

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 116 (1998)
Heft: 42

Artikel: Risikoanalyse von Naturgefahren
Autor: Friedli, Roland / Müller, Albert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79579>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 23.02.2026

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

Teilglieder wurden anschliessend in einer Lehre absolut masshäftig zu einer ganzen Fachwerklamelle verschweisst.

Das Bohren der Löcher für die Verbindungsbolzen erfolgte gemeinsam durch das ganze Paket von sechs bis zehn Lamellen.

Elektrische Abschirmung

Zum Schutz der Obergeschosse vor Streuströmen aus der Bahnanlage wurde für die Untersicht der Deckenplatte zwischen den Fachwerken ein Verbundblech verwendet.

Stützen im Untergeschoss

Im Gegensatz zu den oberen Geschossen war das unterste Geschoss für schwere Kranwagen zugänglich. Die

Hauptstützen, über beide Stockwerke durchgehend rund 14 m lang, wurden direkt ab den Bahnwagen versetzt. Die Konstruktion besteht aus kreuzförmig verschweissten H-Profilen mit 900 mm Profilhöhe, deren Kammern nachträglich ausbetoniert wurden. Die Kopfplatte bildet das direkte Auflager für die Fachwerke des Trägerrostes. Die Auflager für die Rippendecke sind für die Einleitung der Biegemomente aus der Rahmenwirkung konstruiert. Das Montagegewicht einer Stütze betrug rund 25 Tonnen.

Adresse des Verfassers:

René Guillod, Ing. REG A/SIA, WGG Ingenieure SIA/USIC, Güterstrasse 144, Postfach, 4002 Basel

Am Bau Beteiligte

- Bauherr: PTT/I.B.O.
- Generalplaner: Projektgruppe Bahnhof Ost
- Architekt: Zwimpfer Partner Architekten, Basel
- Bauingenieure: WGG Ingenieure SIA/ASIC, Basel, Rapp AG, Basel, Zschokke AG, Aarau
- Betonarbeiten: Spani AG, Basel, Theurillat AG, Basel, Locher AG, Zürich
- Stahlbauarbeiten: Geilinger AG, Bülach, Preiswerk+Esser AG, Basel, Jakem AG, Münchwilen

Roland Friedli, Zürich, Albert Müller, Luzern

Risikoanalyse von Naturgefahren

Die Risikoanalyse von Naturgefahren kann komplex sein und verlangt von Fall zu Fall eine angepasste Methodik. Im Rahmen einer Risikoevaluation im Auftrag des Forstdiensts der SBB in einem Steinschlaggebiet am Rossberg konnte ein Vorgehen erarbeitet werden, das umfassend und flexibel genug ist, um auch für Risikoanalysen von anderen Naturgefahren (Lawinen, Überschwemmungen usw.) angewendet zu werden. Besonderes Augenmerk wurde dabei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise geschenkt.

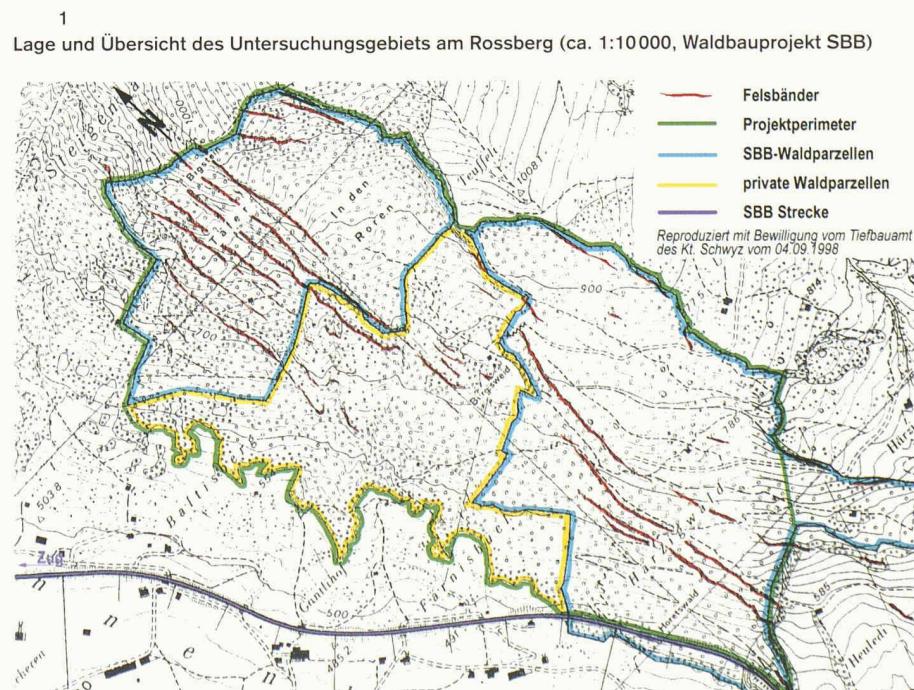
Im Fussbereich des Untersuchungsgebiets am Rossberg verläuft die SBB-Strecke Zug-Arth-Goldau, die täglich rund 70 Personenzüge (keine Gefahrgütertransporte) passieren. Das Trassee ist durch Steinschlag aus instabilen Felsbändern an der Nordwestflanke des Rossbergs bedroht. Das Blocksturzgeschehen zeichnet die Oberfläche der vorhandenen Weiden: zonenweise finden sich zahlreiche Nagelfluh-Felsbrocken. Im vergangenen Jahrhundert kam es hier insgesamt neunmal bedingt durch Steinschlag, Rutschungen und Blocksturz zu Unterbrüchen des Bahnverkehrs. Von einem Grossereignis wurde der Streckenabschnitt bislang verschont. Südlich des hier betrachteten Streckenabschnitts erinnern grosse Felsbrocken in

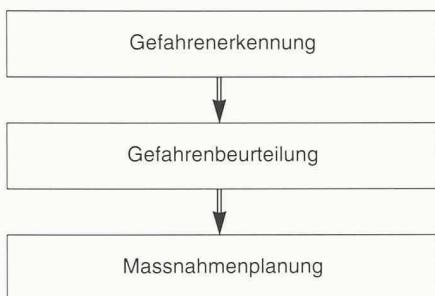
mittler der Häuser von Arth-Goldau an den Goldauer Bergsturz, der 1806 am Rossberg niederging.

Methode der Analyse

Zur Ermittlung der Risiken im Untersuchungsgebiet wurde in Zusammenarbeit

mit dem Institut für Geologie der Universität Mailand eine ganzheitliche Methode entwickelt, die es erlaubt, die relevanten Gefahren zu erkennen, die Steinschlagrisiken zu quantifizieren und geeignete Massnahmen zur Sicherung des Bahnverkehrs zu finden. Ganzheitlich soll hier bedeuten, dass nebst den physikalischen Gegebenheiten (Topographie, Geologie, Kinematik des Steinschlags, Terrainbeschaffenheit) auch die Auswirkungen des Steinschlags auf den Bahnverkehr in der Risikoevaluation berücksichtigt werden. Er-





2 Schrittweises Vorgehen zur Erfassung und Umsetzung von Naturgefahren [1]

reicht wurde dieses Ziel dadurch, dass die klassischen Instrumente der Risikoanalyse durch Arbeitselemente aus der Systemanalyse, des Mediationsverfahrens «Delphi» sowie durch Computersimulationen ergänzt wurden. Im folgenden wird das Vorgehen kurz erläutert und die Spezialitäten der Methode anhand des Steinschlaggebiets am Rossberg aufgezeigt.

Die Arbeit wird entsprechend dem Vorschlag des Buwal [1] in drei Arbeitsschritte gegliedert (Bild 2).

Gefahrenerkennung

Wichtiger Ausgangspunkt ist die Gefahrenerkennung. Erst wenn die relevanten Gefahren im Untersuchungsgebiet beobachtet und erkannt sind, können deren Folgen auf die Sicherheit des Bahnbetriebs ermittelt werden. Begehungen des Geländes zeigen Gefahrenbereiche auf und lassen ungünstige Geländetopographien (steile Böschungen und Couloirs) mit Einfluss auf die Reichweite von stürzenden Blöcken und Anzeichen von vergangenen Bergsturzereignissen erkennen. Gleichzeitig ist auch eine Bestandesaufnahme der Schutzwirkung des Walds angezeigt und lassen sich Eigenschaften des Bodens wie z.B. Dämpfung und Rauhigkeit festhalten. Ergänzt werden obige Beobachtungen durch die Statistik vergangener Ereignisse, geotechnische Stabilitätsanalysen und das Erkennen von Geländeänderungen mittels sequenzieller Luftbilder.

Bild der Gefahren

Die gesammelten Erkenntnisse lassen sich zu einem Bild der Gefahren zusammenfügen. Am Rossberg stellte sich heraus, dass der auslösende Mechanismus, der zum eigentlichen Steinschlag führt, die

Rückerosion von weichen Mergelbändern ist. Das nachfolgende Abkippen von Gesteinsblöcken wird durch das vorherrschende Kluftsystem und durch Spaltenfrost begünstigt.

Die Absturzbahn eines Felsblocks und deren Reichweite werden durch eine Vielzahl von Gegebenheiten beeinflusst: Steilheit des Hangs, Dichte und Qualität der Schutzwirkung des Walds, Dämpfung des Bodens, Topographie (Couloirs), Form des Blocks usw. Die Parameter, die den Blocksturz beeinflussen, sind somit bekannt. Die Frage, wie sie das Risiko bezüglich dem Bahnbetrieb beeinflussen, soll im nächsten Arbeitsschritt, der Gefahrenbeurteilung beantwortet werden.

Gefahrenbeurteilung

Grundlage der Gefahrenbeurteilung sind die Erkenntnisse aus der Gefahrenerkennung und der Erfassung der Parameter. Gefahren und Parameter sind zu strukturieren. Dies erfolgt anhand einer Interaktionsmatrix, die eine Quantifizierung der Gefahren und deren Beitrag zum Risiko erlaubt.

Risikodefinition

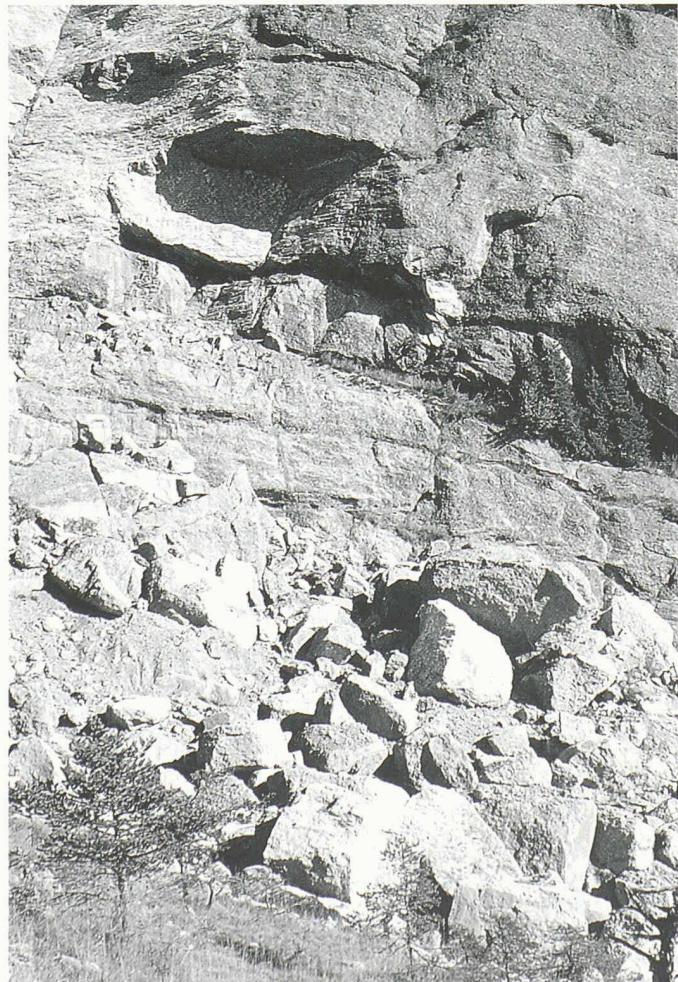
Die gängige Risikodefinition, die Ausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit sowie Risikoaversion verknüpft, wird erweitert, indem das Ausmass in das Produkt aus Gefahrenpotential und Empfindlichkeit zerlegt wird:

$$\text{Risiko} = \text{GP} \cdot \text{E} \cdot \text{W} \quad \text{mit:}$$

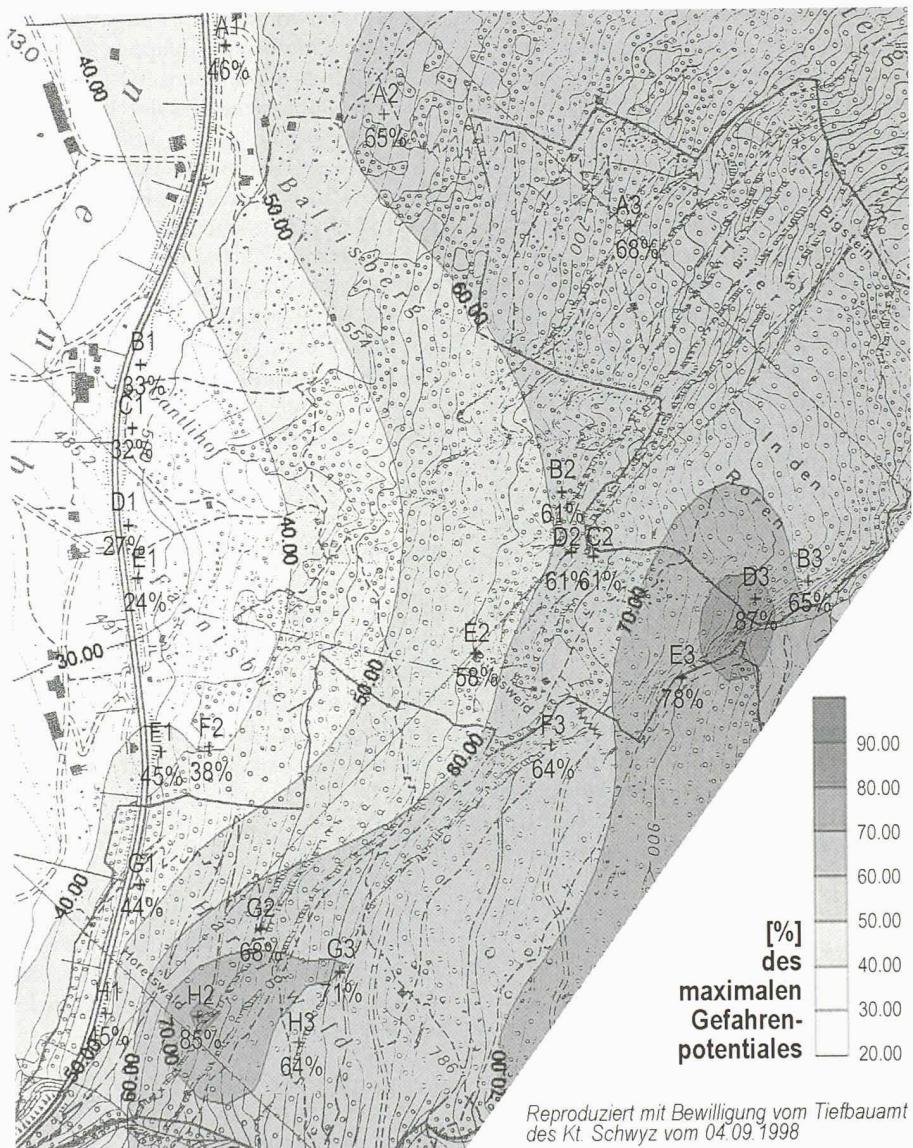
GP	Gefahrenpotential
E	Empfindlichkeit
W	Eintretenswahrscheinlichkeit

Das Gefahrenpotential gibt das Mass an, mit dem sich eine Gefahr manifestieren kann. Es wird in Prozent des maximal möglichen Gefahrenpotentials, das bei einem Grossereignis erreicht würde, angegeben. Dabei sollte man sich stets vor Augen halten, dass der Begriff der Gefahr noch keinen Bezug zum Schutzwert (hier die Bahn) herstellt. Die Qualität des Schutzwertes wird mit der Empfindlichkeit gemessen. Je verletzlicher oder je anfälliger die Bahn auf einem bestimmten Streckenteil ist, um so grösser wird die zugewiesene Empfindlichkeit.

Auf Grund der Begehung des Untersuchungsgebiets wird z.B. einer Steilstufe mit lichtem Wald, nahe einem zerklüfteten und instabilen Felsband ein hohes Gefahrenpotential zugeordnet. Ein unübersichtlicher Streckenabschnitt, der mit einer hohen Geschwindigkeit befahren wird, steile Entgleisungspfade und kostspielige bahntechnische Installationen aufweist, zeigt entsprechend hohe Empfindlichkeit.



3 Frische Ausbrüche von Gestein. Deutlich sichtbar sind die zwei vorherrschenden vertikal einfallenden Kluftsysteme und die horizontal verlaufenden Mergelbänder



4

Das Gefahrenpotential ist unmittelbar an den exponierten Felsbändern am grössten. Mit zunehmender Distanz, aber auch bei guter Schutzfunktion des Walds, flachem Gelände, dämpfendem Boden usw. nimmt das Gefahrenpotential ab

Interaktionsmatrix

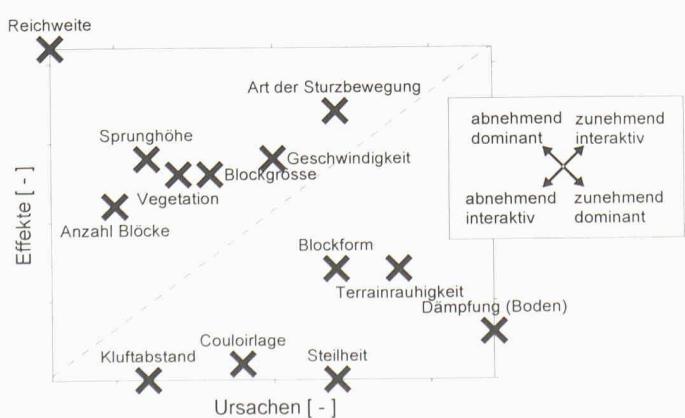
Obige Überlegungen zeigen, dass sowohl Gefahrenpotential als auch Empfindlichkeit von unterschiedlichen Parametern abhängen und beeinflusst werden. Bei näherer Betrachtung stellt sich heraus, dass diese Parameter zahlreich und deren Interaktionen nur schwer überschaubar sind. Hier kann eine Methode, die ursprünglich aus der Systemtheorie stammt, die Zusammenhänge ordnen. Es werden wichtigeren von unwichtigeren, aktiveren von weniger aktiven Parametern unterschieden. Dazu bedient sich die Methode einer Interaktionsmatrix, die sämtliche Parameter einander gegenüberstellt. Das Resultat der Matrix ist ein Mass für den Einfluss jedes Parameters innerhalb des gesamten Systems «Blocksturz» und wird hier als Interaktivität bezeichnet. Die Achse der «Ursachen» gibt an, wie stark ein Parameter das System beeinflusst (Bild 5). Umgekehrt messen die «Effekte» die Auswirkungen des Systems auf die Parameter. Als Beispiel sei der Parameter «Reichweite» erläutert. Er besitzt den höchsten aller Werte auf der «Effekte»-Skala, d.h., er wird von allen Parametern am stärksten durch das System beeinflusst (eine runde Blockform, eine geringe Dämpfung des Bodens, eine steile Flanke begünstigen allesamt eine hohe Reichweite des Blocksturzes). Die Tatsache, dass sein Wert auf der Ursachen-Skala bei Null liegt, bringt zum Ausdruck, dass die Reichweite keinen Einfluss auf andere Parameter ausübt (z.B. beeinflusst die Reichweite weder die Blockform, noch die Terrainrauhigkeit).

Mediationsverfahren «Delphi»

Der Arbeitsprozess zur Ermittlung der Interaktivitäten wurde in Form eines Delphi organisiert, einem Mediationsverfahren. Ein Delphi kann als strukturierte Form einer Konsensfindung von Personen aus unterschiedlichen Interessensbereichen bezeichnet werden. Der Konsens muss von allen Beteiligten akzeptiert werden und darf deshalb nicht einfach einer Mittelwertbildung gleichkommen. Die Beteiligten waren Personen des Forstdiensts der SBB, Ingenieure und Naturwissenschaftler.

Quantifizierung des Gefahrenpotentials

Mit dem Wissen der Interaktivität der Parameter sind die physikalischen Bedingungen und die Prozesse, die in einem Blocksturz von Relevanz sind, charakterisiert. Die ermittelten Interaktivitäten gelten jedoch ganz allgemein für jeden beliebigen Blocksturzvorgang und geben noch keine Informationen zum Untersuchungsgebiet Rossberg. Will man die vorherrschenden Verhältnisse am Hang erfassen, müssen die gefundenen Parameter erst



noch quantifiziert werden. Innerhalb von definierten Grenzen, die das Bagatell- bis hin zum Grossereignis umfassen, wird im Feld an einzelnen Analysepunkten entlang ausgewählter Sturztrajektorien die Quantifizierung für jeden Parameter vorgenommen. Gewisse Parameter, wie z.B. Geschwindigkeit des fallenden Steins, seine Reichweite und die Sprunghöhe lassen sich nicht im Feld quantifizieren, sondern werden durch eine Simulation berechnet. Dazu dient ein Blocksturzprogramm, das entlang definierter Sturztrajektorien obige Parameter berechnet. Das so berechnete Gefahrenpotential lässt sich zwischen zwei Analysepunkten interpolieren und die resultierende Gefahrenpotential-Fläche (Bild 4 sowie oberste Ebene in Bild 6) als Isolnien darstellen.

Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit ändert nur entlang der Bahnlinie und hat im Gegensatz zum Gefahrenpotential nur eine eindimensionale Ausbreitung (mittlere Ebene, Bild 6). Am Rossberg ergab sich die grösste Empfindlichkeit entlang des Streckenabschnitts bei einem älteren, bewohnten Bahnwärterhaus. Gründe dafür sind die hohen potentiellen Personen- und Sachschäden, eine schlechte Übersichtlichkeit wegen der engen Kurvenradien, steile Entgleisungswege und schlechte Zugänglichkeit für Rettungspersonal.

Eintretenswahrscheinlichkeit

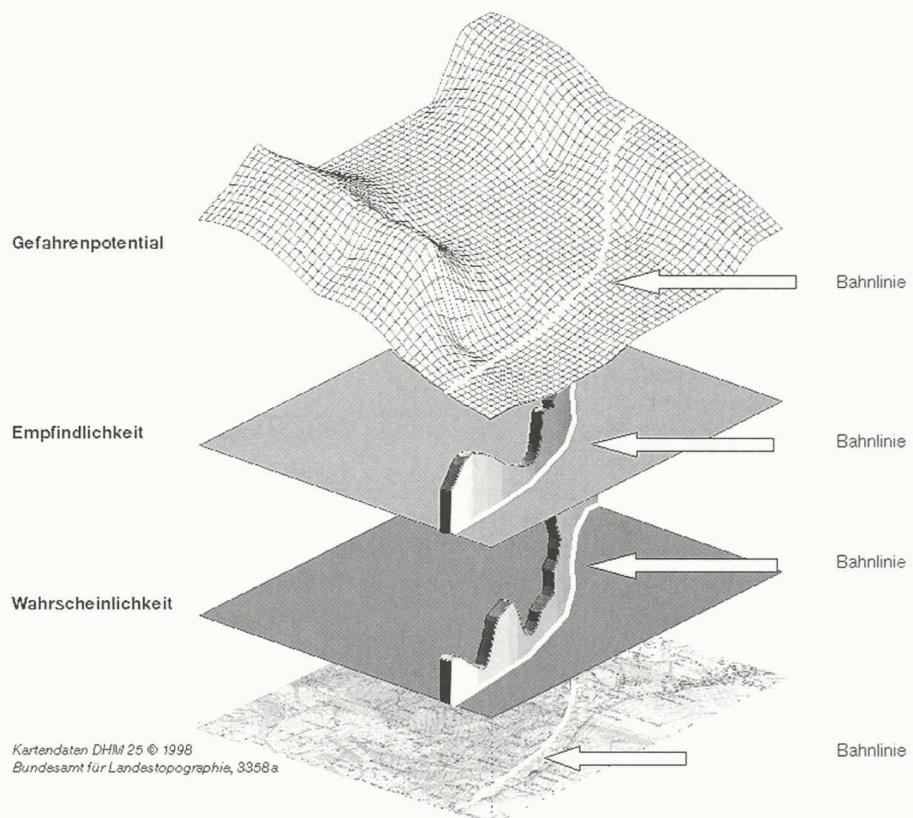
Die dritte und unterste Ebene in Bild 6 wird durch die Eintretenswahrscheinlichkeit definiert. Berechnen lässt sie sich aus der Statistik. Die Befragung von Anwohnern zeigte, dass eine Auswertung von Alter und Anzahl der Blöcke aus vergangenen Bergsturzereignissen nicht schlüssig ist, da diese öfters zwecks Freilegen der Weiden gesprengt und entfernt werden.

Risiko

Die Multiplikation der drei Größen „Gefahrenpotential“, „Empfindlichkeit“ und „Eintretenswahrscheinlichkeit“ ergibt schliesslich das Risiko und wird in % des maximal möglichen Risikos des Untersuchungsgebiets aufgetragen. Die Einheiten sind vorerst nur für Vergleiche mit anderen Untersuchungsgebieten, in denen dieselbe Methode zur Anwendung kommt, von Interesse. Sollen die Resultate mit gängigen Methoden verglichen werden, ist eine Umrechnung notwendig.

Massnahmen

Die in der Interaktionsmatrix quantifizierbaren Interaktivitäten erlauben es, die optimalen Ansatzpunkte für effiziente Massnahmen rasch zu finden. Hat ein Pa-

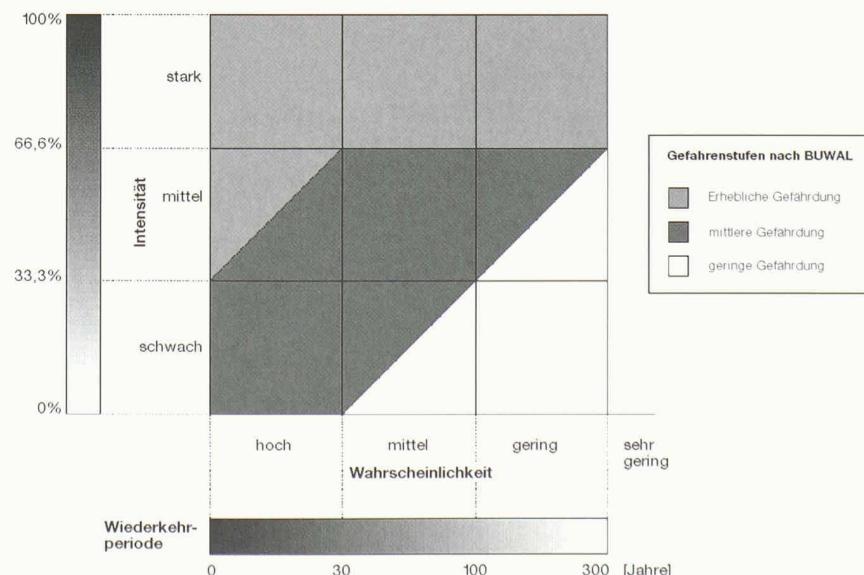


6 Risikomodell. Während das Gefahrenpotential eine Fläche darstellt, verlaufen die Empfindlichkeit sowie die Eintretenswahrscheinlichkeit entlang der Bahnlinie (eindimensional).

7

Umrechnung zwischen den Resultaten der diskutierten Methode (Balken) und der Bewertung der Naturgefahren wie sie in [1] vom Buwal vorgeschlagen wird (Quadrat)

Gefahrenpotential + Empfindlichkeit



rameter eine hohe Interaktivität, werden Massnahmen, die diesen Parameter beeinflussen, eine hohe Auswirkung auf das System zeigen. Damit ist gewährleistet, dass für einen bestimmten Aufwand die maximale Wirkung gefunden wird. Parallel dazu sind wirtschaftliche Aspekte zu betrachten.

Soll die kostenwirksamste Massnahme gefunden werden, eignet sich der Vergleich von Investitionen der Massnahmen zur Risikoverminderung mit den Grenzkosten, die der Auftraggeber generell zur Risikoverminderung aufbringen will [4].

In der Abbruchzone zeigte sich, dass Begehung durch Forstpersonal - kombiniert mit einer Überwachung kritischer Klüfte - die kosteneffizienteste Massnahme zur Risikoreduktion bieten. Im Hangbereich soll durch die Instandhaltung der Rückhaltefähigkeit des Walds die Sicherheit der Bahn gewährleistet werden.

Vergleich mit anderen Methoden

Das Risiko wird wie oben erwähnt, in Prozentpunkten des maximal möglichen Risikos angegeben. Diese Größe ist einerseits geeignet, um lokal, d.h. innerhalb des Untersuchungsgebiets, die gefährlichsten Stellen zu finden. Andererseits kann diese Größe noch nicht mit gängigen Risikoeinheiten, wie z.B. «Anzahl Todesopfer» oder «Sachschaden» verglichen werden.

Im folgenden wird der Versuch aufgezeigt, die Methode auf das Gefahrenstufen-Diagramm umzurechnen, das in den Empfehlungen des Buwal [1] angewandt wird.

Wiederkehrperiode und Intensität definieren eindeutig eine Gefahrenstufe. Unter der Annahme, dass die oberste Grenze der Intensität wie sie vom Buwal verwendet wird, dem Maximum des Produkts aus Empfindlichkeit und Gefahrenpotential entspricht, lassen sich die berechneten Werte den vorgeschlagenen Stufen wie in Bild 7 gezeigt zuordnen. Die Umrechnung der Wahrscheinlichkeit erfolgt entsprechend anhand der Wiederkehrperiode.

Schlussfolgerungen

Die geschilderte Methode bietet ein ganzheitliches Vorgehen bei Risikoanalysen in Blocksturzgebieten. Die Kerngedanken wie z.B. die Einflussmatrix sowie die Konsensfindung mittels eines Delphi lassen sich ohne Probleme auf Analysen von anderen Naturgefahren übertragen. Damit sollte auch gewährleistet sein, dass die komplexen Zusammenhänge, mit denen bei Naturgefahren zu rechnen ist, durchschaubar werden und sich in einer Risikoanalyse quantifizieren lassen. Zudem wird mit dem Vorgehen das Wissen aus verschiedenen Interessensgruppen genutzt und damit eine Minimierung von Fehlentscheidungen gewährleistet.

Adresse der Verfasser:

Roland Friedli, dipl. Natw. ETH, Umweltnaturwissenschaftler, Friedli Geotechnik AG, Färberstrasse 31, 8008 Zürich, Albert Müller, dipl. ForstIng. ETH, SBB KD 2, Bügenstrasse 1, 6005 Luzern

Literatur

[1] Buwal (Hrsg.): Naturgefahren. Empfehlungen. Berücksichtigungen der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, 1997

[2]

Canceli A., Crosta G.: Hazard and risk assessment in rockfall prone areas. Risk and reliability in ground engineering, Proceedings of the conference organised by the Institution of Civil Engineers. Thomas Telford, 1994

[3]

Hudson J.: Rock Engineering Systems. Ellis Horwood Limited, 1992

[4]

Troxler Ch., Guenter R., Bohnenblust H.: Schutz vor Naturgefahren. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 39, 1989