

Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie
Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie
Band: 11 (2006)
Heft: 2

Artikel: Die Herausforderung der Gefahrenprognose bei Massenbewegungen :
Rutsch- und Sturzprozesse
Autor: Liniger, Markus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-226171>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Herausforderung der Gefahrenprognose bei Massenbewegungen: Rutsch- und Sturzprozesse Markus Liniger¹

Stichworte: Gefahrenprognose, Gefahrenbeurteilung, Rutschungen, Hangmuren, Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Unwetter 2005, Rutschung Feldweid, Entlebuch, Hangmuren Ennetbürgen, un tiefe Erdbeben, Felssturz Gurtellen, Steinschlagsimulation, Sicherheitssprengung Gurtellen

Zusammenfassung

Anhand von drei Beispielen wird die Methodik für die Gefahrenbeurteilung der Massenbewegungsprozesse Rutschung, Hangmuren sowie Stein-, Blockschlag und Felssturz aufgezeigt. Die persönlichen Erfahrungen des Schreibenden mit dieser Methodik, insbesondere Unsicherheiten und Schwierigkeiten bei der Prozessbeurteilung werden erläutert.

Das Beispiel der Rutschung Feldweid (2005/2006, Entlebuch, Luzern, Zentralschweiz) und einige hier präsentierte Hangmuren von Ennetbürgen (2005, Nidwalden, Zentralschweiz) sind Spezialfälle. Sie zeigen die Grenzen der Gefahrenprognose bei Rutsch- und Murgangprozessen.

Am Beispiel des Felssturzes von Gurtellen und der nachfolgenden Sicherheitssprengung (2006, A2, Gurtellen, Gotthard, Uri, Zentralschweiz) werden die Grenzen und Möglichkeiten zur Gefahrenbeurteilung von Sturzprozessen aufgezeigt.

Abstract

With three examples the method for hazard prediction of mass movement processes as landslide, mudflow and rockfall is shown. The personal experiences of the author by using the method, specially the uncertainties and difficulties, are explained.

The example of the landslide Feldweid (2005/2006, Entlebuch, Luzern, central Switzerland) and some of the presented mudflows of Ennetbürgen (2005, Nidwalden, central Switzerland) are peculiar cases. They show the limits of hazard predictions for sliding mass movement processes.

The presented example of the rockfall in Gurtellen (2006, A2, Gurtellen, Gotthard, Uri, central Switzerland) and the afterwards executed security blasting shows the instruments of hazard prediction of rockfall processes and displays their possibilities and limits.

¹ GEOTEST AG, Grisigenstrasse 6, 6048 Horw

1. Einleitung

Massenbewegungen sind weit verbreitete Naturprozesse an der Erdoberfläche. Nachfolgend wird speziell auf Rutsch- und Sturzprozesse eingegangen. Es sind gravitative Prozesse; sie benötigen geneigtes Gelände, damit sie überhaupt ablaufen können. Trotz der grossen Verbreitung und der guten Kenntnisse der Prozessmechanismen ist eine Gefahrenprognose stets eine grosse Herausforderung. Nachfolgend sollen anhand von drei Beispielen die in der Schweiz verwendete Methodik und die Schwierigkeiten bei der Prozessbeurteilung kritisch beurteilt werden:

1. Die Problematik der Beurteilung von permanenten Rutschungen und der Vorhersage der Reaktivierbarkeit wird am Beispiel der Grossrutschung Feldweid in Entlebuch (LU) erläutert. Diese Rutschung wird seit den Unwettern vom August 2005 untersucht.
2. Die Problematik der Hangmurenprognose wird anhand von Beispielen aus der Gemeinde Ennetbürgen (NW) während des Unwetters vom August 2005 aufgezeigt. Die Gefahrenkarte war zu diesem Zeitpunkt in Bearbeitung.
3. Die Schwierigkeiten und Möglichkeiten bei der Beurteilung der Sturzprozesse werden am Beispiel des Felssturzes von Gurtellen vom 31. Mai 2006 und der Sicherheitssprengung vom 23. Juni 2006 erläutert.

2. Permanente Rutschungen

2.1 Allgemeines zur Gefahreinstufung

Die permanenten Rutschungen werden bei der Gefahrenbeurteilung nach den Vorgaben des Bundes (BRP, BWW, BUWAL 1997), ergänzt mit der Methode AGN (Bundesamt für Wasser und Geologie, Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren 2004) beurteilt. Die Gefahrenbeurteilung erfolgt anhand der mittleren jährlichen Bewegungsgeschwindigkeit:

Bewegungen	Intensität	Gefahrenstufe
0-2 cm/Jahr	schwach	gelb
2-10 cm/Jahr	mittel	blau
> 10 cm/Jahr	stark	rot

Die Methode AGN sieht zudem eine gutachterliche Erhöhung der Einstufung um eine oder zwei Gefahrenstufen vor, wenn die Gefahr von spontaner Reaktivierbarkeit der Masse mit entsprechenden Differentialbewegungen gegeben ist. Sehr tiefgründige Rutschungen (Tiefe > 20 m) können dagegen um eine Gefahrenstufe zurückgestuft werden, wenn an der Rutschoberfläche keine Differentialbewegungen zu erwarten sind.

Die angewandte Methodik ist einfach und führt in der Praxis oft zu guten Resultaten in der Beurteilung von Rutschungen. Die Beurteilung der Reaktivierbarkeit ist hier der wohl grösste Unsicherheitsfaktor, wie das nachfolgende Beispiel der Grossrutschung Feldweid in Entlebuch (LU) zeigen soll.

2.2 Beispiel Grossrutschung Feldweid, Entlebuch (LU)

Allgemeine Daten

Mittlere Koordinaten:	LK 648'800/206'060
Höhe Ausbruch:	2005: 860 m ü. M. 2006: 890 m ü. M.
Prozess:	Spontane Reaktivierung einer alten Sackung/Rutschung während Starkniederschlägen
Gleitfläche:	2005: Unterer Teil im Lockergestein (alte Rutschablagerungen) 2006: Oberer Teil im Fels (subalpine, gefaltete Molasse, Obere Meeresmolasse, Siltsteine des Helvetian), 15° gegen Nordwesten einfallend
Fläche:	2005: 35'000 m ² 2006: 60'000 m ²
Kubatur:	2005: ca. 300'000 m ³ (Tiefgang geschätzt, ca. 8 m) 2006: ca. 400'000 m ³ inklusive Masse 2005
Rutschdistanz:	2005 Abriss bis unterste Ablagerungen: 400 m 2006 Abriss bis unterste Ablagerungen: 650 m
Rutschgeschwindigkeit:	2004: max. 0-1 mm pro Jahr 2005: max. 10-15 m pro Tag 2006: max. 60-100 m pro Tag

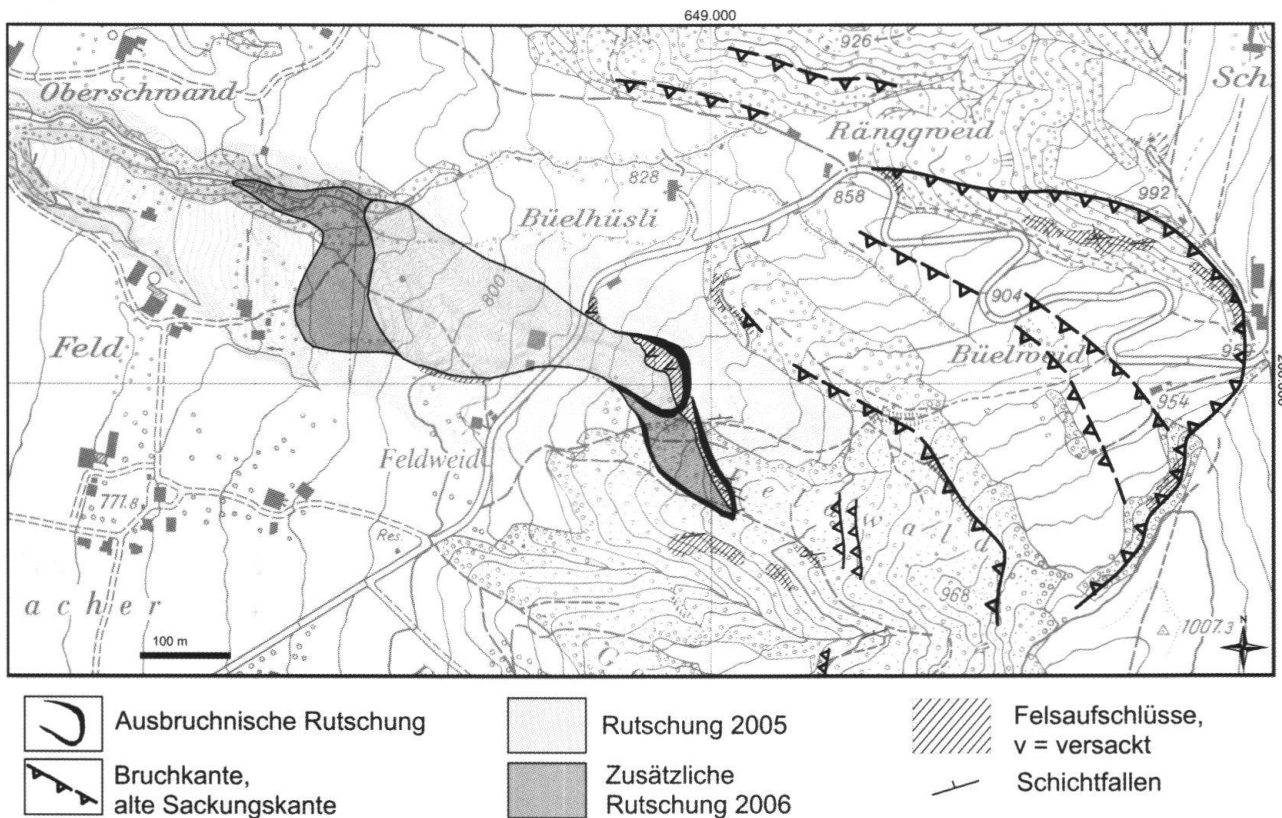


Fig. 1: Situation der Rutschung Feldweid.

Die ersten Rutschbewegungen wurden am Vormittag des 22. August 2005 beobachtet. In der Folge wurden die Liegenschaft Feldweid (Wohnhaus und Scheune), die Renggstrasse und verschiedene Brunnstuben und Reservoirs im Gebiet zerstört (Fig. 1 und 2). Die Rutschung drang in den nächsten Wochen noch ca. 100 m weiter talabwärts vor und blieb dann stehen. Der Rutschungsanriss erfolgte in einer stark zerrütteten, vermutlich versackten Felsmasse. Die Hangneigung des ursprünglichen Terrains betrug 12-15°.

Anfangs April 2006, während der Schneeschmelze, riss ein weiterer Teil im Wald südlich oberhalb der Rutschmasse vom August 2005 ab (Fig. 3). Der Rutschanriss erfolgte im versackten Fels. Als Gleithorizont wirkte eine Siltsteinschicht der Molasse (15° gegen Nordwesten einfallend). Die Rutschmasse glitt auf und über die Ablagerungen von 2005

und mobilisierte diese teilweise. Im Frontbereich kam es zu mehreren Meter hohen Aufwölbungen, bevor die Rutschfront vorrückte. Insgesamt gelangten die Rutschmassen noch gut 100 m weiter talwärts als die Rutschfront von 2005 (Fig. 1).

Gefahrenbeurteilung

Vor dem Ereignis 2005 existierte im Gebiet lediglich eine Gefahrenhinweiskarte (Kantonsforstamt Luzern, Gefahrenhinweiskarte Kanton Luzern 1998). Hier wurde aufgrund der morphologischen Formen die Gefährdung durch Rutschprozesse ausgewiesen. Die bekannten Bewegungen beschränkten sich auf oberflächennahe Kleinrutschungen. Die mehrere Jahrzehnte alte Renggstrasse hatte im Gebiet keine offensichtlichen Schäden. Eine Gefahrenbeurteilung hätte hier aufgrund der Morphologie eine Rutschgefährdung ergeben. Im Anrissgebiet war Fels



Fig. 2: Die Rutschung Feldweid. Situation am 23. August 2005 (Foto Schweizer Luftwaffe). Die Rutschung zerstörte die Scheune und das Wohnhaus der Liegenschaft Feldweid, die Renggstrasse wurde talwärts geschoben. 2006 brach eine weitere Rutschscholle ab. Sie riss im Wald, seitlich zur Anbruchnische von 2005, rechts oben im Bild, ab.

anstehend, im möglichen Transitgebiet waren keine Anzeichen von aktiven Bewegungen zu erkennen. Zudem waren keine Ereignisse dokumentiert. Die Beurteilung hätte daher voraussichtlich zu einer gelben Gefahrenstufe geführt. Die zerstörende Wirkung der Grossrutschung wäre aufgrund der Datenlage nicht erkannt worden, obwohl alte, inaktive Sackungsstrukturen oberhalb des heute aktiven Rutschgebietes vorhanden sind.

2.3 Fazit permanente Rutschungen

Die Methodik für die Beurteilung von permanenten Rutschungen ist in den meisten Fällen tauglich, sofern Bewegungen auftreten. Die Beurteilung der Reaktivierbarkeit ist jedoch schwierig und mit Unsicherheiten behaftet.

Sind keine tiefgründigen aktiven Bewegungen zu beobachten und erfolgen die Bewegungen dann noch im Fels, wie beim Beispiel Feldweid, so stossen wir beim Erkennen des Ausmasses solcher Ausnahmeereignisse, beim Prognostizieren der Intensität und der Reichweite an die Grenzen der Beurteilbarkeit. Solche Ereignisse werden auch in

Zukunft kaum frühzeitig erkannt werden können.

Erkennt man rein aufgrund geomorphologischer Anzeichen solche potenziellen Gefahren, so wird die Kommunikation und die raumplanerische Umsetzung dieser Gefährdungen praktisch nicht möglich sein, weil Ereignisse aus historischer Zeit zur Belegung der Reaktivierbarkeit fehlen.

3. Hangmuren

3.1 Allgemeines zur Gefahreneinstufung

Die Hangmuren werden bei der Gefahrenbeurteilung nach den Vorgaben des Bundes (BRP, BWW, BUWAL 1997) und den Präzisierungen gemäss der Methode AGN beurteilt (Bundesamt für Wasser und Geologie, Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren 2004).

Die Wahrscheinlichkeit von Hangmuren wird mit einem Flussdiagramm beurteilt. Gestartet wird mit Hängen mit einer Neigung steiler als 20° . Weiter werden für die Beurteilung der Hangmurengefährdung die stummen Zeugen im Gelände, die Grunddisposition



Fig. 3:

Anrissbereich der Rutschung Feldweid im April 2006 (Foto GEOTEST): An der Anbruchkante steht versackter Fels an (Obere Meeresmolasse). Schollen aus dem Wald rutschten teilweise mit Geschwindigkeiten bis gegen 100 m pro Tag talwärts.

der Hänge - ermittelt mit einer statistischen Auswertung der beobachteten Hangmuren im Gebiet - sowie die möglichen Förderfaktoren (Geologie, Drainagen, Wasserableitungen etc.) berücksichtigt.

Die Bestimmung der Intensitäten basiert auf zwei Kriterien:

1. Im Anrissbereich ist die Mächtigkeit M der mobilisierbaren Schicht massgebend:

$M < 0.5$ m schwache Intensität

$0.5 < M < 2$ m mittlere Intensität

$M > 2$ m starke Intensität

Die Mächtigkeiten sind durch Geländebeobachtungen und Angaben aus dem Ereigniskataster sowie durch weitere geologische Beobachtungen und Analogieschlüsse in den meisten Fällen mit genügend guter Genauigkeit bestimmbar.

2. Im Transit- und Ablagerungsbereich sind die Mächtigkeiten h der Ablagerungen massgebend:

h : wenige dm schwache Intensität

$h < 1$ m mittlere Intensität

$h > 1$ m starke Intensität

Die Ablagerungsmächtigkeiten und Reichweiten von Hangmuren sind sehr schwierig abzuschätzen. Zuverlässige Berechnungsmodelle sind kaum auf dem Markt. Eine erste Schwierigkeit bietet schon die Prozess-

abgrenzung. Wo hört eine Hangmure auf («brutaler Prozess»)? Wo ist nur noch Hangwasser mit Schlamm vorhanden («nicht brutaler Prozess»)? Sind solche Übersarungen den Wasserprozessen zuzurechnen? Diese Fragen muss der Gefahrenbeurteiler in der Regel mit den kantonalen Fachstellen absprechen. Hier kommt erschwerend dazu, dass jeder Kanton seine eigenen Beurteilungskriterien geschaffen hat.

3.2 Beispiele Hangmuren vom August 2005 in Ennetbürgen (NW)

In der Gemeinde Ennetbürgen wurden während der Unwetter vom August 2005 an der südexponierten Flanke des Bürgenberges 49 kleinere und mittelgrosse Hangmuren beobachtet (Fig. 4). Am 30-35° steilen Südhang ist der Fels in der Regel von einer 0.2-1 m mächtigen Lockergesteinsschicht bedeckt. Die Hangmuren brachen aus der Lockergesteinsbedeckung aus. In den Ausbruchnischen kam meist der Fels zum Vorschein. Als Ursache wurden sowohl erhöhte Porenwasserdrücke im Lockergestein, starke Zutritte von Oberflächenwasser mit Erosionswirkung und auch starke Karstwasseraustritte aus dem Fels bestimmt.

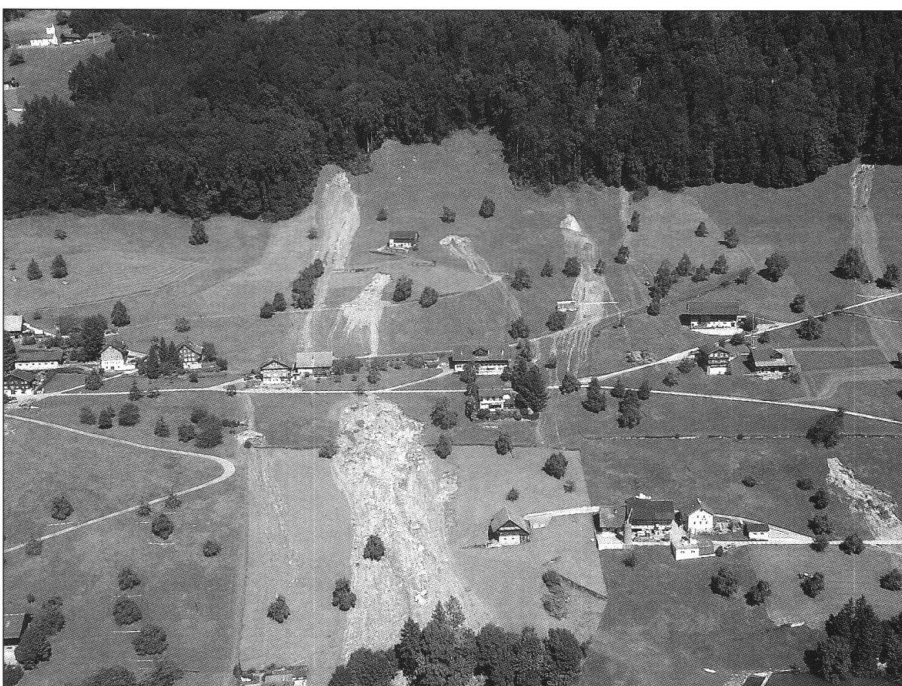


Fig. 4: Übersicht der Hangmuren im Gebiet Buochli, Ennetbürgen (Ereigniskataster Nidwalden, Foto Oeko-B AG). Die Reichweite von Hangmuren ist schwierig zu bestimmen. Es gilt zu entscheiden, wo der Übergang vom Hangmurenprozess zu Hangwasser mit Schlamm ist.

Gefahrenbeurteilung

Die Gefahrenkarte Ennetbürgen war zum Zeitpunkt der Ereignisse in Bearbeitung. Die Gefährdung durch Hangmuren schwacher bis bereichsweise mittlerer Intensität für seltene und sehr seltene Ereignisse wurde in einem ersten Entwurf in den steilen Hangbereichen des Bürgenberges ausgeschieden. Die Übereinstimmung der Aussagen im Gefahrenkartenentwurf mit den Hangmurenabgängen während dem Ereignis war gut. Aufgrund der Niederschlagsintensitäten und vor allem aufgrund der Wassermengen in den Böden und im Fels (Karst des Bürgenstockes mit noch nie beobachteten Wasseraustrittsmengen) wurde das Ereignis vom August 2005 als 100- bis 300-jährliches Ereignis eingestuft.

Nebst den gut ausgeschiedenen Gefahrengebieten traten in Ennetbürgen zwei Hangmuren auf, welche nicht richtig prognostiziert wurden. In einem Fall wurde die zerstörerische Intensität nicht erkannt, im anderen Fall wurde die Intensität um eine Stufe zu schwach eingeschätzt, weil die Gleitfläche nicht an der Grenze Lockergestein/Fels, sondern innerhalb des Felsuntergrundes lag. Beide aussergewöhnlichen Hangmuren entstanden aufgrund der extrem hohen Kluftwasserdrücke und der Karstwasseraustritte. Die Phänomene vom August 2005 waren in

dieser Form noch nie in Ennetbürgen beobachtet worden und sollen daher nachfolgend beschrieben werden.

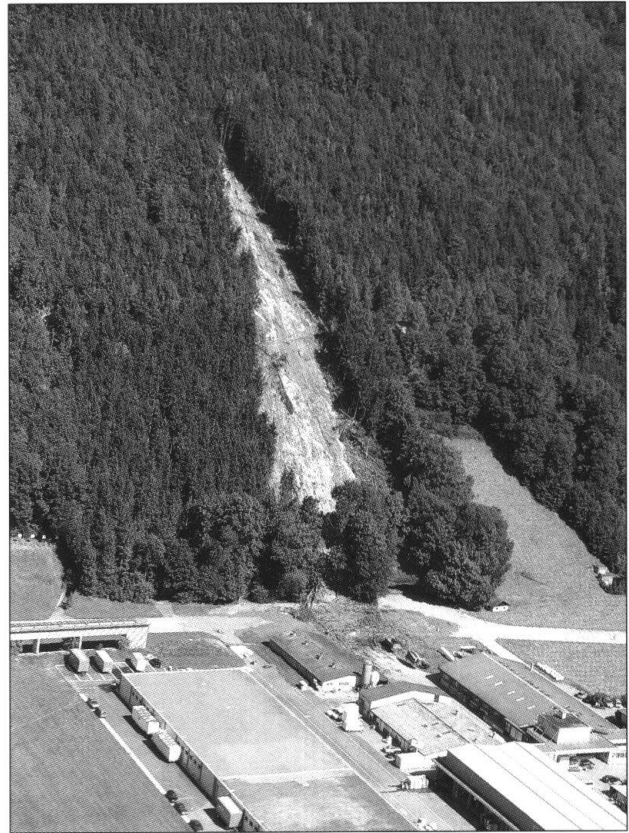


Fig. 5: Hangmure Herderenwald, Ennetbürgen (Ereigniskataster Nidwalden, Foto Oeko-B AG). Aufgrund von Karstwasseraustritten in noch nie beobachtetem Ausmass riss die Hangmure auf ihrem Weg zum Talboden die gesamte Lockergesteinsbedeckung auf der Felsoberfläche samt Wald mit.

Hangmure Herderenwald, Ennetbürgen

Allgemeine Daten

Mittlere Koordinaten:	LK 672'660/203'820
Höhe Ausbruch:	560 m ü. M.
Prozess:	Hangmure
Gleitfläche:	Fels
Fläche:	Ausbruch ca. 600 m ² Transit- und Ablagerungsbereich ca. 8'500 m ²
Kubatur:	ca. 1'000 m ³ aus dem Ausbruchgebiet, weitere 600 m ³ aus dem Transitgebiet und 900 m ³ Holz
Rutschdistanz:	190 m
Höhendifferenz:	110 m
Rutschgeschwindigkeit:	nicht genau bestimmbar, mehrere Meter pro Sekunde
Intensität:	stark

Die erste Beurteilung gemäss Flussdiagramm AGN ergab für das betroffene Gebiet folgende Gefährdung:

- Hangneigung 35° , keine stummen Zeugen vorhanden, Förderfaktor Hangwasser. Daraus folgte: Eintretenswahrscheinlichkeit gering.
- Für die Intensität wurden folgende Beurteilungspunkte berücksichtigt: Anriss-

und Transitgebiet im Wald, Anrissmächtigkeit flachgründig, keine Ereignisse bekannt. Daraus folgte: Hangmuren geringer Intensität möglich.

- Die Erstbeurteilung gemäss Flussdiagramm AGN ergab folglich eine gelbe Gefahrenstufe: sehr seltene Ereignisse mit geringer Intensität.

Felsrutschung/Hangmure Buochli, Ennetbürgen

Allgemeine Daten

Mittlere Koordinaten:	LK 675'950/205'280
Höhe Ausbruch:	490 m ü. M.
Prozess:	Oben spontane Felsrutschung, unten Hangmure
Gleitfläche:	Fels
Fläche:	Ausbruch ca. 1'600 m ²
Kubatur:	ca. 2'000 m ³
Rutschdistanz:	wenige Meter, murgangartige Verschwemmungen 130 m
Höhendifferenz:	60 m
Rutschgeschwindigkeit:	nicht genau bestimmbar
Intensität:	mittel (teilweise allenfalls stark)



Fig. 6: Hangmure/Felsrutschung Buochli, Ennetbürgen (Ereigniskataster Nidwalden, Foto Oeko-B AG). Die Hangmure erfasste nicht nur Lockergestein, sondern auch Teile der unterliegenden Felsschichten (tertiäre Stadschiefer der helvetischen Bürgenstock-Teildecke).



Fig. 7: Detail der Hangmure/Felsrutschung Buochli, Ennetbürgen (Ereigniskataster Nidwalden, Foto Oeko-B AG). Deutlich erkennbar ist, dass die Bewegung nicht an der Grenze Lockergestein/Fels erfolgte, sondern innerhalb des Felsens.

Die erste Beurteilung gemäss Flussdiagramm AGN ergab folgende Gefährdung:

- Hangneigung 30° , keine stummen Zeugen vorhanden, jedoch im steileren Umgebungsgelände, Förderfaktor Strassenabwasser. Daraus folgte: Häufigkeit selten (30- bis 100-jährlich).
- Für die Intensität wurden folgende Beurteilungspunkte berücksichtigt: Anriss- und Transitgebiet im Wiesland, Anrissmächtigkeit bisheriger Hangmuren maximal 0.5 m, keine Ereignisse bekannt. Daraus folgte: Hangmuren geringer Intensität möglich.
- Folglich ergab die Erstbeurteilung gemäss Flussdiagramm AGN eine blaue Gefahrenstufe: Seltene Ereignisse (30- bis 100-jährlich) mit geringer Intensität sind möglich.

Da die Hangneigung bis hinunter zum Vierwaldstättersee gleichmässig ist, wurde die Gefährdung schwacher Intensität für den gesamten Hang ausgeschieden.

- Die spontane Felsrutschung vom August 2005 hatte einen Tiefgang von maximal 1.8 m. Die Murgangablagerungen talwärts wiesen eine Höhe von weniger als 1m auf. Die Geschwindigkeiten der murgangartigen Abgänge sind nicht bekannt, die grösseren Blöcke blieben aber weit oben liegen. Bei der Neubeurteilung wurde zudem mitberücksichtigt, dass die Disposition für ein Ereignis wie im August 2005 vermutlich nicht mehr gegeben ist. Die stauenden Deck- und Felsschichten wurden nicht in der ursprünglichen Art wieder aufgebracht. Die Gefahrenbeurteilung

bezüglich Intensitäten sehr seltener Ereignisse wurde wie folgt angepasst: Im Ausbruchbereich sind zusätzlich spontane Rutschungen mittlerer Intensität und den gesamten Abhang hinunter bis an den Vierwaldstättersee Hangmuren mittlerer Intensität bei sehr seltenen Ereignissen (100-300-jährlich) möglich.

3.3 Fazit

Die Methodik zur Beurteilung von Hangmuren ist in vielen Fällen tauglich. Die Bestimmung der Anrissmächtigkeit bietet teilweise Schwierigkeiten. Noch schwieriger sind die Prognosen bezüglich Reichweite und Intensität von Hangmuren. An die Grenzen der Beurteilbarkeit kommt der Gutachter bei teilweise unbekanntem geologischen oder menschlichen Faktoren. Die beiden erläuterten Beispiele von Ennetbürgen zeigen dies deutlich. Unterirdische Karstwasserzutritte bei Extremwasserständen, aber auch alte unbekannte Drainagen etc. sind kaum vom Beurteilenden erkennbar, vor allem wenn keine Ereignisse im Ereigniskataster dokumentiert sind.

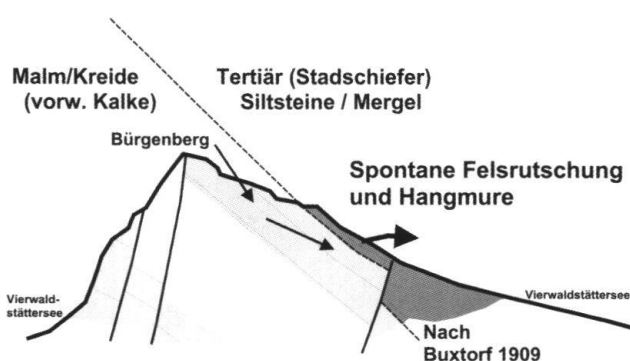


Fig. 8: Geologisches Profil durch den Bürgenstock gemäss Buxtorf. In den Kreideschichten der helvetischen Bürgenstock-Teildecke baut sich ein hoher Karstwasserdruck auf. Es wird davon ausgegangen, dass ein hoher Wasserdruck im Fels zum Abheben der obersten Felsschichten geführt hat. Die Wasserdrücke haben während des Ereignisses zu spürbaren un tiefen Erdbeben in der Zentralschweiz geführt (Raum Alpnach, Raum Stans/Ennetbürgen, Raum Schüpfheim, Raum Riemenstalden und Muotatal).

4. Sturzprozesse

4.1 Allgemeines zur Gefahreinstufung

Die Sturzprozesse Steinschlag, Blockschlag und Felssturz werden bei der Gefahrenbeurteilung nach den Vorgaben des Bundes (BRP, BWB, BUWAL 1997) beurteilt.

Die Häufigkeiten werden meist gutachterlich aufgrund des Trennflächengefüges im Ausbruchbereich bestimmt. Hilfreich sind dabei zudem die Prozessspuren im Gelände und die Ereigniskatasterdaten.

Die Intensitäten werden anhand der kinetischen Energie E der Sturzblöcke bestimmt:

$E < 30 \text{ kJ}$	schwache Intensität
$30 < E < 300 \text{ kJ}$	mittlere Intensität
$E > 300 \text{ kJ}$	starke Intensität

Die Bestimmung der Ausbruchhäufigkeiten ist der anspruchvollste Teil der Bearbeitung. Aufgrund des vorhandenen Trennflächengefüges hat der Fachmann diese aufgeschlüsselt auf verschiedene Blockgrößen zu ermitteln (Szenarien). Unterschiede in der Beurteilung zwischen verschiedenen Autoren sind normal. Im Bereich der grösstmöglichen Blöcke differieren die Aussagen der verschiedenen Beurteiler aber weniger stark, da hier das Trennflächengefüge die Begrenzungen vorgibt und diese Größen teilweise anhand der Spuren abgelagerter Blöcke verifiziert werden können. Schwieriger ist die Prognose von sehr seltenen Grossereignissen, wie grosse Felsstürze oder sogar Bergstürze.

Im Transit- und Ablagerungsbereich sind die Reichweiten, die Sprunghöhen und die Energien der verschiedenen Szenarien-Blöcke zu ermitteln. Hier helfen exakte Geländekartierungen (Spuren von alten Ereignissen), aber auch Schätz- und Berechnungsmodelle. Die Sturzgefahr ist in dieser Hinsicht mit den heute verfügbaren Steinschlagmodellen die wohl am besten erfassbare gravitative Naturgefahr. Bedingung ist jedoch eine sorgfältige Geländeaufnahme. Zudem muss der Modellierende sein Programm kennen und

seine Berechnungen sauber eichen. Die Resultate müssen bezüglich Plausibilität überprüft werden.

Der grösste Fehler in der Beurteilung von Sturzprozessen resultiert bei der Szenarienbildung. Die Sturzsimulationen, korrekt angewendet, ergeben in der Regel gute Resultate. Am Beispiel des Felssturzes von Gurntellen

vom 31. Mai 2006 und der nachfolgenden Sicherheitssprengung soll gezeigt werden, dass die im Januar 2006 durchgeführten Sturzprozessvorhersagen mittels Steinschlagsimulationen beim Ereignis 2006 sowie bei der Felsprengung sehr gut übereinstimmen.

4.2 Beispiel Felssturz A2 Gurntellen (UR) vom 31. Mai 2006

Allgemeine Daten

Koordinaten:	Abbruch: LK 691'553/175'875
Kubatur:	ca. 5'000 m ³
Abbruchhöhe:	1370 m ü. M.
Unterste Ablagerungen:	730 m ü. M. (unterhalb Autobahn A2 und unterhalb Kantonsstrasse)
Blockgrössen:	Ablagerung auf der Autobahn A2 oder weiter unten: Grösster Block 60 m ³ , weitere Blöcke 52 und 22 m ³ , sechs Blöcke zwischen 10 und 20 m ³ , zwei Blöcke zwischen 6 und 10 m ³ sowie viele kleine Splitterblöcke.
Schäden:	Zwei Tote, zwei zerstörte Lastwagen mit Ladung, Strassenschäden, Leitungen beschädigt, Schutzbauten und Schutzwald teilweise zerstört, indirekte Schäden durch Strassensperrung.



Fig. 9: Felssturz Gurntellen, 31. Mai 2006 (Foto Kantonspolizei Uri). Grossblöcke mit Kubaturen zwischen 6 und 60 m³ erreichten die Autobahn oder stürzten sogar noch über diese hinaus. Daneben lagen viele Splitterblöcke auf der Fahrbahn.

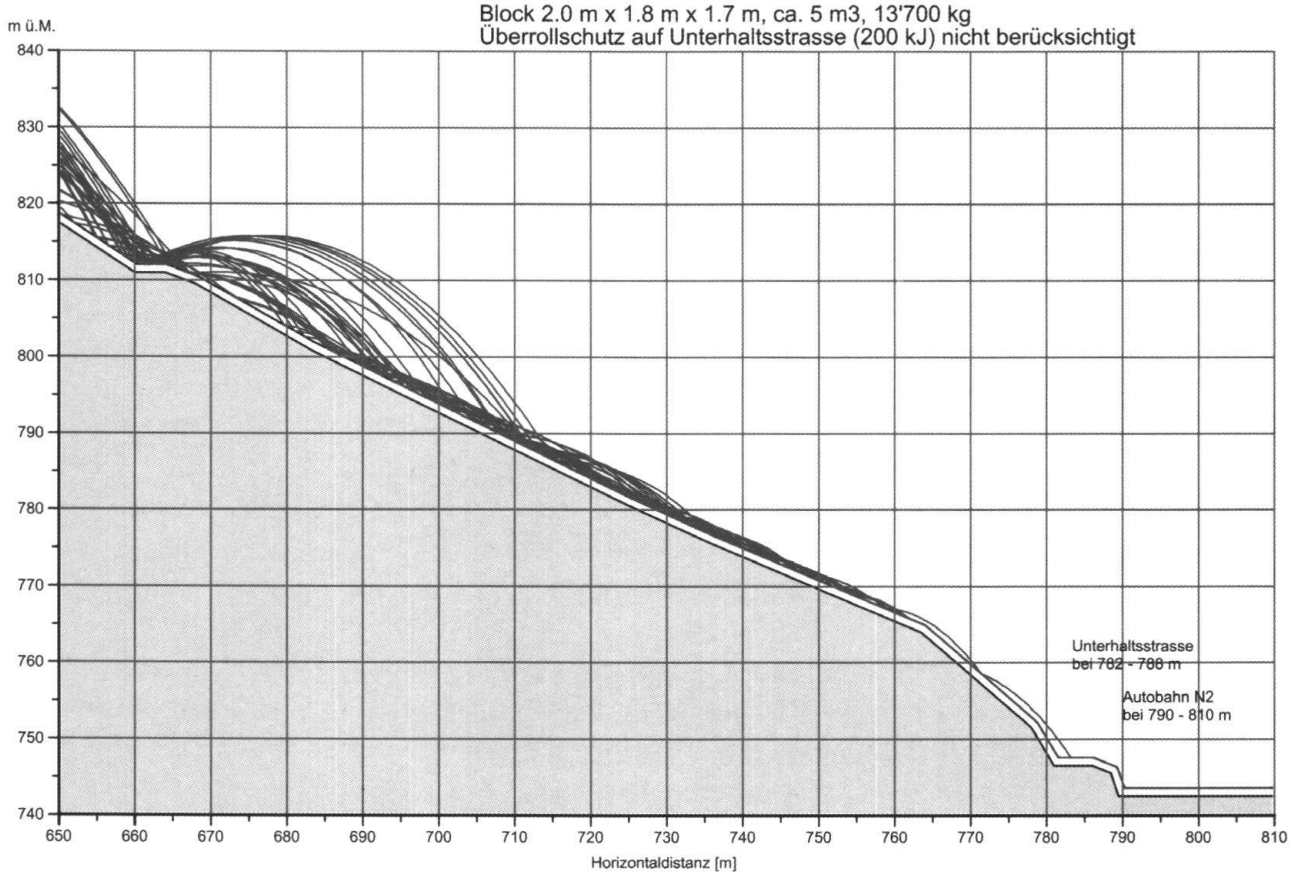


Fig. 10: Sturzsimulation Gurtellen von Blöcken mit 5 m³ Kubatur. Blöcke dieser Grösse können die Schutzbauten oberhalb der Autobahn überwinden und die Fahrbahn erreichen.

Gefahrenbeurteilung

Nach einem ersten Felssturz im Gebiet am 21. März 2005 wurde eine Projektstudie zum Schutze der Autobahn in Auftrag gegeben. Im Rahmen dieser Projektstudie wurden unter anderem auch Steinschlagsimulationen durchgeführt. Diese zeigten, dass Blöcke kleiner als 2 m³ die Autobahn nicht erreichen. Ebenso zeigten sie, dass Blöcke ab einer Grösse von ca. 5 m³ nicht mehr von den bestehenden Schutznetzen aufgehalten werden können (Überrollschutz, Energieaufnahme 200 kJ).

Nach dem Felssturz vom 31. Mai 2006 war im Ausbruchgebiet ein Felsüberhang zurückgeblieben. Aufgrund der Beurteilung vor Ort wurde festgestellt, dass sich grosse Abbrüche durch kleinere Vorstürze ankündigen werden. Auf der Basis dieser Beurteilung und den früher durchgeführten Sturzsimulationen wurde die Autobahn unter ständiger

Beobachtung und mit einem Sperr- und Alarmdispositiv in einer ersten Phase wieder geöffnet. Es war geplant, sobald wie möglich die optische Überwachung durch eine elektronische und geodätische abzulösen, und so schnell wie möglich die Schutzmassnahmen entlang der Autobahn zu verbessern. Kurz nach der Öffnung erfolgten mehrere kleinere Abstürze, worauf gemäss Alarmdispositiv die Autobahn wieder gesperrt wurde. Die erneute Beurteilung vor Ort ergab, dass sich in kurzer Zeit neue Risse in der Wand gebildet hatten. Es drohten grössere Klüftkörper ohne genügend Vorwarnzeit abzustürzen, was zu einer unverantwortbaren Sicherheitssituation führte. Daraufhin wurden verschiedene Lösungsvarianten geprüft und schliesslich entschieden, den Felsüberhang mittels Sprengabtrag zu entfernen.

Sicherheitssprengung vom 23. Juni 2006

Kubatur:	4'800 m ³
Obere Ansatzhöhe:	1390 m ü. M.
Vorgaben:	Das Bohrraster wurde so gewählt, dass bei der Sprengung Blöcke kleiner 5 m ³ entstanden. Gewisse Frontpartien konnten aber nicht von oben her zerbohrt werden, so dass die Gefahr bestand, dass einzelne grössere Blöcke trotzdem abstürzen und die Autobahn erreichen könnten.
Unterste Ablagerungen:	750 m ü. M. Wenige Splitter auf dem Rastplatz bei der Autobahn A2, sonst blieben alle Blöcke oberhalb des Überrollschutzes liegen.
Blockgrössen:	Ablagerung oberhalb der Autobahn A2: Ein Grossblock zersprang während der Sprengung im Bereich der Forststrassen oberhalb der Autobahn in zwei Grossblöcke von 7 und 9 m ³ . Diese wurden vom Überrollschutz noch knapp aufgehalten. Die restlichen Blöcke waren alle kleiner als 3 m ³ und blieben oberhalb der Autobahn liegen.
Schäden:	Überrollschutz beschädigt, Waldschäden, keine weiteren Schäden an der Autobahn.

4.3 Fazit

Die Methodik für die Beurteilung von Sturzprozessen ist tauglich. Für eine Gefahrenbeurteilung ist der schwierigste Teil die Szenariobildung bezüglich Ausbruchhäufigkeiten von Ereignisgrössen. Die Reichweiten und die Intensitäten der einzelnen Sturzblöcke dagegen sind relativ gut erfassbar. Die vor dem Ereignis 2006 in Gurtellen gemachten Aussagen waren zutreffend. Die berechneten Blockgrössen, welche die Autobahn erreichen konnten, wurden sowohl durch das Ereignis als auch durch die Sprengung bestätigt. Sturzsimulationen sind daher auch ein taugliches Mittel, um die notwendige Energieaufnahme von Schutzbauten zu dimensionieren oder die Schutzwirkung bestehender Schutzbauten abzuschätzen. Im vorliegenden Fall werden die geplanten definitiven Schutzmassnahmen mittels Daten von Sturzsimulationen dimensioniert.

Für grosse Felsstürze und Bergstürze, welche nicht in Einzelblöcke zerfallen, sind die Berechnungsmodelle dagegen noch nicht ausgereift. Die Interaktion der Sturzblöcke untereinander beeinflusst hier den Bewegungsmechanismus stark. Meist muss auf empirische Schätzformeln zurückgegriffen werden. Solche grossen Ereignisse sind glücklicherweise sehr

selten und ihre Häufigkeiten fallen oft nicht in den Betrachtungsraum, welcher für die Erstellung von Gefahrenkarten relevant ist.

5. Schlussfolgerungen

Die in der Schweiz eingesetzte Methodik für die Gefahrenprognose führt in den meisten Fällen zu guten Resultaten. Die Methoden lassen dem Beurteiler viel Spielraum. Daher ist dessen Erfahrung und Prozessverständnis von entscheidender Bedeutung.

Sturzprozesse lassen sich gut simulieren, sofern die Simulationen mit der nötigen Programmkenntnis erfolgen, die Simulationen geeicht und die Resultate auf ihre Plausibilität hin überprüft werden.

Die Herausforderung besteht bei allen Prozessen in der Bestimmung der Häufigkeiten. Bei Rutschprozessen sind auch die Bestimmung der Intensitäten und Reichweiten anspruchsvoll. Da zuverlässige Rechenmodelle fehlen, ist hier der Ereigniskataster oft das einzige sichere Beurteilungsmittel.

Gute Ereigniskataster sind für die Gefahrenbeurteilung und für die Umsetzung der Gefahrenkarten in die Nutzungsplanung von grossem Nutzen.

Literatur

- Bundesamt für Raumplanung (BRP) / Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, 42 S.
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) 2004: Gefahreneinstufungen Rutschungen i.w.S., Entwurf AGN. 17 S. mit Anhang und Tafeln.
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) 2005: Unwetter 2005, Aufnahmeformulare Rutschungen, Beispiele Kantone Luzern und Nidwalden. Aufgenommen durch GEOTEST AG, unpubliziert.
- GEOTEST AG 2006: Entlebuch, Rutschung Feldweid, Geologische Beurteilung, Massnahmen. Unpublizierter Bericht Nr. L05105.7.
- Kanton Nidwalden, Amt für Wald und Energie: Ereigniskataster Ennetbürgen. Datenbank unpubliziert. Zugriff: Dezember 2005.
- Kanton Uri 2006: N2 Amsteg-Wassen, Steinschlag-schutz Wilerwald, Gurtnellen. Entwurf Vorstudie. Berichtverfasser: Ingenieurgesellschaft Ing. Büro Thali / GEOTEST AG. Unpublizierter Entwurf vom 26.1.2006.
- Kantonsforstamt Luzern 1998: Gefahrenhinweiskarte des Kantons Luzern. Datenerfassung und Plangrafik: GEOTEST AG, Geo7, Universität Bern. Online bei der GIS-Koordinationsstelle des Kantons Luzern: <http://www.geo.lu.ch/map/gefahrenhinweiskarte/Run.htm>