

Das Risikokzept in der Naturgefahrenforschung



Mag. Dr. Margret Keiler
margret.keiler@univie.ac.at



Dipl.-Geogr. Dr. Sven Fuchs
sven.fuchs@boku.ac.at

Universität Wien
Institut für Geographie und
Regionalforschung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
Tel.: +43-1-4277- 48628;
Fax: +43-1-4277- 9531

Universität für Bodenkultur
Department für Bautechnik und
Naturgefahren
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter -Jordan- Straße 82
1190 Wien
Tel.: +43-1-47654- 4373;
Fax: +43-1-47654-4390

Der Umgang mit Naturgefahren hat in den Alpen eine lange Tradition. Der Alpenraum steht aufgrund des Globalen Wandels vor neuen Herausforderungen, um die bestehenden Strategien im Umgang mit Naturgefahren anzupassen und zu optimieren. Ein holistisches Risikokzept für das Naturgefahrenmanagement bietet hierfür auf Basis von Systemverständnis und interdisziplinärer Zusammenarbeit eine geeignete Grundlage. Im Vordergrund sollten die Berücksichtigung zeitlich-räumlicher Veränderungen stehen, sowie die Entwicklung von dynamischen Ansätzen. Um entsprechende Managementstrategien umsetzen zu können, ist das Aufzeigen von Unsicherheiten sowie eine öffentliche Partizipation notwendig.

1 Umgang mit Naturgefahren im Alpenraum

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 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. In Folge setzte sich daher zunehmend auch politisch die Erkenntnis durch, dass ein vollständiger Schutz vor Naturgefahren auf Dauer nicht bezahlbar und ökologisch nicht vertretbar ist [1, 2]. Aus diesem Bewusstsein heraus begann sich in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel im Umgang mit Naturgefahren abzuzeichnen. Die nationale Plattform Naturgefahren in der Schweiz (PLANAT) bezeichnete diese Entwicklung als einen Wandel von der „Gefahrenabwehr zur Risikokultur“ und machte die Förderung dieses Umdenkens in Wirt-

The Risk Management Model

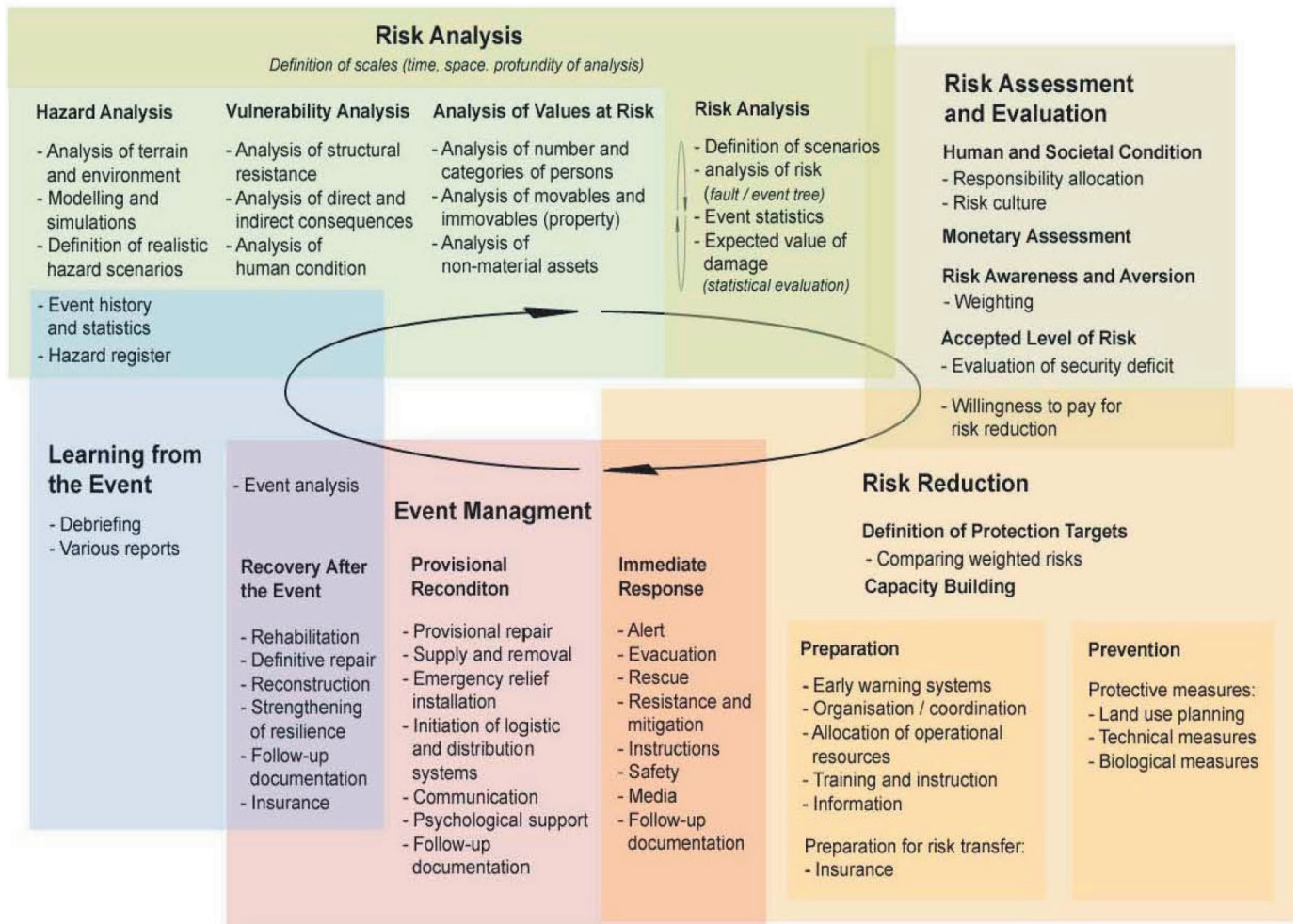


Bild 1: Risikokreislauf in der Naturgefahrenforschung [18]

schaft und Gesellschaft zu ihrem Hauptanliegen [2]. Im Umgang mit Naturgefahren finden somit die Prinzipien des nachhaltigen Handelns und Entscheidens vermehrt Beachtung, wie auch in der Alpenkonvention verankert [3, 4] sowie in der Agenda 21 gefordert [5].

Eine Erweiterung des Umgangs mit Naturgefahren um das Risikokzept erfordert ein Umdenken aller beteiligten Akteure aus öffentlicher Verwaltung, Wissenschaft und Praxis.

Zeitgemäßes Naturgefahrenmanagement basiert auf der Erfassung und Bewertung des Risikos, es beinhaltet folglich fakultativ Elemente des Naturraums und des Kulturraums/der Gesellschaft. Im Sinne dieses holistischen Ansatzes dürfen potenziell gefährliche Prozesse nicht länger isoliert betrachtet werden, es bedarf vielmehr der expliziten Einbeziehung des exponierten Schadenpotenzials.

2 Holistisches Risikokzept für das Naturgefahrenmanagement

Analyse, Bewertung und Umgang mit Gefahren ist bereits seit Jahrzehnten Gegenstand der technologischen Risikoforschung. Diese sicherheitswissenschaftlichen Analysen finden ihre Anwendung in industriellen Produktionsanlagen (eingesetzt beispielsweise in der Gentechnologie oder der chemischen Industrie), aber auch in der Ener-

giewirtschaft oder im öffentlichen Verkehr. Besonders in den Ingenieurwissenschaften werden Risikountersuchungen zunehmend verwendet, um ex ante die Auswirkungen von Handlungen oder Anlagen zu bestimmen. Im Vordergrund steht hierbei die Frage, von welchen Objekten welche Risiken ausgehen bzw. welche Objekte welcher Gefährdung ausgesetzt sind. Nach dieser Festlegung werden die Objekte entsprechend der Größe des auf sie oder durch sie einwirkenden Risikos gereiht. Diese Prioritätenliste legt fest, bei welchen Objekten zuerst Maßnahmen zur Verminderung des Risikos getroffen werden müssen [6].

Aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht wird Risiko allgemein als Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit des untersuchten Prozesses und der Höhe des resultierenden Schadenausmaßes definiert. Der Risikobegriff in der Naturgefahrenforschung ist untrennbar mit den Namen White, Burton und Kates verbunden [7]. Zu Beginn der Naturgefahrenforschung stand die Fragestellung, warum es trotz hoher Investitionen in den Hochwasserschutz zu einer Erhöhung der Schäden durch Überschwemmungen in der USA kam [8]. In der weiteren Entwicklung wird die erste systematische flächendeckende Risikoanalyse für Naturgefahren Petak und Atkisson [9] zugeschrieben. In dieser Arbeit wird mit einfachen Annahmen und Modellen eine Prioritätenreihung bei der Maßnahmenplanung auf

regionaler und überregionaler Ebene durchgeführt. Durch die zahlreichen Ereignisse mit laufend steigenden Schäden wird die Erforschung der Naturrisiken in den letzten Jahren verstärkt vorangetrieben, vor allem im schweizerischen Alpenraum [10–13].

Die Untersuchung eines naturgefahreninduzierten Risikos gliedert sich in die naturwissenschaftliche Risikoanalyse, die sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Risikobewertung und das interdisziplinäre Risikomanagement (zur Risikominimierung und -vermeidung). Diese Vorgehensweise sollte in einem holistischen Gesamtkonzept der Risikobetrachtung integriert sein, das einen effektiven und allen Ansprüchen gerecht werdenden Umgang mit dem natürlichen Prozess gewährleistet. Die Grundidee des Risikokzeptes liegt in der vorausschauenden Perspektive, die es erlaubt, ex ante potenzielle Auswirkungen natürlicher Prozesse abzuschätzen und adäquate, d.h. angemessene und angepasste, Maßnahmen einzuleiten [14]. Wird von einem umfassenden Risikokzept gesprochen, tritt der Umgang mit diesen Risiken in den Vordergrund. Hierfür müssen die Risiken erkannt (Risikoanalyse) und bewertet (Risikobewertung) werden, in weiterer Folge können zur Risikominderung Präventionsmaßnahmen getroffen und zur Schadenbegrenzung Strategien für den Ereignisfall ausgearbeitet werden. Eine umfassende Risikobetrachtung enthält darüber hinaus auch Konzepte für den Wiederaufbau und eine Ereignis- und Schadenanalyse, um die Abläufe in allen Bereichen des Risikokzeptes zu optimieren.

In Bild 1 ist ein umfassendes Risikokzept anhand des Risikokreislaufes für Naturgefahren dargestellt. In der Abbildung wird aufgezeigt, dass jeder einzelne Teilbereich des Risikokzeptes in zahlreiche ineinander greifende Einzelschritte untergliedert ist. In den folgenden Beiträgen [15–17] werden einzelne Aspekte aufgegriffen und näher erläutert, wobei in vorliegendem Beitrag auf die Risikoanalyse fokussiert wird.

3 Risikoanalyse für Naturgefahren

Risiko, mathematisch definiert als Funktion von Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude und dem korrespondierenden Schadensausmaß [19], ermöglicht somit eine Quantifizierung der Auswirkung von Naturgefahren. Das Schadensausmaß errechnet sich dabei aus dem Wert und der Verletzlichkeit eines betrachteten Objektes, sowie der Präsenzwahrscheinlichkeit 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
$p_{Oj, Si}$	Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt j gegenüber Szenario i

Im Alpenraum lag bisher der Fokus auf der Erfassung des Gefahrenpotentials und der dazugehörigen Eintretenswahrscheinlichkeit (p_{Si}); so wurden einzelne Prozesse erfasst, analysiert und modelliert, vor allem in Hinblick auf die Bemessungsergebnisse. Nur wenige (neuere) Arbeiten

befassen sich mit der Analyse des exponierten Schadenpotentials [z. B. 20–22]. Dementsprechend ist kaum eine ausgereifte Methodik zur Erhebung des Schadenpotentials entwickelt, es wird oftmals abstrakt die Verwendung von Versicherungswerten für Gebäude bzw. eine generelle Abschätzung des Schadenpotentials empfohlen [23, 24]. Untersuchungen auf Objektebene basieren auf direkten ökonomischen Analysen des Schadenpotentials [21, 25–27], für den regionalen Maßstab werden GIS-basierte Verfahren vorgeschlagen [20, 28–30]. Weitere Fallstudien zur Bestimmung des Schadenpotentials bauen auf national bzw. global verfügbaren volkswirtschaftlichen und demographischen Datensätzen auf [31–33]. 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. 34]. Analysen im lokalen Maßstab werden darüber hinaus durch den hohen Zeit- und somit Kostenaufwand eingeschränkt.

Ein wesentlicher Faktor zur Bestimmung des Schadensausmaßes stellt die Verletzlichkeit dar. Aus naturwissenschaftlicher Sicht wird Verletzlichkeit als Funktion der Prozessintensität betrachtet, und wird als Erwartungswert eines Schadens eines Objektes als Ergebnis eines bestimmten Ereignisses definiert [19, 35]. Verletzlichkeit nimmt dabei üblicherweise einen Wert zwischen 0 (kein Schaden) und 1 (vollständige Zerstörung) an. Die Analyse der Verletzlichkeit erfordert neben der Prozessintensität im Normalfall den Einbezug verschiedener Parameter der betroffenen Objekte, wie zum Beispiel Baumaterialien und -techniken, Erhaltungszustand, Vorhandensein von Schutzmaßnahmen, etc. [10, 35]. Hier existieren jedoch nur wenige Ansätze einer flächendeckenden Anwendungsmöglichkeit, wobei es sich meistens um Schätzungen oder Schadenskurven handelt, die mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet sind [24, 36–38]. Ein weiteres Problem ist, dass der Begriff der Verletzlichkeit außerhalb der Naturwissenschaft mit deutlich anderen Bedeutungen besetzt ist [39].

4 Probleme der Umsetzung bei der Risikoanalyse

Neben fehlenden ausgereiften Methoden zur Erfassung des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit, ist die Datenverfügbarkeit und -qualität bei der Durchführung der Risikoanalyse zu beachten. Um unterschiedliche Risiken im Zusammenhang Naturgefahren vergleichen zu können, müssen die Analysen einen gleichen Zeitrahmen und eine gleiche räumliche Ausdehnung berücksichtigen, sowie einheitliche Methoden für jeden Teilschritt verwenden (vgl. Bild 1). Eine Studie im Auftrag des Schweizerischen Bundesamts für Umwelt und Wald [40] verdeutlicht diese Problematik, da es trotz Anwendung vorgegebener Richtlinien für die Durchführung von Risikoanalysen [24] zu erheblichen Abweichungen im jeweiligen Ergebnis gekommen ist. Um diesem Problem entgegen zu wirken, sind ausführliche Systembeschreibungen und -abgrenzungen für die Risikoanalyse notwendig. Des Weiteren ist die Wahl desselben Maßstabs (lokal, regional, national, ...) für die Erhebung und Analyse aller Faktoren für die Risikoanalyse (Prozess, Objektwerte, Verletzlichkeit) von großer Bedeutung. Interdisziplinäre

Ansätze ermöglichen die Durchführung einer Risikoanalyse mit gleichwertigen Fachkenntnissen und selbem Detaillierungsgrad für alle Bereiche und tragen somit zu einem hochwertigen Ergebnis bei.

Risikoanalysen, die bei Naturgefahren durchgeführt werden, sind im Allgemeinen statische Ansätze [41–43], jedoch unterliegen naturgefahreninduzierte Risiken der zeitlichen Variabilität, da die risikobeeinflussenden Faktoren (Prozess, Objektwerte, Verletzlichkeit) sich lang- sowie kurzfristig verändern können [21, 22, 44]. Prozesse des Global Change (im Sinne des Human Dimension Programms als Veränderung des Naturraums und des Kulturraums) manifestieren sich speziell im Alpenraum des 20. Jahrhunderts über intensive Veränderungen. Hierbei ist von einer gewissen Zunahme der Prozessintensität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit der Prozesse auszugehen, an denen fließendes Wasser beteiligt ist (Hochwasser, Mur- und Rutschprozesse). Von einer Verstärkung dieses Trends ist aufgrund neuerer Erkenntnissen des IPCC auszugehen [45]. Ebenso bedeutsam sind aber die Prozesse im Kulturraum, speziell die Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und Objekten sowie die damit verbundenen exponierten Werte durch Veränderungen der Wirtschafts- und Sozialstrukturen [25–27, 46]. Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im soziökonomischen Bereich werden durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können [22, 27]. Diese andauernden Veränderungen sind bei einem holistischen Risikokzept zu berücksichtigen, da sämtliche Managementstrategien eindeutig zukünftig und langfristig ausgerichtet sein müssen, im Gegensatz zu den statischen Informationen, die auf einem Zeitpunkt in der Vergangenheit basieren.

5 Zu berücksichtigende Unsicherheiten

Die Risikoanalyse für Naturgefahren besteht aus drei Schritten, die sich jeweils weiter untergliedern, in jedem dieser einzelnen Entscheidungs- oder Analyseschritte (siehe Bild 1) sind Unsicherheiten enthalten, die sich auch auf das Endergebnis auswirken.

Unsicherheiten entstehen auf der Prozessseite durch die Veränderungen der natürlichen Bedingungen. Eine zentrale Rolle bei der Beurteilung des Gefahrenpotenzials kommt dem Bemessungsereignis zu. Grundlage zur Ermittlung eines auf statistischen Wahrscheinlichkeiten beruhenden Bemessungsereignisses ist eine statistische Grundgesamtheit (in diesem Fall eine Zeitreihe), die durch homogene Rahmenbedingungen charakterisiert ist. Der so ermittelte Wahrscheinlichkeitswert für das Bemessungsereignis hat aber nur für einen entsprechenden Systemzustand Gültigkeit und besitzt unter den sich nachweislich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen nicht uneingeschränkt Gültigkeit.

Weitere Unsicherheiten im Bereich des Gefahrenpotenzials entstehen bei der Abgrenzung von auftretenden Intensitäten und Auslaufbereichen bzw. Anschlaglinien. Einerseits werden historische Aufzeichnungen verwendet, deren Aussagekraft meist nicht eindeutig zu klären ist, und es besteht eine große Ungewissheit, ob die Gesamtheit der Ereignisse aufgezeichnet und aus dem historischen Kontext heraus richtig interpretiert wurden. Nur ein zusätzliches Ereignis in einem bestimmten Zeithorizont kann die Re-

sultate der statistischen Wahrscheinlichkeitsberechnung stark verändern und beispielsweise neue Extremwerte bei Hochwasser hervorbringen. Zusätzlich sollte berücksichtigt werden, dass jedes Modell nur ein Versuch einer Abstraktion der Realität ist und deshalb per se mit Unsicherheiten verbunden ist, da nur Teilbereiche der komplexen Realität in die Modellbildung einfließen können. Zudem addieren sich zu den grundsätzlichen Limitierungen von Modellen Unsicherheiten durch meistens nicht ausreichend erfassten oder abgeschätzten Eingabeparameter.

Die Erfassung des Schadenausmaßes ist ebenso mit vielen Unsicherheiten behaftet. Beispielsweise reagieren viele Objektwerte sehr sensitiv auf kleinste Veränderungen bei der Methodenwahl (z. B. Versicherungswert oder Marktpreis bei der Bewertung von Gebäuden) sowie durch Umbauten von oder Änderungen an Gebäuden. Im Bereich der Verletzlichkeit ist durch die Verwendung von Schätzungen und Schadenskurven davon auszugehen, dass derzeit aufgrund der hohen Unsicherheit große Schwankungsbereiche zu berücksichtigen sind.

Ergebnisse einer Risikoanalyse können trotz dieser Unsicherheiten in allen Bereichen verglichen werden, wenn alle Teilschritte mit standardisierten Methoden und Ansätzen ermittelt wurden.

6 Fazit und Ausblick

Risikoanalysen in der Naturgefahrenforschung weisen einen hohen Grad von Komplexität auf. Aufgrund dessen ist es notwendig, die Probleme bei der Umsetzung sowie die Unsicherheiten aufzuzeigen, die Weiterentwicklung von Methoden und Ansätzen in diesem Bereich zu fördern und das Wissen über die untersuchten Systeme zu erhöhen.

Ein fundamentales Kennzeichen für naturgefahreninduzierte Risiken ist die Wechselwirkung zwischen dem physikalischen System (oder Geo-System, der Prozessseite) und dem sozialen System (inklusive dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit). Beide Systeme sind mit der Zeit variabel. Diese dynamischen Veränderungen der einzelnen Faktoren können neue Interaktionen hervorrufen und somit die Wechselwirkungen zwischen den beiden Systemen beeinflussen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vermehrten Wechselwirkungen leicht zu einer erhöhten Komplexität führen können [47]. Infolgedessen sind steigende Schäden verursacht durch Naturereignisse (wie zu Beginn beschrieben) nicht ausschließlich auf Veränderungen der natürlichen Prozesse oder auf die Entwicklung der betroffenen Werte und deren Verletzlichkeit zurückzuführen, sondern sie sind auch das Ergebnis einer erhöhten Komplexität [21].

Ziel einer Risikoanalyse ist deshalb nicht nur, einen quantitativen Wert für das Risiko zu berechnen, sondern die Schwachstellen sowie Wechselwirkungen im untersuchten dynamischen System zu erkennen und mit diesem Wissen einen optimierten Ablauf im Risikokreislauf zu erreichen. Diese Erkenntnisse sowie die Entwicklung von dynamischen Konzepten können nicht mehr von einer Einzelperson erarbeitet werden, hierfür sind interdisziplinär ausgerichtete Teams notwendig.

Literatur

- [1] *Fuchs, S.; Keiler, M. und Zischg A.*: Risikoanalyse Oberes Suldental Vinschgau – Methoden und Konzepte zur Erstellung eines Naturgefahrenhinweis-Informationssystems, Innsbruck: Innsbrucker Geographische Studien 31, 2001.
- [2] *PLANAT*: Sicherheit vor Naturgefahren – Die Vision der PLANAT, http://www.planat.ch/ressources/planat_product_d_60.PDF (12.01.2007), 2002.
- [3] *CIPRA*: Rahmenkonvention, http://www.cipra.org/d/alpenkonvention/Rahmenkonvention_d.pdf (23.01.2007), 1991.
- [4] *CIPRA*: Protokoll Bodenschutz, http://www.cipra.org/d/alpenkonvention/offizielle_texte/Protokoll_d_Bodenschutz.pdf, 1998 (23.01.2007).
- [5] *United Nations*: Agenda21, <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm> (23.01.2007), 1992.
- [6] *Holland, G. und Andrews, M.*: Inspection and risk assessment of slopes associated with the UK canal network. In: Maund, J. und Eddleston M.: *Geohazards in Engineering Geology*, London, The Geological Society (1998), S. 155–66.
- [7] *Burton, I.; Kates, R. und White, G.*: *The environment as hazard*, New York: 1978.
- [8] *White, G.*: Human adjustment to floods: A geographical approach to the flood problem in the United States, Chicago: Univ. of Chicago, Dept. of Geography Res. Pap. 29, 1945.
- [9] *Petak, W. und Atkisson, A.*: *Natural hazard risk assessment and public policy*, New York: Springer 1982.
- [10] *Cruden, D. und Fell, R.*: *Landslide risk assessment*, Rotterdam: Balkema 1997.
- [11] *Plate, E. und Merz, B.*: *Naturkatastrophen*, Stuttgart: Schweizerbart 2001.
- [12] *World Meteorological Organization*: *Comprehensive risk assessment for natural hazards*, Geneva: World Meteorological Organization 1999.
- [13] *Hollenstein, K.*: *Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken*, Zürich: vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich 1997.
- [14] *Stötter J. und Fuchs, S.*: Umgang mit Naturgefahren – Status quo und zukünftige Anforderungen. In: Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K.: *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Innsbruck: StudienVerlag 2006, S. 19–34.
- [15] *Khakzadeh, L.*: Rechtliche Aspekte des Naturgefahrenmanagements, siehe Seite XXX in diesem Band
- [16] *Gamper, C.*: Ökonomische Aspekte des Naturgefahrenmanagements, siehe Seite XXX in diesem Band
- [17] *Romang, H.*: Warnung und Intervention im Naturgefahrenmanagement, siehe Seite XXX in diesem Band
- [18] *Swiss Virtual Campus NAHRIS*: www.nahris.ch (21.05.2006)
- [19] *Varnes, D.*: *Landslide hazard zonation: A review of principles and practices*. Paris: UNESCO, 1984.
- [20] *Kleist, L., Thieken, A., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I. und Werner, U.*: Estimation of building values as a basis for a comparative risk assessment, In: Mahl Zahn, D. und Plapp, T.: *Disasters and society*, Berlin: Logos Verlag 2004, S. 115–122.
- [21] *Keiler, M., Sailer, R., Jörg, P., Weber, C., Fuchs, S., Zischg, A. und Sauer Moser, S.*: Avalanche risk assessment – a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, S. 637–651, 2006.
- [22] *Fuchs, S. und Keiler, M.*: Natural hazard risk depending on the variability of damage potential. In: Popov, V. und Brebbia, C.: *Risk Analysis V*, Wessex: WIT 2006, S. 13–22.
- [23] *Heinimann, H., Hollenstein, K., Kienholz, H., Krumm nacher, B. und Mani, P.*: *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*, Bern: BUWAL 1998.
- [24] *Borter, P.*: *Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren*. Bern: BUWAL 1999.
- [25] *Keiler, M.*: Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950–2000, case study Galtür, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4, S. 249–256, 2004.
- [26] *Fuchs, S. und Bründl, M.*: Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements in the Canton of Grisons, Switzerland, *Natural Hazards*, 34, S. 53–69, 2005.
- [27] *Keiler, M., Zischg, A., Fuchs, S., Hama, M. und Stötter, J.*: Avalanche related damage potential – changes of persons and mobile values since the mid-twentieth century, case study Galtür, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, S. 49–58, 2005.
- [28] *Zischg, A., Keiler, M., Fuchs, S. und Meißl, G.*: Konzept zur flächendeckenden Risikoanalyse für Naturgefahren im regionalen Maßstab. In: Strobl, J., Blaschke, T. und Griesbner, G.: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV*, Heidelberg: Wichmann 2002, S. 607–615.
- [29] *Keiler, M., Meißl, G. und Stötter, J.*: Determination of the damage potential: a contribution to the determination of avalanche risk, In: Brebbia, C.: *Risk Analysis IV*, Southampton: WIT 2004, S. 187–196.
- [30] *BWG* (Bundesamt für Wasser und Geologie, Schweiz): Priorisierungsverfahren für Hochwasserschutzprojekte – Abschätzung des Schadenpotentials, <http://www.bwg.admin.ch/service/download/d/index.htm\#schapo>, (25.05.2005) 2005.
- [31] *Liu, X. und Lei, J.*: A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China), *Geomorphology* 151, S. 181–191, 2003.
- [32] *FEMA*: Overview of HAZUS-MH. http://www.fema.gov/hazus/hz_meth.shtm (19.01.2005), 2005.
- [33] *Nauss, T. und Reudenbach, C.*: Developing an Absolute Natural Disaster Risk Index (ANDRI) on the basis of economic and geophysical data. *Die Erde*, 134, S. 195–209, 2003.
- [34] *UN/ISDR*: *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives*, Genf 2004.
- [35] *Fell, R.*: Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31, S. 261–272, 1994.
- [36] *Wilhelm, C.*: *Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz*, Davos: Mtt. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 54, 1997.
- [37] *Glade, T.*: Vulnerability assessment in landslide risk analysis, *Die Erde*, 134, S. 123–146, 2003.
- [38] *Merz, B. und Thieken, A.H.*: Flood risk analysis – Concepts and challenges, *Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56, 3–4, S. 27–34, 2004.
- [39] *Cutter, S.*: Vulnerability to environmental hazards, *Progr. Human Geogr.*, 20, S. 529–539, 1996.
- [40] *Winkler, C.*: *Analyse Vorstudien 431 (2000-2002)*, Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des BUWAL Eidgenössische Forstdirektion, Brig-Glis: Glenz, Walther & Winkler AG 2003.
- [41] *Jónasson, K., Sigurðsson, S. und Arnalds, Þ.*: Estimation of avalanche risk, Reykjavík: Icelandic Meteorological Office 1999.
- [42] *Keylock, C., McClung, D. und Magnússon, M.*: Avalanche risk mapping by simulation, *J. Glaciol.* 45, S. 303–314, 1999.
- [43] *Bell, R. und Glade, T.*: Quantitative risk analysis for landslides – examples from Bildudalur, NW Iceland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4, S. 117–131, 2004.
- [44] *Zischg, A., Fuchs, S., Keiler, M. und Stötter, J.*: Temporal variability of damage potential on roads as a conceptual contribution towards a short-term avalanche risk simulation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, S. 235–242, 2005.

- [45] <http://www.awi.de/index.php?id=2254&type=123&L=1&filename=awi.pdf> (19.01.2007), 2007.
- [46] *Bätzing, W.*: Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraums im 20. Jahrhundert, Bern: Geographica Bernensia, P26, 1993.
- [47] *Hufschmidt, G., Crozier, M. and Glade, T.*: Evolution of natural risk: research framework and perspectives, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 5, S. 375–387, 2005.