Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107 (1989)
Heft: 39

Artikel: Schutz vor Naturgefahren
Autor: Troxler, Christoph / Guenter, Rudolf / Bohnenblust, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77171

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: 03.07.2025

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

Sicherheit und Risiko

Schutz vor Naturgefahren

Der Schutz vor Naturgefahren wie Lawinenverbauungen und dergleichen mehr beansprucht immer mehr Mittel. Damit stellt sich immer eindringlicher die Frage, ob diese Mittel so effizient als möglich eingesetzt werden. Wertvolle Entscheidungsgrundlagen ergeben sich hier aus der Anwendung eines Risikokonzeptes, wie eine im Rahmen der SANASILVA-Arbeiten durchgeführte Fallstudie zeigt.

VON CHRISTOPH TROXLER, ZOLLIKON, RUDOLF GUENTER, BIRMENSDORF UND HANS BOHNENBLUST, ZOLLIKON

Schon immer war es ein Anliegen der Bergbevölkerung, Siedlungen und Verkehrswege vor Naturgefahren zu schützen. Dabei hatte stets der Wald eine wichtige Funktion, da er die Gefahr von Lawinen, Steinschlag und Hochwasser verringern kann. Mit der Zunahme der Waldschäden, aber auch der anhaltenden Ausdehnung der Siedlungen und Verkehrswege steigt die Bedrohung durch Naturgefahren. Zurzeit werden grosse Anstrengungen unternommen, um dieser Entwicklung entgegenzuwirken. So unterstützt der Bund beispielsweise Massnahmen zur Walderhaltung und leistet Beiträge an Aufforstungen und Verbauungen in lawinen-, steinschlag- und hochwassergefährdeten Gebieten.

Um die Bevölkerung schnell und optimal zu schützen, ohne dass die aufgewendeten Mittel ins Uferlose wachsen, muss auf die Ökonomie der Massnahmen besonderes Gewicht gelegt werden. Dabei darf nicht vergessen werden, dass unsere Mittel insgesamt beschränkt sind. Mit Vorteil erfolgt die Planung von Sicherheitsmassnahmen daher nach den Grundsätzen des Risikokonzeptes: In diesem Rahmen werden verschiedenste Massnahmen, wie Waldpflegemassnahmen oder bauliche Massnahmen, mit Hilfe einer systematischen Risiko-Betrachtung und anhand von Kosten/Nutzen-Überlegungen konsequent beurteilt.

Der vorliegende Artikel erläutert das Vorgehen am Beispiel der Fallstudie «Naxbergwald Göschenen/Wassen». Er basiert auf den Arbeiten, die im Rahmen des SANASILVA-Teilprogramms 8 «Fallstudien zur Erhaltung gefährdeter Gebirgsschutzwälder» von 1984 bis 1987 durchgeführt wurden [1, 2].

Konzept des Vorgehens

Die Beurteilung der Naturgefahren und die Planung entsprechender Massnahmen basieren hier auf einem systematischen Sicherheitsmodell. Dieses Sicherheitsmodell ist nicht auf die Beurteilung von Naturgefahren beschränkt, sondern in verschiedenen Bereichen anwendbar. Es wurde im Verlauf der letzten zwanzig Jahre entwickelt. Anwendungsgebiete sind beispielsweise die Verkehrssicherheit auf Strasse und Schiene sowie die Fabrikation, der Transport und die Lagerung gefährlicher Güter in verschiedenen Industriezweigen.

Hintergründe und konkrete Anwendungen dieses Konzepts sind in der Fachliteratur beschrieben [3–5]. Hier seien deshalb lediglich die wichtigsten Grundsätze angedeutet:

Technische Sachverhalte und gesellschaftliche Wertvorstellungen

Jedes Sicherheitsproblem beinhaltet sowohl technisch-wissenschaftliche Fragestellungen als auch Werturteile. Die *Risikoanalyse* beantwortet die Frage «Was kann passieren?» Im Kern zeigt sie also auf, wie gross die Risiken eines betrachteten Systems sind. In der *Risikobewertung* hingegen wird die Akzeptanz von Risiken angesprochen. Hier ist die Frage «Was darf passieren?» zu beantworten; somit werden auch gesellschaftliche Wertvorstellungen diskutiert.

Nachvollziehbarkeit

Risikoanalyse und Risikobewertung basieren auf quantitativen Modellen. Durch die zahlenmässige Darlegung aller Parameter werden die einzelnen Arbeitsschritte sichtbar und können bei einer Überprüfung nachvollzogen und allenfalls ergänzt, verbessert und angepasst werden. Der Begriff «quantitativ» ist hier nicht im Sinne von numerisch genauer Berechnung zu verstehen – vielmehr erlaubt ein quantitatives Modell, das vorhandene Wissen präzise auszudrücken und damit in eine offenliegende, rational diskutierbare Form zu bringen.

Standpunkte

Sicherheit ist keine eindeutig definierbare Grösse, sondern eine Frage des Standpunktes. Für eine Einzelperson ist primär die eigene Gefährdung massgebend, also das sogenannte individuelle Risiko. Für die Allgemeinheit stehen die Gesamtschäden und damit das kollektive Risiko im Vordergrund. Ein wichtiger Aspekt für die Allgemeinheit und vor allem auch für den verantwortlichen Betreiber eines Systems ist zudem die Möglichkeit von Katastrophenereignissen. Sie können in der Öffentlichkeit sehr grosse Reaktionen hervorrufen.

Bei Sicherheitserwägungen ist es wesentlich, dass diese Standpunkte auseinandergehalten werden und dass man sich mit dem Phänomen der Katastrophenunfälle gesondert auseinandersetzt.

Vergleichbarkeit von Massnahmen

Bei einer umfassenden Massnahmenplanung müssen verschiedenste Arten von Massnahmen miteinander verglichen werden. Dabei sind bautechnische Massnahmen (Galerien, Lawinenstützverbauungen usw.), forstliche Massnahmen (Waldpflege, Aufforstungen) und organisatorisch-planerische Massnahmen (Alarmorganisation, Strassensperren, Zonenpläne) einander gegenüberzustellen. Diese Massnahmen wirken auf verschiedene Arten: Die einen verhindern Ereignisse, andere reduzieren die Schäden im Ereignisfall. Es ist daher erforderlich, einen einheitlichen Beurteilungsmassstab zu definieren; dies erfolgt in Form von Risikowerten.

Sicherheitskriterien für den Massnahmenentscheid

Für den Massnahmenentscheid werden sowohl für das *individuelle* als auch für das *kollektive* Risiko Sicherheitskriterien definiert.

Aus der Sicht des Individuums dürfen die Risiken einer Aktivität gewisse *Grenzwerte* nicht übersteigen. Werden diese Grenzwerte überschritten, sind die Risiken durch zusätzliche Massnahmen auf ein akzeptierbares Mass zu reduzieren.

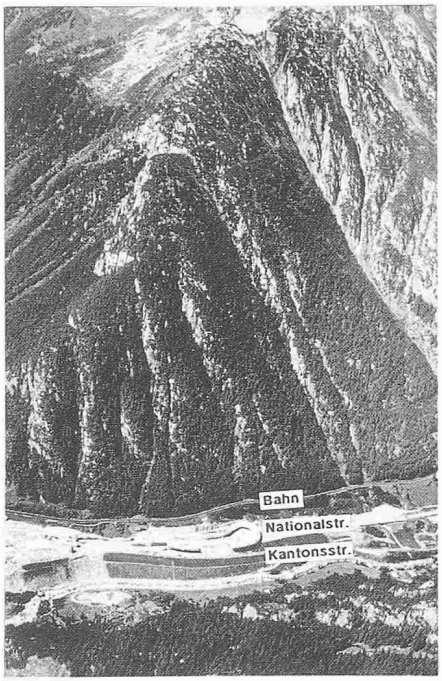

Bild 1. Der Naxbergwald schützt das Bahntrassee der Gotthard-Nordrampe, die Nationalstrasse und die Kantonsstrasse zwischen Wassen und Göschenen vor Lawinen

Die Allgemeinheit bzw. der verantwortliche Betreiber eines Systems ist darüber hinaus bestrebt, die Gesamtschäden und damit das kollektive Risiko zu minimieren. Für die verfügbaren Mittel sollen die Risiken so klein wie möglich gehalten werden. Die Festlegung von Grenzwerten für das kollektive Risiko ist nicht zweckmässig. Vielmehr ist, wie später noch erläutert wird, die Massnahmenplanung auf Kosten/Nutzen-Überlegungen abzustellen. Der Massnahmenentscheid ist dann abhängig von der Festlegung der sogenannten *Grenzkosten*, d.h. vom maximalen Betrag, der zur Reduktion einer Risikoeinheit ausgegeben werden soll.

Im weiteren ist das Phänomen der Katastrophenunfälle zu berücksichtigen. Dies geschieht durch die Einführung von sogenannten *Risikoaversionsfaktoren*. Danach werden Grossunfälle überproportional stark gewichtet.

Für den Massnahmenentscheid werden damit drei Kriterien angewendet: (1) Grenzwerte für die Begrenzung des individuellen Risikos, (2) ein Kosten/Nutzen-Kriterium in Form der Grenzkosten für das kollektive Risiko und (3) Aversionsfaktoren für die überproportionale Gewichtung von Grossunfällen.

Untersuchungsgebiet

Der Naxbergwald liegt an der linken Flanke des Reusstals nördlich von Göschenen. Die Höhenlage erstreckt sich von 1000 bis 2100 m ü.M. Viele Felsbänder durchziehen den Hang, die mittlere Hangneigung beträgt 85%. Insgesamt sind im Projektgebiet elf Lawinenzüge auszumachen, welche die Bahn, die Nationalstrasse und die Kantonsstrasse gefährden (Bild 1).

Auf der Gotthard-Nordrampe verkehrt heute im Durchschnitt alle 7 Minuten ein Zug. In diesem Jahrhundert wurde das Bahntrassee insgesamt 18 Mal verschüttet, weitere 16 Mal kamen Lawinen nahe ans Gleis. Nur im Jahre 1907 fuhr ein Zug einmal auf eine Lawine auf. Verletzte oder gar Todesopfer waren bis jetzt nicht zu beklagen.

Die Verkehrsfrequenzen auf der Nationalstrasse haben seit der Eröffnung des Gotthardtunnels im Jahr 1980 um rund 70% zugenommen. In den lawinengefährlichen Wintermonaten Januar bis April erhöhte sich die Frequenz um 85% von durchschnittlich 5200 Fahrzeugen pro Tag im Jahr 1981 auf 9600 im Jahr 1987. Seit der Eröffnung des Gotthardtunnels haben keine Lawinen aus dem Naxbergwald die N2 verschüttet.

In den letzten Jahren traten Lawinen nur in den schwach bewaldeten Runsensohlen auf. Eine Auflichtung und Destabilisierung der Waldbestände an den Runseneinhängen und in den Einzugsgebieten würde sowohl die Häufigkeit als auch das Ausmass von Schadenereignissen erhöhen. Zudem könnten neue Anrissgebiete zwischen bereits bestehenden Runsen im Wald entstehen.

Sicherheitsplanung Naxbergwald Göschenen/Wassen

Risikoanalyse

In der Risikoanalyse werden Grösse und Zusammensetzung der mutmasslichen Risiken ermittelt. Im wesentlichen werden dabei die *Eintretenswahrscheinlichkeit* und das *Schadenausmass* möglicher Ereignisse abgeschätzt.

Zunächst wurde die Lawinentätigkeit im Untersuchungsgebiet beurteilt. Im einzelnen war zu untersuchen, an welchen Stellen und mit welcher Wahrscheinlichkeit die Bahn, die Nationalstrasse und die Kantonsstrasse durch Lawinen verschüttet werden. Ausgangspunkt für die Beurteilung bildete die Situation von 1985 mit den dazumal vorhandenen Sicherheitsmassnahmen. Die Abschätzung der Lawinentätigkeit erfolgte aufgrund des Lawinenkatasterplans [6], der Lawinengefahrenkarte [7], den bis heute beobachteten Gleisverschüttungen sowie verschiedenen Gutachten des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung [8]. Aufgrund der Literaturangaben und verschiedener theoretischer Überlegungen wurde davon ausgegangen, dass in den nächsten zwanzig Jahren das Bahntrassee etwa sechsmal und die Nationalstrasse rund einmal durch Lawinen verschüttet werden.

Danach wurde das Unfallgeschehen mit Hilfe von Ereignisabläufen detaillierter strukturiert. Bild 2 illustriert die Struktur der Ereignisabläufe am Beispiel der Zugunfälle. Es können drei Schritte unterschieden werden, (1) die gefährliche Situation, (2) das Schadenereignis und (3) das Schadenausmass. Eine gefährliche Situation entsteht, wenn eine Lawine das Gleis verschüttet und die Bahnstrecke nicht zuvor gesperrt wurde. Dabei können grundsätzlich vier Schadenereignisse unterschieden werden.

- Ein durchfahrender Zug wird von der Lawine erfasst, was in der Regel eine Entgleisung zur Folge hat.
- Die Lawine zerreisst die Fahrleitung; Züge im Gefahrenbereich halten automatisch an. Ist die Distanz zwischen Zug und Lawine kleiner als die Anhaltestrecke, fährt der Zug in den Lawinenkegel.
- Der Lokführer wird über Alarmanlagen, wie beispielsweise Blitzleuchten entlang der Gleise, oder durch Signale gewarnt. Je nach Distanz des Zuges bis zur Lawine kann der Zug mit einer Notbremsung vor dem Lawinenkegel angehalten werden.
- Der Lokführer wird nicht gewarnt. Die Notbremsung kann erst eingeleitet werden, wenn der Lokführer den Lawinenkegel erkennt.

Fährt der Zug in den Lawinenkegel, ist zu unterscheiden, ob es zu einer Entgleisung kommt oder nicht. Solche Ereignisabläufe erlauben eine verfeinerte Risikoabschätzung und eine gezielte Massnahmenplanung, bei welcher vor allem die Wirksamkeit verschiedener Massnahmen aufgezeigt werden kann. Sie zwingen ferner, alle Aspekte des Unfallgeschehens systematisch zu erfassen.

Für die Risikoermittlung wurde der Ereignisablauf zahlenmässig beurteilt. Aus den oben aufgeführten Überlegungen zur Lawinenhäufigkeit ergab sich, dass die Wahrscheinlichkeit einer Gleisverschüttung w = 0,28 pro Jahr beträgt, d.h. durchschnittlich alle drei bis vier Jahre mit der Verschüttung des Bahntrassees zu rechnen ist (Bild 2). Im weiteren waren die Eintretenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Äste des Ereignisablaufs zu bestimmen. Diese Abschätzungen erfolgten aufgrund von Angaben der Betriebsabteilung und aufgrund von Gesprächen mit dem Bahndienst der Kreisdirektion II der SBB.

Schadenausmass	Personenschäden (Todesopfer)	Sachschäden (Fr.)
sehr klein	0	20 000
klein	0	100 000
mittel	1	500 000
gross	10	2 000 000
sehr gross	100	10 000 000

Tabelle 1. Quantitative Beschreibung des Schadenausmasses bei Zugunfällen

Anschliessend wurde auch die Grösse des Schadenausmasses zahlenmässig abgeschätzt (vgl. Tabelle). Dabei unterschied man, getrennt nach Personen- und Sachschäden, fünf Schadenklassen. Als massgebende Schadenart wurden für die Personenschäden, stellvertretend für alle Schäden, die Todesopfer betrachtet. Die Klassierung erfolgte aufgrund von Auswertungen von vergleichbaren Unfällen bei in- und ausländischen Bahnen sowie von Strassenverkehrsunfällen.

Das Unfallspektrum lässt sich schliesslich in einem Wahrscheinlichkeits/Ausmass-Diagramm darstellen. Bild 3 zeigt die Wahrscheinlichkeit von Lawinenereignissen in Abhängigkeit der zu erwartenden Personenschäden. Auf der Nationalstrasse ist etwa alle 200 Jahre ein Unfall mit Todesopfern zu erwarten, bei der Bahn etwa alle 400 und auf der Kantonsstrasse etwa alle 8000 Jahre. Bei der Bahn sind Unfälle bis zu drei Todesopfern weniger wahrscheinlich als auf der Nationalstrasse.

Umgekehrt sind bei der Bahn die Risiken von Grossunfällen wesentlich höher als auf der Strasse. Unfälle mit mehr als 100 Todesopfern sind nur bei der Bahn denkbar. Solche Grossunfälle sind zwar sehr selten, können aber beim Zusammenwirken sehr unglücklicher Umstände nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Mittels der Ereignisabläufe bzw. des in Bild 3 dargestellten Unfallspektrums können die Risiken infolge von Lawinenniedergängen am Naxberg bestimmt werden. Wie bereits erwähnt, sind je nach Standpunkt unterschiedliche Risikogrössen massgebend.

Die Gefährdung des einzelnen ist im vorliegenden Fall nicht massgebend. Da sich im Untersuchungsgebiet nur Verkehrswege und keine Wohnhäuser befinden, ist eine bestimmte Person jeweils nur kurze Zeit gefährdet. Eine Abschätzung zeigt, dass das individuelle Personenrisiko unbedeutend ist. Für die Beurteilung der Sicherheit wird somit das *kollektive Risiko*, d.h. die zu erwartenden Gesamtschäden, massgebend. Dabei wurde zunächst zwischen Personen- und Sachschäden unterschieden. Abschätzungen zeigten wiederum, dass das Sachrisiko verglichen mit dem Personenrisiko eine untergeordnete Rolle spielt.

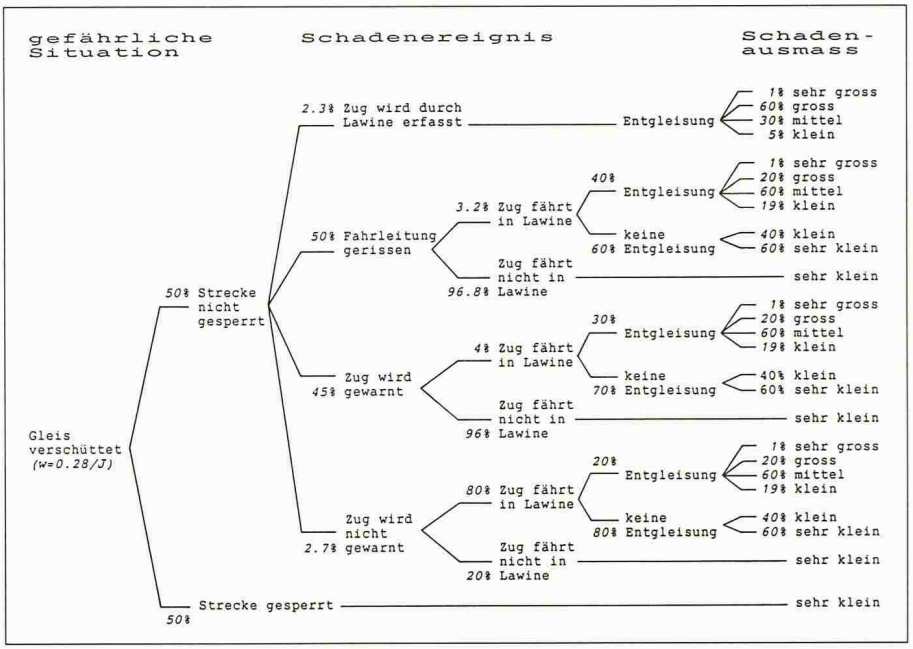

Bild 2. Ereignisablauf für Zugunfälle infolge von Lawinenniedergängen

Wie zu Beginn angedeutet wurde, können Grossunfälle in der Öffentlichkeit überproportionale Reaktionen hervorrufen. Für die Beurteilung kollektiver Risiken und die darauf basierende Massnahmenplanung wird dieser Effekt durch die Einführung von Risikoaversionsfaktoren berücksichtigt. Das Schadenausmass wird mit den jeweiligen Aversionsfaktoren schwerer gewichtet. Das ergibt eine künstliche Vergrösserung des Risikos von Grossunfällen. Die entsprechende Ermittlung des kollektiven Risikos, im folgenden *empfundenes kollektives Risiko* genannt, erfordert eine zahlenmässige Festlegung der Aversionsfunktion. Dies ist genaugenommen eine Frage der Risikobewertung, erfolgt aber aus rechnerischen Gründen im Rahmen der Risi-

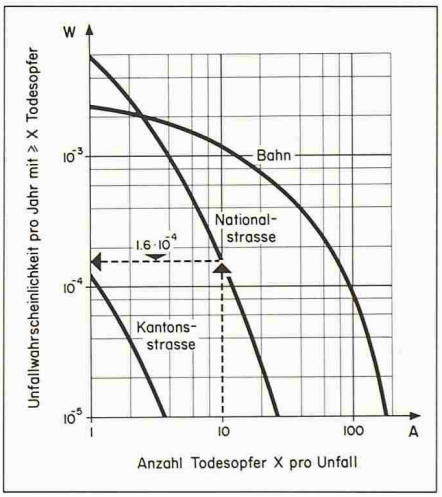

Bild 3. Darstellung des möglichen Unfallspektrums im Wahrscheinlichkeits/Ausmass-Diagramm (Ablesebeispiel: Die Wahrscheinlichkeit, dass auf der Nationalstrasse eine Lawine 10 oder mehr Todesopfer verursacht, beträgt w = $1{,}6 \cdot 10^{-4}$/Jahr)

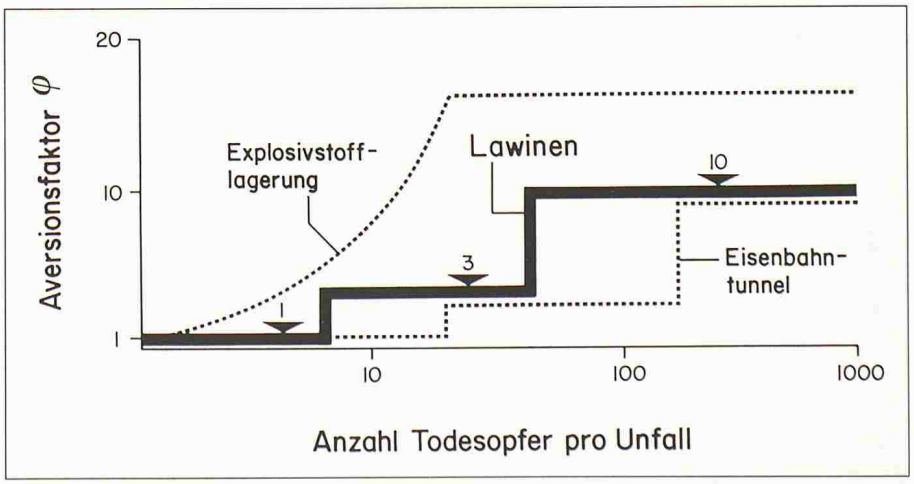

Bild 4. Risikoaversionsfunktion zur Beurteilung von Lawinenrisiken im Vergleich zu Aversionsfunktionen im Falle der Explosivstofflagerung und der Eisenbahntunnel

GLOSSAR

Sicherheit	Gewissheit, vor Gefahr(en) geschützt zu sein («Leib und Leben», aber auch hinsichtlich materieller Güter)
Risiko (im allgemeinen Sinn)	Möglichkeit, einen Schaden zu erleiden; Gefahr
Risiko (im engeren Sinn)	Mass für die Grösse einer Gefahr; Funktion von Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und Schadenausmass
Akzeptierbares Risiko (Akzeptables Risiko)	Risikowert, der im normativen Sinn für zumutbar erklärt wird (z. B. im Rahmen eines gesellschaftspolitischen Meinungsbildungsprozesses)
Akzeptiertes Risiko	Risiko, das unwidersprochen hingenommen wird
«Objektives» Risiko	Aufgrund eines Tatbestandes mit wissenschaftlichen Methoden feststellbares Risiko
«Subjektives» Risiko	Subjektive Einschätzung der Grösse eines Risikos oder einer Gefahr
Individuelles Risiko	Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum einen bestimmten Schaden erleidet
Kollektives Risiko	Risiko, bzw. Schadenerwartung eines Kollektivs
Freiwilliges Risiko	Risiko, welches freiwillig eingegangen wird (z. B. Klettern)
Aufgezwungenes Risiko (unfreiwilliges Risiko)	Risiko, welchem ein Individuum oder ein Kollektiv ohne eigene Einflussnahme ausgesetzt wird
Restrisiko	Nach Berücksichtigung aller getroffenen Sicherheitsmassnahmen verbleibendes Risiko
Risiko-Aversion	Subjektive Abneigung gegenüber einem Schadenereignis von Katastrophencharakter
Risiko-Analyse	Ermittlung oder Abschätzung eines Risikos mit wissenschaftlichen Methoden, insbesondere der Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und des Schadenausmasses
Risiko-Bewertung	Wertung eines Risikos bzw. einer Gefahrensituation aufgrund gesellschaftspolitischer Gesichtspunkte (z. B. im Hinblick auf die Festlegung akzeptierbarer Grenzen)
Schadenpotential	Maximal denkbares Schadenausmass *(Red.)*

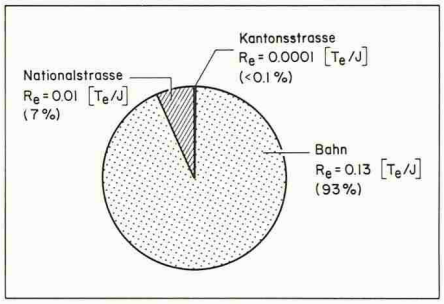

Bild 5. Risikoanteile der Bahn, der Nationalstrasse und der Kantonsstrasse am gesamten empfundenen kollektiven Risiko von R_e = 0,14 Opfer pro Jahr

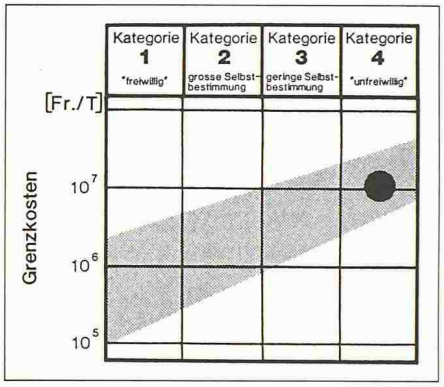

Bild 7. Grösse der Grenzkosten in Abhängigkeit der Risikokategorien. Die gefährdeten Personen lassen sich im Bereich der Risikokategorie 4 einordnen. Die Grenzkosten betragen rund 10 Mio. Fr. pro gerettetes Menschenleben

koanalyse. Bild 4 zeigt die treppenförmige Aversionsfunktion, welche dieser Fallstudie zugrunde gelegt wurde. Die Grösse der Risikoaversion hängt erfahrungsgemäss von der betrachteten Aktivität ab; zum Vergleich sind zwei Aversionsfunktionen aus anderen Anwendungsgebieten dargestellt.

Bild 5 zeigt die auf dieser Basis ermittelten empfundenen kollektiven Risiken. Sie betragen insgesamt R_e = 0,14 empfundene Opfer pro Jahr bzw. ein Opfer alle sieben Jahre. Auf die Bahn entfallen 93%, auf die Nationalstrasse 7% der Risiken. Auf der Kantonsstrasse sind die Lawinenrisiken so klein, dass sie vernachlässigt werden können.

Massnahmenplanung

Zur Reduktion der Lawinenrisiken im Projektgebiet sind zahlreiche Massnahmen denkbar. Diese reichen von kostengünstigen Waldpflege-Massnahmen bis zu baulichen Massnahmen mit Investitionskosten von mehreren Millionen Franken. Ziel der Fallstudie war es jedoch nicht, eine umfassende Massnahmenplanung durchzuführen – vielmehr wurde anhand der aktuellen Verbauungsprojekte im Jahr 1985 das Vorgehen bei der Massnahmenplanung illustriert.

Ein Teil der untersuchten Massnahmen ist heute bereits realisiert, bzw. in Ausführung begriffen. Insgesamt wurden 15 Einzelmassnahmen und 6 Massnamenpakete beurteilt. Diese lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

- Galerien zum Schutz der SBB-Strecke
- Verbau der Einzugsgebiete und Sturzbahnen der elf Lawinenzüge mit Stützwerken, Gleitschutzböcken, Runsennetzen, Dämmen, Aufforstungen usw.
- Waldbauliche Planung und Waldpflege im ganzen Projektgebiet

Für jede Massnahme wurden sowohl die Kosten als auch die erzielbare Risikoreduktion abgeschätzt. Dabei rechnete man die Investitionskosten auf Jahreskosten um. Die so beurteilten Massnahmen wurden in einem Risiko/Kosten-Diagramm dargestellt (Bild 6a).

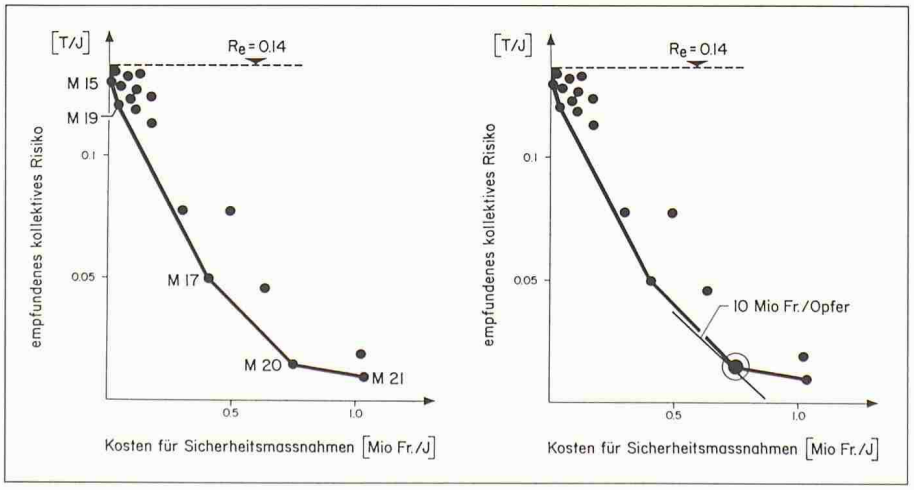

Bild 6. Ermittlung des optimalen Massnahmenpaketes: a) Lage der untersuchten Massnahmen und Massnahmenpakete im Risiko/Kosten-Diagramm. b) Das optimale Massnahmenpaket reduziert das Lawinenrisiko um etwa 90%

Jeder Punkt stellt in diesem Diagramm eine Massnahme bzw. ein Massnahmenpaket dar. Es lässt sich leicht zeigen, dass sinnvolle Massnahmen bzw. Massnahmenpakete auf der konkaven Umhüllenden dieser Punkteschar liegen müssen. Nur auf dieser Kurve erhält man für die jeweiligen Kosten die maximal mögliche Risikoreduktion.

Gemäss Bild 6a liegen folgende Massnahmenpakete auf der Umhüllenden:

- M15 Waldpflege
- M19 Waldpflege und Verbauungen in zwei Lawinenzügen
- M17 Waldpflege und Verbauungen in allen Lawinenzügen
- M20 Waldpflege, Galerien bei fünf Lawinenzügen zum Schutz des Bahntrassees sowie Verbauungen in den restlichen Lawinenzügen
- M21 wie M20, aber Verbauungen in allen Lawinenzügen.

Das mögliche Lösungsspektrum erstreckt sich von vergleichsweise kostengünstigen Massnahmen mit Jahreskosten von rund 20 000 Fr. bis zu umfangreichen Massnahmen mit Kosten von über einer Mio. Fr. pro Jahr. Die entsprechenden Investitionskosten variieren im Bereich zwischen 400 000 und 19 Mio. Fr.

Risikobewertung

Der in Bild 6a dargestellte Verlauf der Risiko/Kosten-Kurve ist typisch für die meisten Sicherheitsprobleme. Anfänglich kann eine grosse Risikoreduktion mit wenig Aufwand erzielt werden; nachher flacht die Kurve ab. Die Ausgangslage ist damit geklärt, und es stellt sich nun die Frage, wie weit die Sicherheitsanstrengungen führen sollen und welche der zur Diskussion stehenden Massnahmen zu wählen sind. Diese Frage darf nicht nur aus der Sicht eines Einzelprojektes beantwortet werden. Die übergeordneten Aspekte der Fragestellung müssen einbezogen werden: Die Kosten der Sicherheitsmassnahmen müssen insgesamt in einem sinnvollen Verhältnis zur erzielten Risikoreduktion stehen. Werden an einem Ort zu viele Mittel investiert, fehlen diese andernorts, es geht also um optimale Verteilung, ein klassisches Problem der Ökonomie. Das optimale Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag wird im Begriff der bereits erwähnten *Grenzkosten* festgehalten.

Bei der Festlegung der Grenzkosten ist zu beachten, dass nicht alle Risiken gleich beurteilt werden können. Die Erfahrung zeigt, dass freiwillige Risiken zum Beispiel eher akzeptiert werden als unfreiwillige. Im vorliegenden Modell werden deshalb vier verschiedene Risikokategorien definiert. Als Unterscheidungsmerkmal gilt primär der Grad der Selbstbestimmung. Die in Bild 7 vorgeschlagenen Werte für Grenzkosten ergaben sich aus langjähriger Auswertung zahlreicher gefällter Sicherheitsentscheide und aufgrund von Gesprächen mit Entscheidungsträgern verschiedenster Ebenen.

Kommen wir nun auf unseren konkreten Fall zurück. Hier sind vor allem Bahnreisende und Strassenverkehrsteilnehmer gefährdet. Der Grossteil der betroffenen Personen hat keine Kenntnis von der Lawinengefahr, kann sie selbst weder beeinflussen noch vermeiden. Dieser Art der Gefährdung entspricht die Risikokategorie 4: Damit wird von Grenzkosten von rund 10 Mio. Fr. pro gerettetes Menschenleben ausgegangen.

Der Vergleich dieses Grenzkostenwerts mit der Risiko/Kosten-Kurve (Bild 6a) führt zum sinnvollsten Massnahmenpaket aus gesamtheitlicher Sicht: es liegt dort, wo die Gerade mit der Grenzkosten-Neigung die Umhüllende der Massnahmenpunkte berührt (Bild 6b). Bei Grenzkosten von 10 Mio. Fr. pro gerettetes Menschenleben erweist sich damit das Massnahmenpaket M20 «Waldpflege, Galerien bei fünf Lawinenzügen zum Schutz des Bahntrassees sowie Verbauungen in den restlichen Lawinenzügen» als optimal. Mit ihm kann das Lawinenrisiko um rund 90% gesenkt werden. Das verbleibende Restrisiko beträgt noch $R_e = 0.01$ empfundene Opfer pro Jahr oder 1 Opfer alle 100 Jahre. Die entsprechenden Investitionskosten betragen rund 15 Mio. Fr., was jährlichen Aufwendungen von etwa 700 000 Fr. entspricht.

Es sei hier nochmals erwähnt, dass das individuelle Risiko der betroffenen Personen im vorliegenden Fall vernachlässigbar klein und daher für die Massnahmenplanung nicht massgebend ist. In anderen Situationen könnten sich daraus weitere Bedingungen für die Auswahl der Massnahmen ergeben.

Schlussbemerkungen

Eine systematische Anwendung quantitativer Methoden der Sicherheitsplanung erweist sich bei der Beurteilung von Naturgefahren als wertvolle Grundlage für eine möglichst transparente Analyse und Darstellung der Zusammenhänge. Die Risikostrukturierung, die sich konsequent auf die Abschätzung der Unfallwahrscheinlichkeit und des Schadenausmasses abstützt, sowie die Anwendung von expliziten Sicherheitskriterien bieten folgende Vorteile:

- Die hergeleiteten Risiken können mit anderen Naturgefahren und mit Risiken aus anderen Bereichen des zivilisatorischen Lebens auf einheitlicher Basis verglichen werden. Damit können der Stellenwert des behandelten Problems beurteilt und die Zweckmässigkeit von Massnahmen mit einheitlichen Massstäben gemessen werden.
- Die Annahmen während der Risikoanalyse und Risikobewertung werden offen dargelegt. So können sie von Drittpersonen geprüft, diskutiert und allenfalls angepasst werden.
- Durch die differenzierte Risikostrukturierung und die Einführung von expliziten Sicherheitskriterien können verschiedene Aspekte, wie der Standpunkt des Individuums und die Beurteilung von Katastrophenunfällen, klar umrissen und damit bewusst gemacht werden.
- Die Planung von Sicherheitsmassnahmen kann nicht rein objektiv-wissenschaftlich erfolgen. Der aufgezeigte Lösungsansatz liefert einen systematisch strukturierten Rahmen für die erforderlichen Annahmen

Literatur

[1] *Günter, R., Pfister, F.:* Sicherheitsplanung in Schutzwaldprojekten, dargestellt an den Fallstudien Naxbergwald Göschenen/Wassen und Bannwald Altdorf, Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Bericht, wird 1989 publiziert.

[2] *Ernst Basler & Partner:* Sicherheitsbeurteilung zur Erfassung von Naturgefahren im Berggebiet, Arbeitsbericht SANASILVA-Teilprogramm 8, 1986

[3] *Schneider, Th.:* Sicherheit – eine gesellschaftliche Herausforderung an den Ingenieur, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 15/1988

[4] *Bohnenblust, H., Schneider, Th.:* Ein quantitatives Sicherheitsmodell für die Neubaustreckentunnel der Deutschen Bundesbahn, Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 3/1984

[5] *Schneider, Th.:* Some Principles for a Quantitative Approach to Safety Problems in Explosives Storage and Manufacturing in Switzerland, Proceedings of 17th Explosives Safety Seminar, Department of Defence Explosives Safety Board, Denver, USA, 1976

[6] Forstdienst Uri: Lawinenkatasterplan 1:10 000

[7] Forstdienst Uri: Lawinengefahrenkarte 1:10 000

[8] Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Gutachten G 74.1, G 76.91, G 79.41 und G 82.63

und Wertungen. Er ist kein Ersatz zum bisherigen mehrheitlich intuitiven Vorgehen. Vielmehr stellt er ein zusätzliches Hilfsmittel im Entscheidungsprozess dar, da der Mitteleinsatz für zusätzliche Sicherheitsmassnahmen hier aufgrund von Kosten/Nutzen-Überlegungen optimiert werden kann.

Und nicht zuletzt gewährleistet ein solches Vorgehen, dass die verfügbaren Mittel national oder in einem begrenzten Gebiet mit maximaler Effizienz eingesetzt werden.

Adresse der Verfasser: *Ch. Troxler*, dipl. Forsting. ETH, Ernst Basler & Partner AG, 8702 Zollikon; *R. Günter*, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen, 8903 Birmensdorf; *H. Bohnenblust*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Ernst Basler & Partner AG, 8702 Zollikon.

Bisherige Artikel dieser Reihe sind erschienen in «Schweizer Ingenieur und Architekt»

Heft 15/88, Seiten 415–428
Heft 18/88, Seiten 505–512
Heft 35/88, Seiten 963–965
Heft 39/88, Seiten 1069–1075
Heft 4/89, Seiten 67–73
Heft 8/89, Seiten 208–214
Heft 10/89, Seiten 259–264
Heft 20/89, Seiten 527–539
Heft 35/89, Seiten 911–913

Baumschutzmassnahmen bei Bauvorhaben

Der Baumschutz gewinnt bei Gemeinden und Städten je länger, je mehr an Bedeutung. Deshalb sollte vor jedem Bauvorhaben abgeklärt werden, welche Bäume erhalten bleiben müssen. Zu diesem Zweck erscheint es oft sinnvoll, bereits während der Planung eines Projektes einen Baumsachverständigen hinzuzuziehen. Mit seiner fachmännischen Beratung wird ein optimaler Schutz der Bäume garantiert.

Planung (Baumkataster)

In der Planungsphase sollte abgeklärt werden, welche Bäume zu schützen sind und welche besser bereits vor Bau-

VON DIETER BAUMANN, USTER

beginn gefällt werden. In der Regel können nur vitale Bäume wirksam geschützt werden, da geschädigte Bäume den zusätzlichen Baustress trotz Schutzmassnahmen mittelfristig nicht überleben. Anstatt das Geld für den Schutz geschädigter Bäume zu investieren, ist zu prüfen, ob man dieses nicht besser für eine Neupflanzung ausgeben sollte.

Die Bäume, welche zu erhalten sind, müssen dagegen baubegleitend konsequent mit den geeigneten Massnahmen geschützt werden.

Schutzmassnahmen während dem Bau

Abgrabungen im Wurzelbereich von Bäumen

Erfolgt der Aushub für die Baugrube im Wurzelbereich von Gehölzen, so darf dieser nicht mit dem Bagger ausgeführt werden, da sonst die meist brüchigen Wurzeln an der Stammbasis brechen oder anreissen [1]. Als Folge werden die Wurzeln von holzzerstörenden Pilzen befallen und zerstört.

Um die Baumwurzeln schützen zu können, muss vor dem Baubeginn vom Fachmann ein Wurzelvorhang erstellt werden.

Die Tiefe des zu erstellenden Wurzelvorhanges ist von der statisch wirksamen Bewurzelungstiefe des Baumes abhängig. Diese beträgt je nach Baum- und Bodenart 0,5 m bis 2,5 m.

Die abgegrabenen Wurzeln müssen sauber abgeschnitten werden, damit eine rasche Wundverheilung erfolgt.

Danach sollte der Wurzelbereich mit Brettern geschützt und diese Verschalung mit einem bewurzelungsfördernden Substrat hinterfüllt werden. In diesem Substrat bilden sich später Faserwurzeln, welche den Baum zwar ernähren, deren statische Bedeutung aber gering ist [2].

Wurzelabgrabungen unterhalb der Kronentraufe sind oft aus statischen Gründen problematisch. Deshalb muss

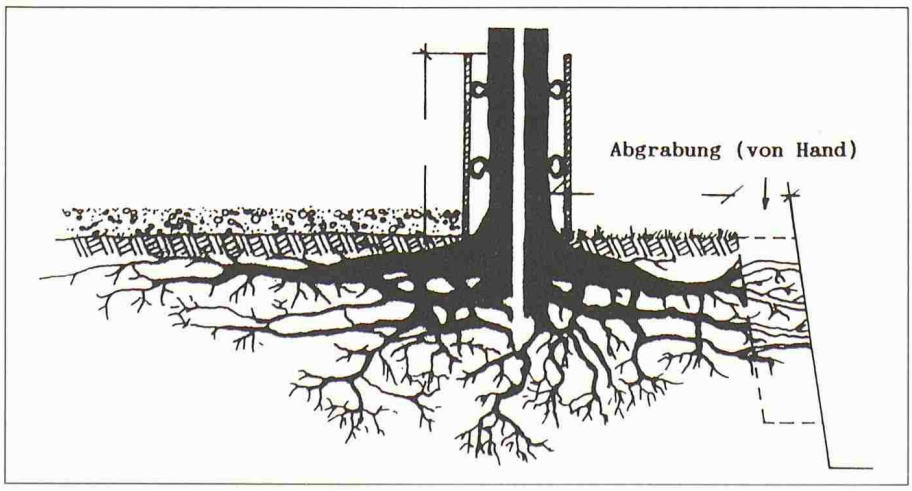

Bild 1. Aushub eines Wurzelvorhanges (A. Winzeler, 1985)

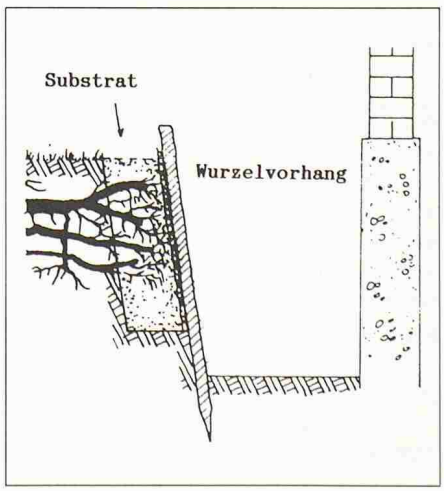

Bild 2. Wurzelbildung bei Wurzelvorhängen (A. Winzeler, 1985)