

## VULNERABILITÄT GEGENÜBER WILDBACHPROZESSEN

### VORGANGSWEISE UND DISKUSSION ANHAND EINER STUDIE IN ÖSTERREICH

## VULNERABILITY TO TORRENT EVENTS

### METHOD AND DISCUSSION EMERGING FROM AN AUSTRAIN STUDY

Sven Fuchs<sup>1</sup> und Karma Heiss<sup>1</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 in jüngerer Zeit Ansätze zur Bestimmung des Schadenpotentials. Dadurch existieren bislang kaum Methoden, die Verletzlichkeit gefährdeter Objekte quantitativ zu bestimmen. Vorliegende Studie basiert auf der Auswertung von Daten eines österreichischen Testgebietes, es wird die Verletzlichkeit gefährdeter Objekte als Funktion auftretender Prozessintensitäten analysiert und bewertet. Die Beurteilung des Prozessverhaltens im Auslaufbereich basiert auf der detaillierten Ereignisdokumentation sowie auf ergänzender Modellierung. Das exponierte Schadenpotential und die Schäden werden erfasst und bewertet. Durch die Kombination von Prozessintensität, Schadenpotential und Schadenausmaß werden individuelle Verletzlichkeitswerte abgeleitet, in weiterer Folge wird eine Vulnerabilitätsfunktion in Abhängigkeit der Prozessintensität entwickelt.

**Keywords:** Risikoanalyse, Wildbachprozesse, Verletzlichkeit, Österreichische Alpen

#### 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. Until now, only little work has been carried out to determine vulnerability values for objects exposed to torrent processes, in particular to debris flows. The vulnerability values proposed in the literature show a wide range, in particular with respect to medium and high process intensities. In this study, data from a test site in Austria were used to empirically analyse and assess the vulnerability of buildings to torrent processes, and to establish a preliminary vulnerability function. Since the analysis was based on process intensities and is thus independent from recurrence intervals, not only the risk resulting from design events can be calculated but

---

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren, Peter Jordan Strasse 82, A-1190 Wien, sven.fuchs@boku.ac.at

also every other event with a different magnitude and frequency. However, a wider application of the developed method to additional test sites would allow for further improvement of the results and would support an enhanced standardisation of the vulnerability function.

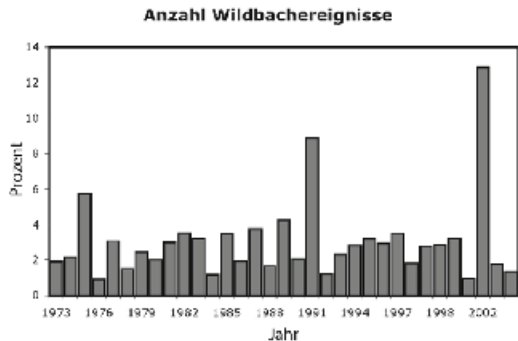
**Keywords:** Risk analysis, torrent processes, vulnerability, Austrian Alps

## EINLEITUNG

Der Begriff Verletzlichkeit wird in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung und wissenschaftlichen Fachrichtung unterschiedlich definiert, ist jedoch in im Naturgefahrenbereich an die Konsequenzen aus Schadensereignissen gekoppelt. Dementsprechend finden sich in der Literatur verschiedene Bedeutungszusammenhänge, unter anderem beispielsweise die statische Verletzlichkeit von Ingenieurkonstruktionen oder Bauwerken, die Verletzlichkeit von Kommunikationseinrichtungen, mikro- und makro-ökonomische Verletzlichkeit oder soziale Verletzlichkeit (Wisner 2004). In der naturwissenschaftlich-technischen Begriffsbestimmung im Zusammenhang mit Naturgefahren wird Verletzlichkeit von Menschen und Objekten in Abhängigkeit der einwirkenden Prozessintensität sowie der Widerstandsfähigkeit definiert. Mathematisch als Quotient berechnet, wird das Ergebnis entweder auf einer metrischen Skala (beispielsweise in Währungseinheiten) oder auf einer Ordinalskala, welche auch soziale Werte inkludiert, erfasst (Varnes 1984; Fell 1994), und in der Regel mittels eines dimensionslosen Wertes zwischen 0 (kein Schaden) und 1 (totale Zerstörung) beschrieben.

Die Bewertung der Verletzlichkeit bzw. der Widerstandsfähigkeit von Gebäuden erfordert je nach Detaillierungsgrad der Analyse eine Vielzahl von Parametern, wie beispielsweise auf der Schadenpotentialeseite Angaben zu Bautyp und -material, zum Erhaltungszustand und zu eventuell vorhandenen Objektschutzmaßnahmen (Fell 1994; Fell und Hartford 1997; Holub und Hübl 2008). Auf der Einwirkungsseite ist die Prozessintensität ausschlaggebend, die sich wiederum aus einer Vielzahl von Detailparametern, wie beispielsweise Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe des Prozesses, Staudruck im Ablagerungsgebiet und Materialzusammensetzung ergibt.

Es existieren bislang nur wenige Ansätze zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Objekten gegenüber der Einwirkung von Naturgefahren, die sich aufgrund einer standardisierten Vorgehensweise für eine breite Anwendung eignen würden (Glade 2003). In den letzten Jahre wurden einige Arbeiten veröffentlicht, die unter anderem Fragen der Verletzlichkeit von Objekten gegenüber Wildbachprozessen zum Inhalt haben (Fuchs et al. 2007). Ein Überblick neuerer Vorschläge zur Berechnung der Verletzlichkeit für Gebäude gegenüber Wildbachprozessen findet sich in Tabelle 1. Die Studien variieren stark im Detaillierungsgrad, darüber hinaus sind die jeweils empfohlenen qualitativen und (semi-)quantitativen Werte zur



**Abb. 1:** Verteilung der Anzahl Wildbach-Schadensereignisse in Österreich zwischen 1973 und 2004.

**Fig. 1:** Damaging torrent processes in Austria between 1973 and 2004.

Bestimmung der Verletzlichkeit (1) kaum auf andere Einzugsgebiete übertragbar und (2) oftmals nicht konsistent in ihrem Bezug auf die Prozessintensität. Ein Vergleich der Studien untereinander ist aufgrund der unterschiedlichen Widerstandsfähigkeit von Objekten durch die Verwendung verschiedener Baumaterialien und Bauausführungen schwierig.

Viel versprechende Ansätze zur Quantifizierung der Verletzlichkeit gegenüber Lawinen und Sturzprozessen wurden kürzlich von Wilhelm (1997), BUWAL (1999) und Barbolini et al. (2004) publiziert. Für andere alpine Naturgefahren, vor allem Wildbachprozesse, fehlen derartige Vorschläge jedoch bislang, obwohl die dadurch verursachten Schäden im Alpenraum in den letzten Jahren beachtlich waren (vgl. Fraefel et al. 2004; Romang, 2004; Oberndorfer et al. 2007). Eine allgemeine Zunahme der Ereignisse, wie sie in der aktuellen Diskussion um Global Change oft postuliert wird, kann zwischen 1973 und 2004 allerdings nicht direkt abgeleitet werden (vgl. Abbildung 1).

Das Ziel vorliegender Arbeit ist es, zur Diskussion um die Quantifizierung der Verletzlichkeit durch Wildbachprozesse einen Beitrag zu leisten.

**Tab. 1:** Zusammenstellung qualitativer und (semi-)quantitativer Vorschläge zur Bewertung der Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachprozessen (Fuchs et al. 2007, verändert).

**Tab. 1:** Compilation of suggestions related to the assessment of vulnerability of buildings with respect to torrent processes (modified from Fuchs et al. 2007).

		Tabelle 1							
		Wildbach				Lawine			
		gering	wichtig	sehr wichtig	sehr wichtig	gering	wichtig	sehr wichtig	sehr wichtig
Verfahren	Qualitative Bewertung	Qualitative Bewertung				Qualitative Bewertung			
	Quantitative Bewertung	1	2	3	4	1	2	3	4
	Qualitative Bewertung	1	2	3	4	1	2	3	4
	Quantitative Bewertung	1	2	3	4	1	2	3	4

## METHODIK

Der Hintergrund der in dieser Studie angewandte Methodik liegt im holistischen Risikokonzept, das die Grundlage des integralen Risikomanagements darstellt (vgl. beispielsweise Kienholz et al. 2004). In Bezug auf Naturgefahren wird Risiko ( $R_{i,j}$ ) als Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude ( $p_{Si}$ ) und dem korrespondierenden Schadensausmaß beschreiben (vgl. Gleichung 1). Das Schadensausmaß errechnet sich dabei aus dem Wert ( $A_{Oj}$ ) und der Verletzlichkeit ( $v_{Oj, Si}$ ) eines betrachteten Objektes, sowie der Präsenzwahrscheinlichkeit im Falle von beweglichen Objekten ( $p_{Oj, Si}$ ).

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

In Hinblick auf die auch im Alpenraum zu beobachtenden Prozesse des globalen Wandels, insbesondere hinsichtlich einer zukünftig möglichen Akzentuierung von Niederschlagsereignissen (IPCC 2007), wurde im Rahmen vorliegender Studie die Analyse der Verletzlichkeit von der probabilistischen Betrachtung des Risikos abgekoppelt. Die Beziehung zwischen Prozessintensität und Schadensausmaß wurde somit unabhängig von der Eintretenswahrscheinlichkeit hergestellt.

### Untersuchungsgebiet

Im Rahmen vorliegender Arbeit wurde das Einzugsgebiet des Wartschenbaches in der Marktgemeinde Nußdorf-Debant (Österreich) als Testgebiet ausgewählt (vgl. Abbildung 2). Das Einzugsgebiet umfasst 2,6 km<sup>2</sup>, erstreckt sich zwischen 670 m und 2.113 m ü.d.M., und entwässert in die Drau. Die Kombination aus großen Mengen mobilisierbarer Lockergesteine, vor allem Gneise und Schiefer, mit einem verhältnismäßig steilen Höhengradienten von 30-40 % hat in der Vergangenheit bei Niederschlagsereignissen hoher Intensität zu Murgängen und murartigen Abflüssen geführt (1972, 1981, 1995, 1997 (2x), 1998, 1999 und 2000). Diese haben erhebliche Schäden auf dem Schwemmkegel in der Wartschensiedlung verursacht. Für die Studie ist das gut dokumentierte Ereignis vom 16.08.1997 ausgewählt worden, um die Korrelation zwischen Prozessintensität und den durch den Prozess hervorgerufenen Schäden zu untersuchen.

### Analyse der Prozesscharakteristik

Der murartige Abfluss des 16.08.1997 ist durch ein Starkregenereignis mit einer Niederschlagshöhe von 40 mm und einer Dauer von 20 Minuten ausgelöst worden. Aufgrund der Disposition des Einzugsgebietes führte dieser Niederschlag zu einer Mobilisierung von ca. 50.000 m<sup>3</sup> Lockermaterial im oberen Einzugsgebiet. Rund die Hälfte des Materials wurde in den Retentionsbauwerken im Mittellauf zurückgehalten, ca. 20.000 m<sup>3</sup> Geschiebe wurden in den Unterlauf transportiert und gelangten im Bereich der Siedlung auf dem Kegel zur Ablage-



**Abb. 2:** Untersuchungsgebiet Wartschenbach mit roter und gelber Gefahrenzone Wildbach.  
**Fig. 2:** Location of the test site Wartschenbach, indicated is the red and yellow hazard zone.



**Abb. 3:** Schäden in der Wartschensiedlung aufgrund des Ereignisses vom 16.08.1996.  
**Fig. 3:** Damage caused by the event of August 16, 1996 on the fan of Wartschenbach test site.

rung (Hübl et al. 2002, vgl. Abbildung 3). Das Ereignis beschädigte 15 Gebäude und einen größeren Gewerbebetrieb schwer, an weiteren Gebäuden waren leichte Schäden zu verzeichnen.

Aufgrund der nach dem Ereignis erfolgten Prozessdokumentation (Hübl et al. 2002) wurden, unter Zuhilfenahme weiterer Datengrundlagen der WLV sowie aufgrund einer Rückrechnung des Ereignisses, Ablagerungshöhen bzw. Überflutungstiefen für den gesamten Kegel ermittelt. Diese dienten in weiterer Folge als Proxy für die Prozessintensität im Ablagerungsgebiet.

### **Analyse des Schadenpotentials und der Schäden**

Das Schadenpotential, definiert als Gebäude im Bereich der Wartschensiedlung, wurde in Bezug auf die räumliche Lage und Ausdehnung aufgrund von Angaben im digitalen Landnutzungskataster mittels GIS verortet und analysiert. Der Wert der Gebäude wurde über das Volumen der Gebäude bestimmt (Kanewitter 2002; Keiler et al. 2006a), wobei je nach Gebäudekategorie und -höhe verschiedene Richtpreise zur Anwendung kamen. Informationen zur Gebäudenutzung wurden dabei während einer Geländebegehung erhoben. Abschließend wurde ein durchschnittlicher Neuwert für jedes Gebäude ermittelt.

Die Schäden durch das Ereignis vom 16.08.1996 wurden, gestützt durch Informationen aus der Gemeinde und der örtlichen WLV, erhoben und zur Verwendung in den folgenden Analyseschritten inflationsbereinigt.

### **Analyse der Verletzlichkeit**

Die Verletzlichkeit eines Gebäudes beruht auf einer Kombination ökonomischer und naturwissenschaftlicher Methoden, und ist durch den Quotienten aus jeweiliger Schadensumme am Objekt und dem nach Kranewitter (2002) und Keiler et al. (2006a) errechneten Wiederherstellungswert definiert. Dieser Quotient wurde im GIS für jedes beschädigte Objekt individuell berechnet. Im Weiteren sind die ermittelten Werte den dokumentierten Prozessintensitäten des Ereignisses vom 16.08.1996 zugeordnet, klassifiziert und als Funktion dargestellt worden. Diese Verletzlichkeitsfunktion beschreibt den empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen Prozessintensität und aufgetretenen Verletzlichkeiten der betroffenen Gebäude.

## **ERGEBNISSE**

Auf dem Kegel des Wartschenbaches sind 37 Gebäude lokalisiert, von denen 16 durch das untersuchte Ereignis erheblich beschädigt wurden. Der Neuwert dieser Gebäude summierte sich auf € 7,2 Mio. mit einem Mittel von rund € 311.000 pro Gebäude und einer Spannweite zwischen € 190.000 und € 518.000.

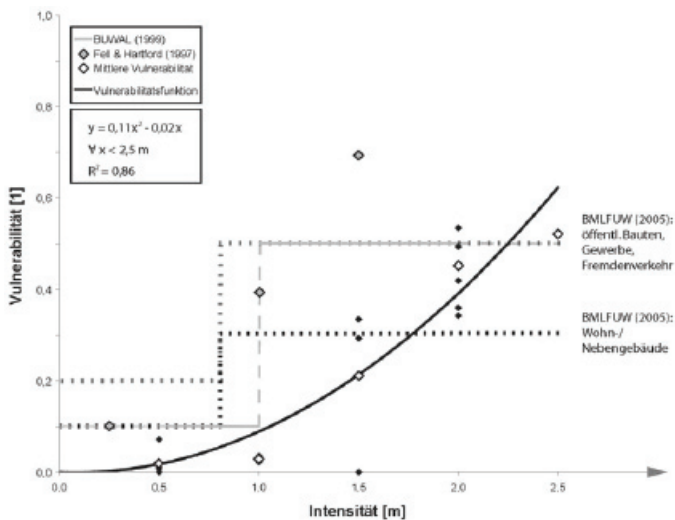
Der Gebäudeschaden belief sich auf rund € 1,2 Mio., mit einem Mittel von knapp € 70.000 pro beschädigtem Gebäude mit einer Streuung zwischen € 1.600 und € 140.000. Dieser Wert liegt deutlich über dem in BMLFUW (2005:21) beschriebenen sog. Einheitsgebäudeschaden in Höhe von € 28.800, gültig für Untersuchungsgebiete mit > 20 Gebäuden und einer ausgewogenen Mischung unterschiedlicher Gebäudekategorien.

Die resultierende Verletzlichkeitsfunktion ist für die Gebäudekategorie Wohnhäuser in Abbildung 4 wiedergegeben. Hierbei wurde die Prozessintensität in Form der Ablagerungshöhe dargestellt, und in Schritten von 0,5 m gruppiert. Ganz allgemein zeigen die Ergebnisse geringe Werte für die Vulnerabilität bei geringen Prozessintensitäten, und eine jeweils höhere Anfälligkeit bei steigenden Intensitäten. Dabei ergibt sich jedoch kein linearer Anstieg der Kurve, was in den spezifischen Charakteristika von Wildbachprozessen begründet liegt. Das

Verhältnis von Intensität zu Verletzlichkeit wurde für Ablagerungshöhen  $x < 2,5$  m über ein Polynom 2. Grades ausgedrückt mit

$$y = 0,11x^2 - 0,02x \quad (2)$$

- In der Intensitätsklasse von 0,5 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude nur gering (0,00-0,07). Der Mittelwert beträgt 0,02.
- In der Intensitätsklasse von 1,0 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude ebenfalls nur gering (0,02-0,04). Der Mittelwert beträgt 0,03.
- In der Intensitätsklasse von 1,5 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude beträchtlich (0,00-0,33). Der Mittelwert beträgt 0,21.
- In der Intensitätsklasse von 2,0 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude ebenfalls beträchtlich (0,34-0,53). Der Mittelwert beträgt 0,45.
- In der Intensitätsklasse von 2,5 m steht für die Ermittlung der Verletzlichkeit nur ein Gebäude zur Verfügung. Die ermittelte Verletzlichkeit dieses Gebäudes beträgt 0,52.



**Abb. 4:** Zusammenhang zwischen der Prozessintensität des Ereignisses vom 16.08.1996 und der Verletzlichkeit exponierter Wohngebäude (schwarze durchgezogene Kurve); zum Vergleich sind Vulnerabilitätskurven von BUWAL (1999, grau strichliert), Fell & Hartford (1997, graue Rauten) und BMLFUW (2005, schwarz bzw. grau gepunktet) dargestellt (Fuchs et al. 2007, Fuchs 2008, verändert).

**Fig. 4:** Relationship between process intensity and vulnerability of exposed residential buildings for the event of August 16, 1996 (black solid line); for comparison, vulnerability functions published in BUWAL (1999, dashed grey), Fell & Hartford (1997, grey rhombi) and BMLFUW (2005, black and grey dots) are shown (modified from Fuchs et al. 2007 and Fuchs 2008).

In Abbildung 4 sind zu Vergleichszwecken die in BUWAL (1999) und Fell & Hartford (1997) publizierten Werte in grauen Linien und grauen Rauten dargestellt. Die im Zuge vorliegender Studie für die Intensitätsklassen 0,5 m und 1,0 m errechneten Verletzlichkeitswerte entsprechen näherungsweise den Vorschlägen in BUWAL (1999), obwohl für kleine Prozessintensitäten genauere Angaben zur Schadenhöhe fehlen. Die für die Intensitätsklasse 1,5 m ermittelten Verletzlichkeitswerte liegen unterhalb der von BUWAL (1999) vorgeschlagenen Werte. Aus BUWAL (1999) ergibt sich ein gestufter Verlauf der Verletzlichkeit bei zunehmender Intensität, insbesondere ein sprunghafter Anstieg der Verletzlichkeit um 0,4 Einheiten bei einer Intensität von 1,0 m. Dieser konnte durch die Studie am Wartschenbach nicht bestätigt werden.

Die von Fell & Hartford (1997) vorgeschlagenen Verletzlichkeitswerte resultieren aus einer Studie zu Schäden in Australien, und liegen deutlich über den Ergebnissen der Studie am Wartschenbach. Diese Unterschiede liegen vor allem in unterschiedlichen Baumaterialien und Konstruktionstypen (v.a. Holzkonstruktionen) der Untersuchungsobjekte begründet. Der linear beschriebene Anstieg der Verletzlichkeit mit steigender Prozessintensität konnte weder durch die Studie am Wartschenbach noch durch vergleichbare Studien aus der Schweiz (Romang et al. 2003) bestätigt werden.

Die in BMLFUW (2005) festgelegten Verletzlichkeitswerte sind getrennt nach Gebäudekategorien in Abbildung 4 durch schwarze (Wohn- und Nebengebäude) und graue (öffentliche Gebäude, Gewerbe, Fremdenverkehrsgebäude) punktierte Linien wiedergegeben. Die im Zuge vorliegender Studie für die jeweiligen Intensitätsklassen bis 1,5 m errechneten Verletzlichkeitswerte entsprechen näherungsweise den Vorschlägen für Wohn- und Nebengebäude, liegen jedoch für die anderen Gebäudekategorien deutlich niedriger. Wie auch schon im Vergleich zu den in BUWAL (1999) publizierten Werten wird der sprunghafte Anstieg der in BMLFUW (2005) wiedergegebenen Verletzlichkeitswerte durch die Ergebnisse im Testgebiet Wartschenbach nicht bestätigt.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass teilweise beträchtliche Streuungen einzelner Verletzlichkeitswerte innerhalb einer Intensitätsklasse auftreten. Dies ist vor allem auf Details in den Konstruktionstypen der Gebäude zurückzuführen. Maßgebend für die Streuungen der Verletzlichkeitswerte kleinerer bis mittlerer Prozessintensitätsklassen (0,5-1,5 m) ist vor allem, ob Ablagerungen über Gebäudeöffnungen in das Gebäudeinnere vordringen, oder ob ein vorhandener Objektschutz dies verhindert. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit von Romang et al. (2003, 2004) publizierten Studien aus der Schweiz, sowie mit den Erläuterungen in Holub und Hübl (2008).

## DISKUSSION

Die in Risikoanalysen bislang verwendeten Werte zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Objekten sind vorwiegend auf Experteneinschätzung und Plausibilität gestützt, und beschreiben die Vulnerabilität in Bezug auf die Prozessintensität verbal bzw. semi-quantitativ (vgl. Tabelle 1). Es hat sich in der vorgestellten Studie gezeigt, dass diese Werte die Änderung der Verletzlichkeit in Abhängigkeit der Prozessintensität zwar näherungsweise wiedergeben können, generell scheint aber die real auftretende Verletzlichkeit geringer zu sein.

Die im Rahmen dieser Studie untersuchte Verletzlichkeit von Wohngebäuden in Abhängigkeit aufgetretener Prozessintensitäten konnte mithilfe einer polynomischen Funktion quantitativ beschrieben werden. Die ermittelte Funktion verfügt – unter Berücksichtigung der geringen Anzahl Untersuchungsgebäude – über ein gutes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,86$ ; allerdings spiegelt die Funktion mathematisch betrachtet nur Prozessintensitäten mit einer Ablagerungshöhe zwischen rund 20 cm und 2,5-3,0 m wider (Gültigkeitsraum der Gleichung zwischen  $x = 0,18$  und 3,11). Die Varianz der Residuen streut mit zunehmender Intensität stärker,

dies hat zur Folge, dass Verletzlichkeiten für höhere Intensitäten bislang durch das Modell nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund wäre eine Validierung an weiteren Untersuchungsgebieten mit einer größeren Anzahl Objekten wünschenswert. Der Vergleich mit Untersuchungen an Wildbachschäden in der Schweiz ergab eine gute Übereinstimmung mit den hier ermittelten Werten, wobei auch bei diesen Untersuchungen die geringe Anzahl der Ereignisse einerseits, sowie die breite Streuung andererseits, eine Limitierung für die Ermittlung einer allgemeingültigen Vulnerabilitätsfunktion darstellte (Kimmerle 2002).

Nachdem Verletzlichkeit im Zusammenhang mit Schäden an Objekten definitionsgemäß zwischen den Werten 0 und 1 liegt, bildet eine polynomische Funktion im oberen Wertebereich liegende Intensitäten nicht zufrieden stellend ab, da für eine allgemeingültige Vulnerabilitätsfunktion die Voraussetzung aus Gleichung (3) erfüllt sein muss.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1 \quad (3)$$

Andererseits resultieren Prozessintensitäten mit Ablagerungshöhen > 2,5-3 m in der Regel in einem Totschaden der Objekte, da die notwendigen Aufwendungen für die Wiederherstellung den Neuwert deutlich übersteigen (Oberndorfer et al. 2007). Derartige Überlegungen finden sich bereits bei Wilhelm (1997) in Form eines theoretischen Modells mit der Anwendung für die Bestimmung des Lawinenrisikos. Intensitäten dieser Höhe übersteigen jedoch in den Einzugsgebieten vielfach eine Jährlichkeit von 150 Jahren und stellen somit nach derzeit gültigen Richtlinien grundsätzlich kein Projektziel dar (BMLFUW 2006).

Die Erfassung des Schadenausmaßes ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, da die Analyse auf Angaben direkt nach dem Schadenereignis beruht. Darüber hinaus dürfte es auch politisch wünschenswert sein, Schäden eher zu über- als zu unterschätzen, was konsequenterweise zu einer Überschätzung der Vulnerabilität führt. Des Weiteren reagieren viele Objektwerte sehr sensitiv auf kleinste Veränderungen (1) bei der Methodenwahl der Bewertung von Gebäuden (z.B. Versicherungswert oder Marktpreis) sowie (2) bei erfolgten Umbauten oder Funktionsänderungen von Gebäuden. Demzufolge muss derzeit aufgrund der hohen Unsicherheit von relativ hohen Schwankungsbreiten der Werte ausgegangen werden.

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 (Heigl 2000; Zischg et al. 2005; Fuchs & Keiler 2006; Keiler et al. 2006b). 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 (vgl. auch Bätzing 1993). Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im soziökonomischen Bereich werden durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können (Fuchs & Keiler 2008). Diese andauernden Veränderungen sind bei einem holistischen Risikokonzept zu berücksichtigen, da sämtliche Managementstrategien eindeutig zukünftig und langfristig ausgerichtet sein müssen, im Gegensatz zu



dem bisherigen Arbeiten mit statischen Informationen, die auf einem Zeitpunkt in der Vergangenheit basieren.

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 dynamisch zu betrachten, die Dynamik einzelner Faktoren kann neue Interaktionen hervorrufen und somit die Wechselwirkungen zwischen den beiden 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, sondern sie sind auch das Ergebnis einer erhöhten Komplexität (Hufschmidt et al. 2005, Keiler et al. 2006b). 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.

Risikoanalysen sind in der Naturgefahrenforschung in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einem wichtigen Grundlagenwerkzeug für Schutzkonzepte geworden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die derzeitige rechtliche Situation in Österreich im Rahmen der Gefahrenzonenplanung auf die Prozessbeurteilung fokussiert ist (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.

## DANKSAGUNG

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Studien wurden durch die Europäische Kommission im Rahmen des IRASMOS Projektes gefördert (*Integral Risk Management of Extremely Rapid Mass Movements*, Contract 018412). Die Autoren möchten in diesem Zusammenhang den Kolleginnen und Kollegen des IRASMOS-Konsortiums für anregende Diskussionen danken.

## LITERATUR

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

Barbolini, M., Cappabianca, F., und Sailer, R. (2004): Empirical estimate of vulnerability relations for use in snow avalanche risk assessment, Brebbia, C. (ed.): *Risk Analysis IV*, WIT Press, Southampton, 533-542.

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 Wasserbautenförderungsgesetz, BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2006): Technische Richtlinie für die Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 1 Z. 1 und Abs. 2 des WBFG 1985 i.d.F. BGBl. Nr. 82/2003 vom 29.8.2003, 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.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. und Salvati, P. (2002): A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risk in Umbria, Central Italy, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 57-72, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/2/57/2002/>.
- Fell, R. (1994): Landslide risk assessment and acceptable risk, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 261-272.
- Fell, R. und Hartford, D. (1997): Landslide risk management, Cruden, D. und Fell, R. (eds.): *Landslide risk assessment*, Balkema, Rotterdam, 51-109.
- Finlay, P. (1996): The risk assessment of slopes, PhD Thesis, School of Civil Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Fraefel, M., Schmid, F., Frick, E. und Hegg, C. (2004): 31 Jahre Unwettererfassung in der Schweiz, Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 1, I/45-I/56.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2006): Natural hazard risk depending on the variability of damage potential, Popov, V. und Brebbia, C. (eds.): *Risk Analysis V – Simulation and hazard mitigation*, WIT Press, Southampton, 13-22.
- Fuchs, S., Heiss, K., Hübl, J. (2007): Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment, *Natural Hazards and Earth System Science*, 7, 495-506, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/495/2007/>.
- Fuchs, S. (2008): Vulnerability to torrent processes, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 39, 289-298.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2008): Variability of natural hazard risk in the European Alps – Evidence from damage potential exposed to snow avalanches, Pinkowski, J. (ed.): *Disaster management handbook*, Taylor & Francis, London, 264-275.
- Gächter, M. und Bart, R. (2002): Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit bei der Massnahmenplanung – Beispiel Diesbach, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153, 268-273.
- Glade, T. (2003): Vulnerability assessment in landslide risk analysis, *Die Erde*, 134, 123-146.
- Hattenberger, D. (2006): Naturgefahren und öffentliches Recht, Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K. (eds.): *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.
- Holub, M. und Hübl, J. (2008): Local protection against mountain hazards – State of the art and future needs, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 81-99, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/81/2008/>.
- Hübl, J., Ganahl, E. und Schnetzer, I. (2002): Dokumentation Wartschenbach, IAN Report, 52, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- 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, Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K. (eds.): *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Studienverlag, Innsbruck, 123-153.
- Keiler, M., Zischg, A. und Fuchs, S. (2006a): Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken, Strobl, J. und Roth, C. (eds.): *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.
- Kienholz, H., Krummenacher, B., Kipfer, A. und Perret, S. (2004): Aspects of integral risk management in practice – Considerations with respect to mountain hazards in Switzerland, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56, 43-50.
- Kimmerle, R. (2002): *Schadenempfindlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachgefahren*, Diplomarbeit, Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Bern.
- Kranewitter, H. (2002): *Liegenschaftsbewertung*, Gesco, Wien.
- Leone, F., Asté, J.-P. und Velásquez, E. (1995): Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain, *Bulletin de l'Association de Géographes*, 1995, 350-371.
- Leone, F., Asté, J.-P. und Leroi, E. (1996): L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements du terrain: Pour une meilleure quantification du risque, *Revue de Géographie Alpine*, 84, 35-46.
- Michael-Leiba, M., Baynes, F., Scott, G. und Granger, K. (2003): Regional landslide risk to the Cairns community, *Natural Hazards*, 30, 233-249.
- Oberndorfer, S., Fuchs, S., Rickenmann, D. und Andrecs, P. (2007): *Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich*, BFW-Bericht, 139, Bundesausbildungs- und Forschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.
- Republik Österreich (1975): *Forstgesetz 1975*, Bundesgesetzblatt Nr. 440/1975, in der Fassung BGBl. I Nr. 83/2004, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6119/> (2003, Abruf 20.09.2007), und zugehörige Verordnung: *Verordnung über Gefahrenzonenpläne*, BGBl. Nr. 436/1976, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6128/> (1976, Abruf 20.09.2007).
- Romang, H., Kienholz, H., Kimmerle, R. und Böll, A. (2003): Control structures, vulnerability, cost-effectiveness – A contribution to the management of risks from debris torrents, Rickenmann, D. und Chen, C. (eds.): *Debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction, and assessment*, Millpress, Rotterdam, 1303-1313.
- Romang, H., Krummenacher, B. und Frick, E. (2004): *Unwetterereignisse im November 2002*, Graubünden, Schweiz. Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 1, 1/109-1/120.
- Varnes, D. (1984): *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*, UNESCO, Paris.

- Wilhelm, C. (1997): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz, Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung, 54, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.
- Wisner, B. (2004): Assessment of capability and vulnerability, Bankoff, G., Frerks, G. und Hilhorst, D. (eds.): Mapping vulnerability, Earthscan, London, 183-193.
- Zischg, A., Fuchs, S., Keiler, M. und Stötter, J. (2005): Temporal variability of damage potential on roads as a conceptual contribution towards a short-term avalanche risk simulation, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 235-242, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/235/2005/>.