

Auswirkungen des Klimawandels auf Naturgefahren – Herausforderungen für eine nachhaltige Landnutzung in alpinen Gebieten

Sven Fuchs

1 Einleitung

Berggebiete reagieren auf sich ändernde Umweltparameter besonders sensibel. In Hinblick auf Naturgefahren stellt der Klimawandel eine doppelte Herausforderung für diese dar, zum einen aus der Sicht des Naturraums, zum anderen aus der Sicht eines dicht besiedelten Lebens- und Wirtschaftsraums. Veränderungen des Naturraums betreffen Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre sowie Biosphäre. Von Bedeutung sind hier vor allem die durch den Klimawandel hervorgerufenen Änderungen in der Umwelt, wie Änderungen des Temperaturregimes (mögliche Erhöhung der Temperaturen) oder der Niederschlagsverteilung (Akzentuierung des Niederschlaggeschehens), die ihrerseits Auswirkungen auf geomorphologische Abtragsvorgänge und Erosionsprozesse haben können.

Eine Erhöhung der Temperaturen führt mit einer zeitlichen Verzögerung von Jahren bis Dekaden zu einem Abschmelzen der Gletscher sowie zu einem Auftauen des Permafrost-Bodens. Diese Beziehung kann für den Alpenraum deutlich für die Zeit seit dem Ende der so genannten „Kleinen Eiszeit“ Mitte des 19. Jahrhunderts aufgestellt werden. Während im gesamten Alpenraum die Gletscher mehr als ein Drittel ihrer Oberfläche verloren haben (Maisch et al. 1998), schwanken die Angaben zur Reduktion des Permafrost-Körpers von 10 % (Haeberli et al. 1998) bis etwa 40 % (Stötter et al. 1996). Damit einhergehend ist die sukzessiv erhöhte Verfügbarkeit unverfestigten erodierbaren Lockermaterials, sowie eine generelle Verlagerung potenzieller Prozess-Anbruchgebiete in höhere Lagen. In Kombination mit einer Änderung der Niederschlagsverteilung ist es nicht unwahrscheinlich, dass in Zukunft Wildbachprozesse und geomorphologische Massenverlagerungsprozesse an Intensität und Frequenz zunehmen werden.

Derartige natürliche Prozesse werden im Überschneidungsbereich mit Nutzungsansprüchen des Menschen zur Gefahr, da der für ökonomische Aktivitäten und Siedlungszwecke zur Verfügung stehende Raum in Berggebieten naturgemäß beschränkt ist. Durch eine Änderung des Prozessverhaltens kann es somit zu einem erhöhten Gefährdungspotenzial für exponierte Werte kommen, insbesondere, wenn diese Prozesse in ihrer durchschnittlichen Schwankungsbreite einen bestimmten, auf die jeweiligen technologischen und wirtschaftlichen Bedingungen bezogenen Schwellenwert überschreiten.

In den letzten 60 Jahren sind deutliche Veränderungen in der Nutzung von Berggebieten festzustellen. Der Ostalpenraum ist hierbei gegenüber manchen Regionen des (Süd-)Westalpenraums begünstigt. Ökonomische Aktivitäten haben zugenommen, die Siedlungsstruktur hat sich verändert und Siedlungen wurden ausgedehnt, und die Anzahl hierfür notwendiger Infrastruktur, wie Straßen und Versorgungsleitungen, hat sich erhöht. Damit einhergehend ist ein Wandel von einer ursprünglich agrarisch geprägten Gesellschaft zu einer Dienstleistungsgesellschaft, vor allem der Tourismussektor hat erheblich Steigerungsraten erfahren. Der parallel stattfindende Übergang zu einer freizeitorientierten Gesellschaft trägt vor allem zu einer Steigerung der sich in gefährdeten Gebieten aufhaltenden Personen bei.

Sich aus diesen Änderungen ergebende mögliche Entwicklungen des Risikos sind in *Abb. 1* qualitativ in (zumindest theoretisch) neun möglichen Tendenzen dargestellt.

		Exponierte Werte und/oder Anzahl gefährdeter Personen		
		Abnahme (-)	keine Änderung (∅)	Zunahme (+)
Magnitudo und Frequenz natürlicher Prozesse	Zunahme (+)	A ∅	B +	C ++
	keine Änderung (∅)	D -	E ∅	F +
	Abnahme (-)	G --	H -	I ∅

Abb. 1: Darstellung möglicher Risikoentwicklungen auf Basis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahrenprozessen und Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Objekte und Personen (Fuchs et al. 2004a).

Intensität bzw. Magnitude und Frequenz 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. Houghton et al. 2001; Solomon et al. 2007), und somit eine Zunahme der Prozesse zumindest nicht ausgeschlossen werden kann. Das von diesen Prozessen betroffene Schadenspotenzial unterliegt ebenfalls einer Variabilität, weite Teile des Ostalpenraumes weisen aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte eine Erhöhung der Wertekonzentration auf.

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 potenziell 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. 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.

Veränderungen im Naturraum, die zu einer Erhöhung des Gefährdungspotenzials führen, und Veränderungen im Kulturräum, die eine Erhöhung exponierter Werte zur Folge haben, münden jedoch in einem deutlich ansteigenden Risiko in Berggebieten. Nachdem Änderungen im Naturraum wie auch im Kulturräum 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. Einem erhöhten Risiko gegenüber Naturgefahren stehen eine geringere Akzeptanz von Naturgefahrenereignissen durch die Bevölkerung, ein verringerter finanzieller Spielraum der öffentlichen Hand für aktive Schutzmaßnahmen, sowie beschränkte Raumreserven und folglich Konflikte mit Gefahrenzonen gegenüber.

2 Änderungen im Naturraum

Auf der Skala von Kontinenten oder Ozeanbecken wurden zahlreiche langfristige Änderungen des Klimas beobachtet (Houghton et al. 2001; Solomon et al. 2007). Zu diesen gehören Änderungen der Temperatur, sowie verbreitete Änderungen der Niederschlagsmengen, des Salzgehalts der Ozeane, der Windmuster und bei Aspekten extremer Wetterereignisse wie Trockenheit, Starkniederschläge, Hitzewellen und der Intensität tropischer Wirbelstürme.

Für viele großräumige Regionen zeigen die Niederschlagsmengen langfristige Trends von 1900 bis 2005. Signifikante Niederschlagszunahmen wurden in Teilen von Nordeuropas beobachtet. Die Niederschläge schwanken räumlich und zeitlich sehr stark. Die Westwinde in den mittleren Breiten sind in beiden Hemisphären seit den 1960er Jahren stärker geworden. Die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen hat über den meisten Landflächen zugenommen, im Einklang mit der Erwärmung und der beobachteten Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs. Paläoklimatische Informationen stützen die Interpretation, dass die Wärme des letzten halben Jahrhunderts für mindestens die letzten 1300 Jahre ungewöhnlich ist. Die mittleren Temperaturen in der Nordhemisphäre waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich höher als während jedes anderen 50-Jahr-Abschnitts in den letzten 500 Jahren und wahrscheinlich die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren.

Eine direkte Prognose für den Alpenraum erweist sich aufgrund der vorliegenden Informationen des IPCC als schwierig durchführbar, weil die Alpen im nordhemisphärischen Maßstab zu klein sind, und somit durch die große Maschenweite der Modelle nicht unmittelbar in Erscheinung treten. Eine wachsende Anzahl von Hinweisen lässt allerdings die folgenden Auswirkungen in hydrologischen Systemen wahrscheinlich werden (Parry et al. 2007; Solomon et al. 2007), diese zeichnen sich auch bereits in den einschlägigen Messperioden ab (Auer et al. 2007):

- Erhöhter Abfluss und früher eintretende Abflusshöchstmengen im Frühling bei zahlreichen von Gletschern und Schnee gespeisten Flüssen.
- Erhöhte Instabilität des Bodens in Permafrostgebieten sowie Massenverlagerungsprozesse in Gebirgsregionen.

- Für Siedlungen in Gebirgsregionen besteht – infolge des Abschmelzens der Gletscher – ein erhöhtes Risiko durch Hochwasser nach Gletscherseeausbrüchen.

Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird für den mittleren Jahresabfluss in Flüssen und die Wasserverfügbarkeit in hohen Breiten ein Anstieg von 10–40 % projiziert. Darüber hinaus wird für die in Gletschern und Schneedecken gespeicherten Wassermengen ein Rückgang erwartet. Dadurch nimmt die Wasserverfügbarkeit in Regionen, die vom Schmelzwasser der großen Gebirgsketten versorgt werden, ab. Wo extreme Wetterereignisse intensiver und/oder häufiger werden, wird es zu einem Anstieg der damit verbundenen wirtschaftlichen und sozialen Kosten kommen. Dieser Anstieg wird in den am unmittelbarsten betroffenen Gebieten erheblich ausfallen. Aufgrund weitreichender und komplexer Verflechtungen wird eine Ausweitung der Auswirkungen des Klimawandels von unmittelbar betroffenen Gebieten auf weitere Regionen die Folge sein.

Zu den negativen Auswirkungen zählen eine erhöhte Gefährdung durch flutartige Überschwemmungen im Landesinneren und verstärkte Erosion (vor allem durch eine aufgrund zunehmender Temperaturdifferenzen erhöhte Gewitteraktivität).

Die Auswirkungen werden sich sehr wahrscheinlich durch geänderte Häufigkeiten und Intensitäten extremer Wetter- und Klimaereignisse weiter verändern (Houghton et al. 2001; Parry et al. 2007; Solomon et al. 2007).

In Hinblick auf die Ostalpen manifestieren sich die wesentlichen erwarteten Änderungen in Form höherer Temperaturen und einer Akzentuierung des Niederschlagsgeschehens. Temperatur und Niederschlag sind wiederum Schlüsselparameter für das Auftreten von Naturgefahren. In Bezug auf die Temperaturen zeigt die Beobachtung für den Zeitraum 1760–2007 einen Anstieg im Sommerhalbjahr um rund 2 °C, im Winterhalbjahr um rund 2,5 °C (Böhm 2009a). Dieser Anstieg wird für das 21. Jahrhundert im Winterhalbjahr für den Ostalpenraum stärker prognostiziert als für den Westalpenraum, und im Sommerhalbjahr für den Südalpenraum stärker als für den Nordalpenraum (Böhm 2009b). Das Niederschlagsgeschehen ändert sich ebenfalls räumlich differenziert, und im Nordalpenraum ist eine leichte Zunahme zu beobachten. Allerdings sind hier die jährlichen Schwankungsbreiten noch höher als beobachtete mittlere Veränderungen, was grundsätzlich die Prognose erschwert (Auer et al. 2007, Böhm 2009b).

Für die im Naturraum ablaufenden Prozesse lassen sich aufgrund der projizierten bzw. prognostizierten Änderungen des Klimas ebenfalls Änderungen erwarten (vgl. *Tabelle 1*). Dabei wird es aufgrund der Akzentuierung der Niederschlagsereignisse vor allem zu einer Zunahme oder Steigerung von Frequenz und Magnitude bei jenen geomorphologischen Prozessen kommen, bei denen Wasser die treibende Kraft ist bzw. das auslösende Moment darstellt, so vor allem bei Wildbachprozessen und Rutschungen. Neben Bergstürzen, für die derzeit keine Veränderung nachweisbar ist, stellen Lawinen die Ausnahme dar, hier ist aufgrund einer detaillierten Analyse des Systemverhaltens im Zeitraum von 1950 bis 2000 nicht von einer Änderung auszugehen (Latarnser & Schneebeli 2002).

Tabelle 1: Projizierte bzw. prognostizierte Änderungen für Naturgefahrenprozesse im Alpenraum, nach Angaben in (Bader & Kunz 1998; Wanner et al. 2000; Solomon et al. 2007).

Prozess	Tendenzielle Entwicklung
Lawine	Gleich bleibend
Murgang	Allgemeine Zunahme
Steinschlag	Gleich bleibend bis zunehmend
Bergsturz	Keine Veränderung nachweisbar
Rutschung	Zunahme
Hochwasser	Zunahme

Dennoch können derartige Veränderungen, beispielsweise in Hinblick auf Wildbachprozesse in Österreich, bislang nicht unmittelbar nachgewiesen werden. In Abb. 2 ist das Ergebnis einer Analyse der Wildbachereignisse in Österreich für die Periode 1950–2009 wiedergegeben. Obwohl einige Jahre mit einer deutlich erhöhten Ereignisanzahl auffällig sind, kann ein genereller Trend einer Zunahme nicht bestätigt werden. Diese Schlussfolgerung ergibt sich auch aus der Analyse der teuerungsbereinigten Wildbachschäden (Fuchs 2009).

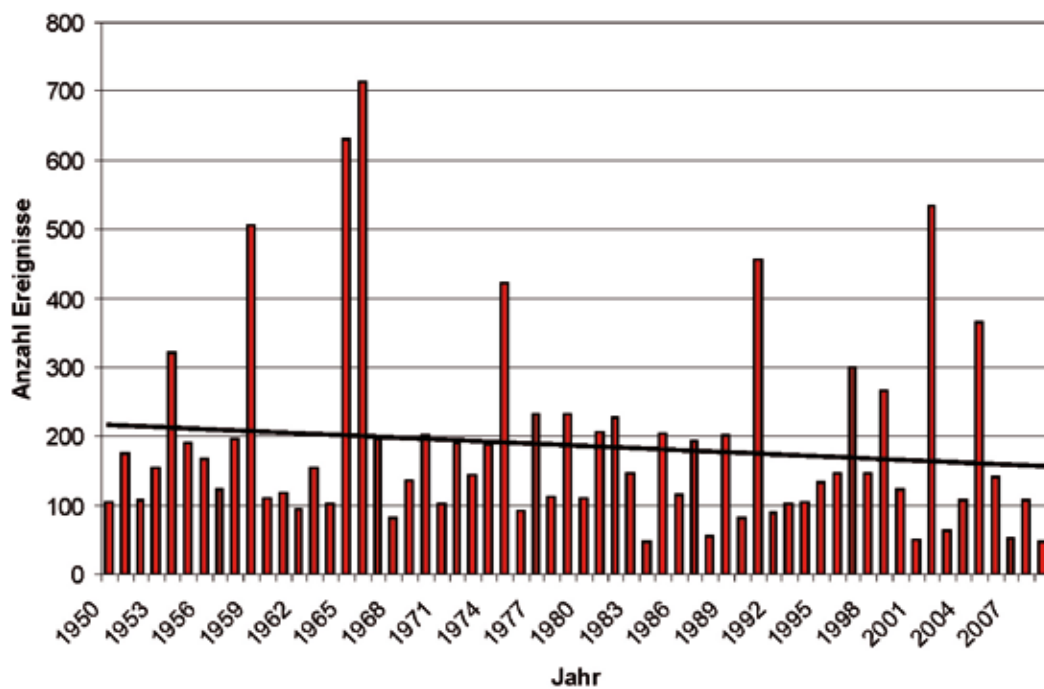


Abb. 2: Anzahl der Wildbachereignisse in Österreich für den Zeitraum 1950–2009 (Datenquelle: Institut für alpine Naturgefahren und Oberndorfer et al. 2007).

Konzeptionell interessant ist der Umgang mit dem zu erwartenden Klimawandel im österreichischen Alpenraum aber dennoch, da sich die Ausweisung der Gefahrenzonen auf das so genannte Bemessungsereignis bezieht. Dieses stellt im Bereich der Wildbach- und Lawinengefahren ein seltenes Ereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von rund 150 Jahren dar (Republik Österreich 1976). Eine Änderung der zugrunde liegenden Zeitreihen führt hier möglicherweise zu einer Änderung der Abgrenzungskriterien, und kann in weiterer Folge zu einer räumlichen Ausdehnung

der Gefahrenzonen führen. Dies hat wiederum unmittelbare Auswirkungen auf die Anzahl exponierter Objekte, und somit auf das Risikomanagement.

3 Änderungen im Kulturräum

Sozioökonomische Änderungen der Strukturen in Berggebieten haben Veränderungen des Schadenspotenzials zur Folge. Diese Veränderungen können in eine lang- und eine kurzfristige Variabilität unterteilt werden, hier kommen jeweils unterschiedliche Muster zum Tragen.

3.1 Langfristige Aspekte

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. Abb. 3 veranschaulicht dies anhand zweier Fotografien der Ortschaft Davos (Schweiz), deutlich ist hier die Verdichtung der Siedlungsstruktur sowie die Ausdehnung des Siedlungsraumes zu erkennen. Die entsprechende Steigerung exponierter Werte ist für dieses Beispiel von Fuchs & Bründl (2005) dokumentiert worden, und in Abb. 4 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. Abb. 4), und in Keiler et al. (2006) für weitere Orte im österreichischen Paznauntal.



Abb. 3: Siedlungsentwicklung im Alpenraum am Beispiel Davos (Schweiz); links 1940er-Jahre, rechts im Jahr 2002. Fotos: J. Trauffer (links), S. Fuchs (rechts).

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 Wohn-

gebäude 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 Schadenspotenzials 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 Davos 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).

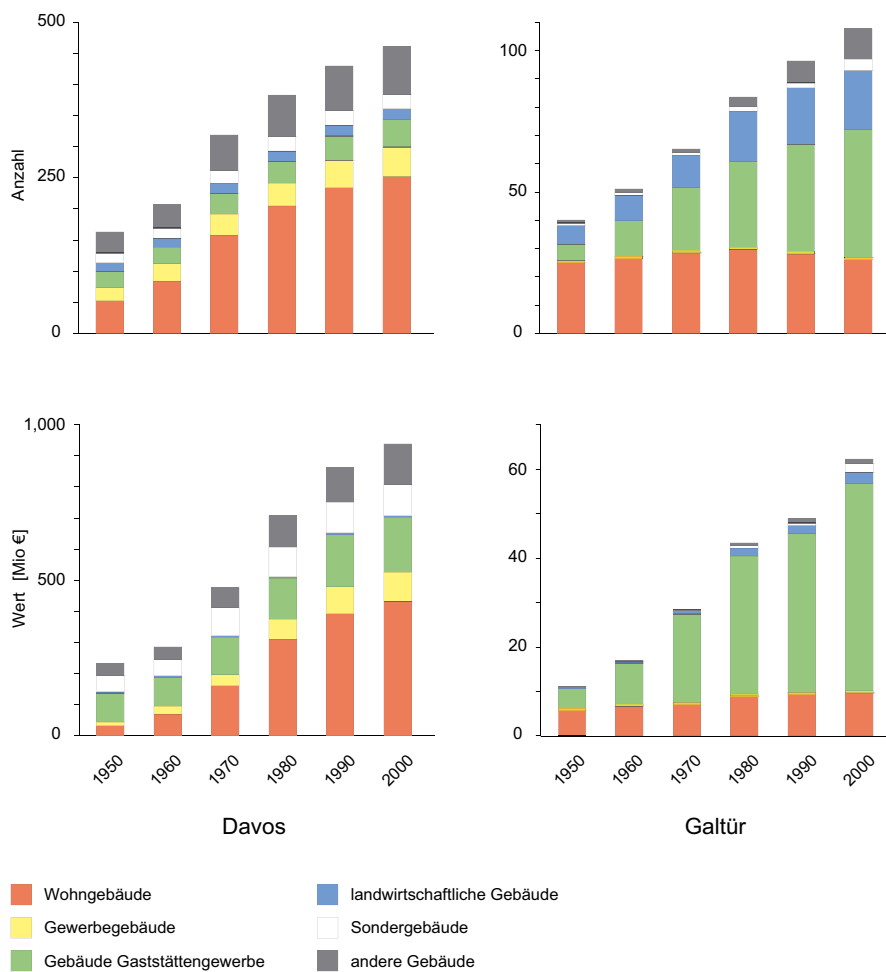


Abb. 4: Steigerung der Anzahl und Werte gefährdeter Gebäude in Davos (CH, links) und Galtür (A, rechts), aus Fuchs & Keiler (2008).

Die Anzahl der in Bergregionen anwesenden Touristen ist in den vergangenen Dekaden ebenfalls langfristig markant gestiegen, wie in *Abb. 5* exemplarisch für die Gemeinde Galtür anhand der Anzahl Gästebetten dargestellt. Entsprechend einer räumlich differenzierenden Analyse der Steigerungen bei den Gebäudezahlen halten sich in gefährdeten Gebieten heute grundsätzlich wesentlich mehr Personen auf als in vergangenen Dekaden, vor allem während der Wintermonate ist dies evident (*Abb. 6*).

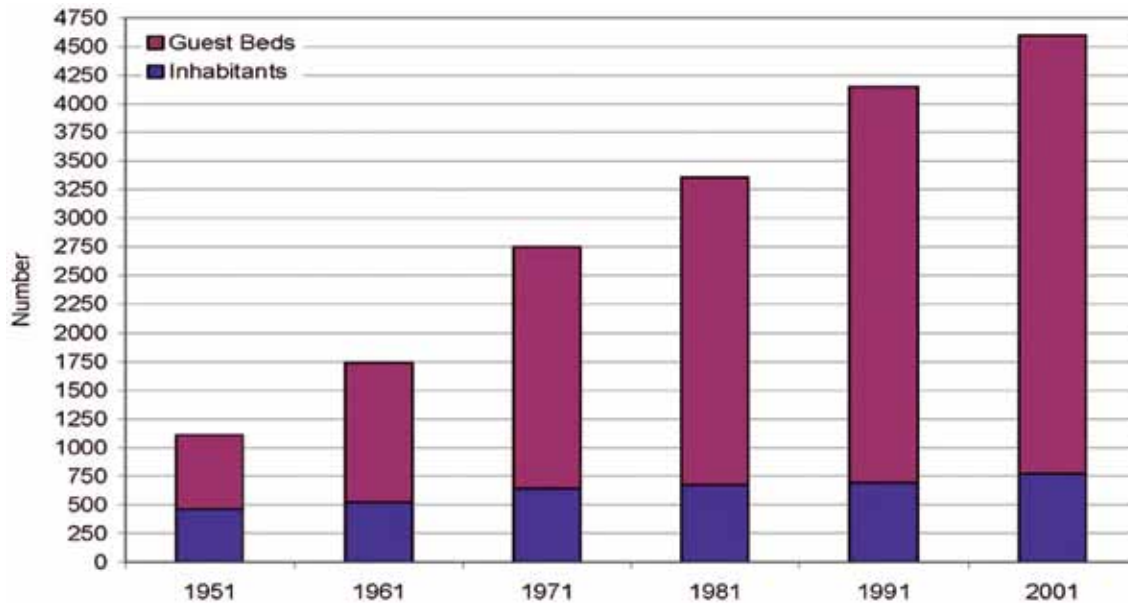


Abb. 5: Entwicklung der Einwohnerzahlen und Gästebetten in Galtür für den Zeitraum 1951–2001, aus Keiler (2004).

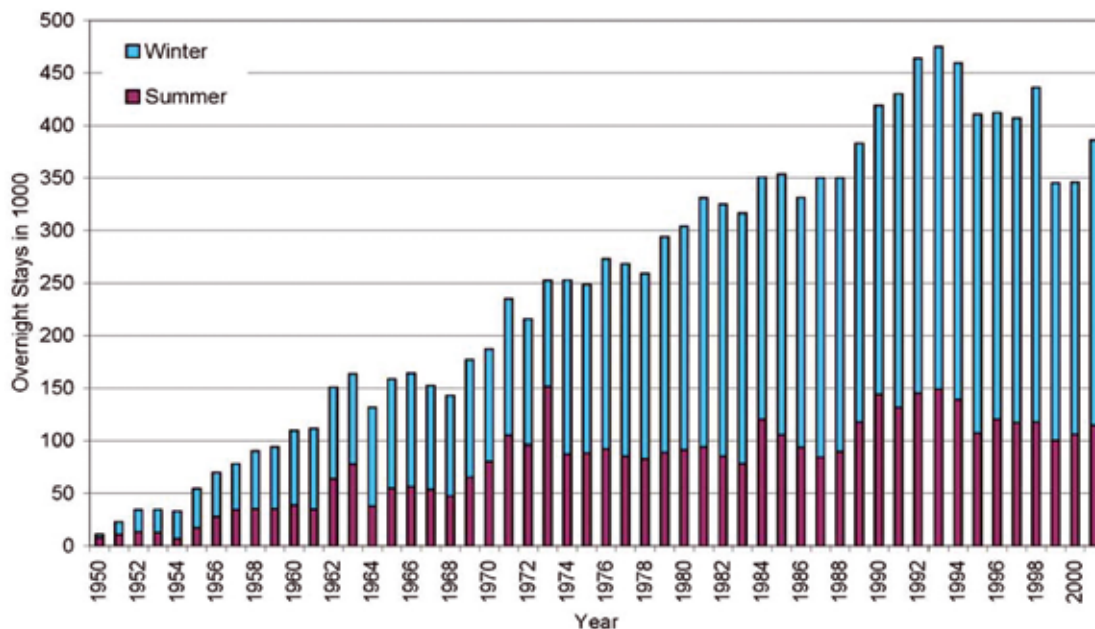


Abb. 6: Entwicklung der Nächtigungszahlen in Galtür im Zeitraum 1950–2000, aus Keiler (2004).

3.2 Kurzfristige Aspekte

Parallel zu diesen langfristigen Änderungen des Schadenspotenzials 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. Abb. 7, Keiler et al. 2005). 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 (Abb. 7).

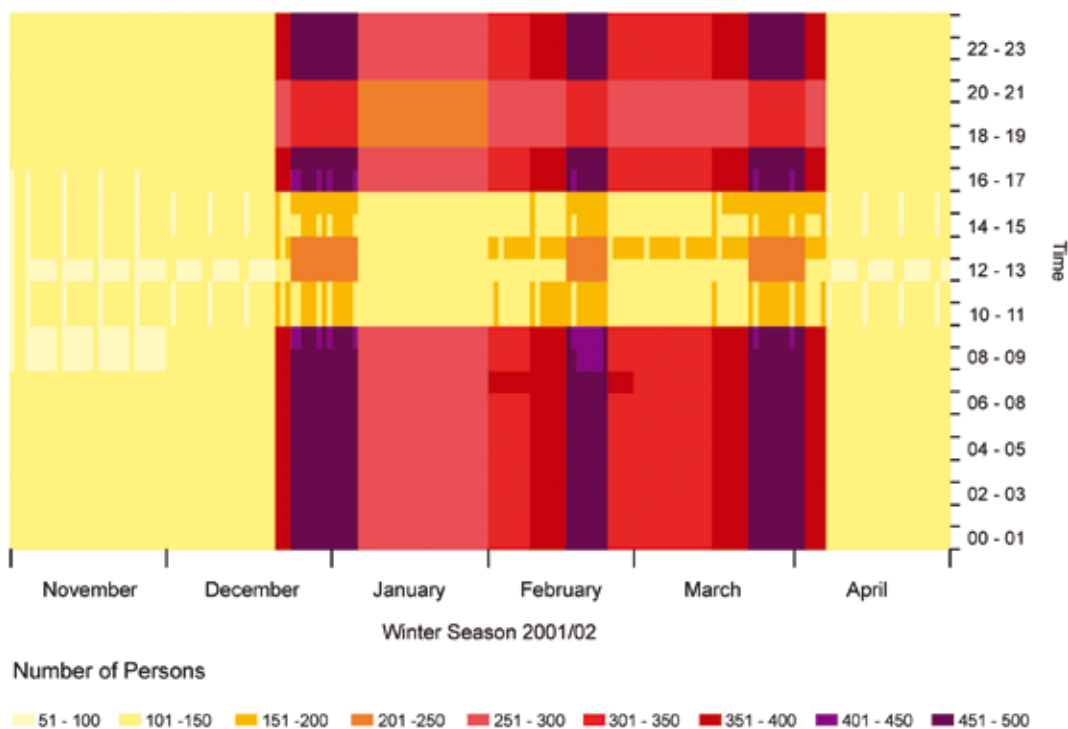


Abb. 7: Saisonale, tägliche und stündliche Variationen der exponierten Personen in Galtür (Keiler et al. 2005).

4 Zusammenfassung

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, Solomon et al. 2007). Ebenso bedeutsam sind aber zeitgleich ablaufende Prozesse im Kulturräum, speziell veränderte Präsenz wahr-

scheinlichkeiten von Personen und mobilen Objekten sowie die damit verbundenen exponierten Werte durch Veränderungen der Wirtschafts- und Sozialstrukturen. Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im sozioökonomischen Bereich werden somit durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können (Fuchs & Keiler 2008).

Eine multitemporale Betrachtung im Sinne der Risikoanalyse erfasst Veränderungen mehrerer Faktoren 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.

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. Umgekehrt vermögen großflächige Prognosen, wie sie derzeit etwa vom IPCC in regelmäßigen Abständen publiziert werden, regionale Unterschiede nur eingeschränkt wiederzugeben. Ein direktes Up- bzw. Downscaling ist aus diesem Grund nicht möglich, vielmehr muss eine kombinierte Betrachtung und Bewertung auf verschiedenen Skalen durchgeführt werden. Dies gilt für den Klimawandel ebenso wie für Änderungen sozioökonomische Strukturen, die in einer Erhöhung des exponierten Schadenspotenzials münden können, und hat direkte Einfluss auf die Strategien des Risikomanagements. Diese Entwicklungen haben jüngst auf europäischer Ebene zur Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken geführt; hier ist explizit die Erstellung von Risikokarten gefordert (Europäische Kommission 2007).

Risikoanalysen, die für Naturgefahren durchgeführt werden, sind im Allgemeinen statische Ansätze, jedoch unterliegen naturgefahreninduzierte Risiken einer zeitlichen Variabilität, da risikobeeinflussende Faktoren (Prozesse, Objektwerte, Verletzlichkeit) in lang- sowie kurzfristigem Rahmen veränderlich sind. Insofern können hohe Schäden im Falle von Extremereignissen nicht ausgeschlossen werden, da sich eine Risikoreduktion immer auf die Berechnung der entsprechenden Bemessungsereignisse bezieht. Diese unterliegen wiederum aufgrund der Prozesse des Klimawandels einer Variabilität. Extremereignisse wie die Ereignisse des Lawinenwinters 1999 sowie die Hochwässer in den Jahren 2002, 2005 und 2006, haben dies gezeigt (Keiler et al. 2010).

Literatur

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.-M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z. & Nieplova, E. (2007): HISTALP - Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27 (1): 17-46.
- Bader, S. & Kunz, P. (eds.) (1998): *Klimarisiken - Herausforderung für die Schweiz*. Zürich, vdf-Hochschulverlag.
- Bätzing, W. (1993): *Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraumes im 20. Jahrhundert*. Bern, Geographisches Institut der Universität Bern (= Geographica Bernensia P26).

- Böhm, R. (2009a): Klimarekonstruktion der instrumentellen Periode – Probleme und Lösungen für den Großraum Alpen. In: Schmidt, R., Matulla, C., Psenner, R. (eds.): Klimawandel in Österreich. Innsbruck, Innsbruck University Press: 145-164.
- Böhm, R. (2009b): Geändertes Umfeld durch Klimawandel? Wildbach- und Lawinenverbau 163: 34-50.
- Europäische Kommission (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union L 288/28.
- Fuchs, S., Hama, M., Keiler, M., Seitz, M. & Zischg, A. (2004a): Aspekte zum Lawinenrisiko im Siedlungsraum und auf Verkehrsachsen. In: Kuratorium für alpine Sicherheit (ed.): Sicherheit im Bergland. Jahrbuch 2004. Innsbruck, Österreichisches Kuratorium für alpine Sicherheit: 91-98.
- Fuchs, S., Bründl, M. and Stötter, J. (2004b). Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the municipality of Davos, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4 (2): 263-275.
- Fuchs, S. & Bründl, M. (2005): Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements of the canton of Grisons, Switzerland. *Natural Hazards* 34 (1): 53-69.
- Fuchs, S. & Keiler, M. (2008): Variability of natural hazard risk in the European Alps: evidence from damage potential exposed to snow avalanche. In: Pinkowski, J. (ed.): *Disaster Management Handbook*. London, Taylor & Francis: 267-279.
- Fuchs, S. (2009): Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria – Paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9 (2): 337-352.
- Haeberli, W., Käab, A., Hölzle, M., Bösch, M., Funk, M., Vonder Muehll, D. & Keller, F. (1998): Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Zürich, vdf-Hochschulverlag.
- Houghton, J., Yihui, D. & Griggs, D. (eds.) (2001): *Climate change 2001. The scientific basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- 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 (2): 249-256.
- Keiler, M. & Stötter, J. (2004): Aspekte der Entwicklung des Schadenpotentials bei Lawinenrisiken am Beispiel Galtür. *Proceedings Internationales Symposium Interpraevent, Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 2, VI/139-VI/150*.
- Keiler, M., Zischg, A., Fuchs, S., Hama, M. & 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 (1): 49-58.
- Keiler, M., Zischg, A. & Fuchs, S. (2006): Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken. In: Strobl, J. & Roth, C. (eds): *GIS und Sicherheitsmanagement*. Heidelberg, Wichmann: 118-128.
- Keiler, M., Knight, J. & Harrison, S. (2010): Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A* 368: 2461-2479.
- Latenser, M. & Schneebeli, M. (2002): Temporal trend and spatial distribution of avalanche activity during the last 50 years in Switzerland. *Natural Hazards* 27 (3): 201-230.
- Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. & Benz, C. (1998): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gletscher und deren Vorfelder. Zürich, vdf-Hochschulverlag.
- Oberndorfer, S., Fuchs, S., Rickenmann, D. & Andrecs, P. (2007): Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich. Wien, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (= BFW-Report 139).
- Parry, M., Canziani, O. & Palutikof, J. (eds.) (2007): *Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability: Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.

Auswirkungen des Klimawandels auf Naturgefahren

- Republik Österreich (1976): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne. Wien, BGBl 436/1976.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. & Miller, H. (eds.) (2007): Climate change 2007. The scientific basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.
- Stötter, J., Maukisch, M., Simstich, J. & Belitz, K. (1996): Auswirkungen des zeitlich-räumlichen Wandels der Permafrostverteilung im Suldental (Ortlergebiet) auf das Gefährdungspotential durch Erosionsprozesse. Proceedings Internationales Symposium Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen, 29. Mai - 03. Juni, Band 1, 447-457.
- Wanner, H., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., Salvisberg, E. & Schmutz, C. (2000): Klimawandel im Schweizer Alpenraum. Zürich, vdf-Hochschulverlag.

Anschrift des Autors:

PD Dr. Sven Fuchs
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien
E-Mail: sven.fuchs@boku.ac.at