festgestellt werden konnten. Deswegen sind bei der Beurteilung der Hangmurengefahren sorgfältige Feldbeobachtungen unentbehrlich.

Bestimmung der Hangneigungen in den Anrissgebieten

Etappe 3

Die Resultate aus Etappe 2 werden statistisch ausgewertet, indem die Häufigkeit von Hangmuren als Funktion der Neigung ihrer geologisch homogenen Anrissgebiete analysiert wird (Abb. 10). Daraus wird die mittlere Hangneigung α_m aller Anrissgebiete für den Abgang einer Hangmure und deren Standardabweichung (σ) hergeleitet. Wenn

die statistische Ermittlung der mittleren Hangneigungen auf zu wenigen Erhebungen beruht, dann können für vergleichbare geologische Einheiten Daten aus Nachbarregionen als Näherungswerte verwendet werden.

Allgemein ist eine Grunddisposition für Hangmuren gegeben, wenn in einem Untersuchungsgebiet mit Hangneigungen steiler als 20° ungünstige geologische Eigenschaften vorliegen (Etappe 4). In geologischen Spezialfällen kann die Hangneigung auch weniger als 20° betragen (Ausnahmen).

Bestimmung der Förderfaktoren

Etappe 4

Verschiedene Faktoren begünstigen die Entstehung von Hangmuren. Der Einfluss dieser Förderfaktoren ist fallweise zu prüfen. Dabei wird rein qualitativ zwischen grossem, kleinem und keinem Einfluss unterschieden. Die Bewertung sowie die Gewichtung der berücksichtigten Faktoren sind im Bericht zur Gefahrenkarte zu erläutern. Grosses Gewicht haben die Präsenz aktiver oder alter Massenbewegungen und die potentiellen Wassereinflüsse (Sättigung, Druck, Strömungskraft).

Mögliche Förderfaktoren:

- > Lage in permanentem Rutschgebiet. Änderungen der Hangneigungs- und Wasserzirkulationsverhältnisse durch anhaltende Bewegungen
- > Geländeformen: z. B. Übergänge von flachem zu steilem Gelände (wechselnde Hangneigungen) oder Lagen in Mulden
- > Existenz oberflächennaher Durchlässigkeitsdiskontinuitäten: Stauhorizont unten (z. B. an der Felsoberfläche) oder in durchlässigeres Material eingelagerte, schlecht durchlässige Schichten
- > Hydrogeologische Gegebenheiten: Hangwasser- und Bergwasseraustritte, Quellaustritte, Vernässungen, Wasserzuflüsse vom Fels ins Lockergestein (z. B. Karstwasserzutritte, Kluftwasserzirkulation)
- > Hydrologische Gegebenheiten: Vernässungen, Wasserzuflüsse ins Lockergestein, bergseitiges Gebiet, aus dem oberflächlich abfliessendes und/oder Hangwasser nachfliessen kann
- > Oberflächenbeschaffenheit bzw. Landnutzung: Unterscheidung Freiland/Wald, offene Erosionsflächen, Weideland mit Trittschäden, Viehgängeln, Waldschäden (Sturm, Borkenkäfer), ungünstige Waldbestockung (z. B. überalterter Wald), usw.
- > Anthropogene Einflüsse: Wasserzufuhr aus undurchlässigen Flächen (z. B. Strassen, Wohnquartiere, verdichtete Böden, usw.), Überläufe von Laufbrunnen oder Brunnstuben, defekte Drainagen, übersteile Hanganschnitte, usw.

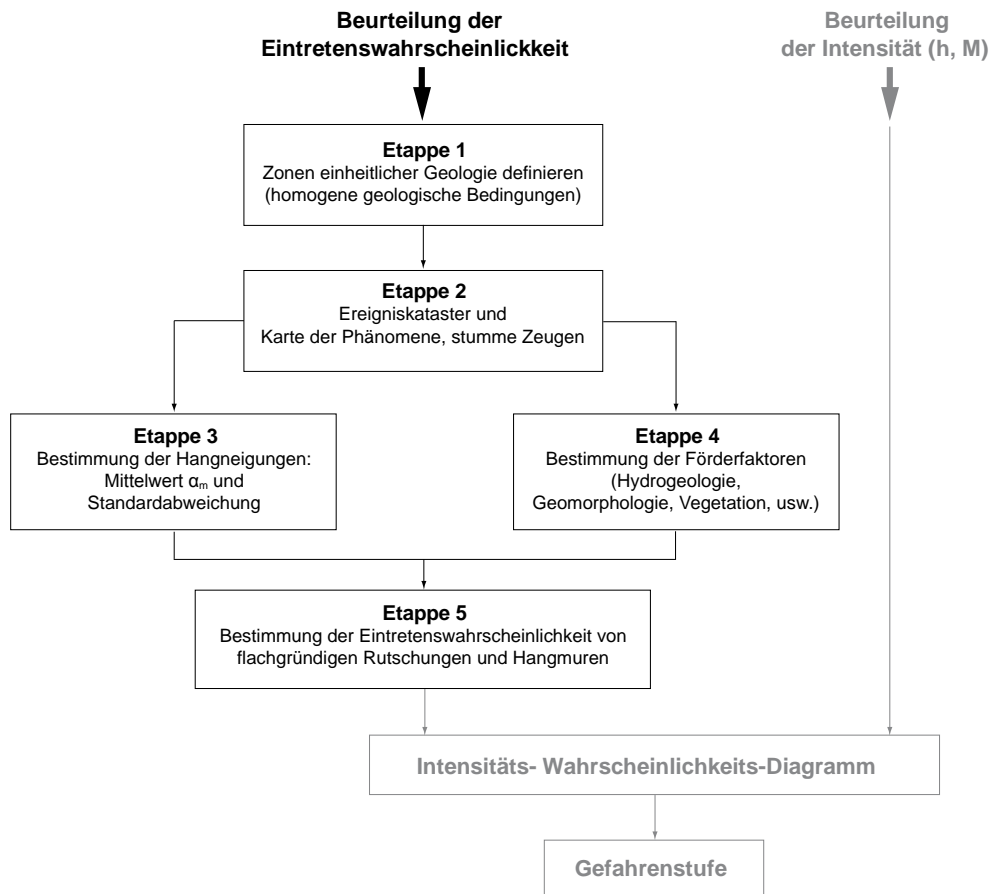
Bestimmung der Wahrscheinlichkeit im Anrissgebiet

Etappe 5

Die Wahrscheinlichkeit der Auslösung von Hangmuren wird mit den Hangneigungen und dem Einfluss der Förderfaktoren bestimmt. Dazu können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden (siehe Anhang A3).

Abb. 9 > Etappen des Vorgehens zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hangmuren

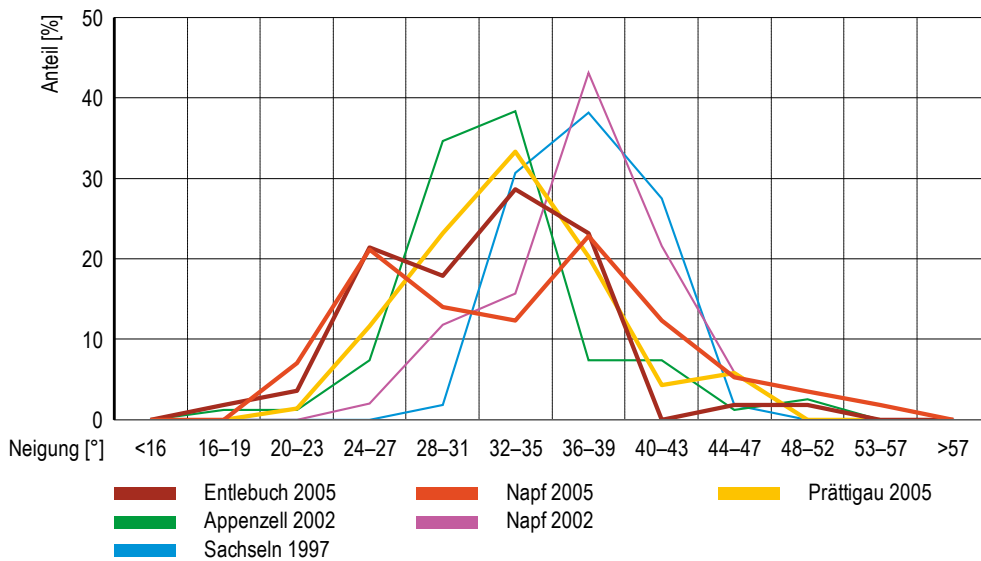
Um die Gefahrenstufe zu bestimmen muss parallel die Intensität beurteilt werden (Abschnitt 2.9).



Für die Bestimmung der möglichen Auslaufstrecken müssen andere Ansätze verwendet werden. Der Vergleich mit gut dokumentierten Ereignissen ist für die Bestimmung der Auslaufstrecken geeignet. Die mögliche Ausbreitung sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Objekt von einer Hangmure getroffen wird, können ergänzend anhand von Modellierungen eruiert werden.

Abb. 10 > Anteil flachgründiger Rutschungen pro Neigungsklasse im Anriss

Die Daten stammen aus den Untersuchungsgebieten Appenzell, Napf, Sachseln, Entlebuch und Prättigau (Raetzo und Rickli 2007). Die Neigungsdaten wurden jeweils nach den Unwettern erhoben. Der Mittelwert aller Rutschungen liegt bei circa 32°, die Verteilung umfasst Neigungen von 16° bis 57°. In der Molasse ist zum Beispiel bei einer kritischen Neigung grösser als 22° und entscheidender Wirkung von Förderfaktoren mit einer Gefährdung zu rechnen. In einigen Gebieten treten vereinzelt Fälle in Neigungen kleiner als 20° auf.



2.9

Kriterien zur Beurteilung der Intensität

Aufgrund der Wirkungsmechanismen der verschiedenen Prozesse können Werte festgelegt werden, mit welchen die Grenzen der Klassen von starker, mittlerer und schwacher Intensität definiert sind. Die dazu verwendeten quantitativen Kriterien beziehen sich im Allgemeinen auf die Zone der Prozesswirkung bzw. das gefährdete Gebiet (d. h. beim Schadenpotential). Eine stark armierte Betonwand kann zum Beispiel zirka 300 kJ aufnehmen. Allerdings liegen diese quantitativen Angaben nicht in jedem Fall vor oder deren Auflösung in der räumlichen sowie zeitlichen Dimension ist nicht ideal. In diesen Fällen ist es Aufgabe von Behörden und Spezialisten, adäquate Annahmen zu treffen und Vereinfachungen zu machen.

Abb. 11 > Kriterien zur Bestimmung der Intensität

Abkürzungen, Erklärungen und Hinweise in den darauf folgenden Inforahmen:

E = Kinetische Energie [kJ]

v = Durchschnittliche (langjährige) Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]

v_{max} = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]

D = Differentialbewegungen innerhalb einer Gebäudenutzungsdauer [cm/10 m]

T = Tiefe der Gleitfläche, Gründigkeit der Rutschung [m]

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Masse (potentiell) [m]

h = Höhe der Ablagerung durch Hangmuren, bzw. Rutschungen (Murganghöhe) [m]

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
1. Sturzprozesse - Stein-, Blockschlag - Felssturz - Bergsturz	$E < 30$ kJ -- --	$30 \text{ kJ} < E < 300$ kJ -- --	$E > 300$ kJ $E > 300$ kJ $E > 300$ kJ
2. Gleitprozesse 2.1 Aktive, kontinuierliche, permanente Rutschungen (auch die Prozesse im Permafrost)	$v \leq 2$ cm/Jahr	$2 \text{ cm/Jahr} < v < 10$ cm/Jahr	$v > 10$ cm/Jahr
2.2 Spontane Rutschungen	$M < 0.5$ m	$0.5 \text{ m} < M < 2$ m $h < 1$ m	$M > 2$ m $h > 1$ m
3. Fließprozesse Hangmuren	$M < 0.5$ m; Übersarung (h) im Dezimeterbereich	$0.5 \text{ m} < M < 2$ m $h < 1$ m	$M > 2$ m $h > 1$ m
4. Einsturzprozesse, Absenkungen (z. B. Dolinen)	Dolinen potenziell vorhanden oder lösungsanfällige Gesteine	Dolinen vorhanden, nachgewiesen	Dolinen und eine Einsturzgefährdung sind nachgewiesen

E = Kinetische Energie [kJ]

- > 30 kJ können von einer Eisenbahnschwelle aus Eichenholz noch aufgenommen werden.
- > 300 kJ können von einer stark mit Eisen armierten Betonwand noch aufgenommen werden.
- > $E > 300$ kJ können von üblichen Betonwänden nicht aufgenommen werden.

 v_{max} = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]

Eine Beschleunigung von Rutschungen hat eine höhere Gefährdung und folglich eine höhere Gefahrenstufe zur Folge. v_{max} wird definiert über die maximale Geschwindigkeit während einer Beschleunigungsphase oder nach einer Reaktivierung. Definition: v_{max30} steht für ein Ereignis mit einer dreissigjährigen Wiederkehrperiode; v_{max100} steht für ein hundertjähriges Ereignis, bzw. eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren; v_{max300} steht für ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren.

- > Rutschgeschwindigkeitsänderung (v_{max}) für den Wechsel von einer Intensitätsstufe (kurzer Pfeil): $v_{max30} > \text{ca. } 20 \text{ cm/Jahr}$ oder $v_{max100} > \text{ca. } 40 \text{ cm/Jahr}$ oder $v_{max300} > \text{ca. } 50 \text{ cm/Jahr}$.
- > Rutschgeschwindigkeitsänderung (v_{max}) für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen, d. h. von schwacher in die starke Intensität (langer Pfeil, «hohe v_{max} »): $v_{max30} > \text{ca. } 50 \text{ cm/Jahr}$ oder $v_{max100} > \text{ca. } 70 \text{ cm/Jahr}$ oder $v_{max300} > \text{ca. } 80 \text{ cm/Jahr}$.

Wird eine Beschleunigung innerhalb eines Quartals gemessen, so soll die entsprechende Jahresgeschwindigkeit berechnet werden: Gemessene Verschiebung im Quartal multipliziert mit 4 ergibt die äquivalente Jahresgeschwindigkeit. Diese Methodik ist analog für ein Semester oder drei Quartale anzuwenden.

Die genauen Vermessungswerte von v und v_{max} liegen bei einer flächendeckenden Gefahrenkartierung (Massstab M2) häufig nicht vor. Zudem sind geodätische Messdaten und entsprechende Angaben bei detaillierten Studien (Stufe M3) oder bekannten Rutschungen nicht unbedingt verfügbar. Kantonale und eidgenössische Behörden sowie Geometer können möglicherweise geodätische Daten und Geschwindigkeiten zur Verfügung stellen (s. auch INSAR-Daten des BAFU). In Anbetracht möglicher Entwicklungen und einer Beeinflussung durch die Klimaänderung können potenzielle Beschleunigungen auch als entsprechende Szenarien ohne vorliegende Messdaten definiert werden. Potenzielle Reaktivierungen und Beschleunigungen können u. a. von Niederschlägen, Schneeschmelze, unterirdischen Wasserzutritten und Erosionsprozessen (z. B. Wildbacherosion am Rutschfuss) beeinflusst werden. Für die Festlegung der Szenarien braucht es Erläuterungen und Begründungen.

D = Differentialbewegungen

Differentialbewegungen werden gemessen an der absoluten differenziellen Verschiebung in Zentimetern bezogen auf eine einheitliche Breite von 10 Metern [cm/10 m]. Der Differentialwert bezieht sich auf eine Nutzungsdauer des betroffenen Gebäudes und steht in Beziehung zur Tragsicherheit sowie zur Gebrauchstauglichkeit (z. B. über ca. 50 Jahre).

- > Differentialbewegung für den Wechsel von einer Intensitätsstufe (kurzer Pfeil):
 $D = 2\text{--}10 \text{ cm}/10 \text{ m}$
- > Differentialbewegung für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen (langer Pfeil, «grosse D» oder «DD»): $D > 10 \text{ cm}/10 \text{ m}$.

T = Tiefe der Gleitfläche (Gründigkeit der Rutschung)

Die relevante (oberste) Gleitfläche muss für eine Rückstufung mindestens 30 m unter Boden liegen. Eine Entschärfung (Rückstufung um eine Intensitätsstufe) kann nur dann erfolgen, wenn folgende drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:

1. Grössere, sehr tiefgründige, zusammenhängende Rutschmasse.
2. Phänomenologisch homogene Bereiche ohne höher liegende Sekundär Gleitflächen.
3. Mit geodätischen Messungen belegte, zeitlich gleichförmige Bewegungsdynamik.

Eine Rückstufung der Intensität mit der Tiefe der Gleitfläche kann für Geschwindigkeiten von maximal zirka 20 cm/Jahr erfolgen, wenn die Bedingungen 1–3 erfüllt sind.

Einsturzprozesse und Absenkungen

- > Bei diffuser Verteilung von Dolinen kann die lösungsanfällige Formation weiträumig auf der Gefahrenkarte eingezeichnet werden. Potenzielle Dolinengefahr → Stufe geringe Gefährdung (gelb).
- > Einsturzprozesse und Absenkungen (z. B. in Dolinen) werden der mittleren Intensitätsklasse zugeordnet, wenn im Feld klare Indizien für die räumliche Ausdehnung nachgewiesen werden. Die Lösungsprozesse im Karst bewirken eine Absenkung, die schnell oder sehr langsam erfolgen kann. In diesem Fall wird das Gebiet der mittleren Gefahrenstufe (blau) zugeordnet.
- > Besteht eine nachgewiesene Einsturzgefahr, so resultiert eine starke Intensität und Gebiete mit erheblicher Gefährdung können ausgeschieden werden (Stufe rot). Gipsformationen sind beispielsweise sehr anfällig auf Auslaugung, deshalb können diese bei Einsturzgefahr dem roten Gefahrengebiet zugeordnet werden.

Die Einsturzgefährdung nimmt mit der Mächtigkeit einer Quartärbedeckung ab, falls diese eine andere Lithologie und eine gute Tragfähigkeit aufweist (z. B. mächtige Moränenbedeckung).

Die Gefahrenbeurteilung soll den erwiesenen Perimeter der Doline umfassen und es kann zusätzliches Gefahrengebiet ausgeschieden werden, um sich präventiv vor sekundären Instabilitäten am Rand zu schützen. Zonen, in denen Dolinen gehäuft vorkommen, sind in der Regel grosszügig zusammenzufassen.

2.9.1 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Sturzprozessen

Der Aufprall von Steinen und Blöcken führt zu erheblichen Schäden. Grosse Risse in tragenden Gebäudeteilen und Löcher im Mauerwerk oder Dach können einen teilweisen oder totalen Einsturz zur Folge haben. Menschen und Tiere sind stark gefährdet, auch innerhalb von Gebäuden. Bei Einsturz besteht Lebensgefahr. Reparaturen sind nur mit grossem Aufwand zu realisieren. Oft sind die strukturellen Schäden so gross, dass eine Evakuierung und die Zerstörung des Gebäudes nicht abzuwenden sind. Durch die Ablagerung von Sturzmaterial kann es zum Rückstau von Wasserläufen kommen. Bildet sich hinter dem neuen Damm ein See, so verändern sich die Stabilitätsbedingungen. Bei Damminstabilität oder Erosionsprozessen nach Überströmung können Hochwasser- und grössere Murganggefahren in unterliegenden Gebieten die Folge sein. Oberirdische Infrastrukturanlagen können durch Sturzprozesse auch direkt beschädigt und unterbrochen werden (z. B. Strassen, Stromleitungen).

Starke Intensität

Der Aufprall von Steinen verursacht je nach Baubeschaffenheit der Wände grössere Schäden, ohne jedoch die Gebäudestabilität zu beeinträchtigen (falls das Gebäude dafür konzipiert wurde). Türen werden stark beschädigt oder zerstört. Menschen und Tiere sind in Gebäuden kaum gefährdet. Die Schäden beeinträchtigen die Wohnqualität. Reparaturen sind im Allgemeinen mit verhältnismässigem Aufwand realisierbar. Die Ablagerung von Sturzmaterial kann den Aufstau kleiner Bäche zur Folge haben. Strassen und oberirdische Leitungen können beschädigt und kurzfristig unterbrochen werden.

Mittlere Intensität

Bei Sturzprozessen können Löcher im Mauerwerk entstehen. Menschen und Tiere sind innerhalb von Gebäuden in der Regel nicht gefährdet. Bei schwacher Intensität von Sturzprozessen sind Menschen und Tiere ausserhalb von Gebäuden gefährdet. Ein Treffer am Kopf kann tödliche Folgen nach sich ziehen.

Schwache Intensität

2.9.2 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Gleitprozessen

Starke Terrainveränderungen führen zu erheblichen differenziellen Bewegungen des Untergrundes und zu einer substantiellen Beeinträchtigung der Gebäudestabilität. Infolge von Rissen in statisch tragenden Gebäudeteilen, Absenkungen und Kippungen ist ein partieller oder totaler Einsturz möglich. Türen und Fenster sind nicht benutzbar. Menschen und Tiere sind in Gebäuden gefährdet. Bei Einsturz besteht Lebensgefahr. Reparaturen sind nur mit grossem Aufwand zu realisieren. Meist sind die strukturellen Schäden indessen so gross, dass eine Evakuierung und die Zerstörung des Gebäudes unausweichlich sind. Infrastrukturanlagen sind stark beeinträchtigt (z. B. unterbrochene Strassen). Es kommt zu Leitungsbrüchen. Ein Rückstau von Wasserläufen ist möglich.

Starke Intensität

Terrainbewegungen verursachen Risse in Mauern, nicht jedoch an strukturellen Elementen, welche die Gebäudestabilität gewährleisten. Die Dichtigkeit von Fugen und die Verbindungen zwischen verschiedenen Bauteilen sind beeinträchtigt. Fenster und Türen verkeilen sich. Die Gebäude können wegen den Terrainveränderungen verkippen. Menschen und Tiere sind in Gebäuden nicht unmittelbar gefährdet. Die Schäden beeinträchtigen indessen die Wohnqualität. Bei Infrastrukturanlagen treten Beeinträchtigungen auf (z. B. Deformation von Strassen sowie von ober- und unterirdischen Leitungen). Drainagen können verstopfen oder reissen.

Mittlere Intensität

Geringe Terrainbewegungen führen zu leichten Schäden. Die Gebäudestabilität ist nicht beeinträchtigt. Grössere, steife Bauten sind im Allgemeinen nicht betroffen. Die Gebäude können wegen den Terrainveränderungen verkippen. Menschen und Tiere sind nicht gefährdet.

Schwache Intensität

2.9.3 Intensitäten und mögliche Schadenbilder bei Fliessprozessen

Die Intensitäten von Fliessprozessen werden mit den Parametern Mächtigkeit von mobilisierbaren Massen (M) und Höhe der Ablagerung (h) beurteilt, was der langjährigen aktuellen Praxis entspricht. Analog zu den Lawinen wäre es denkbar, zukünftig andere Parameter wie den Staudruck zu berücksichtigen.

Die Bedeutung der Intensitätsklassen kann wie folgt umschrieben werden:

Der Aufprall von grossen, mit Wasser durchmischten Geröll-, Schlamm- und Holzmassen auf tragende Gebäudeteile kann zu grossen strukturellen Schäden am Gebäude führen oder die plötzliche Zerstörung zur Folge haben. Infolge Einsturz- und Überflutungsfahr sind Menschen und Tiere stark gefährdet. Hangmuren können in die Gebäude eindringen und eine Gefahr für Menschen verursachen (durch Türen, Fenster, Glasfronten oder strukturelle Schwachstellen). Reparaturen sind oft mit grossem Aufwand verbunden. Erhebliche Terrainveränderungen mit grossen Erosionsflächen, Geröllablagerungen und Überflutungen führen zu Unterbruch, Beschädigung oder Zerstörung von Infrastrukturen (Strassen, Leitungen).

Starke Intensität

Trotz der geringen Tiefe sind auslaufende Hangmuren wegen des mitgeführten Gerölls gefährlich. Der Aufprall von Steinen und Blöcken sowie eindringendes Wasser können Schäden an der Gebäudehülle und im Inneren verursachen, ohne jedoch die Gebäudestabilität zu beeinträchtigen. Hangmuren können in die Gebäude eindringen und eine Gefahr für Menschen verursachen (durch Türen, Fenster, Glasfronten oder strukturelle Schwachstellen). Menschen und Tiere sind auch im Freien gefährdet. Die Wohnqualität kann erheblich beeinträchtigt werden. Reparaturen sind im Allgemeinen mit verhältnismässigem Aufwand durchführbar. Die Ablagerung von Geröll, Schlamm und Holz kann eine Beschädigung und Unterbrechung insbesondere von oberirdischen Infrastrukturanlagen (z. B. Strassen) zur Folge haben. Durchlässe, Rohrleitungen und Drainagen können verstopft werden.

Mittlere Intensität

Praktisch nur im Auslaufbereich von Hangmuren durch geringmächtige und abgebremste Schuttmassen oder durch eindringendes Wasser. Geringe Schäden an der Gebäudehülle oder im Inneren. Die Gebäudestabilität ist in keiner Weise beeinträchtigt.

Schwache Intensität

2.10 Szenariendefinition

Szenarien stehen stellvertretend für mögliche, zukünftige Ereignisse und Ereignisabfolgen. Es gibt immer wieder Überraschungen, wie sich Massenbewegungen in einem bestimmten Gebiet tatsächlich auswirken. Während eines Ereignisses sind ganz unterschiedliche Abläufe vorstellbar, die sich sprunghaft verstärken, überraschend verändern oder anders als erwartet entwickeln.

Wegen dieser grossen Vielfalt und Komplexität der Prozessabläufe muss bei der Gefahrenbeurteilung mit Szenarien gearbeitet werden. Jedem Szenario wird eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet.

Mit Szenarien werden auch Prozesskombinationen und räumliche Ausdehnungen in stabile, bzw. nicht betroffene Gebiete dargelegt. Beispiel: Seitenerosion im Wildbach führt zur Mobilisierung einer Rutschung, es bildet sich ein Damm und das Wasser wird gestaut, der Damm bricht schlagartig; grosse Feststoffmengen werden als Geschiebe oder Murgang flussabwärts verfrachtet. Die Brienzer Murgänge im Unwetter 2005 wurden beispielsweise massgebend von Massenbewegungen beeinflusst.

2.10.1 Szenarienbildung

Bei der Szenarienbildung ist ein offener Blickwinkel wichtig, selbst wenig wahrscheinliche Abläufe dürfen nicht unbegründet aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Wie beispielsweise die Hochwasserereignisse im August 2005 zeigten, sind auch jene Schwellenprozesse, Prozesswechsel und Prozessverkettungen einzubeziehen, die ausserhalb der lokal vorhandenen Erfahrungen liegen («Undenkbares denken»). Folglich müssen auch wenig wahrscheinliche Szenarien oder Prozesse berücksichtigt werden.

Die Szenarien müssen repräsentativ genug sein, um alle möglichen Entwicklungen offen anzusprechen und aufzuzeigen. Sie sollen die möglichen Auswirkungen auf das Schadenpotenzial angemessen berücksichtigen. Auch der zeitliche Ablauf möglicher Ereignisse kann von entscheidender Bedeutung sein.

2.10.2 Szenarienwahl

Trotz guten wissenschaftlichen Grundlagen, guten Schätz- und Berechnungsmodellen und technischen Hilfsmitteln sind letztlich für die Qualität von Gefahrenbeurteilungen klare Vorstellungen über die potenziellen Prozessabläufe entscheidend. In der Praxis stellt sich die Frage, welche Szenarien hinsichtlich der Auswirkungen im Wirkungsbereich repräsentativ genug sind, um als solide Grundlagen für die Gefahrenbeurteilung und Planung von Massnahmen verwendet zu werden.

Die Argumentation und Beweggründe für die Wahl oder Nichtberücksichtigung eines Szenarios müssen so festgehalten werden, dass diese auch später nachvollziehbar sind. Die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten und der Intensitäten von Rutschungen, Felsstürzen oder Hangmuren braucht deshalb gute und fundierte Grundlagen (siehe vorangehende Kapitel).

Qualitative Überlegungen sind für die Gefahrenbeurteilung genauso wichtig wie Berechnungen. Technische Berichte müssen deshalb ausführlich sein und alle Überlegungen, die später sonst nicht mehr nachvollziehbar sind, festhalten.

Die Ermittlung von Szenarien ist mit Unsicherheiten verbunden. Der Umgang mit Unsicherheiten wird im nächsten Abschnitt erläutert.

2.11 Umgang mit Unsicherheiten

Bei Naturprozessen ist die Ermittlung von Intensitäten und Eintretenswahrscheinlichkeiten grundsätzlich mit Unsicherheiten verbunden. Zudem nehmen diese Unsicherheiten zu, sobald Ereignisse ausserhalb des bisherigen Erfahrungsbereichs liegen. Bei der Gefahrenbeurteilung und der Massnahmenplanung haben die vorhandenen Unsicherheiten entsprechende Unschärfen in der Beurteilung zur Folge. Sie führen zu Ermessensspielräumen, die alle Akteure herausfordern.

Es ist nicht möglich, alle potenziellen Ereignisabläufe vollständig abzubilden. Sowohl bei der Gefahrenbeurteilung, bei der Massnahmenplanung als auch bei der Notfallplanung gibt es immer wieder Überraschungen, wie sich Prozesse in einem bestimmten Gebiet tatsächlich auswirken. Während eines Ereignisses sind ganz unterschiedliche Abläufe vorstellbar, die sich sprunghaft verstärken, überraschend verändern oder anders als erwartet entwickeln.

Ereignisvielfalt

Liegen für einen Prozess umfangreiche und lückenlose Beobachtungen vor, lassen sich die vorhandenen Unsicherheiten mit statistischen Mitteln, beispielsweise durch Konfidenzintervalle quantifizieren. Diese Situation ist für vergleichsweise häufig auftretende Prozesse am ehesten gegeben. In diesem Fall lässt sich zu einer Eintretenswahrscheinlichkeit mittels statistischer Analysen eine Intensität mit entsprechender Unsicherheit bestimmen (Abb. 12).

Für Massenbewegungen soll – wenn immer möglich – auch bei wenigen Ereignisdaten die mögliche Bandbreite abgeschätzt und dargelegt werden. Extrapolationen mit zunehmender Grösse (Volumen) oder höherer Geschwindigkeit sind notwendig, wenn im Kataster nur häufige Ereignisse schwacher Intensität registriert wurden und die Feldbeurteilung die Möglichkeit grösserer Ereignisse belegt.

Besondere Vorsicht ist bei der Extrapolation auf ganz seltene Ereignisse angebracht, bei welchen Schwellenprozesse, Prozesswechsel und Prozessverkettungen auftreten, die im vorhandenen Datensatz nicht abgebildet sind (Abb. 13). Entsprechend sollen die vorhandenen Unsicherheiten abgeschätzt werden. Die entsprechenden Szenarien müssen fundiert und gut dokumentiert werden.

Abb. 12 > Bandbreite der Intensität bei vorgegebener Eintretenswahrscheinlichkeit

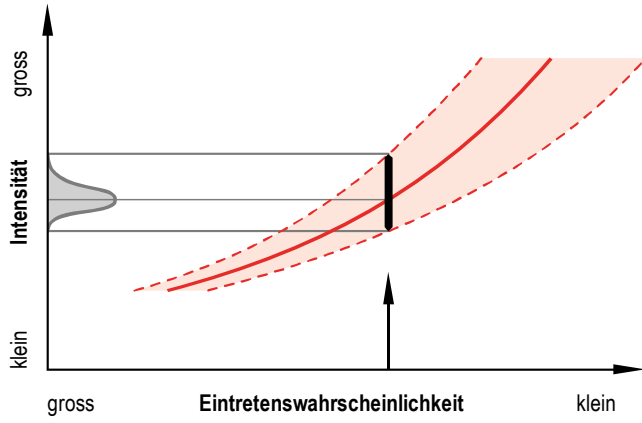
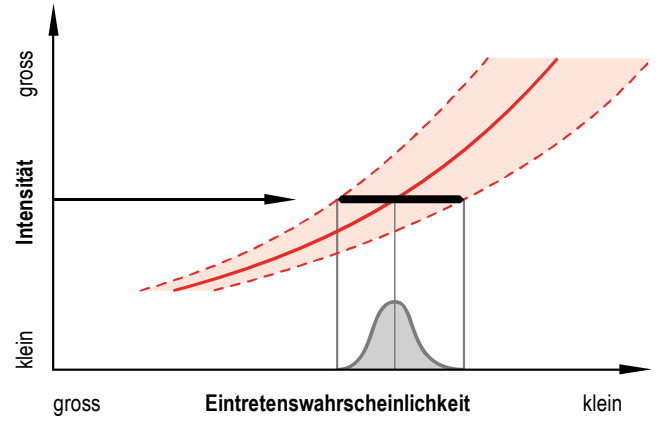


Abb. 13 > Bandbreite der Eintretenswahrscheinlichkeit bei vorgegebener Intensität



3 > Handlungsbedarf

Das Bundesgesetz über den Wald soll dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Rutschungen, Erosion und Steinschlag geschützt werden (Art. 1 Abs. 2 WaG). Mit diesem Kapitel wird das Vorgehen zur Ermittlung des Handlungsbedarfs erläutert.

Wenn im genutzten Raum eine Gefährdung besteht, so muss die Risikosituation beurteilt werden. Zuerst werden die Risiken ermittelt. Dann wird die aktuelle Sicherheit mit den Schutzziele verglichen. Daraus werden der Handlungsbedarf abgeleitet und die Prioritäten festgelegt. Das Vorgehen zur anschliessenden Planung von Massnahmen wird im vierten Kapitel erläutert.

3.1 Ermittlung von Risiken

In einem ersten Schritt wird die Expositionsanalyse für alle Gefahrenprozesse durchgeführt. Das Risiko in einem bestimmten Raum ist abhängig von der Gesamtheit möglicher Einwirkungen auf das Schadenpotenzial durch eine oder mehrere Gefahren. Im zweiten Schritt werden die Konsequenzen für Personen und Sachwerte analysiert. Im dritten Schritt werden die Risiken ermittelt.

Die Ermittlung des Risikos kann in verschiedenen Bearbeitungstiefen erfolgen:

- a) Qualitative Risikoermittlung: Welche Objekte/Flächen werden von welchen Intensitäten für bestimmte Wiederkehrperioden getroffen? Anzahl?
- b) Quantitative Risikoanalyse: Ermittlung des möglichen Schadenausmasses für die einzelnen Objekte unter Einbezug der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit, der Letalität und der Vulnerabilität. Die Personenrisiken werden aufgrund mittlerer Belegungsraten, mittlerer Transportraten und der effektiven Präsenzzeit berechnet. Es wird unterschieden zwischen individuellem Risiko und kollektivem Risiko. Die Sachrisiken können mit den effektiven Werten berechnet werden (direkte Schäden). Bei den Sachrisiken werden folgende Schutzgüter berücksichtigt: Gebäude, Infrastrukturen, Objekte mit erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung, Lebensgrundlagen der Menschen, Kulturgüter. Die Berechnung von indirekten Schäden wird nicht für alle Elemente standardmässig gemacht, aber bei grossen Unterbrüchen und Folgeschäden kann diese Grösse von Interesse sein (z. B. bei unterbrochenen Verkehrswegen).

Grundsätzlich muss sich die Bewertung von Personenrisiken an Grössen des individuellen und des kollektiven Risikos orientieren. Das individuelle Risiko beschreibt die Grösse des Risikos, dass eine Person infolge einer Gefahr ums Leben kommt. Selbst wenn die individuellen Risiken aller gefährdeten Personen niedrig sind, kann immer noch ein hohes kollektives Risiko bestehen (z. B. bei einer hohen Anzahl an Opfern).

3.2

Sicherheitsniveau und Schutzziele

Im Anschluss an die Beurteilung der Risiken wird der Handlungsbedarf überprüft: Können die Risiken von der Gesellschaft getragen werden oder müssen diese reduziert werden? Dabei geht es im Wesentlichen um die Definition der Grenze von akzeptablen und nicht akzeptablen Risiken. Das angestrebte Sicherheitsniveau beschreibt den erstrebten Sicherheitszustand. Mit den Schutzziele definieren die verschiedenen Akteure das Niveau an Sicherheit, das sie in ihrem Verantwortungsbereich anstreben bzw. ihren grundsätzlichen Beitrag an das angestrebte Sicherheitsniveau. Der Verantwortungsbereich der verschiedenen Akteure ist sehr unterschiedlich. In dieser Vollzugshilfe steht der institutionelle Verantwortungsbereich im Vordergrund (z. B. die öffentliche Hand, Verantwortungsträger, die mit dem Vollzug des Waldgesetzes betraut sind). Der individuelle Verantwortungsbereich wird hiermit nicht abgedeckt. Die Betroffenen sind für ihren Schutz in diesem Bereich selbst verantwortlich (z. B. Bergsteiger ausserhalb des institutionellen Bereichs).

Die Massnahmenplanung ist notwendig, wenn ein Handlungsbedarf erkannt wurde. Sie zeigt auf, ob die Risiken mit einem verhältnismässigen Aufwand reduziert werden können. In dieser Phase legen die Akteure die Massnahmenziele fest. Unabhängig von baulichen Massnahmen ist in Gefahrengebieten die Umsetzung der Gefahrenkarte in die Raumplanung eine permanente Aufgabe (Handlungsbedarf i. w. S.). Dadurch kann ein gewisser Zustand gehalten werden, bzw. der Anstieg des Risikos wird im besten Fall verhindert.

Angestrebtes Sicherheitsniveau

Der Bund strebt ein schweizweit vergleichbares Sicherheitsniveau für alle Naturgefahren an, welches ökologisch vertretbar, ökonomisch verhältnismässig und sozial verträglich ist.

Das angestrebte Sicherheitsniveau bezieht sich auf die direkte Einwirkung von Naturgefahren auf Schutzgüter:

Das durchschnittliche individuelle Todesfallrisiko von Personen wird durch Naturgefahren nicht erheblich erhöht. Das jährliche Risiko, infolge Naturgefahren ums Leben zu kommen, liegt für Personen deutlich unter der durchschnittlichen Todesfallwahrscheinlichkeit für die Altersklasse mit der geringsten Sterblichkeitsrate in der Schweiz.

Personen

Gebäude

Gebäude bieten einen hohen Schutz für Personen und Inhalt. Sie sind widerstandsfähig und stellen keine Gefährdung für Personen und andere Sachwerte dar. Die verbleibenden Personen- und Sachrisiken sind für die Risikoträger tragbar.

Erhebliche Sachwerte

Infrastrukturen, Objekte mit erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung oder Tragweite, Lebensgrundlagen

Das Risiko für Infrastrukturen, volkswirtschaftlich bedeutende Objekte und Lebensgrundlagen des Menschen ist so gering, dass der Fortbestand der Gemeinschaft heute

und über die nächsten Generationen gesichert ist. Lebenswichtige Güter und Dienstleistungen dürfen nur für kurze Zeit in grossen Teilen der Schweiz ausfallen.

Kulturgüter

Kulturgüter werden so vor Naturgefahren geschützt, dass ihr kultureller Wert dauerhaft erhalten bleibt.

Es gibt weitere Werte, für welche kein angestrebtes Sicherheitsniveau formuliert wurde. Insbesondere gilt dies für Nutztiere. Diese haben in der schweizerischen Gesetzgebung einen hohen Stellenwert und werden anders als Sachwerte behandelt. Ihr Schutz liegt im Verantwortungsbereich des Eigentümers.

Schutzziele

Schutzziele beschreiben in quantitativer Form den Beitrag eines Verantwortungsträgers an das angestrebte Sicherheitsniveau. Mit Hilfe der Schutzziele klärt die öffentliche Hand ab, wo für sie Handlungsbedarf besteht. Werden die Schutzziele nicht erfüllt, so spricht man von «Schutzdefizit». Bei einem Schutzdefizit prüft die öffentliche Hand, ob geeignete Massnahmen das Risiko reduzieren können. In der Praxis dienen Schutzziele somit auch als Überprüfungskriterium zur Beurteilung des Handlungsbedarfs. Schutzziele der öffentlichen Hand können nur die zuständigen politischen Behörden festlegen. Bei der Festsetzung von Schutzziele sind die föderalistische Struktur der Schweiz mit grosser Autonomie der Gemeinden und Kantone sowie die Gegebenheiten der direkten Demokratie zu beachten.

In diesem Sinne haben viele Kantone Schutzzielmatrizen entwickelt. Ein Beispieldiagramm ist im Anhang A5 angefügt (ARE et al. 2005). Das Bundesamt für Umwelt hat für Einzelprojekte gemäss NFA-Handbuch (BAFU 2011) folgendes Überprüfungskriterium für Personenrisiken formuliert: Ein Projekt mit einem individuellen Todesfallrisiko grösser als 10^{-4} bis 10^{-5} pro Jahr erfüllt das Überprüfungskriterium. In diesem Sinne hat auch das ASTRA für die Nationalstrassen Überprüfungskriterien festgelegt: individuelles Todesfallrisiko grösser als 10^{-5} pro Jahr, Risiko pro Strecke von 100 Metern grösser als 10 000 Franken pro Jahr, Risiko pro Prozessquelle grösser als 10 000 Franken pro Jahr.

Massnahmenziele

Mit der Realisierung von geeigneten Massnahmen soll ein bestehendes Schutzdefizit reduziert oder beseitigt werden. Die Gesamtwirkung aller Massnahmen (planerische, technische, organisatorische) entspricht der erreichten Sicherheit. Für die Planung von Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren legen die Verantwortungsträger Massnahmenziele fest. Diese orientieren sich an den Schutzziele. Sie können aber im Rahmen der Optimierung, welche bei der integralen Massnahmenplanung stattfindet, hinterfragt und mit einer nachvollziehbaren Begründung nach unten wie nach oben angepasst werden. Die Behörden legen in dieser Phase die Prioritäten für den institutionellen Bereich fest. Dabei spielen alle Aspekte der Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle. In einigen Kantonen kann beispielsweise die Verfügbarkeit von Kantons- und Gemeindestrassen als Kriterium berücksichtigt werden.

Es ist zulässig, dass ein höheres Mass an Sicherheit erreicht wird als das angestrebte Sicherheitsniveau, sofern die höhere Sicherheit unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit gerechtfertigt werden kann. Dabei prüft der Bund wie üblich, ob der Aufwand für die geplanten Massnahmen vertretbar ist. Das verbleibende akzeptierte Risiko wird von verschiedenen Akteuren getragen.

In gut begründeten Fällen kann die erreichte Sicherheit aber auch kleiner sein als die angestrebte. Denn in einigen Fällen kann das Schutzdefizit mit vertretbarem Aufwand nicht beseitigt werden. In anderen Fällen ist die Nachhaltigkeit nicht gegeben. So kann zum Beispiel der Schutz von Natur und Landschaft stärker gewichtet werden als die Risikoreduktion. In solchen Situationen ist es notwendig, Alternativen zu prüfen und eine optimale nachhaltige Lösung zu finden. Die projektbezogenen Massnahmenziele können in diesen Fällen von den Schutzzielen abweichen. Sie sind im Rahmen der Massnahmenplanung unter sorgfältiger Interessenabwägung festzulegen. In diesem Sinne sind die Ziele auch innerhalb eines Projekts abzustufen, bzw. zu differenzieren. Dabei ist neben der Raumnutzung auch die Gefahrenart zu berücksichtigen, zum Beispiel in Bezug auf die Intensität, die Vorwarnzeit und die Saisonalität.

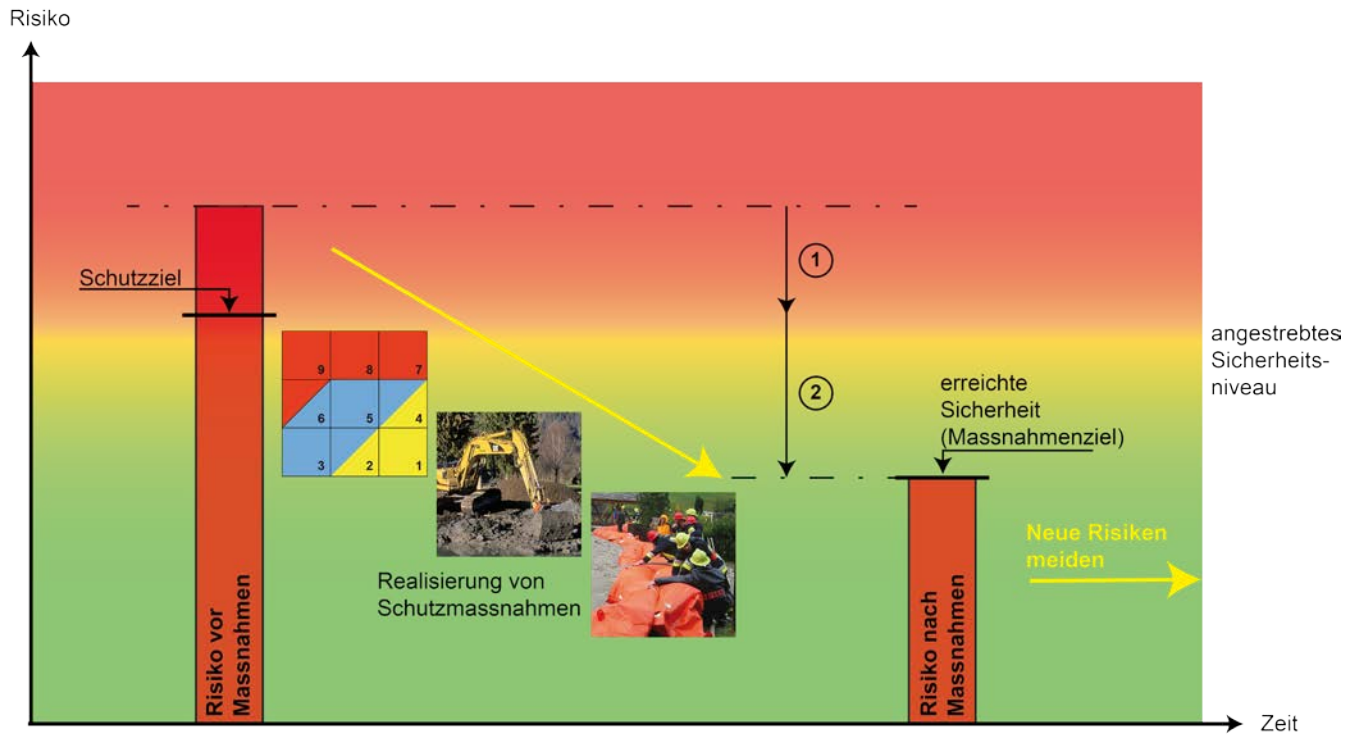
3.3 Verbleibendes Risiko

Die Risiken können nie ganz eliminiert werden; es bleibt somit in der Regel ein bestimmtes Risiko übrig («verbleibendes Risiko»). Dieses ist den Betroffenen transparent zu kommunizieren, damit nicht falsche Erwartungen gegenüber dem Sicherheitsniveau geweckt werden. Es geht auch darum, die Betroffenen zur Eigenverantwortung anzuregen.

In der Abb. 14 wird das Risiko schematisch vor und nach der Realisierung von Massnahmen dargestellt. Das Risiko vor der Realisierung von Massnahmen ist zu gross und liegt über dem Schutzziel. Das Schutzziel wird somit nicht erreicht. Mit der Realisierung von allen öffentlichen und privaten Schutzmassnahmen wird das Risiko gemindert. Dazu gehören raumplanerische, bauliche und organisatorische Massnahmen, die in einem Konzept aufeinander abgestimmt werden (s. Abschnitt 4.4 ff). Nach der Realisierung von Massnahmen ist das Risiko tiefer. Die Risikoreduktion besteht in diesem Beispiel aus einem Anteil zur Erreichung des Schutzziels (①) und einem Anteil, der zur Erreichung des Massnahmenziels dient (②). Diese Anteile variieren und sind für jede Situation einzeln anzupassen. Das Risiko nach Massnahmen liegt nun unter dem angestrebten Sicherheitsniveau. Somit ist die erreichte Sicherheit im akzeptablen, bzw. grünen Bereich. Das verbleibende Risiko muss von verschiedenen Akteuren getragen werden (Versicherungen, Eigentümer, usw.). Zudem soll die erreichte Sicherheit mittel- und langfristig erhalten werden (Unterhalt, Raumplanung sicherstellen, Notfallorganisation gewährleisten, usw.).

Abb. 14 > Sicherheitsniveau, Schutzziel, Massnahmenziel sowie Risiko vor und nach der Realisierung von Massnahmen

Erläuterungen im Text.



Weitere Informationen

- > *Raumplanung und Naturgefahren* (ARE et al. 2005)
- > *PLANAT-Publikation «Risikokonzept für Naturgefahren»* (Bründl, Ed., 2009)
- > *PLANAT-Publikation «Sicherheitsniveau für Naturgefahren»* (PLANAT 2013)
- > *PLANAT: www.planat.ch*

4 > Massnahmen

Massnahmen zum Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten werden notwendig, wenn vorgängig ein Handlungsbedarf ermittelt wurde. Die Wahl der Massnahmen muss aufgrund ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Kriterien optimiert werden (Art. 1 und 19 WaG, Art. 15 bis 17 WaV). Der Bund gewährt den Kantonen Abgeltungen an Massnahmen, die vor Naturereignissen schützen (Art. 36 WaG).

4.1 Optimierung von Schutzmassnahmen

Die Planung von Massnahmen basiert auf den Resultaten der Gefahrenbeurteilung und der Risikobewertung. Die Massnahmenplanung kann sowohl den Erhalt des Ist-Zustands bei nicht vorhandenen Schutzdefiziten als auch die Verbesserung des Ist-Zustands bei vorhandenen Schutzdefiziten als Ziel haben. Dabei müssen alle möglichen Arten berücksichtigt werden: passive, aktive und organisatorische Massnahmen (Abb. 15).

Bei der Massnahmenplanung wird unterschieden, ob die Massnahmen den Prozess oder das Schadenausmass beeinflussen. Nachfolgend werden passive und aktive Massnahmen in der Reihenfolge der Prioritäten erläutert.

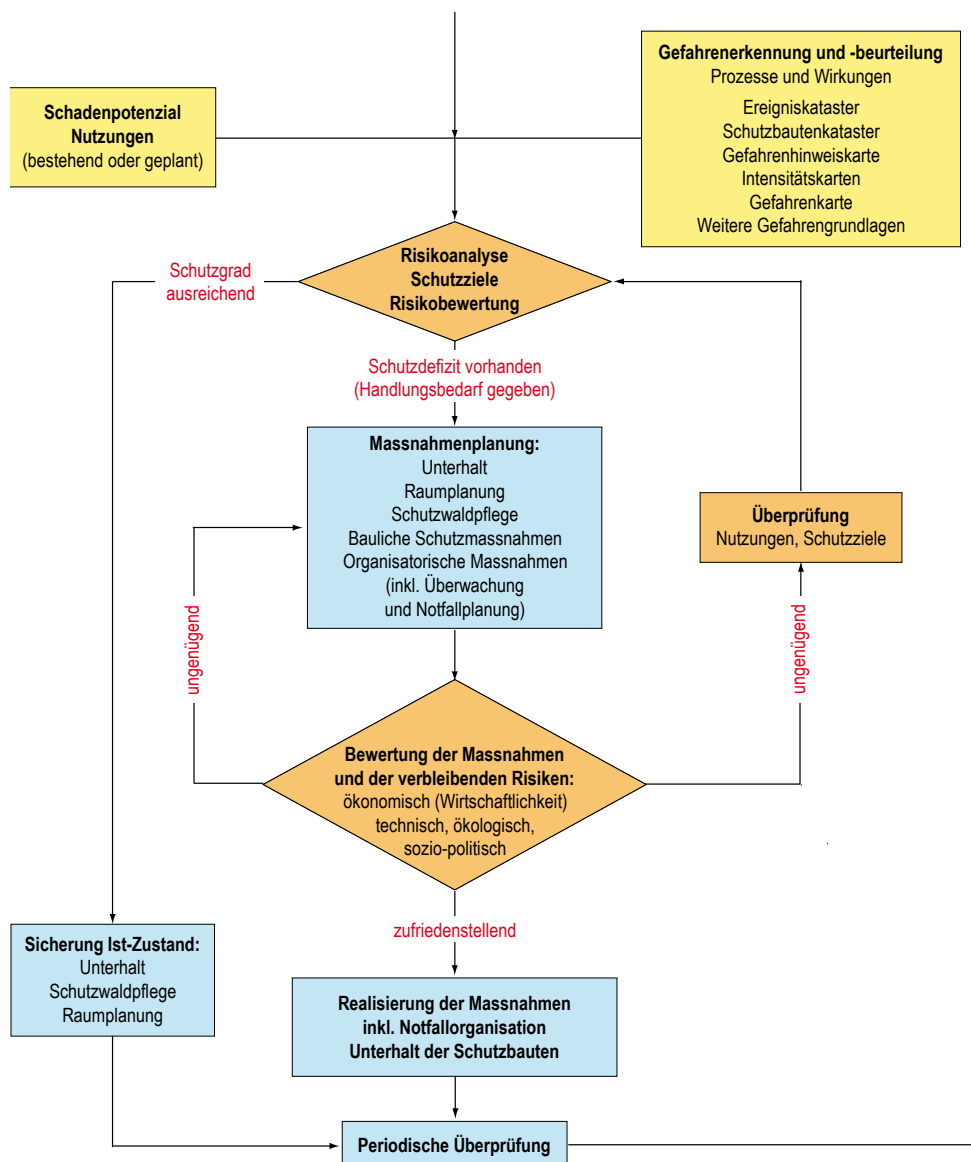
Mit passiven Massnahmen wird das Ausmass eines möglichen Schadens verringert, ohne den Ablauf des Ereignisses zu beeinflussen (ARE et al. 2005). Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen (Gefahrenkarten) bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung (Art. 15 Abs. 3 und Art. 17 Abs. 1 WaV). Das Schadenpotenzial soll in erster Linie durch raumplanerische (d.h. passive) Massnahmen vermindert werden. Die raumplanerischen Massnahmen sollen eine der Gefährdung angepasste Nutzung sicherstellen. Dazu gehört auch das gefahrengerechte Bauen. Der Objektschutz kann durch eine angepasste Bauweise im Bauwilligungsverfahren sichergestellt werden (siehe z. B. Egli 2005). Die entsprechenden Vorschriften werden in der Nutzungsplanung festgelegt.

Mit aktiven Massnahmen wird der Prozessablauf beeinflusst. Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst bauliche Massnahmen, die Verbauungen in Rutschgebieten, Entwässerungen und Massnahmen gegen Sturzprozesse (Art. 17 Abs. 1–2 WaV). Zu den aktiven Massnahmen zählen punktuelle bauliche Schutzmassnahmen wie Steinschlagnetze und auch flächendeckende Massnahmen wie beispielsweise Schutzwaldpflege, Aufforstungen oder Entwässerungen. Bauliche Schutzmassnahmen können an Orten eingesetzt werden, wo entweder eine schützenswerte Nutzung bereits besteht, oder nach Abwägung aller Interessen eine Änderung der Nutzung unbedingt erforderlich ist. Werden zum Schutz vor gravitativen Naturgefahren grosse Schutzdämme oder Sammler für den Rückhalt gebaut, dann muss geprüft werden, ob diese Bauten dem Stauanlagengesetz (StAG) unterstehen (s. Anhang A1).

Dieses Gesetz gilt für Stauanlagen, die eine der folgenden Voraussetzungen erfüllen: Die Stauhöhe über Geländehöhe (oder über Niederwasser) beträgt mindestens 10 m oder die Anlage weist bei einer Höhe von mindestens 5 m einen Stauraum von mehr als 50 000 m³ auf. Die Aufsichtsbehörde des Bundes kann auch Stauanlagen mit geringeren Ausmassen diesem Gesetz unterstellen, wenn sie ein besonderes Gefährdungspotenzial darstellen (Art. 2, Art. 22 StAG). Ein besonderes Gefährdungspotenzial besteht, wenn im Falle eines Bruches des Absperrbauwerks Menschenleben gefährdet oder grössere Sachschäden verursacht werden können (Art. 2 StAV).

Abb. 15 > Vorgehen bei der Planung von Massnahmen

Ein geplanter Ablauf der einzelnen Schritte – vom Prozessverständnis bis zur Notfallplanung – ist notwendig, um sich vor Massenbewegungen optimal und nachhaltig zu schützen.



Bei der Wahl von geeigneten Schutzmassnahmen ist der Verhältnismässigkeit Rechnung zu tragen. Die Ausarbeitung von mehreren Varianten unterschiedlicher Art soll früh beginnen, damit Vor- und Nachteile laufend miteinander verglichen werden können. Grundsätzlich hat jede Massnahme folgende Bedingungen zu erfüllen: Einerseits muss die vorgesehene Massnahme das angestrebte Ziel erreichen und andererseits soll sie mit minimalen Eingriffen verbunden sein. Zudem muss sie sozial verträglich sein.

Die Kosten der Schutzmassnahmen sind mit dem erwarteten Schadenpotenzial zu vergleichen. Der Bund stellt dafür das Berechnungsprogramm «EconoMe» zur Verfügung. Alle Einzelprojekte, die vom Bund verfügt werden, sind bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit gemäss «EconoMe» zu bewerten. Alle Einzelprojekte, die vom Bund verfügt werden, müssen die Wirtschaftlichkeit nach «EconoMe» ausweisen. Fällt die Bewertung der Massnahmen positiv aus, so kann der Entscheid zur Realisierung getroffen werden. Für unwirtschaftliche oder unzweckmässige Schutzprojekte besteht kein Anspruch auf Abgeltungen oder Finanzhilfen.

Die Kantone sorgen für eine integrale Planung. Diese berücksichtigt insbesondere die Interessen der Bewirtschaftung des Waldes, des Wasserbaus, der Landwirtschaft und des Natur- und Landschaftsschutzes (Art. 17 Abs. 3 WaV). Die Schutzmassnahmen sollen in diesem Sinne auch nach ökologischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Geschützte oder schützenswerte Landschaften dürfen durch die baulichen Veränderungen – nach Massgabe der jeweils anwendbaren gesetzlichen Grundlagen und der spezifischen Schutzziele für den Natur- und Landschaftsschutz – nicht oder höchstens geringfügig beeinträchtigt werden. Die nationalen, kantonalen oder regionalen Inventare und Vorgaben sind dabei zu berücksichtigen (z. B. Bundesinventar der schützenswerten Landschaften und Naturdenkmäler BLN). Grundsätzlich darf der bestehende Zustand nicht verschlechtert, sondern soll bei sich bietender Gelegenheit soweit möglich nachhaltig verbessert werden. Folglich können die Ziele zum Schutz von Menschen und Sachwerten sowohl aus ökologischen als auch aus finanziellen oder technischen Gründen modifiziert werden. Eine allfällige Interessenabwägung muss den gesetzlich vorgesehenen Rahmen berücksichtigen.

Organisatorische Massnahmen dienen der Begrenzung des verbleibenden Risikos. Zu dieser Kategorie gehören Notfallorganisationen, Messstellen, Frühwarndienste (Art. 16 WaV), Evakuationen, Katastrophenhilfe und andere temporäre Massnahmen. Die organisatorischen Massnahmen gehören zur gesamtheitlichen Planung von Massnahmen.

Weitere Informationen

- > *EconoMe* (www.econome.admin.ch)
- > *SIA-Norm 261/1*
- > *Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren* (Egli 2005)
- > *Romang Hans (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (Strategie Naturgefahren Schweiz), Einzelprojekt A 3 (2008). Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.*

4.2 Planungsphasen

Das SIA-Leistungsmodell umschreibt den ganzen Lebenszyklus eines Bauwerks von der Bedürfnisformulierung bis hin zur Bewirtschaftung. Die Abfolge der nach dem Phasenplan gegliederten Leistungen der Planer und des Auftraggebers sowie der Entscheide des Auftraggebers hat Modellcharakter und wird im Anwendungsfall Anpassungen erfordern. Am wenigsten wird sich die Abfolge der Hauptphasen verändern:

- > Strategische Planung
- > Vorstudien
- > Projektierung, Erstellung des Bauprojekts
- > Ausschreibung
- > Realisierung
- > Bewirtschaftung

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass sich mit folgenden Planungsgrundsätzen zeitgerechte und kostengünstige Projekte erarbeiten lassen:

- > Bei der Planung und Ausführung von Projekten ist eine ganzheitliche Sichtweise einzunehmen. Dies gilt auch bei der Interessenabwägung zwischen allfälligen Zielkonflikten.
- > Eine transparente Lösungsfindung unter Einbezug aller Betroffenen und Interessierten fördert die Akzeptanz (partizipative Prozesse).
- > Die Verantwortung gegenüber den angrenzenden Gebieten (über Gemeinde-, Kantons- und Landesgrenzen hinaus) ist wahrzunehmen.

Die Abwicklung eines Projekts hält sich an das Leistungsmodell des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) mit den entsprechenden Phasen und Teilphasen. Die Projektphasen werden je nach Komplexität und Umfang des Projekts bzw. je nach Dringlichkeit der Massnahmen (Stichwort Sofortmassnahmen) unterschiedlich tief bearbeitet.

Weitere Informationen

- > *SIA 103 Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure/Bauingenieurinnen*
- > *SIA 112 Modell Bauplanung*
- > *Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich, BAFU 2011*

4.3 Unterhalt von bestehenden Massnahmen

Der Unterhalt von Schutzbauten ist ebenso wichtig wie deren Erstellung. Bei fehlendem Unterhalt bzw. bei Verlust der Effizienz der Schutzbauten ist mit einer erneuten Gefährdung wie vor deren Erstellung zu rechnen. Die Gefährdung kann beim Versagen von zurückhaltenden Schutzmassnahmen sogar grösser als vor deren Errichtung sein. Mit regelmässigen Unterhaltsarbeiten werden Schwachstellen und Defekte erkannt. Nach Ereignissen müssen insbesondere Rückhaltekapazitäten geleert oder wieder her-

gestellt werden. Der Unterhalt ist somit eine Daueraufgabe. Sie wird von Kantonen, Gemeinden und Bauherren entsprechend der geltenden Gesetzgebung wahrgenommen, finanziert oder überwacht.

Art, Umfang und Häufigkeit des Unterhaltes sind auf die örtlichen Bedingungen auszurichten. Alle Unterhaltsarbeiten sind im Einvernehmen mit den Grundeigentümern und den kantonalen Fachstellen durchzuführen.

Die Planung des sachgerechten Unterhalts muss in ein Schutzprojekt integriert sein, weil es die Wahl von Massnahmen beeinflussen kann. Wiederholte Leerungen von Geschiebesammlern oder Steinschlagnetzen sind zwei Beispiele, die bei häufigen Ereignissen langfristig bedeutende Kosten verursachen und dadurch die Wahl der Massnahmen aus ökonomischer sowie technischer Sicht beeinflussen sollen.

Unterhaltskonzept

Die Unterhaltsplanung erlaubt auch eine Abgrenzung zwischen Bau- und Unterhaltmassnahmen sowie eine zweckmässige Ausführung. Im Unterhaltskonzept werden Abläufe und Zuständigkeiten geregelt:

- > Wer übernimmt die Unterhaltungspflicht und die Kosten?
- > Wer kontrolliert die Schutzbauwerke?
- > In welchen zeitlichen Abständen erfolgen die Kontrollen und Inspektionen?
- > Wann und wie sind die entsprechenden Unterhaltsarbeiten durchzuführen?

Die Unterhaltskontrolle richtet sich nach den Eigenschaften der jeweiligen Bauwerke. Die regelmässigen Unterhaltsarbeiten können je nach Typ technisch anspruchsvoll sein oder grössere finanzielle Konsequenzen zur Folge haben.

Unterhalt

In Rutschgebieten können Entwässerungen durch verbleibende Bewegungen beschädigt oder abgeschert werden. Die periodische Kontrolle von Entwässerungen ist notwendig, um deren Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Mit zunehmendem Alter ist in vielen Drainagesystemen, insbesondere in feinkörnigen Gesteinsformationen, eine abnehmende Wirkung feststellbar. Weitere Probleme können durch Versinterung oder eindringende Wurzeln verursacht werden.

Unterhalt und Kontrolle der Schutznetze gegen Steinschlag sind permanente Aufgaben. Werden Massnahmen gegen Stein- und Blockschlag erstellt, müssen nicht nur die Schutzwerke selber periodisch überprüft, sondern auch die Gefahrensituation überwacht werden. Mit einer präventiven Überwachung des Gebietes können sich entwickelnde, potentielle Gefahren erkannt und frühzeitig zusätzliche Massnahmen ergriffen werden. Die Überprüfung der Massnahmen beinhaltet auch die Protokollierung der Steinschlagaktivitäten. Lagert sich viel Material hinter dem Bauwerk ab, sind eventuell einzelne Tragwerksteile beansprucht worden. Die abgelagerten Steine hinter den Bauwerken sind periodisch zu entfernen, falls diese die ursprüngliche Funktion der Massnahme zunehmend beeinträchtigen. Bei grösseren Einwirkungen von Steinschlägen ist der Übergang zu Instandsetzungsarbeiten fliessend und es müssen allenfalls auch Stützen, Bremsen, Spannungen und Grundplatten ersetzt werden.

Die Funktion von Schutzmassnahmen auf Privatgrundstücken ist bei einem Eigentümerwechsel dem neuen Besitzer darzulegen. Weitere Anstrengungen und formale Anforderungen in dieser Hinsicht sind notwendig. Der Unterhalt muss vom neuen Eigentümer ebenfalls gewährleistet oder geduldet werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass solche Schutzbauwerke aus ästhetischen Gründen oder wegen Unwissenheit entfernt werden. Ein entsprechender Vermerk im Grundbuch regelt den Unterhalt verbindlich.

4.4 **Raumplanerische Umsetzung**

Gemäss der Raumplanungs-, Wasserbau- und Waldgesetzgebung müssen Kantone und Gemeinden die erarbeiteten Gefahrengrundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten berücksichtigen (Art. 15 Abs. 3 WaV). Dies gilt insbesondere in der Richtplanung, in der Nutzungsplanung und bei der Erteilung von Baubewilligungen. Die Kantone sorgen für eine integrale Planung; diese berücksichtigt u. a. die Interessen der Raumplanung (Art. 17 Abs. 3 WaV).

Die Raumplanung ist Teil des integralen Risikomanagements und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Prävention. Bei der Massnahmenplanung haben laut Wasserbaugesetz die raumplanerischen Massnahmen Vorrang vor den anderen Massnahmen. Die Raumplanung stellt eine angepasste Nutzung gefährdeter Flächen sicher und trägt damit zur Risikoreduktion bei. In gefährdeten Gebieten sollen raumplanerische Massnahmen eine Minderung der Risiken ermöglichen (z. B. durch Reduktion der Verletzlichkeit oder des Schadenpotenzials) oder die Entstehung neuer Risiken verhindern (z. B. durch Verzicht auf neue Nutzungen oder durch Bauverbote).

Eine risikobasierte Umsetzung der Gefahrengrundlagen nimmt Rücksicht auf die Art der Gefährdungen, auf die massgebenden Gefahrenprozesse, auf bestehende sowie geplante Nutzungen und auf die anderen Interessen des Gemeinwesens. Eine risikobasierte Raumplanung ist nicht nur eine langfristig sinnvolle, sondern auch eine kostensparende Massnahme zum Schutz vor Naturgefahren. Einen weiteren Beitrag kann die Raumplanung leisten, indem sie die notwendigen Flächen für bauliche und technische Schutzmassnahmen, für Abflusskorridore, für den Rückhalt der Prozesse oder für Pufferzonen zu den gefährdeten Gebieten freihält. Wenn die Raumplanung alle Möglichkeiten ausschöpft und das Schadenpotenzial minimiert, dann hat sie eine grosse Wirkung mit hoher Effizienz.

Schutzbauten werden erstellt, um sich vor gefährlichen Prozessen zu schützen. Eine nachhaltige Reduktion der Risiken ist aber nur dann gewährleistet, wenn die Schutzbauten ihre Wirkung im Ereignisfall erzielen. Die Wirkung von Schutzmassnahmen sollte mit angemessener Sicherheit quantifizierbar und permanent verfügbar sein (zirka 50 Jahre). Ziel ist primär eine höhere Sicherheit und sekundär die Rückstufung in der Gefahrenkarte. Eine Berücksichtigung in der Gefahrenbeurteilung kann erst nach der Bauabnahme erfolgen, nicht in der Planungsphase. Die raumplanerische Umsetzung erfolgt mittels einer Abwägung aller Kriterien (Erstellung der Gefahrenkarte nach Massnahme). Die Umsetzung der Gefahrenkarten und die Berücksichtigung von

Schutzbauten nach einheitlichen Grundsätzen ist eine Herausforderung («unité de doctrine»).

Empfehlung 2005 (ARE et al. 2005)

Der Bund hat mit der Empfehlung «Raumplanung und Naturgefahren» (ARE et al. 2005) die Grundsätze für eine sachgerechte und nachhaltige Umsetzung der Gefahrengrundlagen festgelegt. Diese Empfehlung bildet die Basis für die Umsetzung in die Richtplanung, Nutzungsplanung, Zonenausscheidung (s. Anhang A4) und beim Baubewilligungsverfahren. Bei der Ausscheidung von Zonen und in den Bewilligungsverfahren sind auch die Verantwortlichkeiten und risikobasierte Überlegungen zu berücksichtigen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass auch in Hinweiszonen (gelbe und gelb-weiss gestreifte Gebiete) grosse Sachrisiken schon mit einfachen und kostengünstigen Massnahmen gemindert werden können. Personenrisiken können in diesen und anderen Zonen mit organisatorischen Massnahmen reduziert werden (s. Abschnitt 3.3). Diese Massnahmen verursachen relativ geringe Kosten, aber sie haben eine grosse Wirkung.

Die Gefahrenstufen sind primär auf die Konsequenzen für die bauliche Nutzung abgestimmt. Sie sollen die Gefährdung von Menschen vermeiden und das Ausmass von Sachschäden begrenzen. Wenn ausserhalb der Bauzone nur Gefahrenhinweiskarten zur Verfügung stehen, soll die Gefährdung bzw. die Gefahrenstufe bei Bedarf ermittelt werden (z. B. bei einem Gesuch um Ausbau). Die Gefahrenstufen sind jedoch für Freizeit- und Erholungsaktivitäten (z. B. Wanderwege, Skipisten) nicht massgebend und auch nicht direkt umsetzbar. Im Fall einer Gefährdung wird dort der Handlungsbedarf primär mit Risikoanalysen geprüft.

Im Baubewilligungsverfahren prüfen die zuständigen Behörden, ob bei einem Bauvorhaben die massgebenden Vorschriften eingehalten werden. Dazu zählen auch die Bestimmungen über den Schutz vor Naturgefahren. Mögliche bauliche Auflagen zur Schadenprävention bei Massenbewegungsgefahren sind im Anhang aufgelistet. Für Zusatzinformationen und mögliche Auflagen bei anderen Gefahrenprozessen wird auf die Publikation ARE et al. (2005) verwiesen (siehe auch SIA-Normen und Egli 2005).

Weitere Informationen

- > *Raumplanung und Naturgefahren (ARE et al. 2005)*
- > *SIA-Norm 261*
- > *Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005)*

Schutzwaldpflege und waldbauliche Massnahmen

Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst unter anderem waldbauliche Massnahmen (Art. 17 Abs. 1 Bst. a WaV). Der Wald schützt Menschen und Sachwerte vor Na-

tur gefahren, indem er die Gefahrenprozesse verhindert oder deren Einfluss reduziert. Die Schutzwaldpflege stützt sich auf die Annahme, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen Risikominderung und Waldzustand gibt. Der angestrebte Waldzustand orientiert sich an den Kenntnissen über die Naturgefahren und über die lokalen Standortverhältnisse.

Die Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS, Frehner et al. 2005) gibt für alle Naturgefahrenprozesse Auskunft über die Möglichkeiten und Anforderungen an den Schutzwald.

Weitere Informationen

- > *NaiS / Frehner et al. 2005, Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS); www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Umgang mit Naturgefahren > Massnahmen > Schutzwald > NaiS*
- > *SilvaProtect CH: Schutzwald in der Schweiz; www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahrengrundlagen > SilvaProtect-CH*

4.6 Bauliche Massnahmen bei Sturzprozessen

Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst Steinschlag- und Felssturzverbauungen, Auffangwerke sowie die vorsorgliche Auslösung von absturzgefährdetem Material (Art. 17 Abs. 1 Bst. e WaV). Allgemein kann gesagt werden, dass bei den fünf verschiedenen Sturzprozessen (Stein- und Blockschlag, Felssturz, Bergsturz, Einsturzprozesse) die Anzahl der möglichen Massnahmen mit der Grösse der bewegten Masse abnimmt (Abb. 16). Gegen Bergstürze können kaum wirkungsvolle bauliche Massnahmen ergriffen werden. Ebenso verhält es sich bei den Einsturzprozessen in verkars-teten Gebieten.

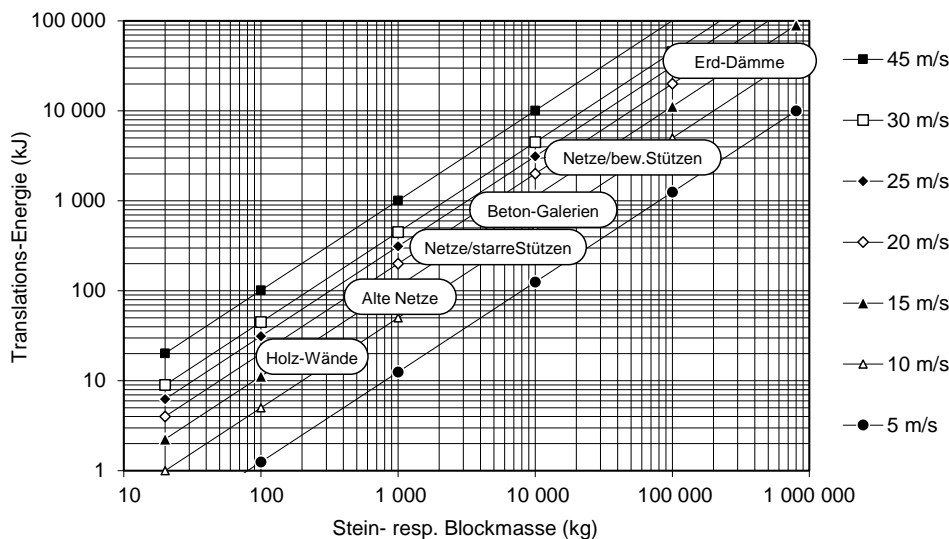
Hingegen können bei drohenden Felsstürzen einzelne Massnahmen ergriffen werden, um die zu erwartenden Schäden etwas zu verringern.

Die Grundlagen der Massnahmenplanung bilden die Angaben über die Bewegungsformen, Sprunghöhen, Massen, Blockgrössen, Geschwindigkeiten und Energien der Sturzkomponenten. Ebenso müssen die Sturzbahnen, bzw. Trajektorien räumlich bekannt sein. Die Gefahrenkarte enthält unvollständige Angaben zur Dimensionierung von Schutzbauten, da sie primär die Energien der Sturzkörper sowie die Umhüllende der möglichen Sturzbahnen abbildet. Mit der maximalen kinetischen Energie allein kann kein Entscheid über die Realisierung einer Massnahme getroffen werden. Zu den genannten Parametern müssen auch andere Faktoren wie Zugänglichkeit, Platzverhältnisse und Unterhalt berücksichtigt werden. Eine massgebende Rolle spielen auch die Baukosten.

Die Möglichkeiten der Massnahmen sind aufgeteilt nach der Prozessabfolge: Anrissgebiet (Abschnitt A), Transitgebiet und Ablagerungsgebiet (Abschnitt B), sowie Objektschutz (Abschnitt C).

Abb. 16 > Translationsenergie bei Sturzprozessen und Einsatz der möglichen Sanierungsmethoden

Die kinetische Energie setzt sich aus der Translationsenergie und der Rotationsenergie zusammen, welche vielfach zirka 20 % der Translationsenergie ausmacht. In der Abbildung ist die Translationsenergie dargestellt, da diese sich aus den Geschwindigkeiten und der Masse der Steine und Blöcke berechnen lässt. Im Diagramm eingetragen sind die maximalen Rückhaltekräfte von Schutzmassnahmen.



Für die Dimensionierung der Schutzwerke gelten die gängigen Regeln der Baukunst, vor allem die SIA-Normen. Bei einzelnen Typen muss die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit in allen Teilbereichen nachgewiesen werden, bei anderen nicht. Beispielsweise müssen Schutzgalerien nach der Richtlinie des Bundesamtes für Strassen (ASTRA 2008) bemessen werden. Nach dieser Richtlinie muss aus der kinetischen Energie des massgebenden Blockes eine statische Ersatzlast gerechnet werden, mit der die Galerie in allen Teilbereichen bemessen wird. Die eingesetzten flexiblen Schutznetze müssen für den Qualitätsnachweis über ein offizielles Zertifikat verfügen. Die Einkäufer und Anwender müssen bei der Auftragsvergabe die Anforderungen an die Schutznetze, deren Montage, die Verankerungen und die Fundamente festlegen. Die Kräfte in den Tragseilen sind generell mit einem Zuschlag von 30 % zu erhöhen und diese erhöhten Kräfte sind als statische Ersatzlasten zur Bemessung der Fundamente und Verankerungen zu verwenden. Trotz der Zuschläge in der Dimensionierung sind in jedem Fall die Folgen des Überlastfalls zu prüfen. Dies ist mit der Heterogenität des Gesteins, möglicher grösserer Sturzmassen und entsprechenden Unsicherheiten begründet (s. Abschnitt 2.11). Für Schutzwerke im hochalpinen Prozessbereich sind die Empfehlungen bezüglich des Bauens im Permafrost zu berücksichtigen (Bommer et al. 2009).

A Massnahmen im Anrissgebiet

Im Anriss- oder Entstehungsgebiet von Stein- und Blockschlag können folgende Massnahmen unternommen werden, um die Gefahren zu reduzieren:

- > Waldbauliche und biologische Massnahmen
- > Felsräumung, Sprengung
- > Abdeckung, Drahtnetze
- > Vernagelung, Verankerung, Pfeiler, Unterfangung

B Massnahmen im Transit- und Ablagerungsgebiet

- > Waldbauliche und biologische Massnahmen, Querlegen von gefällten Bäumen («Querfällung»)
- > Schutzwände mit Stahlstützen, Steinschlagnetze, Schutzgalerien, Schutzdämme

C Massnahmen als Objektschutz

Hauptsächlich werden Massnahmen in die bestehende Gebäudestruktur integriert (Massnahmen am Objekt). Die Verstärkung von Hausmauern ist eine gängige Massnahme, wobei gleichzeitig die Öffnungen von Fenstern und Türen eliminiert oder verstärkt werden müssen. Je nach Definitionen werden teilweise auch objektbezogene Netze, Mauern und Dämme zum «Objektschutz» gezählt.

4.7

Bauliche Massnahmen bei Gleitprozessen

Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst den Rutsch- und Rufenverbau, Entwässerungen, Auffangwerke sowie den Erosionsschutz (Art. 17 Abs. 1 Bst. d und e WaV). Gleitprozesse sind sehr vielfältig in ihrer Gründigkeit, Breite, Länge und Steilheit. Die geologischen, hydrogeologischen und topographischen Bedingungen in Rutschungen sind ebenfalls heterogen. Es gibt deshalb unterschiedliche Sanierungsmöglichkeiten, die im Bedarfsfall entsprechend den Standortbedingungen eingesetzt werden. Eine Übersicht der möglichen eingesetzten Massnahmen zur Verbesserung von Standfestigkeit und Dichtigkeit gibt folgende Liste (verändert nach Reuter et al. 1992):

- > Entwässerungen, Drainagen an der Oberfläche und im Untergrund (gravitativer Abfluss des Wassers oder mittels Pumpen), Ableitung von Oberflächenwasser im Zuströmbereich, Minimierung der Infiltration
- > Konstruktive mechanische Massnahmen:
 - Stützkonstruktionen (z. B. Stützmauern, Holzkasten für flach- und mittelgründige Rutschungen)
 - Verankerungen, Vernagelungen, Verdübelungen, Pfähle, Mikropfähle
 - Geotextilien
 - Vernetzung und Verhängung
 - Oberflächenversiegelungen
- > Topographische Veränderungen im Anriss (Entlastung) und an der Rutschfront (z. B. Bremswirkung)

- > Verbesserung der Gesteinseigenschaften mittels Materialersatz
- > Waldbauliche Massnahmen, Ingenieurbiologische Böschungssicherung, Erosionsschutz (z. B. in Gewässern)

Bei kleineren Rutschmassen kommen konstruktive Massnahmen häufig zum Einsatz. Diese Methoden sind im Ingenieurwesen sowie in der Geotechnik verbreitet und werden in der einschlägigen Literatur erläutert. Die Planung von Massnahmen setzt voraus, dass die Dimension der instabilen Masse, insbesondere die Tiefe der Gleitfläche, die Gesteinseigenschaften und die hydrogeologischen Verhältnisse bekannt sind. Diese Angaben fehlen in der Regel in der Gefahrenkarte und müssen für die Planung von Massnahmen auf der Stufe M3 erhoben werden. Zudem müssen Bewegungen räumlich und zeitlich mit hoher Genauigkeit differenziert werden. Sind die Angaben ungenau oder falsch, so besteht das Risiko, dass die Massnahmen ungenügend oder überdimensioniert sind. Im ersten Fall entstehen zu einem späteren Zeitpunkt Kosten durch Schäden, im zweiten Fall sind die Kosten bereits beim Bau zu hoch.

Konstruktive mechanische Massnahmen im Anrissgebiet werden insbesondere bei Felsrutschungen im Bedarfsfall grossflächig eingesetzt, falls die Wirkung ausreichend und die Kostenwirksamkeit positiv sind. Anker und Felsnägel können punktuell oder flächig versetzt werden. Kurze Nägel und Verdübelungen mit Stahlrohren werden eher bei flach- bis mittelgründigen Instabilitäten eingesetzt. Man unterscheidet vorgespannte und ungespannte Ankertypen. In einfachen Situationen ohne grosse Verschiebungen werden ungespannte Anker verwendet (auch «schlaffe» Anker genannt). Die Kräfte werden in diesem Fall erst nach kleinen Bewegungen, die nach dem Einbau stattfinden, aufgenommen. Vorspannte Verankerungen kommen zum Einsatz, wenn die Bewegungen ganz verhindert werden. In Abhängigkeit der Gesteinseigenschaften werden die Ankerköpfe bei Bedarf mit bewehrten Betonplatten und -riegeln verstärkt. Die auf die Anker wirkenden Kräfte sollen periodisch überprüft werden (Überwachung, s. Abschnitt 4.10).

In Rutschgebieten aller Grössen sind Drainagen eine häufige Option in der Massnahmenplanung. Damit sind alle Arten von Entwässerungen in Rutschgebieten gemeint. Zahlreiche Methoden und Techniken ermöglichen es, die hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse zu beeinflussen, um die Hangstabilität zu verbessern. Sie können aufgrund des Bereiches eingeteilt werden, in welchem sie ihre Wirkung entfalten: an der Oberfläche (z. B. offene Sammelgräben für das Oberflächenwasser), in geringer Tiefe (z. B. Drainagegräben) und schliesslich in grösserer Tiefe (z. B. Stollen mit strahlenförmig angelegten Drainagebohrungen, Filterbrunnen; Abb. 17). Auch der Wald beeinflusst die Fliessverhältnisse und kann bei einer Sanierung eine wichtige Rolle spielen.

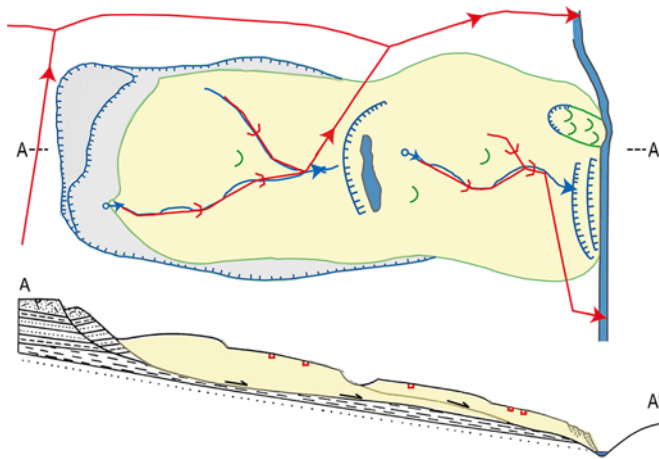
Drainagen

Ausführliche technische Erläuterungen zu den Anforderungen und Möglichkeiten von Drainagen gibt der Leitfaden des BAFU «Rutschungen: Hydrogeologie und Sanierungsmethoden durch Drainage» (Parriaux et al. 2010). In der Folge werden nur die Grundsätze der typischen Einsatzmöglichkeiten aufgeführt.

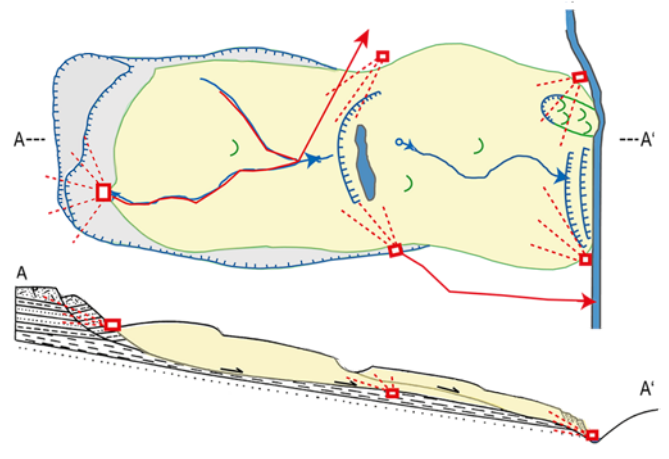
Abb. 17 > Vergleichendes Schema der wichtigsten hydrogeologischen Sanierungsmethoden

Grundriss (oben) und Längsschnitt (unten). Schematische Darstellung, Bauwerke z. T. in die Achse projiziert und im Grundriss D ist das Stollenbauwerk schematisch auf die Rutschoberfläche gezeichnet.

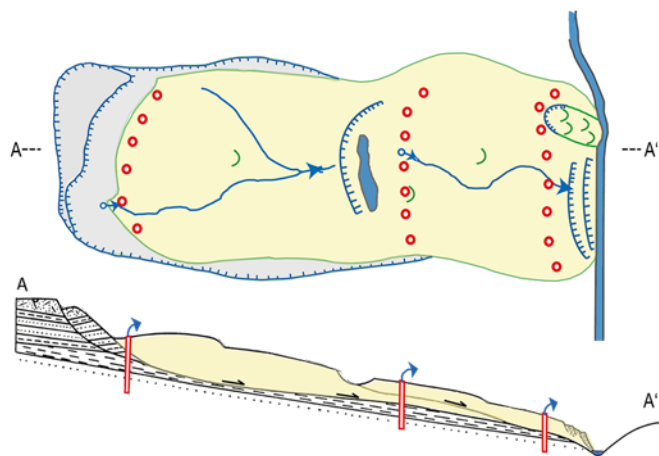
A: Offene Sammelgräben für das Oberflächenwasser



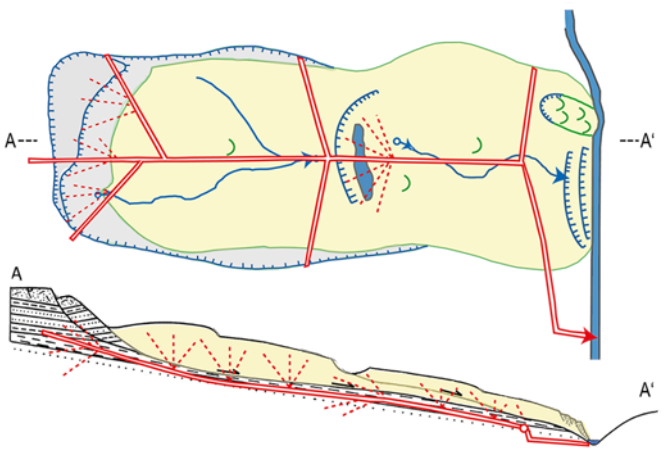
B: Subhorizontale Drainagebohrungen zur Entwässerung mittels Schwerkraft



C: Schirm aus vertikalen Filterbrunnen



D: Stollen mit strahlenförmig angelegten Drainagebohrungen



geändert nach Parriaux et al. 2010

Das Prinzip der hydrogeologischen Sanierung (Drainage) besteht darin, die Fließverhältnisse künstlich zu verändern, um die bewegungsfördernden Wirkungen des Wassers zu reduzieren und die bewegungshemmenden Kräfte zu erhöhen. Dieses Resultat lässt sich mit zwei Mitteln erreichen:

- > Mittels Verringerung des Zuflusses zum Untergrund durch eine Reduktion der Versickerung an der Oberfläche, an den Seiten oder unter der Gleitmasse
- > Mittels verschiedener Drainagetechniken, welche den Grundwasserspiegel und den Porenwasserdruck in der instabilen Masse und/oder im Untergrund absenken

Allgemein wirken alle Drainagemassnahmen auf eine Stabilisierung des Hanges hin. Drainagen können aber auch weniger erwünschte Nebeneffekte zur Folge haben, wie

Grundsätze der hydrogeologischen Sanierung

Setzungen, lokale Zunahme der Perkulationskräfte, Versiegen von Quellen, Trockenlegen von unter Umständen geschützten Feuchtgebieten oder von Bächen. Die Wahl der angepassten Drainagetechnik ist eine komplexe Entscheidung, welche von mehreren Faktoren abhängt, insbesondere von:

- > Der Grösse und Geometrie des zu stabilisierenden Rutschkörpers
- > Den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen
- > Der erforderlichen Zeit für eine Umsetzung der Massnahmen und für die Erreichung der Wirkung im Rutschkörper
- > Der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der Methode
- > Den Zufahrtsmöglichkeiten und Platzverhältnissen
- > Den Auswirkungen auf die Umwelt
- > Den Risiken (Schadenpotenzial)
- > Den Unterhaltskosten (langfristig)
- > Den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln

4.8

Bauliche Massnahmen bei Fliessprozessen

Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst den Rutsch- und Rufenverbau, Entwässerungen, Auffangwerke sowie den Erosionsschutz (Art. 17 Abs. 1 Bst. d und e WaV). Der Schutz vor Hangmuren kann analog zu den Sturzereignissen (Abschnitt 4.6) in Massnahmen im Anrissgebiet, im Transit- und Ablagerungsgebiet sowie in den Objektschutz gegliedert werden. Eine weitere Unterscheidung wird bezüglich der Bewegung der Fliessmasse gemacht: Ablenkende Massnahmen beeinflussen hauptsächlich die Fliessrichtung, während bremsende (resp. stoppende für kleine Volumen) Massnahmen die Fliessgeschwindigkeit ändern (Anprall). Für die Planung von bremsenden und ablenkenden Schutzbauten müssen folgende Parameter von Hangmuren bekannt sein: Fliessgeschwindigkeit, Fliesshöhe, Fliessrichtung, Volumen, Materialeigenschaften (z. B. Dichte, Korngrösse, Blockgrösse) und der Einfluss von Holz.

A Massnahmen im Anrissgebiet

Diese Massnahmen dienen der Stabilisierung und sind grundsätzlich mit den Massnahmen gegen flachgründige Rutschungen vergleichbar.

B Massnahmen im Transit- und Ablagerungsgebiet sowie Objektschutz

Im Transit- und Ablagerungsbereich werden grundlegend verschiedene Massnahmentypen unterschieden:

- > Schutz durch Rückhalt der Masse oberhalb des Schadenpotenzials (z. B. mit Hangmurennetzen oder Damm)
- > Schutz gegen Aufprall der Hangmure auf Gebäude (z. B. mit Mauer oder Damm)
- > Ablenkung der Hangmure durch Spaltkeil, Ablenkmauer oder -damm

Der Objektschutz beinhaltet alle baulichen Massnahmen, die ein einzelnes Gebäude schützen. In diese Kategorie gehören auch bauliche Massnahmen am Gebäude.

4.9 Überlastfall

Der Überlastfall tritt ein, wenn der Naturgefahrenprozess die Schutzbaute, bzw. das Schutzsystem im Verbund überlastet. In diesem Fall übersteigt das Ereignis die Dimensionierungsgrösse. Bei den Sturzprozessen ist dies beispielsweise eine grössere Energie als der Bemessungswert der Schutznetze oder ein höherer Sprung. Eine Überlastung kann auch eintreten, wenn eine Massnahme nicht wie angenommen wirkt.

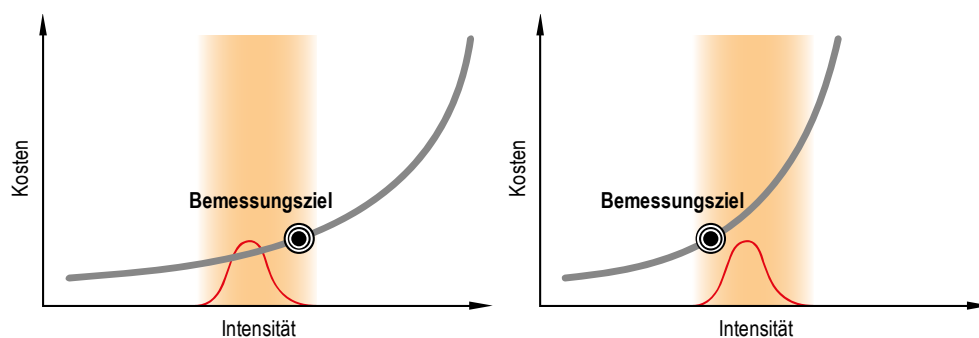
Die Planung von Schutzmassnahmen hat die vorhandenen Unschärfen und Unsicherheiten zu berücksichtigen: Prozessdynamik, unerwartete Abläufe, Modellierungsergebnisse, Reaktion des Schutzsystems auf eine Belastung, sukzessive Ereignisse, usw. All diese Unsicherheiten können bei der Optimierung von Schutzmassnahmen berücksichtigt werden. Die Dimensionierung von Schutzbauten basiert auf den massgebenden Szenarien (s. Abschnitt 2.10) und erfolgt für das sogenannte Bemessungsereignis.

Bei den Wassergefahren werden die Werte aus der Hochwasserstatistik und bei den Lawinengefahren diejenigen der Schneehöhenstatistik verwendet. Bei den Massenbewegungen sind hingegen die Wahl des massgebenden Szenarios, die Schutzziele und das Ausmass der Risikoreduktion ausschlaggebend. Die Bemessung und Auslegung muss auch die möglichen Konsequenzen, bzw. die zu erwartenden Schäden berücksichtigen (Risiko).

Führt die grosszügige Dimensionierung nicht zu wesentlichen Mehrkosten, so sind Massnahmen bzw. Massnahmenkonzepte auf eine Belastung auszulegen, die eher am oberen Rand des Unschärfespektrums liegen (Abb. 18, links). Nehmen die Kosten innerhalb des Unschärfebereichs jedoch sprunghaft zu, sollte die Bemessung eher auf einer Belastung basieren, die am unteren Rand des Spektrums liegt (Abb. 18, rechts). Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass neben der Intensität auch die Wahrscheinlichkeit mit Unschärfen behaftet ist.

Abb. 18 > Auslegung einer Massnahme unter Berücksichtigung des Unschärfespektrums

Die Häufigkeitsverteilung und der farblich hinterlegte Bereich kennzeichnen das Unschärfespektrum der für die Bemessung massgeblichen Intensität. Links: Auslegung auf den oberen Rand des Unschärfespektrums bei moderater Kostenentwicklung. Rechts: Auslegung auf den unteren Rand des Unschärfespektrums bei starker Zunahme der Kosten.



Können die Schutzziele mit den realisierten Schutzbauten nicht erreicht werden, so wird die Sicherheit mit weiteren Massnahmen gemäss dem integralen Management erhöht: Überwachung, organisatorische und planerische Massnahmen (s. Kapitel 3 und Abschnitte 4.1, 4.4, 4.10 ff.). Während der Massnahmenplanung wird somit die optimale Kombination gesucht. Alle Massnahmen sollten zudem so konzipiert sein, dass sie mit verhältnismässigen Mitteln an neue Randbedingungen angepasst werden können – etwa an durch den Klimawandel verursachte Ereignisse von grösserem Ausmass.

In jedem Fall ist darzulegen, was bei einer Überlastung der Schutzsysteme passiert. Schutzbauten dürfen bei Ereignissen, die die Dimensionierungsgrösse übertreffen, nicht kollapsartig versagen, weil dies zu unkontrollierten Prozessen und sprunghaftem Anwachsen der Schäden führt. Bestehende und geplante Schutzbauten sind deshalb systematisch auf ihre Funktionstüchtigkeit und hinsichtlich ihres Versagens im Überlastfall zu prüfen (s. Abschnitt 2.4). Für die Schutzmassnahmen im Bereich der Massenbewegungen kann die Überlastbarkeit aber nicht immer erfüllt werden. In diesen Fällen sollen Redundanzen geschaffen oder robuste Systeme gewählt werden, die höhere Einwirkungen ohne Versagen ertragen können und eine bessere Verlässlichkeit bei starker Belastung aufweisen (z. B. Damm statt Steinschlagnetz).

Die Robustheit wird definiert als Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, Schädigungen oder ein Versagen auf Ausmasse zu begrenzen, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen (SIA 260). Konkret soll das Versagen einer Teilkomponente nicht das Versagen des Gesamtsystems zur Folge haben. In der Planungsphase ist deshalb darauf zu achten, dass kurzfristige und relevante Schädigungen oder ein Totalversagen bei der Einwirkung von Naturgefahrenprozessen nicht auftreten können. Aufgrund von technischen und finanziellen Rahmenbedingungen kann es sinnvoll sein, ergänzende Massnahmen oder redundante Systeme zu planen, um das Ausmass der Schäden zu minimieren.

Zudem können organisatorische Massnahmen die Personenrisiken markant reduzieren oder eliminieren, wenn gefährliche Massenbewegungen drohen (s. Abschnitt 4.10). Diese Systeme können die anderen Massnahmen ergänzen, um die verbleibenden Risiken zu begrenzen und auf ein akzeptierbares Mass zu reduzieren. Trotz all dieser Möglichkeiten erreichen planerische Massnahmen das grösste Mass an Sicherheit und Nachhaltigkeit, wenn die Flächen und Korridore, die im Überlastfall betroffen sind, freigehalten oder sogar freigemacht werden (Art. 17 Abs. 3 WaV).

4.10 Organisatorische Massnahmen und Notfallplanung

Wo es der Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten erfordert, errichten die Kantone Frühwarndienste. Sie sorgen für den Aufbau sowie den Betrieb der dazugehörigen Messstellen und Informationssysteme (Art. 16 Abs. 1 WaV). Wir werden wohl nie in der Lage sein, uns vor Massenbewegungsgefahren vollumfänglich zu schützen. Das Gefahrenpotenzial ist weder gänzlich überschaubar noch völlig kontrollierbar. Naturereignisse können die in der Massnahmenplanung berücksichtigte Intensität übersteigen, sich an Orten ereignen, wo bisher nicht mit Gefahren gerechnet wurde oder genutzte Räume betreffen, die nicht gesichert sind.

Ziel der organisatorischen Massnahmen ist es, das Ausmass und die Dauer einer Krisensituation zu begrenzen. Dazu gehören die Überwachung, der Frühwarndienst, die Alarmierung, die rechtzeitige Auslösung der vorbereiteten Interventionsmassnahmen, die Rettung und die Opferbetreuung. Im Weiteren braucht es unmittelbar vor und während dem Ereignis Sofortmassnahmen. Die Vorbereitung sowie die Umsetzung der Bewältigungsmassnahmen fallen prinzipiell in den Verantwortungsbereich der Naturgefahrenspezialisten, der Führungs- und der Interventionskräfte. Der Bevölkerungsschutz umfasst die folgenden Partnerorganisationen: Polizei, Feuerwehr, Gesundheitswesen, technische Betriebe und Zivilschutz. Eine erfolgreiche Bewältigung setzt voraus, dass der Einsatz und die Zusammenarbeit reibungslos funktionieren.

Ein baulicher Schutz vor Massenbewegungen ist aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht in jedem Fall möglich, was insbesondere bei grossen Gesteinsmassen eintreffen kann. Wird für die Gefahrengebiete deshalb kein vollständiger Schutz gewährleistet, so können Überwachungs-, Alarm- und Warnsysteme den Schutz von Personen trotzdem kosteneffizient gewährleisten.

Vor der Erstellung eines Überwachungssystems braucht es gute Gefahrengrundlagen. Im Fall von fehlenden Gefahrengrundlagen müssen zuerst die Prozesse, Gefahren und Risiken analysiert werden.

Die Erstellung von Überwachungssystemen zur Warnung und Alarmierung muss stufengerecht angepasst und aufgebaut werden. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte und die zu berücksichtigenden Kriterien beschrieben.

4.10.1 Frühwarnsysteme

Der Schutzanspruch und das Ziel der Überwachung müssen zu Beginn festgelegt werden, weil das Messkonzept dadurch massgebend beeinflusst wird. Periodische Messungen dienen oft einer Überwachung und gleichzeitig auch dem Prozessverständnis. Die Entwicklung von Gleitprozessen kann oft mit periodischen Messungen überwacht werden, wenn man davon ausgeht, dass genügend Reaktionszeit für weitere Massnahmen vorhanden ist (z. B. Evakuation). Bei brutalen und schnellen Prozessen ist die Reaktionszeit (oder Interventionszeit) klein, sodass man mittels permanentem Alarmsystem die Gefahrenstellen überwacht.

Entsprechend der Zielsetzung können demzufolge vier Stufen der Überwachung definiert werden. Vor der Einrichtung von Warn- oder Alarmsystemen muss das Verständnis der Gefahrenprozesse vorhanden sein. Deshalb ist die erste Stufe hinsichtlich der Gefahrenbeurteilung zwingend. Anschliessend wird entschieden, ob die Stufen 2, 3 oder 4 realisiert werden. Die Anzahl Messungen nimmt mit jeder Stufe zu:

Tab. 3 > Stufen der Überwachung

Stufe	Ziel, Art	Erhebungshäufigkeit
1.	Prozessverständnis verbessern, Gefahrenbeurteilung	einmal bis mehrmals
2.	Prozessentwicklung verfolgen, bzw. überwachen	periodisch*
3.	Früherkennung, Warnsystem**	periodisch*, häufig
4.	Permanente Überwachung, Alarmsystem**	permanent***

* Mögliche Intervalle bei periodischen Messungen: Tage, Monate, Jahr, (Jahre). Die Intervalle können regelmässig oder unregelmässig sein. In bestimmten Situationen kann ein vorgegebenes Messintervall verkürzt werden (nach Niederschlägen, Unwettern, usw.).

** Frühwarnsysteme umfassen Warnsysteme und Alarmsysteme (engl. Early Warning System). Sie sind Teil eines Sicherheitskonzepts.

*** Permanente Überwachung und Echtzeitübertragung für die Alarmierung (Alarmsysteme). Eine permanente Überwachung mit schneller Übertragung («Echtzeit», «Real time») braucht es insbesondere dann, wenn ein spontanes Versagen möglich ist. Prinzipiell können dabei der Erstprozess («first move», z. B. Felssturz) und/oder der Zweitprozess («second move», z. B. Murgang) überwacht werden.

Nach der Festlegung der Überwachungsstufe braucht es ein Messkonzept, in welchem die Möglichkeiten von Messungen an der Erdoberfläche und im Untergrund evaluiert werden. Es ist möglich, dass die Stufen eins bis vier nacheinander geplant und ausgeführt werden. Eine Auswahl möglicher Parameter, die im Überwachungskonzept integriert werden können, ist nachfolgend aufgeführt:

- > Verschiebung, Deformation. Hinweis zu abgeleiteten Produkten: Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Differentialbewegungen werden basierend auf der Verschiebung berechnet
- > Meteorologische Parameter (Niederschlag, Temperatur, usw.)
- > Wassermessungen (Wasserdruck, Wasserstand, Fliessgeschwindigkeit, usw.)
- > Geophysikalische Messungen (mikroseismische, akustische Messungen, usw.)
- > Weitere Parameter des Gesteins oder der Gefahrenprozesse

Die Wahl der Methoden bzw. der Messtechnik ist von zentraler Bedeutung. Es stellt sich die Frage, ob sich die Methoden für zuverlässige, präzise, permanente, langfristige, flächige oder linienförmige Überwachungen eignen. Die Vor- und Nachteile müssen vorgängig in Bezug auf die Zielsetzung und die Nachhaltigkeit evaluiert werden. Grundsätzlich können drei räumliche Arten von Messmethoden zur Überwachung von Massenbewegungen unterschieden werden:

a) Punktmessungen:

Beispiele: Extensometer zur Spaltenmessung, GPS.

b) Messungen entlang einer Linie oder einem Profil:

Linien- und Profilmessungen können an der Oberfläche oder im Untergrund wie beispielsweise im Bohrloch eingesetzt werden. Messungen in Bohrlöchern sind von grosser Bedeutung, weil damit Veränderungen oder Deformationen im Untergrund zuverlässig erfasst werden können. Beispiel: Inklinometer in einem Bohrloch.

c) Flächendeckende Messungen:

Der Vorteil von flächendeckenden Messungen ist die räumliche Auflösung (bzw. Abdeckung). In Gebieten, in denen Prozess-Ausdehnung und -Aktivität unbekannt sind, ist dies von grosser Bedeutung. Beispiele: LIDAR, INSAR, Bildaufnahmen (Satelliten-, Luft- oder Bodenaufnahmen möglich).

Die Kombination von mehreren Methoden kann sinnvoll sein, wenn Punkt-, Linien- und Flächeninformationen von Interesse sind. Sie ist auch notwendig, wenn räumlich unterschiedliche Analysen anstehen oder wenn hohe Ansprüche an die Überwachung gestellt werden (z. B. bei notwendiger Redundanz).

Genauigkeit der Messungen

Die Anforderungen an die Genauigkeit müssen vorgängig festgelegt werden. In Folge dessen müssen die technischen Eigenschaften der Messgeräte, bzw. die Eigenschaften des Überwachungssystems hinsichtlich der Genauigkeit bekannt sein. Bei Verschiebungsmessungen kann die Genauigkeit im Submillimeter- bis Dezimeterbereich liegen. Bei der Gefährdung durch Felsstürze ist in der Regel eine Genauigkeit im Millimeterbereich notwendig. Die Messgeräte müssen auf ihre Genauigkeit überprüft werden (Kalibrierung).

Am Anfang einer neu installierten Überwachung braucht es eine Phase der Überprüfung, um das System, die Messvariabilität, die natürlichen Veränderungen und deren Einfluss kennenzulernen (sogenannte «Kalibrierungsphase»). Erst danach sollten sicherheitsrelevante Interpretationen gemacht und Schwellenwerte festgelegt werden. Während der Auswertung und der Interpretation werden verschiedene Fragen behandelt:

- > Wie ist die Entwicklung der Verschiebungen? Dynamik, Bewegungsverhalten, Beschleunigungen und Trends?
- > Sind äussere Einflüsse wie Niederschlag oder Temperatur relevant?
- > Sind Indizien für Versagensmechanismen feststellbar?

Die Interpretation der Daten und der Dynamik der Massenbewegungen ist die Grundlage für die Gefahrenbeurteilung. Sie ermöglicht eine Überprüfung der Szenarien und des Frühwarnsystems.

Das Überwachungskonzept soll überprüft werden, wenn das Risiko ändert oder wenn zu grosse Unsicherheiten bestehen bleiben. Die Daten, die Grenzwerte und das System müssen auf ihre Zuverlässigkeit überprüft werden. Dazu gehören statistische Datenauswertungen und Fehleranalysen (z. B. Standardabweichung).

Die Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen kann in drei Kategorien bewertet werden:

1. Technische Zuverlässigkeit (Geräte, Komponenten, Systemaufbau)
2. Zuverlässigkeit der Daten in Bezug auf die Warnung vor Naturgefahrenprozessen (Relevanz)
3. Zuverlässigkeit von Personen (Experten, Sicherheitsverantwortliche, usw.)

Die Zuverlässigkeit von Personen ist primär bei Warnsystemen, die einen Entscheid für die Intervention voraussetzen, relevant. Dazu gehören die Interpretationsqualität und die Leistungsfähigkeit der Experten im Ereignisfall. Die Neigung dieser Personen, mehr oder weniger Risiko einzugehen, beeinflusst die Sicherheit. Im Ereignisfall muss

Auswertungen und Interpretationen

Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen

auch die Zuverlässigkeit von weiteren Personen mit Entscheidungskompetenz vorausgesetzt werden (Sicherheitsverantwortliche, Gemeindeführungsorgan, usw.).

Bei der Daten- und Messnetzbeurteilung stellt sich die Frage, ob die Anzahl der Messpunkte und -parameter angemessen ist. In der Beurteilung kann resultieren, dass relevante Punkte fehlen und gleichzeitig unwichtige Punkte gemessen werden. Zudem soll auch die Messfrequenz überprüft werden.

Die Gebrauchstauglichkeit und die Verfügbarkeit eines Frühwarnsystems müssen gewährleistet sein, zudem ist eine ausreichende Dauerhaftigkeit anzustreben. Während der Betriebsphase muss die Zuverlässigkeit regelmässig überprüft werden: Zuverlässigkeit des Systems, (Funktionstüchtigkeit der Messgeräte, Datenübertragung, Datensicherung, Notstromversorgung, usw.); Einwirkungen durch Naturgefahren (Steinschlagtreffer, Blitzschlag, usw.); Einwirkungen durch Menschen oder Tiere (Beschädigungen, usw.). Zur Erfüllung der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit sind Redundanzen notwendig.

Eine Warnung oder Alarmierung ist an eine Entwicklung, d. h. an einen Prozess gebunden. Das sind beispielsweise Warnungen vor Hochwassern, Lawinen oder Felsstürzen. Diese Prozesse haben eine zeitliche und eine räumliche Dimension. Demzufolge sind Warnungen einerseits auf einen bestimmten Raum bezogen, beispielsweise lokal, regional, national oder international. Andererseits unterscheiden sich die Prozesse und deren Entwicklung stark im zeitlichen Verlauf. Bei einem drohenden Felssturz geht es um Sekunden oder Minuten. Brechen Murgänge im instabilen periglazialen Lockergestein aus, so stehen meistens mehrere Minuten zur Verfügung. Im Falle einer Hochwassergefahr für Städte wie Bern, Basel oder Budapest verbleibt beispielsweise mehr Zeit für die Warnung (Stunden bis Tage).

Warnung

Für die lokale Alarmierung sind grundsätzlich die lokalen Behörden zuständig. In bekannten Gefahrengebieten sind speziell ausgebildete Teams für die Warnung und Alarmierung verantwortlich. Diese Teams beziehen ihre Informationen von eigenen Überwachungssystemen und von den nationalen Institutionen. Die Grenzwerte sind für Massenbewegungen fallweise festzulegen. Bei drohender Felssturzgefahr werden oftmals Grenzwerte im Millimeter- oder Zentimeterbereich festgelegt. Handelt es sich um Rutschungen im Lockergestein, so liegen die Grenzwerte i. d. R. höher.

Ein Sicherheitskonzept dient einer Behörde oder einer Institution zur Vorbereitung auf ein Naturgefahrenereignis. Das Sicherheitskonzept regelt unter anderem die Zuständigkeiten bei Warnungen und Alarmierungen. Folgende Personen und Organisationen können involviert sein:

- > Naturgefahrenspezialist
- > Sicherheitsverantwortlicher, Sicherheitsdienst, Naturgefahrenberater¹
- > Gefahrenkommission, Warnkommission, Warndienst¹
- > Gemeindeführungsstab, kommunale Exekutive

¹ (mögliche Stufen/Einheiten: Gemeinde, Betrieb, Kanton)

- > Einsatzkräfte des Bevölkerungsschutzes (Polizei, Feuerwehr, Gesundheitswesen, Zivilschutz, technische Dienste)
- > Kantonale Fachstelle, kantonaler Führungsstab
- > Bundesstelle, Dritte

Die Wirkung von diesen Schutzmassnahmen ist auch von der individuellen Reaktion der gefährdeten Personen abhängig. Die betroffenen Personen müssen die Alarmierung empfangen und verstehen können. Bei akuter Gefährdung müssen sich diese Personen angepasst verhalten. Beispiele solcher Verhaltensvorschriften sind: Anhalten bei Rotlicht, Verlassen des gefährdeten Raumes bei Sirenenalarm, Aufsuchen des Schutzraumes (s. auch Abschnitt Notfallplanung).

Die Grenzwerte für das Frühwarnsystem werden vorgängig von Experten spezifisch für jeden Standort festgelegt. Auch das Vorgehen zum Aufheben von Alarmen muss festgelegt werden (Grenzwert, Kontrollen, Zuständigkeiten, usw.). In der folgenden Tabelle ist ein Beispiel mit drei Grenz- oder Schwellenwerten und den entsprechenden Zuständigkeiten dargestellt:

Tab. 4 > Beispiele Grenz- und Schwellenwerte

Grenzwert	Geschwindigkeit v [mm/Tag]	Personen, Zuständigkeiten
z. B. Grenzwert 1:	$v > 1$ mm/Tag Falls Gesamtverschiebung > 3 mm	→ Spezialist, usw.
z. B. Grenzwert 2:	$v > 3$ mm/Tag	→ + Gefahrenkommission
z. B. Grenzwert 3:	$v > 8$ mm/Tag oder Gesamtverschiebung > 10 mm	→ + Führungsstab, usw.

Hinweis: Es können auch mehr oder weniger als drei Grenzwerte festgelegt werden.

Weitergehende Informationen

Für die nationale Warnung sind die spezialisierten Bundesstellen zuständig (siehe dazu Alarmierungsverordnung und Bundesratsbeschluss OWARNA). Auf der «Gemeinsamen Informationsplattform Naturgefahren» (GIN) stellen die Bundesstellen den Naturgefahren-Fachleuten gemeinsam ihre Produkte zu den verschiedenen Naturgefahren zur Verfügung. Diese Produkte umfassen Messdaten, Vorhersagen, Warnungen und Bulletins.

4.10.2 Notfallplanung

Die Notfallplanung legt die notwendigen Massnahmen fest, die im Ereignisfall von den zuständigen Behörden und Einsatzkräften zu treffen sind (gem. Art. 15 Abs. 1 Bst. c WaV). Dabei geht es insbesondere darum, Menschen und allenfalls auch Nutztiere zu retten, das Ausmass der Sachschäden zu mindern, sowie Folgeschäden, die durch gefährliche Güter wie beispielsweise Chemikalien verursacht werden, zu begrenzen.

Die Kenntnis der Massenbewegungsgefahren und der entsprechenden Warn- und Alarmierungsstufen seitens der zuständigen Behörden ist dabei entscheidend (siehe vorangehende Abschnitte). Mit der Erarbeitung von Evakuations- und Interventionsplänen sowie einer entsprechenden Vorbereitung können die Folgen von gefährlichen Ereignissen zumindest gemildert werden. Neben logistischen Vorbereitungen kommt der Bestimmung von sicheren Rückzugsräumen für evakuierte Personen eine wichtige Rolle zu.

Weitere Informationen

- > Sättele M., Bründl M. 2015: *Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren.*
- > GIN (nicht öffentlich zugänglich): www.gin.admin.ch
- > OWARNA: www.planat.ch/de/behoerden/im-ereignisfall/owarna
- > Naturgefahrenwarnungen des Bundes: www.naturgefahren.ch

4.11

Periodische Überprüfung und Erfolgskontrolle

Eine Erfolgskontrolle zeigt einerseits, ob bestimmte Massnahmen ihre Ziele erreicht haben (oder eben nicht). Die periodische Überprüfung des Massnahmenkonzepts sowie der Gefahrengrundlagen ist eine Aufgabe der Behörde und ist insbesondere nach Unwetterereignissen notwendig. Andererseits liefert eine Erfolgskontrolle auch Hinweise darauf, welche Anpassungen oder Optimierungen in Zukunft möglich sind. Eine Erfolgskontrolle ist somit kein Selbstzweck, sondern Teil der Projektabwicklung. Erfolgskontrollen legen auch dar, ob die aufgewendeten Mittel optimal und zielgerichtet eingesetzt worden sind.

Mit der Überprüfung des Schutzkonzepts ist auch der Unterhalt verbunden. Alle Massnahmen müssen unterhalten werden: das trifft nicht nur für bauliche Massnahmen zu, sondern auch für planerische und organisatorische Massnahmen.

> Anhang

A1 Rechtsgrundlagen

Die Vollzugshilfe «Schutz vor Massenbewegungsgefahren» stützt sich auf eine Reihe von Bundesgesetzen und die entsprechenden Verordnungen. Nachfolgend werden die für Naturgefahren relevanten Stellen aufgelistet.

Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG, SR 700)

Art. 6: Grundlagen

² Für die Erstellung ihrer Richtpläne erarbeiten die Kantone Grundlagen, in denen sie feststellen, welche Gebiete:

c) durch Naturgefahren oder schädliche Einwirkungen erheblich bedroht sind.

Art. 15: Bauzonen

⁴ Land kann neu einer Bauzone zugewiesen werden, wenn:

a) es sich für die Überbauung eignet.

Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (WaG, SR 921.0)

Art. 1: Zweck

¹ Dieses Gesetz soll:

a) den Wald in seiner Fläche und in seiner räumlichen Verteilung erhalten;

b) den Wald als naturnahe Lebensgemeinschaft schützen;

c) dafür sorgen, dass der Wald seine Funktionen, namentlich seine Schutz-, Wohlfahrts- und Nutzfunktion (Waldfunktionen) erfüllen kann;

d) die Waldwirtschaft fördern und erhalten.

² Es soll ausserdem dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlag (Naturereignisse) geschützt werden.

Art. 19: Schutz vor Naturereignissen

Wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert, sichern die Kantone die Anrissgebiete von Lawinen sowie Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete und sorgen für den forstlichen Bachverbau. Für die Massnahmen sind möglichst naturnahe Methoden anzuwenden.

Art. 36: Schutz vor Naturereignissen

¹ Der Bund gewährt den Kantonen auf der Grundlage von Programmvereinbarungen globale Abgeltungen an Massnahmen, die Menschen und erhebliche Sachwerte vor Naturereignissen schützen, namentlich an:

- a) die Erstellung, die Instandstellung und den Ersatz von Schutzbauten und -anlagen;
- c) die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.

Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (WaV, SR 921.01)

Art. 15: Grundlagen

¹ Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen. Sie:

- a) führen Inventare über Bauten und Anlagen, die für den Schutz vor Naturereignissen von Bedeutung sind (Schutzbautenkataster);
- b) dokumentieren Schadenereignisse (Ereigniskataster) und analysieren, soweit erforderlich, grössere Schadenereignisse;
- c) erstellen Gefahrenkarten und, für den Ereignisfall, Notfallplanungen und führen diese periodisch nach.

² Bei der Erarbeitung der Grundlagen berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien.

³ Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung.

⁴ Sie stellen die Grundlagen dem Bundesamt auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.

Art. 16: Frühwarndienste

¹ Wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert, errichten die Kantone Frühwarndienste. Sie sorgen für den Aufbau sowie den Betrieb der dazugehörigen Messstellen und Informationssysteme.

² Bei der Errichtung und beim Betrieb der Frühwarndienste berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien.

³ Sie sorgen dafür, dass die Daten der Messstellen und Informationssysteme dem BAFU auf Verlangen zur Verfügung gestellt und der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich gemacht werden.

Art. 17: Sicherung von Gefahrengebieten

¹ Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst:

- a) waldbauliche Massnahmen;
- b) bauliche Massnahmen zur Verhinderung von Lawinenschäden und ausnahmsweise die Erstellung von Anlagen zur vorsorglichen Auslösung von Lawinen;
- c) begleitende Massnahmen im Gerinne, die mit der Walderhaltung im Zusammenhang stehen (forstlicher Bachverbau);
- d) den Rutschhang- und Rufenverbau, entsprechende Entwässerungen sowie den Erosionsschutz;
- e) Steinschlag- und Felssturzverbauungen, Auffangwerke sowie ausnahmsweise die vorsorgliche Auslösung von absturzgefährdetem Material;
- f) die Verlegung gefährdeter Bauten und Anlagen an sichere Orte.

² Die Arbeiten sind wenn möglich mit ingenieurbiologischen und waldbaulichen Massnahmen zu kombinieren.

³ Die Kantone sorgen für eine integrale Planung; diese berücksichtigt insbesondere die Interessen der Bewirtschaftung des Waldes, des Natur- und Landschaftsschutzes, des Wasserbaus, der Landwirtschaft und der Raumplanung.

Art. 39: Schutz vor Naturereignissen

¹ Abgeltungen an die Massnahmen und die Erstellung von Gefahrengrundlagen werden in der Regel global gewährt. Die Höhe der globalen Abgeltungen wird zwischen dem BAFU und dem betroffenen Kanton ausgehandelt und richtet sich nach:

- a) dem Gefahren- und Schadenpotenzial;
- b) dem Umfang und der Qualität der Massnahmen sowie von deren Planung.

² Abgeltungen können einzeln gewährt werden, wenn die Massnahmen:

- a) einen kantonsübergreifenden Bezug aufweisen;
- b) Schutzgebiete oder Objekte nationaler Inventare berühren;
- c) wegen der möglichen Alternativen oder aus anderen Gründen in besonderem Mass eine komplexe oder spezielle fachliche Beurteilung erfordern; oder
- d) unvorhersehbar waren.

³ Der Beitrag an die Kosten der Massnahmen nach Absatz 2 beträgt zwischen 35 und 45 Prozent und richtet sich nach:

- a) dem Gefahren- und Schadenpotenzial;
- b) dem Grad der Umsetzung einer umfassenden Risikobetrachtung;
- c) dem Umfang und der Qualität der Massnahmen sowie von deren Planung.

⁴ Wird ein Kanton durch ausserordentliche Schutzmassnahmen, namentlich nach Unwetterschäden, erheblich belastet, so kann der Beitrag nach Absatz 3 ausnahmsweise auf höchstens 65 Prozent der Kosten der Massnahmen erhöht werden.

⁵ Keine Abgeltungen werden gewährt an:

- a) Massnahmen zum Schutz von Bauten und Anlagen, die zum Zeitpunkt der Errichtung:
 - 1. in bereits ausgeschiedenen Gefahrenzonen oder bekannten Gefahrengebieten erstellt wurden, und
 - 2. nicht zwingend an diesen Standort gebunden waren;
- b) Massnahmen zum Schutz touristischer Bauten und Anlagen wie Seilbahnen, Skilifte, Skipisten oder Wanderwege, die sich ausserhalb des Siedlungsgebietes befinden.

Art. 66a: Geoinformation

Das BAFU gibt die minimalen Geodatenmodelle und Darstellungsmodelle für Geobasisdaten nach dieser Verordnung vor, für die es im Anhang 1 der Geoinformationsverordnung vom 21. Mai 2008 als Fachstelle des Bundes bezeichnet ist.

Bundesgesetz vom 21 Juni 1991 über den Wasserbau (WBG, SR 721.100)

Art. 3: Massnahmen

¹ Die Kantone gewährleisten den Hochwasserschutz in erster Linie durch den Unterhalt der Gewässer und durch raumplanerische Massnahmen.

² Reicht dies nicht aus, so müssen Massnahmen wie Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen sowie alle weiteren Vorkehrungen, die Bodenbewegungen verhindern, getroffen werden.

³ Diese Massnahmen sind mit jenen aus anderen Bereichen gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken zu beurteilen.

Art. 6: Abgeltungen an Massnahmen des Hochwasserschutzes

¹ Der Bund fördert im Rahmen der bewilligten Kredite Massnahmen, die dazu dienen, Menschen und erhebliche Sachwerte vor den Gefahren des Wassers zu schützen.

² Er leistet Abgeltungen namentlich für:

- b) die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.

Verordnung vom 2. November 1994 über den Wasserbau (WBV, SR 721.100.1)

Art. 20: Richtlinien

Das BAFU erlässt Richtlinien namentlich über:

- b) die Erstellung der Gefahrenkataster und -karten;

Art. 21: Gefahrengebiete und Raumbedarf der Gewässer

¹ Die Kantone bezeichnen die Gefahrengebiete.

³ Sie berücksichtigen die Gefahrengebiete [...] bei ihrer Richt- und Nutzungsplanung sowie bei ihrer übrigen raumwirksamen Tätigkeit.

Art. 22: Überwachung

Die Kantone überprüfen periodisch die Gefahrensituation an den Gewässern und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen des Hochwasserschutzes.

Art. 27: Grundlagenbeschaffung durch die Kantone

¹ Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen. Sie:

- a) führen Inventare über Bauten und Anlagen, die für die Hochwassersicherheit von Bedeutung sind (Schutzbautenkataster);
- b) dokumentieren Schadenereignisse (Ereigniskataster) und analysieren, soweit erforderlich, grössere Schadenereignisse;
- c) erstellen Gefahrenkarten und, für den Ereignisfall, Notfallplanungen und führen diese periodisch nach;
- d) erheben den Zustand der Gewässer und ihre Veränderung; und
- f) richten die im Interesse des Hochwasserschutzes erforderlichen Messstellen ein und betreiben sie.

² Sie berücksichtigen die vom Bund erhobenen Grundlagen und seine technischen Richtlinien.

³ Sie stellen die Daten dem BAFU auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.

**Bundesgesetz vom 1. Oktober 2010 über die Stauanlagen
(Stauanlagengesetz, StAG, SR 721.101)**

Art. 2: Geltungsbereich

¹ Dieses Gesetz gilt für Stauanlagen, die eine der folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- a) Die Stauhöhe über Niederwasser des Gewässers oder über Geländehöhe beträgt mindestens 10 m.
- b) Die Stauhöhe beträgt mindestens 5 m und die Anlage weist einen Stauraum von mehr als 50 000 m³ auf.

² Die Aufsichtsbehörde des Bundes (Art. 22) kann:

- a) Stauanlagen mit geringeren Ausmassen diesem Gesetz unterstellen, wenn sie ein besonderes Gefährdungspotenzial darstellen;
- b) Stauanlagen, für die nachgewiesen wird, dass sie kein besonderes Gefährdungspotenzial darstellen, vom Geltungsbereich dieses Gesetzes ausnehmen.

Art. 3: Begriffe

¹ Stauanlagen sind Einrichtungen zum Aufstau oder zur Speicherung von Wasser oder Schlamm. Als Stauanlagen gelten auch Bauwerke für den Rückhalt von Geschiebe, Eis und Schnee oder für den kurzfristigen Rückhalt von Wasser (Rückhaltebecken).

Art. 10: Vorkehrungen für den Notfall

¹ Die Betreiberin trifft Vorkehrungen für den Fall, dass der sichere Betrieb einer Stauanlage aufgrund von Verhaltensanomalien, Naturereignissen oder Sabotageakten nicht mehr gewährleistet ist.

² Sie muss bei einem Notfall alle erforderlichen Massnahmen treffen, um Gefährdungen von Personen, Sachen und der Umwelt zu verhindern.

Art. 12: Schutz der Bevölkerung im Notfall

¹ Bund, Kantone und Gemeinden sorgen bei einem Notfall mit Hilfe der Mittel und Strukturen des Bevölkerungsschutzes für die Verbreitung von Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung und für deren allfällige Evakuierung.

Stauanlagenverordnung vom 17. Oktober 2012 (StAV, SR 721.101.1)

Art. 1: Begriffe

¹ Eine Stauanlage besteht aus:

- a) dem Absperrbauwerk;
- b) dem zugehörigen Stauraum;
- c) den Nebenanlagen.

² Als Absperrbauwerke gelten:

- a) Beton- oder Natursteinmauern;
- b) Schüttdämme;
- c) Wehre einer Flusstauhaltung mit zugehörigen Seitendämmen.

Art. 2: Stauanlagen mit besonderem Gefährdungspotenzial

¹ Ein besonderes Gefährdungspotenzial besteht, wenn im Falle eines Bruches des Absperrbauwerks Menschenleben gefährdet oder grössere Sachschäden verursacht werden können.

² Die betroffenen Kantone melden der Aufsichtsbehörde des Bundes (Bundesamt für Energie, BFE) Stauanlagen, die aufgrund ihrer Grösse nicht dem StAG unterstehen, aber voraussichtlich ein besonderes Gefährdungspotenzial aufweisen.

Art. 3: Stauanlagen ohne besonderes Gefährdungspotenzial

¹ Die Betreiberin muss dem Antrag, ihre Stauanlage vom Geltungsbereich des StAG auszunehmen, sämtliche zur Prüfung des Gefährdungspotenzials notwendigen Unterlagen beilegen.

A2 Identifikation der Prozesse von Massenbewegungen

Um sich vor Massenbewegungen wirkungsvoll zu schützen, ist die Kenntnis der massgebenden Prozesse sehr wichtig. Jedes der Phänomene besitzt bestimmte Eigenschaften in Bezug auf die Ursachen, Bruchmechanismen, Geschwindigkeit, Dynamik, betroffenen Flächen und Volumina. Das Verständnis von Prozessen und Mechanismen erlaubt eine fundierte Gefahrenbeurteilung und bildet das Fundament der Massnahmenplanung. Die Gefahrenkarte gibt Auskunft über die Gefährdung eines Gebiets und ist als Entscheidungsgrundlage für Schutzmassnahmen erforderlich. Die Grundtypen der Massenbewegungen sollen in den folgenden Abschnitten kurz erläutert werden.

A2-1 Definition der Massenbewegungen

Das Waldgesetz behandelt die Prozesse Lawinen, Rutschungen, Erosion, und Steinschlag (Naturereignisse) (Art. 1 Abs. 2 WaG). Lawinengefahren werden nicht in dieser Vollzugshilfe behandelt. In dieser Vollzugshilfe werden sinngemäss alle Sturzprozesse berücksichtigt: Steinschlag, Blockschlag, Eisschlag, Felssturz, Bergsturz, Einsturzprozesse.

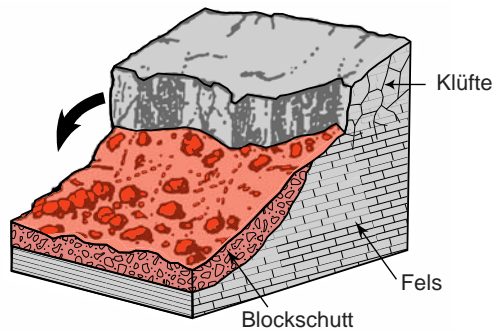
Zusätzlich zur Definition ist der Begriff des Prozesswechsels wichtig. Es können mehrere Prozesse aufeinander folgen und stets dieselbe Gesteinsmasse betreffen. Aus einer aufgelockerten Sackungsmasse können Sturzprozesse hervorgehen, welche dann nach den Kriterien der Sturzprozesse zu behandeln sind (second move). Alle Prozesse oder deren Abfolge sind für die Gefahrenbeurteilung von Bedeutung und sollen im Zusammenhang beurteilt werden (Varnes 1978, Turner & Schuster 1996).

A2-2 Sturzprozesse

Das Ablösen von Fest- und/oder Lockergestein in steilem Gelände wird als Sturzprozess bezeichnet. Das Material stürzt mehrheitlich frei fallend oder springend in die Tiefe (Abb. 19). Sturzprozesse sind schnelle Massenbewegungen und gliedern sich nach Volumen und Komponentengrösse in vier Kategorien (Tab. 5). Grösse und Form der abstürzenden Blöcke werden vor allem durch die Struktur der Felsmasse (Klüftung, usw.) bestimmt. Sind die Bruchflächen sehr aktiv und betreffen Gesteinsmassen nahe der Oberfläche, so ist der Prozess Hakenwurf möglicher Auslöser für Steinschläge und Felsstürze.

Abb. 19 > Sturzprozess

Bei Sturzprozessen ist ein Teil der Massenbewegung im freien Fall. Anschliessend folgen Sprünge und untergeordnet Rollprozesse bis zum Stillstand.



geändert nach Amanti et al. 1992

Tab. 5 > Klassifikation der Sturzprozesse nach Durchmesser und Volumen

Prozess	Durchmesser der Komponente	Volumen	Geschwindigkeit	Bemerkung
Steinschlag	<50 cm	-	<30 m/s	I. d. R. Einzelsteine pro Ereignis
Blockschlag	≥50 cm	Vol.<100 m ³	<30 m/s	I. d. R. Einzelblöcke pro Ereignis
Felssturz	-	Vol.>100 m ³ und Vol.<1 mio m ³	10–40 m/s	Felssturzmasse, i. d. R. Sturz einer Vielzahl von Fels- und Gesteinsblöcken, anschliessend Fragmentierung. Felsstürze können sich in verschiedenen Phasen ereignen (Teilabbrüche).
Bergsturz	-	Vol.>1 mio m ³	>40 m/s	Initialphase mit kompakter Bergsturzmasse. Prozessraum inkl. Ablagerungszone kann grosse Flächen betreffen.

A2-3 Gleitprozesse (Rutschungen)

Unter Gleitprozessen versteht man hangabwärts gerichtete Bewegungen von Fest- und/oder Lockergestein (sowie Bodenmaterial) auf einer Gleitfläche. In besonderen Fällen kann eine Serie von Gleitflächen innerhalb einer Scherzone von mehreren Metern auftreten. Natürliche Instabilitäten dieser Art sind in der Schweiz ausserordentlich häufig und weisen eine grosse Vielfalt von Erscheinungsformen auf. Die in jüngerer Zeit grösste Zerstörung durch eine Rutschung wurde im Jahr 1994 in Falli Hölli, Kanton Freiburg, verzeichnet, als rund vierzig Häuser und ein Hotel mit 6 Metern pro Tag Richtung Höllbach abglitten und einen Totalschaden erlitten (Raetzo 1997). Die hydrogeologischen Bedingungen beeinflussen die Aktivität einer Rutschmasse. Deshalb kommt dem Wasser im Untergrund und an der Oberfläche punkto Mechanismus und Aktivität eine grosse Bedeutung zu. Folgende Kriterien sind wichtig für das Prozessverständnis:

A2-3.1 Mechanismus

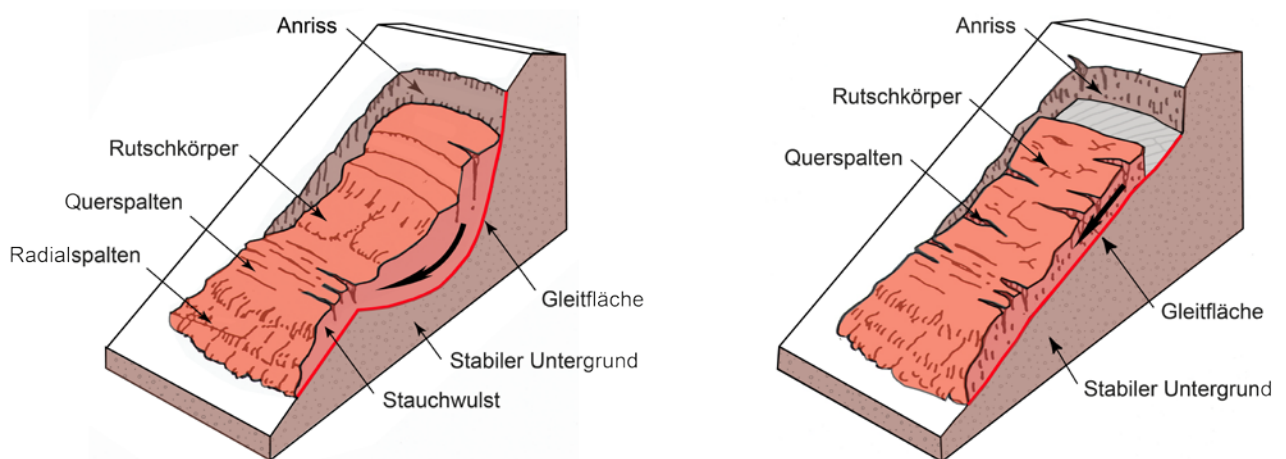
Sackungen sind gravitative Bewegungen in Festgesteinen mit einer ausgeprägten vertikalen Bewegungskomponente. Der Übergang zu einer Rutschung ist fließend und die Wirkungsweisen sind ähnlich. Deshalb werden Sackungsprozesse und Rutschungen mit den gleichen Kriterien beurteilt. Aus einer aufgelockerten Sackungsmasse können Sturzprozesse hervorgehen, welche dann nach den Kriterien der Sturzprozesse zu behandeln sind (second move).

Bei den so genannten *Rotationsrutschungen* gleitet die Rutschmasse entlang einer konkaven Bruchfläche gravitativ hangabwärts (Abb. 20). Im oberen Teil der Rutschung sind oft Nackentälchen und Zerrspalten sichtbar. Durch das Zusammenstauchen des Rutschkörpers entsteht an der Front typischerweise ein so genannter Stauchwulst. Diese Art von Rutschungen bildet sich in homogenen, vor allem tonigen und siltigen Lockergesteinen aus.

Gleiten Schichten oder ganze Schichtpakete entlang einer bestehenden, fast flachen Schwächezone, spricht man von *Translationsrutschungen*. Die flächenmässige Ausdehnung solcher Rutschungen ist sehr variabel und kann mehrere km² umfassen und in der Schweiz sogar 45 km² erreichen. Die Mächtigkeit der Rutschmassen erreicht häufig mehrere Zehner von Metern. Gebiete mit Vorkommen von Flysch oder kalkigem Mergelschiefer sind besonders anfällig für die Bildung solcher Rutschungen. Im Gelände sind häufig Mischformen von Rotations- und Translationsrutschungen anzutreffen.

Abb. 20 > Rotationsrutschungen (links) und Translationsrutschungen (rechts)

Bei Rotationsrutschungen ist eine kreisförmige Gleitfläche kennzeichnend. Relativ flache bis planare Gleitflächen liegen den Translationsrutschungen zu Grunde, wobei aufgrund dieser Geometrie eine höhere maximale Geschwindigkeit möglich ist.



geändert nach Varnes 1978, USGS 2004

Kriechbewegungen sind mechanische Spezialfälle von Massenbewegungen, die in dieser Vollzugshilfe zur Vereinfachung den Gleitprozessen zugeordnet werden. Die Mechanismen sind nicht immer identisch oder deren Definition variiert regional.

Kriechbewegungen

Die Bewegungsgeschwindigkeit an der Oberfläche gleicht bei Kriechbewegungen jenen eines Gleitprozesses, wird aber hauptsächlich durch eine Scherdeformation in der bewegten Masse verursacht (d. h. ohne Gleitfläche im engeren Sinn). Diese Deformationen nehmen mit zunehmender Tiefe ab.

Kriechbewegungen kommen in Lockergesteinsformationen und Bodenschichten vor. Dabei kommt die Scherdeformation durch einen Kohäsionsverlust des Lockermaterials durch Wasser- oder Eisübersättigung zustande. Ein oberflächliches «Kriechen» kann auch durch Frostwechsel zustande kommen. In den Alpen können Kriechbewegungen grosse Flächen von mehreren Quadratkilometern bedecken.

Aus geotechnischer Sicht wird der Begriff «Kriechbewegung» primär für un tiefe Bewegungen verwendet. Im deutschen Sprachraum wurde «kriechen» teilweise auch für tiefgründige, langsame Rutschungen oder Talzuschübe verwendet. Den Kriechbewegungen nur teilweise zuzuordnen sind Hakenwurfprozesse, die ebenfalls keine ausgebildete Gleitfläche aufweisen. Der Hakenwurf ist hingegen ausgeprägt, wenn ein gut ausgebildetes Kluftsystem Bewegungen der Gesteinskörper nahe der Oberfläche ermöglicht.

A2-3.2 Gleitgeschwindigkeiten

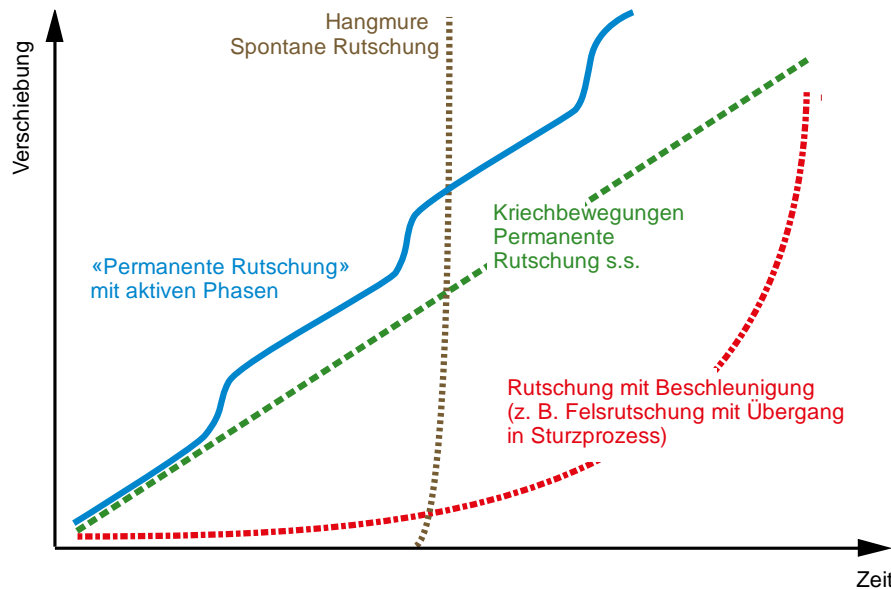
Die Geschwindigkeit einer aktiven Rutschung ist über eine längere Betrachtungsdauer variabel und stetigen Schwankungen unterworfen. Sinnvoll zur Gefahrenbeurteilung ist die Ermittlung einer langjährigen Durchschnittsgeschwindigkeit (v). Im Fall von regelmässigen Verschiebungen wird der Begriff «permanente Rutschung» empfohlen, obwohl eine minimale Variabilität als Folge der natürlichen Schwankungen im Grund-, Kluft- oder Hangwasserstand vorhanden ist. Erfolgen Beschleunigungen (bis v_{\max}) wird die Intensität der Rutschung erhöht. Im Extremfall kann eine kurze Beschleunigungsphase einen spontanen Prozesswechsel bewirken. So kann aus einer aktiven Rutschung plötzlich eine Hangmure ausbrechen. Geschwindigkeitsänderungen sind somit ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials (s. Kapitel 2, bzw. Abschnitt 2.5 ff).

Die Geschwindigkeitsänderung (v_{\max}) kann an eine Wahrscheinlichkeit gebunden werden. Diese ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wobei Niederschläge, mechanische Gesteinseigenschaften, Hangwasserstände, Porenwasserdruck, Mechanismus, Gründigkeit und Volumen eine bedeutende Rolle einnehmen. Für die Beurteilung von v_{\max} sollen diese und weitere Faktoren berücksichtigt werden. Im Idealfall sollen real gemessene Geschwindigkeitsänderungen für die Bestimmung von v_{\max} verwendet werden.

Bei Verschiebungen von Dezimetern in einer Krisenphase respektive von einem Meter oder mehr pro Ereignis ist generell eine hohe Intensität zu wählen, weil dadurch Menschen und Sachwerte stark und kurzfristig gefährdet sind. Die Geschwindigkeitsänderung (v_{\max}) kann im Extremfall von Null auf mehrere Meter pro Jahr anwachsen. In diesem Fall spricht man von «Reaktivierungen» (s. Abschnitt 2.9).

Abb. 21 > Schematische Darstellung von verschiedenen Verschiebungskurven in Rutschgebieten

Nur bei der grünen Kurve kann von einer «permanenten» Geschwindigkeit im engeren Sinn gesprochen werden. Für alle anderen Kurven ist die Geschwindigkeit variabel.



geändert nach Romang, Ed., 2008

A2-3.3 Gleitfläche

Der Tiefgang, d. h. die Tiefe der Gleitfläche einer Rutschung (Gründigkeit) hat im Allgemeinen einen direkten Einfluss auf die Disposition zu Reaktivierungen und Differentialbewegungen. Flachgründige Rutschungen reagieren schneller auf Änderungen einzelner Zustandsgrößen (z. B. Hangwasserverhältnisse, Oberflächenbeschaffenheit, Interaktionen mit Fließgewässern) als tiefgründige. Labile oder scheinbar stabile Hänge können deshalb während einem Unwetter spontan ihre Stabilität verlieren. Dabei kann es insbesondere bei flachgründigen Rutschungen zu plötzlichem Abgleiten und möglicherweise auch zu schnellen Fließprozessen kommen.

Bei mittleren und grossen Rutschungen existieren häufig mehrere Gleitflächen, wobei für die Gefahrenbeurteilung jeweils alle Deformationen und Diskontinuitäten entscheidend sind. Relevant für Gefährdung und Deformationen sind oftmals die sekundären Gleitflächen, die in einigen Metern Tiefe liegen. Bei sehr tiefgründigen Rutschungen muss beachtet werden, dass neben der basalen Gleitfläche auch sekundäre Gleitflächen vorhanden sein können.

Bezüglich Rutschmächtigkeiten (T, von Tiefe) gelten folgende Klassen:

- > 0–2 m flachgründig (oberflächlich)
- > 2–10 m mittelgründig
- > 10–30 m tiefgründig
- > T>30 m sehr tiefgründig (neu)

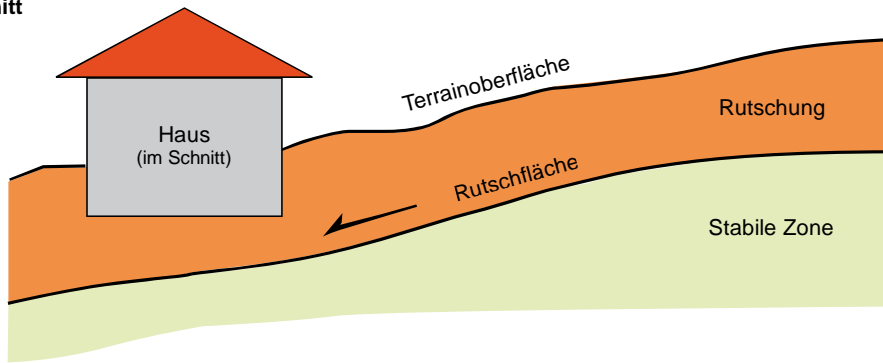
A2-3.4 Differentialbewegungen

Im Grenzbereich zu Zonen mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten und/oder Bewegungsrichtungen werden Scherkräfte wirksam, die Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen verursachen (Abb. 22).

Abb. 22 > Auswirkungen von Differentialbewegungen

Verdrehung und -kipfung von Gebäuden, Rissbildungen im Mauerwerk, Abscherung von Gebäudeteilen.

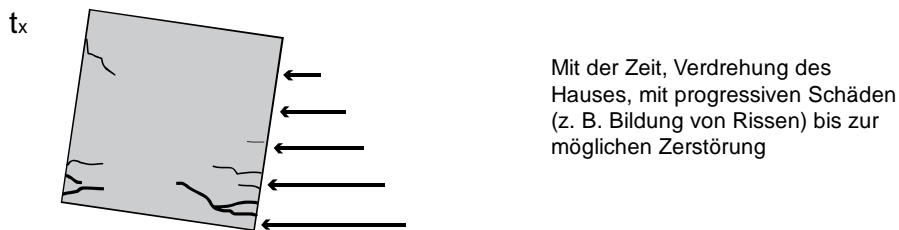
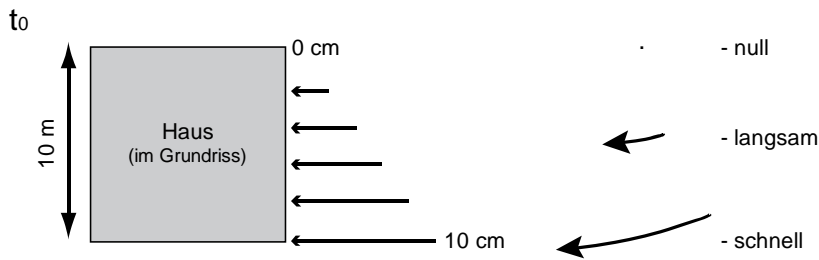
im Schnitt



im Plan

Verschiebung:

Rutschgeschwindigkeit:
(mit Differentialbewegungen)



Weiter zu beachten sind Zonen von Extension (Zerrspalten) und Kompression (Stauchwülste). Diese Differentialbewegungen (D) können grosse Schäden anrichten und sind deshalb ein sehr wichtiges Kriterium bei der Gefahrenbeurteilung. Differentialbewegungen sind bei der Erstellung der Gefahrenkarte zu berücksichtigen (s. Kapitel 2).

A2-4 **Fliessprozesse (Hangmuren)**

Zur Kategorie der Fliessprozesse gehören:

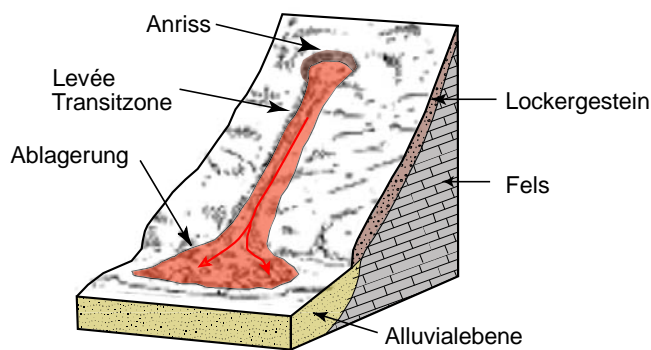
- > die Hangmuren, die als Gemisch aus Erde, Steinen und Wasser ausserhalb eines Gerinnes abfliessen
- > die Murgänge, die als Gemisch aus Erde, Steinen und Wasser in einem bestehenden Gerinne zu Tal fliessen

Die Murgänge und die entsprechenden Methoden zur Gefahrenbeurteilung werden in diese Vollzugshilfe nicht integriert, weil dieser Prozess bereits in der Wegleitung der Hochwassergefahren berücksichtigt wurde (BWW et al. 1997, BWG 2001).

Oberflächennahe Bewegungen, bei denen Scherflächen nicht erhalten sind oder höchstens in der Initialphase auftreten, werden den Fliessprozessen zugeordnet. Die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse gleicht derjenigen eines viskosen Prozesses. Ausgiebige Niederschläge und unterirdische Wasserzuflüsse spielen eine entscheidende Rolle bei der Auslösung von Fliessbewegungen.

Abb. 23 > Fliessprozess: Hangmure

Wenn Fliessprozesse ausserhalb des Gerinnes ablaufen, d. h. am Hang, so spricht man in der Regel von Hangmuren. Für Prozesse im Gerinne wird der Begriff Murgang verwendet.



geändert nach Amanti et al. 1992

Kennzeichnend für Hangmuren ist ein Gemisch aus Lockergestein und Wasser, welches als viskose Masse hangabwärts fließt. An den Seiten der Mure ist die Geschwindigkeit geringer, was manchmal die Ausbildung von kleinen Uferwällen («levées») zur Folge hat. Am Hangfuss verlangsamt sich die Murenbewegung, breitet sich zungenförmig aus und kommt schliesslich zum Stillstand. Insbesondere der hohe Wasseranteil ist für eine schnelle Prozessgeschwindigkeit mit oft zerstörerischer Wirkung verantwortlich. Steile Hänge mit einer gering durchlässigen Lockergesteinsbedeckung (tonige Moräne und Gehängelehm) und einer höheren Durchlässigkeit im Untergrund sind besonders disponiert für diese Art von Hanginstabilitäten. Diese Kontraste in der Durchlässigkeit von Gesteinsschichten erlauben den Aufbau von hohen Wasserdrücken und bilden deshalb eine häufige Ursache von Rutschungen, die in Hangmuren übergehen.

Zur Intensitätsbeurteilung können die Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht und die Ablagerungsmächtigkeit als Kriterien verwendet werden.

A2-5 Massenbewegungen im Permafrost

Permafrost ist ganzjährig gefrorenes ($\leq 0^\circ\text{C}$) Untergrundmaterial. Das bedeutet, dass Permafrost für mobiles Wasser weitgehend undurchlässig ist und im Poren- und Kluft-raum Eisbildungsprozesse stattfinden. In den Alpen ist, je nach Exposition, ab einer Höhe von 2500–3000 m ü. M. mit ausgedehnten Permafrost-Vorkommen zu rechnen. Die Schicht an der Oberfläche, die auf dem Permafrost aufliegt, wird als Auftauschicht bezeichnet und ist durch saisonales Auftauen mit oft hoher Wassersättigung gekennzeichnet.

In Permafrostgebieten können diverse Kriechbewegungen vorkommen (z. B. Blockgletscher). Oberflächennahe Kriechbewegungen im Meterbereich (Solifluktion) werden ebenfalls durch die Existenz von Permafrost begünstigt, da in der Auftauschicht oft eine Wassersättigung durch die Undurchlässigkeit des darunter liegenden Permafrostes entsteht.

Sowohl Kriechbewegungen als auch andere Massenbewegungen im hochalpinen Prozessbereich reagieren empfindlich auf Temperaturänderungen: Die Viskosität und Bruchfestigkeit von Eis ist stark temperaturabhängig und die Ausdehnung eines Permafrostkörpers passt sich zeitlich verzögert an sich verändernde Oberflächentemperaturen an. Beschleunigungen von Blockgletschern und Rutschungen, erhöhte Murgangaktivität oder die Destabilisierung von Felsmassen sind mögliche Folgen einer Temperaturerhöhung.

A2-6 Einsturzprozesse und Absenkungen

In verkarsteten Gebieten sind oftmals Dolinen anzutreffen. Im Zusammenhang mit der Auslaugung eines wasserlöslichen Untergrundes (Kalk, Dolomit, Gips und auch Rauhacke), der Erosion oder infolge bereits bestehender unterirdischer Hohlräume kann es zu Absenkungs- und Einsturzprozessen kommen. In Gipsgesteinen kann die Auslaugung bei entsprechender Wasserverfügbarkeit in relativ kurzer Zeit schnell voranschreiten. Auch in Kalk- und Dolomitgesteinen können diese Karstphänomene über Jahre hinweg problematische Hohlräume zur Folge haben. In diesen Fällen können Brüche zu einem plötzlichen Einsturz führen. Der Zeitpunkt des Bruchs ist schwer vorhersehbar (engl. «sudden collapse»). Diese wasserlöslichen Gesteine sind im Jura-gebirge, in den helvetischen Decken und in den Voralpen verbreitet. Die Anfälligkeit auf Instabilitäten wird durch Störungszonen und Verfaltungen erhöht.

A3 Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Fliessprozessen

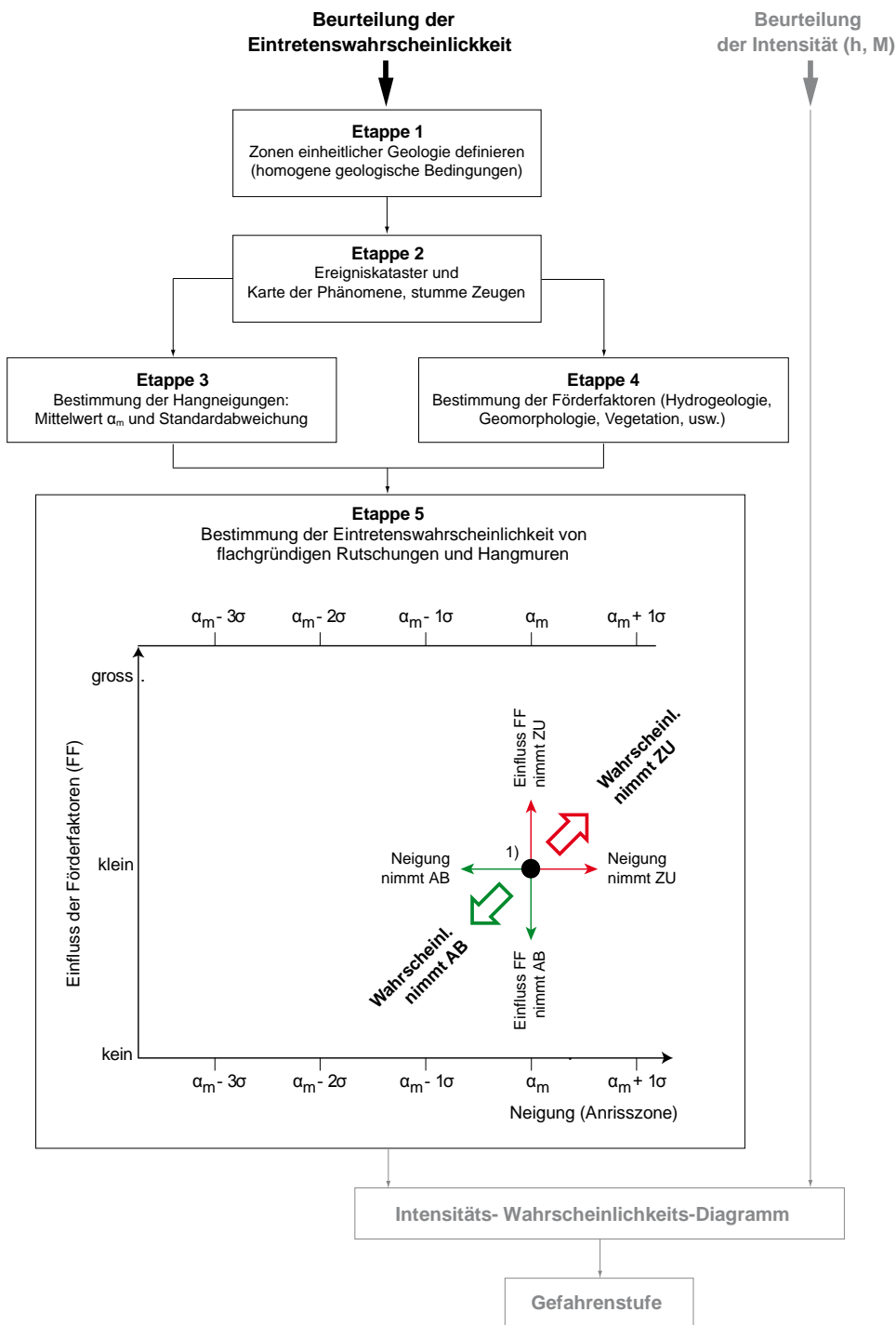
Der Anhang 3 ist eine Ergänzung zu den in den Abschnitten 2.8.2 und 2.8.3 aufgeführten Kriterien zur Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeit von Gleit- und Fliessprozessen. Es werden zwei mögliche Methoden zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten bei Fliessprozessen dargelegt: Bestimmung mit dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm und dem Flussdiagramm.

A3-1 Bestimmung mit dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm

Diese Methode berücksichtigt die mittleren Hangneigungen aus der statistischen Analyse (Abb. 24, Etappe 3) und andererseits den Einfluss der Förderfaktoren (Etappe 4). Bei Hangneigungen, die weit unterhalb der kritischen Werte liegen, wird bei Absenz von Förderfaktoren mit einer jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeit kleiner 0,003 gerechnet. Diese Fälle sind als Restgefährdung zu betrachten.

Abb. 24 > Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hangmuren

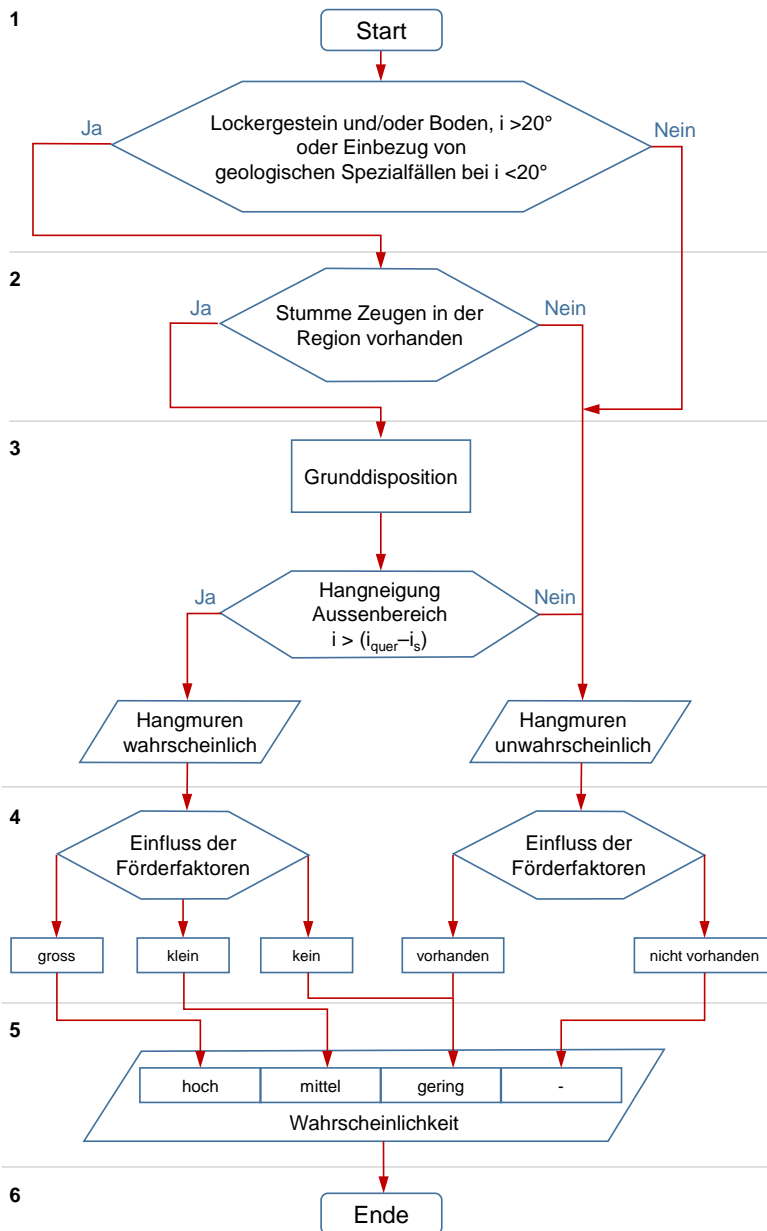
Etappen des Vorgehens und Wahrscheinlichkeitsdiagramm. Die Position des Punktes 1) in der Graphik der Etappe 5 entspricht beispielsweise einer mittleren Wahrscheinlichkeit. Dieser Referenzpunkt liegt bei der mittleren Hangneigung (mittlere Neigung aus analysierten Ereignissen) und berücksichtigt einen kleinen Einfluss von Förderfaktoren. Für die Bestimmung der Gefahrenstufe muss parallel zur Eintretenswahrscheinlichkeit auch die Intensität beurteilt werden. α_m = Hangneigungsmittelwert; σ = Standardabweichung.



A3-2 Bestimmung mit dem Flussdiagramm

Die Methode mit dem Flussdiagramm basiert auf dem Vorschlag der AGN (AGN 2004). Sie wurde seit 2004 in einigen Kantonen für die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten von Hangmuren eingesetzt. Die Methode basiert auf den Förderfaktoren und den kritischen Hangneigungen im Anrissbereich (zirka 20°–28°). Als Bemessungswert der Hangneigung wird die mittlere kritische Hangneigung (i_{quer}) minus eine Standardabweichung (i_s) vorgeschlagen.

Abb. 25 > Flussdiagramm zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten



A4 Raumplanerische Umsetzung der Gefahrengrundlagen

Tab. 6 > Mögliche Konsequenzen der verschiedenen Gefahrenstufen für die Zonenausscheidung und für das Bau- und Zonenreglement

Neben den Raumplanern und den Prüfungs- und Genehmigungsbehörden auf Stufe Kanton und Gemeinde müssen andere Akteure wie Versicherer, Architekten, Ingenieure, Einsatzkräfte usw., besonders bei den nicht raumplanerischen Massnahmen, einbezogen werden.

	Gefahrenzone	Zonenausscheidung	Bau- und Zonenreglement	Weitere – nicht raumplanerische – Massnahmen
	Verbotzone erhebliche Gefährdung (rot)	<ul style="list-style-type: none"> Keine Ausscheidung neuer Bauzonen; Rückzonung bzw. Auszonung nicht überbauter Bauzonen. 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Errichtung oder Erweiterung von Bauten und Anlagen; Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten; Umbauten und Zweckänderungen nur mit Auflagen zur Risikoverminderung; Wiederaufbau zerstörter Bauten nur in Ausnahmefällen und nur mit Auflagen. 	<ul style="list-style-type: none"> Rasche Information der betroffenen Grundeigentümer und -besitzer über die bestehende Gefährdung und die notwendigen Massnahmen; Bei Bedarf Anmerkung von Nutzungseinschränkungen im Grundbuch; Rasche Planung und Umsetzung der notwendigen technischen und organisatorischen Schutzmassnahmen.
	Gebotszone mittlere Gefährdung (blau)	<ul style="list-style-type: none"> Ausscheidung neuer Bauzonen nur mit Auflagen, nach Prüfung anderer Möglichkeiten und Vornahme einer Interessenabwägung. 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Erstellung von sensiblen Objekten; Baubewilligung mit Auflagen; Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten; Festlegen von Anforderungen an die räumliche Anordnung, Nutzung und Gestaltung, evtl. auch Erschliessung von Bauten und Anlagen; Detaillierte Vorschriften müssen je nach Gefahrenart und Intensität unterschiedlichen Schutzmassnahmen Rechnung tragen; Identischer Wiederaufbau von zerstörten Bauten in begründeten Fällen zu Gunsten von Optimierungen ablehnen. 	<ul style="list-style-type: none"> Information der betroffenen Grundeigentümer und -besitzer über die bestehende Gefährdung.
	Hinweiszone geringe Gefährdung (gelb)	<ul style="list-style-type: none"> Vermeiden von Zonen, in denen Anlagen mit hohem Schadenpotenzial erstellt werden können; Hinweis auf die Gefahrensituation. 	<ul style="list-style-type: none"> Empfehlungen für bestehende Bauten; Erwägen von Auflagen bei sensiblen Nutzungen oder grösseren Überbauungen nach Risiko. 	<ul style="list-style-type: none"> Information der betroffenen Grundeigentümer und -besitzer über die bestehende Gefährdung; Beratung für mögliche Schadensverhütungsmassnahmen in Zusammenarbeit mit den Versicherungen; spezielle technische und organisatorische Massnahmen für sensible Objekte mit Auflagen der Versicherung.
	Restgefährdung (gelb/weiss)	<ul style="list-style-type: none"> Nur sehr zurückhaltende Erweiterung bestehender Bauzonen bzw. Ausscheidung neuer Bauzonen; Vermeiden von Zonen, in denen Anlagen mit hohem Schadenpotenzial erstellt werden können; Hinweis auf die Gefahrensituation. 	<ul style="list-style-type: none"> Empfehlungen für bestehende Bauten; Erwägen von Auflagen bei sensiblen Nutzungen oder grösseren Überbauungen nach Risiko. 	<ul style="list-style-type: none"> Information der betroffenen Grundeigentümer und -besitzer über die bestehende Gefährdung; Beratung für mögliche Schadensverhütungsmassnahmen in Zusammenarbeit mit den Versicherungen; spezielle technische und organisatorische Massnahmen für sensible Objekte mit Auflagen der Versicherung.
	Keine Gefährdung (weiss)	<ul style="list-style-type: none"> Für die Aussage, dass ein bestimmtes Gebiet nach derzeitigen gängigen Methoden zur Gefahrenbeurteilung keine Gefährdung aufweist, müssen alle Teilprozesse für alle Prozessquellen untersucht worden sein. 		

aus ARE et al. 2005, ergänzt

Tab. 7 > Mögliche Auflagen und Massnahmen im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens

Prozess	Nutzungseinschränkungen und -auflagen	Bauliche Massnahmen am Gebäude	Umgebung / Zugang
Stein- und Blockschlag	<ul style="list-style-type: none"> Wohnteile (wie Schlaf- und Wohnzimmer), sowie Balkone und Sitzplätze in den am meisten gefährdeten Gebäudeteilen untersagen, um das Personenrisiko zu reduzieren; Geräte-, Materialräume, Keller, Gänge, usw. werden auf der exponierten Seite erbaut (kurze Aufenthaltsdauer). 	<ul style="list-style-type: none"> vorsichtige Standortwahl innerhalb der Bauparzelle; Gestaltung des Gebäudes und Anpassung in das Terrain, so dass nur wenige Gebäudeteile exponiert sind (Trefferwahrscheinlichkeit wird somit reduziert); Gestaltung von Unter- und Erdgeschoss als steifen und monolithischen Stahlbetonkasten; Verstärkung der gefährdeten Aussenwände unter Verwendung von Stahlbeton oder Verschalungen; Schutz durch Vor- oder Anschüttungen Öffnungen wie Fenster und Türen in den exponierten Gebäudeteilen vermeiden oder diese möglichst klein halten und verstärkt gestalten. 	<ul style="list-style-type: none"> Zufahrt und Zugang sowie äussere Spiel- und Aufenthaltsplätze in den am meisten gefährdeten Sektoren untersagen.
Tiefgründige permanente Rutschung		<ul style="list-style-type: none"> vorsichtige Standortwahl innerhalb der Bauparzelle; Terrain so gestalten, dass Aushub und Aufschüttungen eine bremsende Wirkung (auf die Rutschung) haben (auch während der Bauphase); Flachfundation mittels verstärkter Bodenplatte; Untergeschoss als steifen und monolithischen Stahlbetonkasten; empfindliche Geometrie (z. B. L- oder U-Typologien) vermeiden; Fundierung auf gut tragfähigen Böden dehnungs- und verformungsfähige Aussenanschlüsse von Leitungen; Sammeln und kontrolliertes Abführen von Oberflächenwasser (Dachwasser, Parkplätze usw.); Verzicht auf die Versickerung von Meteorwasser. 	<ul style="list-style-type: none"> Sammeln, Fassen und Ableiten des Wassers (an der Oberfläche und in der Tiefe; s. Abschnitt 4.7 für mögliche Massnahmen).
Hangmure und spontane Rutschung (oberflächlich)	<ul style="list-style-type: none"> Wohnteile (wie Schlaf- und Wohnzimmer), sowie Balkone und Sitzplätze in den am meisten gefährdeten Gebäudeteilen untersagen, um das Personenrisiko zu reduzieren; Geräte-, Materialräume, Keller, Gänge, usw. werden auf der exponierten Seite erbaut (kurze Aufenthaltsdauer) 	<ul style="list-style-type: none"> vorsichtige Standortwahl innerhalb der Bauparzelle; Gestaltung des Gebäudes und Anpassung in das Terrain, so dass nur wenige Gebäudeteile exponiert sind (Trefferwahrscheinlichkeit wird somit reduziert) Gestaltung von Unter- und Erdgeschoss als steifen und monolithischen Stahlbetonkasten Verstärkung der gefährdeten Aussenwände unter Verwendung von Stahlbeton oder Verschalungen Schutz durch Vor- oder Anschüttungen Öffnungen wie Fenster und Türen in den exponierten Gebäudeteilen vermeiden oder diese möglichst klein halten und verstärkt gestalten; Verstärkungen können auch temporär eingesetzt werden, beispielsweise während eines Gewitters Sammeln und kontrolliertes Abführen von Oberflächenwasser (Dachwasser, Parkplätze usw.); Verzicht auf die Versickerung von Meteorwasser 	<ul style="list-style-type: none"> Zufahrt und Zugang, sowie äussere Spiel- und Aufenthaltsplätze in den am meisten gefährdeten Sektoren untersagen Sammeln, Fassen und Ableiten des Wassers (an der Oberfläche und in der Tiefe; s. Abschnitt 4.7 für mögliche Massnahmen)

Weitere Informationen




- > *Raumplanung und Naturgefahren (ARE et al. 2005)*
- > *Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005)*
- > *SIA-Normen 260, 261 und 261/1*

A5 Beispiel Schutzzieldiagramm

Abb. 26 > Beispiel eines Schutzzieldiagramms zur Flächenvorsorge, wie sie in ähnlicher Form in den Kantonen verwendet wird

Lesehilfe: Für geschlossene Siedlungen (Objektkategorie 3.2) ist bis zum 100-jährlichen Ereignis ein vollständiger Schutz anzustreben. Zwischen dem 100- und dem 300-jährlichen Ereignis sind schwache Intensitäten akzeptierbar. Für noch seltenere Ereignisse sind mittlere Intensitäten tolerierbar.

Legende

	= vollständiger Schutz	= keine Intensität zulässig	= 0
	= Schutz vor mittleren und starken Intensitäten	= schwache Intensität zulässig	= 1
	= Schutz vor starken Intensitäten	= mittlere Intensität zulässig	= 2
	= fehlender Schutz	= starke Intensität zulässig	= 3

Objektkategorie

Schutzziele

Nr.	Sachwerte	Infrastruktur-Anlagen	Naturwert	Wiederkehrperiode (Jahre)			
				1–30 häufig	30–100 selten	100–300 sehr selten	>300 extrem selten
1		Berg- und Skitouren- routen (gemäss Karten SAC u.a.)	Naturlandschaften	3	3	3	3
2.1		Kommerzielle Wander- wege und Loipen, Flur- wege, Leitungen von kommunaler Bedeutung		2	3	3	3
2.2	Unbewohnte Gebäude (Remisen, Weidescheu- nen u.a.)	Verkehrswege von kommunaler Bedeu- tung, Leitungen von kommunaler Bedeutung	Wald mit Schutz- funktion, landwirt- schaftlich genutztes Land	2	2	3	3
2.3	Zeitweise oder dauernd bewohnte Einzelgebäu- de und Weiler, Ställe	Verkehrswege von kantonaler oder grosser kommunaler Bedeu- tung, Leitungen von nationaler Bedeutung, Bergbahnen, Zonen für Skiabfahrts- und -übungsgelände	Wald mit Schutzfunkti- on, sofern er geschlos- sene Siedlung schützt	1	1	2	3
3.1		Verkehrswege von nationaler oder grosser kantonaler Bedeutung, Ski- und Sessellifte		0	1	2	3
3.2	Geschlossene Sied- lungen, Gewerbe und Industrie, Bauzonen, Campingplätze, Frei- zeit- und Sportanlagen	Stationen diverser Beförderungsmittel		0	0	1	2
3.3	Sonderrisiken bzw. besondere Schaden- anfälligkeit oder Sekundärschäden	Sonderrisiken bzw. besondere Schaden- anfälligkeit oder Sekundärschäden		Festlegung fallweise			

Weitere Informationen

- > *Raumplanung und Naturgefahren (ARE et al. 2005)*
- > *Achtung Naturgefahr! Verantwortung des Kantons und der Gemeinden im Umgang mit Naturgefahren (Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern 2011)*

> Literatur

- AGN 2004: Gefahreinstufung Rutschungen i. w. S. Arbeitsgruppe für Naturgefahren AGN. Arbeitsbericht zu Händen des BWG, Bern.
- Amanti M., Castaldo G., Marchionna G., Pecci M. 1992: Proposta di una nuova classificazione dei fenomeni franosi, ai fini del rilevamento geologico-tecnico e della corretta prevenzione del dissesto del territorio. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. CXL, 3–20.
- Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern (AG NAGEF) 2011: Achtung Naturgefahr! Verantwortung des Kantons und der Gemeinden im Umgang mit Naturgefahren.
- ARE, BWG, BUWAL 2005: Empfehlungen – Raumplanung und Naturgefahren. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren, Bern.
- ASTRA 2008: Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien. Richtlinie. Bundesamt für Strassen.
- BAFU 2011: Handbuch NFA im Umweltbereich. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller; Reihe Umwelt-Vollzug Nr. 1105. Bundesamt für Umwelt, Bern. 283 S.
- BAFU 2015: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2016–2019. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Reihe Umwelt-Vollzug Nr. 1501. Bundesamt für Umwelt, Bern. 266 S.
- BAFU 2015: Datenmodell Gefahrenkartierung. Bundesamt für Umwelt www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle.
- Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825:427 S.
- BFF, EISLF 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen BFF, Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung EISLF, Bern.
- Bommer C., Phillips M., Keusen H.-R., Teyssere P. 2009: Bauen im Permafrost: Ein Leitfaden für die Praxis. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL: 126 S.
- Bonzanigo L. 1999: Lo slittamento di Campo Vallemaggia. Dissertation, ETH Zürich No 13387.
- Bonzanigo L., Eberhardt E., Loew S. 2007: Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock – Part 1: Geological and hydromechanical factors controlling the Campo Vallemaggia landslide. Canadian Geotechnical Journal 44 (10): 1157–1180.
- BRP, BWW, BUWAL 1997: Empfehlungen 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. Bern: 42 S.
- Bründl M. (Ed.) 2009: Risikokonzentration für Naturgefahren – Leitfaden (Testversion, Februar 2009). Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern: 420 S.
- BWG 2001: Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung 2001. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Biel: 72 S.
- BWW, BRP, BUWAL 1997: Empfehlungen 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. Bern: 32 S.
- BWW, BUWAL 1995: Empfehlungen – Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. Bern: 60 S.
- Cruden D.M., Varnes D.J. 1996: Landslide types and processes. In A. Keith Turner & Robert L. Schuster (eds), Landslide investigation and mitigation: 36–75. Transportation Research Board, special report 247. Washington: National Academy Press.
- Eberhardt E., Bonzanigo L., Loew S. 2007: Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock – Part 2: Mitigation measures at Campo Vallemaggia and numerical modeling of deep drainage. Canadian Geotechnical Journal 44(10): 1181–1199.
- Egli Eng. 2011: Die Einwirkung von Hangmuren auf Gebäude – Analyse, Dokumentation und Interpretation von Schadenfällen. Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern (unveröffentlicht). Zusammenfassung der Studie in: Loup et al. 2012: Impact pressures of hillslope debris flows – back-calculation and simulation (RAMMS). Interpraevent Grenoble, Conference Proceedings 1, 225–236.
- Egli T. 2005: Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern: 109 S.
- Frehner M., Wasser B., Schwitler R. 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald («NaiS») – Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern: 564 S.
- Gerber W. 2001: Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Reihe Vollzug Umwelt, Bern: 39S.

- Hübl J., Habersack H., Kienholz H., Agner P., Ganahl E., Moser M., Scheidl Ch., Kerschbaumsteiner W., Schmid F. 2006: Disaster Information System of Alpine Regions (DIS-ALP): Methodik Teil 1, Appendix 2: Definitions, IAN Report 101, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Humair F., Pedrazzini A., Epard J.L., Froese C.R., Jaboyedoff M. 2013: Structural characterization of Turtle Mountain anticline (Alberta, Canada) and impact on rock slope failure. *Tectonophysics* 605, 122–148.
- Hutchinson J.N., Gostelow P.T. 1976: The development of an abandoned cliff in London Clay at Hadleigh, Essex, Phil. Tran. Roy. Soc. A283, 557–604.
- Ingensand H. 2006: Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology. Proceedings of the 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, Austria.
- IUGS 1995: A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. International Union of Geological Sciences IUGS Working Group on Landslides, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, IAEG 52, 75–78.
- Loat R., Meier E. 2003: Wörterbuch Hochwasserschutz, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (Hrsg.). Bern: Haupt.
- Parriaux A., Bonnard Ch., Tacher L. 2010: Rutschungen. Hydrogeologie und Sanierungsmassnahmen durch Drainage. Leitfaden. Bundesamt für Umwelt BAFU. Umwelt-Wissen Nr. 1023. Bern: 128 S.
- PLANAT 2013: Sicherheitsniveau für Naturgefahren. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.
- Raetzo H. 1997: Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Arbeitsbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich: 256 S.
- Raetzo H., Rickli C. 2007: Rutschungen. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 215 S.
- Raetzo H., Wegmüller U., Strozzi T., Marks F., Farina P. 2006: Monitoring of Lumnez landslide with ERS and ENVISAT SAR data, ESA ENVISAT Symposium, Montreux: 5 p.
- Reuter F., Klengel K.J., Pasek J. 1992: Ingenieurgeologie. 3. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH, Leipzig, Stuttgart.
- Romang H. (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (Strategie Naturgefahren Schweiz), Projekt A 3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern: 289 S.
- Rouiller J.D., Jaboyedoff M., Marro Ch., Philippossian F., Mamin M. 1998: MATTEROCK: une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels. Rapport final PNR 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 239 p.
- Rovina H., Liniger M., Jordan P., Gruner U., Bollinger D. 2011: Empfehlungen für den Umgang mit Sturzmodellierungen. *Swiss Bull. Angew. Geol.* 16/1, 57–79.
- Sättele M., Bründl M. 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Bern: 64 S.
- Swisstopo – Bundesamt für Landestopografie 2003: GA25-Manuskriptvorlage: Anweisungen zur Darstellung des quartären Formenschatzes sowie weiterer Zeichen bei der Reinzeichnung der Manuskriptkarten des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25 000. Bern.
- Turner A.K., Schuster R.L. (eds) 1996: Landslide investigation and mitigation. Transportation Research Board, special report 247. Washington: National Academy Press.
- USGS 2004: Landslide types and processes. United States Geological Survey, Fact sheet 2004–3072, <http://pubs.usgs.gov>
- Varnes D.J. 1978: Slope movement types and processes. In Schuster R.L., Krizek R.J. (eds): Landslides -Analysis and control. National Research Council, Washington D.C., Transportation Research Board, Special Report 176, p. 11–33.
- WP/WLI 1993: Multilingual Landslide Glossary. Bitech, Richmond, British Columbia.

Normen (Stand 30.4.2014)

Norm SIA 103, Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2003.

Verständigungsnorm SIA 112 Modell Bauplanung. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2014.

Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2013.

Norm SIA 261, Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2003.

Norm SIA 261/1, Einwirkungen auf Tragwerke – ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2003.

Norm SIA 269: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2011.

Norm SIA 269/1: Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2011.

Norm SIA 269/2: Erhaltung von Tragwerken – Betonbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2011.

Websites

BAFU:
www.bafu.admin.ch

Datenmodelle:
www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle

EconoMe:
www.econome.admin.ch

Gefahrenkarten:
www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahregrundlagen > Gefahrenkarten, Intensitätskarten und Gefahrenhinweiskarten

GIN:
www.gin.admin.ch

NaiS:
www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Umgang mit Naturgefahren > Massnahmen > Schutzwald > NaiS

Naturgefahrenwarnungen des Bundes:
www.naturgefahren.ch

OWARNA:
www.planat.ch/de/behoerden/im-ereignisfall/owarna

PLANAT:
www.planat.ch

SilvaProtect:
www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahregrundlagen > SilvaProtect-CH

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1 Vorgehen beim Management von Naturgefahren	12	Abb. 15 Vorgehen bei der Planung von Massnahmen	53
Abb. 2 Naturereigniskataster	17	Abb. 16 Translationsenergie bei Sturzprozessen und Einsatz der möglichen Sanierungsmethoden	60
Abb. 3 Steinschlagschutznetz	18	Abb. 17 Vergleichendes Schema der wichtigsten hydrogeologischen Sanierungsmethoden	63
Abb. 4 Karte der Phänomene	19	Abb. 18 Auslegung einer Massnahme unter Berücksichtigung des Unschärfespektrums	65
Abb. 5 Gefahrenhinweiskarte für Sturzgefahren	26	Abb. 19 Sturzprozess	80
Abb. 6 Intensitätskarte für Steinschlag	27	Abb. 20 Rotationsrutschungen (links) und Translationsrutschungen (rechts)	81
Abb. 7 Gefahrenkarte für Sturzgefahren	28	Abb. 21 Schematische Darstellung von verschiedenen Verschiebungskurven in Rutschgebieten	83
Abb. 8 Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramme für permanente Prozesse (links) und spontane Massenbewegungsprozesse (rechts)	30	Abb. 22 Auswirkungen von Differentialbewegungen	84
Abb. 9 Etappen des Vorgehens zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hangmuren	37	Abb. 23 Fliessprozess: Hangmure	85
Abb. 10 Anteil flachgründiger Rutschungen pro Neigungsklasse im Anriss	38	Abb. 24 Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hangmuren	88
Abb. 11 Kriterien zur Bestimmung der Intensität	39	Abb. 25 Flussdiagramm zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten	89
Abb. 12 Bandbreite der Intensität bei vorgegebener Eintretenswahrscheinlichkeit	46	Abb. 26 Beispiel eines Schutzzieldiagramms zur Flächenvorsorge, wie sie in ähnlicher Form in den Kantonen verwendet wird	92
Abb. 13 Bandbreite der Eintretenswahrscheinlichkeit bei vorgegebener Intensität	46		
Abb. 14 Sicherheitsniveau, Schutzziel, Massnahmenziel sowie Risiko vor und nach der Realisierung von Massnahmen	51		

Tabellen

Tab. 1 Bedeutung der Gefahrenstufen	30
Tab. 2 Beziehung zwischen Eintretenswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperiode	32
Tab. 3 Stufen der Überwachung	68
Tab. 4 Beispiele Grenz- und Schwellenwerte	71
Tab. 5 Klassifikation der Sturzprozesse nach Durchmesser und Volumen	80
Tab. 6 Mögliche Konsequenzen der verschiedenen Gefahrenstufen für die Zonenausscheidung und für das Bau- und Zonenreglement	90
Tab. 7 Mögliche Auflagen und Massnahmen im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens	91