143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig–Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Geotechnik Schweiz
Géotechnique Suisse
Geotecnica Svizzera
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Management der geologischen Risiken und Gefahren

Gestion des risques et dangers géologiques

Inhalt
Tabledes matières

Dr. W. Ammann	Integrales Risikomanagement: Chance im Kampf gegen Naturgefahren
Dr.h.c. P. Ecoffey	Prévention et gestion des dangers naturels par un assureur public
Dr. D. Fäh	Erdbeben in der Schweiz: Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung
Th. Rageth	Naturgefahrenmanagement in einem Gebirgskanton
Dr. M. Wegmann	Pragmatischer Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren
Prof. Dr. L. Vulliet	Nouveautés dans l'analyse des mouvements de terrain
Ph. Teysseire Prof. S. Springman	Geotechnische Risiken bei der Beurteilung von Naturgefahren
Dr. R. Krähenbühl	Frühwarnsysteme in einem 1600 km langen Strassennetz
Dr. U. Gruner	Felssturzgefahr Chapf-Üssri Urweid: Risikobeurteilung und Gefahrenmanagement
P. Ornstein	Gestion des mesures géodésiques 1-D et 3-D: Site de Randa
H. Rovina	Kurzfristige Risikobeurteilung des Felssturzes von Mörel vom 01.10.00

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Integrales Risikomanagement
Chance im Kampf gegen Naturgefahren

Dr. W. Ammann

Integrales Risikomanagement – Chance im Kampf gegen Naturgefahren

Walter J. Ammann, Eidgenössisches institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
Forschungsbereich Naturgefahren, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Einleitung

Im „Jahrhundert"-Katastrophenjahr 1999 verursachten in der Schweiz Lawinen, Schneedruck, Überschwemmungen, Rutschungen, Hagel und schliesslich zum Jahresabschluss der Sturm Lothar Schäden in Milliardenhöhe und über 50 Todesopfer (vgl. [1], [2], [3], [4], [5]). Die Tendenz der Gesamtschäden ist steigend. Gründe dafür sind einerseits die z.T. subjektiv bezifferten Forderungen der Gesellschaft an die Nutzung des betroffenen Gebietes (indirekte Schäden, vgl. [6]). Andererseits haben eine immer dichtere Besiedelung und die Ansprüche der Gesellschaft an Mobilität, Versorgung und Kommunikation zu einem schleichenden, kaum wahrgenommenen Anstieg des Risikos, insbesondere im Alpenraum, geführt. Wenn heute ein Tal einige Tage von der Aussenwelt abgeschnitten ist, wird dies als wirtschaftliche Katastrophe erachtet [6]. Die immer stärkere Vernetzung im Wirtschaftsleben -z.B. die Just in time Production- führt zu immer grösseren Folge- oder Sekundärschäden bei einem Störfall. Früher wurde die vorübergehende Sperrung von Verkehrsachsen in der Regel als weniger einschneidend empfunden und dementsprechend auch nicht als materieller Schaden in die Statistiken aufgenommen.

Weltweit betrachtet hat sich die jährliche, volkswirtschaftliche Schadenbelastung durch Naturkatastrophen laut Münchener Rück, dem weltgrössten Rückversicherungsunternehmen, noch weit dramatischer entwickelt, als in der Schweiz (Bild 1). Hauptgründe für die global stark zunehmenden Schäden sind Bevölkerungszunahme, Konzentration der Menschen in Städten und an den Küsten, gesteigerte Mobilität, höherer Wert von Immobilien und Infrastrukturen, Vordringen des Siedlungsraumes in gefährdete Gebiete, erhöhte Anfälligkeit von Industriegesellschaften für politische und soziale Konflikte, Klima- und Umweltveränderungen, und nicht zuletzt die zunehmende Anzahl Versicherungsnehmer selber, die eine erhöhte Sicherheit beanspruchen, und so ein kleineres Restrisiko akzeptieren.



Bild 1: Entwicklung der volkswirtschaftlichen Schäden und der versicherten Schäden aus Naturkatastrophen (aus [7]).

Die zahlreichen Naturgefahren wie Rutschungen, Steinschlag, Murgänge oder Lawinen verhindern seit jeher die uneingeschränkte Nutzung des Alpenraumes als Siedlungsraum oder als Transitachse. Wer sich den Alpenraum als Siedlungs- oder Wirtschaftsraum nutzbar macht oder ihn auf einer Transitachse durchquert, wird mit den Gefahren der Natur konfrontiert. Die Besiedelung der Alpen war deshalb ein steter Lernprozess. Raumknappheit und sichere Nutzung bildeten bereits im Mittelalter häufig unvereinbare Gegensätze. Immer wieder ereigneten sich Katastrophen mit hohen Verlusten an Leib, Leben und Gut. Die Gefahr rückte so jeweils in das Bewusstsein betroffener Menschen und blieb zumindest eine Zeitlang im Gedächtnis haften. Menschen und Naturgefahren bildeten eine Art Schicksalsgemeinschaft. Trotz der ausgewiesenen Gefahr wurde das Risiko offenbar akzeptiert; ob aus Sturheit, aus Fatalismus („Gottesstrafe") oder mangels Alternativen (Grundbesitz) ist heute nur schwer zu beurteilen. Aber nicht nur die Alpen, auch das Mittelland sieht sich mit verschiedenen Naturgefahren konfrontiert. Naturgefahren sind ein Problem, welches die ganze Schweiz betrifft. Eine Gefahr, die in der Vergangenheit von breiten Bevölkerungskreisen gesamtschweizerisch kaum wahrgenommen wurde, bildet das Erdbeben [8]. Die Schweiz gilt zwar als Land mit nur mässiger Seismizität. Trotzdem würden in der heutigen Zeit auftretende historische Erdbeben Schäden in vielen Milli-

arden verursachen. Glücklicherweise ist hier ein Umdenken feststellbar; das Erdbeben hat kürzlich beim Bundesamt für Wasser und Geologie als eine weitere, für die Schweiz relevante Naturgefahr Eingang gefunden.

Was bedeutet Risiko?

Naturereignisse müssen nicht automatisch zu Katastrophen führen. Gefährlich werden die Ereignisse erst dann, wenn sich Gefahrengebiete mit Nutzungsgebieten überschneiden. Für die Gefahr ist die Natur verantwortlich, das Risiko macht der Mensch. Das Risiko kann mathematisch vereinfacht als Produkt von

Risiko R = Ereignishäufigkeit x Schadenausmass

ausgedrückt mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten, verstanden werden. Die Häufigkeit gefährlicher Ereignisse und die damit verknüpfte Intensität der Einwirkung sind somit nur Teilfaktoren des Risikos. Das Schadenausmass als weiterer Teilfaktor des Risikos wird einerseits bestimmt durch die Anzahl Personen und Werte, die einer Naturgefahr zum Zeitpunkt ihres tatsächlichen Eintrittes ausgesetzt sind, und anderseits durch die Verletzbarkeit respektive die Schadenanfälligkeit der von einem gefährlichen Ereignis betroffenen Personen und deren Werte. Dabei sind diese Werte ökonomischer, ökologischer oder sozialer Art.

Aus der mathematischen Definition des Risikos folgt auch, dass häufige, kleine Schadenereignisse an sich zum selben Risiko führen wie ein seltenes, dafür aber grosses Ereignis. Bei letzterem kann es allerdings zu einer markanten Verschärfung in der Risikowahrnehmung kommen, insbesondere dann, wenn Todesopfer zu beklagen sind. Die Öffentlichkeit reagiert auf 100 Verkehrsunfälle mit je einem Toten völlig anders, als auf den einen Absturz eines Verkehrsflugzeuges mit 100 Toten. Diesem Umstand wird mit einem zusätzlichen Faktor in der Risikodefinition, dem sogenannten Aversionsfaktor, Rechnung getragen. Diese Risikoaversion wird inskünftig umso wichtiger werden, wenn es darum geht, Risiken aus verschiedenen Naturgefahren untereinander, oder gar mit technologischen Risiken zu vergleichen. Andererseits akzeptiert die Öffentlichkeit eine sehr selten auftretende Naturgefahr, wie zum Beispiel ein mit dem Basler Erdbeben von 1356 vergleichbares Ereignis, nur mit Mühe als reelle Gefährdung bzw. als Risiko. Dies mag daran liegen, dass der Mensch mit Zeiträumen, die weit über seine Lebensdauer hinausreichen, kaum umzugehen versteht.

Die erwähnten, „menschlichen Risikofaktoren" wie Besitzstand oder Mobilität sind nach wie vor Wachstumsfaktoren und kurzfristig kaum veränderbar. Vor diesem Hintergrund ist in naher Zukunft kaum mit einer Abschwächung der Schadenentwicklung zu rechnen. Zahlreiche Argumente sprechen aber dennoch dafür, dass die Schadenentwicklung mittel- und langfristig verlangsamt werden kann. Es sind dies z.B.

- Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmass (z.B. Reichweite) gefährlicher Prozesse können zunehmend genauer prognostiziert werden,
- die modernen Kommunikationsmittel erlauben eine bessere Frühwarnung und Informationsverbreitung als wesentliche Voraussetzung für wirksame organisatorische Massnahmen,
- die langjährigen Erfahrungen in der Prävention lassen wirksamere und vielfältigere Schutzmassnahmen entstehen und
- die raumplanerischen Massnahmen auf der Basis von Gefahrenkarten beginnen zunehmend Wirkung zu zeigen

Wichtig dabei ist, dass diese Massnahmen konsequent weitergeführt und ergänzt werden. Die Ereignisse der letzten Jahre haben aber auch gezeigt, dass sich die monetären Schadenwerte kaum noch markant senken lassen. Der Prävention sind Grenzen gesetzt. Prioritäres Ziel in der Zukunft muss es sein, Menschenleben zu schützen und die Anzahl an Toten möglichst tief zu halten. Umso wichtiger wird es damit werden, über ein effizientes Krisenmanagement mit griffigen organisatorischen Massnahmen zu verfügen.

Was heisst „Integrales Risikomanagement"?

Integrales Risikomanagement umschreibt im Spannungsfeld von Risiko und Sicherheit ein Konzept zur Handhabung von Risiken. Unter dem Begriff des „Integralen Risikomanagements" (IRM) wird nachfolgend der gleichwertige Einsatz und das optimale aufeinander Abstimmen sämtlicher Massnahmen und Handlungen im Kreislauf der Phasen (vgl. Bild 2):

- Vorbeugung (Prevention)
- Krisenbewältigung (Intervention)
- Wiederinstandstellung (Recovery)

verstanden. Damit wird deutlich, dass auch in Zukunft trotz bester Vorbeugung Katastrophen eintreten werden und es deshalb wichtig ist, auch über effiziente Massnahmen während und nach einer Krisensituation zu verfügen. Als Massnahmen stehen zur Verfügung:

- Organisatorische Massnahmen
- Raumplanerische Massnahmen

- Technische Massnahmen (in der Vorbeugung und Wiederinstandstellung)
- Biologische Massnahmen
- soziale/politische Massnahmen

Auch bei den Massnahmen ist es im Interesse der Kosten-Wirksamkeit wichtig, dass einzelne Massnahmenarten nicht einseitig bevorzugt eingesetzt werden, sondern als untereinander gleichwertig zu betrachten sind. In Anlehnung an Haller und Ackermann [9] wird nachfolgend mit dem Begriff des integralen Risikomanagementes auch ein Gesamtkonzept des Denkens und Handelns verstanden, welches es ermöglicht:

- Wesentliche Risiken zu erkennen und zu beurteilen
- Diese Risiken systematisch und mit geeigneten Massnahmen zu reduzieren
- Führungsmässige und organisatorische Konsequenzen zu ziehen.

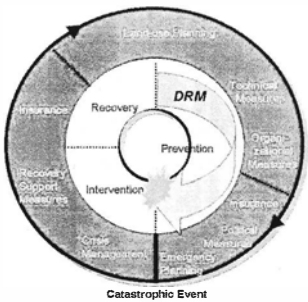


Bild 2: Der Kreislauf des Integralen Risikomanagements

Im konkreten Einzelfall sind im Sinne des IRM stets die beiden zentralen Fragen „Was kann passieren?" und „Was darf passieren?" zu beantworten. Die in der Regel vorhandene Lücke zwischen den beiden Antworten ist mit geeigneten Massnahmen zu überbrücken. Zur gezielten Beantwortung der beiden Fragen stützt sich das IRM auf die folgenden drei Grundpfeiler jeglicher risikoorientierter Massnahmenplanung ab:

- Beurteilung der Gefährdungssituation (Hazard Assessment)
- Analyse der Verletzbarkeit (Vulnerability)
- Risikobewertung (Risk Assessment)

Die Beurteilung der Gefährdungssituation dient im wesentlichen zur Beantwortung der Frage „Was kann passieren?". Grundlagen dazu sind zum einen eine Charakterisierung und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Systemabgrenzung), zum anderen gezielte Analysen der fraglichen Naturgefahren-Prozesse (Gefahrenidentifikation), die Ermittlung entsprechender Intensitäten und Auftretenswahrscheinlichkeiten und des Einfluss- bzw. Störungsbereiches (Prozessabschätzung). Als Basis dienen zum Beispiel Ereigniskataster, Gefahrenhinweiskarten und die eigentlichen Gefahrenzonenkarten. Die Prozessabschätzung basiert dabei nach Möglichkeit auf physikalisch- numerischen Modellen. Die Systemabgrenzung hat sehr vorsichtig zu erfolgen, insbesondere dann, wenn zusätzliche Folgeschäden technischer und ökonomischer Art nicht auszuschliessen sind. Das Denken in rein linearen Ursache-Wirkungsketten sind dann nicht mehr zielführend. Fehlerbaumanalysen und Szenarien-Denkweisen können weiterführen (vgl. dazu auch [10], [11]).

Die Analyse der Verletzbarkeit bildet eine wesentliche Grundlage zur Beurteilung des Schadenausmasses. Während in der Vergangenheit vor allem die Verletzbarkeit von Leib, Leben und Gut analysiert wurde, d.h. von Personen, Gebäuden und Einrichtungen, steht heute vor allem die Verletzbarkeit komplexer Infrastrukturen, von Verkehrssystemen, von Produktionsketten, von ganzen Wirtschaftszweigen und politischen Strukturen sowie von Ökosystemen im Vordergrund. Dabei geht es nicht zuletzt auch um die Abschätzung möglicher indirekter Folgeschäden, z.B. um Auswirkungen auf den Tourismus als Folge gesperrter Verkehrswege, um Auswirkungen infolge Ausfall des Kommunikationsnetzes, um nachfolgende Brandausbrüche, oder um die Beeinträchtigung von Grundwasser durch auslaufendes Öl, etc.

Die Verletzbarkeit von Ökosystemen wurde in letzter Zeit im Zeichen der ökologischen Anliegen und daraus resultierender Haftpflichtprobleme stark aufgewertet. Dabei kann es aber nicht darum gehen, die Natur vor

sich selbst zu schützen; dies schon im Interesse der Erhaltung der Artenvielfalt. Störungen in der Natur als Folge von Naturgefahren-Ereignissen führen in der Regel zu einer stark erhöhten Artenvielfalt und sichern letztlich die evolutionäre Entwicklung. Eine Veränderung der Geo- und Biosphäre durch ein Naturereignis wird von der Öffentlichkeit in der Regel als Schaden gewertet. Auch hier mögen unterschiedliche Zeitmassstäbe eine wichtige Rolle spielen. Der Mensch wünscht sich eine statische, unveränderte Landschaft, die er dann allerdings nach seinem Gutdünken bewirtschaften und verändern kann. Die Natur ihrerseits hat Zeit. Sturmschäden, wie sie Lothar im Dezember 1999 [3] verursacht hat, kann sie über viele Jahrzehnte und sogar Jahrhunderte „ausgleichen", der Mensch aber möchte ein „intaktes" Landschaftsbild. Aber auch die Landschaft ist etwas dynamisches, auch wenn sich geologische oder evolutionäre Zeitskalen von derjenigen des Menschen deutlich unterscheiden. Er muss sich dieser Dynamik bewusst sein. Nur so wird ihm bewusst, dass Naturgefahren grundsätzlich nicht vermieden werden können.

Die Risikobewertung verknüpft die ersten beiden Grundpfeiler, die Gefährdungsbeurteilung und die Verletzbarkeit, miteinander und ermittelt das potentielle Schadenausmass im Sinne von Personen- und Sachrisiken. Sie ermittelt aber auch vorhandene Schutzdefizite und bildet damit die Basis für die zu treffenden Massnahmen. Die Entwicklung der Schäden kann in langfristiger Betrachtung als Ausdruck einer Art gesellschaftlich akzeptierten Restrisikos interpretiert werden. Diese Bewertung der Schäden erfolgt mit „sicherem Wissen", d.h. eingetretene, bekannte Schäden liegen vor. Demgegenüber muss eine Risikobewertung mit „unsicherem Wissen" vorgenommen werden, weil das Auftreten zukünftiger Schäden unsicher bzw. mit Wahrscheinlichkeiten verbunden ist und davon auszugehen ist, dass zukünftige Generationen auftretende Schäden anders bewerten werden, als wir es mit heutigen Entscheidungen vorwegzunehmen versuchen. Diese zeitliche Veränderung in der Bewertung ist von Aspekten der Risikowahrnehmung und –akzeptanz, aber auch der Risikoaversion beeinflusst. Entscheidungen im Umgang mit Naturrisiken erfordern somit heute Wertungen, die für zukünftige Generationen bedeutende Konsequenzen haben können. Heute getätigte Investitionen für Schutzmassnahmen führen zu Unterhalts- und Erneuerungskosten in spätestens 50-100 Jahren. Damit muss aber auch die Einsicht reifen, dass bei zunehmender Gefährdung die Nutzung eingestellt oder zumindest eingeschränkt werden kann. Unsicherheit und Risiko bestehen aber nicht nur bei Naturgefahren, sondern sind in anderen Bereichen des Lebens zum Teil noch viel grösser. Deshalb ist es auch vernünftig, im Schutz vor Naturgefahren Grenzen zu akzeptieren, die aber auf umfassenden Risikobewertungen und transparenten Entscheidungsabläufen basieren sollen. Es spricht einiges dafür, dass sich sowohl die Wahrnehmung als auch die Akzeptanz von Risiko deutlich verändern wird (vgl. z.B. [12], [13]).

Die neue Risikokultur als Chance zur Schadenminderung

Im Rahmen des Integralen Risikomanagementes sind entsprechenden Massnahmenkonzepte zur Beeinflussung des vorhandenen Risikos zu erarbeiten und auf ihre Wirkung bezüglich Risikoreduktion zu prüfen. Risiken aus Naturgefahren auf ein tragbares Mass zu mindern, stellt eine anspruchsvolle Aufgabe für unsere Gesellschaft dar. Diese Aufgabe trifft auf vielfältige und zum Teil gegensätzliche Ansprüche gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und ökologischer Art. Mit dem Ziel einer umfassenden und nachhaltigen Lösung gilt es, die verschiedenen Ansprüche sorgfältig gegeneinander abzuwägen. Dazu ist eine umfassende Auseinandersetzung mit allen Aspekten der Risiken aus Naturgefahren und deren Bewältigung erforderlich. Die neue Naturgefahrenpolitik in der Schweiz spricht in diesem Zusammenhang auch von einer „Abkehr von der reinen Gefahrenabwehr und einem Zuwenden zu einer modernen Risikokultur" (vgl. [14], [15]). Wesentliche Ursache sind die mittlerweile spärlicher fliessenden öffentlichen Gelder, sowie der steigende Druck für deren effektive und effiziente Verwendung. In Zukunft werden die Risiken aus Naturgefahren zudem nicht mehr für sich isoliert betrachtet werden können. Auch die technologischen Risiken und die sozio-politischen Risiken müssen inskünftig vermehrt in eine einheitliche und umfassende Risikobeurteilung mit einbezogen und bei der Massnahmenplanung berücksichtigt werden.

Sicherheit hat einen hohen Preis. Sicherheit um jeden Preis hingegen ist aus technischen, ökonomischen und ökologischen Gründen nicht sinnvoll. Es gilt also, Grenzen der Sicherheit und des Schutzes zu akzeptieren. Massnahmen müssen ein Optimum an Sicherheit und mit einem Minimum an Kosten erzielen (vgl. z.B. [16], [17]). Eine weitere wichtige Vorgabe ist die Solidarität und der Beitrag der Beteiligten, von den Behörden bis hin zum eigenverantwortlichen Individuum. Dieser Eigenverantwortung des Einzelnen, aber auch der Gemeinde und des Kantons kommt im Umgang mit Naturgefahren eine zentrale Bedeutung zu. Nicht vereinbar mit dem neuen Begriff der Risikokultur ist jedenfalls, die Vorteile einer risikobehafteten Nutzung als Privatgut zu nutzen, die erforderliche Risikominderung aber als alleinige Aufgabe der Öffentlichkeit anzusehen. Soll das Risiko auf ein von der Gesellschaft akzeptiertes Niveau herabgesetzt werden, stehen verschiedene Möglichkeiten offen. Reine Gefahrenabwehr, wie sie im letzten Jahrhundert weitgehend betrieben wurde, reicht heute nicht mehr aus. An ihre Stelle tritt das integrale Risikomanagement, welches sämtliche Elemente der Risiko-Vorbeugung, der Katastrophen-Intervention sowie der Instandsetzung und des Wiederaufbaus nach einer Katastrophe als gleichwertige Massnahmen in Betracht zieht. Will man dem Ausspruch „Vorbeugen ist besser als Heilen" Folge leisten, so sind Massnahmen zur Vorbeugung zu favorisieren. Kosten-Wirksamkeits- oder Kosten-Nutzen-Analysen werden obigen Anspruch allerdings häufig kaum zu bestätigen vermögen. Eine effiziente Katastrophen-Intervention ist deshalb ebenfalls sehr wichtig. Sie vermag zudem in

vielen Fällen die Folgeschäden wirksamer einzudämmen als vorbeugende Massnahmen. Die Neuordnung des Bevölkerungsschutzes bietet hier mit der geplanten Zusammenführung von Zivilschutz, Feuerwehr, Polizei, Sanität und technischen Diensten eine ausgezeichnete Basis für effiziente Interventions-Strategien (vgl. [18], [19]).

Im Sinne der Nachhaltigkeit stellt sich aber bei Projekten mit mangelnder Wirtschaftlichkeit präventiver Massnahmen dennoch die Frage, inwieweit die heutige Generation die Prävention vernachlässigen und die potentiellen Schadenkosten zukünftigen Generationen zuweisen darf. Wir wissen zudem nicht, wie sich die Schadenhäufigkeit entwickeln wird und auch nicht, ob zukünftige Generationen Schäden oder die Notwendigkeit von Schutzmassnahmen vielleicht ganz anders bewerten werden, als wir es heute tun.

Wie können Risiken vermindert werden?

Integrales Risikomanagement bedeutet, dass es neben der Gleichwertigkeit von Massnahmen zur Vorbeugung, Intervention und Instandsetzung auch darum geht, dass organisatorische, raumplanerische, technische und biologische Massnahmen optimal aufeinander abgestimmt zum Einsatz kommen. Besteht aufgrund der Risikobewertung Klarheit über die vorhandenen Schutzdefizite, muss durch geeignete Kombination von zu realisierenden Schutzmassnahmen die Optimierung der Gesamtsicherheit angestrebt werden. Dabei bestehen für die Wahl und Durchführung von Schutzmassnahmen grundsätzlich vier Möglichkeiten:

- Risikovermeidung
- Risikoverminderung
- Risikoüberwälzung (Versicherung)
- Risiko selber tragen (Eigenverantwortung)

Die Risikovermeidung führt zu einer eindeutigen Lösung des Risikoproblems und kann dort angewendet werden, wo auf bestimmte Erwartungen und Nutzungen klar verzichtet wird. Der Risikovermeidung sind allerdings Grenzen gesetzt. Nur in den wenigsten Fällen wird es möglich sein, Gefahren- und Nutzungsraum vollständig voneinander zu trennen. In den meisten Fällen werden Kompromisse eingegangen werden müssen. Ein solcher Kompromiss stellt zum Beispiel die blaue Gefahrenzone dar. Die Risikovermeidung im einen Gebiet führt zudem oft zu einer Verschiebung des Risikos in ein anderes Nutzungsgebiet. Der Bund weist den raumplanerischen Massnahmen Priorität zu (vgl. [20], [21], [22], [23]).

Der Hauptteil der Massnahmen fällt der Risikoverminderung zu. Hier stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die sich durch Ort, Art und Zeitpunkt der zu treffenden Massnahme unterscheiden. Präventionsbemühungen haben zum Ziel, die Wahrscheinlichkeit zu verkleinern, dass ein Schaden eintreten kann (Schadenverhütung), oder zumindest in Grenzen gehalten werden kann. Wie bereits einleitend kurz dargestellt, stehen unterschiedliche Massnahmenarten zur Verfügung. Die technischen und raumplanerischen Massnahmen werden vor allem zur Vorbeugung eingesetzt. Die technischen Massnahmen umfassen sämtliche baulichen Schutzmassnahmen. Sie dienen entweder zur Begrenzung der Gefährdung, der Verletzlichkeit oder des Schadenausmasses. Andererseits haben technische Massnahmen aber häufig negative Implikationen auf Landschaft und Natur zur Folge. Die Natur ist auf Veränderungsprozesse als Folge von Naturereignisse angewiesen. Hier gilt es in Zukunft noch vermehrt die Sicherheitsansprüche des Menschen und die Anliegen des Natur- und Landschaftsschutzes gegeneinander abzuwägen [24].

Mit den raumplanerischen Massnahmen wird versucht, das Schadenpotential in Grenzen zu halten. Allerdings wird nach wie vor Prozess-orientierte Gefahrenzonenplanung und nicht Risiko-orientierte Raumplanung betrieben. Diese Situation wird zudem noch durch den Umstand verschärft, dass mit der gegenwärtigen „statischen" Gefahrenzonen-Planung z.B. der „dynamischen" Risikoentwicklung in der blauen Gefahrenzone als Folge zunehmender Überbauungsdichte nur beschränkt Rechnung getragen werden kann. Zumindest in diesen Aspekten wären sowohl Wald- wie Wasserbaugesetz aus dem letzten Jahrzehnt bereits revisionsbedürftig. Bei an sich berechtigten Rückzonungsbegehren als Folge getätigter technischer Schutzmassnahmen gilt es demnach, diese Prozess-orientierte Gefahrenzonen-Beurteilung mit einer Risiko-orientierten Betrachtungsweise zu ergänzen.

Die organisatorischen Massnahmen greifen im Übergangsbereich von Prävention zu Intervention. Frühwarnungs- und Wammeldungen beispielsweise dienen dem vorbeugenden Schutz von Menschenleben (vgl. [25]), die Anordnung von Evakuationen und Strassensperrungen sind in der Regel bereits Interventionsmassnahmen. Auch sie dienen in erster Linie dem Schutz von Menschenleben. Die künstliche Auslösung von Lawinen als weiteres Beispiel einer organisatorischen Massnahme bezweckt sowohl den Schutz von Menschenleben, als auch den Schutz von Sachwerten. Ein effizientes Krisenmanagement muss sich auf eine detaillierte Notfallplanung abstützen können, die schon im Vorfeld einer sich abzeichnenden Katastrophensituation wirksam zu werden beginnt. Die Katastrophensituationen der letzten beiden Jahre haben gezeigt, wie wichtig der rasche und stufengerechte Austausch von Informationen auf sämtlichen Ebenen der Betroffenen ist, und dass der Informationsfluss und die Informationspolitik zwischen den Beteiligten (Führungsstäbe, Sicherungsdienste, Tiefbauämter, Medien, Tourismusorganisationen, etc.) auf lokaler, regiona-

ler, nationaler und gar internationaler Ebene noch verbessert werden können. Effiziente Führungs- und Informationssysteme auf der Basis moderner Informationstechnologie sind zu entwickeln als Voraussetzung für ein effektives Informations- und Krisenmanagement (vgl. [1]). Der Informationsvermittlung als Führungsmassnahme kommt in aussergewöhnlichen Situationen eine grosse, strategische Bedeutung zu. Leider weist die heutige Gesetzeslage bezüglich der organisatorischen Massnahmen gravierende Mängel auf. Auch der vorliegende Entwurf für ein Bevölkerungsschutzgesetz [19] vermag diesbezüglich (noch) nicht zu genügen. Der Grund für diese unbefriedigende Situation liegt aber wohl darin begründet, dass in der Regel Vorbeugung und Intervention im Verantwortungsbereich unterschiedlicher Amtsstellen und Institutionen liegen und sich niemand für den eingangs erwähnten Übergangsbereich wirklich verantwortlich fühlt. Weil das menschliche Verhalten bei vielen Risiken eine massgebliche Rolle spielt, sind Informations-, Ausbildungs- und Kontrollmassnahmen neben den eigentlichen technischen Vorkehrungen zur Schadenminderung ebenfalls sehr bedeutungsvoll. Zudem ist stets zu beachten, dass technische Massnahmen in der Regel ein beachtliches Mass an Restrisiko beinhalten. So sind zum Beispiel die Lawinenverbauungen auf einen hundertjährigen Schneefall bezogen. Wird dieses Mass überschritten, müssen organisatorische Massnahmen, zum Beispiel Evakuationen von Häusern und Siedlungen, die zusätzlichen Risiken abdecken.

Bei den biologischen Schutzmassnahmen hat der Wald hat als natürlicher Schutz vor Naturgefahren – insbesondere im Alpenraum- nach wie vor seinen zentralen Stellenwert. Das Waldgesetz [21] trägt diesem Umstand gebührend Rechnung. Allerdings muss gesagt sein, dass wissenschaftliche Grundlagen zur Beurteilung der Schutzfähigkeit des Waldes nach wie vor weitgehend fehlen. Aber auch die ingenieurbiologischen Massnahmen sind hier zu subsummieren. Der nach wie vor eher marginale Einsatz dieser Methoden entspricht leider nicht dem Stellenwert, der ihnen gemäss Waldgesetz [21] zuerkannt wurde. Gründe dafür mögen ebenfalls darin zu finden sein, dass die wissenschaftlichen Grundlagen für den sicheren und nachhaltigen Einsatz dieser Methoden noch grosse Lücken aufweisen.

Bei der Risikoüberwälzung wird bereits vor Eintritt eines Schadenereignisses sichergestellt, dass gewisse, hauptsächlich finanzielle Folgen, auf ein anderes System übertragen werden können. Die wichtigste Form der Risikoüberwälzung ist die Versicherung. Als Beispiel seien hier die in 19 Kantonen seit zum Teil weit über hundert Jahren tätigen Kantonalen Gebäudeversicherungen erwähnt. Diese Kantonalen Gebäudeversicherungen bieten in ihren Kantonen neben der Feuerversicherung auch einen obligatorischen und unbegrenzten Schutz der Gebäudeeigentümer gegen Elementarschäden [26]. Davon ausgenommen ist nur das Erdbeben, wofür eine separate Lösung besteht. Die Kantonalen Gebäudeversicherungsanstalten legen im Sinne der Schadenbegrenzung, und damit im Sinne eines integralen Risikomanagements, aber auch grossen Wert auf die Schadenbekämpfung bzw. –verhütung. Dies nicht zuletzt auch deshalb, weil jede Versicherung letztlich unvollkommen bleibt und nur finanzielle Schadenfolgen überwälzt werden können. Versicherungen können allerdings eine sehr zuverlässige und zweckmässige Massnahmen sein, sei es, weil budgetierbare Prämien anstelle unsicherer Schadenkosten treten und über die Solidarität sämtlicher Versicherungsnehmer trotz beschränkter Prämienkosten auch grosse Schäden finanzierbar werden. Die Kantonalen Gebäudeversicherungsanstalten leisten hier als solidarische Elementarschadenversicherer wesentlichen Anteil an ein wirksames, integrales Risikomanagement. Ihr gleichzeitiges Engagement bei den Wehrdiensten und die zunehmenden Anstrengungen im vorbeugenden Elementarschadenschutz sind Ausdruck eines umfassenden Verständnisses für dieses Integrale Risikomanagement. Versicherungen dürfen andererseits nicht zu einer Beeinträchtigung der Investitionsbereitschaft für vorbeugende Massnahmen führen. Die Solidarhaftung darf im Schadensfall nicht strapaziert werden.

Der nach diesen drei Möglichkeiten zur Risikobeeinflussung verbleibende Risikoanteil muss letztlich selbst getragen werden. Bei jeder Massnahme zur Risikominderung verbleibt ein Restrisiko, verbleiben Unsicherheiten, und es interessiert stets auch die Frage der Risikoüberwälzung. Der Begriff des Restrisikos bringt zum Ausdruck, dass durch nicht erkannte Prozesse Schäden entstehen können; auch nach der korrekten Durchführung aller erdenklichen Sicherungsmassnahmen. Dieses Restrisikoverständnis steht teilweise im Widerspruch zu herkömmlichen Sichtweisen, die das Restrisiko als Summe von bewusst in Kauf genommenen Risiken, von erkannten, aber falsch beurteilten Risiken und von nicht erkannten Risiken umschreiben. Der bewusste Umgang mit diesen Unsicherheiten muss denn auch ein wesentlicher Bestandteil dieser neuen Risikokultur werden. Verbleibende Restrisiken können über Versicherungsleistungen abgedeckt werden. Die übrigen Folgen bleiben notgedrungen beim risikobedrohten System. Darum ist es wichtig, dass auch das Selbsttragen von Risiken in die Gesamtsicherung einbezogen werden, und nicht als unfreiwilliges „Überbleibsel" erscheint. Der Eigenverantwortung jedes einzelnen Menschen kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu.

Getätigte Massnahmen sollten laufend auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. Ändert sich die Risikolage muss der Sicherungskreislauf erneut gestartet werden. So wenig wie es die „absolute" Sicherheit gibt, kann je von einem abgeschlossenen Sicherungsprozess gesprochen werden. Integrales Risikomanagement bedeutet dabei nicht nur Auswahl und Durchführung der Kosten/Nutzen- wirksamsten Massnahme zur Erreichung eines Optimums an Sicherheit, sondern meint auch den Prozess der ständig neuen Einschätzung der Risikosituation als Folge geänderter Nutzungsformen oder veränderter Wirksamkeit von Schutzmassnahmen

(vgl. Bild 3: „Measuring, Monitoring Risk Management Process Performance"). Insbesondere bei den technischen Schutzmassnahmen muss dem periodischen Unterhalt und der allfälligen Erneuerung von Massnahmen stets Beachtung geschenkt werden. Auch die Einstellung der Öffentlichkeit gegenüber bestimmten Risiken kann sich über die Laufe der Jahrzehnte ändern, so dass es wichtig ist, gesellschaftspolitische Veränderungen frühzeitig in neuen Sicherheits-Szenarien zu berücksichtigen.

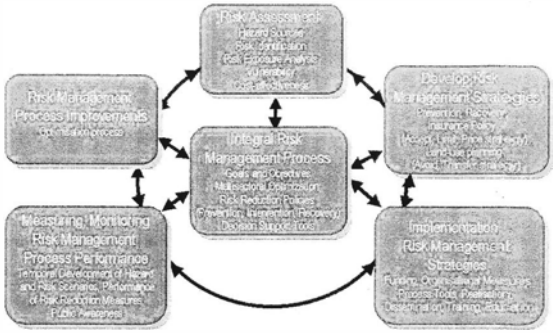


Bild 3. Integrales Risikomanagement als dynamischer Prozess

Was bringt uns die Zukunft ?

Limitierte Ressourcen und steigende Risiken aus Naturgefahren zwingen uns, Prioritäten zu setzen. Im Auftrag der PLANAT bzw des UVEK ist zur Zeit eine Arbeitsgruppe unter Leitung des Autors daran, eine Strategie „Sicherheit vor Naturgefahren" zu erarbeiten. In einem Visionspapier hat die Arbeitsgruppe als Basis für die Strategie ihre Leitgedanken formuliert. Zentrale Aussage ist dabei das Bekenntnis zur Gleichwertigkeit von Vorbeugung, Intervention und Instandsetzung/Wiederaufbau und zum gemeinsamen Handeln aller beteiligten Behörden und Institutionen auf den Stufen Bund, Kantone und Gemeinden. Diese Gleichwertigkeit gilt damit auch für die notwendigen Massnahmen technischer, raumplanerischer, organisatorischer und biologischer Art. Die Frage, inwieweit gesetzliche Anpassungen und Ergänzungen nötig sein werden, ist von der Arbeitsgruppe ebenfalls zu beantworten. Ein auch für die Schweiz bedeutendes Risiko, das Risiko aus Erdbeben ist zum Beispiel in keinem Gesetz verankert. Die bestehenden Gesetze weisen den Kantonen im Umgang mit Risiken aus Naturgefahren klar die operative Führung und Verantwortung zu. Der Bund soll inskünftig vermehrt die strategische Führung wahrnehmen, sind doch Situationen immer häufiger, wo Ereignisse Kantonsgrenzen-überschreitend auftreten und eine interkantonale Koordination nötig wird. Zudem ist es auch Pflicht des Bundes, für gesamtschweizerisch einheitliche Schutzziele zu sorgen.

Es wird in der Zukunft auch wichtig sein, die Risiken aus Naturgefahren nicht isoliert für sich zu betrachten, sondern sie stets in einen Gesamtkontext mit weiteren Risiken, insbesondere den technischen Risiken zu stellen. Mit Blick zurück auf die Terroranschläge vom 11. Sept. 2001 in den USA müssen zudem auch derartige Katastrophen in eine umfassende Risikoplanung einbezogen werden. Nur so wird es möglich werden, mit den beschränkt zur Verfügung stehenden Ressourcen im Sinne des integralen Risikomanagementes ein Optimum an Sicherheit zu erzielen.

Trotz der ausgewiesenen Bedeutung der Naturgefahren für die Schweiz dürfen wir aber auch den internationalen Kontext nicht aus den Augen verlieren. Vergessen wir nicht, dass beinahe die Hälfte der Menschheit mit weniger als 2 US$ pro Tag auskommen muss und für sie die Naturgefahren weit existenzbedrohender sind als für die Bewohner in den entwickelten Ländern. In Ländern mit einer Wachstumsrate der Bevölkerung von bis zu jährlich 5% wirken sich Naturkatastrophen besonders schlimm aus, weil in solchen Situationen das Wachstum der Wirtschaft über Jahre hinweg weit unter die Bevölkerungsrate fällt und sich so die „Schere" noch weiter öffnet. Lassen wir deshalb doch der im eigenen Land bewährten Solidarität noch vermehrt eine internationale Solidarität folgen.

Literaturverzeichnis

[1] SLF, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos (2000): Der Lawinenwinter 1999 - Ereignisanalyse. Davos, Eidg. Inst. Für Schnee- und Lawinenforschung, 588 S., ISBN 3-905620-80-4

[2] WSL (Red.), 2000: Hochwasser 1999 - Analyse der Ereignisse. Studienbericht Nr. 10, Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel

[3] WSL/ BUWAL (Hrsg.), 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern

[4] SFIG-AGN (Hrsg.), 2000: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. Bull. Angew. Geol. 5/1, Sept 2000.152 S

[5] Rickli, Christian (Red.), 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen – Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S

[6] Nöthiger, Christian J., M. Bründl, W.J. Ammann, 2001: Die Auswirkungen der Naturereignisse 1999 auf die Bergbahn- und Skiliftunternehmen der Schweiz. In: Association internationale d'experts scientifiques du tourisme AIEST. (Hrsg.): Tourist Review/Zeitschrift für Fremdenverkehr/Revue de Tourisme, Nr 1/01. St. Galien

[7] Münchener Rück, 2000: topics –Annual review of natural catastrophes in 1999 München

[8] SGEB, 2000: Erdbebenvorsorge in der Schweiz. Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Dokumentation SIA D 0162. Zürich. 156 S

[9] Haller, Mathias, W. Ackermann, 1992: Versicherungswirtschaft – Kundenorientiert. Vereinigung für Berufsbildung der Schweiz. Versicherungswirtschaft (Hrsg.), Zürich. 297 S

[10] Heinimann, Hans Rudolf, Hollenstein, K., Kienholz, H., Krummenacher, B., Mani, P., 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren, Umwelt-Materialien Nr. 85. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 248 S

[11] Heinimann, Hans Rudolf, Bart, R., Borter, P., Egli, Th., Gächter, M., 1999: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Umwelt-Materialien Nr. 107/I. Und Fallbeispiele und Daten. Umwelt-Materialien Nr 107/II. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 115 S

[12] Mileti, Dennis S. 1999: Disasters by Design. A reassessment of Natural Hazards in the United States Joseph Henry Press, Washington D.C. 351 S.

[13] Plate, Erich J., Merz B., Eikenberg Ch., 1999: Naturkatastrophen. Strategien zur Vorsorge und Bewältigung. Bericht des Deutschen IDNDR- Komitees. Deutsche IDNDR-Reihe 16, Deutsches IDNDR-Komitee e.V., Bonn

[14] PLANAT, 1998: Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur. PLANAT-Reihe, PLANAT Sekretariat c/o BWG Biel

[15] PLANAT 2001: Auf dem Weg zu einer neuen Risikokultur. Tätigkeitsbericht 1997-2000 der PLANAT, PLANAT Sekretariat c/o BWG Biel

[16] Wilhelm, Christian, 1999: Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutzmassnahmen an Verkehrsachsen. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Vollzug Umwelt, Praxishilfe, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Buwal, 110 S.

[17] Wilhelm, Christian, 1997: Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz: Methoden und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung. Mitteilung Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) Davos Nr. 54, 309 S

[18] VBS, Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, 2001: Leitbild Bevölkerungsschutz. Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung über die Konzeption des Bevölkerungsschutzes. Fassung für die Vernehmlassung, Mai 2001. VBS Bern.36 S + Anhänge

[19] BSG, 2001: Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz. Entwurf Mai 2001

[20] RPG, 1979: Bundesgesetz über die Raumplanung. 22. Juni 1979, Datum des Inkrafttretens 1. Jan. 1980 EDMZ Bern

[21] WaG, 1991: Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz WaG), 4. Okt. 1991, Datum des Inkrafttretens 1. Jan. 1993

[22] WaV, 1992: Verordnung über den Wald (Waldverordnung WaV), 30. Nov. 1992, Datum des Inkrafttretens 1. Jan. 1993

[23] WBG, 1991: Bundesgesetz über den Wasserbau, 21. Juni 1991, Datum des Inkrafttretens 1. Jan. 1993

[24] Broggi, Mario F., 2000: Nachhaltigkeit im Spannungsfeld von „Nützen" und „Schützen". Wildbach- und Lawinenverbau 64, 143. S 7-16

[25] Russi, Tom, W.J. Ammann, B. Brabec, M. Lehning, R. Meister, 1998 "Avalanche Warning Switzerland CH 2000", Proceedings Int. Snow Science Workshop, ISSW, Sunriver, USA, 1998.

[26] GVA 2001: Gebäudeversicherungen in der Schweiz: Ein Beispiel für Europa. Kantonale Gebäudeversicherungen, Bern

Autor: Dr. Walter J. Ammann, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf

143
MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Prévention et gestion des dangers naturels par un assureur public

Dr. h.c. Pierre Ecoffey

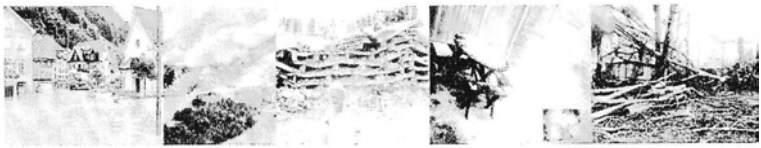
Prévention et gestion des dangers naturels par un assureur public

par Pierre Ecoffey
Dr. h. c. de l'Université de Fribourg
Directeur de l'Etablissement cantonal
d'assurance des bâtiments de Fribourg

Réunion d'automne
de la Société suisse de la mécanique des sols et des roches et du Groupement Suisse de la géologie de l'ingénieur

sur le thème
« La gestion des risques et dangers géologiques »

Brigue, vendredi 21 septembre 2001



Mesdames, Messieurs,

Toute activité humaine est exposée à une multitude de risques. Une partie de ces risques est liée à des processus naturels et d'autres engendrés ou augmentés par des activités humaines. J'ajoute à ces deux phrases tirées du thème général de cette réunion d'automne que, parfois, les deux facteurs naturels et humains s'allient pour augmenter encore le risque et réduire ainsi la sécurité

Tout est fait dans ce domaine pour augmenter la sécurité des personnes et des biens. C'est aussi pour cela que nous sommes ici aujourd'hui.

La sécurité

Dans un sondage réalisé ce printemps en France sur le thème de la hiérarchie des valeurs, la sécurité a été plébiscitée comme l'élément principal d'une bonne qualité de vie.

Je ne pense pas que le résultat serait très différent en Suisse ou même aux Etats Unis, surtout depuis le 11 septembre dernier. Il ne fait pas de doute que le sentiment de sécurité constitue une composante déterminante du bien-être des gens.

La sécurité est une situation réelle, objective, dans laquelle quelqu'un ou quelque chose n'est exposé à aucun danger, à aucun risque, en particulier d'agressions physiques, d'accidents, de vols, de détériorations ou de ruines financières. C'est aussi le sentiment de quelqu'un qui se sent à l'abri du danger, qui est rassuré, qui n'a rien à craindre et, j'ajouterai, au-delà de la définition du dictionnaire, c'est aussi le sentiment de celui qui connaît son comportement, sa manière d'agir en cas d'événement dommageable prévisible. Cette situation et ce sentiment de sécurité s'étendent à de vastes domaines. La sécurité peut être publique, individuelle, sociale, sanitaire, militaire; elle peut être ressentie par rapport au feu et, last but not least, par rapport aux dangers naturels.

Mon exposé ne traite que des dangers naturels, avec une petite introduction ayant trait au feu.

Prévention et gestion des dangers naturels par un assureur public

Vaste programme en vérité.

Pour le développer, je me cantonnerai dans mon rôle d'assureur de droit public dont la mission légale ne se limite pas à la seule couverture d'assurance mais encore et surtout à la prévention du sinistre et à l'intervention en cas de survenance de celui-ci.

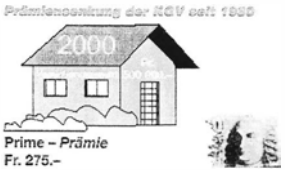
Comme on l'a vu, la sécurité est un élément primordial de la qualité de vie. La prévention et la gestion des dangers naturels doivent, par conséquent, rassurer la population et ainsi en améliorer la qualité de vie, prévenir le sinistre, en limiter les effets et en assurer l'indemnisation en cas de survenance.

Danger d'incendie

Il est nettement plus aisé de gérer et de prévenir les **dangers du feu** que ceux découlant d'**événements naturels**. La raison en est simple : le feu a pratiquement toujours une origine humaine, la plupart du temps causée par une imprudence, une négligence, par une faute technique, par un défaut de moyens de protection ou par malveillance (incendie criminel). Même la foudre peut être rendue inoffensive par les équipements modernes et efficaces de paratonnerres et parafoudre. Quant aux mauvaises habitudes humaines génératrices d'incendies, il est également possible de les atténuer, si ce n'est malheureusement de les éliminer totalement, par une formation et une information bien ciblées. En plus de l'information, il est possible de contrer le feu par des mesures constructives, techniques ou organisationnelles. Les expériences menées dans le canton de Fribourg durant la dernière décennie sont très intéressantes et prometteuses.

La cote des sinistres dus au comportement humain est en régression avec un effet bénéfique sur les taux de primes d'assurance. Les normes de protection incendie édictées par l'AEAI (Association des Etablissements Cantonaux d'Assurance Incendie) et appliquées pratiquement dans toute la Suisse ont contribué, de manière sensible, à diminuer le risque d'incendie et ses conséquences dramatiques.





La gestion et la prévention des **dangers naturels** sont nettement plus problématiques. Elle peut passer par la protection contre les aléas naturels ou par la maîtrise de la vulnérabilité. L'idéal consiste à traiter les deux. C'est ce que nous essayons de réaliser. L'activité de prévention et de gestion consiste surtout à faire en sorte que la survenance de tels événements n'ait pas de conséquences trop dramatiques sur les personnes, leurs biens et les infrastructures du territoire.

Mon exposé traite avant tout des dangers naturels suivants : les glissements de terrains qui englobent aussi les écoulements de laves torrentielles et les chutes de pierres, les inondations, les hautes eaux, les avalanches, les tremblements de terre, l'ouragan et la grêle, tous dangers potentiels pouvant menacer notre territoire national et, à certains degrés, ses habitants et leurs biens.

La prévention et la gestion des dangers naturels est une fonction pluridisciplinaire. Elle n'est pas le seul fait de l'assurance immobilière publique mais de plusieurs autres instances comme l'office des constructions et de l'aménagement du territoire, le département des forêts, le service des endiguements, etc..

Celles-ci sont représentées dans la Commission Cantonale des Dangers Naturels (CCDN) dans laquelle siègent aussi des géologues, des politiciens et des juristes.

Cette instance de préavis siège chaque fois qu'un risque naturel, quel qu'il soit, peut influencer une décision ayant trait à l'aménagement du territoire.

Les exemples sont multiples : transformation d'un bâtiment situé en zone bleue de glissement de terrain, implantation d'une nouvelle zone à bâtir en zone jaune, etc.

La première mesure de prévention et de gestion des risques naturels consiste à éviter d'implanter de nouvelles zones à bâtir ou des bâtiments sur des sites menacés.

Pour ce faire, il est indispensable de connaître de manière précise ces endroits à risques et c'est le but que nous poursuivons en établissant des cartes de dangers.

Dès 1976 déjà, le canton de Fribourg avait établi une carte préliminaire des glissements de terrain. Celle-ci n'avait malheureusement pas pu éviter le glissement de Falli-Hölli parce qu'elle n'avait pas de base juridique suffisante.

Il n'en est plus de même aujourd'hui. Fribourg dispose maintenant d'une cartographie détaillée des terrains instables de l'ensemble de son territoire. Œuvre de l'institut de Géologie de l'Université de Fribourg, cet outil de gestion du territoire et des dangers naturels est constitué de 42 cartes disponibles aussi sur CD-Rom et bientôt sur Internet. Ce travail de précision a duré plus de 5 ans. Il a été exécuté en grande partie sur le terrain et complété par toutes les études géologiques locales disponibles.



Dans le but d'inventorier et de localiser de manière précise tous les autres dangers naturels causés par le sol, l'eau et la neige, un grand projet est actuellement en cours de réalisation qui étend à l'ensemble du territoire cantonal les travaux de cartographie effectués dans le cadre du projet-pilote JAUN réalisé en 1999

L'ensemble de ces cartes et de ces inventaires de dangers a été et sera encore financé par la Confédération et, pour la part cantonale, par l'Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments.

Il constitue le principal outil pour réaliser un aménagement sûr du territoire en ce début de 3ème millénaire.

Vous l'aurez compris, la gestion et la prévention des dangers passent avant tout par l'inventaire des dangers naturels et par l'interdiction de procéder à de nouvelles constructions sur des sites menacés.

C'est certainement la phase de gestion du danger la plus délicate. Les arguments scientifiques sont parfois opposés ou contradictoires aux arguments économiques, politiques, voire juridiques. L'exemple le plus éloquent et le plus connu illustrant cette pesée d'arguments et d'intérêts a sans doute été Falli-Hölli.



Au milieu des années 70, alors que la CCDN n'existait pas encore, l'ECAB avait émis un préavis défavorable à l'implantation d'une colonie de vacances et d'un village à cet endroit présentant des risques de glissements de terrain. Le Conseil d'Etat de l'époque n'avait pas tenu compte de cet avis basé pourtant sur la carte préliminaire des glissements de terrains (publiée en 1976) ; on connaît la suite et les conséquences de cette décision politique : le plus grand glissement de terrain d'Europe en zone habitée.

Mais la gestion et la prévention des dangers naturels ne se limite pas à cartographier, à inventorier et à interdire de nouvelles constructions à certains endroits menacés.

Encore faut-il protéger ce qui existe : bâtiments, infrastructures, forêts protectrices, etc.

C'est aussi le rôle, plus facile il est vrai, d'instances de préavis et de décisions telles que la CCDN, l'ECAB, l'Office des constructions et de l'aménagement du territoire, les Préfectures et les Communes.

Je pense en particulier à des travaux d'assainissement de terrains, d'endiguements, de pose de filets pare-pierres, d'ancrage de blocs, de paravalanches, etc..



Entretien des ouvrages de protection

Il ne suffit pas de prendre des mesures constructives de protection pour éliminer tout danger. Encore faut-il surveiller régulièrement ces ouvrages et les entretenir.

Si ce n'est pas le cas, ils peuvent même représenter un danger supplémentaire. Je pense en particulier aux digues devenues instables, aux ruisseaux non curés, aux barrages et filets pare-pierres surchargés, etc. Les autorités locales et les responsables cantonaux assument dans ce domaine de lourdes responsabilités.

La gestion du danger sismique

Contrairement au Valais qui se trouve en zones de risque sismique 2, 3A et B, Fribourg est en zone 1, soit la moins dangereuse. Il n'est cependant pas question d'ignorer et d'occulter ce danger. N'oublions pas que l'un des principaux tremblements de terre d'Europe occidentale du 2ème millénaire a eu lieu à 75 km de l'extrémité nord du canton de Fribourg. C'était le 21 octobre 1356 à Bâle et sa région. Si le même séisme devait avoir lieu aujourd'hui au même endroit, on peut évaluer les pertes humaines à plus de 20'000 morts et blessés et les dommages matériels à plus de 50 milliards de francs.

Que peut-on faire pour gérer ce risque, du point de vue technique et humain ?

Il faut tout d'abord veiller au respect des normes parasismiques et en particulier aux normes SIA 160 et 162 et au document D150 SIA du professeur Bachmann. Leur application fera dorénavant partie des contrôles effectués par l'ECAB lors du traitement des demandes de permis de construire, ceci, pour les grands projets.

Pour ce faire, l'ECAB vient d'engager un ingénieur EPFZ qui aura aussi la mission d'inventorier les bâtiments qui devraient faire l'objet d'éventuels renforcements.

Ensuite, avec modestie, nous nous limitons à informer la population sur les mesures de précaution et le comportement qu'elle doit avoir aujourd'hui déjà et surtout lors de secousses telluriques.

L'ECAB distribue régulièrement des publications éditées par le « Pool Suisse pour la couverture des risques sismiques » et qui traitent de ces sujets. Je reviendrai tout à l'heure sur ce Pool en traitant de la gestion de ce risque du point de vue financier.

Je vous ai entretenus de la gestion des dangers que j'appellerai majeurs, ceux qui peuvent véritablement mettre en péril la vie ou la santé des personnes et l'existence de leur habitat.

Dangers naturels mineurs

Il est d'autres dangers naturels, plus fréquents mais heureusement moins dramatiques, qui perturbent la vie des gens, parfois l'activité économique et à coup sûr les assurances. Ce sont la grêle et la tempête. Ils ont la fâcheuse tendance à augmenter en cadence et en intensité. Sont-ils déjà les premiers symptômes, avec la lente disparition du pergélisol et la fonte des glaciers, du changement climatique annoncé ?

Toujours est-il que ces violents orages causent des dégâts très importants aux bâtiments, aux cultures et aux voitures.

Notre gestion de ce danger consiste à conseiller les architectes et les propriétaires sur le choix des matériaux résistant mieux que d'autres aux assauts du vent et de la grêle.

Autres démarches de prévention et de gestion des dangers naturels par l'Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments

Si, malgré l'application de toutes ces mesures de précaution et de prévention, malgré les informations dispensées, un événement dommageable devait se produire, l'ECAB intervient à plusieurs niveaux :

1. Par l'intervention rapide des sapeurs-pompiers qui sont alarmés par le système d'alarme téléphonique le plus moderne actuellement sur le marché, SMT 750. L'équipement, la formation et l'alarme des sapeurs-pompiers sont largement financés par l'ECAB, à plus de 50 %.

   De plus, l'ECAB fribourgeois a été le premier à passer une convention avec la REGA pour l'intervention immédiate d'hélicoptères en cas de catastrophe.

2. Par la participation de l'ECAB à la CCDN, à l'EM de crise qui serait mis sur pied et à l'organisation catastrophe ORCAF. Le directeur est le responsable du Service de Sauvetage dans le cadre de cette organisation en cas de catastrophe.

3. Par le paiement d'indemnités d'assurance, de manière illimitée, pour les dégâts causés aux bâtiments.

   L'ECAB est réassuré à l'Union Intercantonale de Réassurance et fait partie de la CIREN, la Communauté Intercantonale de Risques Eléments Naturels. Cette œuvre unique de solidarité permet de faire face à des catastrophes naturelles dans la zone des 19 cantons disposant d'un établissement cantonal, jusqu'à concurrence de 750 millions de francs.
   En ce qui concerne la gestion financière du risque de tremblement de terre, celui-ci n'est pas couvert par l'ECAB. Cependant, l'ECAB fait partie du Pool Suisse pour la couverture des dégâts sismiques qui peut verser une indemnité de 2 milliards de francs dès qu'un séisme atteint l'intensité VII sur l'échelle MSK.

4. Par la remise en état des lieux.
   Notre activité de gestion des risques naturels comprend également une démarche de protection de l'environnement. C'est ainsi que la réhabilitation du site de Falli-Hölli a fait l'objet d'un concept exclusif. Pour la première fois, un village allait disparaître de la carte de manière écologique. Il fut décidé de déchiqueter sur place toutes les parties en bois, après avoir constaté la non toxicité des peintures, et de répartir les copeaux ainsi obtenus sur le site, comme du compost. Les parties dures (béton, briques) ont été concassées sur place également et utilisées pour rétablir la liaison routière.
   Les matériaux non biodégradables ont été triés et évacués sur une décharge contrôlée. On a ainsi pu éviter 2'000 trajets de camions de plus de 50 km, en partie sur une route alpestre.

Au terme de ces quelques considérations sur la prévention et la gestion des dangers naturels, il convient de faire preuve de modestie mais non de résignation.

De nombreuses mesures peuvent être prises au niveau de la prévention, de l'information, de l'intervention et de l'indemnisation. Il faut aussi relever l'effort important qu'a consenti la Confédération durant la dernière décennie pour la gestion des dangers naturels; je pense à la création des bataillons de sauvetage, à celui d'aide en cas de catastrophe, aux subventions versées dans le domaine des forêts, des cours d'eau, des paravalanches, au PNR 31 et à la création de la plate-forme nationale PLANAT à laquelle j'ai l'honneur d'appartenir.

Mesdames et Messieurs, la sécurité, élément essentiel de notre qualité de vie, est l'objet de toute notre attention comme de la vôtre certainement aussi. J'espère que vous repartirez de Brigue avec le sentiment d'être plus sûrs et par conséquent plus heureux.

Pierre Ecoffey

Fribourg, le 19 septembre 2001/ECO/vb

143
MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Erdbeben in der Schweiz

Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung

Dr. D. Fäh

Erdbeben: Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung

Donat Fäh, Fortunat Kind und Domenico Giardini, Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich

In historischer Zeit traten in der Schweiz immer wieder Schadensbeben auf wie zum Beispiel das Basler Erdbeben von 1356, welches in und um Basel sehr grosse Schäden verursacht hat. Es gibt zudem archäologische Hinweise für ein Erdbeben in der Region Basel etwa um 250 n.Chr., in dem die Römerstadt Augusta Raurica zerstört wurde. Seit jener Zeit hat sich die Region zu einem wichtigen Industriezentrum und Verkehrsknotenpunkt entwickelt, und die Bedeutung eines möglichen Erdbebens wird häufig unterschätzt [1,2,3,4]. Innerhalb der Schweiz variiert die seismische Gefährdung. Im Mittelland ist sie relativ gering. Die Region Basel, Teile der Innerschweiz, das St.Galler Rheintal, das Berner Oberland sowie das Engadin sind stärker gefährdet. Am grössten ist die Wahrscheinlichkeit von starken Erdbeben im Wallis. Die Frage ist nun, was wir zum Beispiel in der Region Basel erwarten müssen, wenn sich starke Beben heute ereignen?

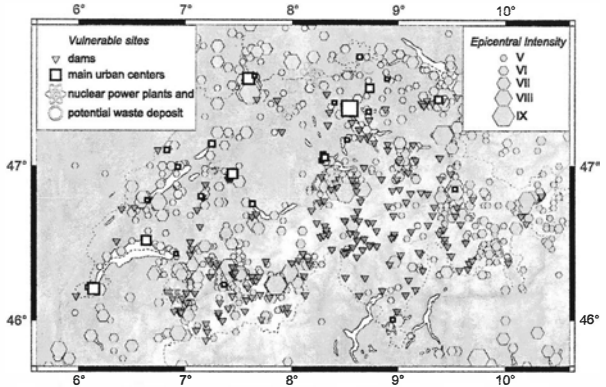


Abbildung 1: Karte der historischen Erdbeben in der Schweiz von 1021-1997 und der heute dort lokalisierten gefährdeten Infrastrukturen wie Kernkraftwerke, vorgeschlagene Standorte für atomare Endlager, grosse Staudämme und Städte von mehr als 20'000 Einwohnern. Die Bebenstärke ist in makroseismischen Intensitäten angegeben, welche die Wirkung der Erdbeben auf Menschen, Gebäude oder die Natur im betroffenen Gebiet bewertet. Nennenswerte Schäden an Gebäuden treten ab einer Intensität von VI auf.

Um in Zukunft die Methoden der Erdbeben-Risikoabschätzung für die Schweiz zu verbessern, lancierte der Schweizerische Erdbebendienst das Projekt „Erdbebenszenarien für die Schweiz" [4]. Das Projekt soll die verschiedenen Aspekte des Erdbebenrisikos von der geologischen Feldarbeit über theoretische Studien und ingenieurspezifische Anwendungen bis zu einer Umsetzung in Mikrozonierungs- und Risikokarten miteinbeziehen. Ein wichtiger Teil ist dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Experten aus der Seismologie, dem Bauingenieurwesen, der Geologie und Behördenvertretern.

Das allgemeine Vorgehen zur Abschätzung des Schadens als Folge eines Erdbebens ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Die beitragenden Faktoren können demgemäss in einzelne Module eingeteilt werden, die einerseits unabhängig voneinander behandelt werden können, deren Ausgangsgrössen aber

andererseits als Eingangsgrössen für die folgenden Module dienen. Das Einbinden dieser verschiedenen Module in ein geographisches Informationssystem (GIS) erlaubt es, den kombinierten Effekt der einzelnen Einflussgrössen auszuwerten und kartographisch darzustellen. Für die Region Basel werden im Projekt „Erdbebenszenarien für die Schweiz" die Module 1,2,3,4 und 5 innerhalb von drei Doktorarbeiten bearbeitet: Regionale Gefährdung, Mikrozonierung und Gebäudeverletzbarkeit. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Berücksichtigung der entsprechenden Unsicherheiten, welche in einer zusätzlichen Doktorarbeit analysiert werden.

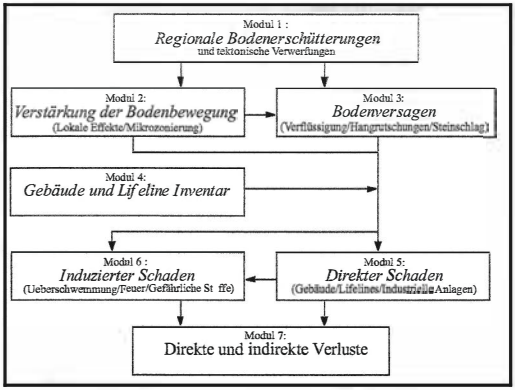


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Abschätzung des Erdbebenrisikos.

Modul 1. Die Abschätzung der regionalen Erdbebengefährdung stellt naturgemäss den ersten Schritt in einer Risikoabschätzung dar. Einerseits werden deterministische Verfahren angewendet, um historische Ereignisse oder maximal zu erwartende Erdbeben zu simulieren. Andererseits wird der Zufälligkeit von Erdbeben durch die Anwendung von probabilistischen Modellen Rechnung getragen. Ausgangspunkt dieser Modelle ist die Erkenntnis, dass die statistische Verteilung von schwachen Erdbeben die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der starke Beben auftreten, sowie die Annahme, dass die Seismizität der Vergangenheit das zukünftige Auftreten von Erdbeben wiederspiegelt. Ausschlaggebend für die Zuverlässigkeit des Ergebnisses ist die Qualität der vergangenen Beobachtungen und die Vollständigkeit des verwendeten Erdbebenkataloges. Für eine sinnvolle Beurteilung der seismischen Gefährdung ist es in jedem Fall unerlässlich zu berücksichtigen, dass die Unsicherheit einer Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens mit zunehmender Stärke des Ereignisses wegen seiner entsprechend langen statistischen Wiederkehrperiode überproportional zunimmt. Einen wichtigen Einfluss haben ausserdem die Abgrenzung der seismotektonischen Quellgebiete sowie die Abminderung der seismischen Erschütterungen auf dem Weg von der Quelle zum Beobachtungsstandort. Traditionell wird die seismische Gefährdung entweder als Intensität, entsprechend einer der gängigen makroseismischen Intensitätskalen (z.Bsp. Mercalli, MSK oder EMS98), oder als Spitzenbeschleunigung (PGA) der zu erwartenden Erschütterung ausgedrückt. Moderne Methoden arbeiten mit vollständigen Zeitreihen oder mit spektralen Werten der Bodenbewegung.

Modul 2. Die Erfahrung zeigt, dass die tatsächlich auftretenden Erschütterungen lokal von den regionalen Mittelwerten stark abweichen und kleinräumig grosse Unterschiede aufweisen können. Die durch ein Erdbeben verursachte Bodenbewegung wird im Falle von weichen Böden in der Regel um das Zwei- bis Vierfache, in Extremfällen sogar um das Zehn- bis Dreissigfache, gegenüber derjenigen eines festen Untergrundes verstärkt. Zudem führen solche Aufschaukelungsphänomene sowohl zu einer frequenzabhängigen Verstärkung als auch zu einer Verlängerung der Dauer der Erschütterungen. Dies wirkt sich besonders verheerend aus, wenn die dominierende Schwingungsfrequenz im Untergrund mit der

Resonanzfrequenz der Gebäude übereinstimmt. In Mikrozonierungsstudien muss daher die lokale Erschütterungsfähigkeit als Funktion der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes erarbeitet und dokumentiert werden.

Modul 3. Als weitere geologisch bedingte Folgen von starken Erdbeben sind Bodenverflüssigungen, Hangrutschungen und Bergstürze sowie kleinräumige Terrainveränderungen wie Sackungen, Hebungen und Rissbildung zu berücksichtigen. Bodenverflüssigung, bei der die Kohäsion lockerer Sedimente unter Umständen plötzlich auf Null sinken kann, ist vor allem im Mittelland im Bereich von Fluss- und Seeufern zu erwarten. Hangrutschungen und Bergstürze stellen hingegen in Berggebieten ein zusätzliches Gefahrenpotential dar und sind zum Beispiel als Folgen der Walliser Beben von 1855 und 1946 eindrücklich dokumentiert.

Modul 4. Für den Menschen wirkt sich die Erdbebengefährdung erst dann verheerend aus, wenn dadurch die gesellschaftliche Infrastruktur und insbesondere Gebäude in Mitleidenschaft gezogen werden. Um das tatsächliche Schadenspotential abzuschätzen ist es daher notwendig, eine Inventarisierung der potentiell gefährdeten Bauten durchzuführen. Dabei sind die Bauten nach Konstruktionstyp, Grösse, Grundriss, und Material zu klassifizieren, so dass ihre Verletzbarkeit als Folge einer gegebenen Erdbebeneinwirkung quantitativ abgeschätzt werden kann [5]. Damit Prioritäten für allfällige Sanierungen von bestehenden Bauten richtig gesetzt werden können, ist es ausserdem notwendig, die Verwendung und die Belegung der betrachteten Gebäude zu erfassen. Dies ist besonders wichtig im Falle überlebenswichtiger Infrastrukturbauten (Lifelines), wie Systeme der Energie- und Wasserversorgung, Transport- und Kommunikationsnetze, sowie Feuerwehreinrichtungen und Spitäler.

Modul 5. Um die direkten Schäden abzuschätzen, werden die Resultate der ersten vier Module kombiniert. Die lokal zu erwartenden Bodenbewegungen aus den Modulen 1 und 2 erlauben es abzuschätzen, welche sekundären Effekte an der Erdoberfläche (Modul 3) in welchem Ausmass eintreffen könnten.
Modul 4 erlaubt dann die direkt betroffenen Bauten und das Ausmass der Beschädigung abzuschätzen. Die direkten Schäden beinhalten nur diejenigen Schäden, die allein durch die Erdbebenerschütterungen oder durch direkte Einwirkungen sekundärer Phänomene, wie Bodenverflüssigung und Bergstürze, verursacht werden. Ein grosses Problem stellt dabei die Definition von Schadentypen und ihre Bewertung dar.

Modul 6. Neben den direkten Schäden sind auch diejenigen Schäden zu berücksichtigen, die als Folge des Versagens der betroffenen Bauten entstehen. Tatsächlich kommt es häufig vor, dass Brände im Zusammenhang mit der Beschädigung von Netzen der Gas- und Stromversorgung eine verheerendere Wirkung haben als die Erdbebenerschütterungen selber. Weitere indirekte Schäden können auch durch Ueberschwemmungen nach dem Versagen von Staudämmen oder durch unkontrollierte Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus Industrieanlagen aller Art verursacht werden.

Modul 7. Die Ausgangsgrössen der Module 5 und 6 müssen schliesslich in eine Abschätzung des zu erwartenden Verlustes umgerechnet werden. Auch hier gibt es sowohl direkte Kosten, die bei der Schadensbehebung anfallen, als auch wirtschaftliche Folgekosten, wie Produktionsausfall und Arbeitsplatzverluste. Zusätzlich zu diesen volkswirtschaftlich quantifizierbaren Verlusten gilt es, auch die Folgen von Todesfällen und die mehr qualitativen mittel- und langfristigen gesellschaftspolitischen Auswirkungen zu berücksichtigen.

Mikrozonierung - der Blick in den lokalen geologischen Untergrund

Entsprechend der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes können innerhalb von wenigen hundert Metern Unterschiede in der Erdbebengefährdung vorliegen, die grösser sind als die Unterschiede zwischen weit auseinander liegenden Landesteilen. Neben Erdbebengefährdungskarten, welche die regionalen Gefährdungsunterschiede aufzeigen, muss daher auch die lokale Erschütterungsfähigkeit des Untergrundes erarbeitet und dokumentiert werden. Solche Mikrozonierungsstudien erlauben es den Bauingenieuren die Gebäude so zu dimensionieren, dass sie den zu erwartenden Erschütterungen auch wirklich standhalten können.

Die Mikrozonierung ist daher eine essenzielle Massnahme zur Minderung des Erdbebenrisikos. In der Schweiz sind bisher verschiedene Mikrozonierungsstudien durchgeführt worden, im Kanton Obwalden [6], im St. Galler Rheintal [7], in Basel [8,9] und im Wallis [10]. Das Projekt „Erdbebenszenarien für die Schweiz" beinhaltet als einen der Schwerpunkte die Entwicklung und das Testen verschiedener Methoden der Mikrozonierung (Abbildung 3). Solche Zonierungen beinhalten verschiedene Arbeitsschritte.

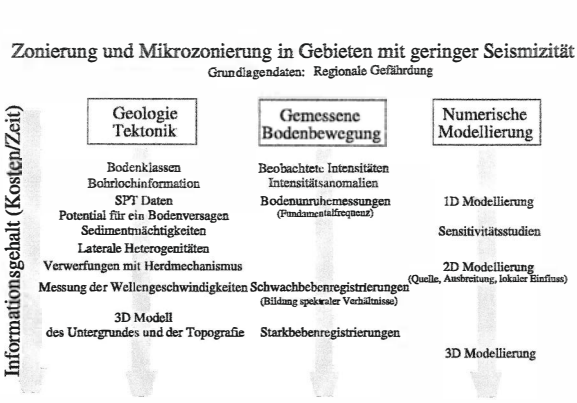


Abbildung 3: Schematische Darstellung der in der Mikrozonierung anwendbaren Verfahren.

Den ersten Schritt bildet die geologische und geotechnische Kartierung der Lockersedimente, die Erfassung von tektonischen Störungen und die Beurteilung der Hangstabilität. Wichtige Grössen sind dabei die Mächtigkeit der Lockersedimente sowie deren Zusammensetzung, die Tiefe des Grundwasserspiegels, welcher vor allem bei nichtlinearem Verhalten von Sedimenten eine Rolle spielen kann, und die Topografie der Felsoberfläche und des Geländes. Diese Grössen beeinflussen das Wellenverhalten und sind während des Erdbebens massgeblich für das Auftreten von Resonanzphänomenen verantwortlich. In einem zweiten Schritt erlaubt die Kenntnis der Resonanz-Grundfrequenz der Lockersedimente eine vereinfachte Beurteilung des dynamischen Verhaltens von Lockersediment-Strukturen durch Erdbebenwellen-Anregung. Diese Frequenz kann mit Hilfe der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt werden (Abbildung 4). Die Bodenunruhe wird durch Maschinen und Verkehr, durch Meeresbrandung und starke Winde erzeugt. Sie ist überall vorhanden und wird in aktiven seismischen Messungen als Störung empfunden. Das Wellenfeld wird jedoch von der lokalen geologischen Struktur beeinflusst und zeigt an der Stelle der Grundfrequenz systematisch eine Polarisation auf der horizontalen Komponente.

Als letzter Schritt können mit Hilfe rechnerischer Verfahren Resonanzen und daraus resultierende Verstärkungen von seismischen Wellen bestimmt werden [15, 16]. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich Scherwellen in den Sedimenten ausbreiten (S-Wellengeschwindigkeit), ist der ausschlaggebende Parameter, der in die Berechnung einfliessen muss. Diese Materialeigenschaft kann durch aktive seismische Methoden wie Reflexions- oder Refraktionsseismik gemessen werden, oder sie kann wiederum unter Ausnutzung der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt werden. Passive Methoden sind vorallem in Städten von grosser Bedeutung, wo weder Sprengungen noch die Auslage von seismischen Profilen möglich sind. Aus diesem Grund wurden beim Erdbebendienst zwei neue Verfahren entwickelt, welche die Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe ausnutzen und es erlauben, die S-Wellengeschwindigkeiten des Untergrundes auch in dicht besiedelten Gebieten zu bestimmen. Die erste Methode [17] benötigt nur eine Messstation und ist anwendbar für geschichtete Lockersedimente, welche einen grossen Geschwindigkeitskontrast zum Felsuntergrund aufweisen. Die Methode basiert wiederum auf den Polarisationseigenschaften der natürlichen Bodenunruhe und verbindet diese mit den Polarisationseigenschaften der Rayleighwellen (Abbildung 5). Mit der zweiten Methode [18] werden die Geschwindigkeiten der Rayleighwellen mit Hilfe eines Arrays von Aufnehmern gemessen, und daraus informationen über die lokale Struktur abgeleitet.

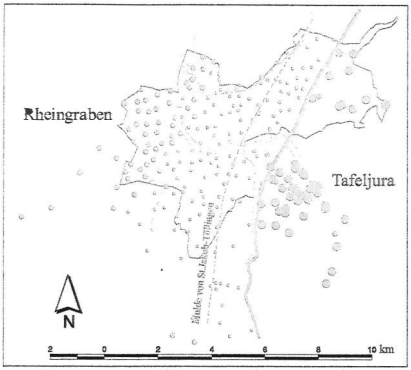


Abbildung 4: Gemessene Resonanz-Grundfrequenzen der Lockersedimente für das Gebiet von Basel [11]. Grosse Punkte bezeichnen Resonanzfrequenzen grösser als 2 Hz, mittlere Punkte stehen für den Bereich 0.75-1.2 Hz und kleine Punkte für 0.3-0.75 Hz.

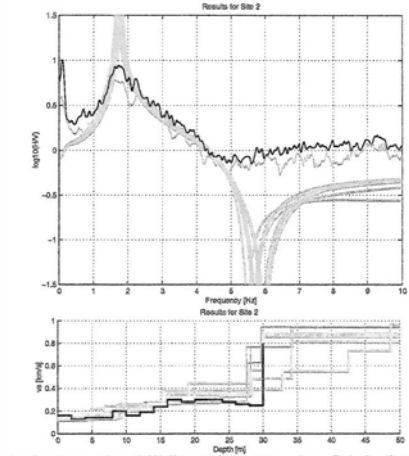


Abbildung 5: Bestimmung der S-Wellenstruktur aus den Polarisationseigenschaften der gemessenen, natürlichen Bodenunruhe [17].

Beispiel Schadensabschätzungen für Basel-Stadt

Sind die lokalen Untergrundverhältnisse einmal erfasst und die Bauten inventarisiert sowie gemäss ihrer Verletzbarkeit klassifiziert, können die für ein beliebiges Gefährdungsniveau zu erwartenden Schäden mittels eines geographischen Informationssystems kartographisch dargestellt werden. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für das Zusammenspiel der verschiedenen Einflüsse anhand des in den einzelnen Quartieren der Stadt Basel zu erwartenden mittleren Gebäudeschadens als Folge eines möglichen Bebens mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Das Resultat zeigt deutlich, dass sich die Beiträge der geotechnischen Beschaffenheit und der Gebäudeverletzbarkeit in einigen Quartieren gegenseitig aufheben. In anderen Quartieren, wie zum Beispiel im historischen Stadtzentrum, ist hingegen das zu erwartende Schadensbild vom Zusammentreffen von ungünstigem Baugrund und verletzbarer Bausubstanz geprägt.

Die Erfahrungen aus den Erdbeben der letzten Jahrzehnte sowie neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens zeigen, dass regionale Abschätzungen der statistisch zu erwartenden Spitzenbeschleunigung als Grundlage für Massnahmen zur Verminderung des Erdbebenrisikos nicht genügen. Standorteffekte, bedingt durch die geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes, haben einen wesentlichen Einfluss auf Intensität, Dauer und Frequenzgehalt der Erdbebenerschütterungen. Dabei können über Entfernungen von wenigen hundert Metern Unterschiede auftreten, die in der gleichen Grössenordnung liegen wie die regionalen Gefährdungsunterschiede. Damit die Bauten den tatsächlich auftretenden Einwirkungen standhalten, müssen diese Effekte von Planern und Ingenieuren berücksichtigt werden. Moderne Methoden der Mikrozonierung erlauben es, die Einflüsse des Standortes zu quantifizieren sowie mittels geographischer Informationssysteme aufzuarbeiten und darzustellen.

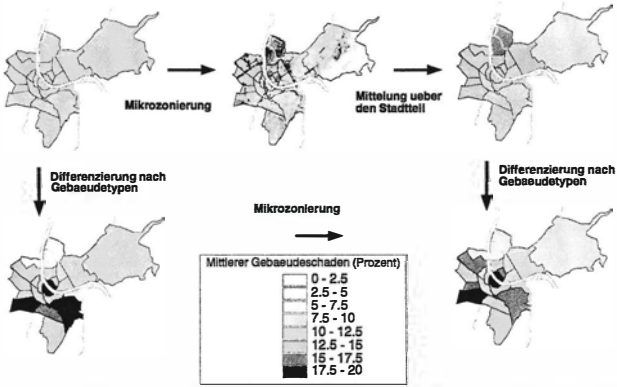


Abbildung 6: Abfolge der einzelnen Schritte von seismischer Gefährdung über Mikrozonierung und Gebäudeklassifizierung zum Schadensbild für Basel-Stadt unter der Annahme eines Bebens der Intensität VII-VIII [12]. Es ist zu beachten, dass soiche Szenarien mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet sind.

Entscheidend für planerische und politische Massnahmen ist jedoch nicht die Erdbebengefährdung alleine, sondern das Zusammenwirken der regionalen Gefährdung, der standortbedingten Einflüsse und der Verletzbarkeit der Bausubstanz. Das Beispiel dieses Zusammenwirkens für die Stadt Basel zeigt den Nutzen einer soichen Analyse. Die mittlere Intensität eines Ereignisses mit der statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren beträgt VII bis VIII. Bei einem soichen Ereignis ist der totale Einsturz eines Gebäudes sehr unwahrscheinlich. Wie sähe aber das Bild aus im Falle einer Wiederholung des

Bebens von 1356, mit einer Intensität von IX? Ein Vergleich der zwei Szenarien ist in Abbildung 7 dargestellt. Im Fall einer heutigen Wiederholung des Bebens von 1356 müsste mit einer erheblichen Anzahl eingestürzter Gebäude gerechnet werden, die sehr ungleichmässig über das Stadtgebiet verteilt sein würden.

Das Beben mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren entspricht ungefähr dem Bemessungsbeben der heute gültigen Baunorm 160. Dementsprechend bieten diese Baunormen im Fall einer Wiederholung des Bebens von 1356 nicht den erwarteten Schutz. Welches Szenario als Grundlage für die Erdbebenbemessung von Bauten gewählt wird, ist ein gesellschaftspolitischer Entscheid. Er sollte in vollem Bewusstsein der möglichen Konsequenzen getroffen werden, und dazu liefern die beschriebenen Methoden der Abschätzung des Erdbebenrisikos ein nützliches Hilfsmittel.

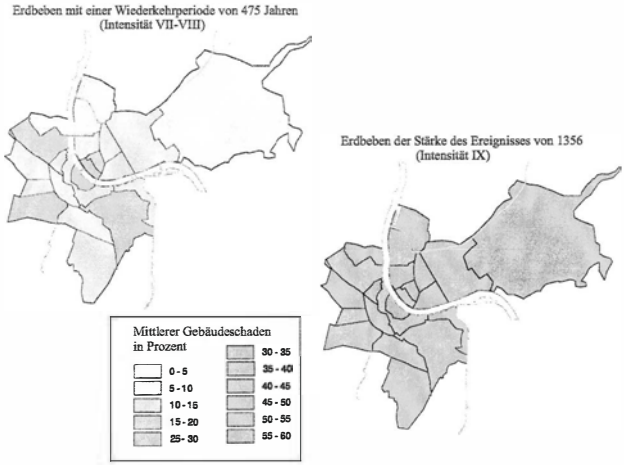


Abbildung 7: Vergleich der Schadensbilder für ein Beben mit einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren (Io = VII-VIII) und für eine Wiederholung des Bebens von 1356 (Io = IX). In letzterem Fall ist mit dem Einsturz von etwa 4% und einem durchschnittlichen Totalverlust von rund 20% der Gebäude zu rechnen.

Literatur

[1] Sägesser, R. und Mayer-Rosa, D.: Erdbebengefährdung in der Schweiz. Schweizerische Bauzeitung, 7 (1978).
[2] Norm SIA 160, Einwirkung auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur und Architekten Verein, Zürich (1989).
[3] Bachmann, H., Darbre, G.R., Deichmann, N., Koller, M., Studer, J., Tinic, S., Tisières, P., Wenk, Th., Wieland, M., Zwicky, P.: Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz. SIA Dokumentation D0150, Zürich (1998).
[4] Fäh, D., Bachmann ,H., Bay, F., Becker, A., Giardini, D., Huggenberger, P., Kind, F., Lang, K., Mayer-Rosa, D., Noack, T., Seliami, S., Wenk.,T.: Earthquake scenarios for Switzerland. Proc. XII World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Feb. 2000, Paper number 205 (2000).
[5] Lang, K. und Bachmann, H.: Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk. In: Erdbebenvorsorge in der Schweiz - Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken. SIA Dokumentation D0162, Zürich (2000).
[6] Schindler, C., Beer, C., Mayer-Rosa, D., Rüttener, E., Wagner, J.-J., Jaquet, J.M. and C. Frischknecht: Earthquake Hazard Assessment in the Canton Obwalden using Geographic Information System (GIS). In: Floods and Geological Hazards, Swiss National Committee of the UN-IDNDR, Report 1991-1993 (1993).
[7] Mayer-Rosa, D., Rüttener, E., Fäh, D., Schindler, C., Beer, C., Wagner, J.-J. and C. Frischknecht. Erdbebengefährdung und Mikrozonierung in der Schweiz. Beitrag zur Erforschung des Erdbebenrisikos in Abhängigkeit vom geologischen Untergrund. VdF Hochschulverlag AG, ETH Zürich, pp 90 (1997).
[8] Noack,T. Fäh, D. and P. Kruspan: Erdbebenmikrozonierung für den Kanton Basel-Stadt. Landeshydrologie und -geologie, Geologischer Bericht Nr.24, pp 83 (1999).
[9] Fäh, D., Rüttener, E., Noack, T. und P. Kruspan: Microzonation of the city of Basel. Journal of Seismology, 1, 87-102 (1997).
[10] Wagner, J.-J., Frischknecht, C., Rosset, P., Mayer-Rosa, D., Rüttener, E., Smit, P., Schindler C., Beer, Ch. and M. Sartori: Rapport final du projet SISVAL-IDNDR "zonage regional et local dans les regions de Sion et Susten-Brig" (1997, unveröffentlicht).
[11] Kind, F., Fäh, D., Steimen, S., Salami, F., Giardini, D.: On the potential of microtremor measurements. Proc. XII World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Feb. 2000, Paper number 204 (2000).
[12] Fäh, D., Kind, F., Lang, K. and D. Giardini. An earthquake scenario for the city of Basel. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21 (2001), 405-413.
[13] Fäh, D., Deichmann, D., Kind, F. und D. Giardini: Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung. SI+A, Nr.40, 857-861 (2000).
[14] Fäh, D. und D. Giardini: Erdbebenrisiko in der Schweiz. In: Erdbebenvorsorge in der Schweiz - Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken. SIA Dokumentation D0162, Zürich (2000).
[15] Fäh, D. and G. F. Panza, 1994. Realistic modelling of observed seismic motion in complex sedimentary basins. Annali di Geofisica, 37, 1771-1797.
[16] Fäh, D. and P. Suhadolc, 1994. Application of numerical wave-propagation techniques to study local soil effects: The case of Benevento (Italy). PAGEOPH, Vol.143, No.4, 513-536.
[17] Fäh, D., Kind, F. and D. Giardini, 2001. A theoretical investigation of average H/V ratios. Geophysical Journal Int., 145, 535-549.
[18] Kind, F., Fäh, D., Giardini, D., 2001. Application of an array technique to ambient vibrations. Geophysical Journal Int., submitted.

Schweizerischer Erdbebendienst
ETH-Hönggerberg
8093 Zürich

Der Schweizerische Erdbebendienst

In der Schweiz wurde schon 1878 die Nationale Erdbebenkommission gegründet, ein Jahr bevor eine entsprechende Organisation in Japan entstand. 1913 wurde diese Kommission in den Schweizerischen Erdbebendienst umgewandelt und dann im Jahre 1956 auf gesetzlichem Weg der ETH angegliedert. Der Erdbebendienst ist verantwortlich für die Erfassung und Auswertung der Seismizität in der Schweiz. Eine Reihe wesentlicher Bedürfnisse wird dabei abgedeckt: Die Ueberwachung des Schweizer Territoriums und der grossen Staudämme mit Hilfe von Seismographen- und Starkbeben-Netzwerken, rasche Alarmmeldungen an das Schweizerische Katastrophenhilfekorps, Teilnahme an der Internationalen Ueberwachung des UNO-Atomtest-Stop-Vertrags, die Zusammenarbeit mit Nagra und HSK für die Sicherheit von wichtigen Atomanlagen, die Ueberwachung von dichten urbanen Gebieten in der Schweiz, und die seismische Gefährdungs- und Risikoanalyse für die Schweiz. Ein wichtiger Teil ist die Forschung im Bereich der seismischen Gefährdung und der Weiterentwicklung von neuen Methoden der Risikoanalyse.
Falls Sie sich weiter für Erdbeben im Allgemeinen, jüngste Erdbeben oder Fragen des Erdbebenrisikos interessieren, informieren Sie sich auf den Webseiten des Schweizerischen Erdbebendienstes:
http://seismo.ethz.ch
Eine vollständige Uebersicht von Webseiten über Erdbeben einschliesslich wissenschaftlicher Fragesteilungen, Wissenschaftspolitik und Lehrmaterial findet sich auf der "Mirror-Seite":
http://seismo.ethz.ch/seismosurf/seismobig/html

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Naturgefahrenmanagement in einem Gebirgskanton

Th. Rageth

Naturgefahrenmanagement in einem Gebirgskanton

Thomas Rageth, Dipl. Forsting. ETH, Kantonsforstamt, 8750 Glarus

1. Einleitung

In den letzten Jahren kam es im Kanton Glarus zu verschiedenen Naturereignissen. Es begann mit den Bergstürzen auf der Sandalp 1996 mit Folgeszenarien wie Bergsturz in einen aufgestauten See oder luftseitige Erosion des Dammes beim Überlaufen des Sees. 1997 war geprägt durch zwei Gewitterfronten im August mit Schäden in diversen Gemeinden. Nach dem schneeintensiven Winter von 1999 mit zahlreichen Lawinenniedergängen im Februar kam es anfangs März zu Rutschungen in Braunwald und den Folgeereignissen mit Murgängen aus der Wüechtenrunse in Rüti. Die kritischen Tage mit Hochwasser über Auffahrt und Pfingsten führten dann zu Ausbrüchen in verschiedenen Seitenbächen und zu Schäden an Gebäuden und Kulturland. Im September 1999 ereignete sich ein grösserer Felssturz am Bogglauihorn in Linthal. Ca. 120'000 m^3 Fels stürzten in die Hufenrunse und verteilten sich auf dem Kegelhals des Schuttkegels. Murgänge bedrohten anschliessend Liegenschaften und es kam zeitweise zu einem Aufstau der Linth.

Praktisch parallel zu diesen Ereignissen wurde im Kanton Glarus mit dem In-Kraft-Treten des neuen kantonalen Waldgesetzes ein Konzept erarbeitet, wie das Naturgefahrenmanagement zu erfolgen hat. Verlangt wird die konsequente Berücksichtigung der Gefahrensituation als ein wesentliches Element der Prävention. Als Nachweis zur sachlichen Rechtfertigung und Verhältnismässigkeit von Massnahmen ist ein Risikokonzept zu erstellen. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Auslöser ein Ereignis, eine Massnahmenplanung bei bekanntem Schutzdefizit oder die Änderung einer Nutzung bzw. Nutzungsplanungsrevision ist. Das Ziel ist immer die Erarbeitung eines ganzheitlichen Massnahmenkonzeptes mit aktiven, passiven und planerischen Massnahmen. Sie sind zu beurteilen bezüglich Reduktion von Schutzdefiziten und die Kosten sind dem Nutzen gegenüberzustellen. Die Koordination aller betroffenen Fachstellen und Fachgebiete wird durch eine federführende Stelle sichergestellt.

2. Richtlinien über den Schutz vor Naturgefahren

Gestützt auf Art. 15 Abs 3 des Kant. Waldgesetzes erliess der Regierungsrat die Richtlinien über den Schutz vor Naturgefahren. Sie regeln die generellen Abläufe bei Gefahrenabklärungen (s. Anhang 1) und beinhalten im Wesentlichen:

- die Art und Weise und mit welchen Mitteln die Gefahrenbeurteilungen gemacht werden **(Risikoanalyse);**
- die Festlegung der Schutzziele **(Risikobewertung);**
- die Prüfung aller Massnahmen und deren Wirkung **(Risikomanagement);**
- die Finanzierung.

2.1 Risikoanalyse

Der erste Schritt zu einem effizienten Vorgehen zur Erstellung eines Risikokonzeptes ist die Risikoanalyse. Sie gibt Antwort auf die Frage "Was kann passieren?". Wir unterscheiden zwischen der Ereignisanalyse und der Wirkungsanalyse:

Ereignisanalyse:

Die Erfahrungen aus vergangenen Ereignissen stellen in vielen Fällen eine wichtige Grundlage dar für die Bewältigung zukünftiger Ereignisse. Sie werden in zwei Produkten erhoben:

Ereigniskataster: Einerseits rückblickende Erhebung historischer Ereignisse von Naturgefahren, andererseits laufende Erhebung aktueller Ereignisse nach einem einheitlichen Vorgehen.

Karte der Phänomene: Nach naturwissenschaftlichen Kriterien erstellte Karte, die bezüglich der Naturgefahren Auskunft gibt zu morphologischen Merkmalen, relevanten Spuren im Gelände sowie Art und Ort von Schutzbauten.

Wirkungsanalyse:

Die aus der Ereignisanalyse gewonnenen Erkenntnisse werden ergänzt mit Berechnungen, Modellierungen sowie Szenarien und liefern damit Informationen bezüglich der Intensität einer Gefahr und der Eintretenswahrscheinlichkeit. Sie werden dargestellt in der

Gefahrenkarte: Nach naturwissenschaftlichen Kriterien erstellte Karte, die bezüglich der flächenhaften Gefahrenwirkung Angaben liefert zur Art des Prozesses, Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeiten.

2.2 Risikobewertung

Mit den Ergebnissen der Risikoanalyse entscheidet man, welche Risiken akzeptierbar sind bzw. akzeptiert werden müssen. Nur das Vorhandensein einer Gefahr allein wäre an und für sich noch nicht gefährlich. Ob ein Ereignis im einzelnen Fall tatsächlich zu einem Schaden an Menschen und/oder Gütern führt, hängt in erster Linie davon ab, ob sich zum Zeitpunkt des ablaufenden gefährlichen Prozesses Menschen und/oder Güter in dessen Wirkungsbereich – z.B. in der Lawinenbahn oder im Ablagerungsbereich – befinden. Das heisst ein Risiko ist dann gegeben, wenn Personen oder Sachwerte gefährdet sind und zu Schaden kommen. Auf einen kurzen Nenner gebracht, kann das Risiko mit dem Produkt aus Schadeneintrittswahrscheinlichkeit und Schadenausmass umschrieben werden. Dargestellt wird das Risiko in der Schutzdefizitkarte und der Risikokarte.

Schutzdefizitkarte: Die Schutzdefizitkarte zeigt auf, wo die Gefährdungen gemessen an der Intensität und Wahrscheinlichkeit höher sind als gemäss Schutzzielmatrix des Kantons Glarus (s. Anhang 2) vorgegeben.

Risikokarte: Nach wissenschaftlichen Kriterien erstellte Karte, die flächenhaft Auskunft gibt zum Risiko, getrennt nach Sachwerten und Leben als abstrakter Risikowert und/oder Betrag in Franken, getrennt nach Prozessart.

Methodisch wird gemäss der BUWAL-Empfehlung "Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren (1999)" vorgegangen. Das Risiko wird mit dem jährlichen Schadenerwartungswert beziffert. Der jährliche Schadenerwartungswert ist jener Betrag, der jährlich gespart werden müsste, um künftig erwartete Schäden zu decken. Es wird weder eine Verzinsung berücksichtigt, noch danach unterschieden, wer den Schaden zu bezahlen hat. Es ist in diesem Sinne eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise. Bezüglich des Risikos ist auch die Unterscheidung des Objektrisikos, des Kollektivrisikos und des Individualrisikos von Bedeutung. Das Objektrisiko bezieht sich, wie der Name sagt, auf ein bestimmtes Objekt, z.B. ein Gebäude, eine Strasse (resp. einen Strassenabschnitt), eine Wiesen- oder Waldfläche etc. Diese Form des Risikos kann kartographisch leicht dargestellt werden und bezieht sich immer auf bestimmte Einheiten wie Aren oder Laufmeter. Sie erlaubt dem Benutzer zu beurteilen, wie die Risikosituation an einer interessierenden Stelle aussieht. Das Kollektivrisiko fasst die Objektrisiken in grösseren Einheiten zusammen. Solche Einheiten können ein bestimmtes Ereignis, eine Gefahrenquelle, eine Prozessart oder auch die ganze Gemeinde sein. Solche Zusammenfassungen zu Kollektivrisiken gehen über den jährlichen Schadenerwartungswert der Objektrisiken

Bei Massnahmenprojekten gegen brutale Prozesse (Lawinen, Sturz) muss zum Teil auch das Personenrisiko, analog zu den Sachrisiken, beurteilt werden. Es werden Personen in den Gebäuden, auf Verkehrsachsen und im Freien betrachtet. Als Schadenindikator werden Todesfälle pro Jahr verwendet.

2. 3 Risikomanagement

Unter dem Risikomanagement verstehen wir den Einsatz von Massnahmen und Methoden mit dem Ziel, die angestrebte Sicherheit zu erreichen und die Sicherheitsplanung den sich verändernden Umständen anzupassen. Die Sicherheitsplanung darf sich dabei nicht mehr darauf beschränken, innerhalb von administrativ abgegrenzten Zuständigkeitsbereichen einzelne Werte vor bestimmten Naturgefahren zu schützen. Die gesellschaftlichen Schutzinteressen gegen Lawinen, Massenbewegungen, Hochwasser und Murgänge bedingen eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forst, Wasserbau, Raumplanung, Notfalldiensten und Wirtschaft. Ein solches Naturgefahrenmanagement erfordert auch ein gutes Krisenmanagement. Das bedeutet, sehr gut ausgebildete Fachleute, die im richtigen Moment richtig handeln.

Nach wie vor ist somit die Massnahmenplanung ein wichtiger Bestandteil zur Vermeidung oder mindestens zur Milderung von Auswirkungen bei Naturereignissen. Mit den Ergebnissen der Risikobewertung ist es möglich, den Fächer der Schutzmassnahmen zu öffnen. Gestützt auf die Analyse der Gefahren- und Risikosituation können Massnahmenvorschläge unterbreitet und diskutiert werden. Dazu dient die:

Massnahmenkarte: Sie beschreibt die zu erzielende Wirkung der Massnahmen mit dem verbleibenden Risiko nach Ausführung der Massnahmen. Dabei umfassen Massnahmen immer Unterhalt, raumplanerische Massnahmen, Verbauungen, Objektschutz, Warnsysteme und Notfallplanungen sowie Schutzwaldpflege und Aufforstung.

Ist eine Massnahmenplanung Bestandteil des Projektes ist in der Regel auch die Kostenwirksamkeit zu prüfen. Dazu wird in der Regel ein Vergleich angestellt zwischen jenen Kosten, welche als Folge von Ereignissen auftreten können und jenen Kosten für Massnahmen, die aufzuwenden sind, um diese Schäden zu vermeiden. Kann mit einem investierten Franken ein Franken Schaden verhindert werden, so handelt es sich um volkswirtschaftlich kostenneutrale Massnahmen. Können mit einem Franken Investitionen zehn Franken Schäden verhindert werden, sind die Investitionen volkswirtschaftlich gewinnbringend, im umgekehrten Fall wirtschaftlich nicht unbedingt gerechtfertigt. Um aber zu entscheiden, ob Massnahmen gerechtfertigt sind, darf das Nutzen-Kostenverhältnis nach dieser Methode nicht allein entscheidend sein, da es längst nicht alle Aspekte - wie z.B. politische oder soziale - berücksichtigt.

Aufgrund der gewählten Massnahmenpalette wird die verbleibende Gefährdung und das Risiko nach Massnahmen erneut analysiert. Um die Risikoverminderung darzustellen, werden analog obigem Vorgehen eine Gefahrenkarte und eine Schutzdefizit-/Risikokarte nach Massnahmen erstellt.

Diese ganze Palette von Massnahmen könnten wir auch ohne die aufwändigen Risikoabklärungen machen - aber wir könnten die einzelnen Möglichkeiten nicht bewerten. Weder nach ihrer Wirkung noch nach den ökonomischen Aspekten. In der diesen Projektschritten folgenden Phase sind dann die verantwortlichen Entscheidungsträger - in der Regel Gemeindebehörden - sowie die Betroffenen gefordert, die richtigen Beschlüsse zu fällen.

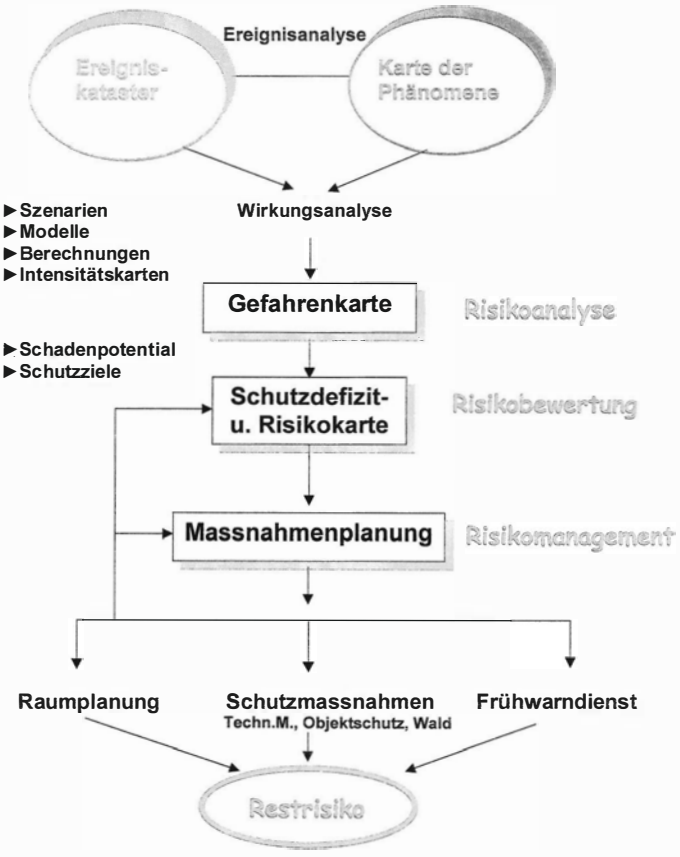
3. Schlussbemerkungen

Dem Schutz von Naturgefahren sind technische, ökonomische und ökologische Grenzen gesetzt. Beschränkt sind sowohl die Mittel wie auch die Platzverhältnisse und gefragt ist ein modernes Naturgefahrenmanagement. Um Schutzmassnahmen effizient und prioritätengerecht einzusetzen können wir uns nicht mehr nach den Erfahrungen der Vergangenheit ausrichten. Nötig ist vielmehr eine systematische Risikobeurteilung der möglichen Gefahren, wie sie etwa im technischen Bereich inzwischen als Selbstverständlichkeit gilt. Im Vordergrund steht zuerst ein Dialog über anzustrebende Schutzziele und vertretbare Restrisiken. Das heisst aber wir müssen die Risiken kennen. Dazu dienen die Resultate der Risikoanalyse. Sie liefern die Grundlagen dazu. Bei der Planung von Schutzmassnahmen haben wir uns an den Grundsätzen der Nachhaltigkeit zu orientieren und Lösungen vorzuschlagen, die mit den verfügbaren Mitteln einen optimalen Schutz erzielen.

Wir sind daran, uns vom reinen massnahmenbezogenen Vorgehen loszulösen. Anstelle dessen analysieren wir die drohende Gefahr vorerst eingehend und bewerten die Risiken. Anschliessend wird die ganze Palette möglichen Massnahmen bezüglich ihrer Risikoreduktion geprüft und die für den vorliegenden Fall optimalste Lösung gesucht. Unsere in den letzten Jahren mit diesen Vorgehen gemachten Erfahrungen sind durchwegs positiv, wenn auch für viele Beteiligte noch gewöhnungsbedürftig. Zu letzteren zähle ich nicht nur Bauherrschaften sondern auch andere Amtsstellen und sogar Vertreter von Bundesämtern.

Es versteht sich von selbst, dass bei diesem Vorgehen ein konseuenter Risikodialog sehr wichtig ist. Das heisst alle Betroffenen sind laufend zu informieren und die Kommunikation umfasst auch alle Beteiligten.

Management der Naturgefahren



Anhang 2

Richtlinien zum Schutz Naturgefahren im Kanton Glarus

Schutzziele gemäss Art. 13 Abs. 3

Vollständiger Schutz	Schutz bis schwache Intensitäten
Schutz bis mittlere Intensitäten	Keinerlei Schutz

Intensitäten: **0: Intensität Null** **1: Schwache Intensität** **2: Mittlere Intensität** **3: Starke Intensität**

Objektkategorie				Zulässige Gefährdung Wiederkehrperiode		
Nr.	Sachwerte	Infrastrukturanlagen	Naturwerte	1 - 30 (häufig)	30 - 100 (selten)	100 - 300 (sehr selten)
1	Standortsgebundene Bauten, exkl. Sonderobjekte	Skitouren-, Bergtourenrouten (gemäss Karten SAC u.a.)	Oedland, Naturlandschaften	3	3	3
2.1		Wanderwege und Loipen von kant. Bedeutung, Flurweg, Leitungen von kommunaler Bedeutung	Alpweiden	2	3	3
2.2	Unbewohnte Gebäude (Remisen, Weidescheunen u.ä.)	Verkehrswege von kommunaler Bedeutung, Leitungen von kantonaler Bedeutung	Wald mit Schutzfunktion (Waldbau B und C), landwirtschaftlich genutztes Land	2	2	3
2.3	zeitweise oder dauernd bewohnte Einzelgebäude und Weiler, Ställe	Verkehrswege von kantonaler od. grosser Kommunaler Bedeutung, Leitungen von nationaler Bedeutung, Bergbahnen, Zonen für Skiabfahrts- und übungsgelände		1	1	2
3.1		Verkehrswege von nationaler od. grosser kantonaler Bedeutung, Ski- und Sessellifte		0	1	2
3.2	Geschlossene Siedlungen, Gewerbe und Industrie, Bauzonen, Campingplätze, Freizeit- und Sportanlagen sowie andere grosse Menschenansammlungen mit geringem Schutz gegen Gefahreneinwirkung	Stationen diverser Beförderungsmittel		0	1	1
3.3	Sonderrisiken bez. Besonderer Schadenanfälligkeit oder Sekundärschäden	Sonderrisiken bez. Besonderer Schadenanfälligkeit oder Sekundärschäden	Quellenareal	***Festlegung fallweise***		

143
MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Pragmatischer Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren

Dr. M. Wegmann

Pragmatischer Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren[1)]

Fritz Bähler, Matthias Wegmann, Hans Merz

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde ein pragmatischer Ansatz zur raschen vergleichbaren Risikobeurteilung von Naturgefahren erarbeitet und an Fallbeispielen auf dessen Machbarkeit getestet. Der Ansatz erlaubt, eine grobe quantitative Risikoübersicht auf der Grundlage des vorhandenen lokalen Wissens über verschiedene Naturgefahren zu erstellen. An drei Fallbeispielen wurde je ein eintägiger Workshop mit ortskundigen Erfahrungsträgern, Experten und Verantwortlichen[2)] durchgeführt. Alle Beteiligten sind nach diesen Erfahrungen von der Machbarkeit des pragmatischen Ansatzes und vom Nutzen des dadurch ausgelösten Risikodialogs überzeugt.

Ausgangslage und Ziel

Im Naturgefahrenbereich in der Schweiz ist ein Wandel in Richtung gesamtheitlicher, risikobasierter Sicherheitspianung im Gange (vgl. PLANAT 1998, BUWAL 1999). Gesamtheitlich im Sinne eines integralen Risikomanagements, das alle Sicherheitsmassnahmen (Vorsorge, Intervention, Wiederherstellung) gleichwertig einbezieht. Risikobasiert im Sinne einer umfassenden Risikokultur, in der Naturrisiken und Schutzmassnahmen transparent und vergleichbar dargestellt und beurteilt werden.

Eine vergleichbare Risikoanalyse aller Naturgefahren sowie die Beurteilung der Risiken mit vergleichbaren Kriterien bilden die Voraussetzung für die Einführung einer oben skizzierten umfassenden Risikokultur. Die bisherigen Konzepte zeigen, dass das Erarbeiten der benötigten Grundlage aufwändig ist (vgl. BUWAL 1999). In absehbarer Zeit wird daher keine vergleichbare Risikoübersicht für grössere Gebiete vorliegen. Daher steht hier die Frage im Vordergrund, ob es einen einfachen, praxistauglichen Ansatz gibt, der das vorhandene Wissen gezielt und nachvollziehbar nutzt, um rasch eine grobe quantitative Übersicht über die Risiken und den Handlungsbedarf zu erhalten.

Die Forstdienste der Kantone Luzern und Schwyz sowie die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) haben sich bereit erklärt, Fallbeispiele im Sinne eines Experimentes bearbeiten zu lassen. Die Fallbeispiele Willisau/Hergiswil, Muotathal, und SBB-Gotthard-Südrampe sollen zeigen, inwieweit der pragmatische Ansatz praxistauglich ist und brauchbare Ergebnisse liefert.

Beschreibung des getesteten Ansatzes

Der Pragmatismus des hier getesteten Ansatzes besteht einerseits in methodischen Vereinfachungen ohne die Systematik und die Gesamtschau aufzugeben. Anderseits werden für die Risikobeurteilung ortskundige Erfahrungsträger, Experten und Verantwortliche[1)] einbezogen. Sie bringen das gesamte vorhandene Wissen systematisch ein. Damit wird gleichzeitig die Sicherheitsbeurteilung im Rahmen eines Risikodialoges vorgenommen. Die Ergebnisse sind daher breit abgestützt.

An den eintägigen Workshops wurden folgende Schritte in Gruppen von jeweils drei bis maximal sechs ortskundigen Erfahrungsträgern, Experten und Verantwortlichen[1)] vorgenommen (vgl. Abbildung 1):

---

1) Der selbe Artikel ist bereits in der Zeitschrift „wasser, energie, luft – eau, énergie, air" erschienen.
2) Zu Erfahrungsträgern gehören: „immer wieder Betroffene", Landwirte, ehemalige Feuerwehrkommandanten, ehemalige Gemeinderäte und –schreiber usw.; zu Experten gehören: Geologen, Wasserbauer, Förster, Versicherer und andere Ingenieure; zu Verantwortlichen gehören: Gemeinderäte, Feuerwehrkommandanten, Wuhrgenossenschaftsmitglieder, Kantons- und Bundesfachstellen.

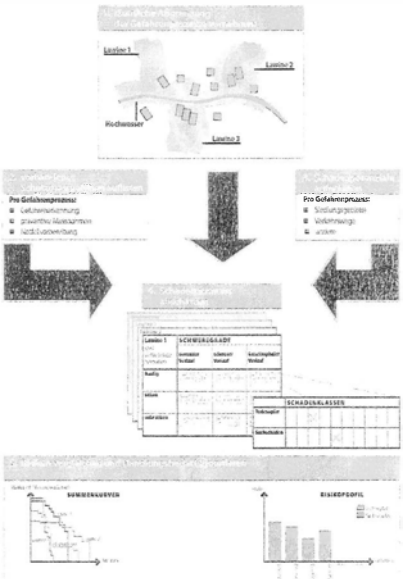


Abbildung 1: Vorgehen beim pragmatischen Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren.

1. **Räumliche Abgrenzung der Gefahrenprozesse vornehmen:** Als erster Schritt werden die Gefahrenprozesse im gewählten Untersuchungsgebiet identifiziert und räumlich abgegrenzt. Jeder identifizierte Gefahrenprozess erhält einen Namen, eine Nummer und eindeutig abgegrenzte Wirkungsräume[3]. Grundlagen wie Ereigniskataster, Gefahrenhinweiskarten oder Gefahrenkarten können dazu direkt verwendet werden und beschleunigen diesen Schritt erheblich. Falls sie fehlen, müssen die Ortskundigen die räumliche Abgrenzung nach bestem Wissen auf geeigneten Plänen einzeichnen.
2. **Vorhandene Schutzmassnahmen auflisten:** Für alle identifizierten Gefahrenprozesse werden alle vorhandenen Schutzmassnahmen festgehalten (Zonenpläne mit Bauverordnung, Frühwarnsysteme, Pflege von Wälder mit Schutzfunktionen, Schutzbauten, Notfallplanung usw.) und bezüglich ihrer Wirkungsweise beurteilt.
3. **Schadenpotenziale aufnehmen:** Für jeden Wirkungsraum werden die Schadenpotenziale zusammengestellt, einerseits die sich möglicherweise im Wirkungsraum aufhaltenden Personen (Einwohner, Gäste,

3) Mit einem Wirkungsraum ist die von einem Gefahrenprozess bei einem bestimmten Szenario gemäss Abbildung 2 gefährdete Fläche gemeint.

Strassenbenutzer usw.) und anderseits die vorhandenen Sachwerte (Gebäude, Sonderobjekte, Verkehrswege).

4. **Schadenausmass abschätzen:** Anhand von neun stellvertretenden Szenarien (vgl. Abbildung 2) schätzen die ortskundigen Erfahrungsträger und Experten für jeden Gefahrenprozess die zu erwartenden Schäden ab. Die zugrundeliegenden Annahmen und Beurteilungen werden schriftlich festgehalten. Zur Erleichterung der Schadenabschätzung wurden für die beiden Schadenindikatoren Todesopfer und Sachschäden je zehn Schadenklassen[4] vorgegeben.

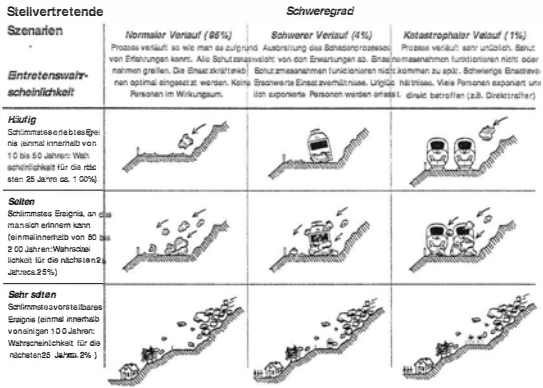


Abbildung 2: Prinzip der Risikobeurteilung für einen Gefahrenprozess anhand von neun stellvertretenden Szenarien, illustriert am Beispiel eines Steinschlaggebietes.

5. **Risiken vergleichen und Handlungsbedarf diskutieren:** Die Risiken werden anhand der Beurteilungen informatikgestützt berechnet und vergleichbar dargestellt. Sie lassen sich für einzelne Gefahrenprozesse in einem beurteilten Gebiet oder für verschiedene beurteilte Gebiete wie folgt vergleichend darstellen (vgl. Beispiele in Abbildung 3, Abbildung 4):
   - Summenkurve für einzelne oder alle Gefahrenprozesse im Wahrscheinlichkeits-Ausmassdiagramm.
   - Statistische Schadenerwartungswerte sowie monetarisierte kollektive Risiken einzelner und aller Gefahrenprozesse in absoluten sowie flächenbezogenen Einheiten.
   - Vergleichende Diagramme zur Grösse und zur Zusammensetzung (Indikatoren, Häufigkeitsklasse, Schweregrad) einzelner oder aller Gefahrenprozesse.

   Anhand dieser vergleichenden Risikodarstellungen kann der Handlungsbedarf mit den lokalen Erfahrungsträger, Experten und/oder Verantwortlichen[5] diskutiert und eingegrenzt werden.

4) Die vorgegebenen Schadenklassen reichen von 0 Todesopfer bzw. 0 – 1'000.- CHF bis zu 300 – 1'000 Todesopfer bzw. 500 – 3'000 Mio. CHF pro Ereignis.

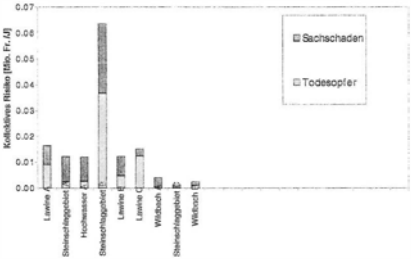


Abbildung 3: Vergleichende Risikodarstellung als Säulendiagramm pro Gefahrenprozess für ein beurteiltes Gebiet.

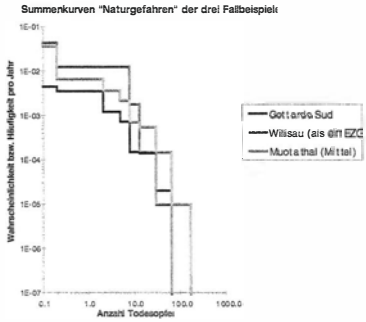


Abbildung 4: Vergleichende Risikodarstellung als Summenkurven im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm. Es sind die Summenkurven für Todesopfer aller beurteilten Gefahrenprozesse jedes Fallbeispiels dargestellt. Eine der Summenkurve beinhaltet beispielsweise alle beurteilten Gefahrenprozesse der Abbildung 3.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Fallbeispielen

Der pragmatische Ansatz zum Erarbeiten einer Risikoübersicht in einem abgegrenzten Untersuchungsperimeter hat sich bei den drei Fallbeispielen bezüglich seiner Systematik und leichten Verständlichkeit gut bewährt. Er zeichnet sich durch Einfachheit und Schnelligkeit aus und vermag dennoch objektive Vergleichskriterien zu erfüllen. Die vergleichenden Risikodarstellungen (vgl. Abbildung 3, Abbildung 4) wurden von den ortskundigen Erfahrungsträgern, Experten und Verantwortlichen[1)] durchwegs als plausibel beurteilt und wiesen eine hohe Akzeptanz bei den Beteiligten auf. Aus Sicht des Vollzuges trägt insbesondere

der dadurch ausgelöste Risikodialog dazu bei, dass Sicherheitsmassnahmen lokal besser verstanden und damit auch lokal unterstützt und gefördert werden.

Folgende Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt können im Detail interessieren:

- Der Zeitbedarf für die Beurteilung eines Gefahrenprozesses war je nach Prozessart sehr unterschiedlich (min. 30 Minuten, max. 90 Minuten). Die Beurteilung von Hochwassergefahren brauchte beispielsweise mehr Zeit als jene von Lawinen.
- Extrem optimistische bzw. pessimistische Beurteilungen können auch mit diesem Ansatz nicht vermieden werden. Lokale Erfahrungsträger, Experten und Verantwortliche[1)] neigen dazu, ihre Beurteilungen auf die zu erwartenden Konsequenzen und ihre Interessen auszurichten. Diese konnten allerdings rasch und einfach anhand der Resultate identifiziert werden. Damit können sie gezielt diskutiert und gegebenenfalls bereinigt werden.
- Die Auswahl der ortskundigen Erfahrungsträger, Experten und Verantwortlichen[1)] ist zentral und entsprechend sorgfältig vorzunehmen. Feuerwehren und Versicherungen verfügen beispielsweise über ein sehr grosses lokales Wissen.
- Eine neutrale und fachkompetente Moderation hat sich als unverzichtbar herausgestellt. Sie muss im Wesentlichen sicherstellen, dass das Prinzip der Beurteilung richtig und vollständig angewandt wird und dass die wichtigsten Überlegungen schriftlich festgehalten sind. Die Dokumentation sollte allerdings nicht vom Moderierenden selbst durchgeführt werden.
- Die Streuungen der kollektiven Risiken bei unabhängigen Beurteilungen lagen in der Regel innerhalb vernünftiger Grenzen.

Ausblick

Mit dem pragmatischen Ansatz steht ein Instrument zur Verfügung, mit dem eine gesamtheitliche, risikobasierte Sicherheitsplanung rasch, gezielt und mit Einbezug aller Betroffener angewandt werden kann. Er stellt eine Ergänzung zum Vorgehen in den Methodenbänden I/II [BUWAL 1999 (a)] dar, insbesondere für die Beurteilung der Sicherheitslage gemäss Stufe 2 und 3. Er kann in diesem Sinne eingesetzt werden,

- für die Förderung des Risikodialogs, wenn die Meinungen der Betroffenen und Verantwortlichen[1)] weit auseinander liegen,
- als Vorstufe zu Detailabklärungen, d.h. als Planungsinstrument zur Schwerpunktbildung von detaillierteren Untersuchungen gemäss dem Methodenband I/II [BUWAL 1999 (a)],
- als Planungsinstrument für eine erste grobe Priorisierung des Handlungsbedarfs, wenn die Mittel bzw. die Zeit für ein detailliertes Vorgehen gemäss dem Methodenband I/II [BUWAL 1999 (a)] fehlen und ein pragmatisches Vorgehen erwünscht ist.

Aus diesem Blickwinkel ist die Eidg. Forstdirektion daran interessiert, diesen pragmatischen Ansatz weiterzuentwickeln. Neben den im Pilotprojekt erkannten Verbesserungsmöglichkeiten für die Risikobeurteilung, muss sich der Ansatz für die Massnahmenbeurteilung nach Kostenwirksamkeitskriterien in der Praxis noch bewähren. Mit der Durchführung von weiteren Fallbeispielen kann sich dieser Ansatz allerdings rasch zu einer ausgereiften Methodik für eine pragmatische aber gesamtheitliche und risikobasierten Sicherheitsplanung bei Naturgefahren entwickeln.

Darüber hinaus kann der Ansatz die offenen Fragen für eine einheitliche und vergleichbare Risikobewertung (einheitliche Zahlungsbereitschaft, Umgang mit der Aversion gegenüber Katastrophenereignissen) klären helfen. Diese benötigen eine breite Abstützung (Bund, Kanton, Gemeinde) und können anhand des pragmatischen Ansatzes konkret, transparent und effizient mit den Verantwortlichen diskutiert werden.

Literaturhinweise:

Bähler F., Wegmann M. und Merz H. Pragmatischer Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren; wasser, energie, luft – eau, énergie, air, 93.Jahrgang, Heft 7/8, S. 193 – 196, Baden 2001

BUWAL 1999 (a) Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, Methode, Fallbeispiele und Daten; Umweltmaterialien Nr. 107/I und Nr. 107/II, Naturgefahren, Bern 1999

BUWAL 1999 (b) Kostenwirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen; Praxishilfe Vollzug Umwelt, Bern, 1999

BUWAL 1998 Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren; Umweltmaterialien Nr. 85, Naturgefahren, Bern 1998

PLANAT 1998 Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur, PLANAT, die nationale Plattform Naturgefahren stellt sich vor, Bern 1998, vgl. auch http://www.planat.ch/d/publikationen/

Dank

Am Pilotprojekt waren neben den Autoren folgende Personen massgebend beteiligt:

Projektleitung:
Dr. Peter Greminger, BUWAL
Simon Burren, BUWAL (Stv.)

Durchführung Fallbeispiele:
René Graf, Forstamt Kanton Luzern
Max Kläy, SBB Anlagen-Management
Peter Steinegger, Kantonsforstamt Schwyz

Begleitung aus Sicht Praxis:
Sepp Hess, Oberforstamt Obwalden

Wissenschaftliche Begleitung:
Dr. Kurt Hollenstein, ETH Zürich, Abt. für Forstwissenschaften

Lokale Erfahrungsträger, Experten und Verantwortliche
für die Gebiete Muotathal, Willisau und die SBB-Gotthard-Südrampe

Die Verfasser danken allen Beteiligten für die konstruktive und spannende Zusammenarbeit. Ohne sie hätte das Pilotprojekt nicht zur Zufriedenheit aller durchgeführt werden können.

Adresse der Verfasser

Fritz Bähler, Dr. Matthias Wegmann, Hans Merz, Ernst Basler + Partner AG, Zollikerstrasse 65, CH - 8702 Zollikon

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Nouveautés dans l'analyse des mouvements de terrain

Prof. Dr. L. Vulliet

Nouveautés dans l'analyse des mouvements de terrain

L. Vulliet & X. Dewarrat, Laboratoire de mécanique des sols, EPFL

1. Introduction

Cette contribution a pour but d'offrir un survol des nouveautés mondiales concernant l'analyse des pentes. L'intention est d'attirer l'attention des praticiens, réunis dans le cadre de la journée d'automne de la Société suisse de mécanique des sols et des roches, sur les nouvelles tendances et susciter l'intérêt pour de nouvelles théories qui pourraient avantageusement être implémentées dans la pratique. Rédiger un état de l'art en quelques pages conduit évidemment à des choix parfois douloureux, souvent subjectifs, et nous espérons ne pas trop froisser les auteurs non cités dans cette étude. Afin de structurer la présentation, la matière a été répartie en six thèmes : (i) modélisation à la rupture et en déformation ; (ii) effets du temps ; (iii) couplages et milieux multiphases ; (iv) écoulement rapide et chutes de blocs ; (v) approches probabilistes ; (vi) application au dimensionnement des techniques de confortation. L'accent portera essentiellement sur les sols meubles.

Les informations sont tirées de la littérature internationale des six dernières années ainsi que des propres développements faits au Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL (LMS). L'étude bibliographique a identifié environ 350 articles ou communications. Nous avons considéré les meilleures revues et les plus importantes conférences internationales (voir liste en annexe). Un nombre bien plus important d'articles traite d'applications et d'études de cas ; ils sortent toutefois du cadre de cette présentation. Une première analyse purement quantitative révèle la répartition par catégorie présentée à la figure 1.

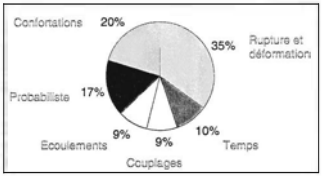


Fig. 1 : Proportion d'articles par thème (revues et congrès principaux de 1994 à 2001 selon liste donnée en annexe).

La figure 1 montre que la plupart des travaux présentés se concentrent sur les trois thèmes que sont les modèles de calcul en plasticité et élasto-plasticité, le dimensionnement des ouvrages de confortation ainsi que les méthodes probabilistes.

Certains modèles sont illustrés brièvement ci-dessous, et le lecteur est renvoyé pour plus de détails à la littérature partielle donnée en fin, et en particulier à la liste complète (Vulliet & Dewarrat, 2001) ainsi qu'aux ouvrages tels que Vulliet (2001) et Descoeudres (2001).

2. Modélisation à la rupture et en déformation

Dans ces dernières années, les méthodes bien connues dites « des tranches » (fig. 2) ont continué à être développées par quelques auteurs et essentiellement dans l'optique d'en élargir les possibilités : algorithmes de recherche de la surface critique (Goh, 1999), anisotropie des sols (Shogaki et Moro, 1996), caractère tri-dimensionnel des pentes (Stark et Eid, 1998 ; Yamagami et Jiang, 1997 fig. 2b), effets sismiques (Ghosh, 1994), variabilité des paramètres ou renforcement des pentes (voir plus loin). Les sols sont ici traités comme des massifs rigides parfaitement plastiques, rendant impossible la prise en compte des déformations. En général, ces modèles sont largement implantés dans les codes de calculs commerciaux et les fonctionnalités présentes sont très complètes (conditions hydrauliques complexes, anisotropie, etc.) . Ils ont en quelque sorte atteint leur niveau de maturité.

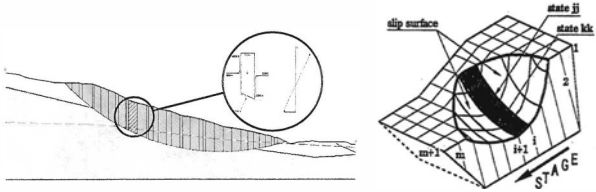


Fig. 2 : Gauche : Analyse d'un glissement par la méthode des tranches (méthode de Morgenstern-Price, logiciel SLOPE/W[1]) ; Droite : Analyse tridimensionnelle (Yamagami et Jiang, 1997).

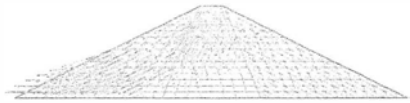


Fig. 3 : Instabilité d'une digue en terre lors de sa vidange rapide. Calcul par éléments finis (logiciel Z_Soil[2]).

Les nouveaux développements s'attachent à proposer une analyse en déformation, la résolution se faisant alors par la méthode des éléments finis (fig. 3), avec des modèles de comportement du sol élasto-plastiques (Stead et al., 2000).

Les grands avantages de cette approche sont de permettre la prise en compte des déformations, soit pour calculer un état de déformation après sollicitation, soit pour introduire des lois de comportement de type fragile (changement de la résistance avec la déformation). D'autre part, la méthode est particulièrement adaptée pour les problèmes de couplage (voir plus loin). Finalement, elle est caractérisée par une grande fonctionnalité, par exemple pour des géométries complexes (y.c. 3D), des phénomènes transitoires, des conditions aux limites variées, etc. A titre d'exemple, on citera le travail de Li et Ugai (1998) sur les grandes déformations, l'utilisation d'éléments distincts (Rodriguez-Marek et al. 1996), la recherche automatique de surface de rupture (Zou et al. 1995), les effets dynamiques en 3D (Ugai et al. 1996), le couplage hydro-mécanique (voir plus loin). Popescu et al. (2000) ont comparé les résultats obtenu par FEM et par la méthode d'équilibre.

Le calcul par éléments finis peut également s'adapter au dimensionnement à la rupture par le calcul d'un facteur de sécurité global. Pour se faire, il existe principalement deux stratégies (fig. 4) :

1. Les caractéristiques de résistance des sols sont progressivement réduites par un facteur F, F > 1. La valeur de F pour laquelle le calcul diverge (plus d'équilibre possible) donne le facteur de sécurité cherché.

2. La valeur des charges (gravité, surcharge) est progressivement augmentée d'un facteur F jusqu'à la rupture.

Des simulations ont montré que ces facteurs de sécurité sont bien corrélés avec ceux obtenus par les méthodes des tranches. Il est clair cependant que les valeurs absolues sont différentes, et un nouvel étalonnage est donc nécessaire pour l'utilisation de ces méthodes dans la pratique.
D'autre part, pour toutes les questions de vérification d'aptitude au service, seule une approche en déformation offerte par les éléments finis convient. Il est probable que cette méthode remplace par la suite les méthodes classiques des tranches, en particulier si les interfaces homme-machine se simplifient et si les futurs ingénieurs sont formés en conséquence.

[1] www.geoslope.com
[2] www.zace.com

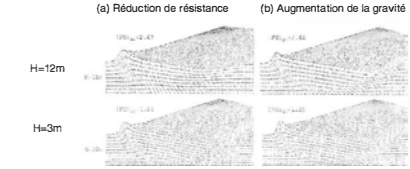


Fig. 4 : Facteur de sécurité global à la rupture calculé par éléments finis, avec comparaison de deux stratégies, pour deux hauteurs de digue [Swan et Seo, 1999].

3. Effets du temps

Un nombre restreint de publications commentent les aspects liés au temps, et plus spécifiquement le fluage, les effets sismiques et les prévisions du temps jusqu'à la rupture.

Le fluage des pentes a été traité notamment par Vulliet et co-auteurs (Vulliet 2001, fig. 5). D'autres approches en élasto-viscoplasticité sont possibles, comme celles présentées par Desai et al. (1995), Chau (1999), Morsy et al. (1995). Certains auteurs utilisent des codes commerciaux comme le logiciel Abaqus[3]. Un récent colloque spécialisé à Orvietto en 2001 (comptes rendus à paraître) a mis en évidence les difficultés liées à la modélisation des mouvements en fonction du temps.

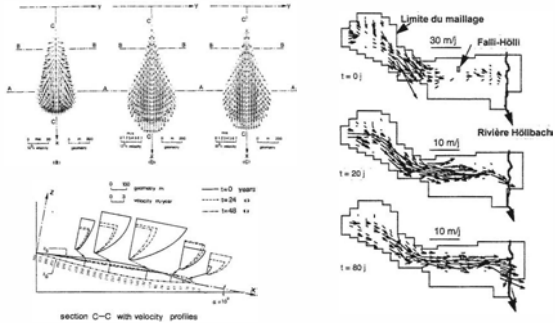


Fig. 5 : Modélisation de la déformation en fonction du temps d'un massif visqueux tridimensionnel (à gauche) ; cas de Fälli-Hölli, canton de Fribourg (à droite).

Les effets dynamiques sont de première importance pour les questions de génie para-sismique. On trouve des développements qui intègrent une accélération horizontale dans les méthodes d'équilibre limite (Ghosh, 1994) ou des formulations plus rigoureuses mais plus complexes par éléments finis.

En ce qui concerne la prévision du comportement futur (en particulier le temps jusqu'à la rupture), plusieurs approches sont proposées. Les modèles de série temporelle permettent la prédiction de l'évolution d'un comportement, par exemple d'un glissement de terrain, en fonction des observations effectuées jusqu'alors (Hayashi et Kawabe, 1996 ; Li et al., 1996 ; Liao et al., 1996). La plupart de ces approches émanent des propositions de Saito en fin des années '60.

[3] www.hks.com

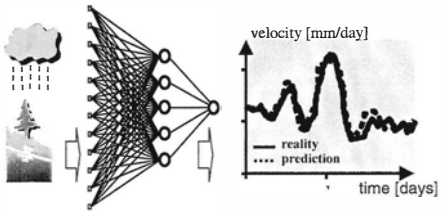


Fig. 6 : Principe et géométrie d'un réseau de neurones artificiel (Vulliet & Mayoraz, 2000).

L'approche par réseau de neurones est aussi un moyen de prédiction de l'évolution d'un glissement de terrain (fig. 6). Un modèle par réseaux de neurones est relativement simple à implémenter et donne des résultats cohérents. La qualité des données à introduire est déterminante.

4. Couplages

Un domaine important de développement théorique concerne la question des couplages, et en particulier les couplages hydro-mécaniques, thermo-mécaniques et chemo-mécaniques.

En ce qui concerne l'analyse des pentes, on citera par exemple la théorie de Biot appliquée au problème d'excavation (Adachi et al. 1996), l'influence de la pluie sur la stabilité de pentes non saturées (Wang et Thomas, 2000), l'influence de la recharge phréatique (Wood et al. 1995), la prise en compte d'écoulements complexes (Krahn et al., 1996), le couplage hydromécanique pour les pentes (Garga et al., 1995 ; Crosta et Di Prisco, 1999), l'influence de l'évapotranspiration (Eigenbrod et Kaluza, 1999), l'influence de la variabilité de la perméabilité (Reid, 1997), le rôle du dégel et les glissements dans le permafrost (Bondarenko et Tsernat, 1996 ; Foriero et al., 1998).

Les modèles incluent un nombre accru de variables de champ (déformation, pression d'eau, température, concentration chimique) ainsi que la prise en compte de la nature multi-phasique des sols. Citons en particulier le cas des sols non saturés (fig. 7) et leur influence sur la déformation des pentes (Klubertanz, 2000).

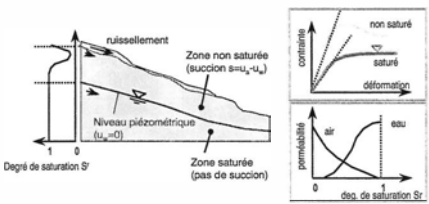


Fig. 7 Importance des sols non-saturés, différences de comportement par rapport aux sols saturés.

5. Ecoulement et chutes

Reconnaissant l'influence majeure jouée par les écoulements de débris, lave torrentielle et chutes de blocs dans les risques naturels, les chercheurs ont développé des outils d'analyse pour ces phénomènes. Selon une étude du Laboratoire de mécanique des roches de l'EPFL, il existe plus d'une cinquantaine de codes de calcul pour la trajectographie. Des codes commerciaux sont maintenant disponibles, en 2D comme en 3D. La difficulté principale vient de la détermination des coefficients de restitutions et de la prise en compte de la forme réelle des blocs (fig. 8 et 9). Keusen (1998) propose l'utilisation d'un code permettant la planification des mesures de protection.

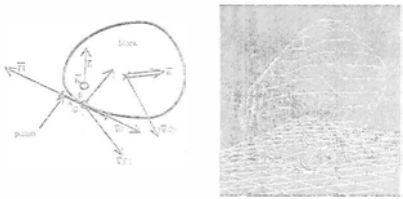


Fig. 8 : Principe de calcul de chute de bloc, maillage d'un bloc (Leroi et al., 1996).

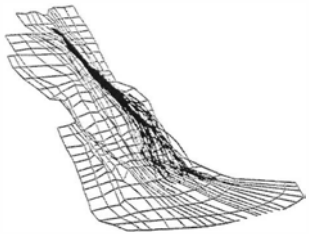
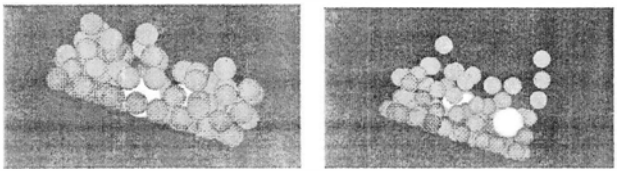


Fig. 9 : Modélisation tridimensionnelle de la chute d'un bloc rocheux[4] .

Kern (2000) a simulé l'écoulement gravitaire d'un mélange de grains sphériques de différents diamètres. Il met en évidence le phénomène de ségrégation inverse (les plus gros grains se retrouvent en surface), par une approche micro-mécanique (fig. 10). Des logiciels commerciaux existent qui prennent en compte la nature discrète des composants par la méthode des éléments distincts (UDEC ; PFC3D)[5].

Les développements faits dans le domaine des écoulements fluides (laves torentielles) sont souvent dérivés de l'hydraulique fluviale et échappent en quelque sorte au domaine de la géotechnique classique ; ces modèles ne seront pas exposés ici.



a) b)

Fig. 10 : Modélisation et simulation informatique du phénomène de ségrégation inverse (Kern, 2000) a) Au temps t_1 b) Au temps $t_2 > t_1$. Les grains les plus gros remontent à la surface sous certaines conditions.

[4] V. Labiouse, communication personnelle
[5] http://www.hcitasca.com/

6. Approches probabilistes

La nécessité de mettre en place une gestion intégrale des risques impose la quantification des probabilités d'occurrence, des temps de retour ou des probabilités de rupture pour un processus donné. Les méthodes probabilistes tendent à répondre à cette question.

Etant donné le caractère aléatoire des caractéristiques des sols, ainsi que des limites de couches et des conditions aux limites, cette approche permet de mieux cerner la fiabilité des résultats. Elle a été utilisée pour l'analyse de risque (Chowdhury, 1996 ; Rezig et al., 1996), le risque sismique (Srbulov, 1996 ; Christian et Urzua, 1998), pour tester l'incidence des conditions hydro-géologiques (Wu et al., 1996), en liaison avec la méthode des tranches (Srivastava et al. 1996), pour l'estimation des risques de chutes de blocs (Bunce et ai., 1997), et l'utilisation de modèle de terrain et de système d'information à référence spatiale (Liener et al. 1996).

Une méthode couramment utilisée est celle de Monte Carlo.

7. Dimensionnement d'ouvrages de confortation

Plusieurs développements de méthodes de calcul ont été motivés par la nécessité de consolider les glissements de terrain par des moyens faisant souvent appel à une physique relativement complexe. Par exemple, les clous, qui nécessitent un déplacement pour agir, appellent un modèle ad hoc. Pour les pieux, les approches par éléments finis 3D se généralisent, à l'exemple de Cai et Ugai (2000), voir fig. 11. Mentionnons également les dimensionnements de géotextiles ou géogrilles (Tavassoli et Bakeer, 1994), le calcul FEM de talus cloués (Unterreiner et al. 1997), les tranchées drainantes (Valli, 2000), ou la modélisation des ancrages (Whittle et Ladd, 1998, fig. 12).

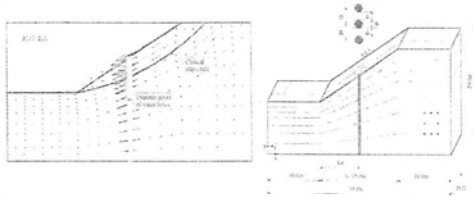


Fig. 11 Exemple de calcul de pieux avec la méthode des éléments finis (Cai & Ugai, 2000).

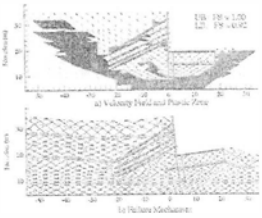


Fig. 12 Exemple de calcul d'ancrages avec la méthode des éléments finis (Whittle et Ladd, 1998).

8. Conclusion

L'étude qui précède met en évidence la richesse des développements théoriques pour l'analyse des pentes en mouvements. Les points les plus souvent traités dans la littérature concernent la rupture et la déformation des pentes, les méthodes probabilistes et les aides au dimensionnement d'ouvrages de confortation. Les questions liées au temps (fluage, dynamique) ou aux couplages divers ne sont encore que peu traitées dans le contexte des pentes naturelles.

Quel que soit le thème abordé, les méthodes numériques se sont imposées. En particulier, la méthode des éléments finis a permis des avancées importantes, et de formidables perspectives sont encore offertes. La mise en application pratique de ces méthodes sera accélérée par le développement d'interfaces homme-machine performantes dans les codes de calcul commerciaux.

Un défi que doit relever la pratique et le monde scientifique tient au processus de transfert de connaissances. Ceci inclut la participation de tous les acteurs, y compris les maîtres de l'ouvrage, qui doivent comprendre les avantages offerts par les nouvelles méthodes. En particulier, une formation adéquate des futurs ingénieurs est à encourager.

Références :

T. Adachi, J. Liu, A. Koike and F. Zhang (1996). Finite element analysis of Biot's consolidation in slope excavation based on a constitutive model with strain softening. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1131-1136.

G. I. Bondarenko and A. A. Tsernat (1996). Stability and flowage of thawing soil on slopes. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 453-455.

C. M. Bunce, D. M. Cruden and N. R. Morgenstern (1997). "Assessment of the hazard from rock fall on a highway." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 344-356.

F. Cai and K. Ugai (2000). "Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles." Soils and foundations, Japenese Geotechnical Society: pp. 73-84.

K. T. Chau (1999). "Onset of natural terrain landslides modelled by linear stability analysis of creeping slopes with a two-state variable friction law." International journal for numerical and analytical methods in geomechanics: pp. 1835-1855.

R. N. Chowdhury (1996). Aspects of risk assessment for landslides. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 183-188.

J. T. Christian and A. Urzua (1998). "Probabilistic evaluation of earthquake-induced slope failure." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): pp. 1140-1143.

G. Crosta and C. d. Prisco (1999). "On slope insability induced by seepage erosion." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 1056-1073.

C. S. Desai, N. C. Samtani and L. Vulliet (1995). "Constitutive modeling and analysis of creeping slopes." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): p. 43.

Descoeudres, F. (2001). Instabilité des massifs rocheux. Un chapitre de « Géomécanique environnementale, risques naturels et patrimoine », B. Schrefler & P. Delage, Eds., Hermès Science, Paris, pp. 89-110

K. D. Eigenbrod and D. Kaluza (1999). "Shallow slope failures in clays as a result of decreased evapotranspiration subsequent to forest clearing." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 111-118.

R. Fell, O. Hungr, S. Leroueil and W. Riemer (2000). Keynote lecture _ Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, and cuts and fills in soil. GeoEng 2000, an international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne 2000: pp. 21-120.

A. Foriero, B. Ladanyi, S. R. Dallimore, P. A. Egginton and F. M. Nixon (1998). "Modelling of deep seated hill slope creep in permafrost." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 560-578.

V. K. Garga, D. Hansen and D. R. Townsend (1995). "Mechanisms of massive failure for flowthrough rockfill embankments." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 927-938.

A. Ghosh (1994). Software for seismic stability and displacement of slope. Comptes rendus du treizième congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, New Delhi 1994: pp. 1429-1432.

U. Glawe and M. Lotter (1996). Time prediction of rock slope failures based on monitoring results. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1551-1555.

A. T. C. Goh (1999). "Genetic algorithm search for critical slip surface in multiple-wedge stability analysis." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 382-391.

S. Hayashi and H. Kawabe (1996). A model for acceleration of slide to slope failure. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1237-1242.

Kern, M. (2000). Inverse grading in granular flow. Thèse EPFL No 2287, Lausanne, 298 p.

M. A. Kern, L. Vulliet and W. J. Ammann (2000). Inverse grading in slopes. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1515-1520.
H. R. Keusen (1998). Fallbeisspiel Nr. 6 : Das Steinschlaggebiet Abendberg/Eyewald im Diemtigtal – Risikoanalyse und Schutzmassnahmen. Dangers géologiques en Suisse – GSGI Groupement suisse de la géologie de l'ingénieur. Groupe de travail : Danger naturel et Géologie. Tiré à part du bull. géol. appl. 3/1, juillet 1998.
Klubertanz, G, (1999). Zur hydromechanischen Kopplung in dreiphasigen porösen Medien – Modellbildung ind Anwendung auf die Auslösung von Muhrgängen, Thèse EPFL No 2027, Lausanne, 209 p.
J. Krahn, L. Lam and D. G. Fredlund (1996). The use of finite element computed pore-water pressures in a slope stability analysis. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1277-1282.
E. Leroi, F. Pontarollo, J. D. Gascuel and M. P. Gascuel (1996). Development of a 3-D model for block trajectories, based on synthetic imagery and stress vs. deformation laws. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 271-278.
Q. Li, Q. and K. Ugai (1998). "Comparative study on static and dynamic sliding behaviors of slopes based on small and large deformation theories." Soils and foundations, Japenese Geotechnical Society: pp. 201-207.
T. Li, M. Chen, L. Wang and Y. Zhou (1996). Time prediction of landslides using Verhulst inverse-function model. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1289-1293.
Liao X., Xu J., Li H. and Wang G. (1996). Recent development of time prediction for landslide in China. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1599-1603.
S. Liener, H. Kienholz, M. Liniger and B. Krummenacher (1996). SLIDISP - A procedure to locate landslide prone areas. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 279-284.
M. M. Morsy, D. H. Chan and N. R. Morgenstern (1995). "An effective stress model for creep of clay." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 819-834.
M. Popescu, K. Ugai and A. Trandafir (2000). Linear versus non-linearfailure envelopes in LEM and FEM slope stability analysis. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1227-1234.
M. E. Reid (1997). "Slope instability caused by small variations in hydraulic conductivity." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): pp. 717-725.
S. Rezig, J. L. Favre and E. Leroi (1996). The probabilistic evaluation of landslide risk. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 351-355.
A. Rodriguez-Marek, B. Muhunthan and C. L. Ho (1996). Discrete element method for slope stability analysis. Comptes rendus du septième symposiurn international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1345-1350.
Y.-K. Seo and C. C. Swan (2001). "Load-factor stability analysis of embankments on saturated soil deposits." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): pp. 436-445.
T. Shogaki and H. Moro (1996). A method for stability analysis of slopes in anisotropic soils. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1357-1362.
M. Srbulov (1996). Estimation of co-seismic sliding of slopes. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1031-1034.
R. Srivastava, S. Mehrotra and G. S. Mehrotra (1996). Stability analysis of slopes using random search technique for global optimization. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1375-1380.
T. D. Stark and H. T. Eid (1998). "Performance of three dimensionnal slope stability methods in practice." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): pp. 1049-1060.
D. Stead, B. Benko, E. Eberhardt and J. S. Coggan (2000). Mechanisms of failure of complex landlides: A numerical modelling perspective. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1401-1406.
C. C. Swan and Y.-K. Seo (1999). "Limit state analysis of earthen slopes using dual continuum/FEM approaches." International journal for numerical and analytical methods in geomechanics: pp. 1359-1371.
M. Tavassoli and R. M. Bakeer (1994). Finite element study of geotextile reinforced embankments. Comptes rendus du treizième congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, New Delhi 1994: pp. 1385-1388.
K. Ugai, A. Wakai and H. Ida (1996). Static and dynamic analyses of slopes by the 3-D elasto-plastic FEM. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 1413-1416.
P. Unterreiner, B. Benhamida and F. Schlosser (1997). "Finite element modelloing of the construction of a full-scale experimental soil-nailed wall. French National Research Project CLOUTERRE." Ground Improvement, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering ISSMFE: pp. 1-8.
P. P. Valli (2000). "Numerical study to stabilise landslides by trench drains." Computers and geotechnics: pp.

63-77.
L. Vulliet and F. Mayoraz (2000). Coupling neural networks and mechanical models for a better landslide managment. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1520-1526.
Vulliet, L. (2001) Instabilité des massifs de sol. Un chapitre de « Géomécanique environnementale, risques naturels et patrimoine », B. Schrefler & P. Delage, Eds., Hermès Science, Paris, pp. 69-88
Vulliet L. et Dewarrat X. (2001) Nouveautés dans l'analyse des pentes en mouvement – une étude bibliographique de 1994 à 2001. Rapport interne LMS, EPFL, Lausanne
C. H. Wang and H. R. Thomas (2000). Rainfall induced instability of partly saturated soil slopes - A parametric study of some factors. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1545-1550.
A. J. Whittle and C. C. Ladd (1998). "Deep rotational stability of tiedback excavations in clay. Discussion." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE (american society of civil engineer): pp. 1222-1225.
H.-C. Wu, T. Bao, S.-L. Kong and Z.-H. Huang (2000). Grey system analysis for landslide stabiliy. Landslides in research, theory and practice, proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000: pp. 1587-1592.
T. H. Wu, M. A. Abdel-Latif and G. F. Wieczorek (1996). Landslide hazard prediction. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 423-428.
T. Yamagami and J.-C. Jiang (1997). "A search for the critical slip surface in three-dimensionnal slope stability analysis." Soils and foundations, Japenese Geotechnical Society: pp. 1-16.
Y. F. Yu and G. R. Mostyn (1996). An extended point estimated method for the determination of the probability of failure of a slope. Comptes rendus du septième symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996: pp. 429-434.
J.-Z. Zou, D. J. Williams and W.-L. Xiong (1995). "Search for critical slip surfaces based on finite element method." Revue canadienne de géotechnique, conseil national de recherches, Canada: pp. 233-246.

Ouvrages consultés :

Comptes rendus: 15e congrès international de mécanique des sols et de la géotechnique, Istanbul 2001; 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 2000; 14ème conférence internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations, Hambourg 1997 ; 7e symposium international sur les glissements de terrain, Trondheim 1996; 11th European conference on soil mechanics and foundation engineering, Copenhagen 1995; 13e congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, New Delhi 1994 ; GeoEng 2000, an international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne 2000.

Revues : Computers and geotechnics; Ground Improvement, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering ISSMFE; International journal for numerical and analytical methods in geomechanics; Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE; Numerical and analytical methods in geomechanics; Revue canadienne de géotechnique; Revue française de géotechnique; Soils and foundations, Japanese Geotechnical Society.

Adresse des auteurs:

Prof. Dr L. Vulliet & X. Dewarrat
Laboratoire de mécanique des sols
EPFL
CH-1015 Lausanne

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Geotechnische Risiken bei der Beurteilung von Naturgefahren

Ph. Teysseire
Prof. S. Springman

1. Einleitung

Im Rahmen von einigen Beispielen aus Labor und Feldversuchen soll aufgezeigt werden, dass bei der Beurteilung von geotechnischen Problemstellungen die massgebenden Parameter differenziert betrachtet werden sollten. Vielfach sind dies nicht einzelne fixe charakteristische Kenngrössen, sondern vielmehr zeitabhängige gekoppelte bodenmechanische Parameter. Gerade diese differenzierte Betrachtung soll es ermöglichen, die Risiken der Beurteilung so klein wie möglich zu halten.

Das Risiko wird allgemein als das Produkt der Eintretenswahrscheinlichkeit von Gefährdungsbilder und deren Konsequenz definiert. Geotechnische Faktoren bzw. Prozesse spielen vor allem bei der Darstellung und Festlegung der Gefährdungsbildern eine entscheidende Rolle. Gefährdungsbilder können beispielsweise Stabilitätsprobleme oder länger andauernde Regenperioden sein.

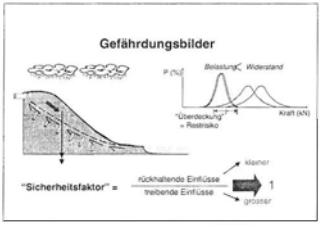


Bild 1: Festlegung von Gefährdungsbilder

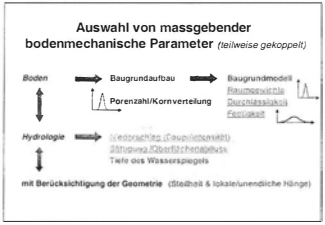


Bild 2: Auswahl massgebender Parameter

Schlussendlich soll immer eine Aussage über die "Sicherheit" eines Zustandes, und damit eine Gegenüberstellung zwischen rückhaltenden und treibenden Einflüssen, gemacht werden (Bild 1). Dabei sind, nicht zuletzt speziell bei Naturgefahren, diese Einflüsse keine fixen Grössen, sondern zeitabhängige gekoppelte Grössen. Dazu gehört ebenfalls eine Aussage über den Streuungsbereich und die Sensitivität der einzelnen Parameter. Die Kenntnis dieses generellen Verhaltens ist eine absolute Notwendigkeit, um die entscheidenden Prozesse richtig zu beurteilen (Bild 2). Die nachfolgenden Beispiele und Überlegungen sollen dies verdeutlichen.

2. Beispiele

2.1 Einleitung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes am IGT wurden an zwei verschiedenen Testfelder auf der Moränenbastion im Vorfeld des Grubengletschers in Saas-Balen, Wallis (Bild 3) Beregnungsversuche und entsprechende Laborversuche durchgeführt. Dabei wurden zwei verschiedene Testfelder auf 2900 M.ü.M. mit je einer Fläche von rund 55-100 m^2 und einer durchschnittlichen Hangneigung von 31° und 42° künstlich beregnet. Ziel dieser Versuche war es, die Prozesse, welche zu einem Versagen führen, näher einzugrenzen, sowie die Sensitivität der einzelnen bodenmechanischen Parameter zu bestimmen. Im einzelnen wurde der Einfluss von:

- Lagerungsdichte und Korngrössenverteilung
- Durchlässigkeit
- Sättigungsverhalten
- Scherfestigkeit

untersucht.

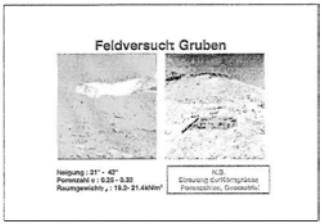


Bild 3: Gruben Saas-Balen, Wallis

2.2 Dichte und Korngrössenverteilung

Moränenbastionen im Hochgebirge sind vom Gletscher vorgeschobene und verformte Schutthalden (Haeberli 1992). Die Materialeigenschaften zwischen Schutthalden und Moränen sind fliessend. Aus den Analysen der Murganganrissen des Sommers 1987 (Haeberli et al. 1990) handelt es sich meist um locker bis sehr locker gelagerte, schlecht sortierte, nicht plastische, inhomogene und gut durchlässige Sedimente mit teilweisen übersteilen Böschungen. Alle Kornverteilungen, insbesondere auch sehr grosse Blöcke, sind vorhanden. Die Ton- und Siltfraktionen sind typischerweise mit 1-2 % bzw. 10-15 % eher gering, haben aber immer noch einen massgebenden Einfluss auf das Verhalten des Bodens.

Am Moränendamm des Grubengletschers / Saas-Balen wurden geophysikalische Untersuchungen (Refraktionsseismik, Geoelektrik und Gravimetrie) durchgeführt. Aus der Refraktionsseismik wurden für oberflächennahe Bereiche Geschwindigkeiten der Kompressionswelle von 400-900 m/s, für tiefer gelegene Bereiche ein Bereich von 1000-1700 m/s ermittelt (Vonder Mühll et al. 1996).

Ein Vergleich der geophysikalischen Messungen mit denen des Moränendammes am Sidelengletscher/Obergoms (Haeberli 1992) zeigt, dass dort Bereiche mit extrem lockerer, sehr lockerer und lockerer Lagerung unterschieden wurden. Die korrespondierenden Geschwindigkeiten liegen zwischen 300-500, 600-800 bzw. 800 -1200 m/s.

In Ergänzung wurden mit Geoelektrik Gebiete mit sehr lockerer Lagerung und zusätzlich wasserführende, gesättigte Bereiche ausgeschieden. Mittels Gravimetrie wurde die mittlere Dichte und Porösität bestimmt. Dabei geht ein Dichteunterschied zwischen Fels und Moräne von 0.3 g/cm^3 hervor (Fels: 2.76 g/cm^3, Moräne: 2.46 g/cm^3). Die mittlere Porösität liegt zwischen 10 - 15 %, was auf eine gute Konsolidierung schliessen lässt (Vonder Mühll et al. 1996). Aus einer Sensitivitätsbetrachtung (VAW 1995, Vonder Mühll et al. 1996) der mittleren Dichte, Porösität und der Aufteilung in 3 verschiedene Mächtigkeiten, spielt bei den Resultaten aus der Gravimetrie vor allem das Verhältnis der Mächtigkeiten der obersten und der untersten Schicht eine wesentliche Rolle. Daher konnten die Aussagen für den oberflächennahen Bereich (sehr lockere Lagerung) nicht näher präzisiert werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die gemessene Dichte von 2.46 g/cm^3 aus bodenmechanischer Sicht einer sehr dichten Lagerung entspricht (e ~ 0.2). Hier stellt sich nun die Frage, wie diese Beobachtungen und Messungen für die geotechnische Beurteilung benützt werden können. Oder konkret ausgedrückt: was bedeutet locker/dicht gelagert, was sind die Auswirkungen der jeweiligen Streuungsbereiche?

Um diesen Sachverhalt analysieren zu können wurde in einer Reihe von Vorversuchen mit Bender Elementen an Moränenmaterial einerseits mögliche Korrelationen zwischen den Ergebnissen aus geo-physikalischen Feldversuchen und Laborversuchen und einerseits das Verhalten des Bodens bei sehr kleinen Dehnungen ("small strain"/ "very small strain"), untersucht.

Der Bereich der kleinen Dehnungen ist insofern von Bedeutung, da in diesem Bereich wesentliche bodenmechanische Kenngrössen wie Dilatanz, die wiederum massgebenden Einfluss auf das Festigkeitsverhalten eines Bodens ausüben, charakterisiert werden. Daher ist die Kenntnis des Schubmodules G über den gesamten Dehnungsbereich und des G_{max} im kleinen Dehnungsbereich für eine genauere Modellierung notwendig.

Unter Laborbedingungen wurden an zwei verschiedenen Fraktionen (Maximalkorn d_{max} = 2 und 16 mm) sowohl im trockenen Zustand wie auch unter gesättigten Bedingungen das Verhalten des Schubmodules unter ver-

schiedenen vertikalen Spannungen σ_v' bzw. Porenzahlen e untersucht. Aus den Resultaten der geophysikalischen Feldmessungen (Seismik) und den daraus gewonnenen Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten einerseits und den gemessenen Raumgewichten im Feld andererseits, wurde versucht, eine Korrelation mit den Ergebnissen aus dem Labor herzustellen (Bild 4a). Die relativ gute Übereinstimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten im Feld und im Labor unterstützt diese Tatsache. Dementsprechend dürften die gemessenen hohen Schermodule in etwa denjenigen im Feld entsprechen bzw. näher den effektiven Werten sein, als diejenigen mit üblichen Methoden gemessenen.

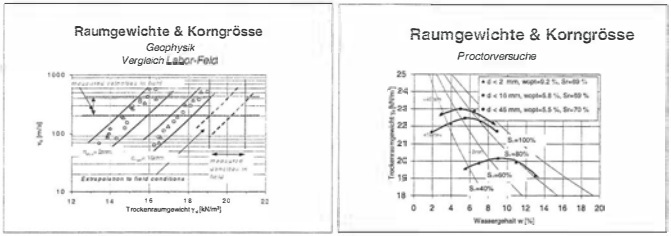


Bild 4a und b: Vergleich Raumgewichte und Korngrössen

Zudem wird auch der Einfluss der maximalen Korngrösse aufgezeigt. Um dies zu verdeutlichen sind die Resultate von Proctorversuchen für dieselben Kornverteilungen, wie sie für die vorangegangen Versuche verwendet wurden, in Bild 4b dargestellt. Eine Überprüfung der Raumgewichte im Feld (Tab.1), mittels Sandersatzmethode und Isotopengerät ergibt Grössenordnungen, die jedoch bedeutend tiefer liegen als die durch geophysikalische Messungen bestimmten Werte, aber konsistent mit den Extrapolationen aus den Korngrössenverteilungen und Scherwellenausbreitungen sind.

Eigenschaft	durchschnittlicher Wert	Streuung
γ_d (Trockenraumgewicht)	20.3 kN/m^3	19.2-21.4 kN/m^3
e (Porenzahl)	0.29	0.25-0.32
D_r (Relative Dichte)	77 %	67-87 %

Tab. 1: Resultate der Feldmessungen

Die Ergebnisse der Feldversuche (Scherwellenausbreitung und Bestimmung der Raumgewichte) lassen sich durchwegs mit den Extrapolationen aus den Laborversuchen korrelieren. Damit konnte eine der wesentlichen Unbekannten, der Massstabseffekt zwischen den Laborversuchen und den eigentlichen Bedingungen im Feld, für den Schubmodul näher eingegrenzt werden, was sich dann zuletzt in der Annahme von präziseren Modellparameter widerspiegelt.

2.3 Durchlässigkeit

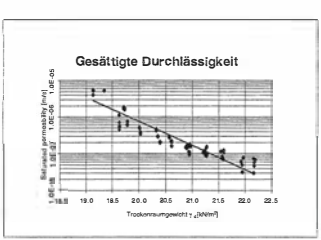


Bild 5: Durchlässigkeiten als Funktion des Trockenraumgewichtes

Unter Laborbedingungen wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte bestimmt (Bild 5). Diese liegen für Raumgewichte γ im Bereich von 20.2 – 22.4 kN/m^3 (Trockenraumgewichte γ_d = 19.2 – 21.4 kN/m^3) in der Grössenordnung von 2 · 10^{-6} m/s und 8 ·10^{-6} m/s. Dies entspricht einer Porenziffer e im Bereich von 0.28 – 0.46 bzw. relativen Dichten D_r von 30 - 78 %. Die dargestellten Ergebnisse betreffen gesättigte Proben. Da meistens der oberflächennahe, nicht gesättigte Bereich relevant ist, ist die Kenntnis des Sättigungsverhalten bzw. die Zustandsänderung vom ungesättigten zum gesättigten Bereich ausschlaggebend.

2.4 Sättigungsverhalten

2.4.1 Allgemeines

Zimmermann et al. (1997) haben die Dispositionen für ein Murgangsystem eingehend dargestellt. Neben dem eigentlich auslösenden Ereignis spielen Faktoren wie Grunddisposition (Generelle Anfälligkeit wie Relief, Verfügbarkeit von Schutt, Geologie und Materialeigenschaften wie Bodenmechanik), variabie Disposition (Jahreszeit, Materialverfügbarkeit, Materialeigenschaften) sowie funktionale Aspekte eine massgebende Rolle. Bei den untersuchten Gebieten bzw. Moränenbastionen (i.s Gruben) sind diese vorausgesetzt bzw. erfüllt. Eine Analyse der Unwetter und Murgänge der Schweiz zeigt, dass im Wesentlichen Faktoren wie kurze, gewittrige Niederschläge, lange Regenperioden, intensive Schnee- und Eisschmelze sowie Wassertaschen- und Seeausbrüche massgebende Ursachen für die Auslösung von Murgängen sind (Zimmermann et al. 1997).

Ein Vergleich zwischen kurzen, konvektiven Niederschlägen (Gewitter) hoher Intensität und langandauernden Regenperioden schwacher und mittlerer Intensität, teilweise mit vorangegangener Schmelzperiode und anschliessender Niederschlagsspitze zeigt, dass beim ersten Fall tendenziell flachgründige, oberflächennahe, beim letzteren eher tiefgründige Instabilitäten auftreten. Diese von Regen induzierten Versagensmechanismen wurden beispielsweise von Andersen & Sitar (1994) oder Zhu & Andersen (1998).

Eine Analyse der Verteilung nach der Höhe zeigt, dass Auslösefaktoren mit langandauernden, advektiven Niederschlägen in höheren Lagen dominieren (>2000 m.ü.M.). Dabei wird in höheren Lagen nicht nur Wasser, sondern auch Wärme zugeführt, so dass im Gegensatz zu Gewittern die Temperatur kaum sinkt. Niederschlagsunabhängige Ereignisse (Seeausbrüche, Wassertaschen) dagegen sind in ihrer Zahl von untergeordneter Bedeutung.

2.4.2 Niederschlagsschwellwerte

Neben den geotechnischen Kennwerten stellt sich die Frage nach dem eigentlichen Niederschlagsgrenzwert, bei welchem der Prozess einer Instabilität auftreten kann. Grundlage für solche Betrachtungen bilden u.a. die Arbeiten von Caine (1980), Brand (1984) und Sandersen (1996).

Als Grenzwerte für die Schweiz wurden von Zimmermann et al. (1997) für 113 analysierte Fälle folgende Dauer-Intensitätsfunktion bestimmt:

$$I = 43 * D^{-0.89} \qquad [mm/Std.]$$

Dabei gilt als Grenzwert ein Niederschlag von etwa 43 mm während einer Stunde oder eine Summe von 61 mm während 24 h.

Eine weitere Aufteilung in inneralpine und randalpine Regionen ergibt mittlere Intensitäten von 21 mm/h und 32 mm/h für einen 1-stündigen Niederschlag mit einem entsprechenden 24-stündigen Niederschlag von 51 bzw. 83 mm. Umgesetzt auf die Region Gruben/Saas-Balen ergibt das Grössenordnungen von rund 50 mm/h und 310 mm/24h. Ausgegangen wurde dabei von einem jährlichen mittleren Niederschlag von 3800 mm (Kirchhofer & Sevruk 1992). Versuche mit künstlichen Beregnungsversuchen an periglazialen Talverfüllungen mit nahezu vegetationsfreien Hanganbruchsflächen, ergaben bei Hangneigungen mit von 56 - 80 % einen Oberflächenabfluss von 71 - 76 %, womit nur rund ein Viertel in den Boden infiltriert (Karl et al. 1985).

Vergleicht man nun Gruben, welches zum Gebiet mit den alpenkammnahen Niederschlagsaktivitäten gehört, mit den obigen Angaben und denjenigen der Unwetter von 1993, und nimmt man als Vergleichswerte diejenigen der Station Simplon, so erreichen die eintägigen Niederschlagswerte vom 24.09.1993 182.2 mm. Die Schadensereignisse zeichneten sich vor allem in der mehrtägigen (2 Tage 292.4 mm) Niederschlagssumme aus (Grebner 1994).

Als wesentliche Schlussfolgerung muss festgehalten werden, dass einerseits die Niederschlagsgrenzwerte wohl ein Kriterium darstellen können, anderseits die Vielzahl dieser empirischer Beziehungen zeigen, dass diese sehr stark von den jeweiligen bodenmechanischen Eigenschaften des Bodens abhängen.

2.4.3 Feldversuche

Instrumentierung

Monitoring von Hängen, welche einem durch Niederschlag induzierten Versagen ausgesetzt sind, gehört heute bereits zur klassischen Instrumentierung. Angesichts der recht heterogenen Zusammensetzung der Moräne wurden, abgesehen von den Tensiometermessungen, vor allem indirekte Messsysteme wie TDR (Time Domain Reflectometry), eingesetzt (Teysseire et al. 2000). Eine Übersicht ist in der nachfolgenden Tabelle gegeben (Tab. 2).

Sensor	Feld 1/1999	Feld 1/2000	Feld 2/2000
TDR	8	4	7
Moisture Point	20	-	2
Tensiometer	10	8	3
Extensometer	5	-	-
Regenmesser	2	1	1
Lufttemperatur / Luft-feuchtigkeit	2	1	1

Tab. 2: Feldversuche: Anzahl Instrumente

Versuche 1999

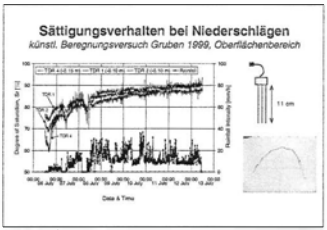


Bild 6: TDR Messung bzw. zeitlicher Verlauf der Sättigung

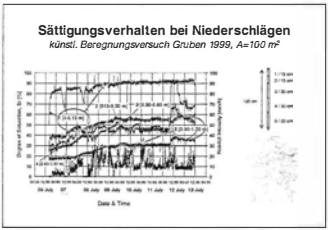


Bild 7: Moisturepoint Messung und zeitlicher Verlauf der Sättigung (Tiefenwirkung)

Bilder 6-8 zeigen die Resultate der Versuche 1999 (Teysseire et al. 2000). Nach rund 7 Beregnungstagen mit einer Intensität von 10-30 mm/h erreicht der Boden eine Sättigung von rund 90 % (Bild 6, 7). Bild 6 zeigt 3 TDR Messungen (TDR 1, 2, 4) in Abhängigkeit der Niederschläge. Erkennbar ist eine absolute Erhöhung der des Sättigungsgrades von 60-75 % auf rund 90 % bei Versuchsende. Erkennbar sind auch die kurzfristigen Änderungen infolge der Beregnungspausen (1 und 3 Tag). Diese kurzfristigen Änderungen zeichnen sich vor allem in den 30 cm unterhalb der Oberfläche (Bild 6, 7) ab. Im Bild 7, 8 hingegen sind die Variationen der Wassereindringung bis in die Tiefe von 1.2 m erkennbar.

Das erste Segment dieser Moisturepoint Messung korreliert recht gut mit den Messungen der TDR im Bild 7. Kennzeichnend ist das verzögerte Sättigungsverhalten mit zunehmender Tiefe. Bild 8 zeigt den Sättigungsverlauf während rund einem Monat nach dem Versuch. Das Testfeld oblag nur den natürlichen Niederschlägen. Deutlich zu erkennen sind Änderungen in den obersten 15 cm, was zur Schlussfolgerung führt, dass sobald der Boden eine relativ hohe Sättigung erreicht hat, er sehr sensitiv auf sämtlich Niederschläge reagiert. Somit ist die Vorgeschichte, bzw. die Konstellation vor einem Ereignis massgebend, um beispielsweise bei einer kurzfristigen Beurteilung eines Stabilitätsproblems die richtigen Konsequenzen zu ziehen.

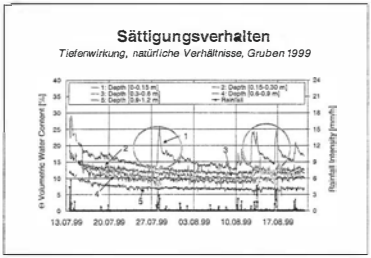


Bild 8: Wassergehaltsmessung nach dem Versuch (ca. ein Monat)

Versuche 2000

Die Versuche während dieser Kampagne erfolgten an zwei verschieden Versuchsfelder. Für das Feld 1 wurde ein ähnlicher Standort gewählt wie 1999 (Springman & Teysseire 2001). Damit sollten Vergleichsmessungen durchgeführt werden. Als zweites Versuchsfeld wurde eine anstehende Moräne mit 42° Hangneigung gewählt.

Nachstehend in Bild 9 sind die Tensiometermessungen im 31° Feld, bzw. deren zeitlicher während der Beregnung aufgezeigt. Die Intensität betrug rund 10-20 mm/h. Die Saugspannungen nahmen von –30 kPa auf –6 kPa ab, wobei die tiefer gelegenen Tensiometer bedeutend schwächer reagierten.

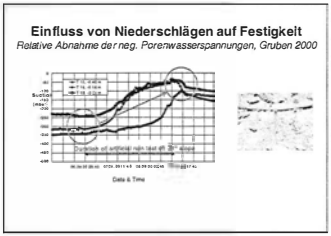


Bild 9: Verlauf der Saugspannungen) (Feld 31°, 2000

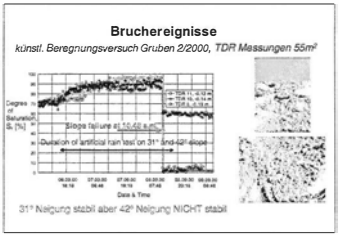


Bild 10: TDR Messung am 42° Hang (Instabilität)

Der gleichen Instensität unterworfen wurde ebenfalls das steile Versuchsfeld (42°). Nach rund 44 Stunden Beregnung, in der der Sättigungsgrad von ca. 79 %- 90 % zunimmt, stellte sich ein oberflächennaher hangparalleler Rutsch in einer approximativen Tiefe von 0.35 m ein (Bild 10).

Das Modell einer hangparallen Rutschung scheint sich hier zumindest bestätigt zu haben. Wesentlicher ist jedoch, dass sich innerhalb der 42-stündigen Beregnung die massgebenden Parameter dermassen änderten, dass es zu einem Festigkeitsversagen und einer entsprechenden Instabilität kam. Dementsprechend darf das zeitabhängige Verhalten nicht vernachlässigt werden.

2.5 Scherfestigkeit

2.5.1 Modellbildung

Stabilitätsanalysen bzw. deren Unsicherheiten werden grundsätzlich einerseits durch das Festigkeitsverhalten und dementsprechend einem Stoffgestetz, und andererseits durch das Stabilitätsmodell, bestimmt (Einstein & Karam 2001). Am Beispiel von infiniten Hängen, wie sie bei Moränen vorkommen (Bild 3, rechts), soll mit zwei verschieden Ansätzen von Festigkeitsmodellen die Unsicherheiten aufgezeichnet werden. Verwendet werden

dabei der Ansatz von Fredlund et al. (independent state variable) sowie derjenige von Bishop (effective stress), sowie deren Weiterentwicklungen (Bild 11).

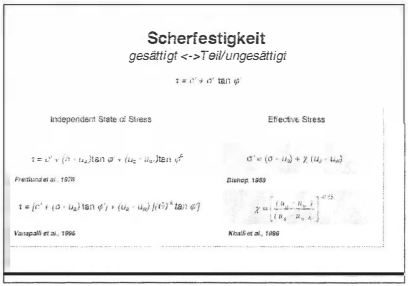


Bild 11: "Independent state of stress" (Fredlund et al. 1978, Vanapalli 1996) und "effective stress" (Bishop 1959, Khalili et al. 1998) aus Einstein & Karam 2001

Dabei bedeuten:

τ	Scherfestigkeit
c'	effektive Kohäsion
σ	totale Normalspannung
u_a	Poreniluftdruck (pore air pressure)
u_w	Porenwasserspannung
(u_a-u_w)	"matric suction"
φ'	innerer Reibungswinkel
φ^b	Winkel der welcher die relative Änderung der Scherfestigkeit in Abhängigkeit der matric suction definiert
χ	"effective stress parameter"
$(u_a-u_w)_e$	suction bei der "air entry"

Wendet man eines dieser beiden Festigkeitsmodelle an, und vergleicht es mit vollgesättigten bzw. ungesättigten Zustand, so werden im ersten Fall wohl zu pessimistische, im zweiten Fall zu günstige Prognosen gestellt.

Ähnlich verhält es sich mit der Annahme über grundsätzliche Scherverhalten des Bodens. Im Bild 12 wird gezeigt, wie sich der Boden je nach Lagerungsdichte dilatant oder kontraktant verhalten kann. Nimmt man als Berechnungsgrundlage beispielsweise φ'_{krit} an und der Boden ist in Natur dicht gelagert, führt das zu einer nicht realistischen Betrachtungsweise. Das Restrisiko wird entsprechend überbewertet. Dementsprechend kommt der unter 2.2 gemachten Aussage, wie eine aus der geophysikalischen Messung beschriebene Lagerungsdichte effektiv in eine Stabilitätsberechnung einfliessen kann, zusätzliche Bedeutung zu.

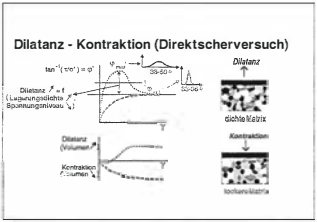


Bild 12: Dilatantes und kontraktantes Verhalten beim Abscheren



Bild 13: Feldscherapparat und Probenfläche

2.5.2 Direktscherversuche im Feld

Eine Reihe von Direktscherversuchen im Feld mit einer Scherbox von 250 mm x 250 mm wurden durchgeführt. Der Standort lag in unmittelbarer Nähe zum Testfeld der Beregnungsversuche. Zielsetzung dieser Versuche war es, die Scherfestigkeit in unmittelbarer Nähe einer potentiellen Scherfläche zu bestimmen. Die durchschnittliche Tiefe der Abscherversuche lag bei 0.3-0.8 m. Der Scherapparat für diese Feldversuche wurde in Anlehnung zu dem Modell von Fannin & Wilkinson (1995) gebaut (Bild 13). Die Scherfläche lag ca. 50 mm oberhalb der Grundfläche, die restliche Überlagerung betrug rund 100 mm.

Die Abscherung erfolgte in der vorgebenen Abscherfläche (2 mm Spalt zwischen dem unteren und oberen Rahmen) durch einen Schrittmotor (maximale Scherkraft, F_{max} = 3 kN) horizontal mit konstanter Geschwindigkeit. Die vertikalen Deformationen wurden durch zwei Wegaufnehmer erfasst. Der Scherweg betrug 20 mm.

Drei verschiedene Vertikalspannungen (14, 23.5, 34 kPa) wurden aufgebracht. Typische Resultate der Belastungsstufe 23.5 kPa und bei einer durchschnittlichen Porenzahl e = 0.41 und Sättigungsgrades von S_r = 0.41-0.55 sind im Bild 14 a, b dargestellt. Zu erkennen ist die maximal mobilisierte Scherfestigkeit normalisiert mit der Endscherfestigkeit τ_u. Die Proben erfahren unabhängig des hohen Feinanteiles eine für granulare Böden kennzeichnende Dilatanz.

Zusätzlich wurde eine weitere Serie Versuche durchgeführt, bei denen nach Erreichen der maximalen Scherfestigkeit der Versuch gestoppt wurde. Während rund 30 min. wurde die Probe bewässert, was zu einer Erhöhung des Sättigungsgrades führte (ca. S_r = 70 %). Diese Erhöhung des Wassergehaltes im Boden, wie es offensichtlich bei anhaltenden Niederschlägen der Fall sein kann, bewirkt eine Reduktion der Festigkeit (Bild 14b). Diese Resultate stimmen mit früheren experimentellen Ergebnissen überein (Nicotera, 2000, Evangelista & Scotto di Santolo, 2001). Dementsprechend sind diese gekoppelten Prozesse, wie die Berücksichtigung der Deformation und die zeitliche Veränderung der Scherfestigkeit, massgebend für eine Beurteilung von Stabilitätsproblemen, umso mehr, wenn man sich im Bereich des Grenzgleichgewichtes bewegt.

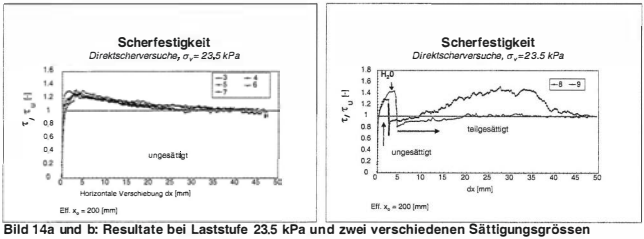


Bild 14a und b: Resultate bei Laststufe 23.5 kPa und zwei verschiedenen Sättigungsgrössen

3. Schlussfolgerung

Anhand der ausgeführten Überlegungen und Versuche am Beispiel von Moränen im unmittelbaren Umfeld von Gletschern sollte aufgezeigt werden, dass

- die einzelnen bodenmechanisch relevanten Parameter gekoppelt sind, und dementsprechend analysiert werden müssen
- das zeitabhängige Verhalten eine massgebende Grösse spielt
- beispielsweise die Annahme einer totalen Sättigung und die Vernachlässigung der Dilatanz bzw. Deformation zu zu pessimistischen Prognosen führt
- man durch ein pragmatisches Vorgehen Hangneigungen, die flacher sind als φ'_{krit} in einer Vorselektion als stabil betrachtet, Hangneigungen steiler als φ'_{krit} aufgrund der gekoppelten Mechanismen, bei Gefahrenabklärungen näher überlegt.

An dieser Stelle sei dem Bundesamt für Wasser und Geologie, der Dienststelle für Wald und Landschaft, Sektion Naturgefahren, sowie der Dienststelle für Strassen und Flussbau des Kanton Wallis, für die grosszügige Unterstützung und wertvolle Hilfe gedankt.

4. Literatur

Anderson, S.A. & Sitar, N. (1994). Procedures for the analysis of the mobilisation of debris flows. *Proc. 13th Int. Conf. on SMFE, New Delhi,* Oxford and IBH 1, 255-258.

Bishop, A.W. (1959). The Principle of Effective Stress. Tecknisk Ukeblad 39. pp. 859-863.

Brand, E.W., Premchitt, J. & Phillipson, H.B. (1984). Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. *Proc. 4th Int. Symp. on Landslides* 1, 377-384.

Caine N. (1980). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. in: Geografiske Annaler.

Einstein, H. & Karam K. (2001). Risk assessment and uncertainties, Intern. Conf. on Landslides, Davos, ed. M. Kühne et al., VGE, Essen, 457-488.

Evangelista, A. & Scotto di Santolo, A. (2001). Mechanical behaviour of unsaturated pyroclastic soils. *Proc Int. Conf. on Landslides*, Davos, ed. M. Kühne et al., VGE, Essen, 35-44.

Fannin, R.J. & Wilkinson J.M.T. (1995). An analysis of the Jamieson Creek landslide. *Proc. 48th Canadian Geotech. Conf.*, Vancouver, 635-642.

Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R. & Widger, R.A. (1978). The Shear Strength of Unsaturated Soils. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 15(3): 313-321.

Grebner, D. (1994). Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas-Almagell vom 24. September 1993, Wasser, Energie, Luft, 86, Heft ½.

Haeberli, W. (1992). Zur Stabilität von Moränenseen in hochalpinen Gletschergebieten, Wasser- Energie-Luft, Jhg. 84, Seiten 361- 364.

Haeberli, W., Rickenmann, D., Zimmermann M. & Rösli, U. (1990). Investigation of 1987 debris flows in the Swiss Alps, IAHS Publ., 194, 303-310.

Khalili, N. & Khabaz, M.H. (1998). A Unique Relationship for χ for the Determination of the Shear Strength of Unsaturated Soils. Géotechnique 48(5): 681-687.

Karl J., Porzelt M. & Bunza G. (1985). Oberflächenabfluss und Bodenerosion bei künstlichen Starkniederschlägen, in DVWK 71, Seiten 39 - 102.

Kirchhofer, W. & Sevruk, B. (1992). Mittlere korrigierte Niederschlagshöhen, Hydrologischer Atlas der Schweiz.

Lumb, P.B. (1975). Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Eng. Geology* 8, 31-65.

Nicotera, M.V. (2000). Interpretation of shear response upon wetting of natural unsaturated pyroclastic soils. *Experimental Evidence and Theoretical Approaches in Unsaturated Soils*, Tarantino, A. & Mancuso, C. eds., Balkema, Rotterdam, 77-192.

Peck, R.B. (1967). Stability of natural slopes. *Journal of Geotech. Eng. Div. ASCE* 93, No. 4: 403-418.

Sandersen, F., Bakkehoi, S. & Lied, K. (1996). The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability, in: Senneset (ed.) /ISBN 90 5410 815 5 [Hrsg.], Landslides, Glissement de terrain, Volume 1, Seiten 97 - 114, 1996.

Springman, S.M. & Teysseire, P. (2001). Artificially induced rainfall instabilities on moraine slopes. *Proc Int. Conf. on Landslides*, Davos, ed. M. Kühne et al., VGE, Essen, 209-223.

Teysseire, P., Cortona L. & Springman S.M. (2000). Water retention in a steep moraine slope during periods of heavy rain. *Proc. of Unsaturated Soils for Asia*, Singapore. eds. H. Rahardjo, D. Toll & C. Leong eds., Balkema, Rotterdam, 831-836.

Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G. & Pufahl, D.E. (1999). The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till. *Géotechnique* 49(2): 143-159.

VAW. (1995). Gravimeterie im Bereich der Moränenbastion Gruben, Kanton Wallis, Interner Bericht 52.41, 15 S.

Vonder Mühll, D. (1996). Geophysikalische Untersuchungen zur Struktur und Stabilität eines Moränendammes am Grubengletscher, *Interpraevent*, Garmisch- Partenkirchen, Seiten 123- 132.

Vonder Mühll, D., Haeberli, W. & Klingele, E. (1996). Geophysikalische Untersuchungen zur Struktur und Stabilität eines Moränendammes am Grubengletscher (Wallis), *Interpraevent*, S. 123-132.

Zhu, J.H. & Anderson, S.A. (1998). Determination of shear strength of Hawaiian residual soil subjected to rainfall-induced landslides. *Géotechnique*, 48, No. 1, 73-82.

Zimmermann, M., Mani, P. & Gamma, P. (1997). Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz, in: Hochschulverlag AG an der ETH Zürich / ISBN 3 7281 2488 5 [Hrsg.], Schlussbericht NFP 31.

Adresse
Dipl. Ing. Ph. Teysseire
Prof. Dr. S. Springman,
Institut für Geotechnik, IGT
ETH Hönggerberg
8092 Zürich

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Frühwarnsysteme in einem 1600 km langen Strassennetz

Dr. R. Krähenbühl

Frühwarnsysteme in einem 1600 km langen Strassennetz

Ruedi Krähenbühl, Kantonales Strassenbaulabor, Tiefbauamt Graubünden

Einleitung

Gravitative Geländebewegungen gehören in einem Gebirgskanton zum Selbstverständnis. Grossereignisse wie Bergstürze, Felssackungen und Grossrutschungen haben sich durch Talübertiefungen vorwiegend spät- bis nacheiszeitlich gebildet. Durch diese Grossereignisse wurden übersteile Hänge in ein relatives Gleichgewicht gebracht, so dass wir heute nur noch mit kleinen Ereignissen konfrontiert werden.

Das linienförmig durch die Landschaft gezogene Strassennetz reagiert sehr empfindlich auf Rutschungen und bildet oft den Fallboden für Steinschlag und Blocksturz. Die unangenehmsten Risiken die sich daraus ergeben sind für den Gebirgsbewohner Verkehrswegunterbrechungen, welche ihn für längere Zeit von der Umwelt abschneiden. Der Strassenerbauer und Betreiber trägt einerseits die Erstellungs- und anderseits die Unterhaltsrisiken, die sich je nach der geologischen Beurteilung und den eingesetzten Mitteln mehr oder weniger reduzieren lassen. Der Strassenbenützer letztlich trägt das Risiko, dass er infolge Massenbewegungen zu materiellem oder leiblichem Schaden gelangen kann. Für Gebirgsbewohner ist dieses Risiko eine Selbstverständlichkeit, der Flachländer dagegen ist sich dessen nur wenig oder nicht bewusst. Anders als bei stationären Anlagen, wie beispielsweise Kunstbauten oder Siedlungen, ist das gleichzeitige Zusammentreffen von Verkehrsteilnehmer und Naturereignis selten. Daher sind die vorhandenen Mittel zur Behebung von Naturgefahren nur da für den Verkehrsteilnehmer sinnvoll einzusetzen, wo entweder eine hohe Verkehrs- oder eine hohe Ereignisdichte das Unfallrisiko in eine ähnliche Grössenordnung bringt, wie das Risiko bei der gleichen Verkehrsdichte in einen Unfall verwickelt zu werden [1]. Erheblich mehr finanzielle Mittel sind notwendig, wenn ein grosses, stationäres Schadenpotential vorliegt, wie beispielsweise bei exponierten Brücken oder, wo Achsunterbrechungen zu einer starken Einschränkung von grösseren Bevölkerungsgruppen führen.

Vor diesem Hintergrund erhält die Früherkennung bzw. der Frühwarndienst von Naturereignissen einen besonderen Stellenwert. Dabei gilt es nicht zu vergessen, dass es sich um geologische Prozesse handelt, die bekanntlich in weitaus grösseren Zeiträumen ablaufen als wir Menschen dies gewohnt sind und sie zu überblicken vermögen. Nur in seltenen Fällen wissen wir wie die Zeit-Bewegungskurve einer Massenbewegung über die Dauer von hundert Jahren ausschaut, geschweige denn, wo wir uns derzeit auf dieser Kurve befinden. In der heutigen Euphorie von technischen Mess- und Berechnungsmöglichkeiten neigen wir dazu, viel zu messen und zu rechnen, und vernachlässigen dabei oftgezielt Antworten für die Ursache der auftretenden Massenbewegungen zu finden, um den lokalen Prozess zu verstehen. Für Letzteres sind nach wie vor profunde, geologische Kenntnisse sowie die beobachtenden und analytischen Fähigkeiten des Naturwissenschafters gefragt, wie sie unsere älteren Geologengenerationen uns eindrücklich vorgezeigt haben. In der heutigen Hektik finden zwar Zeit um zu messen, jedoch kaum noch Zeit um diese Messungen auszuwerten und schon gar nicht ausreichend Zeit um die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen. Es besteht eine erhebliche Gefahr, dass infolge Fehlbeurteilungen, basierend auf kurzzeitigen Messergebnissen, grosse Bauinvestitionen geplant und ausgeführt werden, welche zwar an der betreffenden Stelle oftmals das Restrisiko zu eliminieren vermögen, dafür fehlen dann aber die Mittel, um an anderen Stellen vergleichbare oder grössere Risiken auf ein vernünftiges Mass reduzieren zu können.

Massenbewegungen im Bündner Strassennetz

Kriech- und Rutschhänge machen sich durch entsprechende Deformationen im Strassennetz bemerkbar und sind daher im ganzen Kanton bekannt. Gehäuft treten sie da auf, wo insbesondere schiefrige Gesteine mit ungünstigen fels- und bodenmechanischen Eigenschaften auftreten. Korreliert man die Häufung von Rutschungen mit der geologischen Karte, so sind Rutschungen besonders zahlreich in den Bündnerschiefern, in den Flyschen, in den Schiefern der Aroserzone, der Umrandung des Engadiner Fensters und in den Verrucanoschiefern anzutreffen (Abb. 1). Demgegenüber lässt sich Steinschlag, Block- und Felssturz weniger mit der Geologie als vielmehr mit der Lage der Felstrennflächen und ihrem Verschnitt mit den Strassenanschnitten korrelieren. Tiefgründige Rutschungen mit Tiefgang > 20 m weisen im Regelfall nur geringe Verschiebungsraten im mm-Bereich auf und verursachen im Strassennetz weiche Deformnationen, d.h. sie bilden selten ernsthafte Probleme. Ausgenommen davon sind Rutschungen mit ausgeprägter Schollenbildung, wo Bewegungsdifferenzen zwischen den Schollen zu markanten Absätzen führen. Dies erfordert einen periodischen Unterhalt. Oberflächliche Rutschungen mit Tiefgang von 1-5 m treten oft spontan, kollapsartig und ohne Vorwarnung auf. Sie können den Verkehrsteilnehmer gefährden, sind aber im Schadenfall mit verhältnismässig bescheidenem Aufwand instandzusetzen. Die grössten Schwierigkeiten bereiten jene Rutschungen, deren Tiefgang zwischen 5 – 20 m liegt. Sie unterliegen periodischen Deformationen von mehreren cm – dm/Jahr und vermögen insbesondere Kunstbauten grosse Schäden zuzufügen. Hinsichtlich

ihrer Aktivitäten sind untiefe Rutschungen meist unberechenbar und ein partieller, die Strasse unterbrechender, plötzlicher Kollaps kann nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden. Obwohl sie oft von der Lokalität her bekannt sind, ist eine Früherkennung von kritischen Aktivitäten meist nur mit grossem Aufwand möglich.

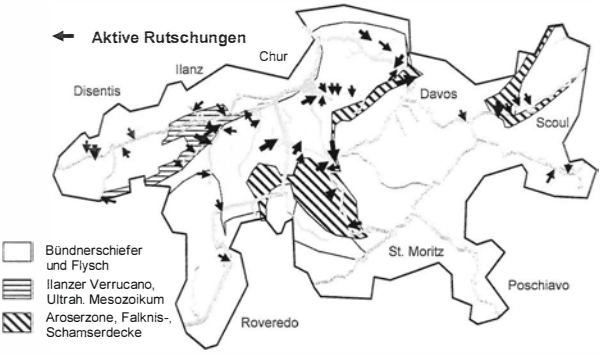


Abbildung 1: Übersicht der aktiven Rutschungen hinterlegt mit einem Auszug der Geologie

Durch entsprechende Strassenschäden sind Steinschlag und Blocksturz gut lokalisiert. Zudem ist ihre Periodizität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit aufgrund von örtlichen Erfahrungen relativ gut bekannt. Sehr viel schwieriger verhält es sich bei Felssturz. Solche Ereignisse mit grosser Schadenwirkung künden sich nur in seltenen Fällen an und deren Abrisszonen können weit ausserhalb des Strassenperimeters liegen. Rüfen und Murgänge nehmen einen ähnlichen Stellenwert wie Steinschlag und Blocksturz ein. Dies mit der Ausnahme, dass sie sich meist auf Bereiche von Gewässern konzentrieren und daher im Strassennetz weniger häufig sind. Sie treten meist nach Starkniederschlägen auf und lassen sich daher zeitlich besser eingrenzen als Stein- und Blockschlag. Da sie räumlich eng begrenzt sind, wurden viele rüfenträchtige Bachläufe in den letzten Jahren gezielt verbaut.

Angesichts dieser Risikobeurteilung beschränkt sich das Schwergewicht zur Früherkennung von Ereignissen entlang dem Strassennetz auf grössere Felsstürze, auf untiefe Rutschungen, sowie auf eine örtliche Überwachung von gefährdeten Kunstbauten.

Felssturz Lago di Poschiavo

Aufgrund eines sehr ungünstig liegenden Felstrennflächensystems in den massigen Gneisen nördlich des Lago di Poschiavo ist die entlang dem Seeufer verlaufende Kantonsstrasse seit Jahren periodischem Steinschlag sowie Block- und Felssturz ausgesetzt (Abb. 2). Da die Strasse aufgrund der engen Platzverhältnisse mehrheitlich aus Brückenkonstruktionen besteht, wurden in den letzten Jahren kontinuierlich Steinschlagverbauungen und Felssicherungen realisiert. Im Frühjahr 1998 stürzte am Südende des Lago di Poschiavo aus ~ 30 m Höhe ~ 20 m³ Fels auf die Ponte Scalascia VI. Die Brücke wurde erheblich beschädigt und musste in der Folge provisorisch verstärkt werden. Die gesamte Felswand nördlich der Ponte Scalascia ist stark aufgelockert, und wurde initial durch eine alte Felssackung entfestigt. Schon beim Bau der RhB und später der Kantonsstrasse wurden in der gesamten Felswand lokale Felsunterfangungen vorgenommen. Weder diese Stein- noch Betonmauern vermochten dem Gebirgsdruck zu widerstehen und wurden zerrissen. Die schadenverursachende Wirkung von Block- und Felssturz aus dieser Höhe ist für Brücken enorm. Ein Kollaps der ganzen Felswand von 6'000 – 10'000 m³ Gestein würde zu einer vollständigen Zerstörung der beiden Verkehrsträger und zu einer Achsunterbrechung des Puschlavs von mehreren Monaten führen. Mit 2'500 bis 7'000 Fahrzeugen pro Tag sind die Verkehrsspitzen der Strasse gleich hoch, wie der Jahresdurchschnitt der Prättigauerstrasse oder des San Bernardino Tunnels

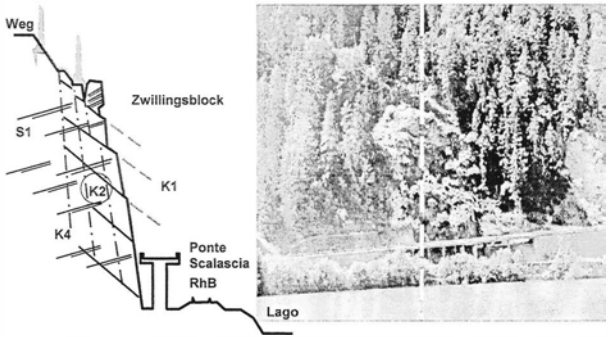


Abbildung 2: Ansicht der Felssackung und schematischer Schnitt mit Lage der Felstrennflächen

Anhand detaillierter geologischer Aufnahmen und messtechnischer Instrumentierungen wurde die Felswand in verschiedene Gefährdungszonen unterteilt (Abb. 3). Die dabei festgestellte Labilität eines ~ 400 m³ umfassenden Zwillingsblocks stellte ein unverantwortbares Gefahrenpotential dar. Die Suche nach geeigneten Massnahmenvarianten gestaltete sich schwierig. Die exponierte Lage des Zwillingsblocks sowie die Unkenntnis der verbleibenden Stabilitätsreserve, wie auch die Frage der Machbarkeit von Ankerarbeiten in einem von bis 2 m grossen Hohlräumen durchsetzten Gebirge, beinhalteten grosse Unsicherheiten und Ausführungsrisiken. Während die Bauherrschaft eine definitive Lösung durch Abtrag des Zwillingsblocks bevorzugte, favorisierten die Geologen und Felsbauspezialisten eine Felssicherung. Mit der Ausführung eines Teilabtrages unter gleichzeitiger Sicherung der fortschreitenden Abbauetappen traf man sich schliesslich in der Mitte. Zusätzlich versetzte Extensometer sollten eine besser fundierte Risikobeurteilung und eine künftige Überwachung der Felssackungsmasse ermöglichen.

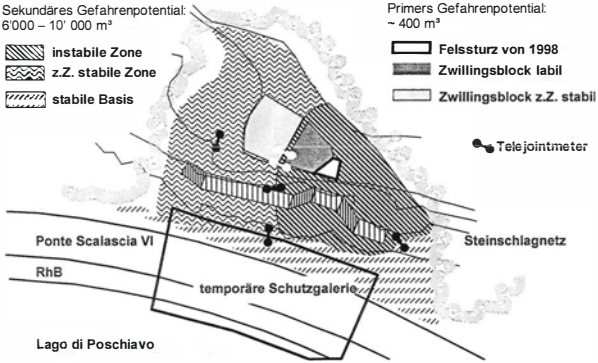


Abbildung 3: Befund aus geologischen Aufnahmen und Telejointmetermessungen

Die äusserst delikaten Bauarbeiten hatten unter Aufrechterhaltung des Strassen- und Schienenverkehrs zu erfolgen. Dies sollte mit dem Bau einer provisorischen Schutzgalerie sowie mit Steinschlagnetzen gewährleistet werden. Aufgrund der Labilität musste der Felsabtrag als chirurgischer Eingriff mit höchster Vorsicht vorgenommen werden. Der Abtrag erfolgte ausschliesslich mit Spaltgeräten und die auf ~ ½ m³ reduzierten Blöcke wurden mit einer Seilbahn aus dem Abbaugebiet abtransportiert.

Zur Gewährleistung der notwendigen Arbeits- und Verkehrssicherheit wurde neben täglich kontrollierten Felssiegeln ein auf Telejointmetermessungen basierender, automatischer Frühwarndienst eingerichtet und eine entsprechende Alarmorganisation aufgebaut (Abb. 4). Beim Überschreiten definierter Alarmwerte wurde die Strasse mittels Rotlicht gesperrt und die Züge durch entsprechende Massnahmen seitens der RhB aufgehalten. Über die gesamten Bauarbeiten haben sich mehrere Alarmsituationen zu den unterschiedlichsten Tages- und Nachzeiten eingestellt. Jeder Alarm erforderte eine sorgfältige Überprüfung der Messdaten sowie der Gegebenheiten vor Ort, bevor der Verkehr und die weiteren Bauarbeiten freigegeben werden konnten. Kein einziger der verschiedenen Alarmsituationen konnte jedoch auf effektive Felsverschiebungen zurückgeführt werden. Vielmehr führten Einwirkungen von Wild, Bauarbeiten, Blitzschlag, oder gar Vandalenakte zu solchen Alarmen. Unabhängig des südlichen Temperaments der lokalen Bevölkerung führte dies zu einer abnehmenden Akzeptanz und resultierenden Ignoranz der vereinzelten Strassensperrungen. Dies zeigte auch die Problematik von derartigen automatischen Frühwarnsystemen auf. Sie sind nur in besonders kritischen Verhältnissen einzusetzen.

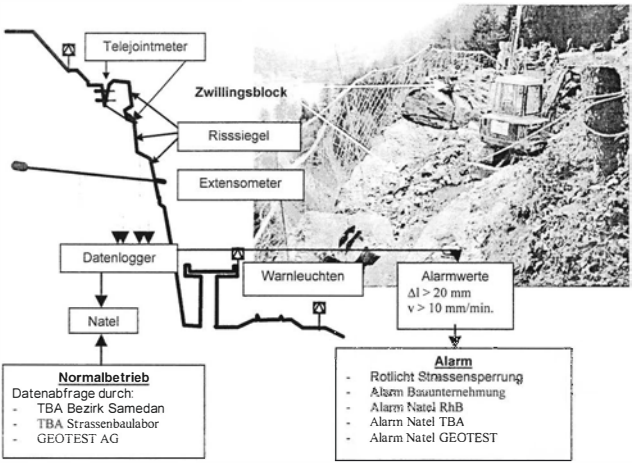


Abbildung 4: Schema des Alarmdispositivs mit Bild des Zwillingsblockabbaus

Die Arbeiten konnten im Sommer 2000 kontrolliert und ohne Zwischenfälle abgeschlossen werden. Der unerwartet gute Arbeitsfortschritt der routinierten Felstechnik-Spezialfirma ermöglichte den Abtrag beider Hälften des Zwillingsblocks. Trotz Kluftweiten von 1 - 2 m war es technisch möglich, versuchsweise Litzenanker zu versetzen und normgerecht auszuführen. Da mit den schwierigen Bohrarbeiten der Verlust von Bohrgestängen unvermeidbar war, gelangte versuchsweise ein neues Bohrverfahren zur Anwendung, bei dem gleichzeitig mit dem Bohrvortrieb ein Futterrohr ins Bohrloch eingezogen wird. Der durchschlagende Erfolg blieb vorderhand noch aus. Der Felsabtrag legte hinter dem Zwillingsblock ein Haufwerk von verstellten Blöcken frei, die mit Vollverbundankern temporär gesichert und mit zunehmendem Arbeitsfortschritt unterfangen wurden.

Das aufgrund der Ankerbohrungen eruierte Befundprofil der Felssackung zeigt ein doch erstaunliches Bild (Abb. 5). Die von aussen kompakt erscheinende Felswand erreicht lediglich eine Stärke von 5 - 7 m, dahinter liegt ein Haufwerk von beliebig verstellten Blöcken mit grossen Hohlräumen. Aufgrund des extrem hohen

Durchtrennungsgrades dieses Gebirges waren sich alle Experten einig, dass Wasser drainiert wird und keine Druckspannungen auf den Felsen aufbauen kann. Mit einem Zeitverzug von ½ bis 1 Tag sprangen die Teiejointmeter jeweils nach Regenfällen mit kleinen Verschiebungssprüngen von < 0.5 mm an

Die Extensometer, die Telejointmeter und die Ankerkraftmessdosen wurden für die weitere Überwachung in die automatische Datenerfassung integriert. Neben der Gefahrenbeseitigung und einer geringfügigen Kopfentlastung durch den Zwillingsblockabtrag konnte eine Beruhigung der Felsbewegungen an der Felswandoberfläche festgestellt werden. Hingegen zeigten alle Extensometer sowohl im vorderen wie auch im zurückversetzten, weniger verstellten Felswandteil Verschiebungen. Wo die gemessenen Verschiebungsraten in dem spätestens seit dem RhB Bau festgestellten Bewegungsregime einzuordnen sind, werden künftige Messungen zeigen müssen. Dank der ausgeführten Arbeiten hat man die Gewissheit, dass in diesen äusserst schwierigen Gebirgsverhältnissen Sicherungsmassnahmen mittels Anker machbar sind, und dass im Fall von künftig unverantwortbaren Verschiebungszunahmen nicht à priori eine, um ein mehrfaches teurere Tunnelumfahrung ins Auge gefasst werden muss

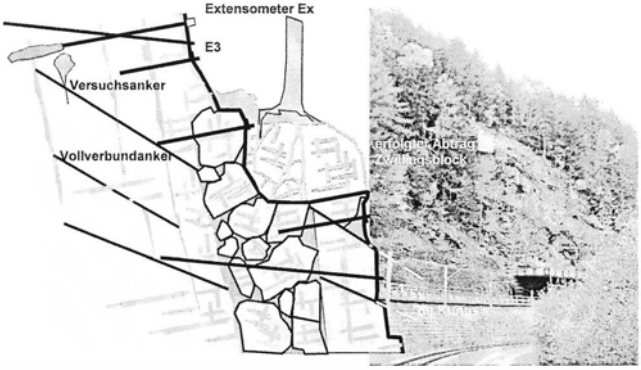


Abbildung 5: Befundprofil und Baustellenansicht am Ende der Abtrags- und Sicherungsarbeiten

Antropogen verursachte Risiken

Da der Strassenerbauer im Gebirge häufig mit Hängen von nur geringer oder fehlender Stabilitätsreserve konfrontiert ist, sind trotz gebührenden Abklärungen und Vorsichtsmassnahmen Geländedestabilisierungen nicht immer vermeidbar. Mit den dadurch notwendig werdenden Sicherungsmassnahmen müssen oft Kräfte in den Baugrund eingeleitet werden. Damit entstehen permanente Sicherungen, welche aufgrund ihrer beschränkten Lebensdauer überwacht und gegebenenfalls ersetzt werden müssen. Um für Letzteres den richtigen Zeitpunkt zu finden, sind ebenfalls geeignete Früherkennungssysteme anzuwenden. Die Überwachung der natürlichen und antropogenen Risiken bindet grosse, jährliche Fixkosten. Um möglichst viele Mittel in den Bau und Unterhalt der Strassen fliessen lassen zu können, müssen solche Überwachungen und Früherkennungen möglichst effizient sein. Da Kräfteänderungen oder Verschiebungszunahmen meist zu Deformationen in Kunstbauten und Strassenkörpern führen, sind periodische, visuelle Überprüfungen, wie sie mit Routinekontrollen durch den Strassenunterhalt und alle 5 Jahre mit periodischen Kontrollen der Kunstbauten durchgeführt werden, sehr wirkungsvoll. Wo umfassende Messeinrichtungen anfänglich zur Erkennung der Bewegungscharakteristik und später für die Überwachung unumgänglich sind, bewährt es sich, ab einem gewissen Beobachtungszeitpunkt den „Normalzustand" zu definieren und zu deklarieren. Mit einem reduzierten Überwachungsprogramm ist dann periodisch zu überprüfen, ob massgebende Abweichungen zu diesem Normalzustand festzustellen sind. Gegebenenfalls muss mit zusätzlichen Messungen näher verifiziert werden, ob die Verschiebungen annehmbar sind oder ob Massnahmen notwendig werden. Mit diesem stufenartigen Vorgehen können die jährlichen Fixkosten reduziert werden, ohne dass dabei eine bedeutende Risikoerhöhung in Kauf genommen werden muss

Zusammenfassung

Eine Früherkennung von geologischen und antropogenen Risiken hat sich für den Strassenbetreiber vorwiegend auf Felssturz, untiefe Rutschungen sowie gefährdete Kunstbauten und permanente Hangsicherungen zu konzentrieren. Da sich erhöhte Aktivitäten stets durch Deformationen im Strassennetz manifestieren, betreiben die Strassenwarte des Unterhalts den ersten Frühwarndienst. Grössere, komplexere oder noch ungenügend verstandene Massenbewegungen erfordern eine messtechnische Überwachung und Früherkennung. Automatisierte Frühwarnsysteme kombiniert mit Alarmierungen und Massnahmen sind im Strassennetz mit äusserster Zurückhaltung und nur in kritischen Fällen einzusetzen. Dies deshalb, weil Fehlalarme nicht vermieden werden können und dadurch die Akzeptanz für Einschränkungen bei der betroffenen Bevölkerung stark leidet. Trotz der Bestrebungen das Risiko von Naturgefahren unter Kontrolle halten zu können, müssen alle Beteiligten akzeptieren, dass trotz vielschichtiger Bemühungen stets ein unkontrollierbares Restrisiko zurück bleibt, welches wir auch mit überproportionalem materiellen und finanziellen Aufwand nicht beherrschen werden. Der wiederkehrenden Frage nach dem Zumutbaren Risiko stehen die zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel gegenüber.

Literatur: [1] Schutz gegen Steinschlag, Dr. W. Heierli et.al., Bundesamt für Strassenbau, 1981

Adresse des Verfassers: Ruedi Krähenbühl, Dr. phil. nat
Tiefbauamt Graubünden
Strassenbaulabor
Sägenstrasse 78
7000 Chur

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Felssturzgefahr Chapf-Üssri Urweid: Risikobeurteilung und Gefahrenmanagement

Dr. U. Gruner

Felssturzgefahr Chapf-Üssri Urweid: Risikobeurteilung und Gefahrenmanagement

mit 5 Abbildungen

UELI GRUNER

Zusammenfassung

Im Felssturzgebiet Chapf-Üssri Urweid bei Innerkirchen im Berner Oberland drohen rund 250'000 m³ Fels abzustürzen. Sie gefährden u.a. auch die Grimselstrasse. Nach jahrelangen Beobachtungen der Bewegungen wurde das Gebiet ab 1999 mit verschiedenen zusätzlichen Messeinrichtungen (z.T. auch automatische) instrumentiert, welche fortlaufend erweitert wurden. Infolge von z.T. hohen Geschwindigkeiten (bis zu 6 mm/h), verbunden mit zahlreichen Teilabstürzen, ist die Felspartie stark brüchig geworden, so dass sie im Oktober 2001 gesprengt werden soll. Im Verlaufe der Zeit wurden verschiedene Phasen des Gefahrenmanagements durchlaufen, welche etwas detaillierter beschrieben werden. Ziel war es, die Sicherheit für den Verkehr der Grimselstrasse und - während der Bohrarbeiten für die Sprengung - für die auf dem labilen Paket arbeitenden Personen der Sprengfirma zu gewährleisten.

1. Geologische Situation

Ungefähr 1 km südlich von Innerkirchen im Berner Oberland befinden sich auf der rechten Talseite zwei Felspakete, die sich talwärts bewegen und die Grimselstrasse im Gebiet Üssri Urweid bedrohen. Die beiden instabilen Felspakete liegen am Rande der Blattenalp im Gebiet Chapf, auf einer Höhe von rund 1600 m ü. M. Das südlichere *Kleine Paket* hat nach diversen kleineren Abstürzen (total ca. 12'000 m³) z.Z. eine Kubatur von knapp 15'000 m³: Die Masse des *Grossen Paketes* wird auf rund 250'000 m³ geschätzt. Bei den instabilen Felsmassen handelt es sich um in das kristalline Aarmassiv eingefaltete Sedimente, bestehend vorwiegend aus harten, dickbankigen Malmkalken, welche hier eine bis zu 150 m hohe, z.T. überhängende Felswand bilden.

Die Auswertung der zahlreichen Bewegungsmessungen zeigt, dass das *Kleine Paket* bisher im Wesentlichen eine Kippbewegung macht, während das *Grosse Paket* einen Kriechvorgang zeigt, indem das Paket im oberen Bereich mit ca. 35 - 40° und im unteren Teil mit ca. 50 - 55° talwärts gleitet.

Eine ausführlichere Beschreibung der Geologie und der Chronik der Bewegungen ist in früheren Publikationen ([1], [3]) zu finden.

2. Entwicklung der Bewegungen

Seit dem Jahre 1951 sind an den wichtigsten Stellen der offenen Spalten im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Bern regelmässig von Hand Verschiebungsmessungen durchgeführt worden. Im Verlaufe der Jahre haben sich die Bewegungen kontinuierlich beschleunigt, insbesondere zu Beginn der 90er Jahre, so dass die Messüberwachung mit Lasermesspunkten von der gegenüberliegenden Talseite verbessert wurde. Die Bewegungsgeschwindigkeiten stiegen in der Folge weiter an, so auch nach den intensiven Niederschlägen (kombiniert mit Schneeschmelze) im Frühjahr 1999, als zeitweise bis zu 3 cm pro Monat gemessen wurden. Im Sommer 1999 wurden zwei automatische Distanzmesser (Wegabnehmer) installiert (vgl. unten), so dass fortan der Geschwindigkeitsverlauf der beiden Pakete im Detail verfolgt werden konnte. Nach einem bewegungsmässig eher ruhigen Winter 99/00 stiegen die Geschwindigkeiten im Sommer 2000 wieder an, wobei nach starken Niederschlägen Bewegungen von mehr als 2 mm/Tag (bzw. > 5 cm/Monat) gemessen wurden. Am 4. September 2000 stürzten vom *Kleinen Paket* rund 2'000 m³ Fels zu Tal. Die obersten Blöcke blieben knapp oberhalb der Grimselstrasse liegen. Die mittlere Geschwindigkeit stieg unmittelbar nach diesem Ereignis vorerst um ein Mehrfaches an (maximal bis 1 cm/h!) und verblieb auf einem höheren Niveau als vor dem Abbruch (rund 4 - 5 cm/Monat).

Nach einem etwas ruhigeren Winterhalbjahr stiegen die Geschwindigkeiten im Frühjahr 2001 wiederum stark an (> 6 cm/Monat), bis am 28. April 2001 rund 10'000 m³ Felsmaterial aus dem oberen Teil des *Kleinen Paketes* zu Tale stürzten, wobei die untersten Blöcke erneut knapp bergseits der Grimselstrasse liegen blieben. In der Folge kam es beim *Grossen Paket* kurzzeitig zu sehr hohen Geschwindigkeiten (bis zu 6 mm/h), welche sich in der Folge bei rund 2 mm/Tag einpendelten. Dies und die Bewegung des gesamten *Grossen Paketes* innerhalb eines Jahres von rund 70 cm führten dazu, dass dieses immer brüchiger wurde und sich fortwährend kleinere Felsabstürze ereigneten. Es entstand somit eine Stabilität, wie sie z.B. nach einer schlecht verlaufenden Sprengung hätte auftreten können. Es musste daher damit gerechnet werden, dass sich während der nächsten Jahre dauernd kleinere oder grössere Felsabstürzen ereignen können. Das heisst, die Grimselstrasse hätte möglicherweise während dieser Zeit wegen Felssturzgefahr immer wieder gesperrt werden müssen. Aus diesem Grund wurde beschlossen, den drohenden Felssturz künstlich mittels einer Wässerung oder einer Sprengung auszulösen. In den vergangenen Jahren hatte es sich immer wieder gezeigt, dass die Bewegungen stark auf die Niederschläge reagiert haben. Als erstes wurde versucht, durch Einleitung von Wasser einen hydrostatischen Druck im Gebirge aufzubauen und so das *Grosse Paket* zum Absturz zu bringen. Ab Juni 2001 wurden rund 8 - 10'000 l/min, das aus einem in ca. 3 km Entfernung liegenden Schmelzwasserbach hergeführt wurde, in die Spalten eingeleitet. Die Bewegungen nahmen in der Folge rapid zu (bis über 5 cm pro Tag), doch musste das Experiment nach 18 Tagen ohne Erfolg abgebrochen werden. Dies u.a. auch, weil das Schmelzwasser nicht mehr in genügender Menge nachfloss. Der obere Teil des *Grossen Paketes* bewegte sich im Zeitraum der Wässerung rund 1 m talwärts, am Wandfuss betrugen die Bewegungen insgesamt rund 30 cm. Es wurden während dieser Zeit verschiedene Teilabstürze von gesamthaft rund 20'000 m³ festgestellt. Im Anschluss an die Wässerung gingen die Geschwindigkeiten wieder auf die vorhergehenden Werte zurück, so dass die Vorbereitungen für die Sprengung vorgenommen werden konnten. Im Herbst 2001 wurden in einer ersten Etappe rund die Hälfte der verbleibenden labilen Felsmassen künstlich zum Absturz gebracht (vgl. auch Kapitel 6). Falls nötig wird der restliche Teil im Frühsommer 2002 gesprengt.

3. Risikobeurteilung

Aufgrund der bedrohlichen Zunahme der Bewegungen wurde in den Jahren 99/00 eine umfassende Gefahrenanalyse vorgenommen [2]. Aufgrund von Sturzbahnberechnungen auf einem GIS-basierten, digitalen Geländemodell wurde das potenzielle Ablagerungsgebiet und die möglichen Ablagerungsmächtigkeiten im Talboden detailliert erfasst. Dabei wurden u.a. auch genauere Angaben über Sprunghöhen, die kinetische Energie und die Trefferwahrscheinlichkeit ermittelt. Mit dieser Beurteilung zeigte es sich u.a., dass die Grimselstrasse - eine kantonale Strasse von nationaler Bedeutung - im worst-case auf einer Länge von gegen 750 m überschüttet werden könnte. Dabei treffen die ersten Blöcke bereits nach rund 25 bis 30 sec aus der ca. 900 m darüberliegenden Felswand im Talboden ein. Das Pauschalgefälle - der Winkel zwischen Abbruch und entferntester Stelle der Ablagerung - beträgt rund 39°.

Die Ermittlung der Schadenpotenziale zeigte, dass in erster Linie die Grimselstrasse, daneben aber auch Installationen der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) wie Leitungen und Masten, verschiedene Ställe und weite Teile des Schutzwaldes betroffen sein werden. Aufgrund der hohen Bewegungsraten wurde die Wahrscheinlichkeit eines bald bevorstehenden Felssturzes als sehr hoch betrachtet. Dies führte dazu, dass das Gefahrenmanagement (vgl. unten) entsprechend angepasst und optimiert wurde. Das Risiko einer Überschwemmung von Innertkirchen bei einem Aarestau nach einem Gesamtabsturz wurde nach einer Berechnung der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich als relativ gering taxiert.

4. Gefahrenmanagement

4.1 Allgemeines

Aufgrund der Entwicklung der Bewegungen seit Beginn der Messungen sind vier verschiedene Phasen der Gefahrenmanagements zu unterscheiden, welche kurzzeitig aufgrund der Bewegungsentwicklung auch leichten Anpassungen unterworfen waren. Die einzelnen Phasen werden in der Folge kurz beschrieben.

4.2 Gefahrenmanagement Phase 1: 1951 bis 1999

Die Arbeiten beschränkten sich vorerst auf periodische Handmessungen vor Ort. Aufgrund einer Beschleunigung der Bewegungen anfangs der 90er Jahre wurden die Messintervallen verkürzt und ab 1992 die Felspakete mittels Lasermessungen von der gegenüberliegenden Talseite überwacht (Bild 1). Als Folge erhöhter Steinschlagaktivität wurden 1995 am Hangfuss Steinschlagnetze errichtet.

Messsystem	Anzahl Messpunkte	Messintervall	Auswirkungen/Massnahmen
Handmessungen	10	2 - 5 Mal jährlich	- Jährliche Berichterstattung
Lasermessungen (ab 1992)	10	1 - 3 Mal jährlich	- Verbesserungen des Messsystems - Erstellung Steinschlagnetze

Abbildung 1: Messdispositiv der Überwachung 1951 bis 1999

Fazit

Die periodischen Messungen ergaben einen regelmässigen Einblick auf die Entwicklung der Bewegungen und ermöglichten somit rechtzeitig Massnahmen (zusätzliche Messpunkte, Steinschlagnetze) zu ergreifen.

4.3 Gefahrenmanagement Phase 2: Sommer 1999 bis Frühling 2001

Aufgrund der erhöhten Geschwindigkeiten nach den intensiven Niederschlägen (kombiniert mit Schneeschmelze) im Frühjahr 1999 wurden im Sommer des gleichen Jahres auf den beiden Felspaketen je eine automatische Warnanlage installiert, bei der die Bewegungen der Pakete mittels Distanzmessern an den sich öffnenden Hauptspalten dauernd überwacht werden konnten. Die Messungen wurden direkt auf eine Signalsteuerung an der Grimselstrasse und von dort in die Zentrale der KWO in Innertkirchen übertragen. Nach dem Felssturz vom 4. September 2000 wurde das Messdispositiv verfeinert, indem im Winter 00/01 zusätzliche automatische Distanzmesser, Lasermesspunkte sowie automatische Erschütterungsmessgeräte (Geophone) installiert wurden (Bild 2).

Messsystem	Anzahl Messpunkte	Messintervall	Auswirkungen/Massnahmen
Handmessungen	9	monatlich	- On-line-Überwachung der Bewegungen - Erstellung einer Gefahrenanalyse und eines Alarmdispositives - Erstellung einer Notumfahrung auf der gegenüberliegenden Talseite - Verbesserung des Frühwarndienstes mittels zusätzlicher Geräte
Lasermessungen	12 (ab Dez. 2000: 19)	monatlich	
Automatische Wegabnehmer	2 (ab Jan. 2001: 5)	permanent	
Erschütterungs-messgeräte	2	permanent	

Abbildung 2: Messdispositiv der Überwachung Sommer 1999 bis Frühling 2001

Aufgrund der Risikobeurteilung und der zunehmenden Bewegungsraten wurde ein Gefahrendispositiv erstellt. In Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit wurden 5 verschiedene Gefahrenstufen definiert (Bild 3). Dabei sollten je nach Gefahrenstufe verschiedene Massnahmen im Gefahrengebiet ergriffen werden (Grimselstrasse, Wanderwege, land- und forstwirtschaftliche Nutzung, Umfahrungsstrasse, Baustelle Transitgas und Information der Bevölkerung). In der Folge wird nur das Gefahrenmanagement im Fall der Grimselstrasse aufgeführt.

Gefahrenstufe	Merkmale der Gefahrenstufe	Gefährdung	Massnahmen Grimselstrasse
A Normalfall	• Geringe Geschwindigkeit [1]	• Steinschlag • evtl. lokaler Abbruch	offen
B Warnung "tief"	• Erhöhte Geschwindigkeit [2] • Geringe Beschleunigung	• Erhöhte Gefahr von Steinschlag und Felsabbruch	Sperrung nachts
C Warnung "hoch"	• Erhöhte Geschwindigkeit [3] • Erhöhte Beschleunigung	• Hohe Gefahr von Steinschlag und Felsabbruch	Sperrung nachts, evtl. auch tagsüber
D Alarm "tief"	• Hohe Geschwindigkeit [4] • Geringe Beschleunigung	• sehr hohe Gefahr von Steinschlag und Felsabbruch	Sperrung nachts; tagsüber Verkehr evtl. paketweise passieren lassen
E Alarm "hoch"	• Hohe Geschwindigkeit [4] • Grosse Beschleunigung	• Absturz von grossen Felsmassen steht bevor	Sperrung

	Herbst 99 - April 01:	ab April 01:
1	< 2 mm/Tag	< 0.3 mm/h
2	> 2 mm/Tag bzw. <1 mm/h	0.3 - 0.5 mm/h
3	> 2 mm/Tag bzw. <1 mm/h	0.5 - 1.0 mm/h
4	> 1 mm/h	> 1 mm/h

Abbildung 3: Gefahrenmanagement Sommer 1999 - Frühling 2001: Gefahrenstufen und ihre Merkmale

Fazit

Die permanente Messung der Geschwindigkeiten, kombiniert mit weiteren periodischen Überwachungen (Hand- und Lasermessungen), stellte ein wirkungsvolles Instrumentarium für den Frühwarndienst dar. Die Einteilung in Gefahrenstufen ermöglichte den Verantwortlichen, allfällige Massnahmen frühzeitig vorzubereiten. Vor dem Absturz vom 28. April 2001 wurden die einzelnen Gefahrenstufen innerhalb weniger Stunden durchlaufen, so dass die Grimselstrasse rechtzeitig, d.h. ca. 14 Stunden vor dem Sturzereignis, gesperrt war.

4.4 Gefahrenmanagement Phase 3: Frühling 2001

Nach dem Absturz vom 28. April 2001 lag die „ungemütliche" Situation vor, dass aufgrund der hohen Geschwindigkeiten und der damit verbundenen grossen Felssturzgefahr eine Sperrung der Grimselstrasse unabdingbar geworden war. Es bestand auf der andern Talseite zwar eine Notumfahrung; diese war jedoch aus Kapazitätsgründen und wegen der Gewichtsbeschränkung nur ein Notlösung. Im Hinblick auf eine Sicherstellung der Verbindung nach Guttannen, auf anstehende Transporte der KWO und auf den Tourismusverkehr im Sommer 2001 sollte die Grimselstrasse unter einem strengen Überwachungsdispositiv zeitweise wieder geöffnet werden. Dabei standen die gleichen Messeinrichtungen wie in der Phase 2 zur Verfügung. Für die Öffnung der Strasse mussten 5 verschiedene Kriterien erfüllt werden (Bild 4).

Aufgrund der dem verantwortlichen Geologen zugestellten Informationen musste dieser die zuständigen Stellen des Tiefbauamtes (Strasseninspektorat) bezüglich einer Öffnung der Grimselstrasse beraten. Durch den Bau von bis zu 5 m hohen Schutzdämmen (Blockschutt) am Hangfuss unmittelbar bergseitig der Grimselstrasse Ende Mai 2001 konnte die Gefährdung in Bezug auf kleinere bis mittlere Felsabbrüche etwas reduziert werden. Die Praxis während der Phase 3 zeigte, dass die Stufe 0 (Strasse offen) nicht eintrat. Die Phase 3 dauerte bis zur Wässerung im Juni 2001, worauf die Grimselstrasse während diesem Zeitraum gänzlich gesperrt wurde (die Notumfahrung blieb jedoch offen).

Stufe / Status Strasse / Kriterien*	Stufe 0 Strasse offen	Stufe 1 Strasse tagsüber offen (mit Wachposten), nachts geschlossen	Stufe 2 Strasse gesperrt
Geschwindigkeiten autom. Wegabnehmer	gering [1]	mittel [2]	gross [3]
	und	oder	oder
Geschwindigkeiten Lasermesspunkte	gering	Beschleunigung	starke Beschleunigung
	und	oder	oder
Erschütterungen	wenig Ereignisse	mehrere Ereignisse	viele Ereignisse
	und	oder	oder
Niederschlag	gering	gering bis mittel	gross
	und	oder	oder
Abbrüche (gemeldet)	keine Ereignisse	kleine Ereignisse	kleine oder grössere Ereignisse

[1] < 0.1 mm/h
[2] 0.1 - 0.2 mm/h
[3] > 0.2 mm/h

* Die Kriterien für die einzelnen Stufen wurden im Detail festgelegt.

Abbildung 4: Gefahrenmanagement Frühling 2001: Kriterien für die Öffnung der Grimselstrasse (stark vereinfacht)

Fazit

Die Überprüfung, ob die Kriterien für eine Öffnung der Grimselstrasse tagsüber erfüllt waren, erfolgte täglich morgens früh sowie beim Eintreten von Warn- oder Alarmwerten der automatisch übermittelten Daten. Dies bedingt einen relativ hohen Verfügungsgrad des zuständigen Geologen bzw. dessen Stellvertreters. Die grosse Datenmengen waren zu Beginn der Phase 3 etwas uneinheitlich bzw. unübersichtlich; ihre Interpretierung brauchte eine gewisse "Angewöhnungszeit".

4.5 Gefahrenmanagement Phase 4: Sommer bis Herbst 2001 (Vorbereitung Sprengung)

Nach dem Abbruch der Wässerung Ende Juni 2001 wurden die Vorbereitungen für die Sprengung in Angriff genommen. Zu diesem Zweck wurde ein neues Überwachungsdispositiv erstellt sowie zusätzliche Messinstallationen errichtet. Dabei galt es, ein Warn- und Alarmdispositiv zu erstellen, welches - nebst dem Verkehr auf der Grimselstrasse - auch den z.T. auf dem labilen Paket arbeitenden Bohrmannschaften diente. Aufgrund der Erfahrungen seit dem Frühjahr 2001 musste mit Teilabbrüchen gerechnet werden, welche insbesondere auch das arbeitende Personal gefährden könnten. Die Situation auf der Grimselstrasse wurde insofern etwas entschärft,

indem die Strasse um ca. 50 m talwärts verschoben wurde und zudem eine weitere Schutzdammreihe erstellt wurde. Da zudem das Felspaket durch die beauftragte Sprengfirma Gasser AG vor Ort dauernd durch einen Sicherheitsbeauftragten überwacht wurde, konnte die Grimselstrasse generell für den Verkehr freigegeben werden.

Das nachfoigend zusammengestellte Warn- und Alarmdispositiv (Bild 5) wurde während den Arbeiten, bei welchen das Lockergestein bis auf die Felsoberfläche abgetragen wurde, fortlaufend den neu angetroffenen Verhältnissen (Trennflächenkonfiguration, Bewegungen) angepasst (neue Messstellen, Änderungen der Grenzwerte)

Die Geschwindigkeiten waren während der Bauarbeiten örtlich recht hoch. So bewegten sich einzelne Teilbereiche z.T. über 2 cm pro Tag. Die Gesamtstabilität der beiden Pakete war jedoch in diesem Zeitraum nicht gefährdet: Während sich der obere Teil der Felswand in der Regel um 4 - 6 mm pro Tag talwärts bewegte, lag die Geschwindigkeit am Wandfuss bei rund 2 - 3 mm pro Tag.

Stufe	Messsystem	Anzahl	Grenzwert	Messintervall	Auslösung	Auswirkung der Stufe
Warnung	Wegabnehmer System Gubler	5	0.5 mm/h	permanent	KWO	Meldung an: • Geologe • Gasser AG • Bauherrschaft
	Wegabnehmer Lokale Anlage	2	0.5 mm/h		Gasser AG	
	Drahtmessungen	5 - 9	0.5 mm/h		Gasser AG	
	Handmessungen	5 - 11	0.5 mm/h		Gasser AG	
	Lasermessungen	21	--	1 - 2 x wöchentlich	Messresultate werden berücksichtigt	
	Erschütterungsmessgerät	2	--	permanent		
Alarm	Wegabnehmer System Gubler	5	0 - 5 – 3.0 mm/h (je nach Wegabnehmer)		automatisch	• Bohrmannschaft aus Gefahrengebiet • Grimselstrasse gesperrt Meldung an: • Geologe • Bauherrschaft
	Wegabnehmer Lokale Anlage	2-3	1.0 mm/h		automatisch	
Not-Stopp	Drahtmessungen	5 - 9	Beobachtungen vor Ort		Gasser AG	
	Handmessungen	5 - 9	Beobachtungen vor Ort		Gasser AG	

Abbildung 5: Gefahrenmanagement Sommer bis Herbst 2001: Warn und Alarmdispositiv

Fazit

Für die teilweise intensive Überwachung der Messstellen auf dem labilen *Grossen Paket* war eine grosse Zuverlässigkeit des Messpersonals notwendig. Die aufgrund der Bauarbeiten immer wieder wechselnden Messstellen bedingten zudem eine gewisse Flexibilität der Sicherheitsleute der Baufirma. Die bei grösseren Geschwindigkeiten auftretenden Alarme auf der Baustelle waren mit wenigen Ausnahmen (Fehlalarme) gerechtfertigt. Das Personal begab sich innert kurzer Zeit aus dem Gefahrenbereich. Die Warn- und Alarmwerte haben

sich nach einer ersten "Einspielphase" (teilweise Anpassung der Grenzwerte) bewährt. Die dauernde Überwachung bewirkte, dass das Personal ein hohes Sicherheitsgefühl hatte.

5. Folgerungen

Ein Gefahrenmanagement bei ständig wechselnden Verhältnissen bedingte eine sehr hohe Verfügbarkeit und auch Belastbarkeit des zuständigen Geologen während 24 Stunden. Erfahrung und Vertrautheit mit dem Bewegungsverhalten der Felsmassen führten jedoch zu einer wesentlichen Erleichterung bzw. zu einer "Sicherheit" Die grosse Verantwortung auch gegenüber der Bevölkerung bzw. den Strassennutzern führte dazu, dass der Stellvertretungsfunktion eine genügende Beachtung geschenkt werden musste. Im vorliegenden Fall waren während allen Phasen immer mindestens zwei Geologen mit den Dispositiven und den Messergebnissen vertraut. Während der Phase 4 wurde ein weiterer Geologe in die permanente Überwachung einbezogen. Alle Beteiligten wurden dauernd mit den aktuellen Daten beliefert.

Von grosser Bedeutung erwiesen sich auch die Systemredundanz: Die sich z.T. überlagernden Messsystem ergaben die Möglichkeit, gegenseitige Kontrollen (z.B. bei Ausfällen von automatischen Messsystemen) vorzunehmen. Dabei erwiesen sich einfache Handmessungen als wertvoll, weil diese einerseits auch bei schlechtem Wetter durchgeführt werden konnten, anderseits auch eine Plausibilisierung durch Vergleiche mit andern Messsystemen ermöglichten. Die Begleitung durch verschiedene Geologen ergab die Möglichkeit von gegenseitigen Kontrollen bzw. von Verbesserungen bei den Überwachungsaufgaben.

6. Sprengung vom 4. Oktober 2001 (Nachtrag zur Herbsttagung der SGBF/SFIG)

Die Vorbereitungen zur Sprengung konnten bis Ende September 2001 termingemäss beendet werden. Insgesamt wurden 160 Bohrlöcher mit Längen zwischen 10 bis 95 m erstellt (gesamte Bohrlänge ca. 8'000 Bohrmeter). Die erste Etappe der vorgesehenen Abbaumenge wurde auf rund 150'000 m^3 beziffert. Die geladene Gesamtmenge an Sprengstoff betrug rund 19 Tonnen. Mit der Sprengung der 1. Etappe sollte die labile Felswand bis ca. auf Kote 1525 abgetragen werden.
Die Sprengung erfolgte wie vorgesehen am 4. Oktober 2001. Sie verlief weitgehend erfolgreich. So betrug die mittels eines Laserscanners berechnete Abtragungsmenge rund 150'000 m^3. Infolge der besonderen geologischen Strukturen widerstanden einzelne Teilbereiche der Sprengung, während andere Partien mitgerissen wurden. Das Sturzmaterial gelangte nicht bis zu der durch Dämme geschützten Grimselstrasse, so dass diese nach kurzer Zeit wieder für den Verkehr freigegeben werden konnte. Ob auch der verbleibende, untere Teil der labilen Felsmasse gesprengt werden muss, wird die Bewegungsentwicklung während des nächstens Winters und nach der Schneeschmelze im Frühling 2002 zeigen. Die Überwachung dieser Bewegungen erfolgt z.Z. ausschliesslich mittels Lasermessungen von der gegenüberliegenden Talseite. In Anschluss an die Sprengung wurden 16 weitere Laser-Messpunkte gesetzt, so dass mit den wenigen, nach der Sprengung verbliebenen Messstellen zur Zeit insgesamt 21 Überwachungspunkte bestehen.

Literaturverzeichnis

[1] GRUNER, U. & OTTIGER, R. (2001): Chronik eines anzukündigenden Felssturzes. - 13. Nat. Tag. Ing. Geol., Karlsruhe. Sonderband Geotechnik, 11-16.

[2] KELLERHALS + HAEFELI AG (1999/2000): Felssturzgefahr Chapf-Üssri Urweid: Gefahrenanalyse mit Felssturzprognosekarte. - Unveröffentlichte Berichte z.H. Tiefbauamt des Kantons Bern.

[3] OTTIGER, R., GRUNER, U. & BOLLINGER, D. (2000): Felssturzgefahr Chapf-Blattenalp (Innerkirchen, BE).- Bull Angew. Geol. 5/1, 99-104

Adresse des Autors:

Dr. Ueli Gruner
KELLERHALS + HAEFELI AG
Kapellenstrasse 22
CH-3011 Bern

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Surveillance géodésique du site de Randa
Gestion des mesures 1-D et 3-D

P. Ornstein

Surveillance géodésique du site de Randa (VS) : gestion des mesures 1-D et 3-D

Pascal Ornstein, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Michel Jaboyedoff, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Jean-Daniel Rouiller, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)

1. Préambule

Au cours du printemps 1991, le village de Randa, situé dans la vallée du Mattertal à environ 5 km en aval de Zermatt, à été le théâtre d'un des plus importants éboulements survenus en Europe au cours du 20ième siècle avec celui de Val Pola (Valtelline, Italie, 1987). Au total, près de 30 millions de m^3 de matériaux se sont écroulés en trois phases successives entre le 18 avril et le 9 mai 1991 (fig.1). Les dégâts occasionnés aux infrastructures routières et ferroviaires ainsi que ceux causés par les inondations dues à l'obstruction de la rivière Mattervispa par le cône d'éboulement se sont élevés à plus de 80 millions de francs. Sitôt après l'éboulement, un dispositif de contrôle et d'alarme a été mis en place afin d'appréhender le comportement du massif, de prévenir tout nouvel éboulement et d'assurer la sécurité des voies de communication ainsi que des travaux de déblaiement. Le système de monitoring mis en place en 1991 est toujours opérationnel et permet d'assurer depuis 10 ans une surveillance continuelle du massif du Grossgufer. Le dispositif actuel intègre un réseau de mesure géodésique, un réseau de stations extensométriques et une station météorologique. En 1999, le CREALP a entrepris l'élaboration d'une application informatique devant permettre d'assurer la gestion intégrale des données acquises dans le cadre de la surveillance du site de Randa. Au stade actuel du développement, le système permet de gérer les caractéristiques descriptives du réseau d'observation ainsi que la totalité des mesures géodésiques 1-D et 3-D effectuées depuis 1991. Les développements futurs prévoient la gestion d'informations connexes (données extensométriques, météorologiques et sismiques), l'intégration de modèles de prévisions simples et l'application à d'autres cas d'études.



Figure 1 : Vue aérienne de l'éboulement de Randa, VS
(photo : revue "Les Alpes", CAS)

2. Cadre géographique et contexte géologique

Le village de Randa se situe dans la vallée du Mattertal. Cette vallée, qui relie Visp à Zermatt, correspond du point de vue morphologique à une étroite vallée glaciaire présentant un profil transversal asymétrique caractérisé par la présence de puissantes et abruptes falaises en rive gauche de la Mattervispa. L'éboulement de 1991 est survenu à proximité immédiate du village, en rive gauche de la MatterVispa au lieu-dit Grossgufer. D'un point de vue géologique, le massif du Grossgufer appartient au soubassement cristallin de la nappe de Siviez-Mischabel [1]. La partie inférieure du massif est constituée par une série d'orthogneiss ("Augengneis von Randa") alors que la partie supérieure correspond à une série monotone de paragneiss (gneiss et micaschistes). Le contact entre ces deux unités lithologiques se situe à environ 2'000 m d'altitude et plonge de 20 à 30° vers l'Ouest.

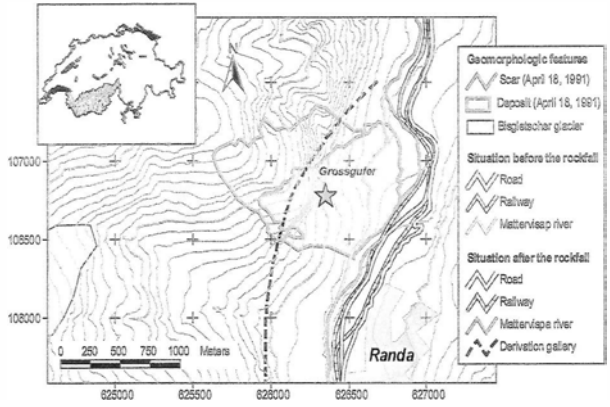


Figure 2 : situation schématique de la zone affectée par l'éboulement de Randa

3. Bref rappel des événements

L'éboulement de Randa est le résultat de trois événements consécutifs qui se déroulèrent entre le 18 avril et le 9 mai 1991 et générèrent au total un volume écroulé de près de 30 millions de m^3. La première phase de l'éboulement a affecté la partie inférieure du Grossgufer (série des "Augengneis von Randa"). Elle a obstrué le cours de la MatterVispa et a partiellement enseveli le hameau de Unterlärch et la voie de chemin de fer du BVZ (fig.2). La seconde phase qui a affecté la partie supérieure du massif (séries des paragneiss) a recouvert le reste du hameau ainsi que la voie de chemin de fer et la route cantonale sur plusieurs centaines de mètres. Cet événement a eu par ailleurs un certain nombre de conséquences collatéraies. C'est ainsi que l'obstruction de la Mattervispa par les matériaux éboulés a entraîné la formation d'un lac d'accumulation qui a partiellement inondé le village de Randa (fig. 3). Par ailleurs, les différents éboulements ont été accompagnés d'épais nuages de poussière qui se sont épanchés dans la vallée (fig. 4) formant des dépôts de plus de 15 cm d'épaisseur dans un rayon d'environ 800 m (fig. 5).



Figure 3 : Lac d'accumulation formé consécutivement au barrage de la Mattervispa par l'éboulement [2]. (Photo J.-D. Rouiller)

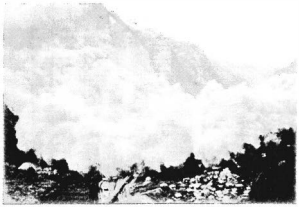


Figure 4 : Nuage de poussière consécutif à l'éboulement [2].



Figure 5 : Dépôts consécutifs à l'épanchement des nuages de poussière produits par l'éboulement [2].

4. Monitoring du site

4.1 Pendant la période active

Consécutivement au premier éboulement, un dispositif de surveillance et d'alarme a été mis en place afin d'appréhender le comportement du massif, de prévenir tout nouvel éboulement et d'assurer la sécurité des voies de communication ainsi que des travaux de déblaiement (tab. 1) [3].

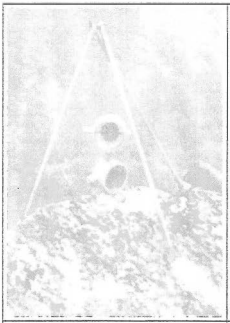
Descriptifs des systèmes	Objectifs
Prévention des éboulements de masse par détection des accélérations (dès le 22.4.1991)	
▪ **Réseau géodésique** (réflecteurs répartis sur la couronne de l'éboulement)	CONTROLE général
▪ **Stations extensométriques** (mesures d'écartement des fissures)	CONTROLE post-alarme
▪ **Réseau VIBROGUARD** (mesures sismiques)	ALARME d'évacuation
Prévention des chutes de blocs isolés (dès le début des travaux de déblaiement)	
▪ **Réseau d'observateurs** à demeure au pied de l'éboulement avec équipement d'observation et de communication.	ALARME de mise à couvert temporaire
Contrôle des conditions météorologiques sur la couronne de l'éboulement (dès l'été 1991)	
▪ **Station météorologique** avec télétransmission	CONTROLE général

Tableau 1: Dispositif de contrôle et d'alarme mis en place à l'issue de l'éboulement de Randa [3].

Ce dispositif a été réaménagé et redéployé au dessus de la nouvelle niche d'arrachement après chaque phase d'éboulement. De deux fois par jour à l'issue du premier d'éboulement, les contrôles géodésiques et extensométriques ont été progressivement ramenés à un rythme hebdomadaire puis bimensuel dans les semaines qui suivirent la phase III. Le système VIBROGUARD a par ailleurs été désactivé après l'éboulement du 9 mai 1991.

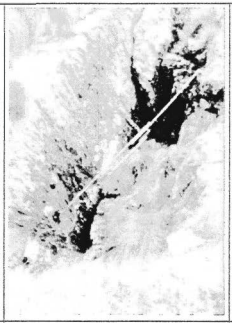
4.2 Dispositif actuel

Le dispositif actuel de surveillance est directement hérité du système de contrôle mis en place après l'éboulement de 1991. Il associe un réseau de mesures géodésiques, un réseau de mesures extensométriques (mesures automatiques et mesures manuelles sur fissures ouvertes) et une station météorologique (fig. 6).



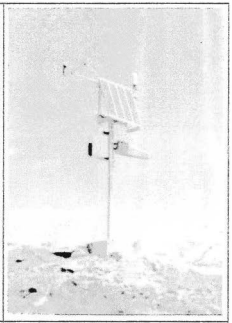
Réseau géodésique

- Appareillage de mesure : distance-mètre (EDM) infrarouge Leica DI2002 (précision 1mm+1ppm)
- Distance de visée : env. 1.3 à 2.3 km
- Réflecteurs géodésiques : 16
- Fréquence de mesure (actuelle) : Mesures 1-D : 3-4 fois par année Mesures 3-D : 2 fois par année



Réseau extensométrique

- Appareillage de mesure : Extensomètres à piston Mesures manuelles sur fissures ouvertes
- Points de mesures : Stations automatiques : 7 Mesures manuelles : 12
- Fréquence de mesure (actuelle) : Stations automatiques : 24h Mesures manuelles : annuelle



Station météorologique

- Appareillage de mesure : Station automatique avec télétransmission (hertzienne+RTC)
- Paramètres : Température de l'air Pluviométrie Humidité relative Ensoleillement Rayonnement solaire Température du sol Conductivité électrique du sol
- Fréquence de mesure (act.) : 1h.

Figure 6 : Descriptif simplifié du réseau de surveillance actuel du site de Randa

5. Gestion des mesures géodésiques

5.1 Types de mesures

La surveillance géodésique du site de Randa consiste en deux types de mesures :

- **Mesures 1-D** : Mesures de distance effectuées à partir de 2 stations fixes situées dans la vallée (fig. 7a). Ces mesures permettent d'apprécier les mouvements relatifs (rapprochement / éloignement) des différents points de contrôle. Ce type de mesures est actuellement effectué 3 fois par année, voire plus si des conditions particulières l'imposent (fortes intempéries, recrudescence des chutes de blocs, modification du réseau de mesure, etc.).

- **Mesures 3-D** : Mesures de triangulation effectuées à partir de 6 stations fixes (fig. 7b). Ces mesures permettent de déterminer pour chaque point de contrôle, l'azimut et le plongement du vecteur de déplacement qui lui est associé. Ce type de mesure est effectué deux fois par année à raison d'une campagne au printemps et une en automne.

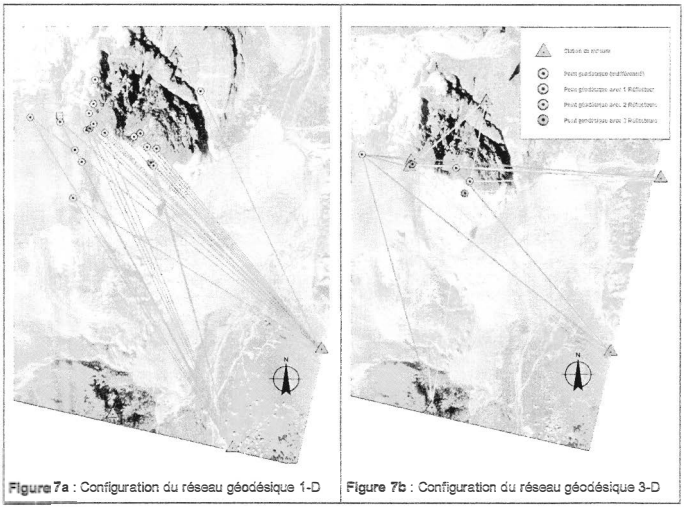


Figure 7a : Configuration du réseau géodésique 1-D

Figure 7b : Configuration du réseau géodésique 3-D

5.2 Application RandaDB

En 1999, le CREALP a entrepris le développement d'une application informatique (RandaDB) devant permettre d'assurer la gestion intégrale des mesures et des observations effectuées dans le cadre du monitoring du site de Randa. Cette application associe une base de données avec des fonctions de gestion, d'édition et d'analyse des données. Au stade actuel du développement, le système ne gère que les mesures géodésiques 1-D et 3-D. La structure de données implémentée est toutefois prévue pour permettre d'intégrer à terme les informations afférentes aux autres dispositifs de surveillance (mesures extensométriques et météorologiques). Le développement de cet applicatif est réalisé sur une plate-forme composée de l'atelier de génie logiciel Windev 5.5b et de la bibliothèque de composants géographiques MapObjects.

L'application RandaDB bénéficie d'une architecture modulaire. Elle intègre d'ores et déjà les modules suivants :

- Gestion du réseau de surveillance
- Gestion des mesures géodésiques (1-D, 3-D)
- Représentation graphique et cartographique des mesures
- Analyse statistique des déplacements

Nous fournissons ci-après un bref descriptif des fonctionnalités associées à chaque module.

5.2.1 Gestion du réseau de surveillance

Ce module est dédié à la gestion des caractéristiques descriptives du réseau de contrôle géodésique. Il permet également de gérer les modifications apportées au réseau (ajout/suppression de points). Chaque composant du réseau (stations de mesure et points géodésiques) est documenté avec les informations suivantes (fig. 8) :

- Caractéristiques administratives et techniques
- Photographies
- Carte de situation (carte active incluant des fonctions de navigation : zooms, panoramique, changement d'échelle, vue générale).

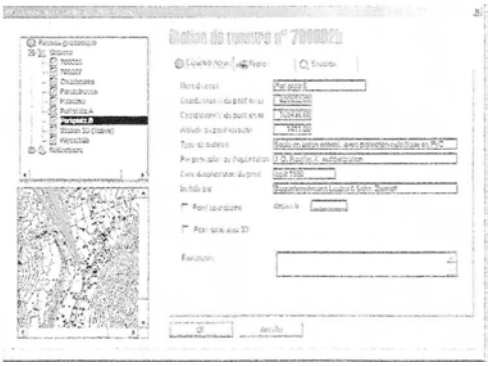


Figure 8 : Interface du module de gestion du réseau de surveillance géodésique

5.2.2 Gestion des mesures

Le module de gestion des mesures constitue le pivot du système. Ce module donne accès à tout l'historique de mesures 1-D et 3-D (fig. 9). Il intègre des fonctions d'importation, d'exportation et d'édition des données. Le système permet également de consigner dans la base de données toutes les informations connexes pouvant documenter la mesure. Ces informations, généralement très volatiles, concernent la prise de mesure (p. ex. conditions météorologiques, température, pression atmosphérique, etc.), l'environnement de mesure (p. ex. interventions volontaires ou accidentelles sur le réseau, événements particuliers, etc.) ainsi que les modifications et/ou corrections ayant pu être apportées à posteriori à la mesure. Chaque mesure stockée dans la base de données fait l'objet d'une qualification préalable. Le code affecté à la donnée indique à l'utilisateur ainsi qu'au système un état particulier de la mesure (mesure validée/non validée, mesure douteuse, mesure corrigée, mesure reconstituée, pas de mesure). Ce code de validation permet également de filtrer automatiquement les données lors de certains traitements.



Figure 9 : interface du module principal de gestion des mesures géodésiques

5.2.3 Représentation graphique des mesures

Le système offre différents modes de représentations graphiques des mesures géodésiques 1-D et 3-D. La visualisation des mesures 1-D s'effectue au travers d'un module spécifique (fig. 10). Celui-ci permet de combiner différents types de graphes :

- Déplacements relatifs à différents réflecteurs vus par la même station de mesure
- Déplacements relatifs à un même réflecteur vu par différentes stations de mesure
- Déplacements relatifs à différents réflecteurs vus par différentes stations de mesure

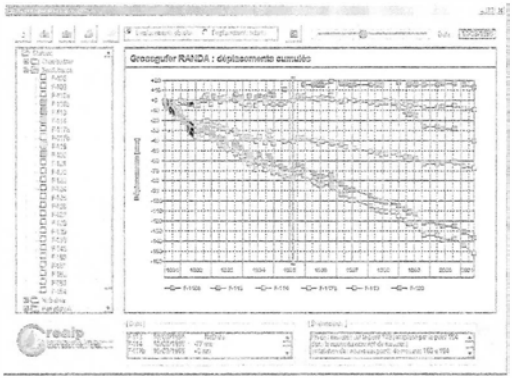


Figure 10 : module de représentation graphique des mesures géodésiques 1-D

Les déplacements peuvent être figurés en mode absolu ou relatif. Le système permet d'afficher en parallèle au graphe les informations relatives aux différents événements et/ou observations consignés dans la base de données (fig. 10). Outre les fonctions standard d'impression et d'exportation, le système offre également la possibilité de sauvegarder et de restaurer en l'état des vues graphiques prédéfinies. Les graphes ainsi stockés sont automatiquement réactualisés lors du chargement de la vue.

La visualisation des mesures 3-D s'effectue au travers de deux modes de représentations complémentaires :

- Projection en plan (fig. 11a) : dans ce type de représentation les positions spatiales (x_i,y_i,z_i) successives du réflecteur sont projetées dans les plans horizontal et vertical. Les déplacements dans chaque plan sont exprimés en valeurs relatives par rapport à une position et une altitude de référence (x_0,y_0,z_0).
- Projection stéréographique (fig. 11b) : ce type de représentation fournit la projection plane du vecteur de déplacement calculé entre la position courante d'un point et sa position de référence. Ce graphe permet de figurer pour chaque campagne de mesure l'azimut et le plongement du vecteur de déplacement associé à chaque réflecteur géodésique. Ce type de représentation permet également d'apprécier pour chaque campagne la résultante globale du mouvement.

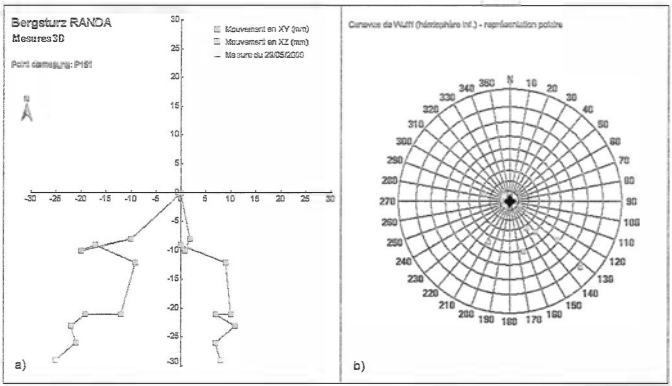


Figure 11 : Modes de représentations graphiques des mesures géodésiques 3-D disponibles dans l'application RandaDB : a) projection en plan, b) projection stéréographique.

5.2.4 Représentation cartographique des mesures

L'utilisation de la bibliothèque de composants géographiques MapObjects permet d'intégrer la dimension spatiale dans le système (fig. 12). La représentation cartographique 2-D des mouvements est réalisée au travers des fonctionnalités SIG associées à ces composants. Dans ce mode de consultation, l'accès aux informations de la base de données s'effectue au travers de cartes actives auxquelles sont associées des fonctions de navigation (zoom, panoramique, changement d'échelle), d'interrogation (identification des objets spatiaux), de symbolisation des données et de gestion des supports cartographiques (activation/désactivation des plans d'informations). Les déplacements sont figurés par un symbolisme propre à chaque type de mesures :

- Dans le cas des mesures 1-D, la représentation adoptée utilise un double symbolisme (fig. 12a) : symboles proportionnels pour exprimer la valeur du déplacement et codes de couleurs pour exprimer le mouvement relatif du point (▽ rapprochement, △ éloignement, ◇ déplacement nul).
- Dans le cas des mesures 3-D, le vecteur de déplacement calculé en chaque point est figuré par ses composantes horizontale et verticale (fig. 12b). La composante horizontale (→) donne l'azimut du mouvement. Son module est proportionnel au déplacement réel calculé dans le plan horizontal. La composante verticale (↓) exprime le mouvement dans le plan vertical. Sa norme est proportionnelle au déplacement réel calculé.

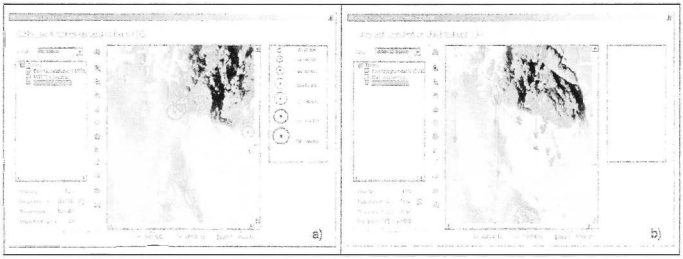


Figure 12 : Exemples de représentations cartographiques 2-D des mesures géodésiques 1-D (a) et 3-D (b).

Une fonction d'interrogation permet d'identifier de manière interactive les points de mesure directement à partir de la carte. Cette identification donne accès à un certain nombre d'informations afférentes au point sélectionné : valeur du mouvement mesuré pour la campagne courante, illustrations photographiques, graphe d'évolution des déplacements 1-D et/ou 3-D.

5.2.5 Analyses des données

Au stade actuel du développement, les outils d'analyse de données implémentées dans le système se limitent à des analyses de régression linéaires (fig. 13). La mise en œuvre de ce type d'analyse statistique poursuit différents buts : i) détection des comportements atypiques (outliers), ii) assurer la maintenance (i.e. vérification et correction) des données afin de garantir une analyse optimale des mouvements en s'affranchissant des erreurs de mesure systématiques et/ou ponctuelles iii) contrôler l'évolution des mouvements (homogénéité et variations des vitesses).

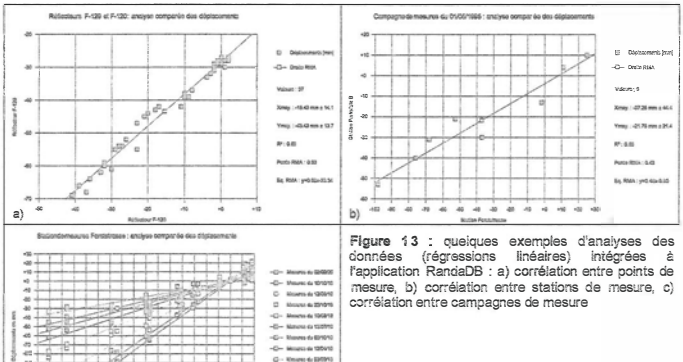


Figure 13 : quelques exemples d'analyses des données (régressions linéaires) intégrées à l'application RandaDB : a) corrélation entre points de mesure, b) corrélation entre stations de mesure, c) corrélation entre campagnes de mesure

6. Conclusions et perspectives futures

L'éboulement de Randa fournit un cas d'étude exceptionnel. Les données acquises depuis plus de 10 ans sur ce site constituent une somme de connaissances essentielle pour l'analyse du comportement du massif du Grossgufer et pour la gestion du risque associé. Toutefois, les difficultés d'interprétation des mesures géodésiques liées notamment aux conditions particulières de la prise de mesure et les coûts directs et indirects de la surveillance ont fait apparaître la nécessité de se doter d'un outil permettant i) d'assurer une meilleure gestion du monitoring (rationalisation des contrôles) ii) d'avoir un meilleur contrôle sur la qualité des mesures et observations effectuées afin de garantir une analyse optimale des données. L'application RandaDB actuellement développée par le CREALP doit permettre d'atteindre ces objectifs. Ce système permet d'assurer la maintenance de tout l'historique de mesures géodésiques. Outre des fonctions de gestion standards, il intègre des outils efficients de représentations graphiques et cartographiques des mesures géodésiques 1-D et 3-D ainsi que des fonctionnalités d'analyse des données. Une attention particulière a par ailleurs été portée à la qualification des données ainsi qu'à la gestion de toutes les informations contextuelles pouvant documenter les mesures. Cette approche doit désormais garantir la qualité et l'intégrité des données analysées. Le CREALP poursuit le développement du système. Les évolutions futures prévoient notamment :

- La gestion des données connexes (mesures extensométriques, mesures météorologiques et données sismiques)
- L'intégration de modèles de prévisions simples (extrapolation des mouvements)
- L'application à d'autres cas d'études

Bibliographie :

[1] : Bearth, P., 1964, Feuille N°1328 Randa et notice explicative, Comm. Géol. Suisse.

[2] : Naturforschende Gesellschaft Oberwallis, 1995 : Der Bergsturz von Randa 1991. Eine Dokumentation

[3] : Rouiller, J.-D., 1992 : Eboulement de Randa. Strasse und Verkehr Nr.5, 373-376

Adresse de l'auteur :

Pascal Ornstein
Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Rue de l'industrie, 45
CH-1951 Sion

Tél. +41 27 324 03 60
Fax +41 27 322 55 67
Mail pascal.ornstein@crealp.ch
Web www.crealp.ch

143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Kurzfristige Risikobeurteilung des Felssturzes von Mörel vom 01.10.2000

H. Rovina

Kurzfristige Risikobeurteilung des Felssturzes von Mörel vom 01.10.2000

Hermann Rovina, Rovina & Partner AG, Varen

Zusammenfassung (Exkursion)

Am Sonntag den 01.10.2000 ereignete sich um 06:30 im Gebiet „Z'hohen Fluehen" zwischen Brig und Mörel / VS ein Felssturz von ca. 5000 bis 9000 m^3. Die Strasse und die parallel geführte FO-Bahn wurden unterbrochen. Diese steilstehenden permischen metamorphen Konglomerate der Urserenzone verursachten in der Vergangenheit bereits mehrfach Stein- und Blockstürze

Der letzte Felssturz stammte von einer ca. 5 bis 8 m mächtigen und mehrere Dekameter hohen steilstehenden (ca. 75°) Felsplatte, die auf einer ca. 45° geneigten Kluftfläche abgeglitten ist. Eine glatte hang- und schieferungsparallele Trennfläche begünstigte das Abgleiten, Sie wies eine Öffnungsweite von mehreren Zentimetern und eine Durchdringungsweite von mehr als 30 m auf. Teilweise könnte auch ein Knicken der über 50 m hohen Platte stattgefunden haben. Der Felssturz wurde schlussendlich durch intensive Niederschläge ausgelöst.

Mittels sofort installierter elektronischer Kluftweitenmesssonden wurde unmittelbar nach den Felssturz festgestellt, dass sich noch ein ca. 2000 m3 grosses Felspaket von ähnlicher Konfiguration in Bewegung befand. Die Bewegungsgeschwindigkeiten lagen bei 0.6 bis max. 2 mm/Std. und hielten an.

Man entschloss sich zu einer sofortigen Notsprengung. Die Kantonsstrasse und die FO-Bahnlinie blieben während den Arbeiten geschlossen. In nur 4 Tagen konnten mit drei unabhängigen Geräten 350 m' Bohrungen erstellt werden. Die Sprengung konnte praktisch auf die Stunde genau 8 Tage nach dem Felssturz erfolgreich durchgeführt werden. Während den Bohrarbeiten bewegte sich das Felskompartiment ca. 6 cm talwärts.

Weitere 2.5 Tage beanspruchte die anschliessende Felsreinigung, so dass die FO-Bahn und die Kantonsstrasse (einspurig) nach 11 Tagen wieder dem Verkehr übergeben werden konnte.

Nach der Sprengung wurde der Anrissbereich mittels 9 Verschiebungsmessgebern kontinuierlich durch Fernabfrage überwacht. Die Verschiebungsbeträge betrugen im letzten halben Jahr max. 3 mm, so dass der Bauherr beschloss, nur mehr quartalsweise manuelle Messungen durchzuführen.

Die Hauptschwierigkeit des kurzfristigen Risikomanagements bestand darin, dass die Entscheidung einer sofortigen Intervention nur aufgrund von 2.5 Beobachtungstagen getroffen werden musste. Da es sich aber um ein rel. kleines und gut identifizierbares Felskompartiment handelte und die Machbarkeit einer Sprengung gut abgeschätzt werden konnte, entschloss man sich die Sicherheitssprengung ***sofort*** durchzuführen. Das Risiko einer längeren Beobachtungsdauer wollte man nicht eingehen, um dann schlussendlich in einer möglicherweise kritischeren Situation doch noch sprengen zu müssen.

Zur Zeit führt die Dienststelle für Strassen- und Flussbau eine Projektstudie zur definitiven Lösung des Problembereiches „Z'hohen Fluehen" durch.

Die Exkursion führt in den Anrissbereich des Felssturzes. Das Trennflächengefüge und die Geometrie der verbleibenden Felskompartimente lassen sich gut mit dem Felssturz und dem Felskompartiment, das gesprengt wurde, vergleichen.

Die Organisation der Baustelle und die während den Arbeiten vorgenommenen Sicherheitsvorkehrungen werden aufgezeigt. Auch lassen sich mögliche neue Linienführungen der Kantonsstrasse und der FO-Bahnlinie von oben gut diskutieren. Auf dem Abstieg nach Mörel kann das „normale" Herkunftsgebiet des Blockschlages und auch das Trennflächengefüge des Gebietes aus einer anderen Sicht beobachtet werden.