

The central challenge of climate change adaptation for Alpine natural hazard management: Incorporation of future change of the damage potential

Die zentrale Herausforderung der Klimawandelanpassung für das Naturgefahrenmanagement im Alpenraum: Berücksichtigung des zukünftigen Wandels des Schadenpotentials

Klaus Pukall, Dr.¹; Sylvia Kruse, Dr.²

ABSTRACT

Climate change adaptation within the field of alpine hazards management is not sufficiently taking future changes of the damage potential into account. Climatic and societal changes are expected to influence hazard exposure and social vulnerability considerably. Feedback mechanism between hazard management, settlement development and climate change adaptation need to be incorporated. The Safe-Development-Paradox proofs also to apply for the Alpine Space, i.e. that protection measures often lead to building activities and thus increases societal and financial values in areas potentially at risk. Because hazard zones can grow due to climatic changes, these interconnections between realized and planned protection and climate adaptation measures as well as future societal changes should be considered in hazard management and planning already today. Starting points for alpine hazard management are therefore first, to link climate and societal scenarios on local and supra-regional scale; second, to include stakeholders from natural hazard management when negotiating future settlement development and spatial uses; and third, to account for uncertainty of future development by implementing flexible and adaptive measures.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Klimaanpassungsstrategien für den Bereich des Naturgefahrenmanagement im Alpenraum berücksichtigen bisher unzureichend die zukünftigen Veränderungen des Schadenpotentials. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sowohl der Klimawandel die naturwissenschaftlich beschreibbaren Gefahrenprozesse als auch gesellschaftliche Veränderungen die Verwundbarkeit der Bevölkerung beeinflussen werden. Rückkopplungsmechanismen zwischen Naturgefahrenmanagement, Siedlungsentwicklung und Klimaanpassung sind hier zu berücksichtigen. Das Safe-Development-Paradox zeigt auch im Alpenraum, dass gerade technische Schutzbauwerke zu einer stärkeren Siedlungsentwicklung in potenziellen

1 Technische Universität München, Freising, GERMANY, klaus.pukall@tum.de

2 Chair of Forest and Environmental Policy University of Freiburg Tennenbacherstr. 4 D- 79106 Freiburg

Gefahrenbereichen führen und damit das Schadenspotential zunimmt. Da sich diese Gefahrenbereiche durch den Klimawandel noch ausweiten können, sollten diese Zusammenhänge zwischen bereits umgesetzten und geplanten Schutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen sowie der zukünftigen gesellschaftlichen Entwicklung bereits heute bei der Planung berücksichtigt werden. Ansatzpunkte für das alpine Naturgefahrenmanagement bilden daher erstens die Verknüpfung von Klima- und Gesellschaftsszenarien auf lokaler und überregionaler Ebene, zweitens der Einbezug von Akteuren des Naturgefahrenmanagements in die Aushandlung der Siedlungsentwicklung und der Raumnutzungen, und drittens die systematische Berücksichtigung von Unsicherheit in Form von flexiblen und damit anpassungsfähigen Maßnahmen.

KEYWORDS

Climate change adaptation; spatial planning; safe development paradox; uncertainty

EINLEITUNG

Anpassung an den Klimawandel ist ein wichtiges Thema für das Naturgefahrenmanagement (NGM) im Alpenraum. Entsprechende Konzepte wurden ab 2000 in Klimaanpassungsstrategien (KAS) in Bayern (deutscher Anteil am Alpenraum), Österreich und der Schweiz erarbeitet. In diesem Beitrag vertreten wir die These, dass die zentrale Herausforderung der Klimaanpassung (KA) für das NGM die Berücksichtigung des zukünftigen Wandels nicht nur der Klimaparameter sondern vor allem des gesellschaftlichen Systems darstellt. Genauso wie bei den Klimaprojektionen des IPCC müssen soziale Zukünfte berücksichtigt und in das heutige Management von alpinen Naturgefahren integriert werden.

Ziel dieses Artikels ist es die Notwendigkeit für ein zukunftsgerichtetes NGM herauszuarbeiten und mögliche Ansatzpunkte für die systematische Berücksichtigung des gesellschaftlichen und klimatischen Wandels im NGM zu benennen.

Basierend auf einer Analyse der bestehenden KAS diskutieren wir, inwieweit zukünftige Veränderungen in natürlichen und sozialen Systemen berücksichtigt werden und identifizieren „blinde Flecken“, die bisher keine Berücksichtigung in der KA im NGM finden. Darauf aufbauend entwickeln wir Vorschläge für ein zukunftsgerichtetes NGM, das besonders die Steigerung des Schadenspotentials berücksichtigt.

METHODIK

Innerhalb des BMBF-Projekts „Alpine Naturgefahren im Klimawandel“ (Vertrag 01UV1004B, Deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung) wurden auf nationaler und sub-nationaler Ebene (Bayern, Graubünden, Tirol) die bis Ende 2013 erarbeiteten KAS sowie vorbereitende Dokumente (Gesetzestexte, in den Ländern aufgelegte Forschungsprogramme zur Klimafolgenabschätzung, sektorale Programme des NGM) mit Methoden der qualitativen Inhaltsanalyse untersucht. Außerdem wurden Leitfadenterviews mit 41 Experten des NGM aus Österreich, Deutschland und der Schweiz über die KA im NGM geführt und ein internati-

onaler Experten-Workshops durchgeführt, im dem Lösungsansätze für die Herausforderungen der KA erarbeitet wurden.

STAND DER KLIMAAANPASSUNG IN DEN UNTERSUCHUNGSLÄNDERN

Die KAS, die in den untersuchten Ländern in den Jahren 2000-2014 erstmals erstellt wurden, basieren überwiegend auf länderspezifischen Forschungsprojekten, die sowohl historische klimabezogene Datenreihen analysierten als auch die globalen Klimamodelle durch unterschiedliche Downscaling-Mechanismen auf regionaler Ebene auswerten. Die Ergebnisse dieser Forschungsprojekte flossen als Informationsgrundlage in die nationalen und regionalen Anpassungsstrategien ein.

Eine vergleichende Analyse der KAS zeigt, dass KA in den Strategien der untersuchten Länder primär als eine Anpassung an ein verändertes regionales Klima verstanden wird. Eine Anpassung an sich verändernde gesellschaftliche Gegebenheiten (z. B. Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung, demographische Struktur etc.) findet bisher nicht statt. Anpassung wird zudem als routinierte Veränderung der etablierten Handlungsstrategien bzw. Maßnahmen empfunden, wie stellvertretend dieses Zitat aus der Schweiz zeigt: „Die zusätzlichen Herausforderungen infolge des Klimawandels können deshalb durch eine konsequente Umsetzung der PLANAT-Strategie und des integralen Risikomanagements gemeistert werden“ (Schweiz. Bundesrat 2012: 3808)

BLINDE FLECKEN DER KA: FEHLENDE ZUKUNFTSORIENTIERUNG BEZÜGLICH SOZIALER PROZESSE

Das derzeitige NGM ist vergangenheits- bzw. gegenwartsorientiert. Das für die meisten Maßnahmen des NGM zentrale Konzept der Jährlichkeit ist auf eine Betrachtung möglichst langer historischer Zeitreihen ausgelegt. Je länger die Beobachtung zurückreicht, desto besser kann das Magnitude-Frequenz-Verhältnis der betrachteten Gefahren bestimmt werden. Maßnahmenplanungen, die das Schadenspotential berücksichtigen, gehen vom aktuellen Zustand aus und vergleichen somit z. B. durch Kosten-Nutzen-Abwägungen die Reduktion des aktuellen Schadenspotentials durch unterschiedliche Maßnahmen.

Dieser Vergangenheitsbezug wird innerhalb der KA durch Szenarien über die zukünftigen Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Gefahrensituationen ergänzt. Die Einführung eines einheitlichen Klimaänderungsfaktors von 15% (d.h. das aus historischen Daten errechnete Bemessungsereignis wird um den Faktor 1,15 erhöht) für Hochwasserschutzbauten in Bayern im Jahr 2004 oder der 2003 fertig gestellte Lawinen- und Murgangsschutzdamm in Pontresina (Graubünden) sind ein Beispiel dafür, dass bereits vereinzelt heutige Maßnahmen zukünftige Veränderungen antizipieren.

Wie bereits in der Einleitung ausgeführt, basiert die Arbeit der Klimawandelforschung auf der Verwendung von Emissionsszenarien, die Annahmen über gesellschaftliche Entwicklungen beinhalten. Die KAS berücksichtigen diese gesellschaftlichen Szenarien aber häufig nicht, um Maßnahmen der KA zu formulieren. KA sollte daher nicht nur die Projektionen zur Klimaentwicklung berücksichtigen sondern besonders bei der Formulierung der KA-Maßnah-

men auch systematisch die unterschiedlichen möglichen Gesellschaftszukünfte berücksichtigen. Für das NGM müssten explizit folgende Themen beachtet werden.

Rückkopplungsmechanismen aufgrund durchgeführter Schutzmaßnahmen: Das Safe-Development-Paradox

Burby (2006) erklärt einen Großteil der Schäden in New Orleans, die nach Hurrikan Katrina entstanden sind, auf Basis des von ihm so benannten „Safe Development Paradox“: Jede Schutzmaßnahme, die zu einem Gefühl 100%iger Sicherheit führt, verursacht langfristig ein erhöhtes Schadenspotential. Burby (2006) erweitert damit das Verständnis für den sog. „levee effect“, den zuerst Segoe (1937) beschrieb. Falls ein Deich gebaut wird, empfinden die Bewohner des durch den Deich geschützten Gebiets als auch die lokalen Behörden dieses Gebiet als „sicher“. Die Siedlungsentwicklung findet in dem durch den Deich geschützten Gebiet so statt, als wäre das Hochwasser vollkommen gebannt – der besonders in Bayern verwendete Begriff der Hochwasserfreilegung unterstützt z.B. diese Fehlwahrnehmung. Dieser Prozess führt zu einer deutlichen Steigerung des Schadenspotentials im Vergleich zu nicht geschützten Flächen. Burby (2006) betont, dass besonders solche Maßnahmen, die neue Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen und nicht bestehende Bebauung schützen, zum „Safe Development Paradox“ beitragen.

Auch die Gefahrenzonenplanung im Alpenraum kann zu einem falschen Gefühl der Sicherheit führen. Keiler (2004) und Fuchs et al. (2004) wiesen für die Gemeinden Galtür und Davos nach, dass die höchsten Steigerungsraten der Schadenspotentialentwicklung (besonders durch die Erweiterung bzw. den Ausbau bestehender Bebauung) an der Grenze der Bauverbotszone stattfanden, da ja der Plan die relative Sicherheit des Bauplatzes darstellte. Die Gefahrenzonenpläne können die graduelle Abnahme der Gefährdung nicht angemessen wiedergeben (siehe dazu auch Kap. 5.3). Falls es durch den Klimawandel nun zu einer Verschärfung der natürlichen Prozesse kommt, wäre das Schadenspotential durch die Siedlungsentwicklung in den vermeintlich sicheren Bereichen deutlich erhöht.

Wie Merz et al. (2009) darstellen, ist die empirische Evidenz für die quantitativen Auswirkungen des Safe Development Paradox derzeit noch relativ gering. Sie selbst gehen auf Basis ihrer Literaturlauswertung von 5-10% Erhöhung des Schadenspotentials bei Flusshochwasser aufgrund des Safe Development Paradoxes aus. Für die Niederlande kommen Jongmann et al. (2014) zu deutlich höheren Steigerungsraten. Eine Analyse von Fuchs et al. (2015), die die Entwicklung des Gebäudebestands in Österreich seit 1919 untersuchten, zeigt dagegen für Flusshochwasser, Wildbach- und Lawinengefahren keine klaren Hinweise für ein Safe Development Paradox. Dies liegt auch daran, dass die Studie nicht darauf ausgelegt war, das Safe Development Paradox zu beschreiben.

Interaktionen zwischen Raumordnung, Klimaschutz- sowie Klimaanpassungsmaßnahmen und dem NGM

Die Raumordnung ist bezüglich des NGM durch das Top-Down-Instrument der Gefahrenzonenplanung bzw. in Deutschland der festgesetzten Überschwemmungsgebiete geprägt. Auf der Basis einer nationalen Risikoabwägung (siehe Kap. 5.3) werden pauschale Baubeschränkungen ausgesprochen, von denen im Einzelfall nur marginal abgewichen werden kann (vgl. Höferl 2013, Pukall 2014). Der Raumplanung stehen (im Vergleich zur forstlichen und wasserwirtschaftlichen Fachplanung des NGM) wenig personelle und finanzielle Ressourcen zur Verfügung (Kruse und Pütz 2013). Eine aktive Auseinandersetzung über die Entwicklung des zukünftigen Schadenspotentials findet daher kaum statt. Gerade im inneralpinen Gebiet mit seinem beschränkten Siedlungsraum wären Planungen notwendig, wie der verbliebene Siedlungsbereich optimal genutzt wird, damit bei einer Berücksichtigung von Extremereignissen ein möglichst geringes Schadenspotential entsteht. Hierbei müssen neben der allgemeinen wirtschaftlichen und räumlichen Entwicklung auch die Interaktionen mit dem Klimaschutz und der KA berücksichtigt werden, durch deren Maßnahmen zusätzliches Schadenspotential entsteht (Pukall und Kruse 2014). Für das NGM wären daher vor allem unterschiedliche Szenarien für die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung notwendig. Diese Themen werden nicht ausreichend im derzeitigen NGM und den KAS behandelt. Eine gewisse Problemwahrnehmung ist in den KAS erkennbar: „Vermehrte raumwirksame Klimafolgenrisiken und gleichzeitig zunehmende Raumansprüche der Gesellschaft führen insbesondere in den alpin geprägten Teilräumen Österreichs mit naturbedingt knappem Dauersiedlungsraum zu zunehmender Flächenverknappung und damit zur Einengung zukünftiger wirtschaftlicher Entwicklungsmöglichkeiten“ (BMLFUW 2012, 302).

SCHLUSSFOLGERUNGEN: ANKNÜPFUNGSPUNKTE FÜR EIN ZUKUNFTSORIENTIERTES NATURGEFAHRENMANAGEMENT

Aus unserer Sicht gibt es drei zentrale Anknüpfungspunkte, um die Zukunftsorientierung des NGM und den Einbezug von sowohl klimatischen als auch gesellschaftlichen Zukünften zu unterstützen.

Berücksichtigung der zukünftigen Klima- und Gesellschaftsentwicklung bei Maßnahmen des NGM

Die Bewertung unterschiedlicher Vorsorgestrategien muss unter Berücksichtigung der zukünftigen Klima- und Gesellschaftsentwicklung erfolgen. Wie in der Klimaforschung sollten hier gesellschaftliche Szenarien erstellt und räumlich modelliert werden. Das österreichische Projekt RiskAdapt hat hierfür am Beispiel Hochwasser eine geeignete Methodik erarbeitet. Neben einer landesweiten Verknüpfung von Klima- und Bevölkerungsszenarien bedarf es insbesondere auf lokaler Ebene Aushandlungsprozesse, welche Entwicklungsszenarien in einer Gemeinde erwünscht sind und welche Schutzstrategien dafür die beste Lösung darstellen (RiskAdapt 2015).

Kosten-Nutzen-Analysen von geplanten Schutzmaßnahmen, wie z.B. das in der Schweiz für alle Naturgefahren vorgeschriebene Werkzeug "EconoMe" oder die in Bayern und Österreich bestehenden verwaltungsinternen Wirtschaftlichkeitsrichtlinien, sollten Annahmen über die erwartete Veränderungen von Siedlungsentwicklung und Klimafolgen beinhalten. Hierbei wäre eine enge Zusammenarbeit mit Raumordnungsakteuren notwendig. Entscheidend ist dabei auch, ob der Faktor der Risikoaversion, d.h. das gesellschaftliche Bedürfnis besonders seltene Großschadensereignisse zu vermeiden, berücksichtigt wird. Merz et al. (2009) konnten z.B. an drei Fallstudien in Deutschland zeigen, dass bei einer starken Ausprägung der Risikoaversion, Warnungskonzepte gegenüber technischen Schutzmaßnahmen mit Deichen das Gesamtrisiko am stärksten minimieren würden. Ohne den Faktor Risikoaversion wären trotz angenommener Effekte des Safe Development Paradoxes, die wie oben dargestellt zur Entstehung der seltenen Großschadensereignisse beitragen, die Deiche die beste Risikominimierungsmethode gewesen.

Aktive Beeinflussung der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung durch Akteure des NGM

Aushandlungsprozesse über die zukünftige lokale und regionale Raumnutzung, Tourismuskonzepte und auch die notwendigen Maßnahmen zur KA laufen häufig informal ab und binden staatliche Träger öffentlicher Belange, wie z. B. die mit dem NGM betrauten Forst- und Wasserbauverwaltungen, nicht bereits in der Vorplanung, sondern erst später in den formalen Planungs- oder Genehmigungsprozessen ein. So können die staatlichen Träger öffentlicher Belange erst spät mit ihren Vorstellungen zum Schutz vor Naturgefahren die Prozesse der Raumentwicklung beeinflussen. Sie finden sich daher häufig in der Rolle des Verhinderers von Entwicklungsideen wieder oder es wird Druck ausgeübt, regionalwirtschaftliche Entwicklungsprojekte mit Hilfe von technischen Schutzmaßnahmen zu ermöglichen. Aus unserer Sicht sollten alle Akteure des NGM daran mitwirken, sich aktiv in lokale Raumentwicklungsprozesse einzubringen. Für ein zukunftsgerichtetes NGM ist es nicht nur wichtig, die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung mit Hilfe der Gefahrenzonenplanung in den hoch gefährdeten Gebieten zu verhindern, sondern die Raumentwicklung so zu beeinflussen, dass hoch vulnerable Infrastrukturen (z.B. Tourismuseinrichtungen, die viele Personen anziehen) in besonders sichere Gebiete gelenkt werden.

Entscheidend hierbei ist, dass die Akteure gut in lokale Netzwerke eingebunden sind und somit frühzeitig mit neuen Entwicklungsideen in Kontakt kommen. Sie könnten auf der einen Seite versuchen, dem Naturgefahrenthema eine gewichtige Stimme in den lokalen Aushandlungen zu geben. Auf der anderen Seite könnten sie eine Mittlerposition zu den staatlichen Behörden einnehmen, so dass sich im Bedarfsfall die Behörden frühzeitig mit ihrer fachlichen Kompetenz in informelle Planungen einbringen können.

Hierbei kann zwischen zwei Personengruppen differenziert werden:

- Personen, die keinen unmittelbaren Bezug zu staatlichen Verwaltungen haben, wie z.B. Mitglieder der Lawinenkommissionen, der Feuerwehren sowie die in der Schweiz geschaffenen Naturgefahrenberater. Alle diese Personen sollten in ihrer Aus- und Fortbil-

derung für diese, eigentlich nicht zu ihrem Aufgabengebiet gehörende Rolle sensibilisiert werden.

- Personen, die Teil der staatlichen Verwaltungen sind. Hierbei dürfen nicht nur für die Raumplanung formal zuständigen Mitarbeiter betrachtet werden, sondern insbesondere Mitarbeiter wie z.B. die Arbeiter der Flussmeisterstellen der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung oder die Waldaufseher in Tirol. Diese sind bei den Gemeinden angestellt, fachlich werden sie aber von der Forstverwaltung betreut. Die oben erwähnte Mittlerposition würde hier durch eine gute behördeninterne Kommunikation ausgefüllt.

Dieser Vorschlag hat natürlich auch seine Beschränkungen, da die betrachteten Personengruppen Eigeninteressen haben können, die dazu führen, dass sie die ihnen zugedachte Rolle nicht ausfüllen. Z.B. kann ein Mitglied der Lawinenkommission gleichzeitig Hotelbesitzer sein, der somit eine geplante Erweiterung des Skigebiets eher fördern als verhindern möchte.

Flexibler Umgang mit Unsicherheit

Einigkeit herrscht in der KA-Literatur darüber, dass flexibel und adaptiv auf den Klimawandel und die damit einhergehende Unsicherheit reagiert werden sollte (z.B. Etkin et al. 2012). Aufgrund der zunehmenden Unsicherheit, wenn sowohl die Folgen des Klimawandels als auch Annahmen über gesellschaftliche Zukünfte in die Planungen des NGM einfließen sollen, kommt somit ein ausschließlich auf errechenbaren Wahrscheinlichkeiten basierendes Risikomanagement an seine Grenzen. Etkin et al. (2012) argumentieren, dass der Umgang mit Unsicherheit im Zuge von klimatischen und gesellschaftlichen Veränderungen eine große Bedeutung im Risikomanagement erhalten müsste. Dies bedeutet, dass die etablierten Routinen des Risikomanagements, die von wohldefinierten und wenig veränderlichen Systemen ausgehen, mit dem Vorsorgeprinzip, das besonders bei Unsicherheit angewendet wird, sinnvoll verknüpft werden müssen (Etkin et al. 2012: 588; vgl. auch Kuhlicke und Kruse 2009). Beispielsweise wird aufgrund des Vorsorgeprinzips in der Gefahrenzonenplanung in Hochrisikogebieten, den roten Gefahrenzonen, jegliche Bebauung untersagt. Im Sinne des Vorsorgeprinzips sollte die Bauentwicklung nicht nur in Gebieten hoher Gefährdung beschränkt werden, deren Grenzen aufgrund des Klimawandels nur mit größerer Unsicherheit bestimmt werden können, sondern in besonders sichere Gebiete gelenkt werden. Dies gilt insbesondere für teure Infrastrukturprojekte und Gefahren, die Menschenleben bedrohen (z.B. Steinschlag, Lawinen).

Bereits im bestehenden NGM besteht für die Gefahrenzonenplanung die Problematik, dass der fließende Übergang von hoher zur niedriger Gefährdung in den rechtlich normierten Gefahrenzonenplänen nicht abgebildet werden kann, da Grenzen zwischen unterschiedlichen Gefährdungsstufen nicht graduell dargestellt werden. Während in der Schweiz und in Österreich zumindest 2-3 Zonen mit höherer Gefährdung ausgeschieden werden, ist die diskrete Logik bei den festgesetzten Überschwemmungsgebieten in Deutschland besonders stark ausgeprägt. Es gibt nur Gebiete innerhalb der Überschwemmungsgebiete, in denen ein Bauverbot gilt und Gebiete außerhalb, in denen keinerlei Baubeschränkungen bestehen. Im Zuge eines zukunftsgerichteten NGM sollten die staatlichen Mindeststandards, die auf Basis

des Vorsorgeprinzips gerechtfertigt sind, um flexible Anpassungsmöglichkeiten der Gemeinden ergänzt werden. So könnte sich selbst eine Bebauung in einer roten Lawinenzone als sinnvoll herausstellen, wenn ausschließlich eine Nutzung in den Sommermonaten stattfindet und der Investor z.B. aufgrund einer kurzen Amortisationszeit seiner Investition bereit ist, das Risiko zu tragen. Es böte sich zudem der Einsatz finanzieller Instrumente (e.g. Versicherungspflicht, risiko-abhängige Grundsteuer usw.) an, die wie die Gefährdungslage graduell steigen und flexibel an die bestehende bzw. sich verändernde Gefährdungslage angepasst werden könnten (Filatova 2014). Die Berücksichtigung aktueller und zukünftiger Gefährdungslagen könnten so in Markt- und Bodenpreise integriert werden und damit die Schadenspotentialentwicklung steuern.

LITERATUR

- BMLFUW (Bundesministerium für für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel: Teil 2 – Aktionsplan Handlungsempfehlungen für die Umsetzung, Wien.
- Burby R.J. (2006): Hurricane Katrina and the Paradoxes of Government Disaster Policy: Bringing about Wise Governmental Decisions for Hazardous Areas, in: *Ann Am Acad Political Social Sci* 604, p. 171-191.
- Etkin D., Medalye J., Higuchi, K. (2012): Climate warming and natural disaster management: An exploration of the issues, in: *Climatic Change* 112, p. 585-599.
- Filatova T. (2014): Market-based instruments for flood risk management: A review of theory, practice and perspectives for climate adaptation policy, in: *Environ Sci & Policy* 37, p. 227-242.
- Fuchs S., Bründl M., Stötter J. (2004): Development of Avalanche Risk between 1950 and 2000 in the Municipality of Davos, Switzerland, in: *Nat Hazards Earth Syst Sci* 4, p. 263-275.
- Fuchs S., Keiler M., Zischg A. (2015): A spatiotemporal multi-hazard exposure assessment based on property data, in: *Nat Hazards Earth Syst Sci* 15, p. 2127-2142.
- Höferl K. (2010): ‚Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur‘ - Diskurse zum raumplanerischen Umgang mit Hochwasser in (Nieder-)Österreich, Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Jongman B., Koks E.E., Husby T.G., Ward P.J. (2014): Increasing flood exposure in the Netherlands: implications for risk financing, in: *Nat Hazards Earth Syst Sci* 14, p. 1245-1255.
- Keiler M. (2004): Development of the Damage Potential resulting from Avalanche Risk in the period 1950–2000, Case Study Galtür, in: *Nat Hazards Earth Syst Sci* 4, p. 249-256.
- Kuhlicke C., Kruse S. (2009): Nichtwissen und Resilienz in der lokalen Klimaanpassung- Widersprüche zwischen theoriegeleiteten Handlungsempfehlungen und empirischen Befunden am Beispiel des Sommerhochwassers 2002, in: *Gaia* 18, p. 247-254.
- Merz B., Elmer F., Thielen A.H. (2009): Significance of “high probability/low damage” versus “low probability/high damage” flood events, in: *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9, p. 1033–1046.

- Pukall K. (2014): Von Top-Down zu Bottom-Up: Berücksichtigung von regionalen Entwicklungsprozessen im staatlichen Naturgefahrenmanagement, in: Bösch S., Gill B., Kropp C., Vogel K. (Hrsg.): Klima von unten – Regionale Governance und gesellschaftlicher Wandel, Frankfurt / New York, p. 287-308.
- Pukall K., Kruse S. (2014): Entwicklungslinien für das Management alpiner Naturgefahren im Klimawandel (Essay), in: Schweiz Z Forstwes 165, p. 37-42.
- RiskAdapt (2015): <https://riskadapt.boku.ac.at/home.htm> (überprüft 3.7.2015)
- Schweizerischer Bundesrat (2012): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder: Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012, in: BBl 2012: p. 3777- 3858.
- Segoe L. (1937): Flood control and the cities, in: American City 52, 55-56.