

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 145 (1994)
Heft: 1

Artikel: Naturgefahren : Naturrisiken im Gebirge
Autor: Kienholz, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766573>

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: 13.01.2026

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

Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge¹

Von Hans Kienholz

1. Natur(?)gefahren

Der Naturhaushalt ist praktisch nie im Gleichgewicht. So besteht seit Urzeiten an der Erdoberfläche ein grosser Vorrat an potentieller Gravitationsenergie, die laufend erneuert wird:

- Tektonische Vorgänge bauen ständig Gebirge auf. So werden die Alpen im zentralen Bereich jährlich um etwa 1 mm angehoben, wobei allerdings bedeutende regionale Unterschiede bestehen. Sichtbarer Ausdruck dieser Vorgänge sind die grossen Höhendifferenzen zwischen Gebirgskämmen und Tälern, die letztlich die Grundvoraussetzung für die hier zur Diskussion stehenden gefährlichen Prozesse sind.

- Einflüsse aus der Atmosphäre wie Frostwechsel lassen das Gestein verwittern, und es entsteht Lockermaterial, das unter dem Einfluss der Schwerkraft als Hangrutschung, Murgang oder als Geschiebefracht in einem Wildbach ins Tal gelangt.

Grosse Lockermaterialmassen wurden in den Alpen durch die Gletscher der letzten Eiszeit abgelagert.

Dieses Material ist in vielen Fällen die entscheidende Voraussetzung für die Vegetationsbedeckung von Hängen und Felsflächen. Allerdings sind diese Sedimente auch die wichtigsten Feststoffe, die in steilen Hängen und Gerinnen talwärts verfrachtet werden.

- Im Wasserkreislauf werden immer wieder Wassermassen in grosse Höhen gebracht. Regen oder Schnee erreichen auch die hoch gelegenen Gebiete der Erdoberfläche und streben dann talwärts und führen teilweise Erd- und Felsmaterial mit sich.

Gefährliche Potentiale entstehen oft in kurzer Zeit, beispielsweise im Falle einer labilen Schneedecke innerhalb von wenigen Wochen, während die

¹ Nach einem Referat, gehalten am 28. Januar 1993 anlässlich der Tagung «Forum für Wissen» an der WSL in Birmensdorf.

Gebirgsbildung meist Jahrtausende erfordert. Dem mehr oder weniger lange dauernden Aufbau solcher Potentiale folgt dann oft eine plötzliche Entladung. Solche Entladungen in Form von Schnee- und Eislawinen, Murgängen, Hochwasser, Überschwemmungen sowie Rutsch- und Sturzbewegungen von Erd- und Felsmassen, bei welchen potentielle Gravitationsenergie in kinetische Energie übergeführt wird, sind die wichtigsten der hier diskutierten Naturgefahren.

Zu beachten sind daneben aber auch mehr oder weniger kontinuierlich erfolgende Entladungen: So sind beispielsweise die in Schiefergebieten (zum Beispiel im Schanfigg, im Prättigau, in Grindelwald und an anderen Orten) zu beobachtenden langsamen Kriech- und Rutschbewegungen in der Regel für den Menschen nicht unmittelbar gefährlich. Sie können jedoch im Laufe der Zeit bedeutende Schäden an Gebäuden und Infrastrukturanlagen hervorrufen.

Stürme und Sturmböen bedrohen in unseren Breiten den Menschen bis heute selten direkt. Sie verursachen aber oft erheblichen Sachschaden. Wenn Schutzwälder geschädigt werden, sind allerdings auch Siedlungen und Verkehrswege und damit Menschenleben vermehrt gefährdet.

1.1 Natürliche oder vom Menschen beeinflusste Prozesse

In einer vom Menschen unbeeinflussten «Umwelt», die es heute im strengen Sinne nur noch in Ansätzen an einzelnen Orten gibt, unterliegen «gefährliche Prozesse» einem natürlichen Regime. Die Voraussetzungen, dass sie sich abspielen können, ihre Auslösung und schliesslich der Ablauf sind völlig natürlich. So lässt sich beispielsweise der Vorgang einer nach natürlichen Gesetzmässigkeiten ablaufenden Schneebrettlawine wie folgt gliedern:

- Grundlegende Voraussetzungen (*Disposition*) sind unter anderem:
 - genügend geneigter Hang,
 - Klimaverhältnisse, die den Aufbau einer saisonalen Schneedecke ermöglichen,
 - lokale Bedingungen, die den Aufbau einer Schneedecke mit grösseren Flächen durchgehender Schneeschichten ermöglichen.
- Die *Auslösung* erfolgt spontan, zum Beispiel durch starke, windbegleitete Schneefälle, die durch zusätzliche Belastung die Spannung in der Schneedecke soweit anwachsen lassen, dass ein Bruch erfolgt.
- Der *Ablauf* der Schneebrettlawine, die Beschleunigung, die Bewegung, die inneren Verformungen, die Wirkungen auf Hindernisse sowie schliesslich die Verzögerung und die Ablagerung folgen physikalischen Gesetzmässigkeiten (Kinetik), die mit deterministischen oder empirischen Modellen in mehr oder weniger guter Annäherung beschrieben werden können.

In einer vom Menschen beeinflussten «Umwelt», die heute – wenn auch in unterschiedlichem Ausmass – der Normalfall ist, unterliegen «gefährliche Prozesse» einem ähnlichen Regime. Der Unterschied liegt darin, dass einzelne Faktoren, welche die Disposition, die Auslösung und den Ablauf des gefährlichen Prozesses bestimmen, vom Menschen unbewusst oder bewusst prozessfördernd oder prozesshemmend beeinflusst sind.

Hinsichtlich Schneebrettlawinen ergeben sich beispielsweise folgende Einflussmöglichkeiten:

- Disposition:
 - Erhöhte Disposition: Da als Folge der Nutzung durch den Menschen vielerorts die Waldgrenze nach unten verschoben worden ist, kann eine Schneedecke mit grösseren Flächen durchgehender Schneesichten heute auch an solchen Stellen entstehen, wo dies ursprünglich dank der dichten Bestockung nicht der Fall gewesen wäre.
 - Reduzierte Disposition: Mit Treibschneezäunen, Kolktafeln oder anderen Mitteln kann beispielsweise das Windfeld so beeinflusst werden, dass im fraglichen Hangbereich der Aufbau einer mächtigen labilen Schneedecke mit ungünstiger Schichtung eingeschränkt wird.
- Auslösung:
 - Durch Anlage einer Stützverbauung kann der Mensch den Abgang eines Schneebrettes verhindern.
 - Andernorts (zum Beispiel zur Öffnung von Verkehrswegen) kann der Mensch eine Lawine vorsorglich zu einem frei gewählten Zeitpunkt künstlich auslösen.
- Ablauf:
 - Mit Hilfe von Bremsverbauungen, Auffangdämmen, Leitdämmen wird versucht, die Lawine abzubremesen, zu stoppen oder umzulenken.
 - Häuser und andere vom Menschen in die Lawinenbahn gestellte Objekte wirken als Hindernis und beeinflussen die Bewegung der auftreffenden Lawine.

Auch im ausgehenden 20. Jahrhundert gibt es nach wie vor zahlreiche echte Naturprozesse, auf die der Mensch praktisch keinen Einfluss hat. Beispiele sind die Bergstürze vom Monte Zandila (Veltlin 1987) oder in Randa (1991).

2. Gefahr, Risiko, Sicherheit

In fast jedem Lebensbereich sieht sich der Mensch Fragen nach Risiko, Gefahr, Sicherheit gegenüber. Unser heutiger Lebensstandard und damit unter anderem der hohe Ausbaustandard der Infrastruktur führt auch zu einer hohen Empfindlichkeit und Verletzlichkeit gegenüber Naturgefahren. Des-

halb wird dieser Fragenkomplex intensiv bearbeitet. So existieren umfangreiche theoretische Erörterungen und praxisbezogene Anleitungen aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie aus dem Versicherungswesen. Auch wenn viele dieser Arbeiten auf bestimmte Sparten wie Kernenergie bezogen sind, können die Grundüberlegungen oft auf andere Sachgebiete übertragen werden. So lassen sich beispielsweise viele der im Zusammenhang mit technologischen Risiken entwickelten Denkmodelle bei der Bearbeitung von Naturgefahren anwenden.

2.1 Gefahr, gefährlicher Prozess

2.1.1 Begriff

Für die hier betrachteten Prozesse ist es zweckmässig, den Begriff «Gefahr» wie folgt zu fassen und im weiteren den festen Ausdruck «gefährlicher Prozess» einzuführen:

- *Gefährlicher Prozess*: Bewegung von Wasser-, Schnee-, Eis-, Erd- und Felsmassen im Bereich der Erdoberfläche, die aufgrund der beteiligten Massen und der Geschwindigkeiten dann zu Schäden führt, wenn ihnen verletzliche Objekte ausgesetzt sind.
- *Gefahr*: potentiell ablaufender «gefährlicher Prozess».

Der Begriff «gefährlicher Prozess» sagt somit nichts darüber aus, ob der Vorgang im einzelnen Fall tatsächlich zu einem Schaden (an Menschen beziehungsweise Gütern) führt: Das effektive Eintreten eines Schadens hängt davon ab, ob sich zum Zeitpunkt des ablaufenden «gefährlichen Prozesses» Menschen und/oder Güter in dessen Wirkungsbereich (zum Beispiel in der Lawinenbahn) befinden (vgl. *Abbildungen 1, 3*).

Der «gefährliche Prozess» (zum Beispiel ein Murgang), der sich in einem gänzlich unbewohnten, ungenutzten und nicht begangenen Tal abspielt und hier aus der Sicht des Menschen keinen Schaden anrichtet, kann dagegen zu grossen Schäden (Todesopfern, Verletzten, Zerstörungen) führen, wenn das Tal bewohnt, genutzt und begangen ist.

Ansprache und Diskussion gefährlicher Prozesse erfordern einen definierten räumlichen und zeitlichen Bezugsrahmen.

Wie in den *Abbildungen 1* und *3* veranschaulicht wird, ergibt sich ein Risiko dann, wenn einerseits ein «gefährlicher Prozess» droht und andererseits Menschen oder Sachwerte diesem «gefährlichen Prozess» ausgesetzt sein können.

2.1.2 Gefahrengebiet und Gefahrenstelle

In der Ansprache, Beurteilung und Bekämpfung von gefährlichen Prozessen spielen verschiedene räumliche Bereiche eine Rolle, so unter anderem:

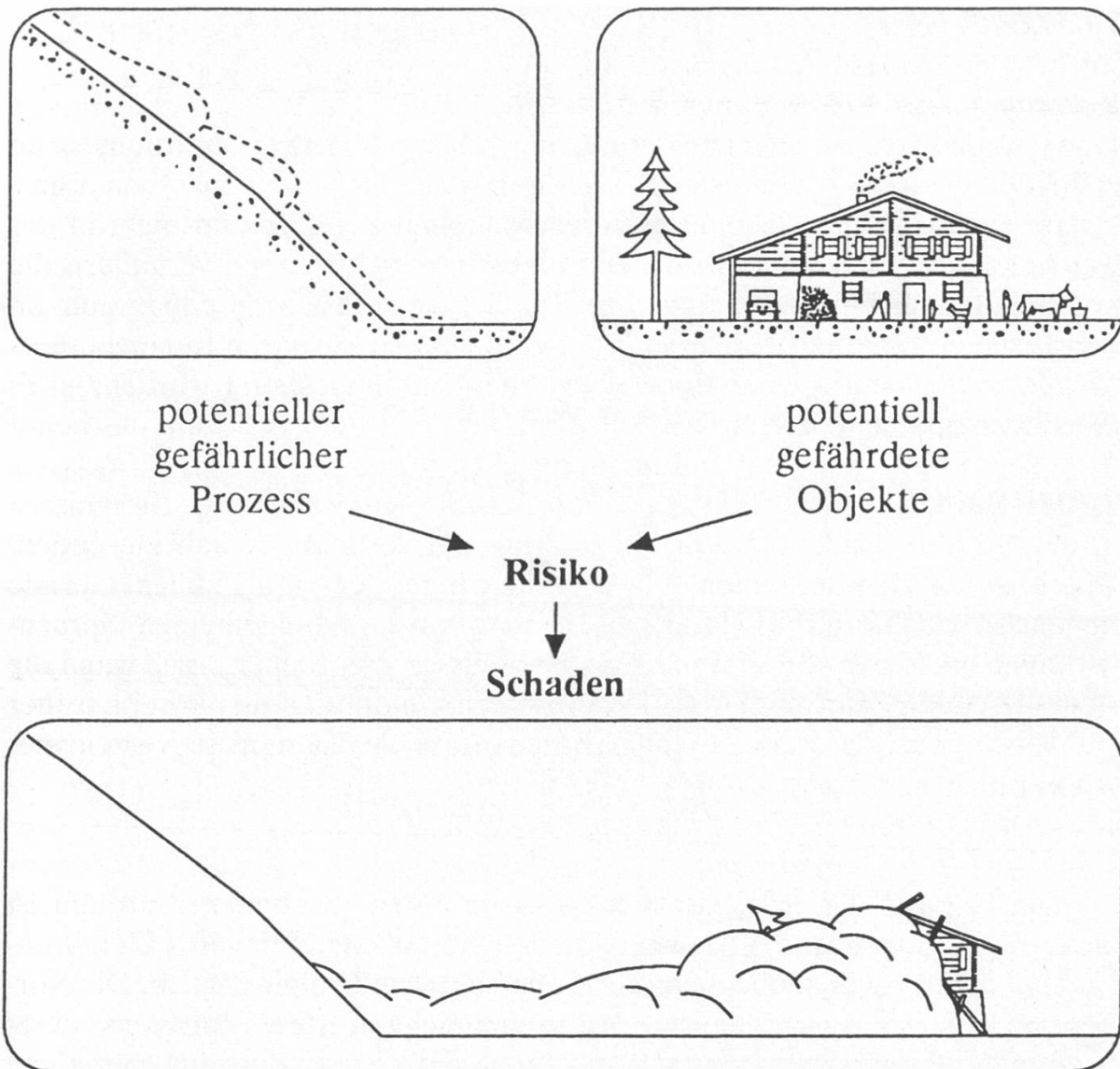


Abbildung 1. Gefahr, Risiko und Schaden, dargestellt am Beispiel eines von einer Lawine bedrohten Hauses.

- Entstehungsgebiet eines gefährlichen Prozesses: zum Beispiel Lawinenanrisszone, Wildbacheinzugsgebiet
- Gefahrenstrich: gesamte Geländespur, in welcher sich ein gefährlicher Prozess abspielt (zum Beispiel Lawinenstrich, Gerinne eines Wildbaches)
- Gefahrengbiet bzw. (bei geringer Ausdehnung) Gefahrenstelle: Wirkungsbereich eines gefährlichen Prozesses (zum Beispiel Schwemmkegel eines Wildbaches, Lawinenauslaufgebiet)

Gefahrenbeurteilungen und Massnahmenkonzepte müssen grundsätzlich immer mit der Erfassung des gesamten Gefahrenstriches und des gesamten Entstehungsgebietes beginnen. Darauf aufbauend kann erst die auf die einzelnen Gefahrenggebiete bzw. Gefahrenstellen bezogene Beurteilung erfolgen.

2.1.3 Zeitlicher Bezug

Zeitraum für die Einordnung bisheriger Ereignisse

Gewisse Prozesse laufen während eines «äusserst grossen Zeitraumes» an einer gegebenen Gefahrenstelle nur einmal ab. Der Bergsturz von Flims beispielsweise kann sich in unserem geologischen Zeitabschnitt nicht in der gleichen Art wiederholen. Ereignisse dieser Grössenordnung verändern die Landschaft nachhaltig (und einmalig). Für Gebiete, die wie der Alpenraum im Pleistozän grösstenteils vergletschert oder einem periglaziären Regime unterworfen waren und in jener Epoche entscheidend umgestaltet wurden, ist es zweckmässig, den «äusserst grossen Zeitraum» mit dem Holozän, das heisst dem Zeitraum seit der letzten Eiszeit, gleichzusetzen.

Mit Bezug auf ein bestimmtes Gefahrengebiet sind «einmalige Ereignisse» in diesem Sinn «einmalig» für einen Zeitraum von einigen Jahrtausenden. Damit ist der Begriff «einmalig» wesentlich enger gefasst als üblich. Gerade im Zusammenhang mit Naturkatastrophen wird im allgemeinen Sprachgebrauch nur zu oft von «einmaligen» Ereignissen gesprochen, auch wenn die Nachforschung dann zeigt, dass in demselben Gefahrengebiet bereits früher (oft sogar erst vor wenigen Jahrzehnten) ähnliche Ereignisse verzeichnet wurden.

Zeitraum für die Vorhersage

Die Einordnung bisheriger Ereignisse in einen gegebenen Zeitraum ist zwar ein wichtiges Hilfsmittel für Gefahrenbeurteilungen. Gefahrenbeurteilungen zielen jedoch auf die Vorhersage von Ereignissen ab. Die Vorhersage, die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Ereignisses muss sich auf einen definierten Zeitraum beziehen. Dieser Zeitraum kann jedoch niemals Jahrtausende betragen, sondern sollte sich in menschlichen Dimensionen bewegen.

Für langfristige Vorhersagen wird er zweckmässigerweise für eine Grössenordnung von mehreren Jahrzehnten bis etwa zu zwei Jahrhunderten festgelegt. Die obere Grenze dieser Zeitspanne ist zwar grösser als die Lebenserwartung einer Menschen-Generation, sie entspricht aber nach bisheriger Erfahrung in ihrer Grössenordnung der «Lebenserwartung» vieler dauerhafter Güter, zum Beispiel von Gebäuden und Verkehrswegen. Und gerade der Standortwahl und dem Schutz solcher Güter und Infrastrukturen dienen die auf längere Sicht angelegten Gefahrenbeurteilungen.

Kurz- und mittelfristige Vorhersagen beziehen sich in der Regel auf wenige Stunden bis Tage (zum Beispiel Lawinenprognosen). Hier geht es oft nicht nur um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Ereignisses, sondern oft auch um die Vorhersage des möglichen Zeitpunktes.

2.1.4 Ausmass und Wahrscheinlichkeit

Die mögliche Grösse des Schadens beim einzelnen Ereignis hängt entscheidend vom «Ausmass» des gefährlichen Prozesses ab, im Falle eines Wildbaches beispielsweise von Ausdehnung und Mächtigkeit der auf dem Schwemmkegel abgelagerten Schuttmassen.

Je häufiger sich ein gefährlicher Prozess von bestimmtem schadenbringendem «Ausmass» innerhalb einer gegebenen Periode ereignet, umso grösser ist der mögliche kumulierte Schaden. Je häufiger (zum Beispiel innerhalb von 100 Jahren) beispielsweise die landwirtschaftlich genutzten Flächen auf dem Wildbach-Schwemmkegel mit Schutt bedeckt werden, und je häufiger die Felder wieder von Schutt befreit werden müssen, desto höher sind die Kosten, die während der betrachteten 100 Jahre anfallen.

Die Gefahr ist somit umso grösser, je grösser das Ausmass des Einzelerignisses ist und je häufiger solche Ereignisse eintreten. Diese zwei Aspekte, das erwartete Ausmass und die Häufigkeit bzw. die (Eintretens-)Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Prozesses sind deshalb bei der Beurteilung einer bestimmten Gefahrenstelle zu berücksichtigen.

Ausmass des gefährlichen Prozesses

Der Begriff «Ausmass» steht je nach Prozess und je nach Art der Beschreibung des Prozesses für verschiedene physikalische Grössen unter anderem für:

- Intensität: zum Beispiel
 - bei Erdbeben: Auswirkung eines Bebens an der Erdoberfläche (UNESCO, 1986)
 - bei Niederschlägen: Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit
- Magnitude:
 - allgemein: Grösse eines Prozesses,
 - bei Erdbeben: Mass für die im Erdbebenherd freigewordene Energie (aus Seismogramm, Richterskala, vgl. zum Beispiel UNESCO, 1986)
- Dauer: zum Beispiel Dauer des Niederschlages mit einer bestimmten Intensität, Dauer eines Hochwassers
- Bewegungsenergie
- Kraftstoss (Impuls): zum Beispiel beim Steinschlag (Stein, der auf ein Hindernis trifft)
- Druck: zum Beispiel bei Massenströmen (Lawinen, Murgänge, Wasser mit und ohne Feststoff), die auf ein Hindernis stossen
- Höhe: Überflutungshöhe bei Überschwemmungen
- Volumen: zum Beispiel vom Wildbach bei einem Unwetter auf dem Schwemmkegel abgelagerte Geschiebefracht
- (mögliche) Wirkung: (mögliches) Schadenausmass

Wahrscheinlichkeit (bzw. relative Häufigkeit)

Die Gefahr ist umso grösser, je häufiger sich ein gefährlicher Prozess von bestimmtem schadenbringendem «Ausmass» innerhalb einer gegebenen Periode ereignet. Jede Gefahrenbeurteilung erfordert deshalb die Untersuchung der Eintretens-Wahrscheinlichkeit bzw. der Häufigkeit des gefährlichen Prozesses.

Gefährliche Prozesse, die in ihrem Ablauf nicht länger als einige Tage dauern, können auf der Zeitachse als punktuelle Ereignisse betrachtet werden. Falls die entsprechenden Daten verfügbar sind, kann im Rückblick das jeweilige Ausmass eines gefährlichen Prozesses für verschiedene Zeitpunkte wie in *Abbildung 2* dargestellt werden. Man erhält eine empirische Verteilungsfunktion. Bei der statistischen Bearbeitung eines solchen Datensatzes werden dann diejenigen Ereignisse betrachtet, die ein bestimmtes Ausmass überschreiten. Dabei ist es üblich, den reziproken Wert der relativen Häufigkeit pro Jahr anzugeben: Man spricht von einer mittleren «Wiederkehrdauer» oder «Wiederkehrperiode» (ausgedrückt als Anzahl Jahre) bzw. von

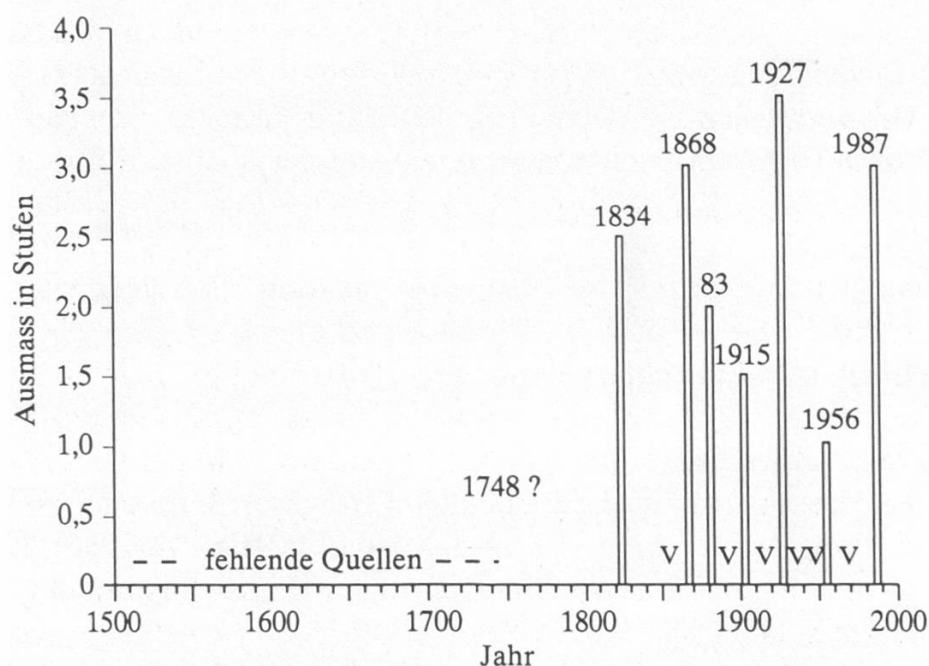


Abbildung 2. Ausmass der Geschiebefracht anlässlich von bekannten Katastrophenereignissen auf dem Schwemmkegel der Zavragia (Graubünden, Schweiz).

Stufe 4: Geschiebefracht extrem, «einmalig»

Stufe 3: Geschiebefracht sehr gross

Stufe 2: Geschiebefracht gross

Stufe 1: Geschiebefracht mässig

Die Angaben basieren zum grössten Teil auf verbalen Beschreibungen, aus welchen nur die Grössenordnung der jeweiligen Geschiebefrachten abgeschätzt werden kann. Deshalb wird die Geschiebefracht nicht absolut (zum Beispiel in m^3) angegeben, sondern unterteilt nach vier Stufen.

V: Verbauung ausgeführt

der «Jährlichkeit» des gefährlichen Prozesses von bestimmtem Ausmass. Wenn in *Abbildung 2* die Jahre 1740 bis 1990 als Bezugszeitraum definiert werden, weisen Ereignisse, die grösser oder gleich der Stufe 2 sind, eine mittlere Wiederkehrdauer von $250/4$, also von rund 60 Jahren auf.

Die «Jährlichkeit» gibt die mittlere Anzahl von Jahren an, die zwischen zwei Ereignissen gleichen Ausmasses an der Gefahrenstelle verstreichen. Dabei handelt es sich um einen rein statistischen Wert, der überhaupt nichts über die effektive Anzahl Jahre zwischen zwei konkreten Ereignissen aussagt. Ein «100jähriges Ereignis» kann unter Umständen innerhalb weniger Tage mehrmals stattfinden. Die Aussage «100jährliche Wiederkehrdauer» wird leicht falsch interpretiert, in dem Sinne nämlich, dass nach einer Katastrophe, die als 100jähriges Ereignis einzustufen ist, bis zum nächsten solchen Ereignis 100 Jahre verstreichen werden. Aus diesem Grund empfiehlt der U.S. Water Research Council, das gleiche als Wahrscheinlichkeit auszudrücken: Ein 100jähriges Ereignis ist ein Ereignis mit einem Ausmass, das mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,01 jährlich einmal überschritten wird (Riggs, 1985).

Derartige Analysen der mittleren Wiederkehrdauer von früheren Ereignissen bestimmten Ausmasses geben einen Überblick über die bislang festgestellte Frequenz des gefährlichen Prozesses. Unter der Annahme, dass sich die Wahrscheinlichkeiten im Laufe der Zeit nicht ändern, kann die ermittelte bisherige Frequenz als Anhaltspunkt für das künftige Auftreten von gefährlichen Prozessen dienen. Nun sind aber die Daten heute meist bestenfalls für eine Zeitspanne von 50 bis 70 Jahren verfügbar. Dabei werden nur relativ häufige, ein bestimmtes Ausmass erreichende Ereignisse sicher erfasst. Exzessive Ereignisse, die sich während einiger Jahrhunderte nur einmal abspielen, fehlen vermutlich im statistischen Nachweis. Eine Vorhersage für die Zukunft muss deshalb auf Annahmen und auf Modellen der Extremwertstatistik erfolgen, die bis zu einem gewissen Grad subjektiv sind (vgl. Scheidegger, 1975). Ausserdem muss bei den verwendeten Ausgangsdaten auch vorausgesetzt werden können, dass die einzelnen, betrachteten Ereignisse unabhängig voneinander und auf der Zeitachse zufällig verteilt sind (Riggs, 1985). Im weiteren ist zu beachten, dass Extrapolationen in die Zukunft noch schwieriger zu realisieren sind, wenn allfällige Umweltveränderungen berücksichtigt werden sollen. Von Jährlichkeit oder Wiederkehrdauer kann nur bei Prozessen gesprochen werden, die sich wiederholt in vergleichbarem Ausmass ereignen. Daneben gibt es jedoch auch gefährliche Prozesse, die einmalig sind (zum Beispiel ein Bergsturz) oder die über längere Zeit andauern, kontinuierlich sind, wie zum Beispiel eine tiefgründige Sackungsbewegung.

Im Überblick können bezüglich der zeitlichen Abfolge bzw. der Dauer *kontinuierlich* oder *episodisch*, dabei *einmalig* oder *wiederholt* und dabei *periodisch* oder *sporadisch* auftretende gefährliche Prozesse unterschieden werden.

Kontinuierliche Prozesse

Kontinuierliche Prozesse sind allgemein langsame, eher regelmässige Prozesse, die, wenn sie nicht zusätzliche gefährliche Folgeprozesse auslösen, für den Menschen direkt kaum gefährlich sind, aber durchaus zu bedeutenden Sachschäden führen können. Kontinuierliche Prozesse unter den geomorphologischen Gefahren in Gebirgsräumen sind in erster Linie ausgedehnte Kriechbewegungen in Fels- und Lockermaterial, in Permafrost und auch in Gletschereis. Erstere stehen meist in engem Zusammenhang mit der Verwitterung des Substrates. Typische Vertreter von kontinuierlichen Prozessen sind die bereits erwähnten Schieferrutschungen, die in der Klassifikation von Heim (1932) zur Hauptgruppe der «Felsablösungen mit schleichender Talfahrt», nach derjenigen von Varnes (1978) zu den «rock flows (deep creep)», nach derjenigen von Hutchinson (1988) zu den «deep-seated, continuous creeps» bzw. «compound saggings» gehören. Solche tiefgründigen Kriechbewegungen (Talzuschub) sind als Ganzes mehr oder weniger kontinuierlich, auch wenn ihre Geschwindigkeit saisonal schwanken kann. Die durch sie hervorgerufenen Instabilitäten können dann allerdings örtlich und kleinräumig zu wiederholten sekundären Prozessen führen: So wird ein Fliessgewässer mit genügender Transportkapazität, das seitlich von einem Talzuschub bedrängt wird, einen Teil der herangeführten Feststoffe abtransportieren. Oder irgendwo im Bereich des Talzuschubes kommt es infolge der Bewegungen allmählich zu übersteilten Böschungen: Hier können nun wiederholt kleinere Rutschungen abgehen, oder es kommt des öftern zu Steinschlag.

Einmalige Prozesse

Gefährliche Prozesse werden dann als «einmalig» bezeichnet, wenn sie sich in einem bestimmten Gefahrengebiet während Jahrtausenden nur einmal ereignen (können), wie dies bei Bergstürzen der Fall ist.

Streng genommen ist jeder kleine Felssturz, jede kleine Rutschung auch ein einmaliger Prozess, weil die abgegangenen Erd- und Felsmassen an ein- und derselben Stelle kein zweites Mal abgehen können. Dagegen zeigt die Erfahrung, dass sich aus einer bestimmten Wand immer wieder Felsstürze ereignen oder dass in einem gegebenen Hangabschnitt immer wieder Rutschungen abgehen können. Für die praktischen Belange der Gefahrenbeurteilung im Hinblick auf die Sicherheit von Siedlungen und Verkehrswegen sind somit solche Felsstürze und Rutschungen als sich wiederholende Ereignisse aufzufassen.

Im allgemeinen sind es Prozesse von grossem Ausmass, die als einmalige Prozesse anzusprechen sind. Dieser Aussage entspricht auch die für einzelne Prozesse (Hochwasser, Lawinen) statistisch weitgehend belegbare Faustregel, dass sich ein gefährlicher Prozess umso seltener ereignet, je grösser und exzessiver er ist.

Periodische und sporadische Prozesse

Solange es nicht um Vorhersagen des Ereigniszeitpunktes geht, ist die Unterscheidung von periodischen und sporadischen Prozessen nicht von grosser Bedeutung. Trotzdem soll diese Frage hier kurz diskutiert werden.

Mehr oder weniger regelmässige (aber nicht kontinuierliche) gefährliche Prozesse bestimmten Ausmasses werden als «periodisch» bezeichnet, wenn sie sich in einer statistisch charakterisierbaren Frequenz abspielen. Dabei ist die Periodendauer zwischen zwei Ereignissen gleichen Ausmasses nicht als Konstante, sondern als statistischer Mittelwert (Grössenordnung) aufzufassen. Streng periodische Prozesse sind selten anzutreffen. Bei etwas grosszügigerer Anwendung des Kriteriums der Periodizität sind beispielsweise kleinere und mittelgrosse Lawinenabgänge in vielen Lawenstrichen als periodisch aufzufassen.

Es ist eine Ermessensfrage, ob beispielsweise die in der Zavrągia bisher beobachteten Geschiebefrachten (*Abbildung 2*) in ihrem zeitlichen Auftreten als periodisch oder nur als sporadisch zu bezeichnen sind. Dass sich eine mittlere Wiederkehrdauer (siehe oben) ermitteln lässt, ist kein hinreichendes Kriterium. Immerhin lässt sich feststellen, dass die vier bisher bekannten Ereignisse vom Ausmass der Stufe 2 und grösser in relativ gleich langen Zeitabständen aufgetreten sind.

Auch im Falle des Leimbaches bei Frutigen (Berner Oberland) könnte in diesem Sinne (mindestens für die Beobachtungsdauer der letzten gut 100 Jahre) von Periodizität gesprochen werden: Dieser Wildbach hat 1875, 1907, 1938 und 1969, somit im regelmässigen Zeitabstand von jeweils 31 bis 32 Jahren zu Verheerungen in Frutigen geführt.

Eindeutig als sporadische Prozesse zu bezeichnen sind Ereignisse, die sich auch bei grosszügiger Definition der Periodizität nicht mehr als periodisch, das heisst als mehr oder weniger regelmässig wiederkehrend, bezeichnen lassen. Im weiteren gehören dazu auch seltene oder erst ein einziges Mal beobachtete Ereignisse, die real zwar vielleicht periodisch sind, deren Periodizität wir jedoch wegen unseres zu kurzen Beobachtungszeitraumes und wegen fehlender Daten nicht als solche erkennen können, und bei welchen wir aus methodischen Gründen bei der Beurteilung keine Periodizität unterstellen dürfen.

Zusammenhänge zwischen Ausmass und Häufigkeit von gefährlichen Prozessen

Für Gefahrenbeurteilungen sind die beiden Komponenten Ausmass und relative Häufigkeit des gefährlichen Prozesses zueinander in Beziehung zu setzen. Als allgemeine Regel kann gelten, dass an einer gegebenen Gefahrenstelle für einen gefährlichen Prozess die Ereignisse von grösserem Ausmass seltener sind als diejenigen von geringerem Ausmass.

Im einzelnen sind die Zusammenhänge kompliziert, weil bei der Auslösung eines gefährlichen Prozesses oft verschiedene Faktoren eine Rolle spielen und die Analyse nicht auf einen bestimmten Schwellenwert eines einzelnen Faktors allein abstellen darf. Bei der Lawinengefahr sind beispielsweise noch andere Faktoren (reale Anrisshöhen, Festigkeit der Altschneedecke) zu beachten als allein die Häufigkeitsverteilung der Neuschneezuwachsraten, welche die obgenannte Regel bestätigt (vgl. dazu unter anderem *De Quervain*, 1977; *Salm et al.*, 1990).

2.2 Potentiell gefährdete Objekte

2.2.1 Begriff

Werte personeller, materieller und ideeller Art sind einem ablaufenden gefährlichen Prozess ausgesetzt, falls sie zum Zeitpunkt des Ereignisses an der Gefahrenstelle präsent sind. Sie erleiden dabei in der Regel eine mehr oder weniger grosse Wertminderung² (im Extremfall Tötung, Vernichtung oder Zerstörung).

Menschen und/oder Güter, die im kritischen Zeitpunkt an der Gefahrenstelle präsent sind, können unter dem Begriff «potentiell gefährdete Objekte» zusammengefasst werden.

2.2.2 Wert und Präsenz-Wahrscheinlichkeit

In Analogie zu den beim gefährlichen Prozess massgeblichen Grössen «Ausmass» und «Wahrscheinlichkeit» kann der (potentielle) Verlust mit dem Wert des Objektes und mit dessen Präsenz-Wahrscheinlichkeit beschrieben werden (Präsenz-Wahrscheinlichkeit = Wahrscheinlichkeit, mit der sich ein Objekt an der Gefahrenstelle befindet).

Wert eines Objektes

Bei Sachwerten ist die Wertangabe relativ unproblematisch; der potentielle Verlust ist messbar. Bei der möglichen Zerstörung eines Objektes kann man entweder von dessen zur Zeit bestehendem Geldwert (Zeitwert) oder von den Kosten für ein neues Ersatzobjekt (Neuwert) ausgehen, wie dies bei Sachversicherungen üblich ist. Bei Sachbeschädigungen ist das (potentielle) Schadenausmass durch Reparatur- und Aufräumungskosten (zum Beispiel Flurschäden) gegeben. Zu den reinen Instandstellungskosten von Objekten kommen oft erhebliche sekundäre Kosten: Ertragsausfälle in der Landwirtschaft, (vorübergehende) Produktionseinstellung bei Industrie- und Gewerbe-

² Es versteht sich von selbst, dass die Gefährdung von Menschenleben grundsätzlich nicht mit derjenigen von Sachwerten gleichgesetzt werden kann, auch wenn dies bei den folgenden Betrachtungen scheinbar der Fall ist.

betrieben. Der Unterbruch von Verkehrswegen kann zu erheblichen wirtschaftlichen Einbussen für den Verkehrsträger selbst, aber auch für die von ihm abhängigen Wirtschaftszweige (zum Beispiel im Tourismusbereich) führen.

Zwar können und müssen auch Personenschäden in Geldbeträgen ausgedrückt werden. Assekuranz und Justiz verfügen über entsprechende Normen (Schadenersatzforderungen, Versorgerschaden). Aber die Frage nach dem monetären Wert eines Menschenlebens ist eine «Frage, die viele neue Fragen aufwirft...: Wessen Leben, in welcher Situation und von wem bewertet?» (Schneider, 1988). Hier sind keine eindeutigen Antworten möglich. Aus dem Selbstverständnis unserer menschlichen Existenz, unserer ethischen Grundsätze ist ein Menschenleben sicher höher zu werten, als dies der «äquivalente» Geldbetrag kann. Die Gefährdung von Menschenleben kann deshalb bei der Umsetzung der Gefahrenbeurteilung und der Risikoanalyse nicht mit derjenigen von Sachwerten gleichgesetzt werden.

Neben Personen- und Sachschäden sind auch Schäden ideeller Art möglich, die wie Personenschäden im strengen Sinn nicht messbar sind. Wenn beispielsweise ein historisches Gebäude zerstört wird, kann es bei guter Dokumentation zwar wieder rekonstruiert werden. Aber auch der beste Nachbau kann das Original nicht mehr ersetzen.

Präsenz-Wahrscheinlichkeit von Objekten an der Gefahrenstelle bzw. im Gefahrengebiet

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden eintritt, ist umso grösser, je grösser die Aufenthalts-Wahrscheinlichkeit des Objektes an der Gefahrenstelle ist. Bei einer Dauersiedlung mit ihren Bewohnern ist die Aufenthalts-Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Anzahl Menschen annähernd gleich 1. Bei Verkehrswegen hängt die Präsenz-Wahrscheinlichkeit ab von der Frequenz der Fahrzeuge, der Anzahl Personen, die sich in ihnen befinden und von der Geschwindigkeit (Aufenthaltsdauer an der Gefahrenstelle).

In diesem Zusammenhang wird bei Überlegungen zu Personenrisiken grundsätzlich unterschieden zwischen Individualrisiko und Gruppenrisiko. In Anlehnung an Kuhlmann (1981) kann letzteres als Produkt aus mittlerem Individualrisiko x Zahl der Menschen an der Gefahrenstelle definiert werden. Für unsere Betrachtungen interessieren nicht primär die unter Umständen sehr unterschiedlichen Risiken von Individuen, sondern jeweils das Gruppenrisiko, dazu Schneider (1980): «Ob im Ereignisfall stets dieselben Personen oder immer andere betroffen sind, hat keinen Einfluss auf das Schaden-
ausmass.»

2.3 Risiko

2.3.1 Begriff

Im normalen Sprachgebrauch bedeutet «Risiko»:

- *Risiko (im weiteren Sinn)*: Möglichkeit, einen Schaden zu erleiden.
In der Fachliteratur (Risikoanalysen, Assekuranz) wird Risiko präziser definiert, beispielsweise:
- *Risiko (im engen Sinn)*: (Kuhlmann, 1981, im versicherungswissenschaftlichen Sinne): Risiko ist «ein Mass für die Grösse einer Geldsumme, die im vornhinein bereitzustellen ist, um einen für möglich angesehenen Schaden auf dem Wege der Wiederherstellung, der Erneuerung oder des Schadenersatzes ausgleichen zu können».
(Kuhlmann, 1981, allgemein): «Risiko = Schadensumfang x Schadenseintrittswahrscheinlichkeit.»

Für die hier geführte Diskussion wird Risiko entsprechend der Darstellung in *Abbildung 3* und mit Bezug auf eine bestimmte Gefahrenstelle bzw. ein bestimmtes Gefahrengebiet wie folgt definiert:

- *Risiko (im engen Sinn)* an einer bestimmten Gefahrenstelle: Grösse und Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens, der abhängig ist einerseits

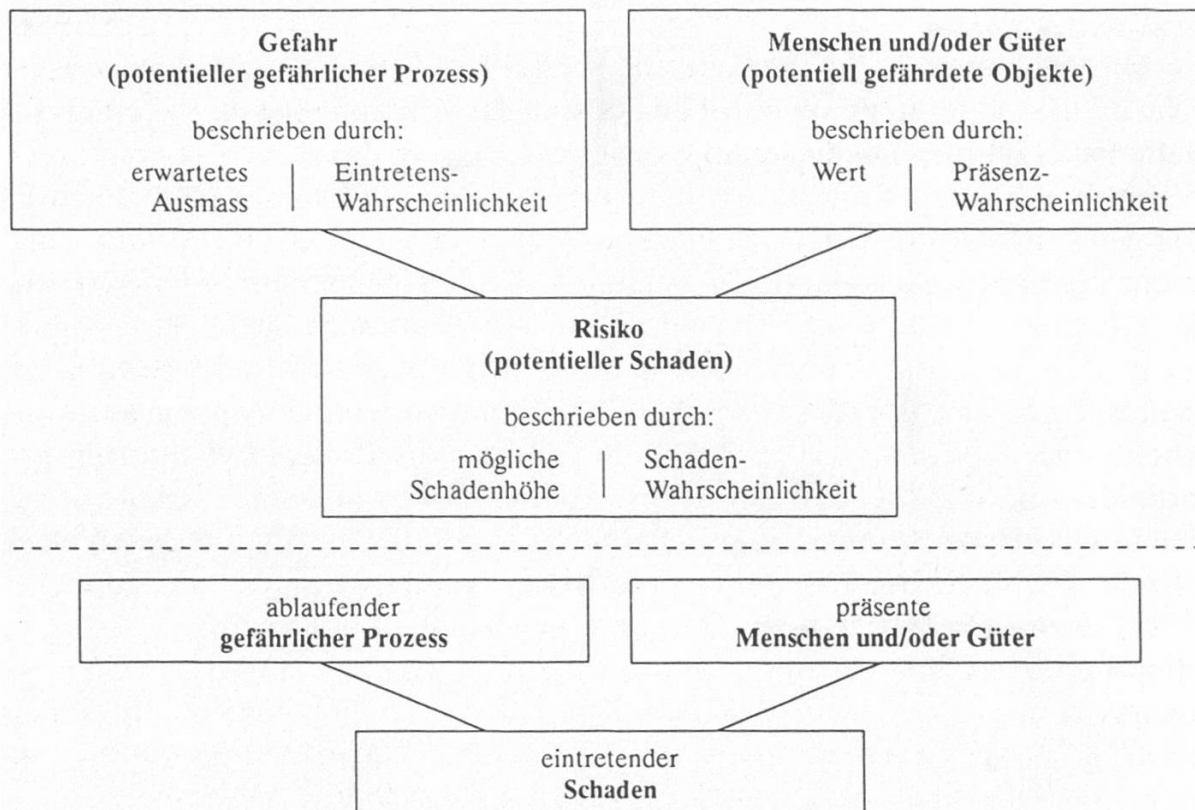


Abbildung 3. Risiko und Schaden, jeweils bezogen auf eine bestimmte Gefahrenstelle bzw. ein bestimmtes Gefahrengebiet.

von Ausmass und (Eintretens-)Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Prozesses an der Gefahrenstelle und andererseits von Wert und (Präsenz-)Wahrscheinlichkeit von Objekten an derselben Gefahrenstelle.

Sobald eine Gefahr von bestimmtem Ausmass und bestimmter Wahrscheinlichkeit eine Gefahrenstelle bedroht *und* sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit ein Objekt von bestimmtem Wert an der Gefahrenstelle befinden kann, besteht ein Risiko. Wenn sich ein gefährlicher Prozess von bestimmtem Ausmass effektiv abspielt und sich an der Gefahrenstelle ein Objekt von bestimmtem Wert befindet, entsteht ein Schaden bestimmter Grösse.

2.3.2 Risiko: Schadenhöhe und (Schaden-)Wahrscheinlichkeit

Ein Risiko ist gegeben durch die Höhe des möglichen Schadens und die Wahrscheinlichkeit, dass der Schaden entsteht:

- Je stärker oder intensiver der gefährliche Prozess wirken kann und je wertvoller das beschädigte oder zerstörte Objekt ist, desto grösser ist das Ausmass des Schadens.
- Je häufiger sich ein Objekt an der Gefahrenstelle befindet und je häufiger sich der gefährliche Prozess abspielt, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden eintritt.

Ein sehr grosses Risiko ist somit gegeben, wenn ein grosser möglicher Schaden mit grosser Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Ein sehr geringes Risiko besteht dann, wenn sowohl das mögliche Schadenausmass als auch die Wahrscheinlichkeit des Schadenfalles sehr klein sind. Zwischen diesen beiden in *Abbildung 4* bezeichneten «Eckpunkten» lässt sich das Risiko nur durch Angabe von beiden Komponenten gleichzeitig, also von der Schadenhöhe *und* der Wahrscheinlichkeit objektiv umschreiben. Falls das Risiko in diesen Zwischenbereichen analog zu den obgenannten «Eckpunkten» mit einem einzigen Begriff (zum Beispiel «gross», «mässig» oder «klein») beschrieben werden soll, so kann dies nur im konkreten Einzelfall geschehen, weil nur hier einigermaßen rationale Kriterien zur Abwägung des möglichen Ausmasses des Schadens gegen dessen Wahrscheinlichkeit festgelegt werden können. In allgemeiner Form ist dies jedoch nicht möglich, weil es keinen allgemein gültigen, genau quantifizierbaren Zusammenhang zwischen Schadenausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit gibt, vor allem dann nicht, wenn es auch um Personenschäden und ideelle Schäden geht.

Das Problem lässt sich auch am Extremfall des «linken oberen Eckpunktes» der *Abbildung 4* demonstrieren: Als wie gross ist ein Risiko zu bezeichnen, wenn das betreffende Schadenereignis zwar nur mit äusserst geringer Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit praktisch = 0) eintritt, aber, falls es doch eintritt, die Schadenhöhe extrem gross ist (Schadenhöhe praktisch =

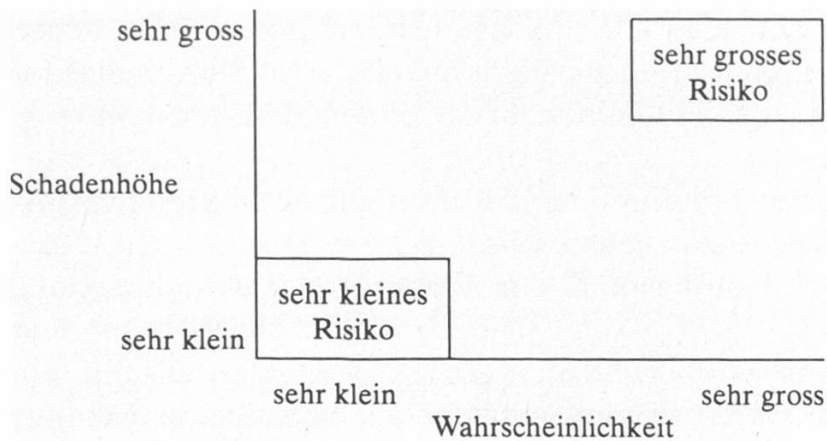


Abbildung 4.
Zur Grösse des Risikos
als Funktion von
Schadenhöhe und Wahr-
scheinlichkeit.

unendlich, zum Beispiel sehr viele Todesopfer und Verletzte)? Schneider (1988) weist hier auf das «Nullmalunendlich-Dilemma» hin, vor welchem Risikostudien versagen. Auf diesen Sachverhalt wird im Zusammenhang mit der Festlegung von «roten» und «blauen» Lawinengefahrenzonen auch in *BFL* (1984) hingewiesen.

Diese Problematik zeigt, dass bei Sicherheitsplanungen nicht nur auf die objektive Risiko-Analyse abgestellt werden kann, sondern dass auch eine Risiko-Bewertung zu erfolgen hat, in welche neben den objektiven Kriterien subjektive, gesellschaftliche, ökonomische und oft auch irrationale Wertvorstellungen einfließen. Dies bedeutet in der Regel gleichzeitig eine Teilung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten, wie dies im folgenden Kapitel dargestellt wird.

2.4 Sicherheitsplanung und Risikominderung

Die Sicherheitsplanung bezüglich Naturgefahren hatte bis in unsere Zeit meist rein empirische Grundlagen: Gelernt wurde hauptsächlich aus Fehlern und Unfällen. Angesichts der belegbaren Zunahme der Schäden infolge gefährlicher Naturereignisse (vgl. *Burton et al.*, 1978; *Tiedemann*, 1986) kann man es sich immer weniger leisten, erst aus Fehlern und Unfällen zu lernen. Andererseits erfordern die beschränkten Finanzmittel der Öffentlichen Hand, dass die Wirtschaftlichkeit der Investitionen und Massnahmen gegen Naturgefahren streng geprüft wird. Eine allein auf Empirie basierende Sicherheitsplanung jedoch,

- deren Zielvorstellung über Sicherheit eher unklar ist,
 - die die Gefahrensituation nicht vollständig erfasst und
 - über deren Massnahmen-Effizienz wenig bekannt ist,
- spiegelt womöglich eine falsche Sicherheit vor und ist unwirtschaftlich.

Deshalb hat die Notwendigkeit von bewusst, systematisch und umfassend durchgeführten Sicherheitsplanungen im Zusammenhang mit Naturgefahren in den letzten zwei Jahrzehnten erheblich zugenommen.

Dies ist in Fachkreisen frühzeitig erkannt worden. Seit etwa 1970 werden in verschiedenen Publikationen entsprechende Postulate ausdrücklich formuliert (unter anderem Aulitzky, 1974; Kates, 1978). Entsprechende Zielvorstellungen eines modernen Sicherheitskonzepts wurden von Schneider (1980) formuliert.

Die Entwicklung von zielgerichteten theoretischen Grundlagen zur Verwirklichung von systematischen und umfassenden Sicherheitskonzepten ist schon seit längerer Zeit eingeleitet worden (vgl. dazu unter anderem Burton *et al.*, 1978; Rowe, 1977; Schneider, 1980). Die Umsetzung in die Praxis bereitet dagegen vielerorts noch grosse Mühe: Es werden, von beispielhaften Ausnahmen abgesehen, immer noch zahlreiche Verbauungsmassnahmen und Sanierungen zwar pragmatisch, aber wenig reflektiert als isolierte Einzelprojekte ausgeführt, ohne dass vorgängig systematische und umfassende Problemanalysen und die entsprechende Sicherheitsplanung erfolgen.

2.4.1 Prinzipielles Schema der Sicherheitsplanung

Den schematischen Ablauf einer Sicherheitsplanung zeigt *Abbildung 5* in starker Vereinfachung. Der Ablauf kann in die Schritte Risikoanalyse und -bewertung sowie Massnahmenplanung und -realisierung gegliedert werden.

Risikoanalyse

Die Risikoanalyse soll eine Antwort liefern auf die Frage: «Was kann passieren?» Sie umfasst die Teilschritte Risikoidentifikation und Risikoabschätzung.

Risikoidentifikation

Zu beantworten ist die Frage: «Welche Risiken gibt es?» Für ein bestimmtes Gebiet wird untersucht, ob sowohl Gefahren bestehen als auch potentiell gefährdete Objekte vorhanden sind. Falls eine der beiden Komponenten fehlt, gibt es definitionsgemäss kein Risiko, und die Sicherheitsplanung kann bei diesem Punkt abgebrochen werden. Fehlerbedingt bleibt jedoch unter Umständen ein nicht vorhergesehenes, ein «unkalkuliertes» Risiko, welches dann allein das «effektive» Risiko ausmacht (vgl. *Abbildung 5*).

Falls Gefahr besteht und potentiell gefährdete Objekte vorhanden sind, gilt es beides zu identifizieren und zu lokalisieren: Wo gibt es welche Gefahren, wo gibt es welche gefährdeten Objekte? Die Beantwortung dieser Fragen genügt in der Regel für regionale Übersichten (Gefahren-Hinweiskarten, vgl. Kienholz, 1980; Grunder, 1980).

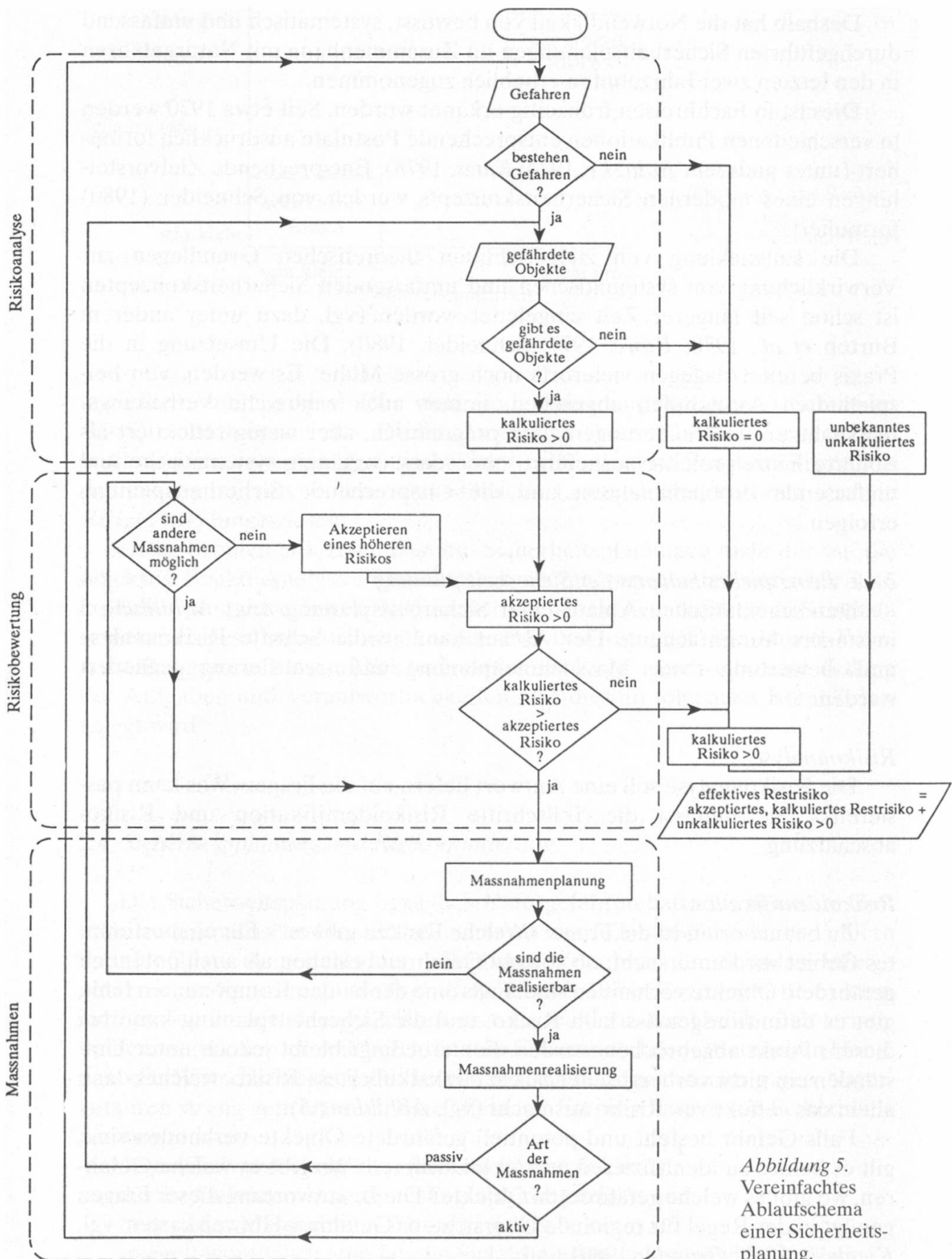


Abbildung 5.
Vereinfachtes
Ablaufschema
einer Sicherheits-
planung.

Risikoabschätzung

Ziel dieses Teilschrittes ist die Beantwortung der Frage: «Wie gross sind die Risiken?» Für die Gefahren sind Ausmass und Eintretens-Wahrscheinlichkeit und für die potentiell gefährdeten Objekte Wert und Präsenz-Wahrscheinlichkeit zu ermitteln. Nach Schneider (1980) erfolgt dies durch Ereignisanalysen, Wirkungsanalysen und Expositionsanalysen.

- Ereignisanalyse: Erkennen und Definieren der Gefahren bezüglich Ort, Art, Umfang und Wahrscheinlichkeit.
- Wirkungsanalyse: Untersuchung der gefährlichen Wirkungen der definierten gefährlichen Ereignisse und ihrer räumlichen und zeitlichen Ausbreitung; ausserdem Untersuchung der Wechselwirkung der gefährdeten Objekte mit diesen Wirkungen.
- Expositionsanalyse: Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der gefährdeten Objekte.

Wegen mangelnder Kenntnis der Wirklichkeit und aus methodischen Gründen können diese Analysen nur zum Teil quantitativ exakt erfolgen, so dass der Vorgang korrekterweise als (möglichst gute) Abschätzung zu bezeichnen ist. Als Ergebnis der Risikoanalyse kennt man das «kalkulierte Risiko»; man hat eine Antwort auf die Frage: «Was kann wo passieren?» Weil das «kalkulierte Risiko» nur geschätzt werden kann und gegenüber der Wirklichkeit Fehleinschätzungen kaum zu vermeiden sind, weicht das «kalkulierte Risiko» um den Betrag eines fehlerbedingten unbekannten und «unkalkulierten» Risikos vom «effektiven» Risiko ab.

Risikobewertung

Im Anschluss an die Risikoanalyse erfolgt in der Regel eine Risikobewertung im Rahmen des kultur-spezifischen Risikoverständnisses sowie unter Berücksichtigung von ökonomischen und politischen Erwägungen: «Was darf passieren?» Die Beantwortung dieser Frage definiert das akzeptierte Risiko (vgl. *Abbildung 5*). So einfach diese Frage erscheint, so schwierig ist offensichtlich deren Beantwortung, und in vielen Fällen wird sie nicht explizit beantwortet. Im folgenden werden zwei grundsätzliche Ansätze der Risikobewertung skizziert.

Rückblickender Ansatz: Empirische Grenzen der Risikoakzeptanz

Welche Risiken werden effektiv akzeptiert? Es kann versucht werden, sich am tatsächlichen Verhalten der Individuen und der Gesellschaft zu orientieren: Die Normen zulässiger oder nicht mehr zulässiger Risiken sind aus den empirischen Gesetzmässigkeiten des Verhaltens der Menschen abzuleiten (Kuhlmann, 1981). Dabei sind allerdings aus folgenden Gründen keine scharfen Ergebnisse zu erwarten:

- Inkonsequentes Risikoverhalten des Individuums und der Gesellschaft,
- Unterschied von objektiv bestehendem Risiko und subjektiver Risikowahrnehmung (bewusstes und unbewusstes Risiko),
- Unterschiede zwischen freiwillig und unfreiwillig eingegangenem Risiko,
- Unterschiede im Beteiligungs- und Verantwortlichkeitsgrad der Betroffenen,
- unterschiedliche Risikobewertung (gemessen an der Zahl der Toten und Verletzten erfährt beispielsweise ein Eisenbahnunglück in den Medien viel mehr Beachtung als die häufigen Strassenverkehrsunfälle).

Eine konkrete und recht objektive Möglichkeit zur Ermittlung von vollzogenen Risikobewertungen bietet sich in der Gegenüberstellung von kalkulierten Risiken mit dem effektiven Mitteleinsatz für Gegenmassnahmen. Je mehr relativer Aufwand (gemessen am kalkulierten Risiko) für eine Massnahme (zum Beispiel für den Bau von Lawinengalerien) betrieben wird, umso höher wurde offenbar das Risiko durch die zuständigen Instanzen bewertet. Einschränkend ist allerdings zu bemerken, dass auch dieser Massstab nicht absolut ist, weil für die Wahl bestimmter Massnahmen durchaus noch finanzierungstechnische Überlegungen mit im Spiel sein können (wieviel Subvention bezahlt der Staat für die eine oder andere Massnahme?).

Vorausblickender Ansatz: Risiko/Kosten-Optimierung

In der Regel stehen für Massnahmen zum Erreichen einer wünschbaren, möglichst hohen Sicherheit nicht beliebig viele Mittel zur Verfügung. Daraus leitet Schneider (1980) ein Grenzkostenkriterium für die Risiko/Kosten-Optimierung ab, das er mit einem Beispiel gemäss *Abbildung 6* wie folgt illustriert:

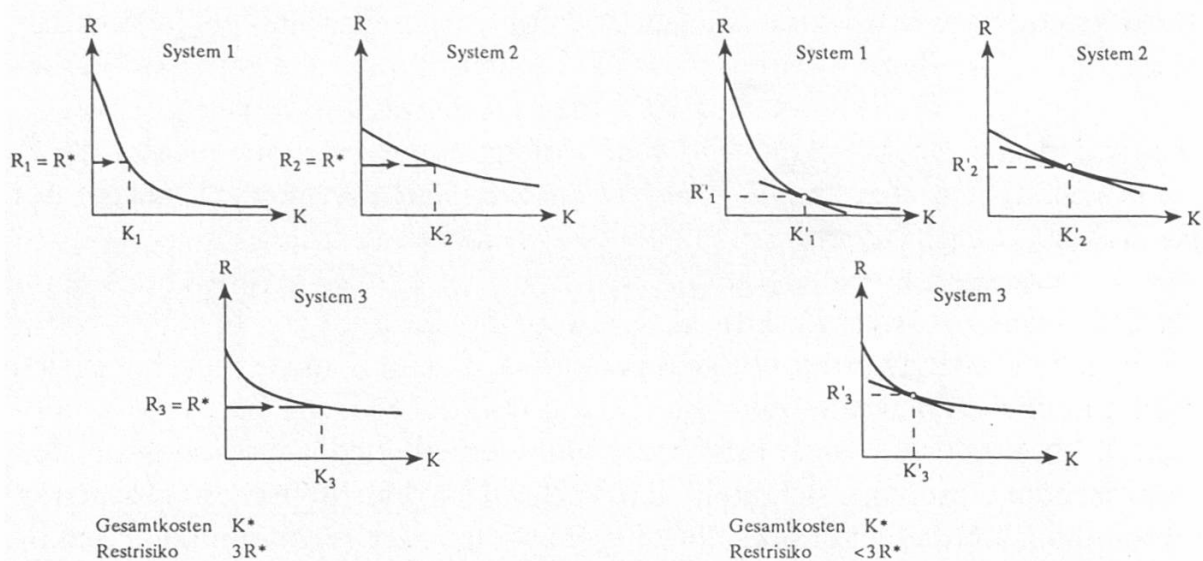


Abbildung 6. Risikokriterium (links) und Grenzkostenkriterium (rechts) (aus Schneider, 1980) vgl. Text.

«In der Abbildung sind die Risiko/Kosten-Kurven von drei Systemen dargestellt. Auf der linken Seite wurde ein reines Risikokriterium angewendet.» Damit eine – wie auch immer – als akzeptabel festgelegte Höhe des Risikos R^* («zulässiges» Risiko) nicht überschritten wird, müssen dabei für jedes der drei Systeme Kosten K_1 , K_2 bzw. K_3 aufgewendet werden, die sich zu den Gesamtkosten K^* für alle drei Systeme zusammen addieren. «Man kann nun aber leicht zeigen, dass mit Kosten K^* ein geringeres Risiko als $3 R^*$ für diese drei Systeme erreicht werden kann. Die rechte Hälfte von *Abbildung 6* deutet an, wie man bei Kosten K^* das kleinste Restrisiko erhält. Die drei Lösungspunkte sind dabei so zu wählen, dass alle drei Kurven in diesen Punkten die gleiche Neigung aufweisen. Dies bedeutet aber, dass wir unser Geld dann am besten einsetzen, wenn wir als Sicherheitskriterium eine bestimmte konstante Neigung der Risiko/Kosten-Kurve wählen.»

Die Steigung dieser Tangenten ist ein Mass für die sogenannten Grenzkosten: Allgemein ausgedrückt sind dies die Kosten, welche aufgebracht werden müssen, um den Nutzen einer Massnahme um einen infinitesimalen Schritt zu steigern. Im Beispiel sind es die Grenzkosten, die zur Rettung eines Menschenlebens (im Sinne des Gruppenrisikos) entstehen. Die Frage nach dem gerade noch vertretbaren Grenzwert der Rettungskosten ist die Frage nach dem monetären Wert eines Menschenlebens (Schneider, 1988).

Wie auch immer nun das zu akzeptierende Risiko ermittelt wird, ob intuitiv oder ob mit rationalen Erwägungen gemäss oben genanntem Beispiel, handelt es sich nicht primär um ein fachliches, sondern um ein politisches Problem. Der Sachverständige hat im Rahmen der Risikoanalyse korrekte Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Dann ist es jedoch je nach Zuständigkeit die Angelegenheit des betroffenen Individuums, der Familie, im Falle der Naturgefahren meist jedoch der Gemeinde oder des Staates, einen politischen Ermessensentscheid über das tolerierbare Risiko zu fällen und entsprechende Normen aufzustellen.

Massnahmenplanung und -realisierung

Ist das als Ergebnis der Risikoanalyse kalkulierte Risiko grösser als das gemäss der Risikobewertung akzeptierte Risiko, müssen Gegenmassnahmen (zur Systematik siehe unten) geplant und ergriffen werden. Dies ist auch dann der Fall, wenn in Zukunft das Risiko grösser als das akzeptierte Risiko wird, sei es durch Zunahme der potentiell gefährdeten Werte, und/oder sei es durch Zunahme der Gefahr.

Jede getroffene Massnahme erfordert entsprechend *Abbildung 5* eine neue Analyse und Beurteilung des Risikos. In einem Optimierungsprozess müssen mögliche Massnahmen und die Höhe des zu akzeptierenden Risikos gegeneinander abgewogen werden, wobei beispielsweise das erwähnte Grenzkostenkriterium anzuwenden ist.

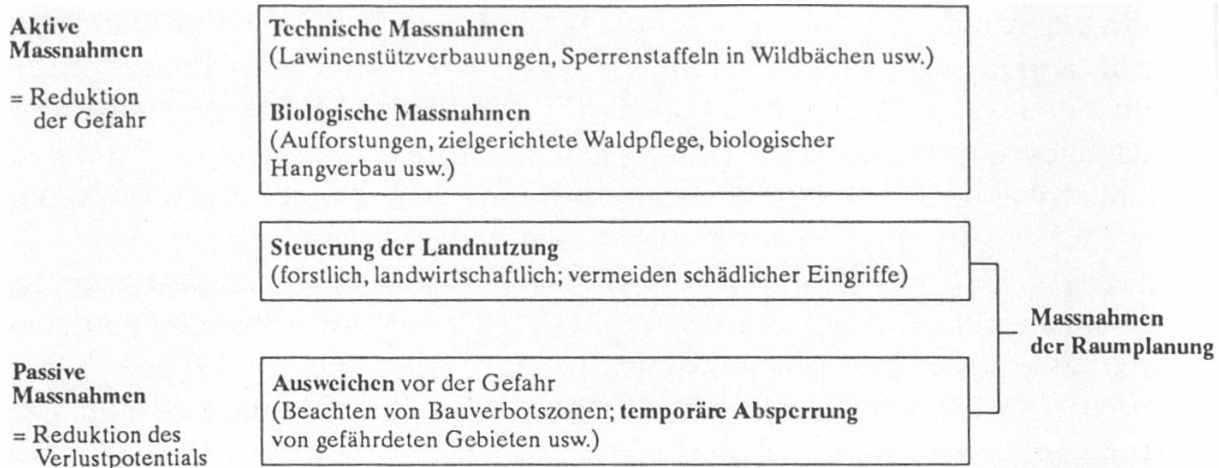


Abbildung 7. Massnahmen zum Schutz vor gefährlichen Prozessen in und aus Gebirgsräumen (verändert nach Kienholz, 1984).

Mit realisierbaren Massnahmen wird schliesslich das ursprüngliche Risiko auf das zu akzeptierende Restrisiko reduziert, wobei darauf hinzuweisen ist, dass das effektive Restrisiko in der Regel auch noch eine unkalkulierte (zum Beispiel fehlerbedingte) Komponente enthalten kann (vgl. Abbildung 5).

Zur Systematik der Massnahmen gegenüber Naturgefahren

Zum Schutz vor geomorphologischen Gefahren in Gebirgsräumen steht eine grosse Palette von Einzelmassnahmen zur Verfügung, die dauernd erweitert und verbessert wird. Weil das Risiko in einem Gefahrengebiet durch die Komponenten Gefahr und potentiell gefährdete Werte (Verlustpotential) definiert wird, kann versucht werden, auf die eine oder andere oder beide Komponenten gleichzeitig Einfluss zu nehmen:

- Aktive Massnahmen haben eine Reduktion der Gefahr,
- passive Massnahmen die Verminderung der potentiell gefährdeten Werte zum Ziel (Abbildung 7).

Sowohl bei den aktiven als auch bei den passiven Massnahmen muss die Raumplanung eine bedeutende Rolle spielen.

Mit *permanenten aktiven Massnahmen* versucht man, gefährliche Prozesse

- zu verhindern (zum Beispiel permanenter Stützverbau und Aufforstung in Lawinenanbruchgebieten),
- zu bremsen (zum Beispiel Fallböden und Bremskegel in der Lawinenbahn) oder
- abzulenken (zum Beispiel Leitdämme oder Spaltkeile).

Mit *temporären aktiven Massnahmen* versucht man, den Ablauf und die Auswirkungen des gefährlichen Prozesses zum Zeitpunkt akuter Gefahr zu steuern (zum Beispiel künstliches Auslösen von Lawinen).

Passive Massnahmen beeinflussen den Ablauf des gefahrenbringenden Prozesses im Prinzip nicht, sollen aber dessen schädliche Auswirkungen reduzieren und wenn möglich verhindern.

Permanente passive Massnahmen sind beispielsweise bauliche Massnahmen an Häusern, welche in gefährdeten Bereichen stehen, oder Bauverbotszonen aufgrund von Gefahrenzonenplänen.

Zu den *temporären passiven Massnahmen* gehören zum Beispiel Evakuationen, das Aufsuchen von eigens eingerichteten Lawinenbunkern, Strassensperrungen zum Zeitpunkt akuter Gefahr.

Häufig ist es notwendig, die Gefahrenstelle regelmässig zu kontrollieren (zum Beispiel wiederholte Vermessung eines Rutschhanges). Je nach Entwicklung der Gefahr sind dann weitere aktive oder passive Massnahmen (zum Beispiel Evakuationen) durchzuführen. Gerade für die zeitgerechte Einleitung von temporären passiven Massnahmen (zum Beispiel Sperrung von Verkehrswegen) ist die Beobachtung der Gefahrenstelle unabdingbare Voraussetzung.

2.4.2 Ergänzende Bemerkungen

Sicherheitsplanung im oben skizzierten Sinn ist wesentlich mehr als die bisher oft allein praktizierte Durchführung von isolierten Verbauungsmassnahmen. Auch wenn grundsätzlich eine umfassende Kenntnis und Berücksichtigung der entscheidenden systemaren Zusammenhänge verlangt sind, was im konkreten Falle heute vielfach noch schwer zu realisieren ist, so kann bereits allein die Beachtung einiger trivialer Forderungen wesentliche Verbesserungen bringen:

- Abklären der Fragen
 - Wieviel Sicherheit ist notwendig?
 - Wieviel Sicherheit wird gefordert?
 - Wieviel Sicherheit ist erreichbar?
 - Wieviel Sicherheit ist wünschbar?
- Anstellen von Überlegungen zu möglichen systemaren Zusammenhängen (zum Beispiel Zusammenspiel verschiedener Faktoren in einem Wildbacheinzugsgebiet). Wichtige Stichworte dazu sind:
 - interne (zum Beispiel Geologie) und externe (zum Beispiel Meteorologie) Einflüsse auf Disposition und Auslösung von gefährlichen Prozessen,
 - langzeitliche Entwicklungen, Prinzip der Nachhaltigkeit von Massnahmen,
 - grossräumige Auswirkungen von geplanten Massnahmen,
 - Auswirkungen von geplanten Massnahmen auf Ökologie, Landschaft und Ökonomie.
- Pflege von Details: Die beste Bachverbauung nützt nichts, wenn am Schwemmkegelhals ein einzelner an einer Brücke hängengebliebener

Baumstamm genügt, um das Gerinne zu verstopfen und Wasser und Geschiebe unkontrolliert in Richtung der Siedlung abfliessen zu lassen.

- Verhältnismässige Prävention:
 - Es müssen und können nicht alle Schäden verhindert werden. Dagegen können vielleicht die schlimmsten Schäden dadurch abgewendet werden, dass geringere Schäden bewusst in Kauf genommen werden, so beispielsweise in speziell geplanten Überflutungsgebieten («Sollbruchstellen»). In diesem Sinne muss die in den meisten Fällen nach wie vor gültige Aussage «Prävention ist billiger als Reparatur» vernünftig relativiert werden.
 - Dazu gehört eine sinnvolle Kombination von aktiven und passiven Massnahmen und die Einsicht, dass es beispielsweise trotz Anrissverbauungen gegen Lawinen oder trotz Hochwasserdämmen noch Bauverbotszonen geben muss (vgl. dazu auch Jäggi, 1988).
- Unterhalt und Pflege: Die Erhöhung der Sicherheit ist nicht ein einmaliger Prozess, sondern eine Daueraufgabe. Sie erfordert:
 - Wiederholtes Überprüfen der Sicherheitsplanung und Massnahmenrealisierung.
 - Anpassung, Unterhalt und Pflege von Verbauungen und anderen Massnahmen.
- Respekt und Demut vor den Naturgewalten, was nicht gleichzusetzen ist mit Angst, sondern mit der Einsicht, dass letztlich nicht alles beeinflussbar ist.

Résumé

Dangers naturels – Risques naturels en montagne

Dans le monde entier, les hommes et les biens sont régulièrement menacés par divers dangers naturels comme les tremblements de terre, la sécheresse, les invasions de sauterelles, les éruptions de volcans ou les cyclones. Outre ces dangers, qui se concrétisent souvent à une large échelle, il en existe aussi en montagne mais ils se manifestent à une échelle plus restreinte. Ces dangers sont liés à des déplacements de masses d'eau, de neige, de glace, de terres ou de roches qui se produisent à la surface du sol.

Partant de considérations d'ordre éthique (valeur de la vie humaine), auxquelles s'ajoutent de sérieux motifs matériels, l'humain recherche la sécurité: il désire écarter les risques ou tout au moins les diminuer et les contrôler. C'est ainsi qu'il prend diverses mesures dictées par son intuition ou planifiées avec systématique.

Si les spécialistes désirent engager des mesures judicieuses, que ce soit au plan biologique, technique ou en matière d'aménagement du territoire, ils doivent bien comprendre les dangers des processus naturels. Voilà pourquoi il est nécessaire de développer des méthodes adéquates qui permettent d'évaluer les risques le plus objectivement possible. Cet article traite de la sécurité en montagne face aux catastrophes naturelles qui risquent souvent d'entraîner des morts d'hommes, de causer des blessures, de

détruire des biens ou de provoquer des dommages écologiques. Nous pensons surtout aux avalanches, coulées de boue, crues, inondations, glissements de terrain et chutes de masses rocheuses. Cet article étudie la question des «dangers naturels ou des dangers dus à l'impact des activités humaines». Il tente aussi d'ébaucher une systématique générale sur le thème des dangers et risques naturels et il esquisse un plan de sécurité.

Traduction: *Monique Dousse*

Literatur

- Aulitzky, H.*, 1974: Les régions menacées des Alpes et les mesures de prévention. Strasbourg, Conseil de l'Europe.
- BFL* (Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz) (Hrsg.) 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale.
- Burton, I.; Kates, R.W.; White, G.F.*, 1978: The Environment as Hazard. New York, Oxford University Press.
- De Quervain, M.*, 1977: Lawinendynamik als Grundlage für die Ausscheidung von Lawinenzonen. Schutz alpiner Lebensräume. Internationales Symposium «Interpraevent 1975» in Innsbruck, 2: 247–267.
- Grunder, M.*, 1980: Beispiel einer anwendungsorientierten Gefahrenkartierung 1:25000 für forstliche Sanierungsprojekte im Berner Oberland (Schweiz). Internationales Symposium «Interpraevent 1980» in Bad Ischl, 4: 353–360.
- Heim, A.*, 1932: Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahresschr. Nat.forsch. Ges. Zür. 219 S.
- Hutchinson, J.N.*, 1988: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. General Report in: *Bonnard, C.* (ed.): Landslides. Proc. of the fifth international symposium on landslides: 3–35. Balkeema, Rotterdam.
- Jäggi, M.*, 1988: Sicherheitüberlegungen im Flussbau. Wasser energ. luft 9: 193–197.
- Kates, R.*, 1978: Risk Assessment of Environmental Hazards. Chichester, Wiley.
- Kienholz, H.*, 1980: Zur Anwendung des Luftbildes bei der mittelmassstäbigen Gefahrenkartierung anhand von Erfahrungen aus Kartierungen in den Colorado Rocky Mountains. Internationales Symposium «Interpraevent», Tagungspublikation, 3: 155–171 mit 1 Kartenbeilage.
- Kienholz, H.*, 1984: Naturgefahren: Eine zunehmende Bedrohung? In: *Brugger, E.A.; Furrer, G.; Messerli, B.; Messerli, P.* (Hrsg.): Umbruch im Berggebiet. Bern, Haupt. S. 563–587.
- Kuhlmann, A.*, 1981: Einführung in die Sicherheitswissenschaft. Wiesbaden, Vieweg.
- Riggs, H.C.*, 1985: Streamflow Characteristics. Developments in Water Science. Amsterdam, Elsevier.
- Rowe, W.D.*, 1977: An Anatomy of Risk. New York, Wiley.
- Salm, B., Burkard, A., Gubler, H.U.*, 1990: Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee Lawinenforsch. 47.
- Scheidegger, A.E.*, 1975: Physical Aspects of Natural Catastrophes. Amsterdam/New York, Elsevier.
- Schneider, J.*, 1988: Zwischen Sicherheit und Risiko. Schweiz. Ing. Archit. 18: 505–512.
- Schneider, T.*, 1980: Grundgedanken und Methodik moderner Sicherheitsplanung. Internationales Symposium «Interpraevent» Tagungspublikation Bd. 1: 49–69. Klagenfurt, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung.
- Tiedemann, H.*, 1986: Environmental Changes and Catastrophe Hazards. Zürich, Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft.
- UNESCO*, 1986: Erdbeben, Entstehung, Risiko und Hilfe. Nationale Schweizerische UNESCO-Kommission, Zürich.
- Varnes, D.*, 1978: Slope Movement, Types and Processes. In: National Academy of Sciences, Special Report 176: 11–33.

Verfasser: PD Dr. Hans Kienholz, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern.