

## VARIABILITÄT DES SCHADENPOTENTIALS

### METHODIK IM RAHMEN DES INTEGRALEN RISIKOMANAGEMENTS

Margreth Keiler<sup>1</sup> und Sven Fuchs<sup>2</sup>

#### ZUSAMMENFASSUNG

Im Naturgefahrenbereich wird Risiko als Funktion (1) der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses und (2) des Schadenausmaßes definiert, wobei sich das Schadenausmaß aus dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit in Abhängigkeit der auftretenden Prozessintensität zusammensetzt. Für die Bewertung gefährdeter Objekte bestehen erst kürzlich operationelle Ansätze zur Bestimmung des Schadenpotentials. Möglichkeiten für GIS-basierte Verfahren werden diskutiert. Ein langfristiger Anstieg des Schadenpotentials sowie die hohe Variabilität mobiler Objekte und Personen erfordern angepasste Strategien im Risikomanagement. Für ein integrales Risikomanagement ist die Betrachtung des Schadenpotentials auf einer multitemporalen Skale von großer Bedeutung, dies wird in vorliegender Studie durch ausgewählte Beispiele illustriert. Insbesondere führen auf linearen Kausalitäten basierende Strategie-Entscheidungen nicht notwendigerweise zu einer Reduktion naturgefahreninduzierter Risiken, da diese einen hohen Grad an Komplexität aufweisen.

**Keywords:** Schadenpotential, Variabilität, Risikoanalyse

#### ABSTRACT

In natural hazards research, risk is defined as a function of (1) the probability of occurrence of a hazardous process, and (2) the assessment of the related extent of damage, defined by the damage potential and the vulnerability according to the intensity of the hazard process. Only recently, operational methods for the assessment of values at risk are available. Possible GIS-based approaches are discussed. A long-term increase in damage potential as well as a remarkable variability in mobile values and persons at risk requires adopted strategies in risk management. As presented by selected case studies, the multi-temporal assessment of values at risk is fundamental within the framework of integral risk management. In particular, strategic decisions based on linear causalities do not necessarily result in a reduction of natural hazard risk since risk is organised at a high level of complexity.

**Keywords:** Values at risk, variability, risk assessment

---

<sup>1</sup> Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, Universitätsstrasse 7, A-1010 Wien, margreth.keiler@univie.ac.at

<sup>2</sup> Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren, Peter Jordan Strasse 82, A-1190 Wien, sven.fuchs@boku.ac.at

## EINLEITUNG

Periodische und episodische Abtragsprozesse sind in alpinen Geosystemen ebenso präsent wie eine hohe Wasserführung in den Flüssen der Vorländer dieser Bergregionen. Erst eine Überschneidung mit anthropogenen Interessenssphären, wie zum Beispiel Siedlungen, Straßenverbindungen oder touristischer Infrastruktur, macht diese natürlichen Prozesse zu Gefahren, insbesondere, wenn sie in ihrer durchschnittlichen Schwankungsbreite einen bestimmten, auf die jeweiligen technologischen und wirtschaftlichen Bedingungen bezogenen Schwellenwert überschreiten. Naturgefahren sind somit Phänomene an der Schnittstelle zwischen naturräumlichen Gegebenheiten auf der einen Seite und Elementen des Kulturrums auf der anderen Seite.

Der Umgang mit Naturgefahren hat in den Alpen eine lange Tradition, vor allem, weil die als Dauersiedlungsraum geeigneten Flächen aufgrund der Topographie relativ gering sind. Wurde in vergangenen Jahrhunderten die potentiell gefährdete Fläche überwiegend extensiv landwirtschaftlich genutzt, und somit großteils gemieden, sind zu Beginn des 20. Jahrhunderts bereits völlig andere Nutzungsmuster nachweisbar, deren Ursache vor allem auch im wirtschaftlichen Aufschwung von Berggebieten durch den Tourismus liegen. Vor dem Hintergrund eines weiteren sozioökonomischen Wandels, vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg, wird der Übergang von einer ursprünglich mehr oder weniger agrarisch geprägten Gesellschaft hin zu einer dienstleistungsorientierten Gesellschaft markiert.

Der Umgang mit Naturgefahren wurde vor dem Hintergrund einer bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert einsetzenden Individualisierung der Gesellschaft zunehmend als staatliche Aufgabe angesehen, und in Folge beispielsweise in Österreich vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung und von der heutigen Bundeswasserbauverwaltung wahrgenommen. Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hatten permanente und temporäre Verbaumaßnahmen zur Prozessverhinderung in den Einzugsgebieten Vorrang, ab den 1960er Jahren setzte jedoch eine intensive Diskussionen um die Möglichkeit passiver Schutzmaßnahmen ein, die in Österreich mit der Anfertigung der ersten Gefahrenzonenpläne in Tirol ihren Niederschlag fanden.

Die Investition erheblicher Mittel in die Verbauung relevanter Anrissgebiete potentiell gefährlicher Prozesse, sowie in den Hochwasserschutz der Wasserläufe, verbunden mit der Erstellung von Gefahrenzonenplänen, darf jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass ein vollständiger Schutz vor Schäden durch natürliche Prozesse nicht möglich ist. Vor allem seit den 1990er Jahren zeigt sich dies deutlich, so waren im Alpenraum erhebliche Schäden durch Lawinen (Winter 1998/99), Wildbachprozesse (1999, 2002, 2005) und Hochwasser (2002, 2005, 2006) zu verzeichnen.

Analyse und Bewertung von Naturgefahren ist bereits seit Jahrzehnten Gegenstand der mit Naturgefahren befassten Akteure in Österreich. Besonders von ingenieurwissenschaftlicher Seite werden Gefahrenbeurteilungen durchgeführt, um ex ante Auswirkungen gefährlicher Prozesse auf den Siedlungs- und Wirtschaftsraum zu bestimmen. Solange relevante Systemgrenzen stabil sind, und sich somit die Rahmenbedingungen für Prozesse nicht ändern, können mit dieser Methodik zukünftige Schäden auf das Minimum reduziert werden. Im Vordergrund steht hierbei die Frage, von welchen Prozessen welche Einwirkungen ausgehen bzw. welche Objekte welcher Gefährdung ausgesetzt sind. Nach dieser Festlegung werden die Objekte entsprechend der Größe des erwarteten Schadens sowie entsprechend des gewählten Schutzzieles gereiht. Diese Reihung bildet die Grundlage für eine Prioritätenliste, in der – auch aufgrund ökonomischer Überlegungen – festgelegt wird, bei welchen Objekten welche Maßnahmen zur Schadensverminderung getroffen werden.

Zeitgemäßes Naturgefahrenmanagement erweitert die prozessorientierte Sichtweise um die Bewertung des exponierten Schadenpotentials, es kombiniert folglich Analysen des Natur-

raums und des Kulturraums/der Gesellschaft zum Konzept der Risikoanalyse. Risiko, mathematisch definiert als Funktion von Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude und dem korrespondierenden Schadensausmaß (Varnes 1984), ermöglicht somit eine Quantifizierung der Auswirkung von Naturgefahren. Das Schadensausmaß errechnet sich dabei aus dem Wert und der Verletzlichkeit eines betrachteten Objektes, sowie der Präsenz-wahrscheinlichkeit im Falle von beweglichen Objekten, vgl. Gleichung (1).

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, A_{Oj}, v_{Oj, Si}, P_{Oj, Si}) \quad (1)$$

$R_{i,j}$	Risiko in Abhängigkeit von Szenario $i$ und Objekt $j$
$p_{Si}$	Eintretenswahrscheinlichkeit von Szenario $i$
$A_{Oj}$	Wert von Objekt $j$
$v_{Oj, Si}$	Verletzlichkeit von Objekt $j$ in Abhängigkeit von Szenario $i$
$P_{Oj, Si}$	Präsenz-wahrscheinlichkeit von Objekt $j$ gegenüber Szenario $i$

Im Alpenraum lag bisher der Fokus auf der Erfassung des Gefahrenpotentials und der dazugehörigen Eintretenswahrscheinlichkeit ( $p_{Si}$ ); dementsprechend wurden einzelne Prozesse erfasst, analysiert und modelliert, vor allem in Hinblick auf die Bemessungsereignisse. Nur wenige (neuere) Arbeiten befassen sich explizit mit der Analyse des exponierten Schadenpotentials (z.B. Fuchs et al. 2004a, b; Keiler & Stötter 2004; Fuchs & Keiler 2006; Keiler et al. 2006a; Kleist et al. 2006; Willi et al. 2007). Dementsprechend ist kaum eine ausgereifte Methodik zur Erhebung des Schadenpotentials entwickelt, es wird oftmals abstrakt die Verwendung von Versicherungswerten für Gebäude bzw. generell eine Abschätzung des Schadenpotentials empfohlen (Heinimann 1998; BUWAL 1999). Untersuchungen auf Objektebene basieren auf direkten ökonomischen Analysen des Schadenpotentials (Keiler 2004; Fuchs & Bründl 2005), für den regionalen Maßstab werden GIS-basierte Verfahren vorgeschlagen (Zischg et al. 2002; BWG 2005). Weitere Fallstudien zur Bestimmung des Schadenpotentials bauen auf national bzw. global verfügbaren volkswirtschaftlichen und demographischen Datensätzen auf (Liu & Lei 2003; Nauss & Reudenbach 2003; FEMA 2005). Im Allgemeinen sind für diese Art GIS-basierter, flächendeckender Schadenpotentialanalyse das Vorhandensein statistischer Daten sowie deren Qualität der limitierende Faktor für eine operationelle Anwendung in einer mittleren und hohen Auflösung (vgl. United Nations 2004). Analysen im lokalen Maßstab werden darüber hinaus in der Regel durch den erforderlichen Zeit- und somit Kostenaufwand eingeschränkt.

Nachdem Änderungen im Naturraum wie auch im Kulturraum einem zeitlichen Wandel unterliegen, kommt einer temporalen Betrachtung bei der Beurteilung naturgefahreninduzierter Risiken eine hohe Bedeutung zu, eine Tatsache, die zumindest für den Bereich der Gefahrenzonenplanung evident ist (Heigl 2000). Sich aus diesen Veränderungen ergebende mögliche Entwicklungen des Risikos sind in Abbildung 1 qualitativ in (zumindest theoretisch) neun möglichen Tendenzen dargestellt. Intensität und Magnitude eines Prozesses können zunehmen, abnehmen, oder die derzeitige Größe beibehalten. Dabei muss aufgrund neuerer Erkenntnisse davon ausgegangen werden, dass alle Verlagerungsprozesse mit Wasser als Agens eine Akzentuierung erfahren werden (z.B. IPCC 2007), und somit eine Zunahme der Prozesse zumindest nicht ausgeschlossen werden kann. Das von diesen Prozessen betroffene Schadenpotential unterliegt ebenfalls einer Variabilität, weite Teile des Ostalpenraumes weisen aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte eine Ausdehnung des Siedlungsraumes auf. Einhergehend mit einer allgemeinen Wertekonzentration muss in ausge-

dehnten Regionen mit einem Anstieg gefährdeter Werte gerechnet werden. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Untersuchungen zu Veränderungen des exponierten Schadenpotentials.

Das Ziel vorliegender Arbeit ist es, das Schadenpotential auf einer multitemporalen Skale zu betrachten und die Auswirkungen auf das Risikomanagement zu diskutieren. Nachdem hierzu einerseits GIS-basierte Methoden an Bedeutung gewinnen,

andererseits jedoch kaum Literatur zur Verfügung steht, wird abschließend ein operationell anwendbares Verfahren zur Erhebung des Schadenpotentials präsentiert.

## BETRACHTUNG DER MULTITEMPORALEN SKALE

Die Skalenabhängigkeit ist eine Grundeigenschaft aller auf der Landoberfläche ablaufenden Prozesse. Das Problem der Skalierung hat dabei zwei wesentliche Komponenten: Direkte Messungen sind in der Regel beschränkt auf kleine Raum- und Zeitausschnitte, und sind auf die jeweils übergeordnete Ebene nicht unmittelbar übertragbar, da sie sich in ihren Eigenschaften unterscheiden. Ein direktes Upscaling ist aus diesem Grund nicht möglich, vielmehr muss eine kombinierte Betrachtung und Bewertung auf verschiedenen Skalen durchgeführt werden.

Eine multitemporale Betrachtung im Sinne der Risikoanalyse erfasst Veränderungen eines Faktors oder mehrerer Faktoren aus Gleichung (1) in einem Untersuchungsgebiet über einen definierten Zeitraum. Hierbei wird die Analyse auf mehreren Zeitskalen verknüpft, um die wesentlichen das Risiko beeinflussende Parameter mit den zugrunde liegenden Einflussfaktoren bewerten zu können. Die zeitliche Komponente bei der Beurteilung naturgefahreninduzierter Risiken verläuft somit multitemporal kombiniert auf einer langfristigen sowie auf einer kurzfristigen Skale.

### Langfristige Aspekte der Skale

Aufbauend auf dem Konzept regionaler Entwicklungstypen zeigt eine erste systematische und quantifizierende Analyse des sozioökonomischen Strukturwandels im Alpenraum starke räumliche Disparitäten auf (Bätzing 1993), die mit einer langfristigen Veränderung der Bevölkerung in Verbindung gebracht werden. Diese kleinmaßstäbigen Phänomene werden auch auf meso- und mikroskaligen Betrachtungsebenen widergespiegelt. Abbildung 2 veranschaulicht dies anhand zweier Fotografien der Ortschaft Davos (Schweiz), deutlich ist hier die Verdichtung der Siedlungsstruktur sowie die Ausdehnung des Siedlungsraumes zu erkennen.

		Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Personen und/oder Objekte		
		Abnahme (-)	keine Änderg. (∅)	Anstieg (+)
Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit gefährlicher Prozesse	Anstieg (+)	A ∅	B +	C ++
	keine Änderg. (∅)	D -	E ∅	F +
	Abnahme (-)	G --	H -	I ∅

**Abb. 1:** Darstellung möglicher Risikoentwicklungen auf Basis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren-Prozessen und Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Objekte und Personen.

**Fig. 1:** Possible developments of risk based on variations in intensity and probability of occurrence of hazards and values at risk.

Die entsprechende Steigerung exponierter Werte ist für dieses Beispiel von Fuchs & Bründl (2005) dokumentiert worden, und in Abbildung 3 wiedergegeben. Die langfristige Steigerung der Anzahl Gebäude und der zugehörigen Werte wurde auch für andere alpine Siedlungen nachgewiesen, beispielsweise in Keiler (2004) für die Ortschaft Galtür (vgl. Abbildung 3), und in Keiler et al. (2006a) für weitere Orte im österreichischen Paznauntal.

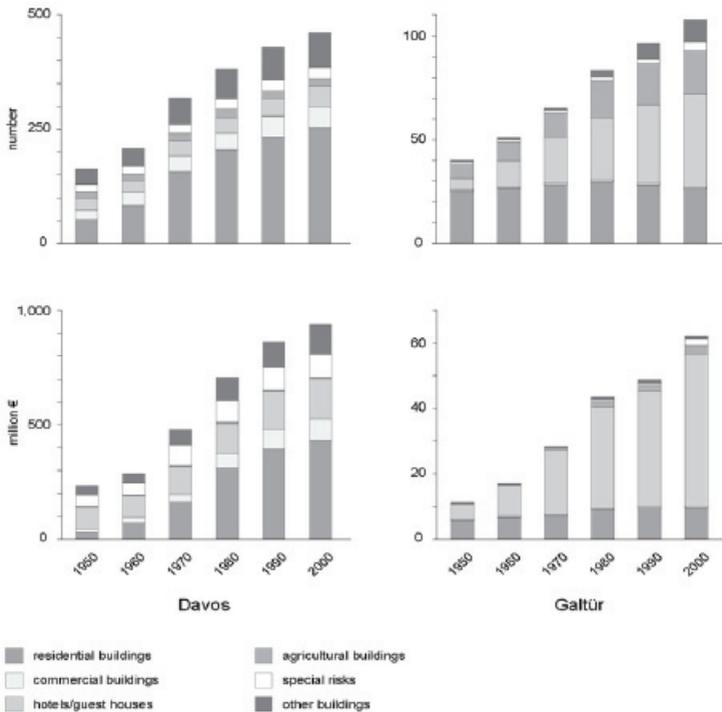


**Abb. 2:** Siedlungsentwicklung im Alpenraum am Beispiel Davos (Schweiz); links 1940er Jahre, rechts im Jahr 2002. Fotos: J. Trauffer (links), S. Fuchs (rechts)

**Fig. 2:** Development of settlements in the Alps, example Davos (Switzerland) in the 1940s (left) and in 2002 (right). Photo courtesy: J. Trauffer (left), S. Fuchs (right)

In Davos hat sich die Anzahl der gefährdeten Gebäude von 1950 bis 2000 fast verdreifacht, der Wert ist um den Faktor 4 gestiegen, wobei der Großteil der Steigerungen in der Kategorie Wohngebäude zu verzeichnen ist. In Galtür hat sich die Anzahl gefährdeter Gebäude im gleichen Untersuchungszeitraum mehr als verdoppelt, und der zugehörige Wert ist um den Faktor 5 gestiegen, wobei hier in der Kategorie der Beherbergungsbetriebe die höchsten Steigerungen zu beobachten sind.

Wird die Entwicklung des Schadenpotentials zusätzlich einer detaillierten räumlichen Analyse unterzogen, ergeben sich bemerkenswerte Differenzen. In den gelben Gefahrenzonen in Galtür sind die gefährdeten Gebäudewerte im Untersuchungszeitraum um den Faktor 9 angestiegen, diese Steigerung liegt somit auch über den der gesamten Gemeinde (Faktor 8). Wird ein 10 m-Bereich im direkten Anschluss an die gelbe Zone betrachtet – also im offiziell ‚sicheren‘ Gebiet – so kann ein Anstieg der Gebäudewerte um den Faktor 15 festgestellt werden. Diese Steigerung erfolgte nach Fertigstellung des Gefahrenzonenplans. Dementsprechend spiegelt sich hier die Berücksichtigung des Gefahrenzonenplans in der Flächenwidmung der Gemeinde wider (Keiler & Stötter 2004). Diese Entwicklung führte dazu, dass sich in diesem unmittelbar den Zonen anschließenden schmalen Bereich ungefähr dieselbe Summe an Gebäudewerten befindet wie in den Gefahrenzonen. Eine ähnliche Entwicklung ist auch in Da-



**Abb. 3:** Steigerung der Anzahl und Werte gefährdeter Gebäude in Davos (CH, links) und Galtür (A, rechts).  
**Fig. 3:** Increase in number and value of endangered buildings in Davos (CH, left) and Galtür (A, right).

vos zu beobachten, hier würde eine Ausdehnung der derzeit gültigen Gefahrenzonenpläne um 10 m die Anzahl gefährdeter Gebäude um rund ein Drittel ansteigen lassen, die Anzahl der gefährdeten Personen würde sich verdoppeln (Fuchs & Bründl 2005)

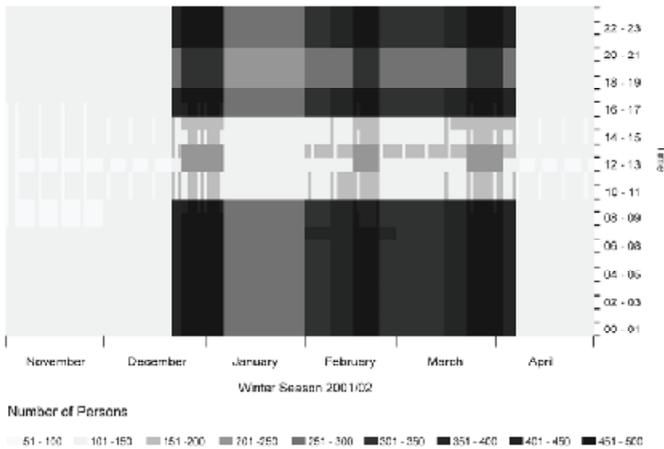
### Kurzfristige Aspekte der Skale

Parallel zu diesen langfristigen Änderungen des Schadenpotentials finden sich kurzfristige Fluktuationen, die vor allem mobile Werte und Personen betreffen. Diese Schwankungen können quantifiziert werden, und untergliedern sich weiter auf verschiedenen aufgelösten Zeitskalen in saisonale, wöchentliche und stündliche Variationen (vgl. Abbildung 4). Maximalwerte in der Anwesenheit von Personen in gefährdeten Siedlungsbereichen alpiner Tourismusdestinationen finden sich während der typischen winterlichen Hochsaison in der Zeit um Weihnachten, Ende Februar und Ostern. Diese Perioden stimmen häufig mit Zeitabschnitten erhöhter Lawinenaktivität überein, wie eine Analyse der entsprechenden Lawinenlageberichte gezeigt hat (Fuchs et al. 2004b). Über den gesamten Betrachtungszeitraum ändert sich für das Untersuchungsgebiet die Anzahl Personen um den Faktor 6. Der wöchentliche Rhythmus der Tourismusbewegungen ist dabei evident, und wird von tageszeitlichen Schwankungen mit einem Faktor zwischen 1,4 (Nebensaison) bis 3,4 (Hauptsaison) überlagert.

## Multitemporale Skale und Risikoanalysen

Risikoanalysen, die für Naturgefahren durchgeführt werden, sind im Allgemeinen statische Ansätze (vgl. beispielsweise Jónasson et al. 1999; Keylock et al. 1999; Gächter & Bart 2002; Bell & Glade 2004), jedoch unterliegen naturgefahreninduzierte Risiken einer zeitlichen Variabilität, da risikobeeinflussende Faktoren (Prozess, Objektwerte, Verletzlichkeit) in lang- sowie kurzfristigem Rahmen variabel sind.

Die Entwicklung des Schadenpotentials im Alpenraum macht deutlich, dass im Umgang mit Naturgefahren nicht nur die Gefahrenprozesse zu berücksichtigen sind, auch die exponierten Werte sollten bei einer umfassenden Beurteilung des Risikos in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

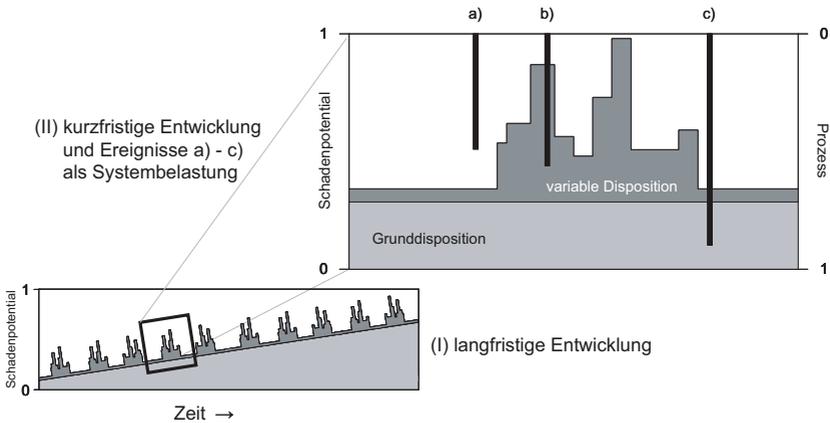


**Abb. 4:** Saisonale, tägliche und stündliche Variationen der exponierten Personen in Galtür (Wintersaison 2001/2002, Keiler et al. 2005).

**Fig. 4:** Seasonal, diurnal and hourly fluctuations of the number of exposed persons in a selected avalanche-prone area in Galtür (winter season 2001/2002, Keiler et al. 2005).

Prozesse des Global Change (im Sinne des Human Dimension Programms definiert als Veränderung des Naturraums und des Kulturrums) manifestieren sich speziell im Alpenraum des 20. Jahrhunderts über intensive Veränderungen. Hierbei ist zukünftig von einer gewissen Zunahme der Prozessintensität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit der Prozesse auszugehen, an denen fließendes Wasser beteiligt ist (Hochwasser, Mur- und Rutschprozesse, IPCC 2007). Ebenso bedeutsam sind aber zeitgleich ablaufende Prozesse im Kulturräum, speziell veränderte Präsenzwahrscheinlichkeiten von Personen und mobilen Objekten sowie die damit verbundenen exponierten Werte durch Veränderungen der Wirtschafts- und Sozialstrukturen. Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im soziökonomischen Bereich werden durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können (Fuchs & Keiler 2008). Diese Überlegungen sind in Abbildung 5 in einem schematischen Konzept zusammengefasst. In diesem Konzept können langfristige Änderungen des Schadenpotentials als Grunddisposition betrachtet werden. Um das entstehende Risiko aufgrund dieser Grunddisposition zu ver-

ringern, können und werden permanente technische Maßnahmen sowie raumplanerische Mittel eingesetzt. Aufgrund dessen kann das Risiko durch eine räumliche Einschränkung der Prozessgebiete reduziert werden. Beispiele hierfür werden in Fuchs et al. (2004a, b) für Davos erläutert, hier ist das Lawinenrisiko seit 1950 trotz der oben angeführten Steigerung des Schadenpotentials deutlich gesunken. Eine ähnliche Entwicklung konnten Keiler et al. (2006b) für Galtür aufzeigen; hier ist aufgrund technischer Schutzmaßnahmen im Anrissgebiet sowie Objektschutz das Lawinenrisiko in unterschiedlichen Lawinenzügen wieder auf das Niveau von 1950 reduziert worden, bzw. es konnte eine wesentlich geringerer relativer Anstieg des Risikos im Vergleich zu Steigerungen der Objektwerte festgestellt werden. Dennoch können hohe Schäden im Falle von Extremereignissen nicht ausgeschlossen werden, da sich die oben erwähnte Risikoreduktion immer auf die Berechnung der entsprechenden Bemessungsereignisse bezieht. Dass solche Extremereignisse möglich sind, haben nicht zuletzt die Ereignisse des Lawinenwinters 1999 sowie die Hochwässer in den Jahren 2002, 2005 und 2006 aufgezeigt.



**Abb. 5:** Darstellung des Zusammenwirkens von (langfristiger) Grunddisposition (I) und (kurzfristiger) variabler Disposition (II) der Variabilität des Schadenpotentials in Bezug auf Systembelastungen.

**Fig. 5:** Schematic description of the concept of basic (long-term, I) and variable (short-term, II) damage potential and the relation to triggering events.

Kurzfristige Änderungen des Schadenpotentials (variable Disposition) überlagern die kontinuierliche Entwicklung des Schadenpotentials (Grunddisposition) in einem gewissen zeitlichen Bereich, und sollten deshalb als variable Disposition in diesem Konzept berücksichtigt werden. Temporäre Maßnahmen wie Evakuierung und Straßensperrung sind hier geeignet, um das Risiko aufgrund der kurzfristigen Fluktuation des Schadenpotentials zu verringern.

Bei Auftreten eines potentiell gefährlichen Prozesses ist der Eintritt eines Schadens abhängig von der Höhe des Schadenpotentials (Grunddisposition sowie variable Disposition) in dem überstrichenen Prozessbereich, und somit von lang- und kurzfristigen Veränderungen im System. In Abbildung 5 ist das Zusammenspiel zwischen langfristiger Entwicklung (S, I) und kurzfristiger Entwicklung (S, II) des Schadenpotentials schematisch dargestellt. Die kurzfristig variable Disposition überlagert grundsätzlich den langfristigen Anstieg exponierter Werte. Die Bedeutung für das Risikomanagement ist in Form der schwarzen Balken a), b) und c) in Abbildung 5, II dargestellt. In Beispiel (a) reicht die Belastung des Systems durch ein Ereignis

nis nicht aus, um Schadenpotential zu beeinträchtigen, in diesem Fall ist die vorhandene Risikoverminderungsstrategie ausreichend. In Beispiel (b) wird das System im Bereich des kurzfristigen variablen Schadenpotentials betroffen, temporäre Schutzmassnahmen stehen hier als Sicherungsstrategie im Vordergrund. In Beispiel (c) sind sowohl die kurzfristige variable Disposition als auch die langfristige Grunddisposition des Schadenpotentials durch ein Ereignis betroffen. In diesem Fall ist eine Kombination von permanenten und temporären Maßnahmen sowie einen gut organisiertes und geplantes Ereignismanagement erforderlich, um die Schäden so gering wie möglich zu halten.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Wissen über kurzfristige und langfristige Veränderungen des Schadenpotentials ermöglicht eine entsprechende Planung im Risikomanagement. Die auf verschiedenen, sich überlagernden zeitlichen Skalen stattfindenden Veränderungen sollten bei einem holistischen Risikokonzept berücksichtigt werden, um der Forderung nach der langfristigen und präventiven Ausrichtung von Managementstrategien zu entsprechen. Dies stellt eine Erweiterung des bisherigen Konzepts im Umgang mit Naturgefahren dar.

Risikoanalysen für Naturgefahren sind in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einem wichtigen Grundlagenwerkzeug für Schutzkonzepte in vielen Alpenländern geworden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die derzeitige rechtliche Situation in Österreich im Rahmen der Gefahrenzonenplanung lediglich auf die Prozessbeurteilung fokussiert (vgl. Republik Österreich 1975; BMLFUW 2001), und somit Analysen des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit nicht zwingend erforderlich sind (Hattenberger 2006; Kanonier 2006). Deren Einbezug ist erst im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von Maßnahmen erforderlich (BMLFUW 2005, 2006), wobei auch hier eindeutig festgestellt wird, dass die grundlegende „Planung, Priorisierung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen (...) auf Methoden zur Verringerung der naturräumlichen Gefährdungssituation“ beruht (BMLFUW 2006:7) – folglich zunächst ohne Einbezug einer Analyse exponierter Werte.

Darüber hinaus ist die Wechselwirkung zwischen physikalischen Systemen (oder Geosystemen, die Prozessseite) und sozialen Systemen (inklusive dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit) ein fundamentales Kennzeichen des naturgefahreninduzierten Risikos. Beide Systemtypen sind dynamisch zu betrachten, die Dynamik einzelner Faktoren kann neue Interaktionen hervorrufen und somit die Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Systemen beeinflussen. Infolgedessen sind zukünftig steigende Schäden, verursacht durch Naturereignisse, nicht ausschließlich auf Veränderungen der natürlichen Prozesse oder auf die Entwicklung der betroffenen Werte und deren Verletzlichkeit zurückzuführen (wie aus Abbildung 1 geschlossen werden könnte), sondern sie sind auch das Ergebnis einer erhöhten Komplexität (Hufschmidt et al. 2005; Keiler et al. 2006b). Erhöhte Komplexität liegt vor, da beispielsweise dieselbe Risikoentwicklung in benachbarten Lawineneinzugsgebieten in der Gemeinde Galtür von verschiedenen Faktoren determiniert wird (vgl. Keiler et al. 2006b). Diese Faktoren betreffen die räumliche Verteilung gefährdeter Objekte, die Werte der Objekte, die auftretenden Lawinendrucke und die damit verbundene Vulnerabilität der Objekte, die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen hinsichtlich der Reduktion des Auslaufbereichs und des auftretenden Lawinendrucks, sowie rechtliche Regulierungen (Gefahrenzonenplan, Bauvorschriften, etc.). Kleine Veränderungen eines einzelnen Einflussfaktors können durch die bestehenden Wechselwirkungen zu erheblichen Unterschieden in der Risikoentwicklung führen.

Ziel einer Risikoanalyse sollte deshalb nicht nur sein, einen quantitativen Wert für das Risiko zu berechnen, sondern Schwachstellen, Unsicherheiten sowie Wechselwirkungen im untersuchten dynamischen System zu erkennen und mit diesem Wissen einen optimierten Ablauf im Risikomanagement zu erreichen. Aufgrund der hohen Komplexität ist es notwendig, die

Weiterentwicklung von Methoden und Ansätzen in diesem Bereich zu fördern und somit das Wissen über die untersuchten Systeme zu erhöhen.

## **ANHANG: GIS-BASIERTE ERHEBUNG DES SCHADENPOTENTIALS**

Nachdem bislang kaum eine operationell anwendbare Methodik zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotentials vorhanden ist, werden im Folgenden kurz die notwendigen Analyse-schritte dargestellt.

Im lokalen Maßstab muss die Erhebung des Schadenpotentials zumeist auf der Grundlage von Feldstudien durchgeführt werden, da die notwendigen Daten in den meisten Regionen nicht in der nötigen Qualität verfügbar sind. Die Verwendung von Durchschnittswerten bei der nicht-linearen Quantifizierung einzelner Objekte ist mit großen Unsicherheiten behaftet, und somit im lokalen Maßstab nicht präzise. Gute Resultate zeigen jedoch GIS-basierte Ansätze für den regionalen Maßstab, allerdings ist es notwendig, die vorhandenen Ansätze individuell den länderspezifischen Datengrundlagen anzupassen. Aufgrund dessen ist die folgend vorgestellte Vorgehensweise nur als mögliche Richtlinie zu verstehen.

Um eine Schadenpotentialanalyse durchzuführen, werden nachstehende Verfahrensschritte vorgeschlagen: Erhebung der Datengrundlagen, Aufbereitung des Datenmaterials, Verschneidungen, Klassifikation der Gebäudefunktion, Volumenberechnung und Werteberechnung.

Für die Abgrenzung gefährdeter Gebiete können bestehende Gefahrenzonenpläne oder flächenhafte Modellierungen herangezogen werden. Entsprechend der Qualität der verfügbaren digitalen Daten ist teilweise eine weitere Aufbereitung notwendig, um die für die folgenden Schritte notwendigen flächenhaften Layer zu erhalten. Die Gebäudeflächen können als singuläre Information bereits vorhanden sein oder müssen aus übergeordneten Quellen, wie z.B. der digitalen Katastralmappe, extrahiert werden. Über eine Verschneidungsfunktion werden die gefährdeten Gebäude selektiert. Ein wesentlicher Punkt in der Schadenpotentialanalyse ist die Zuordnung der Gebäudefunktionen, hier kann aufgrund fehlender oder qualitativ geringwertiger Informationen eine falsche Klassifizierung getroffen werden, was in Folge zu großen Schwankungen und hohen Unsicherheiten des ermittelten Schadenpotentials führt. Die Grundlage für eine Klassifikation der Gebäudefunktion bilden in den verschiedenen Regionen des Alpenraums unterschiedliche Datenqualitäten. In Nordtirol können 16 Klassen mittels der vorhandenen Adressverortung unterschieden werden. Hingegen sind in Südtirol nur etwa drei Klassen durch eine Überlagerung mit dem Bauleitplan extrahierbar. Für die Volumenberechnung werden neben der Grundfläche der Objekte Geschoßhöhe und -anzahl bzw. die maximal zulässige Bauhöhe herangezogen. Die Gebäudewerte können beispielsweise – wie in der Versicherungsbranche üblich – über den Neuwertpreis für jede Funktionsklasse ermittelt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung standardisierter regionaler Baukosten. Allgemein sind bei beiden Ansätzen der regionalspezifische Unterschied der Preise bei der Übertragung von Durchschnittswerten, sowie die Index-Anpassung zu beachten. Für den regionalen Ansatz zur Schadenpotentialerhebung werden Sonderobjekte, wie Krankenhäuser, Kirchen, Tankstellen, Kläranlagen etc. separat bewertet. Es hat sich gezeigt, dass der Kumul der ermittelten Werte in einem Gefahrengebiet bzw. für eine Gefahrenzonenkategorie die durch die Verwendung von Durchschnittswerten über eine Funktionszuordnung für jedes individuelle Schadenobjekt mögliche Über- oder Unterbewertung ausgleicht (vgl. Keiler et al. 2006a).

## **LITERATUR**

Bätzing, W. (1993): Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraums im 20. Jahrhundert, Bern: Geographica Bernensia, P26.

- Bell, R. und Glade, T. (2004): Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW Iceland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 117-131, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/117/2004/>.
- BMLFUW (2001): Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung, Erlass des BMLFUW ZL. 52.240/07-VC6a/2001. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2005): Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbau-entwässerungsgesetz. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2006): Technische Richtlinie für die Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs 1 Z 1 und Abs 2 des WBFVG 1985 i.d.F. BGBl. Nr. 82/2003 vom 29.08.2003, Erlass des BMLFUW Zl. LE 3.3.5/0004-IV 5/2006. BMLFUW, Wien.
- BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BWG (2005): Priorisierungsverfahren für Hochwasserschutzprojekte – Abschätzung des Schadenpotentials, <http://www.bwg.admin.ch/service/download/d/index.htm#schap>, (Abruf 25.05.2007).
- FEMA (2005): Overview of HAZUS-MH, [http://www.fema.gov/hazus/hz\\_meth.shtm](http://www.fema.gov/hazus/hz_meth.shtm) (Abruf 19.05.2007).
- Fuchs, S., Bründl, M. und Stötter, J. (2004a): Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the municipality of Davos, Switzerland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 263-275.
- Fuchs, S., Bründl, M. und Stötter, J. (2004b): Entwicklung des Lawinenrisikos im Siedlungsraum - Fallbeispiel Davos, Schweiz, Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 2, VI/115-VI/126.
- Fuchs, S. und Bründl, M. (2005): Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements of the canton of Grisons, Switzerland, *Natural Hazards*, 34, 53-69.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2006): Natural hazard risk depending on the variability of damage potential, in: Popov, V. und Brebbia, C.: *Risk Analysis V – Simulation and hazard mitigation*, WIT Press, Southampton, 13-22.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2008): Variability of natural hazard risk in the European Alps – Evidence from damage potential exposed to snow avalanches, in: Pinkowski, J.: *Disaster management handbook*. London: Taylor & Francis, 267-279.
- Gächter, M. und Bart, R. (2002): Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit bei der Massnahmenplanung – Beispiel Diesbach, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 153, 268-273.
- Hattenberger, D. (2006): Naturgefahren und öffentliches Recht, in: Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K.: *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Studienverlag, Innsbruck, 67-91.
- Heigl, F. (2000): Für eine dynamische Zonenausweisung, Internationales Symposium Interpraevent – Villach, 26.-30. Juni, Band 2, 253-265.
- Heinmann, H.-R. (1998): Der Umgang mit Naturrisiken aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 9, 691-705.
- Hufschmidt, G., Crozier, M., und Glade, T. (2005): Evolution of natural risk: research framework and perspectives, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 375-387, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/375/2005/>.
- IPCC (2007): *Climate change 2007. Summary for policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge. Deutschsprachige Version online unter <http://www.proclim.ch/products/IPCC07/de/IPCC2007-FullDocument.pdf> verfügbar (Abruf 20.09.2007).
- Jónasson, K., Sigurðsson, S. und Arnalds, Þ. (1999): Estimation of avalanche risk, Icelandic Meteorological Office, Reykjavík.

- Kanonier, A. (2006): Raumplanungsrechtliche Regelungen als Teil des Naturgefahrenmanagements, in: Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K.: Recht im Naturgefahrenmanagement, Studienverlag, Innsbruck, 123-153.
- Keiler, M. (2004): Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950-2000, case study Galtür, Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 249-256, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/249/2004/>.
- Keiler, M. and Stötter, J. (2004): Aspekte der Entwicklung des Schadenpotentials bei Lawinenrisiken am Beispiel Galtür, Internationales Symposium Interpraevent, Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 2, VI/139-VI/150.
- Keiler, M., Zischg, A., Fuchs, S., Hama, M. und Stötter, J. (2005): Avalanche related damage potential - changes of persons and mobile values since the mid-twentieth century, case study Galtür, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 49-58, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/49/2005/>.
- Keiler, M., Zischg, A. und Fuchs, S. (2006a): Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken, in: Strobl, J. und Roth, C.: GIS und Sicherheitsmanagement, Wichmann, Heidelberg, 118-128.
- Keiler, M., Sailer, R., Jörg, P., Weber, C., Fuchs, S., Zischg, A. und Sauermoser, S. (2006b): Avalanche risk assessment – A multi-temporal approach, results from Galtür, Austria, Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 637-651, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/637/2006/>.
- Keylock, C., McClung, D. und Magnússon, M. (1999): Avalanche Risk Mapping by Simulation, Journal of Glaciology, 45, 303-314.
- Kleist, L., Thieken, A., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I., Borst, D. und Werner, U. (2006): Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany, Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 541-552, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/541/2006/>.
- Liu, X. und Lei, J. (2003): A method for assessing regional debris flow risk: An application in Zhaotong of Yunnan Province (SW China), Geomorphology, 52, 181-191.
- Nauss, T. und Reudenbach, C. (2003): Developing an absolute natural disaster risk index (ANDRI) on the basis of economic and geophysical data, Die Erde, 134, 195–209.
- Republik Österreich (1975): Forstgesetz 1975, Bundesgesetzblatt Nr. 440/1975, in der Fassung BGBl. I Nr. 83/2004, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6119/> (Abruf 20.09.2007), und zugehörige Verordnung: Verordnung über Gefahrenzonenpläne, BGBl. Nr. 436/1976, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6128/> (Abruf 20.09.2007).
- United Nations (2004): Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives. Geneva, United Nations.
- Varnes, D. (1984): Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. Paris, UNESCO.
- Willi, C., Wilhelm, C. und Heinemann, H.-R. (2007): Analyse der Risikoentwicklung im Einzugsgebiet des Taschinasbaches zwischen 1910 und 2005, Wasser Energie Luft, 99, 133-136.
- Zischg, A., Keiler, M., Fuchs, S. und Meißl, G. (2002): Konzept zur flächendeckenden Risikoanalyse für Naturgefahren im regionalen Maßstab, in: Strobl, J., Blaschke, T. und Griesebner, G.: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Wichmann, Heidelberg, 607-615.