

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

„Die strukturelle Vulnerabilität von Gebäuden bei
Lawinen – Konzepte zur Erstellung von
Vulnerabilitätskurven“

Verfasser

Philipp Jankela

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Wien, im Januar 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A453

Studienrichtung lt. Studienblatt: Angewandte und Theoretische Geographie

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade

Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Philipp Jankela

Wien, am 5.1.2010

Danksagung

Viele Menschen haben mich im Laufe meines Studiums begleitet, unterstützt, teilweise motiviert, dann wieder desillusioniert. Und das ist gut so. Leider wird es nicht möglich sein alle mir wichtigen Mitmenschen innerhalb dieser Danksagung gebührend zu ehren. Es sei bitte entschuldigt, wenn jemand widererwartend namentlich nicht erwähnt wurde.

Primär möchte ich mich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade und seinem Lehr- und Forschungsteam bedanken.

Außerdem möchte ich folgenden StudienkollegInnen meinen Dank aussprechen: Susanna Linsinger, Regina Fleischanderl und Mag. Mag. Werna Schlick.

Auch ein expliziter Dank gebührt dem Pipifickteam – ihr Medienpartner in Wien, stets predigend, dass Humor durchaus ein ernstzunehmender Teil der Wissenschaft ist.

„Possible, but not available“ (indische Sentenz).

Inhaltsverzeichnis

Inhalt.....	vii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	3
1.2 Struktur der Arbeit	5
1.3 Literaturrecherche	6
2 Hintergrund.....	10
2.1 Lawinen: Terminologie und Prozesscharakteristik.....	10
2.2 Vulnerabilität und Risiko: Terminologie	13
2.2.1. Risiko.....	14
2.2.2 Vulnerabilität	16
2.2.3 Strukturelle Vulnerabilität	16
2.2.4 Grundidee hinter Vulnerabilitätskurven	17
2.2.5 Risikoanalyse	18
2.2.6 Risikokonzept	19
3 Bestandsaufnahme des aktuellen Forschungsstandes	21
3.1 Zielsetzungen innerhalb der vorgefundenen Arbeiten	23
3.2 Methodenbetrachtung.....	26
3.2.1 Die Beschreibungen des Lawinenprozesses und deren methodische Umsetzung.....	26
3.2.2 Objektspezifische Datenbasis: Gebäudeaufnahmen und -charakterisierungen	29
3.2.3 Das Heranziehen vulnerabilitätsbeeinflussender Parameter in den Kurven.....	32
3.2.4 Schadensdefinitionen.....	36
3.2.5 Umsetzung der Daten in ein Kurvenbild	41

3.3	Ergebnisse der einzelnen Arbeiten	44
3.4	Unsicherheiten und deren Darlegung	52
3.5	Zusammenfassende Diskussion.....	53
4	Folgerungen aus den beschriebenen Arbeiten	57
4.1	Unsicherheiten bedingen Fehler in der Risikoanalyse	59
4.2	Vorschläge zur Handhabung der Unsicherheiten	63
5	Perspektiven.....	65
6	Bibliographie	72
	Zusammenfassung.....	84
	Abstract.....	85
	Lebenslauf.....	86

Abbildungsverzeichnis

Nr.	Name	Quelle	Seite
1	Der Zusammenhang zwischen dem Naturprozess, den Risikoelementen und deren Vulnerabilitäten und des sich daraus resultierenden Risikos	Bohle und Glade (2008, 108; nach Alexander 2004)	14
2	Relation zwischen der Objektvulnerabilität und dem Lawinendruck bei unterschiedlichen Gebäudebauweisen	Wilhelm (1997a, 72)	45
3	Die von Borter (1999b) vorgeschlagenen Vulnerabilitätskurven für die einzelnen Gebäudekategorien	Borter (1999b, 125)	46
4	Die Beziehung zwischen der Lawinenkraft (kPa) einer StaUBLawine und der Schadensempfindsamkeit für typische „alpine“ Gebäude	Barbolini et al. (2004, 538)	48
5	Minimaler und maximaler Grenzwert, eruiert an einer Dachtraufe und eines Mauerwerkes bei einem DD von 2	Barbolini et al. (2006, 233)	48
6	Das Verhalten der Schadanfälligkeit bei unterschiedlich dick, betonierten Wänden unter Lawineneinfluss	Bertrand und Naiim (2008, 74)	49
7	Beziehung zwischen der Ziegelgröße und der Vulnerabilität bei gemauerten Bauten	Bertrand und Naiim (2008, 82)	50
8	Übersicht von den bis 2008 auf Englisch publizierten Ergebnissen bezüglich der strukturellen Vulnerabilität von Gebäuden gegenüber Lawinenprozessen	Cappabianca et al. (2008, 195)	57
9	Methodische Herangehensweise zur Datenaufnahme bei der Gefahrenanalyse	leicht verändert aus Hübl et al. (2006, 5)	67
10	Das Anforderungsgebäude einer guten Risikogovernance	Ammann et al. (2006, 250)	71

Tabellenverzeichnis

Nr.	Name	Quelle	Seite
1	Tabellarische Zusammenstellung der Suchabfrage in den beiden Datenbanken	eigene Darstellung	8
2	Definition der einzelnen Gebäudeklassen und deren jeweiligen Resistenzattribute	Borter (1999b, 124)	33
3	Zusammenstellung der aufgenommenen Schäden bzw. den rückgerechneten Lawinenkräften nach den Lawinenangängen in St. Anton 1988 und Galtür 1999	Barbolini et al. (2004, 537)	34
4	Definition der einzelnen Schadensgraden laut dem Polizeibericht	Barbolini et al. (2004, 539)	39
5	Tabellarische Zusammenstellung zentraler Punkte innerhalb der vorgestellten Arbeiten	eigene Darstellung	54 f.

1. Einleitung

Sowohl auf globaler Ebene als auch im Alpenraum lässt sich in den letzten Jahren ein Trend zur Zunahme von Naturkatastrophen beobachten (vgl. dazu www.cred.be¹; Bätzing 2005, 248). Für diesen Anstieg an gefahrbringenden Naturereignissen gibt es mannigfaltige Gründe. Durch den sektoralen Wandel der letzten Dekaden in den Industrieländern, der Vernetzung der Welt mithilfe neuer Transport- und Kommunikationswege, der Ausweitung menschlicher Interessensräume in auch abgelegene Gebiete und somit einem Anstieg an Schadenspotentialen (für den Alpenraum vgl. Keiler 2004; Fuchs und Bründl 2005) werden heute Naturgefahren verstärkt wahrgenommen und (medial) kommuniziert. Gleichzeitig bekommt man den Eindruck, als dass in den letzten Jahren eine Intensivierung von Prozessdynamiken zu beobachten ist. Extremwetterereignisse als Ursache und als Auslöser von gefahrbringenden Naturprozessen *scheinen* zuzunehmen.²

Dabei sind es die unterschiedlichsten Naturprozesse, welche einen schadbringenden Einfluss auf Menschen, deren Güter, Infrastruktur, aber auch auf immaterielle Werte haben können. Auf globaler Ebene sind es vorwiegend Erdbeben, Hurrikans, Überschwemmungen und Tsunamis, welche es ganz nach oben in die mediale Berichterstattungsrangliste schaffen. Nicht umsonst auch durch deren langes zeitliches Erscheinen (Hurrikans), deren weite räumliche Ausdehnung (vgl. Tsunami 2004, Hurrikans,...) bzw. deren Einwirken auf dichtbevölkerte Räume und Städte (Erdbeben) sind es diese Phänomene, welche eine hohe Zahl an Todesopfer (vorwiegend in ärmeren Ländern) bzw. einen hohen Grad an materiellen Schaden anrichten (vgl. MünchnerRe³; aber auch Keiler 2004, 249; Ammann et al. 2006, 249).

Lawinen stellen innerhalb dieses globalen Rankings eine nur untergeordnete Rolle dar. „*On a world scale, mountain slope hazards do not have the importance of the 'big five' of natural hazards: earthquakes, floods, tropical storms, drought, and volcanic hazards*“ (McClung und Schaerer 2006, 14). Nehmen wir allerdings unseren Blick auf

¹ Das **CRED** – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – wurde im Jahre 1971 gegründet und ist heute eine mit der WHO zusammenarbeitende Forschungs- und Lehreinrichtung (www.cred.be Zugriff: 20.10.2009).

² Bei Lawinen sprechen allerdings viele AutorInnen von keiner Veränderung der Prozessfrequenzen (vgl. Fuchs und Bründl 2005, 54; nach Schneebeli et al. 1998; Laternser 2002; auch Keiler 2004, 249).

³ Für weitere Informationen siehe: <http://www.munichre.com/de/homepage/default.aspx>. (Zugriff: 5.11.2009).

eine kleinere Betrachtungsebene (Staaten, Länder) dann wird klar, dass Lawinen durchaus eine ernstzunehmende Gefahr sind.

In den Alpenländern stellen Lawinen ein Phänomen dar, welches historisch gut dokumentiert bzw. untersucht ist. Dementsprechend gibt es in Österreich eine lange Tradition der Prozessabwehr und damit verbunden viele Paradigmen und Methoden zur Schaffung risikominimierender Massnahmen (Keiler et al. 2006; Holub und Hübl 2008). Dahingehend wird klar, dass Lawinen einen zentralen physischen Prozess im Risikomanagement von Gebirgsregionen mit entsprechenden klimatischen Bedingungen darstellen. Dabei charakterisieren sich Lawinen durch ihre zeitliche Begrenztheit auf Monate mit Schneefall aus und können so als „*periodic processes*“ (Zingari und Fiebiger 2002, 72) angesehen werden. Ebenso sind Lawinen räumlich stark abgegrenzt und ihre Reichweiten sind im Vergleich zu den oben angesprochenen Prozessen gering. Lawinen stellen keine Gefahr mit hohen Prozessmagnituden dar, vielmehr ergibt sich durch ihr hohes Frequenzverhalten und die saisonale Wiederkehr eine stete Bedrohung (McClung und Schaerer 2006).

Durch die Analyse historischer Datenträger versucht Haid (2007, 244–254) in seinem Buch „Mythos Lawine. Eine Kulturgeschichte“ möglichst viele Lawinenereignisse innerhalb der Alpen zu rekonstruieren und so die stete Präsenz dieser Gefahr für den Alpenraum aufzuzeigen. Laut Höller (2007, 81) starben allein in Österreich seit dem Jahre 1950 mehr als 1600 Menschen infolge von Lawinenabgängen. Zumeist sind es FreizeitaktivistInnen im freien Skigelände, welche bei Lawinenauslösungen ums Leben kommen (Stethem et al. 2003). Seltener schon sind Menschen direkt auf Straßen bzw. in Gebäuden von Lawinenabgängen betroffen. Und wenn, dann zumeist mit katastrophalen Folgen und hohen monetären Schäden. Allein bei dem Unglück in Galtür 1999 starben 31 Menschen in und ausserhalb von Gebäuden und die direkten monetären Schäden dieses einen Ereignisses beliefen sich auf 5 Millionen Euro (Hama et al. 2005; nach Heumader 2002). Die Kostenrechnung steigt markant an, wenn durch Lawinenabgänge ausgelöste Sekundärschäden (wirtschaftliche Ausfälle, Imageverluste) und auch die finanziellen Mitteln zur nachfolgenden Installierung von Schutzmassnahmen miteingerechnet werden. Folgende Zahlen sollen das Gefahrenpotential von Lawinen verdeutlichen.

Nach einem Bericht von Wilhelm (1997b, 118) verursachten in der Schweiz in der Zeitspanne von 1950-1993 Lawinen jährliche Gebäude- und Fahrhabeschäden von ca. 3 Mio. Euro. Nach Jóhannesson und Arnalds (2001) richteten in Island zwischen 1976-2000 Lawinen einen ökonomischen Schadenswert von 18 Mio. Euro an.⁴ Von den ca. 120 Mio. Euro die in Österreich von politischer Ebene (Katastrophenfond, Zahlungen von Ländern, Gemeinden und weiteren InteressentInnen) jährlich in die Errichtung aktiver Schutzmassnahmen fliessen, werden 9 % (das sind ca. 11 Mio. Euro) für den Lawinenschutz ausgegeben.⁵ Die Schweiz investierte seit 1950 laut Keiler et al. (2006, 638) ca. 1 Mia. Euro in technische Verbauungen für den Lawinenschutz (nach SLF 2000). Laut McClung und Schaerer (2006, 14) werden im westlichen Canada jährlich ca. 6,3 Mio. Euro für Schutzmaßnahmen ausgegeben. Diese Zahlen sollen verdeutlichen, dass Lawinenschutz ein notwendiges und kostbares Gut ist, welches durch effiziente Konzepte und Kosten-Nutzen Rechnungen von Schutzmassnahmen getragen werden muss.

1.1 Ziel der Arbeit

Wie wir anhand des Kapitels 1 gesehen haben, müssen Lawinen in das (institutionelle) Naturgefahrenmanagement vieler Staaten und Regionen miteinbezogen werden. Durch die Schaffung von Massnahmepaketen zum Schutz von Mensch und Infrastruktur wird das Lawinenrisiko auf ein möglichst akzeptables Niveau gebracht.⁶ Dementsprechend sind von staatlicher Seite Konzepte von Nöten um mit der Gefahr umzugehen. Eine genauest mögliche Risikoanalyse und Risikobewertung helfen, gefährdete Bereiche im Vorhinein auszumachen, um diese in einem weiteren Schritt durch unterschiedlichste präventive Massnahmen zu schützen (vgl. PLANAT 2004)⁷.

⁴ Alle nötigen Umrechnungen in Euro sind vom 24.11.2009.

⁵ aus: publikationen.lebensministerium.at/filemanager/download/51390 (Zugriff: 11.10.2009).

⁶ Die komplette Beherrschung bzw. Steuerung des Risikos scheint nur schwer möglich. Dementsprechend wird der Begriff des **Restrisikos** definiert. Es bleibt auch nach der Schaffung von risikominimierenden Massnahmen ein gewisses Risiko ausmass über. Solange dies vernachlässigbar ist, kann die Situation als sicher beurteilt werden (BFF/EISLF (1984, 6). Hier stellt sich allerdings die Frage, wer mit welchen Mitteln das Recht auf diese Beurteilung hat. Bründl (2009, Glossar) splittet das durch die Implementierung aller möglichen Sicherheitsmassnahmen entstehende Restrisiko in 2 Bereiche: das „bewusst akzeptierte“ und das „falsch beurteilte“ bzw. das „nicht erkannte“.

⁷ Die **PLANAT** („Nationale Plattform Naturgefahren“) stellt eine 1997 vom Schweizer Bundesrat gegründete außerparlamentarische Organisation dar. Ihr Ziel ist die Etablierung einer Risikokultur bei Naturgefahren und nicht wie bis jetzt eine reine Gefahrenabwehr. (www.planat.ch Zugriff: 2.11.2009; auch v. Elverfeldt et al. 2008).

Heute werden auf staatlicher Ebene vorwiegend bauliche und planerische Maßnahmen zum Lawinenschutz herangezogen. Als ein Beispiel kann die Gefahrenzonenplanung Österreichs herangezogen werden.⁸ Hier werden durch die Modellierung unterschiedlicher Prozessintensitäten unter Zugrundelegung definierter Jährlichkeiten gefährdete Räume ausgewiesen, ohne allerdings die Siedlungssituation in die Risikobetrachtung miteinzubeziehen (Keiler und Fuchs 2008). Dazu Cappabianca et al. (2008, 193): „*Except for the Islandic case, avalanche hazard mapping in Europe is based on hazard assessment without an explicit evaluation of the possible consequences on exposed elements, and thus, on risk*“. Wie wir anhand dieser Aussage sehen, basiert die Gefahrenzonenausweisung ausschließlich auf einer Prozessanalyse und -beurteilung. Allerdings wird es innerhalb einer risikobasierten Abschätzung der Lawinengefahr nötig, das Gebäudeschadverhalten nach einem Lawinenabgang auszumachen. Ein dienliches Instrument dazu können sogenannte Vulnerabilitätskurven sein. Diese versuchen einen plausiblen Zusammenhang zwischen der Prozessintensität und der Schadanfälligkeit einzelner Objekttypen aufzustellen, um infolgedessen standardisierte Werte für weitere Berechnungen des Risikoausmaßes einzelner Objekte zur Verfügung zu stellen.

Das Ziel dieser Arbeit ist, Publikationen bezüglich dieses Instrumentes zu suchen und diese zu beschreiben, wobei primär eine Analyse der Zielsetzungen, der herangezogenen Methoden als auch der ermittelten Ergebnisse durchgeführt wird. Es ist dem Autor bekannt, dass Vulnerabilitätsfunktionen im Rahmen risikobasierter Naturgefahrenforschung bei unterschiedlichen Prozessen herangezogen werden (für Erdbeben vgl. z.B. Kadakal et al. 2000; für Stürme z.B. Filiban et al. 2002). Bei Lawinen hingegen sind Ansätze zur Abschätzung von Strukturvulnerabilitäten, insbesondere bei Häusern, nicht üblich (Douglas 2007). Diese Arbeit stellt somit ein Review und ein State of the Art über die bis dato publizierten Forschungsergebnisse dar. Es geht darum, ein möglichst umfassendes Sammelsurium an relevanten

⁸ Die **Gefahrenzonenplanung** ist ein im österreichischen Forstgesetz 1975 verankertes, raumplanerisches Instrument, welches dazu dient, potentiell durch Lawinen, Wildbäche und andere Prozesse betroffene Gebiete auszuweisen. Gleichzeitig können auch andere schützenswerte Bereiche im Gefahrenzonenplan notiert sein. Dabei werden für die Zonenausweisung Szenarien mit einer 150-jährigen Wiederkehrrperiode modelliert. Als Abgrenzungskriterium bei Lawinengefahr für die gelbe Zone wird ein Druck p (in kN/m^2) von $10 > p > 1$ bzw. eine Ablagerungshöhe t (in m) von $0,2 < t < 1,5$ herangezogen. Für die rote Zone sind es $p > 10$ und $t > 1,5$ [sic!] (Kulterer 2005, 24). Vgl. dazu auch die Beiträge auf <http://www.gefahrenzonenplan.at/?page=presse.php>. (Zugriff: 10.11.2009).

Publikationen zu erhalten und diese Information zueinander (kritisch) in Bezug zu stellen. Gleichzeitig gilt es mögliche Lücken, an welchen in naher Zukunft gearbeitet werden soll, aufzuzeigen. Die folgenden forschungsleitenden Fragen sollen diese Arbeit thematisch und strukturell abgrenzen und ihr den Weg zum Ziel ebnen:

1. *Welche* Forschungsarbeiten wurden bezüglich der Standardisierung von Gebäudevulnerabilitätswerten bei Lawinen publiziert?
2. Wie sehen die dahinterstehenden *Ziele, Herangehensweisen und Ergebnisse* aus?
3. Worin liegen die *Vor- und Nachteile* bzw. die Stärken und Schwächen dieser Forschungsarbeiten?
4. Wie könnten die *zukünftigen Forschungsschwerpunkte* innerhalb der Implementierung solcher Vulnerabilitätskurven aussehen?

Diese obenstehenden Fragen helfen, der Arbeit ihren Rahmen aufzuspannen und geben ihr dadurch die notwendige Struktur. Am Ende werden die unterschiedlichen Ansätze bzw. Publikationen miteinander verglichen, bewertet und auf positive Aspekte aber auch Defizite untersucht, wodurch ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsschwerpunkte gegeben werden kann. Natürlich wird diese Arbeit versuchen, soweit wie möglich den aktuellsten und umfassendsten Forschungsstand (Stand: November 2009) aufzuzeigen. Allerdings ist zu beachten, dass in der heutigen Zeit die Informationsgenerierung schnell und global abläuft, wodurch Aktualität fast schon als Illusion betrachtet werden muss.

Um eines abzuklären muss ein entscheidender Punkt angesprochen werden, welche die Arbeit in ihrer Aussagekraft zwar nicht eingrenzt, allerdings die Erreichbarkeiten bezüglich diverser Publikationen schmälert: Dem Autor war es (leider) nur möglich, Forschungsarbeiten auf deutscher und englischer Sprache ausfindig zu machen.

1.2 Struktur der Arbeit

Das *erste Kapitel* gibt eine kurze Einführung bezüglich der Wichtigkeit der vorliegenden Thematik. Hier wird aufgezeigt, dass eine Beschäftigung mit Naturgefahren für staatliche Institutionen in der aktuellen Zeit unumgänglich ist.

Desweiteren klärt dieses Kapitel die generelle Zielsetzung dieser Arbeit ab und hier werden auch die forschungsleitenden Fragen formuliert.

Die Literatursuche wird im folgenden *Kapitel 2* detailliert beschrieben, um die dahinterstehende Methode transparent und für die LeserInnen nachvollziehbar zu machen. Schließlich muss Klarheit darüber herrschen mithilfe welchen Datenbanken, nach welchen Kriterien und mithilfe welchen Schlagwörtern die Literaturrecherche stattgefunden hat.

Das *Kapitel 3* zielt darauf ab, die in der Arbeit herangezogenen Terminologien darzulegen. Es wird kurz auf die Charakteristik von Lawinen eingegangen und in weiteren Unterkapiteln die Begriffe „Risiko“, „Vulnerabilität“, „Risikoanalyse“, „Risikokonzept“, auch „strukturelle Vulnerabilität“ bzw. die Grundidee hinter Vulnerabilitätskurven beschrieben.

Das *Kapitel 4* stellt den eigentlichen inhaltlichen Schwerpunkt der Arbeit dar. Hier werden die ermittelten Arbeiten präsentiert und untereinander verglichen. Grundlegend werden die Arbeiten hinsichtlich der Kriterien der Zielsetzung, der Methodik und der erarbeiteten Ergebnisse untersucht.

In *Kapitel 5* werden die Folgerungen aus dem vorhergehenden Kapitel gezogen. Hier gilt es zu klären welche Mankos die vorgestellten Arbeiten belastet, welche Schwachstellen generell bei der Ableitung von Vulnerabilitäten zu bedenken sind und wie ebendiese behoben werden können.

Im 6. *Kapitel* werden zuguterletzt noch die Konzepte perspektivisch in einen übergeordnete Kontext gestellt, um generelle Anliegen bzw. Forschungsschwerpunkte für zukünftige Risikoanalysen anzusprechen.

1.3 Literaturrecherche

Vorwiegend in Anbetracht des facettenreichen Charakters der Begrifflichkeit „Vulnerabilität“ ist die Erklärung der vorliegenden Methodik unabdingbar. Weichselgartner (2001, 168; nach Cutter 1996, 530) drückt die Bedeutungsweite von Vulnerabilität in einem Satz schön, wenn auch lapidar aus: „*Vulnerability still means different things to different people*“. Dementsprechend ist es notwendig, die Literatursuche konzeptionell möglichst akkurat abzugrenzen, um nicht in der

disziplinären Forschungsfülle unterzugehen. Hier geht es vorwiegend darum, aus dem breiten Pool an Information möglichst effizient die notwendigen Forschungsarbeiten herauszufiltern.

In einem ersten Schritt und zur Schaffung eines generellen Überblickes wurde die Google Suchmaschine herangezogen und darin die Begriffe „*snow avalanche*“ und „*vulnerability*“ eingegeben, um zu sehen, wie die Trefferdichte im gesamten Web aussieht. Dabei ergab der erste Begriff ungefähr 868.000 und der zweite etwa 3.680.000 Eintragungen (aktualisierter Stand vom 2.12.2009). Auch wurden beide Suchbegriffe gemeinsam eingegeben (ungefähr 48.600 Treffer). Diese basale Abfrage lässt bereits einen ersten Eindruck über die mediale Präsenz der Worte zu.

Um allerdings die Literaturrecherche⁹ auf eine wissenschaftlichere Ebene zu bringen und nur Literatur aus **wissenschaftlichen Fachmagazinen bzw. Printmedien** zu bekommen wurde in weiterer Folge die Suche in den digitalen Zitationsdatenbanken *www.scopus.com* und *www.isiknowledge.com* fortgeführt. Dabei wurden die in Tabelle 1 zusammengefassten Wörter bzw. Wortkombinationen in den jeweiligen Suchfeldern abgefragt.

Es wurde versucht über die Kombination „*Snow Avalanche*“ mit diversen anderen Wörtern auf ein möglichst effizientes Ergebnis zu kommen (zu den Wortkombinationen siehe Tabelle 1). Dabei ergab die Kombination mit „*Hazard*“ die meisten Ergebnisse, allerdings stehen in diesen vorgefundenen Arbeiten der Prozess im Betrachtungsmittelpunkt und weniger die Schadanfälligkeiten von Risikoelementen. Dadurch wird aber deutlich, dass der Forschungs- bzw. Publikationsschwerpunkt bis dato auf der Prozessbeschreibung liegt. Um auf Artikel zu stossen, welche risikobasierte Herangehensweisen zur Ermittlung der Lawinengefahr beschreiben, wurden die Wortkombinationen „*Snow Avalanche*“ AND „*Risk*“ bzw. „*Snow Avalanche*“ AND „*Risk Assessment*“ bzw. „*Snow Avalanche*“ AND „*Vulnerability*“ eingegeben. Zwar konnten mithilfe der Kombination „*Snow Avalanche*“ AND „*Risk*“ bzw. „*Snow Avalanche*“ AND „*Risk assessment*“ in beiden Datenbanken einige Artikel gefunden werden, jedoch wurde bei einer genaueren Untersuchung bald klar, dass die

⁹ Die Literaturrecherche muss als steter, vor und während der Diplomarbeitserstellung ablaufender Prozess angesehen werden. Allerdings wurden, um zu einem Ende zu kommen die Trefferergebnisse in Tab.1 zum letzten Mal am 26.11.2009 aktualisiert.

Bedeutungsweite von Risiko groß ist. Dies bestätigen Artikel aus natur-, sozialwissenschaftlichen, technischen aber auch medizinischen Bereichen, welche für die hier vorliegenden Zwecke nicht relevant sind. Weiters schränkte die Trefferzahl massiv ein, dass jene Artikel, welche sich mit **quantitativen** Verletzlichkeiten von Risikoelementen gegenüber Lawinen beschäftigten, ihre Werte zumeist auf Personen (z.B. Freizeitaktivitäten) bzw. auf Personen in Gebäuden beziehen. Ebenso muss bedenkt werden, dass die Suche in unterschiedlichen Datenbanken und mithilfe unterschiedlicher Wortkombinationen trotzdem die gleichen Publikationen ausgibt, wodurch die absoluten Zahlen in Tabelle 1 etwas täuschen. Auch wurde versucht auf deutschsprachige Artikel bzw. auf in deutschsprachigen Journals publizierte Artikel zu stossen, indem die Suchwörter „Lawine“ AND „Vulnerabilität“ bzw. nur „Lawine“ eingegeben wurde. Dies war allerdings nur mit mäßigem Erfolg verbunden. Weiters wurde über die Schlagwortketten „Snow Avalanche“ AND „fragility curve“ bzw. „Snow Avalanche“ AND „vulnerability curve“ versucht, eventuelle Forschungsbeiträge zu erhalten. Doch diese Abfrage blieb komplett ohne Erfolg, wodurch ersichtlich wird, dass sich die Terminologie bzw. das Konzept der Vulnerabilitätskurven innerhalb der Lawinenforschung noch nicht durchgesetzt hat. Für einen Vergleich wurden die Wörter „Earthquake“ AND „Vulnerability curve“ bzw. „Earthquake“ AND „fragility curve“ im Scopus abgefragt, welche durchaus Treffer ergaben (107 bzw. 228 Treffer; Stand: 26.11.2009).

Zitationsdatenbank	Suchfelder	Abfragetext	Treffer
SCOPUS	„Article Title, Abstract, Keywords“	„Snow Avalanche“ AND „Vulnerability“	11
		„Snow Avalanche“ AND „Risk Assessment“	84
		„Snow Avalanche“ AND „Risk“	151
		„Snow Avalanche“ AND „Vulnerability curve“	0
		„Snow Avalanche“ AND „fragility curve“	0
		„Snow Avalanche“ AND „Hazard“	282
		„Lawine“ AND „Vulnerabilität“	0
		„Lawine“	17
WEB OF SCIENCE	„Topic“	„Snow Avalanche“ AND „Vulnerability“	10
		„Snow Avalanche“ AND „Risk Assessment“	25
		„Snow Avalanche“ AND „Risk“	86
		„Snow Avalanche“ AND „Vulnerability curve“	1
		„Snow Avalanche“ AND „fragility curve“	0
		„Snow Avalanche“ AND „Hazard“	104
		„Lawine“ AND „Vulnerabilität“	0
		„Lawine“	15

Tab. 1: Tabellarische Zusammenstellung der Suchabfrage in den beiden Datenbanken (eigene Darstellung).

Um endgültig zu den relevanten Artikeln zu kommen wurden die Abstracts der Publikationen gelesen und diese nach qualitativen/quantitativen bzw. nach objekt- und personenbezogenen Herangehensweise unterschieden und ausgewiesen. Dies hatte den Zweck, dass nur jene Artikel in die interne Literaturdatenbank aufgenommen werden, welche für das Thema relevant sind. Sodurch konnte quasi der „harte“ Publikationskern ermittelt werden. Außerdem wurde durch eine weiterführende Analyse der Referenzlisten des primären Bestandes die Anzahl der Literatur auf das vorliegende Ausmaß ausgeweitet und die notwendige restliche Information (vorallem Bücher und Konferenz-Publikationen) erhoben.

2. Hintergrund

Das vorliegende Kapitel 2 soll zweierlei Aufgaben erfüllen. Anfangs dient es zur Definition von Begriffen, um die multidimensionalen semantischen Ebenen von Wörtern wie **Risiko** und **Vulnerabilität** aufzuheben. Hier soll klargestellt werden, wie die Termini in der vorliegenden Arbeit verstanden und benützt werden, um Missverständnisse durch unterschiedliche Konnotationen zu vermeiden. Außerdem soll dieses Kapitel den Hintergrund für die weitere Untersuchung schaffen. Es wird kurz aufgezeigt, warum das Modellieren von Vulnerabilitätskurven für die Ermittlung (quantitativer) Risikowerte notwendig ist. Dazu gilt es im folgenden auf den Naturprozess und die dahinterstehenden Dynamiken einzugehen.

2.1 Lawinen: Terminologie und Prozesscharakteristik

Um ein besseres Verständnis des Wortes Lawine zu bekommen wird in einer ersten Definition deren etymologische Ableitung gezeigt. Im Kluge (2002) steht unter Lawine geschrieben:

„**Lawine** [...]. Übernommen aus schwz. [Anmerkungen PJ: schweizerisch] *Lauwine*, dieses entlehnt aus räto-rom. [rätro-romanisch] *lavina*, aus ml. [mittellateinisch] *labina*, *lavina*, zu l. [lateinisch] *lābī*, „gleiten, rutschen“.“ (Kluge 2002, 563).

Wir sehen, dass das Wort „Lawine“ ihre Wurzeln im lateinischen Wort für „gleiten, rutschen“ „*lābī*“ hat und es sich im Laufe der Zeit zu seiner heutigen Form wandelte.¹⁰ Diese Definition über eine Bewegungsart stellt zumindest ein erstes Charakteristikum von unserem heutigen Wortverständnis dar. Für unsere weiteren Zwecke ist allerdings eine etwas genauere Begriffsdefinition von Nöten, schließlich beeinflusst die Prozesscharakteristik maßgeblich das Schadverhalten von Gebäuden.

¹⁰ vgl. auch Glade und Stötter (2008, 153). Die Autoren leiten das Wort ebenso vom lateinischen Wort *labi* ab, allerdings mit der Bedeutung „gleiten“ oder „Schlüpfen“ (nach: Diskussion zu Etymologie in Schild 1972). Wie das lateinische Ursprungswort korrekt geschrieben wird, konnte der Autor dieser Arbeit leider nicht eruieren.

Innerhalb der Literatur stößt man bei der Einordnung von Lawinen auf unterschiedliche Ansätze. Veit (2002) zählt Lawinen zu den geomorphologischen, wohingegen z.B. Dikau und Weichselgartner (2005) Lawinen u.a. bei den hydrologisch/glaziologischen Prozessen einordnen und Bortner (1999a und 1999b) sie als gravitative Massenbewegungen sieht.

Ancey (2001, 319) definiert Lawinen als *„rapid gravity driven masses of snow moving down mountain slopes“*. Das CRED versteht unter Lawinen: *„Avalanche describes a quantity of snow or ice that slides down a mountainside under the force of gravity. It occurs if the load on the upper snow layers exceeds the bonding forces of the entire mass of snow. It often gathers material that is underneath the snowpack like soil, rock etc. (debris avalanche).“* (Rodriguez et al. 2009, 19). Eine durchwegs differente und die Folgen von Lawinenabgängen implizierte Begriffsbestimmung liefert Hanausek (1996). Nach ihm sind unter Lawinen *„Schneemassen zu verstehen, die bei raschem Absturz aus steilen Hängen, in Gräben u.ä. infolge der Bewegungsenergie oder der von ihnen verursachten Luftdruckwelle oder durch ihre Ablagerungen Gefahren oder Schäden anrichten“* (Hanausek 1996, 85). Innerhalb diesen unterschiedlichsten Begriffszugängen werden mehrere Aspekte verdeutlicht. Es handelt sich bei Lawinen um eine schnelle, abwärtsgerichtete Bewegung von Schnee- bzw. Eismassen. Dies setzt entsprechende klimatische (Niederschlag mit geringen Temperaturen) und geomorphologische (potentielle Energie) Bedingungen voraus, damit Lawinen entstehen können. Rodriguez et al. (2009) sprechen in ihrer Definition Schwellenwerte an, welche überschritten werden müssen damit die Schneedeckenstabilität bricht und die Schneemassen in Bewegung kommen. Hanausek (1996) hingegen bezieht sich in seiner Definition auf die Überlagerung von Mensch-Umweltsystemen, indem er auf die durch einen Lawinenabgang mögliche Konsequenzen eingeht.

Da Lawinen in unterschiedlichsten Formen auftreten können, erstellte die UNESCO (1981) einen Lawinen-Atlas und klassifizierte die verschiedenen Erscheinungstypen. Auf der einen Seite ordnen sie Lawinen über morphologische Kriterien ein, auf der anderen Seite schaffen sie über die Bildungsbedingungen ein Schemata (vgl UNESCO 1981, 96-103), um die unterschiedlichen Formen zu beschreiben. Eine weitere Lawinenklassifikation bieten Glade und Stötter (2008, 156; nach SLF) an, mithilfe derer Lawinen nach 8 Gesichtspunkten eingeteilt werden. Für diese Arbeit wäre ein genaues

Eingehen auf die einzelnen Erscheinungstypen zu umfangreich und würde den zeitlichen Rahmen sprengen. Es muss aber festgehalten werden, dass Lawinen „*extremly complex phenomena*“ (Ancey 2001, 324) darstellen, wodurch sich ihre Prozesscharakteristik hinsichtlich ihrer Art der Bewegung, der Fliesshöhe, der auftretenden Geschwindigkeiten (Ancey 2001; Veit 2002), der Dichte (Glade und Stötter 2008, 155, nach Land Tirol 2000) und der Dauer der Einwirkung auf Risikoelemente unterscheidet.

Kurz soll aber eine durchaus gängige und übliche Lawineneinteilung besprochen werden, welche Lawinen je nach der Bewegungsart in Fliess- und StaUBLawine unterteilt (Bründl et al. 2009, 1 Teil B Lawinen; auch Hübl et al. 2008; nach Munter 1991). **StaUBLawinen** charakterisieren sich dabei durch ihre Erscheinungsform mit einer hoch aufragenden Suspensionsschicht (bis 100m), durch ihre hohen Geschwindigkeiten (50-100 m/sec) und ihrer relativ geringen Dichte (5-50 kg/m³) aufgrund eines hohen Luftanteils. **Fliesslawinen** sind hingegen dichter (150-500 kg/m³) und ihr Bewegungsbahn ist stark vom Relief abhängig. Ihre Geschwindigkeiten (5-25 m/sec) sind niedriger als jene von StaUBLawinen und auch ihre vertikale Ausdehnung ist deutlich geringer (Ancey 2001, 322; auch Bertrand und Naiim 2008, 46-47). Allerdings finden sich in natura zumeist Mischformen wieder, bei der auf einer fliessenden Schicht Schneepartikel saltieren bzw. in Suspension gehen (Bertrand und Naiim 2008, 48). Daher ist zumeist eine genaue Lawineneinteilung in die beiden oben beschriebenen Formen nur schwer möglich.

Den Prozesseigenschaften kommt bei der Erstellung von Vulnerabilitätskurven eine wichtige Rolle zu. Es ist allerdings zumeist schwer zu klären, welcher Faktor primär für die Zerstörung eines Gebäudes verantwortlich ist. Es liesse sich generalisiert annehmen, dass bei StaUBLawinen der Luftdruck bzw. der –sog, wohingegen bei Fliesslawinen der Schneedruck bzw. Reibungskräfte an der Fassade die leitenden Schadensverursacher sind (Egli 2004, 97).

2.2 Risiko & Vulnerabilität: Terminologien

Innerhalb einer risikobasierten Gefahrenbetrachtung wird es nötig, nicht rein über Prozessszenarien den Grad der Gefährdung für einen Raumausschnitt, ein Objekt, uvm. auszumachen. Bis jetzt ist es in der staatlich-geführten Gefahrenabwehr (vgl. Italien, Frankreich, Schweiz) üblich, gefährdete Räume über Prozessjährlichkeiten in Zonen gleiches Gefahrengrades einzuteilen (Cappabianca et al. 2008, 193). In einer Broschüre des Lebensministeriums wird der Gefahrenzonenplan als „*flächenhaftes Gutachten über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und Erosion*“ (aus: <http://publikationen.lebensministerium.at/publication/publication/view/2805/28533>; Zugriff vom 14.10.2009) definiert. Dieser Ansatz verdeutlicht die Eindimensionalität mit der an die Naturgefahrenproblematik herangegangen wird. Der Betrachtungsschwerpunkt wird auf die Prozesse gelegt, ohne allerdings auf die exponierten Risikoelemente bzw. die Konsequenzen bei einem Lawinenabgang einzugehen. Will man allerdings eine Raumsituation und dementsprechend ihren Grad an Gefährdung im Ganzen betrachten, so ergeben sich komplexe Beziehungen zwischen den Prozessen und den Risikoelementen, wodurch der Blick allein auf den Naturprozess für einen integralen Risikodiskurs nicht ausreichend ist. Cannon (2006) trifft den Nagel auf den Kopf indem er sagt: „*In order to understand how people are affected by disasters, it is clearly not enough to understand only the hazards themselves*“ (Cannon 2006, 41). Dazu wird es im folgenden Kapitel nötig sein Begrifflichkeiten und deren Bedeutung innerhalb der Naturgefahrenforschung abzuklären.

Im Kapitel 2.1 wurde abgeklärt, was Lawinen gemäß Definition(en) sind, welche Charakteristika sie aufweisen und wie die dahinterstehenden Prozessdynamiken aussehen. In diesem Kapitel sollen nun Ausdrücke erläutert werden, die innerhalb der risikobasierten Naturgefahrenforschung von zentraler Bedeutung sind und in den später vorgestellten Arbeiten herangezogen werden. Zu beachten ist, dass die Begriffe Gefahr, Vulnerabilität & Risiko nicht voneinander trennbar sind und nur über deren Verflechtungen ganzheitlich verstanden werden können (siehe Abbildung 1).

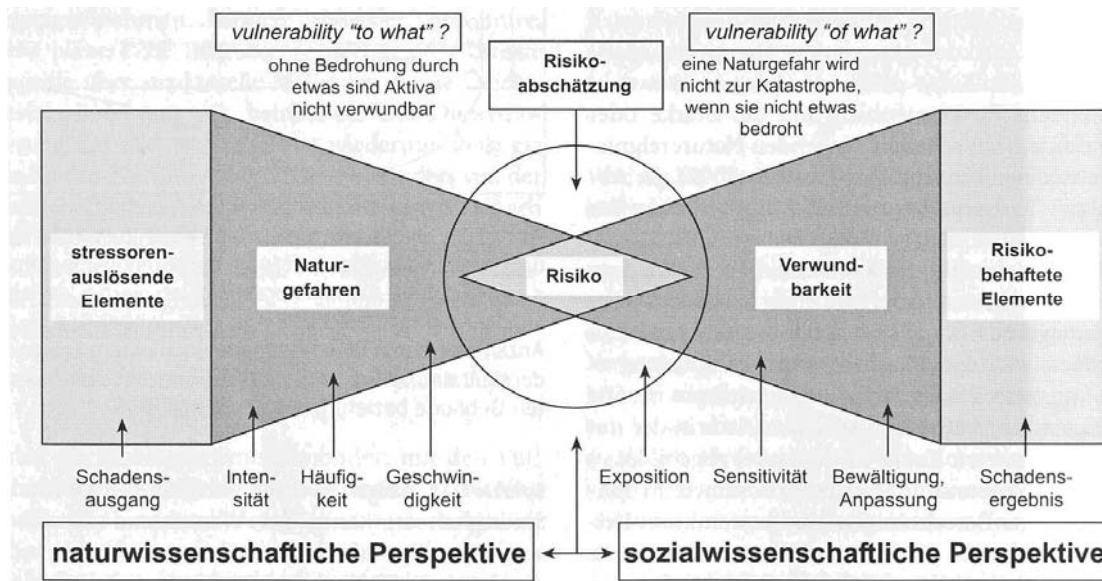


Abb. 1: Der Zusammenhang zwischen dem Naturprozess, den Risikoelementen und deren Vulnerabilitäten und des sich daraus resultierenden Risikos (aus Bohle und Glade 2008, 108; nach Alexander 2004).

2.2.1 Risiko

Bei einer Beschäftigung mit Risiko wird bald klar, dass uns dieser Begriffe immanent im alltäglichen Leben umgibt, ohne dass wir uns allerdings stets über seine Bedeutung im Klaren sind. Denn Risiko per se gibt es nicht. Vielmehr muß dieser Begriff als etwas „Konstruiertes“ (Weichselgartner 2001, 9), als „das Ergebnis eines Wahrnehmungs- und Urteilprozesses [...]“ (ebd., 9) betrachtet werden. „Insofern kann Risiko nie von unserer Wahrnehmung getrennt werden“ (ebd., 9). Weichselgartners (2001) Definition führt uns auch gleich zur Problematik des Begriffes und zu der damit einhergehenden Diskrepanz innerhalb der Naturgefahrenforschung. Der breite Zugang unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen zur Naturgefahrenforschung bürgt das Problem der semantischen Unausgeglichenheit in sich, wodurch es bis heute keine uniforme Definition von Risiko und kein einheitliches Risikokonzept gibt (vgl. dazu Renn 2007).¹¹ Im Folgenden soll diese Aussage durch zwei Definitionen, erstere aus einer naturwissenschaftlich-technischen Sichtweise, zweite aus den Augen von SozialwissenschaftlerInnen gestützt werden:

¹¹ Für eine vollständige Risikodiskussion fehlt dieser Arbeit leider der Spielraum. Deshalb soll auf folgende Arbeiten hingewiesen werden, welche die Bedeutungsweite des Begriffes und damit impliziert die unterschiedlichen disziplinären Herangehensweisen und Methoden aufdröseln. Dazu zählen Arbeiten von Weichselgartner (2002), Ammann (Hrsg.) et al. (2006), Renn (2007) und Weingart (2007).

„Risk (R) is a function of the probability of a hazardous event (H) and its consequences (C): Risk = Natural hazard x Consequence x Elements at Risk ($R = H \times C \times E$),

with natural hazard defined as the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a specified period of time, within a given area and a given magnitude, consequence meaning the (potential) outcomes arising from the occurrence of a natural phenomenon (including the vulnerability, the probability of temporal and spatial impact as well as the probability of seasonal occurrence) and the elements at risk referring to people, houses, etc.“ (Bell und Glade 2004a, 117-118).

Innerhalb einer mathematisch-analytischen Herangehensweise naturwissenschaftlicher Fächer zur Begriffsabklärung sind zwei Parameter für eine Risikoentwicklung entscheidend. Auf der einen Seite werden über Jährlichkeiten/Wahrscheinlichkeiten Intensitäten von Prozessen modelliert und diese Information mit Werteeinheiten und deren Eigenschaften verschnitten, wodurch quantitative, semiquantitative oder qualitative Aussagen (Bell und Glade 2004a, 118; nach Hollenstein 1999) über den Gefährdungsgrad getroffen werden können. Im Zentrum dieses Ansatzes stehen dabei die Aufnahme des Prozesses, der potentiellen Schadelemente und die sich in deren Überschneidung ergebenden Konsequenzen.

In den Sozialwissenschaften stehen nicht die Naturprozesse im Vordergrund der Untersuchungen. Vielmehr manifestiert sich Risiko in einer Ungewißheit zukünftiger Verläufe menschlichen Schaffens und setzt ein gewisses Mass an Handlungsfreiheit voraus (Renn, 2007, 12). Auch Beck (2007) spricht bei Risiko von *„der Möglichkeit künftiger Ereignisse und Entwicklungen, sie vergegenwärtigen einen Weltzustand, den es noch nicht gibt“* (Beck 2007, 29). Risiko bezieht sich somit vielmehr auf Entscheidungskompetenzen, wodurch die Wahrnehmung von Risiko innerhalb eines gesellschaftlichen Diskurses und Kommunikationsprozesses eingebettet ist (Weingart 2007). Risiko ist akteursabhängig, stark von perzeptiven Mustern geprägt und somit immer ein Resultat kulturspezifischer Dynamiken. Dahingehend kann Risiko als etwas *„Konstruiertes“* (Weichselgartner 2001; Weingart 2007) angesehen werden, was sich erst über wertorientiertes Schaffen postuliert.

2.2.2 Vulnerabilität

Das Wort „Vulnerabilität“ leitet sich aus dem lateinischen ab und lässt sich am besten als „Verletzlichkeit“, „Verwundbarkeit“ übersetzen (Kraif 2006, 1088). Vulnerabilität bezieht sich nicht rein auf einen physischen Prozess, sondern zielt vielmehr auf die Konsequenzen ab, welche sich aus der Überlappung menschlicher und natürlicher Aktionsräume ergeben (Lewis 1999; Glade 2003). Ähnlich wie beim Begriff Risiko ist der Terminus in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen unterschiedlich konnotiert, wodurch methodische Unausgeglichenheit zwischen den Fachbereichen vorherrscht. Für unterschiedliche Vulnerabilitätsdefinitionen verweise ich auf Weichselgartner (2001, 169).¹²

Auch bei diesem Begriff sollen wieder zwei in verschiedenen Denkschulen herangezogene Definitionen aufgezeigt werden. Crozier und Glade (2006) definieren Vulnerabilität aus naturwissenschaftlicher-technischer Sichtweise als *„the expected degree of loss experienced by the elements at risk for a given magnitude of hazards“* (Crozier und Glade 2006, 35). Aus einer sozialwissenschaftlichen Sicht definiert sich die Vulnerabilität als *„the characteristic of a person or group and their situation that influence their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard ([...])“* (Wisner et al. 2004, 11). Anhand den beiden Definitionen wird schon ersichtlich, dass eine semantische Uniformität bei der Begriffsbildung nur in Teilen gegeben ist. Abhängig vom Risikoelement, seien es soziale Systeme, Objekte, usw. lassen sich unterschiedlichste Vulnerabilitäten innerhalb von Systemen ausmachen. Fuchs (2009) verweist auf die semantische und linguistische Vielfalt dieses Begriffes und Cannon (2006) äußert sich warnend: *„The term vulnerability is now used in such a loose and widespread manner that it is in danger of becoming as useless as the term „sustainability“, and so some precision is needed to rescue it“* (Cannon 2006, 41).

2.2.3 Strukturelle Vulnerabilität

Da in der vorliegenden Arbeit Vulnerabilitäten von Gebäuden im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, wird noch kurz auf deren Eigenheiten eingegangen.

¹² vgl. dazu auch Glade (2003); Fuchs et al. (2007, 497f.) bzw. Fuchs (2009).

Bei einer risikobasierten Herangehensweise zur Bestimmung von Gefahrenpotentialen müssen die jeweiligen (strukturellen) Eigenschaften von Objekten in die Untersuchung miteinbezogen werden. Objekte weisen gegenüber einwirkenden Kräften unterschiedliche Absorptionsfähigkeiten auf. Ein auf ein Haus einwirkender Prozess kann unterschiedliche Auswirkungen auf den weiteren Gebäudezustand haben. Während das eine Haus komplett in sich zusammenfällt (und somit die Vulnerabilität bei 1 = Totalschaden ist), kann ein anderes Objekt eine höhere Widerstandsfähigkeit aufweisen und den Lawinenabgang unbeschadet (hier ist die Vulnerabilität = 0) überstehen. Dementsprechend ist die strukturelle Vulnerabilität „*the damage level of the structure after loading phase*“ (Bertrand und Naim 2008, 43). Ihre Bemessung ist einheitslos, obwohl der ihr zugrundeliegende Schaden bei einer gebäudespezifischen Herangehensweise zumeist monetär gehandhabt wird (Glade 2003, 124). Bei der Erstellung von Vulnerabilitätsanalysen innerhalb des Risikokonzeptes ist es somit unumgänglich, die verschiedenen vulnerabilitätsbeeinflussenden Gebäudeparameter aufzunehmen und in die Risikoanalyse einzubinden obgleich die Verletzlichkeit von Objekten ebenso stark vom Prozesstyp und der Einwirkdauer abhängt. Papathoma-Köhle et al. (2007, 772) schlagen z.B. für Hangrutschungen die Aufnahme u.a. folgender Parameter vor: Material und Alter des Gebäudes, das Vorhandensein von umgebenden Wänden, große Fenster an der hangzugewandten Seite, Anzahl der Stockwerke und Gebäudenutzung (ähnlich auch Fuchs 2009, 338; nach Fell 1994; Fell and Hartford 1997). Diese Parameter können ebenso in eine Konsequenzanalyse bei Lawinen eingebunden werden.

2.2.4 Grundidee hinter Vulnerabilitätskurven¹³

Mithilfe von Vulnerabilitätskurven lassen sich innerhalb eines mathematisch technischen Ansatzes ein quantitativer Zusammenhang zwischen der Prozessmagnitude und der Schadanfälligkeit eines Objektes darstellen. Die Relation wird in einem Koordinatensystem visualisiert, wobei auf der x-Achse die Prozessstärke und auf der y-Achse die Verletzlichkeit (zw. 0 und 1) aufgetragen wird. Bei Lawinenprozessen werden meist deren Drücke als Proxy für die Prozessintensität herangezogen (vgl. dazu

¹³ Für eine generelle Anleitung und eine Beschreibung des dahinterstehendem Systems zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven bei Naturprozessen verweise ich auf Hollenstein (2002), Douglas (2007), Bohle und Glade (2008), Cappabianca et al. (2008).

die Gefahrenzonenplanung Österreichs), wobei stets eine Ungewissheit über die eigentliche Schadkraft vorherrscht. Es muß beachtet werden, dass andere Prozesscharakteristika wie Fliesshöhen und Ablagerungstiefen genauso für den Schaden ausschlaggebend sein können (Egli 2004, 97f.). Dementsprechend müssen bei Lawinen die Prozessdynamiken genauestens beachtet und klargestellt werden (z.B. Fliess- vs. Staublawine).

Mithilfe von Vulnerabilitätskurven soll nun die Beziehung zwischen den Parametern Intensität und Schadanfälligkeit aufgezeigt werden, wodurch solche Funktionen zu einem Werkzeug für die Schutzmassnahmenplanung werden können. Allerdings verweisen Bohle und Glade (2008) auf die vorherrschende Problematik hin indem sie sagen: „*Kritisch ist hierbei der Verlauf der Kurven*“ (Bohle und Glade 2008, 107). Noch herrschen bei vielen Prozessen Unklarheiten um allgemeingültige Liniengänge (für Wildbäche z.B.: Fuchs et al. 2007; Fuchs und Heiss 2008; für Hochwasser z.B. Romang und Margreth 2006). Ebenso fehlt noch ein normierter Kurvengang, wie bereits in der Einleitung gehört, bei Lawinenprozessen. Eine Erstellung solcher allgemeingültigen Vulnerabilitätskurven würde dazu führen, dass für das Lawinenrisiko standardisierte Werte sowohl für ex-ante als auch ex-post Untersuchungen zur Verfügung stehen würden.

2.2.5 Risikoanalyse

Mithilfe einer Risikoanalyse wird versucht, Aussagen über die negativen Folgen von potentiell schadbringenden Naturprozessen zu treffen (Fuchs und Bründl 2005, 66). Zentrale Bestandteile einer Risikoanalyse sind die Systemabgrenzung, die Gefahren-, Expositions- und Konsequenzanalyse sowie die eigentliche Risikoermittlung über die Integration der Ergebnisse in die Risikoformel (v.Elverfeldt et al. 2008, auch in Bründl et al. 2009). Dabei steht die Frage „Was kann passieren?“ im Mittelpunkt der Betrachtungen (Borter 1999a und 1999b; Ammann 2006). Bell und Glade (2004a, 118) hinterfragen diese Aussage, indem sie die zeitlichen und räumlichen Systemveränderungen von natürlichen und sozialen Systemen in die Fragestellung miteinbeziehen. Damit versuchen sie Risikoanalysen den statischen Charakter zu nehmen, denn sie mit sich tragen. Denn oftmals handelt es sich bei Risikoanalysen um

Momentaufnahmen, welche durch systemare Änderungen ihre Aktualität und ihre Aussagekraft verlieren können (vgl. dazu auch Hufschmidt et al. 2005).

Das Ziel einer Risikoanalyse ist, möglichst akkurate Aussagen über den Grad der Gefährdung einer Raumeinheit zu treffen. Dabei kann, abhängig von der Bearbeitungstiefe, den verfügbaren Daten, u.s.w. zwischen quantitativen, semi-quantitativen und qualitativen Risikoanalysen unterschieden werden. (Bell und Glade 2004a, nach Heinimann 1999). Bei quantitativen Aussagen wird der Grad der Gefährdung numerisch wiedergegeben, indem als eine Möglichkeit die zeitliche und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses, die zeitlichen und räumlichen Präsenzwahrscheinlichkeiten von Objekten, die Werte der Risikoelementen und deren Vulnerabilitäten „berechnet“ werden (Sterlacchini 2007, 658; nach UNDRO 1979 und AGS, Subcommittee on Landslide Risk Management 2000).

2.2.6 Risikokonzept

Die obenstehenden Definitionen stellen den Facettenreichtum des Begriffes Risiko und die sich damit verbundenen Verständnisschwierigkeiten innerhalb multidisziplinärer Naturgefahrenforschung klar. Um dennoch einen möglichst umfassenden Schutz vor Naturgefahren zu gewährleisten bedarf es unter Einbeziehung allmöglicher politischer, institutioneller, ökonomischer und sozialer AkteurInnen einen zentralen Rahmen innerhalb dessen die Spielregeln beim Umgang mit Naturgefahren definiert werden. Dazu dient der Aufbau eines Risikokonzeptes welches als *„ein allgemeingültiger methodologischer Ansatz verstanden“* (Bründl 2009, 1 Teil A) wird, *„welcher die Abläufe bei der Beurteilung von Sicherheitsproblemen strukturiert“* (ebd., 1 Teil A). Natürlich gibt es verschiedenste Wege und Techniken um sich vor Naturgefahren zu schützen, aber das Ziel eines Risikokonzeptes muss sein, möglichst *„consistent and systematic“* (Ammann 2006, 7) zu sein. Crozier und Glade (2006, 10; nach Australian Geomechanics Society, 2000) zeigen in ihrer Arbeit eine mögliche Struktur zur Implementierung eines Risikokonzept auf. Grundlegend ist, dass über die Schritte der (naturwissenschaftlichen) Risikoanalyse und der (sozialwissenschaftlichen) Risikobewertung Informationen gesammelt werden, welchen in einem weiteren Schritt ins Riskomanagement einbezogen werden. Zwar stellt ihr Ablaufdiagramm ein Konzept für Hangrutschungen dar, dennoch lässt es sich in weiten Teilen (abgesehen von der

Prozessevaluierung/Parametrisierung der Gefahrenanalyse) auf Lawinen umprojizieren. Solch eine geordnete Vorgehensweise gilt als schematische Grundlage für ein möglichst integrales, im Sinne von akteurs- und maßnahmenumfassendes, kommunikativ ablaufendes Risikomanagement.¹⁴

¹⁴ Für eine tiefergreifende Beschäftigung mit dem integralen Risikomanagement verweise ich auf die Internetpräsenz www.planat.ch bzw. auf PLANAT (2004).

3. Bestandesaufnahme des aktuellen Forschungsstandes

In den vorhergehenden Kapiteln wurde versucht, die Terminologien soweit wie möglich und für den Zweck eines besseren Verständnisses der folgenden Artikelanalyse abzugrenzen. Damit sollte basisschaffend der linguistische Rahmen für die weitere Untersuchung erstellt werden. Im vorliegenden Kapitel 3 werden nun die innerhalb der Recherchetätigkeit eruierten Publikationen vorgestellt. Diese Artikel spiegeln das „State of the Art“ bzw. die Entwicklung hin zum heutigen Publikationsstand wieder. Hier findet der eigentliche Analyseteil der Arbeit statt. Es geht darum aufzuzeigen, was bis dato zur Erstellung von strukturellen Vulnerabilitätskurven bei Lawinenprozessen veröffentlicht wurde. Desweiteren verfolgt dieses Kapitel das Ziel, die (um es vorwegzunehmen) wenigen Forschungsveröffentlichungen hinsichtlich ihrer Zielsetzungen, ihrer Methodik und ihrer Ergebnisse zu untersuchen und zu vergleichen. Um dies zu erreichen, werden einzelne inhaltliche Schwerpunkte für die Verwirklichung der Arbeiten besprochen. Zuerst wird die hinter jeder Arbeit stehende Idee bzw. deren Zielsetzung erläutert. Da es unterschiedliche Techniken zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven gibt, gilt es in weiterer Folge die methodischen Herangehensweisen aufzuzeigen. In einem dritten Schritt werden die Ergebnisse jedes Ansatzes dargelegt und diskutiert. Nachdem alle inhaltlichen Punkte abgearbeitet wurden, werden zuguterletzt die Artikel zueinander in Beziehung gebracht, um die Stärken und die Schwächen jedes Ansatzes ersichtlich zu machen. Dabei soll sich ein synoptisches Bild der aktuellen Publikationslage ergeben, um daraus Empfehlungen für zukünftige Forschungsschwerpunkte abzuleiten.

Die nachstehenden Publikationen bearbeiten das hier untersuchte Thema und konnten mithilfe des in Kapitel 1.3 beschriebenen Suchansatzes gefunden werden. Dabei werden die Beiträge in ihrer zeitlichen Chronologie von alt zu jung vorgestellt, um die Entwicklung innerhalb dieses Forschungsfaches geordnet wiederzugeben. Außerdem bauen oftmals jüngere Arbeiten auf älteren auf, wodurch eine zeitstringente Richtung wegweisend für das Verständnis der Ansätze ist. Die folgenden Publikationen fließen demnach in die Bestandesanalyse ein:

- Wilhelm, C. (1997a): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz. Mtt. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 54, Davos: 309S.
- Borter, P. (1999a): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Methode. Bern: BUWAL.
- Borter, P. (1999b): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Fallbeispiele und Daten. Bern: BUWAL.
- Barbolini, M., F. Cappabianca und R. Sailer (2004): Empirical estimate of vulnerability relations for use in snow avalanche risk assessment. In: Brebbia, C.A. (Hrsg.): International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. WIT Press, 26.-29. September, Rhodes (GR), S. 533–542.
- Barbolini, M., F. Cappabianca, B. Frigo und R. Sailer (2006): The vulnerability of buildings affected by powder avalanches. In: Ammann, W.J., S. Dannenmann und J. Vulliet (Hrsg.): Risk21 - Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century. London: Taylor & Francis Group, S. 227-235.
- Bertrand, D. und M. Naaim (2008): Physical vulnerability of concrete and masonry buildings exposed to rapid mass movements. In: Naaim, M. (Hrsg.): WP-4 IRASMOS report. Grenoble: Cemagref, S. 43-87.

3.1 Zielsetzungen innerhalb der vorgefundenen Publikationen

Damit die Forschungsarbeiten und die darin eingebundenen Erstellungen von Vulnerabilitätskurven in ihrem Kontext verständlich werden, müssen die grundlegend hinter den Arbeiten stehenden Zielsetzungen beschrieben werden. Denn erst eine Klarstellung der angestrebten Ziele verdeutlicht die Notwendigkeit von standardisierten Werten für ex-ante Untersuchungen einzelner Gebäudeschadanfälligkeiten bei Lawinengefahr. Es gilt einzelne Objekte im Vorhinein zu schützen, indem Konsequenzen vorhersehbar gemacht werden. Nimmt man nun einen Blick auf die ermittelten Arbeiten, so werden klare Unterschiede bei deren Zielvorgaben deutlich.

In seiner Publikation „Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz“ geht Wilhelm (1997a) auf unterschiedliche Aspekte zur Konzipierung sicherheitsschaffender Massnahmen gegenüber Lawinengefahren ein. Grundlegendes Anliegen der Arbeit ist, technische Ansätze der Risikoanalyse mit ökonomischen Bewertungsmodellen zu verknüpfen um *„Erkenntnisse zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Lawinenschutzmassnahmen zu gewinnen“* (Wilhelm 1997a, 12). Dabei unterscheidet er risikoanalytische Szenarien mit und ohne implementierten Schutzprojekten. Aus dieser Evaluierung des Ursprungs- und des Restrisikos kann die Leistung von Sicherheitsmaßnahmen bzw. *„die Projektwirkungen“* (ebd., 18) ermittelt werden und in weiterer Folge können Kosten-Nutzen Analysen des jeweiligen Schutzprojektes statuiert (ebd., 17-18) bzw. ebendiese Projekte (monetär) bewertet werden (ebd., 20). Ein wesentliches Element seiner Publikation ist das 3. Kapitel über die „Raumnutzung und Schadfolgen in Gefahrenräumen“, in dem er methodische Empfehlungen für (technische) Risikoanalysen beschreibt und gleichzeitig einen Vorschlag zur Konstruktion von objektbasierten Vulnerabilitäten macht.

Bei Borter (1999a und 1999b) hingegen sieht das basale Ziel seiner Arbeit etwas anders aus. Borter (1999a) versucht in seiner Arbeit „Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren“ eine methodische Anleitung für die Verwirklichung von Risikoanalysen bei gravitativen Prozessen (wie Lawine, Überschwemmungen, Murgänge, Sturzprozesse, Rutschungen) zu geben. Diese methodische Abhandlung vertieft er mit einem 2. Teil, in dem er die erstellte Methodik anhand Fallbeispielen verdeutlicht (Borter 1999b). Dabei unterscheidet er je nach Bearbeitungstiefe abhängig von dem gewählten Massstab, den verfügbaren Daten, der Aussageintention und dem Grad an der

erwünschten Genauigkeit drei unterschiedliche Ebenen und bezeichnet sie als ein „3-Stufen Modell“ (Borter 1999a, 7). Diese drei Stufen „lassen sich so kombinieren, dass man Sicherheitsprobleme zielgerichtet und effizient angehen kann“ (Borter 1999a, 27). Diese Methode verfolgt das Ziel, Informationen für weitere sicherheitsrelevante bzw. risikominimierende Entscheidungen zu schaffen (ebd., 11 und 27f.). Dahingehend ist festzuhalten, dass die Erstellung der in dieser Arbeit vorgestellten Schadenskurven für Lawinen und Sturzprozesse in die 3. Stufe fällt (vgl. Borter 1999b, 124-125). Vorwiegend diese Stufe 3 (neben der 2. Stufe) hilft, eine gezielte Basis für weitere sicherheitsschaffende Massnahmen bereitzustellen (Borter 1999a, 11).

Ähnlich der Stufe 3 bei Borter (1999a und 1999b) sind die Zielsetzungen bei Barbolini et al. (2004) bzw. Barbolini et al. (2006). Die AutorInnen stossen auf konkrete objektbasierte Aussagen über mögliche Folgen eines Lawinenabganges, indem sie Daten von zwei Lawinenkatastrophen und deren Konsequenzen für einzelne Gebäude(typen) statistisch analysieren. Sie werten die Lawinenkatastrophen 1988 in St.Anton und 1999 in Galtür (2004: 536) aus, bei denen insgesamt 55 Gebäude (31 in St.Anton und 24 in Galtür) zum Teil total zerstört wurden. Der damalige direkte finanzielle Strukturschaden belief sich allein in Galtür auf 5 Millionen € (Hama 2005, 62; nach Heumader 2000). Sie wollen dadurch einen Kurvengang für einen speziellen Gebäudetyp, den sie als „*‘alpine-type’ building*“ (Barbolini et al. 2006, 227) bezeichnen, herausarbeiten. Dadurch erhoffen sie sich eine Datenbasis, mithilfe derer korrekte Risikoanalysen für raumplanerische Tätigkeiten bereitgestellt werden können (ebd., 227). Weiters weisen sie in Barbolini et al. (2004, 534) auf das Problem hin, dass erst wenig über den Zusammenhang zwischen Lawinenintensität und potentiellen Schadauswirkungen, sei es auf Menschen oder auf Gebäude, publiziert wurde und dass die wenigen Publikationen (vgl. Wilhelm 1997a, Borter 1999a und 1999b) mit Ungenauigkeiten behaftet sind. Als Grund dafür sehen sie vorwiegend das Fehlen von realen Daten (ebd, 543), welche eine basale Notwendigkeit für die Implementierung von Vulnerabilitätskurven darbieten. In der 2006 erschienenen Publikation erweitern die AutorInnen den Ansatz, um eine „bessere“ Aussagekraft der Schaden-Intensitäts Relation zu erhalten. Ziel dieser Untersuchung war es einen theoretisch abgeleiteten, „gültigen“ Wertebereiche für die zuvor empirisch erstellte Kurve anzubieten. Damit

einhergehend validierten sie die zuvor statistisch ermittelte Kurve (Barbolini et al. 2006, 234).

Bei dem im Rahmen des IRASMOS-Projekts publizierten Reportkapitel von Bertrand und Naiim (2008) versuchen die Autoren über einen komplexen Ansatz auf unterschiedliche Vulnerabilitätsfunktionen zu kommen. Ihre Intention ist dabei, die Beziehung zwischen der Lawinenkraft und den strukturellen Eigenschaften von gemauerten und betonierten Objekten besser abzuschätzen (Bertrand und Naiim 2008, 44), indem sie auf der einen Seite die Prozesseigenschaften, sowie auf anderer Seite das Einwirken von Lawinen auf Gebäudetypen beschreiben (ebd, 44). Dabei binden sie unterschiedlichste prozess- und objektbezogene Parameter in ihre Modellierungen ein, wodurch dieser Ansatz einen komplexen Charakter bekommt. Am Ende ihrer Arbeit erstellen auch sie Vulnerabilitätskurven, welche sich allerdings nicht über den monetären Verlust definiert, sondern als ein Damage Index beschrieben wird, welche sich aus den Material- als auch den Prozesseigenschaften ableitet. Sie schließen quasi über eine komplexe Simulation des nicht linearen Materialverhaltens bei Druckeinwirkung auf die Schadanfälligkeit von Objekten, wodurch sie die wenig existierenden Felddaten kompletieren können (ebd., 44).

Diskussion

Generell ist bei den Zielsetzungen auffällig, dass die Arbeiten alle das gleiche Ziel ansteuern, allerdings sich unterschiedlicher Herangehensweisen bedienen. Diese werden im folgendem Kapitel 3.2 näher erläutert. Lediglich die Arbeit Wilhelms (1997a) geht über den Methodenvorschlag einer Risikoanalyse drüber hinweg, indem er auch Anleitungen für die wirtschaftliche Bewertung von Massnahmen und von Kosten Nutzen-Rechnungen gibt (Wilhelm 1997a, 10). Dahingehend scheint die Arbeit Wilhelms (1997a) von der Aussageintention etwas breiter gesetzt als die anderen Arbeiten, bei denen es primär darum geht, Wertvorschläge für Vulnerabilitätsbewertungen von verschiedenen Risikoelementen zu geben. Dabei fällt auf, dass Borter (1999a und 1999b) sich auf unterschiedlich große Raumeinheiten bezieht, wohingegen die restlichen Arbeiten auf Bewertungen der kleinsten Untersuchungseinheit, nämlich des Einzelobjektes abzielen.

3.2 Methodikbetrachtungen

Die bis dato veröffentlichten Ansätze zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven weisen sich durch differente methodische Ablaufschemata ab. Diese variieren in mehreren Punkten und werden vorwiegend bei der Charakterisierung des Lawinenprozesses, bei der Aufnahme, der Typisierung und Kategorisierung der Objekte, bei der Festsetzung vulnerabilitätsbeeinflussender Eigenschaften, bei der Definition des Schadensbegriffes, als auch bei der Umsetzung der Daten in ein Kurvenbild offensichtlich. In diesem Kapitel 3.2 werden die Methoden innerhalb der verschiedenen Konzepte zur Verletzlichkeitsermittlung dargelegt. Hier werden publizierten Arbeiten auf zentrale methodische Schritte hin untersucht, wodurch in weiterer Folge die Resultate in ihrer Gesamtheit verständlich werden.

3.2.1 Die Beschreibungen des Lawinenprozesses und deren methodische Umsetzungen

Lawinen stellen, wie bereits im Kapitel 2.1 besprochen, sehr komplexe und in unterschiedlichen Erscheinungsformen auftretende Phänomene dar (vgl. z.B. Ancey 2001, auch Höller 2007). Dahingehend ist es im Rahmen einer Vulnerabilitätsanalyse unumgänglich, den Lawinenprozess zu beschreiben und darauf hinzuverweisen, welche Prozesscharakteristik die AutorInnen in ihren Kurven implementierten, wodurch erst eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglich wird.

Grundlegend definiert Wilhelm (1997a, 32) Lawinen über die Richtlinien des BFF/EISLF (1984) als *„rasche Schneebewegungen aller Größenordnungen“* BFF/EISLF (1984, 4). Dadurch wird klar, dass in seinen Untersuchungen keine langsamen Schneebewegungen wie Schneekriechen & -gleiten (ebd., 32) und genauso wenig durch Auflastdrücke hervorgerufen Schäden betrachtet werden. Er stellt in weiterer Folge die Komplexität des Lawinenprozesses dar und verdeutlicht, dass Lawinendynamiken zumeist durch gekoppelte Fliess- und Staubbewegungen charakterisiert sind. Reine Staublawinen konnten aufgrund der noch fehlenden methodischen Verfahren nicht in seine Forschungsarbeit miteingebracht werden, daher beziehen sich seine Überlegungen auf Fliesslawinen (ebd., 32).

Borter (1999a und 1999b) definiert hingegen Lawinen nach Heinimann et al. (1998) wie folgt als *„plötzlich und schnelle Talwärtsbewegung von Schnee und/oder Eis als*

gleitende, fließende oder rollende Masse oder als aufgewirbelte Schneewolke an Hängen und Wänden mit einer Sturzbahn von 50 Metern“ (Borter 1999b, 127; nach Heinemann et al. 1998). Diese Aussage zeigt die Schwierigkeit der Einordnung von Lawinen auf, da sie in vielfältigen Formen als auch in unterschiedlichen Bewegungsarten abgehen können. Borter (1999b) verwendet für die Erstellung seiner Vulnerabilitätskurven diese allumfassende Definition, ohne genauer die Problematik hinter den Prozessevaluierung klarzustellen. Nur in einer Randnotiz erwähnt Borter (1999b), dass seine Kurvenverläufe bei schwachen Intensitäten für Staublawinen, bei stärkeren Intensitäten aber auch für Fliesslawinen gelten (Borter 1999b, 121).

Bei der Arbeit Barbolini et al. (2004), als auch bei Barbolini et al. (2006) nahmen die AutorInnen Gebäude heran welche durch Staublawinen betroffen waren (Barbolini et al. 2006, 234). Zur Beschreibung des Prozesses berechneten sie über einen mathematischen Weg mithilfe des Simulationsmodells SAMOS¹⁵ das emittierte Druckmuster im Tale nach. Damit erhielten sie für jedes Gebäude die maximale Einwirkkraft der Lawine. Einzelne Druckwerte mussten noch nachkorrigiert werden, da SAMOS keine Rückschlüsse über den „Schutzeffekt“ einzelner Häuser miteinberechnet. Wenn Häuser durch die Lawine zerstört werden, können sie gleichzeitig auch als Protektionswand für dahinterstehende Häuser dienen. Dementsprechend verringerten die AutorInnen die Stärke um 7,5m/sec pro Häuserreihe (Barbolini et al. 2004: 537; nach Jónasson et al. 1999).

Bertrand und Naiim (2008) hingegen beziehen ihre Prozessdaten nicht aus empirisch ausgewerteten Lawinenkatastrophen, sondern sie ziehen in ihrer methodischen Umsetzung schlicht ein auf einem hydrodynamischen Ansatz basiertes Druckfeld heran (Bertrand und Naiim 2008, 47). Dafür definieren sie grundlegend Lawinen recht einfach als „*fast gravitational flows*“ (ebd. 46), wodurch sie aufzeigen, dass Gravitation der treibende Motor ist und die Geschwindigkeit der Bewegung als Abgrenzungskriterium zu anderen Prozessen dient (ebd. 46). Sie stellten fest, dass die zeitliche

¹⁵ SAMOS (Snow Avalanche and Modelling System) sind von der Firma AVL-List entwickelte dreidimensionale numerische Computermodelle zur Abschätzung von Lawinenszenarien. Diese werden oftmals für Prozessberechnungen innerhalb der Gefahrenzonen- und Sicherheitsplanung herangezogen (http://www.waldwissen.net/themen/naturgefahren/schnee/bfw_samos04_2005_DE/printerfriendly? und <http://bfw.ac.at/050/1912> Zugriff für beide: 30.10.2009). Die AutorInnen verweisen nebenzu auf die Arbeit von Sampl und Zwinger (2004), in welcher der mathematische Hintergrund des Computermodells beschrieben wird.

Druckentwicklung innerhalb Lawinen eine wichtige Rolle spielt, genauso wie die räumliche Druckverteilung einer Lawine auf ein Objekt (ebd., 48; dazu auch die Abb. 2 und 3 in Bertrand und Naim 2008, 49 & 51). Vorwiegend über das Heranziehen von Daten aus Experimenten konnten Bertrand und Naim (2008) herausfinden, dass zeitliche als auch räumliche Druckwerte innerhalb des Lawinenprozesses sowohl bei Fliess-, als auch bei Staublawinen stark variieren (vgl. Bertrand und Naim 2008, 48, nach Schaer und Issler 2001; Rammer 2001; Eybert-Berart et al. 1977, Berthet-Rambaud 2004). Dahingehend versuchten sie den Lawinenprozess in Schichten mit unterschiedlichen Bewegungscharakteristika (fliessend, saltierend und suspendierend) einzuteilen (ebd., 48), wobei mehrere zeitliche als auch räumliche Parameter in die Prozessbeschreibung einfließen (ebd., 51).

Diskussion

Bei den Beschreibungen der Prozessdynamiken wird verdeutlicht, dass die Implementierung von Lawinen in ein allgemeingültiges Konzept nur schwer möglich ist. Lawinen sind hochkomplexe Phänomene (Ancey 2001, 324) wodurch sie in vielen unterschiedlichen Formen auftreten können. Dementsprechend stellt die Implementierung des Lawinenprozesses in eine generalisierte Form ein zentrales Problem innerhalb dieses Forschungsschwerpunktes dar. So erstellt z.B. Wilhelm (1997a) seine Kurven rein für Fliesslawinen, wohingegen im Falle von Barbolini et al. (2004) und Barbolini et al. (2006) nur die Objekte in die empirische als auch theoretische Untersuchungen aufgenommen wurden, welche von Staublawinen betroffen waren. Deshalb unterscheiden sich die oben beschriebenen Ansätze doch deutlich voneinander, vorwiegend was die Interpretierbarkeit und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse anbelangt. Schließlich verhalten sich Fliess- und Staublawinen unterschiedlich in ihrer Prozess- als auch Schadcharakteristik, was verschiedene Folgen für das Schadausmass bei Gebäuden haben kann.¹⁶

Dahingehend ergibt sich die erste Diskrepanz innerhalb des Forschungsfeldes, schließlich wurden bei den Kurvenbeschreibungen unterschiedliche Prozesscharakteristiken herangezogen. Die jeweiligen Kurven beziehen sich rein auf einen vordefinierten Lawinentyp, wodurch diese Generalisierung zu Schwierigkeiten

¹⁶ Für einen kleinen Überblick über die unterschiedlichen Wirkungsweisen von Fliess- und Staublawinen auf Gebäude verweise ich auf die Arbeit von Egli (2004, 97f.).

bei der Umsetzung der Kurven in eine Risikoanalyse führt. Bertrand und Naiim (2008) umgehen allerdings dieses Problem, indem sie ein Druckfeld modellieren, welches auf ein Gebäude einwirkt. Dahingehend müssen sie keinen speziellen Lawinentypus annehmen. Allerdings verfügen Bertrand und Naiim (2008) bereits über ein gutes Ausgangsmaterial, was die modellhafte Beschreibung der Druckauswirkung von Lawinen auf Objekte betrifft. „*Nowadays, any model is able to completely describe the pressure of an avalanche applied on an obstacle*“ (Bertrand und Naiim 2008, 47).

3.2.2 Objektspezifische Datenbasis: Gebäudeaufnahme und -charakterisierungen

Bei einer Auseinandersetzung mit vulnerabilitätsrelevanten, naturwissenschaftlichen Fragestellungen des Risikos wird klar, dass nicht allein der Prozess über das Schadausmass entscheidet. Vorwiegend sind es objektspezifische Eigenschaften, welche die Widerstandsfähigkeit eines Gebäudes gegenüber Lawineneinschlägen ausmachen. Deshalb gilt es in diesem Kapitel abzuklären, wie die einzelnen Konzepte ihre Gebäude charakterisieren und auf welcher Datenbasis die Einteilungen fundieren.

Wilhelm (1997a) definiert in seiner Arbeit zuerst mehrere Schadenspotentiale und grenzt diese nach dem Kriterium der Präsenzwahrscheinlichkeiten ab. Dabei unterscheidet er Siedlung, Verkehrsachse und Personen im Freien bzw. nach den Präsenzwahrscheinlichkeiten der Kategorien in einem potentiellen Lawinenstrich (ebd., 57-58). Für unsere weiteren Zwecke von Relevanz ist die Objektkategorie Siedlung, welche Wilhelm (1997a) durch „*die Ortsgebundenheit der Objekte und die stark variierenden Schadenspotentiale*“ (Wilhelm 1997a, 58) charakterisiert. Wilhelms (1997a) gebäudebezogene Datengrundlage orientiert sich primär an den Auswertungen Voellmys (1955).¹⁷ Außerdem analysierte er selbst Schadbilder, indem er diese mit

¹⁷ In seiner Arbeit untersuchte Voellmy (1955) die Schadwirkung von Lawinen anhand von Lawinenkatastrophen in Vorarlberg im Jahre 1954. Damals starben zwischen dem 10. und dem 12. Jänner 56 Menschen in Blons, 15 Menschen in Bürserberg und 10 Menschen in Dalaas (Höller 2009, 402). Es war somit, zumindest was die Opferzahlen betrifft, einer der intensivsten Lawinenwinter in der österreichischen Geschichtsdokumentation (vgl. dazu tabellarische Zusammenstellung in Haid 2007, 244 ff.). Aufgrund den damaligen klimatischen und schneestatigraphischen Beobachtungen ging Voellmy (1955) davon aus, dass die Schneemassen als Lockerschneelawinen zu Tale gingen (Voellmy 1955, 159).

Die Publikation berichtet von diversen Schadbildern an Objekten (u.a. Wohnhäuser, Ställe) in Blons, in Sonntag und vom Bahnhof in Dalaas. Das Ziel seiner Arbeit beschreibt Voellmy (1955) wie folgt: „[...] und es bleibt notwendig, gewisse Bauten durch Konstruktionen unmittelbar zu schützen oder Neubauten (z.B. von Kraftwerken) derart zu schützen, dass sie der Lawinenwirkung standhalten. Voraussetzung für eine Lösung dieses Problems ist die Kenntnis der durch Lawinen bei besonderen Verhältnissen hervorgerufenen Kräfte“ (Voellmy 1955, 159). Dementsprechend versucht Voellmy (1955) mittels der

Prüf- bzw. Statikingenieuren besprach und nachrechnete.¹⁸ Wilhelm (1997a) stellt dabei klar, dass er sich in Bezug der untersuchten Objekte mit Vereinfachungen behelfen musste. Er definiert Gebäude als „*viereckige Quader, ohne einspringenden Ecken und vorspringenden Teile*“ (Wilhelm 1997a, 70). Er geht quasi von einer schlichten geometrischen Figur mit glatter Oberfläche aus. Ähnlich legt Bortor (1999b) seine Gebäudedaten an, indem er sich an den Forschungsergebnisse Wilhelms (1997a) orientiert. Dahingehend weisen beide die gleiche gebäudespezifische Datenbasis auf.

Die Arbeiten Barbolini et al. (2004 und 2006) beziehen ihre Daten von den Schadaufnahmen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach und Lawinenverbauung (WLV)¹⁹ (2004, 536; auch 2006, 228). Bei den Objekten nahmen sie eine homogene Bauweise an, wodurch die Vulnerabilitätskurve nur für einen Gebäudetyp, charakterisiert durch diverse Verstärkungen am Gebäude (Barbolini et al. 2004, 537) gültig ist. Diesen Gebäudetyp bezeichnen sie als „*‘alpine-type’ buildings*“ (Barbolini et al. 2006, 234), welche eine teilweise Verstärkung der Bausubstanz aufweisen.

Der Ansatz in der Arbeit von Bertrand und Naiim (2008) weist hingegen der Objektstruktur sowohl technologische als auch physikalische Eigenschaften zu (Bertrand und Naiim 2008, 46 & 53). Unter technologischen Eigenschaften verstehen sie die Bauweise, bei der sie zwischen betoniert und gemauert unterscheiden, wohingegen die physikalischen Eigenschaften eines Objektes über deren geometrische

Gebäudeschäden Aussagen über die emittierten Drücke zu machen. Aufgrund der damaligen Situation mit vielen Schadlawinen auch im flacheren Gelände erhoffte sich Voellmy (1955) vor allem Erkenntnisse über die Wirkungen bereits geringer Lawinenkräfte auf Objekte (ebd., 159).

Voellmys (1955) Datenbasis war die Ereignisdokumentation durch die EMPA („*interdisziplinäre Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs*“ aus: www.empa.ch; 11.10.2009), bei der die Schäden an den Gebäuden aufgenommen wurden (Voellmy 1955, 159). Dadurch konnten über das bestehende Wissen aus der Materialwissenschaft zumindest Schwellenwerte für den Lawinendruck „rückgerechnet“ bzw. abgeschätzt werden. Mithilfe von z.B. Sprengversuchen konnten die Druckresistenzen von Fenstern und Türen und dadurch Referenzwerte für den Lawinendruck eruiert werden (Voellmy 1955, 163). Voellmys (1955) Arbeit gilt somit als eine erste systematische Auswertung von Lawinenkonsequenzen an Gebäuden im deutschsprachigen Raum und stellt für die darauffolgenden Arbeiten Wilhelms (1997a) als auch Borters (1999b) eine wichtige Datengrundlage dar.

¹⁸ Dies wurde aus einer persönlichen Kommunikation per E-Mail vom 17.11.2009 im Nachhinein eruiert und ist in seiner Arbeit so nicht ersichtlich.

¹⁹ Die Wildbach- und Lawinenverbauung wurde schon zu Zeiten der k. und k. Monarchie im Jahre 1884 gegründet. Heute ist die Behörde dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium) untergeordnet. Ihr Ziel ist es auf dem gesamten Bundesgebiet menschliche Werte vor Naturprozessen wie Wildbäche, Lawinen, aber auch Erosion durch u.a. technische Maßnahmen zu schützen (für weitere Information <http://www.forstnet.at/article/archive/4932> oder <http://www.die-wildbach.at/> Zugriff auf beide: 2.11.2009).

als auch mechanische Merkmale definiert wurde (ebd., 53). Bei den geometrischen Eigenschaften gehen sie von einem schlichten 3 wändigen, quadratischen und dachlosen Baukörper aus. Gleichzeitig ist es ihnen möglich, die Verbindungen zwischen dem Objekt und dem Boden zu berechnen (vgl. dazu Naiim et al. 2008, 107).

Diskussion

In den bis dato publizierten Arbeiten ziehen die AutorInnen unterschiedlichste Datenquellen heran. Wie beschrieben, orientieren sich Wilhelm (1997a) und Borter (1999b) an der recht alten Arbeit von Voellmy (1955), hingegen beziehen Barbolini et al. (2004, auch 2006) ihre Information aus jüngeren Lawinenereignissen in Vorarlberg und Tirol bzw. im Falle Barbolini et al. (2006) auf einen Lawinenabgang in Morgex im Aosta-Tal/Italien (Barbolini et al. 2006, 231). Dahingehend ist festzuhalten, dass die Vergleichbarkeit der Datenbasis hinterfragt gehört, vorwiegend wenn der zeitliche Wandel in der Bautechnik als auch die kulturell differenten Bautechniken bedacht werden, welche maßgeblichen Einfluss auf den Verlauf der Vulnerabilitätskurve haben (zur Bauweise in Island auch Barbolini et al. 2006, 227; auch Bell und Glade 2004a, 121).

Generell wird anhand den Objektbeschreibungen verdeutlicht, dass bei den geometrischen Formen der Objekte von einigen Annahmen bzw. Vereinfachungen ausgegangen wurde. Sowohl die Arbeiten von Wilhelm (1997a), Borter (1999b) als auch Bertrand und Naiim (2008) stellen die äußere Form der Objekte in einfachen quadratischen Körpern dar. Diese Annahmen stellen beträchtliche Einschränkungen dar, denn die Oberflächenbeschaffenheit der Aussenwand (Schindeln), wie auch nach aussen vorstehende Elemente (Erker, Balkone, Dachvorsprünge,...etc.) beeinflussen die Reibungskräfte und damit die Schadanfälligkeit eines Gebäudes deutlich (vgl. Wilhelm 1997a, 70). Genauso stellt die Fliessrichtung der Lawine zum Gebäude einen wichtigen Parameter dar, der über das Schadausmass mitentscheidet. Wilhelm (1997a, 70) als auch Bertrand und Naiim (Bertrand und Naiim 2008, 65) erstellten ihre Kurven nur für die der Fliessrichtung zugewandten Fassadenseite und sie gehen rein von einer Zerstörungskraft der Lawine in Hauptfliessrichtung aus, ohne die lateralen und die nach oben bzw. unten wirkenden Kräfte innerhalb einer Lawine in die Betrachtungen miteinzubeziehen (vgl. dazu Voellmy 1955). Barbolini et al. (2004, auch 2006) äußern sich hingegen überhaupt nicht über den geometrischen Aspekt der Gebäude.

Genauso wie die Gebäudeform eine nicht zu unterschätzende Wirkung auf die Schadanfälligkeit hat, so spielt auch die Lage des Gebäudes zur Hauptfliessrichtung der Lawine eine maßgebende Rolle für die Schadentwicklung.²⁰ So kann eine Objektfassade frontal von der Lawine getroffen werden und dadurch einer starken Kraft ausgesetzt sein. Fahren die Schneemassen allerdings direkt eine Objektecke an, so können diese wie Keile fungieren und somit die Lawinenkräfte spalten, wodurch das Schadausmass wahrscheinlich geringer ausfällt. Dementsprechend spielt die geometrische Lage eines Gebäudes zur Bewegungsrichtung einer Lawine eine tragende Rolle bei der Schadentstehung und muss im Rahmen der methodischen Umsetzung zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven miteinbedacht werden. Dementsprechend gehört das Schadbild bei empirisch ausgewerteten Arbeiten immer so akkurat wie möglich mit dem dazugehörigen Lawinenprozess und deren Aufprallwinkel in Verbindung gesetzt.

3.2.3 Das Heranziehen vulnerabilitätsrelevanter Parameter in den Kurven

Um einen Kurvenverlauf entwickeln zu können müssen die herangezogenen schadbringenden Parametern definiert werden. Verschiedenste Arbeiten zeigen auf, dass die Schadanfälligkeit von Gebäuden von mannigfaltigen objektspezifischen Parametern abhängig ist. So sind Gebäudebeschädigungen von unterschiedlichen Faktoren, wie „*der Bauweise, dem Baumaterial und der Gebäudegeometrie*“ (Wilhelm 1997a, 70), allerdings auch von bereits installierten Sicherheitsmassnahmen, der Stockwerksanzahl, dem Gebäudealter (u.a. Papathoma-Köhle et al. 2007, 766), dem Erhaltungszustand (Uzielli et al. 2008, 252) und deren resistiven Kräften (Fuchs 2009, 339) abhängig. Dahingehend müssen die von den AutorInnen erwogenen Parameter aufgezeigt werden, welche als schadevozierend in die Vulnerabilitätskurven implementiert wurden. Dabei ist zu beachten, dass eine Einbeziehung aller schadbringenden Faktoren nur schwer in ihrer Gesamtheit in funktionale Beziehungen einbindbar sind. Dahingehend soll dieses Kapitel zeigen, wie die Ansätze mit der

²⁰ Vorallem bezüglich der Wirkung des Aufprallwinkels von Lawinen auf Objekte gibt es unzählige Arbeiten zumeist aus den technischen Disziplinen, da ebendieser Winkel eine wichtige Rolle bei der Planung von Ablenkdammen bzw. Lawinenspaltkeilen innerhalb der Lawinenbahn spielt (vgl. dazu Margreth und Ammann 2004; Johansson et.al. 2009)

Die folgende Formel $p_n = \rho \cdot v^2 \cdot \sin^2 \alpha$ verdeutlicht den Sachverhalt, bei der die Kraftentwicklung p_n einer Lawine auf ein Objekt von folgenden drei Variablen abhängig ist: Der Winkel des Lawinenablenkung α , der Dichte ρ und der Geschwindigkeit v der Schneemassen (Wilhelm 1997a, 70; auch in Margreth und Ammann 2004).

Komplexität umgehen und wie sie die Realität in reduktionistischer Manier herunterbrechen, um möglichst aussagestarke Kurven zu erhalten.

Bei der Bestimmung von gebäudespezifischen Merkmalen sind sich alle Forschungsarbeiten einig, dass die Gebäudebauweise ein zentraler Faktor für das Schadverhalten eines Objekts nach einem Lawinenaufprall ist. Dahingehend teilt Wilhelm (1997a) die Gebäudestruktur grundlegend in fünf unterschiedliche Kategorien gemäß ihres Baumaterials ein. Dabei unterscheidet er zwischen einer Leichtbauweise, gemischten Bauten, Mauerbauten, Betonbauten und verstärkte Bauten (ebd., 71), wodurch es im möglich wird für jedes Baumaterial eine eigene Kurve zu erstellen.²¹ Bei der Beschreibung des Lawinenprozess wählt er, wie übrigens die Gesamtheit der AutorInnen, den emittierten Lawinendruck als primären kausalen Faktor für die Schadentwicklung an Gebäuden.

Ähnlich macht es hier Borter (1999b), der ebenso die Bauweise als objektspezifischen Hauptparameter für deren Schadanfälligkeit ansieht.²² Diese unterscheidet er allerdings in sechs unterschiedliche Gebäudetypen, welche in der folgenden Tabelle 2 dargestellt sind.

Gebäude- kategorie	Bauweise	Resistenz
GK 0	Leichtestbauweisen (einfache Holzbauten, Caravan)	keine
GK 1	Leichtbauweisen (Rundholzbauten oder Ständerbauweise mit Verschalung)	sehr geringe
GK 2	Gemischte Bauten (Mauer und Holz, Chalets)	geringe
GK 3	Mauerbauten	mittlere
GK 4	Betonbauten armiert	hohe
GK 5	Verstärkte Bauten	sehr hohe

Tab. 2: Definition der einzelnen Gebäudeklassen und deren jeweiligen Resistenzattribute (aus Borter 1999b, 124).

Auch im Ansatz von Barbolini et al. (2004 und 2006) wird verdeutlicht, dass das Baumaterial und der emittierte Druck des Prozesses als die beiden primären

²¹ Gleichzeitig verweist Wilhelm (1997a) darauf, dass eine Klassifizierung der Objekte nur schwer umsetzbar ist, da es eine Vielzahl an Baumaterialien und –techniken, Fensterkombinationen gibt (Wilhelm 1997a, 70-71)

²² Gleichzeitig verweist Borter (1999a) in seiner Arbeit auf die verschiedenen Struktureigenschaften, welche die Schadempfindsamkeit von Gebäuden beeinflussen. Dazu zählt er auf Seite 86 (1999a) u.a. das Fundament, den Baugrund, das Gebäudealter und auf Seite 87 (1999a) die ebenso einflussnehmenden Faktoren der Gebäudehöhe und der Objektschutzmassnahmen auf.

Schadfaktoren zur Implementierung der Vulnerabilität herangezogen wurden (vgl. auch Keylock et al. 1999). In der folgenden Tabelle 3 sind die Werte aufgezeigt, welche sie für ihre weiteren Berechnungen herannahmen. Demzufolge indexierten sie jedes Objekt und vergaben dazu die jeweils errechneten Prozessintensitäten als auch den beobachteten Schadensgrad.

No.	DD	Pimp (kPa)	People inside building	Victim	No.	DD	Pimp (kPa)	People inside building	Victim
St.Anton buildings									
1a	4	21.1	16	5	25	1	3.6	16	0
1b	4	22.0	15	0	26	2	4.2	20	0
2	4	17.8	18	1	27	2.5	11.2	17	0
3	3	13.9	18	0	28	2.5	19.4	5	0
5	3	22.6	18	0	29	1.5	5.8	16	0
6	2	16.8	36	0	Galtuer buildings				
7	2	11.0	18	0	26	2.5	16.0	1	0
8	3	21.7	0	0	27	4	21.0	1	0
9	2.5	13.7	3	0	28	4	22.0	3	3
10	2	4.1	11	0	29	2.5	22.0	4	0
11	2	4.6	23	0	40	3.5	22.5	4	0
12	1	4.2	9	0	41	2	5.8	2	0
13	1	6.8	unknown	0	42	2	2.7	20	0
19	2.5	26.0	80	0	45	2.5	19.0	0	0
21	2	11.8	4	0	47	2.5	14.0	2	2
22	1.5	15.7	9	0	53	2.5	8.8	1	0
23	1	10.9	11	0	56	2	8.6	1	0
24	2	10.9	15	0	57	2	3.5	4	0

Tab. 3: Zusammenstellung der aufgenommenen Schäden bzw. den rückgerechneten Lawinenkräften nach den Lawinenangängen in St. Anton 1988 und Galtür 1999 (aus Barbolini et al. 2004, 537).²³

Der Ansatz von Bertrand und Naiim (2008) sieht ebenso in den strukturellen Gebäudeeigenschaften den Kern für die Schadbestimmung und sie teilten Gebäude in gemauerte und betonierte Bauweisen ein (vgl. Bertrand und Naiim 2008, 53). Da sie bei ihrer methodischen Umsetzung zur Vulnerabilitätsbestimmung eine komplexe numerische Modellierung heranzogen, flossen bei diesem Ansatz eine große Anzahl an geometrischer, mechanischer, numerischer und materialbezogener Parameter aus den Materialwissenschaften in die Modellierung ein.²⁴ So zogen sie innerhalb der Modellierung der betonierten Wände z.B. als geometrischen Faktor u.a. die Grösse der

²³ Es ist festzustellen, dass die AutorInnen nicht alle betroffenen Gebäude in die Untersuchung aufgenommen haben. In St. Anton wurden Gebäude, welche hinter einem Schutzdamm standen, nicht aufgenommen. Hier war eine Kraftabschätzung der Lawine per Simulation nicht möglich und Abschätzungen zu unsicher. In Galtür konnte nur die Bereiche, welche von der Staublawine getroffen wurden, modelliert und rückgerechnet werden (Barbolini et al. 2004, 538).

²⁴ Für eine genaue Auflistung der herangezogenen Parameter verweise ich auf Bertrand und Naiim (2008, 67 & 76).

Wand, bei den materialbezogenen Parametern u.a. das Bulk- und Schubmodul, Reibungswinkel, uva. und bei den mechanischen Parametern u.a. unterschiedliche Fließhöhen, den Maximaldruck der Lawine,...uvm. mit in die Berechnungen ein (Bertrand und Naiim 2008, 67).

Diskussion

Der Parametrisierung der vulnerabilitätsbeeinflussenden Faktoren steht eine zentrale Rolle für die Kurvenableitungen zu, wodurch deren Festsetzung ein ausschlaggebender methodischer Schritt im Rahmen der Konzepte ist. Dabei bedienen sich die Arbeiten sowohl bei den prozess- als auch den objektrelevanten Informationen an Generalisierungen und damit Einschränkungen bei der Aussagetiefe. Allerdings sind diese von Nöten, schließlich bezwecken die Arbeiten eine Generierung von standardisierten Werten, welche notgedrungen Limitationen bezogen auf die Beurteilung von Einzelobjekte aufweisen. Augenscheinlich ist dabei, dass die älteren Arbeiten die Beziehung zwischen der Schadanfälligkeit und der Prozessintensität als „klassisch kausal“ (Proske 2007, 399) annehmen. Sie gehen hier von deterministischen Systemen aus bei denen 2 Faktoren ausreichen, um die Schadbeziehung zwischen Lawinenkraft und Gebäude vorherzusagen. Lediglich die Arbeit von Bertrand und Naiim (2008) zieht mehrere physikalische Parameter der Gebäudebauweise mitein. Sie ermitteln das Schadverhalten der Bausubstanz über eine Multiparametrisierung der Bausubstanzeigenschaften im Sinne ingenieurwissenschaftlicher Materialkunde, wobei sie vorwiegend über bereits bessere computerbasierte Modellverfahren verfügen als die älteren Arbeiten von Wilhelm (1997a) und Bortner (1999a und 1999b).

Ein weiteres grundlegendes Problem bei der Parameterbestimmung stellt die Einordnung des Prozessablaufes dar, denn dieser ist nur schwer generalisiert darstellbar. So sprechen die AutorInnen entweder von Fließ- oder Staublawinen, allerdings muss auch bedacht werden, dass über den Kotransport von Steinen, Bäumen und anderen Materialien unvorhersehbare Schäden auch bei geringen Druckbelastungen möglich sind (vgl. dazu Bründl 2009). Auch verweisen Bertrand und Naiim (2008) darauf, dass Lawinen Eisblöcke mittransportieren können, wodurch ein erhöhter Einschlagdruck auf ein Gebäude entstehen kann (Bertrand und Naiim 2008, 85). Dieser Effekt ist allerdings nur schwer für vulnerabilitätsrelevante Fragestellungen abschätz- und nicht einfach in

eine Kurvenbeschreibung einbindbar, weshalb Bertrand und Naiim (2008) mehr Simulationen für diesen Sachverhalt fordern (ebd., 85). Grundlegend ist zu bedenken, dass nicht allein der Lawinendruck schadwirkenden Einfluss auf ein Gebäude nimmt. Genauso müssen andere Parameter, wie die Ablagerungshöhe, die Fliessgeschwindigkeit, die Dichte der Schneemassen, die Fliessrichtung und die Grösse mitgerissener Blöcke oder Hölzer in die Risikoevaluierung miteinbezogen werden (vgl. dazu Egli 2005).

Ein weiteres Problem innerhalb der Arbeiten ist die Beschreibung der Gebäudebauweise. Grenzen Wilhelm (1997a) und Borter (1999b) ihre Gebäudetypen noch recht gut ab, so wird in der Arbeit Barbolini et al. (2004, auch 2006) nicht verdeutlicht, auf welche Gebäudebauweise sie sich im konkreten beziehen. Sie sprechen lediglich von „*partly reinforced buildings*“ (Barbolini et al. 2004, 537) als typischen Gebäudetyp in den Alpen. Hier müssten die AutorInnen etwas genauere Angaben bezüglich der Bauweise geben. Objekte können in mannigfaltiger Weise abgesichert werden, sei es durch eine Verstärkung der Aussenwand, der Dachkonstruktion, der Fenster,...uvm.²⁵ wodurch sich das Bild der Vulnerabilitätskurve markant ändern kann. Deshalb gilt es bei der Erstellung von Vulnerabilitätskurven die herangezogenen Objekte so genau wie möglich zu beschreiben. Vorwiegend in Bezug auf das Baumaterial und -techniken gibt es große Anzahl an unterschiedlichen Verfahren, welche ein Gebäude charakterisieren. So soll doch klargestellt sein, aus welchem Werkstoff die Gebäude sind, wie die Fundamente aussehen, wie die Anordnung der Fenster ist,...u.v.m. damit die Aussagekraft der einzelnen Resultate in einen verständlicheren Kontext kommt.

3.2.4 Schadensdefinitionen

Von grundlegender Bedeutung für spätere Ergebnisbetrachtungen ist die linguistische als auch methodische Definition des Schadbegriffes. Schließlich muss klargestellt sein, wie sich Schaden in den Ansätzen manifestiert, wodurch erst die Ergebnisse interpretierbar werden.

²⁵ vgl. dazu auch Holub (2008).

Wilhelm (1997a) legt Schaden in zweierlei Form fest. Im technischen Sinne definiert Wilhelm (1997a, 71) den Schadensbegriff über die Norm SIA 160.²⁶ Bei der Definition des wirtschaftlichen Schadens ist er weniger deutlich und sagt dazu antonymisch: „[...] könnte solange kein Schaden angenommen werden, wie keine nennenswerten Aufwendungen zu dessen Behebung notwendig werden“ (ebd., 71). Dabei versteht er unter Aufwendungen Arbeiten, die durch den Lawinenabgang notwendig werden, wie z.B. einen Kontrollgang, aber auch kleine Schneeräumungsaktivitäten,...usw. (ebd., 71). Dahingehend differenziert Wilhelm (1997a, 71f.) vier unterschiedliche kritische Schwellenwerte, welche im folgenden beschrieben werden.

Grundlegend geht Wilhelm (1997a) von einer *allgemeinen Schadschwelle (pu)* aus, bei der aufgrund des Lawinendrucks die ersten Schäden am Objekt entstehen. Dieser Lawinendruck liegt bei 2-3kN/m² und gilt für alle fünf Objektkategorien als die Vulnerabilitäts-Basislinie. Ab dieser Lawinenstärke entstehen die ersten Schäden an fragilen Objektelementen wie Fenster und Türen.

Für die Krafteinwirkung bei dem die speziellen Tragwerkselemente Schaden nehmen definiert Wilhelm (1997a) *spezifische Schadensschwellen (pui)*. Diese Schwellen treten je nach Kategorie ab einem gewissen Lawinendruck auf. So liegt der Wert für die schwächste Bauweise (Kategorie 1 - Chalets) nur knapp über der allgemeinen Schadschwelle bei etwa 3kN/m². Bei den robustesten Baumaterialien hingegen (z.B.: Kategorie 5 - verstärkte Bauten) liegt der Wert für die spezifische Schadensschwelle bei ca 30 kN/m².

Außerdem gibt Wilhelm (1997a) pro Objektkategorie zwei weitere Schwellenwerte an. Eine stellt die *spezifische Zerstörungsgrenze (poi)* dar, bei der quasi der größtmögliche Objektschaden entstehen kann. Dieser Wert könnte als maximaler technischer Schaden betrachtet werden bei dem der Vulnerabilitätswert gleich 1 entspricht. Allerdings muß der höchste technische Schaden nicht unbedingt mit dem höchsten ökonomischen Schaden übereinstimmen. Deshalb legt Wilhelm (1997a) pro Kategorie Werte für die *spezifische Abbruchgrenze (pai)* fest, bei der ein Gebäude dermaßen zerstört ist, dass

²⁶ Die Norm 160 wurde von der SIA, dem Schweizer Ingenieurs- und Architektenverein, 1989 eingeführt, allerdings im Jahre 2004 durch die SIA 260 abgelöst (zur SIA 260 verweise ich auf Vanomsen und Egli 2008). Hierbei handelt es sich um den Standard, der bei Windeinwirkung auf Tragwerke herangezogen wird (<http://www.sia.ch> Zugriff: 28.10.2009). Wilhelm (1997a, 67) empfiehlt u.a. die Ableitung von Grenzwerten aus solchen Normen.

ein Abbruch und ein folgender Wiederaufbau von Nöten sind. In so einem Falle kommen zu den Neubau- auch noch Abrisskosten dazu, wodurch der maximale wirtschaftliche Schaden angenommen werden kann. Dies ist bei einer Schadenempfindlichkeit von 0,5 der Fall. Hier bekommen die einzelnen kategoriespezifischen Linien ihren Knick (vgl. Abb. 2: Kategorie 4 – Betonbauten armiert: durchgezogene vs. gestrichelte Linie), wodurch klar wird, dass ab dieser Grenze der höchstmögliche Schaden erreicht ist.

Borter (1999a) hingegen bezeichnet die strukturelle Vulnerabilität als Schadenempfindlichkeit und definiert sie als monetäre „*Schadensumme in Prozent des Strukturwertes des Gebäudes*“ (Borter 1999a, 86).²⁷ Dabei differenziert er vier unterschiedliche Herangehensweisen um den monetären Strukturwert eines Objektes in der Schweiz zu bestimmen. Es ist über den exakten Versicherungswert, über die Mittelwerte von den kantonalen Gebäude- oder Feuerversicherungen²⁸, über *Monitoring* 1997²⁹ oder durch Abschätzungen von ExpertInnen mithilfe Photos bzw. Grundrissen möglich, Gebäudewerte herauszufinden (Borter 1999a, 86).

Barbolini et al. (2004, auch 2006) beziehen ihre Schadkategorien aus einem offiziellen Polizeibericht, in dem das Schadausmaß in vier Klassen unterteilt wurde (Barbolini et al. 2004, 537). Sie definieren Schaden auch über den monetären Aspekt als „*the ratio between the cost of repair and the building value*“ (Barbolini et al. 2006, 229; nach Barbolini 2004) und wird in ihrer Arbeit als specific lost SL bezeichnet (zu deren rechnerische Verlinkung mit dem Schadensgrad DD siehe Kap. 3.2.5).

²⁷ Hausmann (1992) definiert die Schadenempfindlichkeit als „*den Zusammenhang zwischen den Schäden an den betroffenen Objekten (Gebäuden, Inhalt) und den Einflußgrößen der Naturgefahr*“ (Hausmann 1992, 49). Auch Borter (1999a) verweist in seiner Definition auf die Prozessabhängigkeit hin indem er klarstellt, dass die Ermittlung von Standardwerten zur Vulnerabilitätsbewertung stark von „*prozeßspezifischen Einwirkungen*“ (Borter 1999a, 86) abhängig ist.

²⁸ Betrifft natürlich nur die Schweiz, allerdings lässt sich die Grundidee auf andere Länder ummünzen.

²⁹ Wüest und Partner ermitteln jährlich die kantonspezifischen monetären Mittelwerte für Wohn- und Bürogebäude (vgl. Borter 1999a, 86; oder <http://www.wuestundpartner.com/home/index.phtml> (Zugriff: 9.11.2009)).

<i>DD</i>	Phenomena observed
4 (complete)	Partial or complete failure of the building
3 (heavy)	Heavy damage to structural elements
2 (medium)	Failed chimneys, attics or gable walls; damage or collapse of roof
1 (moderate)	No visible damage to structural elements, damage to frames, windows, etc.

Tab. 4: Definition der einzelnen Schadensgrade laut dem Polizeibericht (aus Barbolini et al. 2004: 539).

Bertrand und Naiim (2008) beziehen sich bei der Schadensdefinition auf den *Damage Index DI*, welchen sie je nach Baustruktur unterschiedlich definieren, da beide Strukturen ein unterschiedliches Destruktionsverhalten aufweisen (Bertrand und Naiim 2008, 53).

Bei der betonierten Struktur setzten Bertrand und Naiim (2008) die Vulnerabilität aus der Mauerdicke e , der Wandbreite L , welche durch die Lawine beeinflusst ist, der Druckfestigkeit σ_c und dem Maximaldruck P_{max} eines Lawinentypes T_a zusammen (Bertrand und Naiim 2008, 72). Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich ein Körper bis zu einem gewissen Druckausmass elastisch verformt. Wird allerdings ein Schwellenwert überschritten, so verformt sich der Körper plastisch und kann nicht mehr in seinen Ursprungszustand zurück. Also wurde das Schadmaß über das Deformationsverhalten der Wand definiert, indem ermittelt wurde, wieviel Prozent der Wand plastisch und wieviel elastisch auf die einwirkende Lawinenkraft reagierten. Dabei wurde der Grenzwert mit 50% festgelegt (ebd., 72). Das bedeutet, wenn 50 oder mehr % des von der Lawine betroffenen Wandvolumens sich plastisch verformen es zu einem Totalschaden kommt.³⁰

Bei der gemauerten Gebäudestruktur wurde das Schadausmaß als Verhältnis zwischen den kaputten Befestigungspunkten (zwischen den Ziegeln) und der Gesamtanzahl ebendieser errechnet (ebd., 76). Dabei wird Schaden (in diesem Fall zw. 0 = kein Schaden bis 100 = Totalschaden) aus folgenden Variablen abgeleitet. Auf Seiten des prozessbezogenen Druckfeldes sind der Maximaldruck P_{max} und die Druckverteilung *Distribi*, auf Seiten des Objektes die Kohäsion zwischen den Ziegeln c , die Ziegelgrößen L_b und die Breite der betroffenen Wand L entscheidend für die Schadentwicklung (ebd., 81). Außerdem muß bei gemauerten Bauten bedacht werden,

³⁰ Für eine genaue Beschreibung der mathematischen Umsetzung verweise ich auf Bertrand und Naiim (2008, 72-73).

dass eine gleiche Anzahl an zerstörten Befestigungspunkten zu unterschiedlichen Stabilitätsverhältnissen führen kann. Eine Mauer kann durch die Druckeinwirkung zerstört werden und zusammenfallen, allerdings kann als zweite Option ebenso die Stabilität der Mauer beibehalten werden (ebd., 79-80). Dies hängt in ihrer Methode vom Versatz („displacement“ D_{max}) der Ziegel ab, welcher maßgeblichen Einfluss auf den DI hat. Brechen z.B. Ziegel komplett aus dem Verbund heraus, wird davon ausgegangen, dass die Wand zusammenbricht. Auch hier gehen die Autoren davon aus, dass ab einem p_{wall} von 0,5, das bedeutet wenn mindestens 50 % der Befestigungspunkte kaputt sind, die Wand komplett zerstört ist (ebd., 81).³¹

Diskussion

Die Definition des Begriffes Schaden spielt eine zentrale Bedeutung für die Aussageintention des Kurvenbildes. Dabei gibt es unterschiedliche Weisen, Schaden zu definieren, wobei sich im Falle der untersuchten Arbeiten zwei generelle Kategorien, nämlich ein technischer und ein monetärer Schadenswert etablierten. Im Rahmen der Arbeiten ist es jeweils das Ziel, den Schaden anhand quantitativer Kriterien zu bemessen, indem die Schadenswerte zwischen 0 und 1 (0 = kein Schaden; 1 = Totalschaden) liegen. Bei den monetären Herangehensweisen geht es primär darum, den Gebäudewert in Relation zu den Reparaturkosten zu stellen, welche durch ein Lawinenereignis entstehen (vgl. Borter 1999a; Barbolini et al. 2004, Barbolini et al. 2006). Dieser Ansatz stellt ein recht gutes und einfach erkennbares Verfahren dar, weil diese Kennwerte auch für die breite Öffentlichkeit verständlich und nachvollziehbar sind, wodurch ein Grundprinzip der Risikoanalyse einbehalten wird. Dahingehend müssen die Arbeiten von Wilhelm (1997a), Borter (1999b) und von Barbolini (2004, 2006) als gelungen betrachtet werden. Hingegen scheint die technische Schaddefinition von Bertrand und Naiim (2008) als zu kompliziert und zu wenig selbsterklärend, auch wenn sie selbst von Gegenteiligem überzeugt sind (Bertrand und Naiim 2008, 44).

Bei Barbolini et al. (2004, 2006) fällt allerdings im Rahmen der methodischen Umsetzung (vgl. Kap. 3.2.5) des Schadens eine essentielle Ungenauigkeit auf. Sie ziehen Werte heran, welche nicht definiert wurden (vgl. dazu Tab. 4) So weist z.B. das Objekt mit der Nr. 9 einen Schadenswert von 2,5 (siehe Tab. 4) auf. Jedoch wurden die

³¹ Für eine genaue Beschreibung der mathematischen Umsetzung siehe Bertrand und Naiim (2008, 79-81).

Schadenswerte nur in natürlichen Zahlen von 1 bis 4 definiert, wodurch nicht genau klar ist, welcher Schaden sich hinter dem Wert 2,5 befindet. Auch wenn sie die Kategorisierung direkt vom Polizeibericht übernommen haben müssen sie klarstellen, was dieser Wert bedeutet und welches Schadausmass damit verbunden ist.

3.2.5 Umsetzung der Daten in ein Kurvenbild

Um schlussendlich zu einem aussagekräftigen Vulnerabilitätsbild einzelner Objekte zu kommen, muß der letzte methodische Schritt verwirklicht werden, indem die Datenbasis in ein Kurvenbild umgesetzt wird. In diesem Kapitel gilt es aufzuzeigen, wie die einzelnen Ansätze ihre Kurvenverläufe konstruierten. Schließlich muss der gesamte Weg hin zu Endergebnis klargestellt sein.

Grundlegend wurden bei der methodischen Umsetzung der Daten zwei Wege eingeschlagen. Wilhelm (1997a) und Borter (1999b) behelfen sich ihrem Expertenwissen, welches sich aus Erfahrungswerten ableiteten. Aus einer persönlichen Kommunikation mit Wilhelm ging hervor, dass er dieses Wissen vorwiegend aus „*mündliche Besprechungen mit Prüf- bzw. Statik-Ingenieuren*“ (Wilhelm 2009, persönliche Kommunikation vom 17.11.) ableitete. Borter (1999b) bezeichnet z.B. seine Ableitungen als schlichte „*Schätzungen*“ (Borter 1999b, 124).

Der zweite Weg zur Realisierung der Vulnerabilitätskurven, den die bis dato publizierten Werke heranzogen waren vielmehr mathematischer Natur. Barbolini et al. (2004, auch 2006) wählten ein statistisches Verfahren um die Schadwerte mit den Prozessintensitäten zu verbinden. Um zuerst eine Verlinkung zwischen Schaden und Vulnerabilität zu bekommen, errechneten die AutorInnen den „specific loss“ SL für fünf vordefinierte Wertebereiche der Lawinenintensität (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; >20kPa). Die Berechnung erfolgte über die Formel

$$SL = 4(DD)^2/64, \quad (1)$$

welche die AutorInnen aus einer Arbeit von Keylock et al. (1999; nach Fournier d'Alhe 1988) übernahmen und sie für ihre Anzahl an Schadkategorien adaptierten. Zuerst errechneten sie für jede Intensitäts-Kategorie (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; >20kPa) das arithmetische Mittel der objektbezogenen Damage Degrees DD und der dazugehörigen Intensitätswerte. In einem weiteren Schritt wurden die gemittelten DDs in die obenstehende Formel (1) eingesetzt, wodurch sie pro Intensitäts-Wertebereich einen

speziellen SL und eine dazugehörige Lawinenkraft herausrechneten. So bekamen die AutorInnen ihre fünf Punkte (siehe Abb. 4), welche sie in weitere Folge als Basis für die Kurvenführung heranzogen. In einem letzten Schritt wurde eine mathematische Funktion mithilfe der „*linear last [sic!] square*“ (Barbolini et al. 2004, 538) Methode an die errechneten Punkte angelegt. Bei diesem Verfahren wird ein optimaler Linienvorlauf zwischen der Punktverteilung gesucht, indem die geringste Summe der quadratischen Abständen zwischen den Messpunkten und der Kurve ermittelt wird.³² Dadurch approximierten sie für die gesamte Intensitätsweite eigene Vulnerabilitätswerte.

Ebenso schlagen Bertrand und Naiim (2008) eine mathematische Lösung für die Umsetzung der Daten vor. Sie wenden je nach Objektstruktur zwei unterschiedliche computergestützte Modelle an. Dabei gehen die Autoren davon aus, dass betonierte und gemauerte Wände unterschiedliche Materialverhalten aufweisen (Bertrand und Naiim 2008, 52; auch Naiim et al. 2008, 107-108). Bei den betonierten Bauten gehen sie von Materialeigenschaften aus, welche sie als komplexes rheologisches Verhalten bezeichnen (ebd., 59). Sie schlagen daher das numerische, auf einer kontinuierlichen mechanischen Theorie basierende FLAC 3D Modell³³ vor (ebd., 65). Bei dem gemauerten Objekt verwendeten sie hingegen das 3DEC 3D Modell³⁴, welches sich der „*discrete element methode*“ (ebd., 75) bedient. Hier werden die kohäsiven Interaktionen zwischen den Ziegeln modelliert. Dabei fließen bei beiden Ansätzen eine große Anzahl an geometrischer, mechanischer, numerischer und materialbezogener Parameter in die Modellierung ein.³⁵ Außerdem können sie mithilfe des Ansatzes die Verbindung zwischen dem Objekt und dem Untergrund modellieren.

Diskussion

Bei der Umsetzung des Datenmaterials hin zu einem Kurvenbild unterscheiden sich die Ansätze deutlich voneinander. Die älteren Arbeiten von Wilhelm (1997a) und Borter (1999b) basieren auf Annahmen, wodurch ihre Kurven eigentlich durch Expertenwissen abgeschätzt wurden (Borter 1999b, 124). Dementsprechend verdeutlicht Wilhelm

³² Vgl. dazu Björck Å. (1996).

³³ Näheres unter <http://www.itascacg.com/flag3d/index.php> (Zugriff am 29.11.2009).

³⁴ Weitere information unter <http://www.itasca.de/pages/software/3dec/3dec.html> (Zugriff am 29.11.2009).

³⁵ Für eine genaue Auflistung der herangezogenen Parameter verweise ich auf Bertrand und Naiim (2008, 67 & 76).

(1997a): „In diesem Sinne werden im folgenden bauwerkspezifische Schadensfunktionen angenähert [...]“ (Wilhelm 1997a., 67). Borter (1999a und 1999b) verweist schlicht auf die fehlenden Datengrundlagen wegen mangelnden Ereignisdokumentationen (1999a, 111; auch 1999b, 124), wodurch Werte lediglich abgeschätzt werden können. Borter (1999a) mahnt deshalb, dass diese Schätzungen möglichst transparent und somit für den/die LeserIn nachvollziehbar und verständlich gemacht werden müssen.

Das von Barbolini et al. (2004, auch 2006) gewählte Verfahren hingegen beruht auf einer systematisch erfassten Dokumentation der Konsequenzen nach einem Lawinenabgang, wodurch die AutorInnen eine erste pasable Datenbasis haben, um einen statistischen Zusammenhang zwischen der Intensität und dem Schadensgrad zu errechnen. Im Rahmen dessen können sie auf einen bereits existierenden Ansatz zur Konstruktion des Vulnerabilitätsachse zurückgreifen. Bei der Bestimmung der Vulnerabilität beziehen sie sich auf die Methode von Keylock et al. (1999; nach Fournier d'Alhe 1988) wodurch sie eine Bezug zwischen dem Schadausmaß DD und dem specific lost SL erhalten. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass Keylock et al. (1999) diese Formel aus der Analyse isländischer Häuser ableiteten. Hier ist zu beachten, dass sich Bauweisen aufgrund kultureller Bedingungen unterscheiden und eine direkte Übernahme der Methode kritisch zu hinterfragen ist. So weisen z.B. Bell und Glade (2004a, 121) darauf hin, dass viele isländische Häuser recht schwache Holz- oder Betonbauten sind, welche zudem oftmals hangseitig große Fenster aufweisen. Dahingehend unterscheiden sich die isländischen Häuser stark von jenen in Galtür bzw. St. Anton. Ein weiteres Problem im Rahmen ihres Ansatzes ist, dass Barbolini et al. (2004, auch 2006) die Intensitäten und Schäden innerhalb der einzelnen Intensitätskategorien mittelten. Dadurch gingen Ausreisser nur in generalisierter Form in den Liniengang ein. Dies stellt zwar für einen modellhaften Kurvenverlauf eine praktische Lösung dar, allerdings muß beachtet werden, dass die erstellten Standardwerte ebendiese Ausreisser stark über- bzw. unterschätzen können. Auf einer objektspezifischen Betrachtungsebene spielt dies eine wichtige Rolle, denn sodurch können potentiell schadgefährdete Objekte im Sicherheitsmanagement übersehen werden. Gerade wenn Ausreißer nach oben unterschätzt werden, kann dies dazu führen, dass Objekte unzureichender Schutz gewährleistet wird. Vorwiegend wenn es sich um

sogenannte Sonderobjekte³⁶ wie Krankenhäuser,... handelt muss mit dem potentiellen Risiko besonders vorsichtig umgegangen werden, indem diese Unsicherheiten in der Risikoanalyse klargestellt und transparent gemacht werden. Leider verloren die AutorInnen kein Wort über diesen Sachverhalt. Einen weiteren Fehler leisteten sich Barbolini et al (2004, auch 2006) bei der Definition der fünf Intensitätsklassen. Hierbei übersahen die AutorInnen, dass Werte doppelt herangezogen wurden. Ihre Klassengrenzen sind sodurch nicht klar gezogen. Sehen wir uns z.B. die Intensität von 5 kPa an, so findet sich diese Zahl sowohl in der Intensitätskategorie 0-5kPa als auch in der Kategorie 5-10kPa wieder. Dementsprechend sind die Grenzwerte nicht eindeutig zuordenbar. Auch hier hätten die AutorInnen etwas genauer arbeiten müssen.

Diese drei Arbeiten haben die Gemeinsamkeit, dass deren Datengrundlage über Feldbegehungen erhoben wurden. Hingegen arbeiten Bertrand und Naiim (2008) nicht mit im Felde erhobenen Daten, sondern sie rechnen das Verhalten des Materials über computergestützte Modelle nach um zu sehen, ab wann das Material nicht mehr tragfähig ist. Dahingehend schreiben die Autoren selbst, dass „*numerical simulations constitute a good alternative* [zu den im Felde erhobenen Daten: Anm. PJ] *to obtain vulnerability curves*“ (Bertrand und Naiim 2008, 84). Dennoch stehen die Autoren auch hier vor dem Problem, dass mehr Felddaten bzw. Daten aus Experimenten nötig sind, um die Parameter akkurater kalibrieren zu können (ebd., 84). Bei deren methodischer Umsetzung gehen eine Menge an Parameter bezüglich der Materialeigenschaften ein, wodurch die Reaktion der Wand auf einen äußeren Einfluss analysiert werden kann. Dies stellt auf den ersten Blick eine gute Variante dar, allerdings muss diesbezüglich bedacht werden, dass dadurch ebenso das Fehlerpotential erhöht und das Resultat verzeert wird. Das gehört unbedingt bei Risikoanalysen kommuniziert.

3.3 Ergebnisse der einzelnen Arbeiten

In diesem Kapitel werden die mithilfe der zuvor beschriebenen Methoden eruierten Ergebnisse der einzelnen Publikationen klargestellt. Dadurch wird ersichtlich, wie sich die AutorInnen den Zusammenhang zwischen der Prozessstärke und dem Schadausmass von Gebäuden vorstellen. Dadurch können die einzelnen Resultate verglichen und deren

³⁶ Borter (1999a) definiert diese als „*Objekte mit besonderer Schadanfälligkeit, von hohem materiellen oder immateriellen Wert, mit außerordentlichen Menschenansammlungen oder mit der Gefahr von Sekundärschädigungen*“ (Borter 1999a, 31). Für eine detailliertere Auflistung siehe auch Borter (1999a, 56).

Die Abbildung 2 zeigt das Resultat von Wilhelms (1997a) Herangehensweise auf.

verweise ich auf das Kapitel 3.2.4, in dem die einzelnen Schwellenwerte erläutert wurden.

Ähnlich stellt sich Borter (1999b) den Vulnerabilitätskurvenverlauf vor. Die Abbildung 3 aus Borter (1999b, 125) zeigt die einzelnen Gebäudeklassen, die Intensitätskategorien und die dazugehörigen Grenzwerte auf. In den weißen Spalten macht Borter (1999b) Wertvorschläge für die jeweiligen Intensitäts-Klassengrenzen, in den grauen Spalten gibt er Schadenempfindsamkeitswerte für die drei Intensitätskategorien.

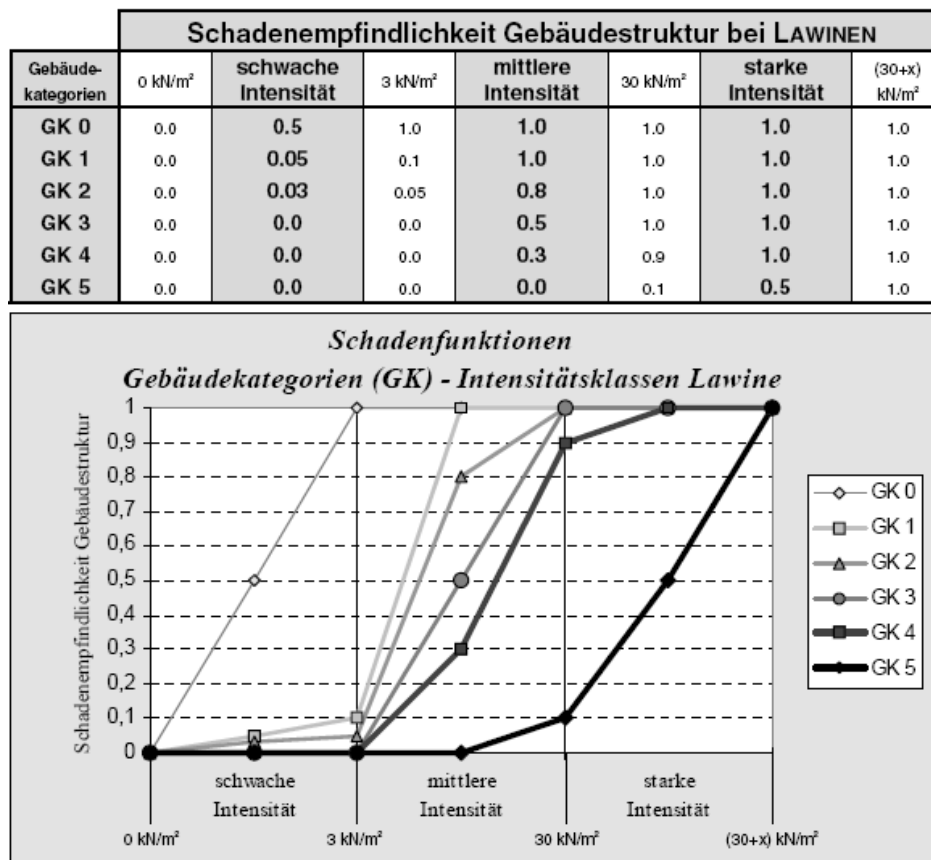


Abb. 3: Die von Borter (1999b) vorgeschlagenen Vulnerabilitätskurven für die einzelnen Gebäudekategorien (aus Borter 1999b, 125).

Die Prozessintensitäten teilt Borter (1999a, 58; auch 1999b, 124) nach den Richtlinien und Empfehlungen des Bundes in drei Klassen ein. Durch die Kombination von der Häufigkeit³⁷ und dem Lawinendruck können Gefahrenzonen in rote, gelbe, blaue und weiße Bereiche ausgewiesen werden (BFF/EISL 1984, 4 und 11). Dementsprechend

³⁷ Die Häufigkeit muss als der reziproke Wert der Wiederkehrdauer angesehen werden (BFF/EISL 1984, 4).

werden die Gefahrenklassen laut den Richtlinien in eine schwache Prozessintensität (zwischen 0 - 3 kN/m²), eine mittlere (zw. 3-30 kN/m²) und ab 30 kN/m² in eine starke Intensität (siehe auch Bründl 2009, 4 Teil B Lawinen) eingeteilt.³⁸ Auch Borter (1999b) schlägt je nach Gebäudetyp differenziert einen speziellen Kurvenverlauf vor. Dabei variieren die Erscheinungsbilder doch deutlich voneinander und können als linear (GK 0), exponentiell (GK 1, 3 und 5) bzw. logistisch (GK 2 und 4) beschrieben werden. Sie nehmen zwar alle im 0-Punkt ihren Ursprung, allerdings verfolgen sie in weiterer Folge unterschiedliche x und y - Werte. Bei den Gebäudebauweisen 0, 1 und 2 können bereits schwache Lawinenkräfte zu Gebäudeschäden (bzw. wie bei der GK 0 zu einem Totalschaden) führen. Bei den robusteren Gebäudekategorien 3, 4 und 5 geht Borter (1999b) davon aus, dass es mindestens eine Prozessintensität von 3kN/m² braucht, um Schäden hervorzurufen. Augenscheinlich ist, dass zum Erreichen des Totalschadens die Kurven stark voneinander divergieren. Rechnet Borter (1999b) bei der GK 0 bereits ab 3 kN/m² mit einer kompletten (ökonomischen) Zerstörung, so steigt die benötigte Kraft für die Zerstörung der stabileren Gebäudeklassen (so rechnet Borter (1999b) bei der GK 5 mit mindestens 30kN/m², um dem Gebäude einen kompletten Schaden zuzuführen) deutlich an. Dadurch wird klar, welche wichtige Rolle die Gebäudebauweise für das Destruktionsverhalten einzelner Objekte darstellt.

Die nachstehende Abbildung 4 spiegelt das Ergebnis des Ansatzes von Barbolini et al. (2004) wieder. Sie errechneten (wie in Kapitel 3.2.5 beschrieben) für jeden der fünf Intensitäts Wertebereiche das arithmetische Mittel. Für den Wertebereich zw. 0 und 5 kPa erhielten sie einen $SL = 0,18367$ und für die Lawinenkraft eine durchschnittliche Intensität von 3,842 kPa. Dementsprechend wurde ein Punkt, repräsentativ für die Kategorie 0-5 kPa eingetragen. Dies bedeutet, dass für die untersuchten Gebäude bei einer Lawinenintensität von ca. 4 kPa ein Schadenswert von ca. 0,2 zu erwarten ist. Bei einer Lawinenstärke dieser Größenordnung muß damit gerechnet werden, dass sich die Reparaturkosten auf ca. 20% des Häuserwertes belaufen. Verfolgt man die Kurve weiter so wird klar, dass Barbolini et al. (2004, auch 2006) von einem linearen Schaden-Intensitäts Verhältnis ausgehen, wobei ab ca. 34 kPa von einer kompletten Zerstörung dieses Gebäudetyp ausgegangen wird (Barbolini et al. 2006, 231).

³⁸ Für die genauen Bemessungsgrundlagen siehe „Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten“ (1984, 11-15) vom Bundesamt für Forstwesen und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung.

$$SL = \begin{cases} 0.0297 P_{imp} & \text{if } P_{imp} \leq 34 \text{ kPa} \\ 1 & \text{if } P_{imp} > 34 \text{ kPa} \end{cases}$$

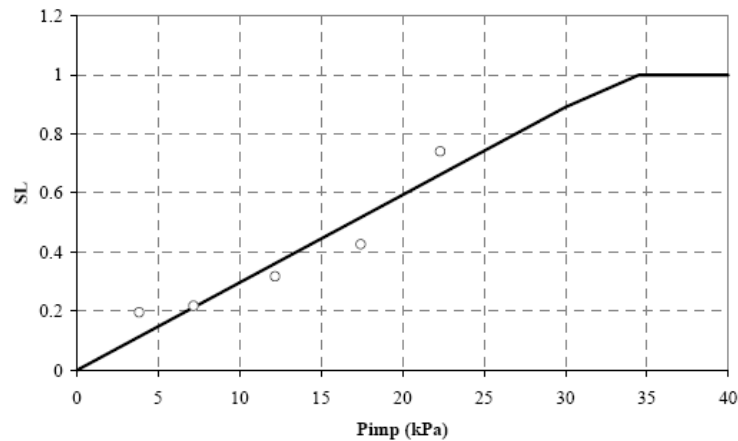


Abb. 4: Die Beziehung zwischen der Lawinenkraft (kPa) einer Staublawine und der Schadensempfindsamkeit für typische „alpine“ Gebäude (aus Barbolini et al. 2004, 538).

Desweiteren errechnen die Barbolini et al. (2006, 231-233) mithilfe des Schadbildes in Morgex im Jahre 1999 einen gültigen Wertebereich, welcher in folgender Abbildung 5 wiedergegeben wird. Die Gültigkeitsspanne bedeutet, dass eine Einschlagsintensität zwischen 4 bis 11 kPa der Lawine dem untersuchten Gebäudetyp einen Gebäudeschaden von 2 (siehe Tabelle 4) zuführt.

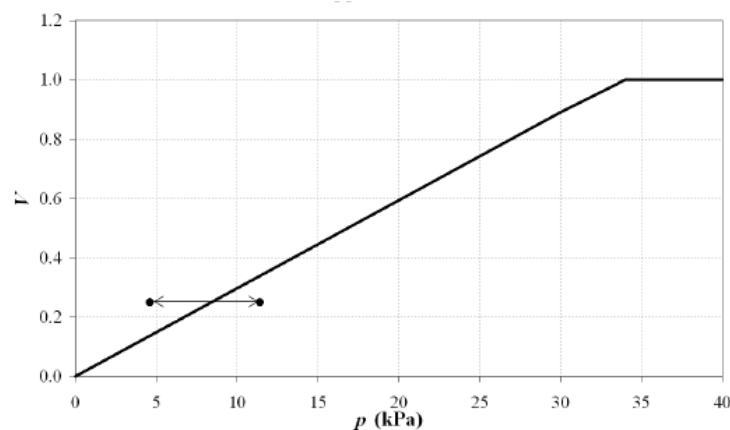


Abb. 5: Minimaler und maximaler Grenzwert, eruiert anhand eines Dachtraufs und eines Mauerwerkes bei einem DD von 2 (aus Barbolini et al. 2006, 233).

Die von Bertrand und Naiim 2008 ermittelten Ergebnisse unterscheiden sich deutlich von jenen der anderen Konzepte. Vorwiegend deshalb, weil ihre methodische Umsetzung komplett anders abgelaufen ist. Die Autoren berechnen für zwei unterschiedliche Bauweisen die Vulnerabilitäten einzelner Systemkomponenten, wie u.a. z.B der Wanddicke, der von der Lawine direkt betroffenen Wandbreite, usw... (vgl. Abb. 34, 35 in Bertrand und Naiim 2008).

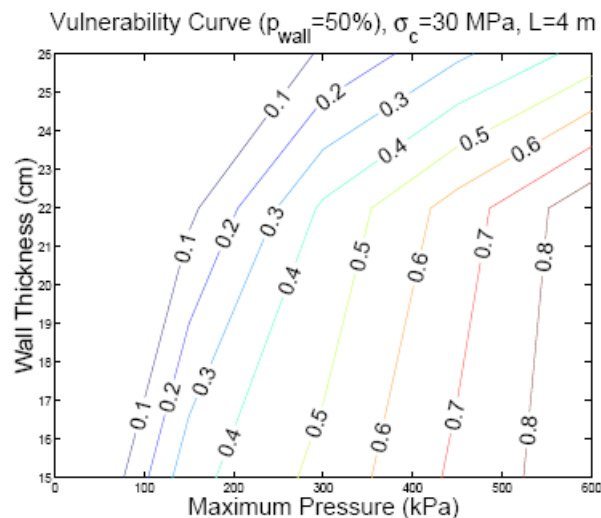


Abb. 6: Das Verhalten der Schadanfälligkeit eines Objektes bei unterschiedlich dicken, betonierten Wänden nach Lawineneinfluss (aus Bertrand und Naiim 2008, 74).

Anhand der obenstehende Abbildung 6 sehen wir ein Resultat aus ihrer Modellierung. Hier wird die Schadanfälligkeit der Wanddicke in Verbindung mit der Lawinenintensität gebracht. Dabei beschreiben sie eine Wand, welche auf 4 m von einer Lawine belastet wird und die eine Druckfestigkeit von 30 MPa aufweist. Auffallend bei der Modellierung sind zwei Trends. Mit einer zunehmenden Wanddicke steigt die Resistenz des Bauelementes gegenüber äußeren Druckeinflüssen an. Desweiteren wird deutlich, dass ab einer Wanddicke von 22 cm die Kurven einen Knick machen. Dies bedeutet, dass bei Wandstärken ab 22 cm das Verformungsverhalten zwischen plastischen und elastischen Zonen sich ändert und die Wände eher der Lawinenkraft standhalten können.

Ein weiteres Ergebnis stellt die Abbildung 7 dar, bei der die Beziehung zwischen der Ziegelgröße und der Vulnerabilität bei unterschiedlichen Druckeinwirkungen modelliert wurde. Hier wird deutlich, dass die Ziegelgröße und die Schadanfälligkeit einer Wand

in direktem Zusammenhang stehen. Das bedeutet je größer die Ziegel, desto stabiler die Wandstruktur.

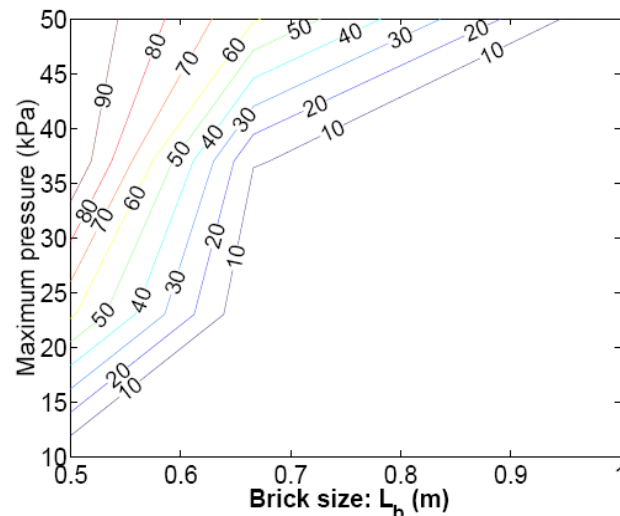


Abb. 7: Beziehung zwischen der Ziegelgröße und der Vulnerabilität bei gemauerten Bauten (aus Bertrand und Naiim 2008, 82).

Diskussion

Bei den Ergebnissen Wilhelms (1997a), Borters (1999b) und Barbolinis et al. (2004, auch 2006) lassen sich, zumindest was die oberen Grenzwerte betrifft, recht gute Übereinstimmungen zwischen der Kategorie „armierte Betonbauten“ und „reinforced concrete building“ herauslesen. Letztere verwiesen in ihrer Arbeit ebenso auf diese gute Korrelation (Barbolini et al. 2004, 539). Auch in der Publikation von Cappabianca et al. (2008) wird angesprochen, dass „*the majority of the relations above* [Anm. PJ: zw. Wilhelm (1997a) und Barbolini et al. (2004)] *show a similar trend*“ (Cappabianca et al. 2008, 195). Es muss jedoch stets bedacht werden, dass die beiden Kurven für unterschiedliche Prozesscharakteristika erstellt wurden, wodurch die Ergebnisse nur bedingt verglichen werden können. Einen markanten Unterschied im Ergebnisbild stellen die Gebäudeschad anfälligkeiten bei geringen Drücken dar. Barbolini et al. (2004) und Barbolini et al. (2006) nehmen an, dass schon bei geringen Drücken zumindest ein leichter Schaden entstehen kann. Wilhelm (1997a) hingegen geht von einer minimalen Schadschwellen bei allen Gebäudetypen aus, welche bei ca. 2-3 kN/m² liegt. Borter (1999b) differenziert die untere Schadgrenze je nach Gebäudekategorie. Bei ihm können die strukturschwächsten Objekte durchaus bei geringen Intensitäten

Schaden nehmen, wohingegen die stärker gebauten Objekte die schwächeren Lawinenkräfte unbeeinflusst überstehen.

Ein primäres Problem bei der Vulnerabilitätsabschätzung stellt, wie es Wilhelm (1997a, 281) selbst feststellt, die Annäherung der Schadanfälligkeit bei mittleren Intensitäten der blauen Zone dar, weil hier vergleichende Werte und Erfahrungen fehlen. Zwar können einzelne Extremwerte recht gut eingeordnet werden, allerdings ist der Schadausmaß in den mittleren Intensitätsbereichen nur schwer vorhersehbar. Es ist in gewisser Weise klar, dass eine starke Lawine eine hohe Schadwirkung aufweist und ein dementsprechendes Verwüstungsbild hinterlässt. Eine schwache Lawine hingegen wird nur wenig Schaden und dies nur bei strukturschwachen Elementen hinterlassen. Das größte Problem demnach ist die Implementierung des mittleren Wertebereiches, da hier ein Graubereich über die Konsequenzen vorliegt (vgl. auch Borter 1999b, 124). Dieses Problem obliegt den drei empirisch ermittelten Arbeiten. Hier gilt es einen Forschungsschwerpunkt zu setzen, um vorwiegend bei Lawinenintensitäten zwischen 5 bis 30 kPa bessere Informationen über die Schadkonsequenzen einzelner Gebäudeklassen zu bekommen. Dahingehend versucht die Arbeit von Barbolini et al. (2006) einen Wertebereich zu etablieren, wobei die Spannweite zwischen 4-11 kPa doch recht groß ist, vorwiegend wenn diese Werte vom 0-Punkt aus auf den maximalen Schaden von 1 linear weitergezogen werden. Dadurch würde sich für den Schadensgrad von 1 eine Spannweite zwischen 18-45 kPa für ein und denselben Gebäudetyp ergeben.

Die Ergebnisse von Bertrand und Naiim (2008) sind hingegen nur schwer mit jenen der anderen 3 Arbeiten zu vergleichen, schließlich evaluieren sie die Schadanfälligkeit nicht über monetäre, sondern vielmehr über technische Werte. Hier stellt sich die Frage, inwieweit dieser Ansatz für einen holistischen Weg zur Gefahrenprävention herangenommen werden kann, wenn die Ergebnisse nur schwer kommunizierbar sind. Ein wesentliches Problem stellt dabei die Definition des Schadensindex dar, welche für einen Laien/ eine Laiin nur schwer verständlich ist. Grundlegend geht es bei Vulnerabilitäts- bzw Risikoanalysen darum, jeden Schritt nachvollziehbar zu gestalten, vorwiegend wenn bedenkt wird, dass im Rahmen eines integralen Risikomanagements eine allumfassende TeilnehmerInnen-Partizipation gewünscht ist. Allerdings stellt ihre Herangehensweise vielmehr einen Ansatz dar, welcher von Experten für ExpertInnen gestaltet wurde. Ein markanter Punkt ist, dass aus ihren Ergebnissen nicht klar wird,

welche Folgen der Lawinendruck auf den Schaden haben kann. Vorteilhaft wäre es ein verständlicheres Schadmaß heranzuziehen, welches einen besseren Bezug für aussenstehende BetrachterInnen hat (z.B. eine monetäre Bewertung des Schadens). Hier wäre es im Rahmen ihrer Arbeit für das Verständnis der Ergebnisse von Vorteil gewesen, wenn die Autoren die von ihnen eruierten Ergebnisse kurz diskutiert hätten. Sie erklären zwar das methodische Herangehen recht akkurat, allerdings versäumen sie es, die gewonnenen Resultate zu erläutern, geschweige den in den Kontext weiterer risikoanalytischer Untersuchungen zu stellen. Es bleibt somit z.B. unklar, warum der Damage Index in der Abbildung 7 für gemauerte Bauten ein Wertspanne zwischen 0 und 100 aufweist.

3.4 Unsicherheiten und deren Darlegung

Im Rahmen der Untersuchung stellte sich schnell heraus, dass die verwendeten Methoden innerhalb der präsentierten Arbeiten stets mit Unsicherheiten befangen sind, welche in weiterer Folge zu einem ungewissen Fehlergrad innerhalb der Ergebnisse führen können. Diese Fehlerquellen sitzen sowohl in der Datenaufnahme als auch der –verarbeitung, wodurch sie sich letztendlich in den Ergebnissen aufsummieren und die am Ende stehende Aussage quasi obsolet machen. Dahergehend gilt zu klären, inwieweit die AutorInnen der beschriebenen Konzepte diesen Aspekt in ihren Arbeiten behandelt haben.

Wilhelm (1997a), Barbolini et al. (2004), Barbolini et al. (2006) als auch Bertrand und Naiim (2008) machen keine genauen Angaben über mögliche Fehlerquellen, geschweige den der Fehlerstärke. Hier wäre es durchaus wichtig, wenigstens qualitative Aussagen bzw. Abschätzungen über den Fehlerausmaß zu treffen. Wilhelm (1997a) erwähnt nur kurz, dass in seiner Arbeit hauptsächlich bei den mittleren Lawinenintensitäten die Abschätzung der Gebäudevulnerabilität mit grossen Unsicherheiten belastet ist (Wilhelm 1997a, 281).

Borter (1999a) hingegen widmet als einziger dem Thema ein kleines Kapitel und meint: *„Risiko ist also immer eine unscharfe Größe“* (Borter 1999a, 14). Dabei gibt er zumindest die Streuung der Faktorenwerte von der Intensität des Prozesses, dem Objektwert und der Schadenempfindlichkeit qualitativ wieder (Borter 1999a, 100). Gleichzeitig erwähnt Borter (1999a), dass sich die Unschärfe bei den einzelnen

Arbeitsritten hin zum Endresultat mittragen und dass vorwiegend per Risikokommunikation auf diesen Sachverhalt hingewiesen werden muss. (ebd. 100).

Diskussion

Unsicherheiten im Rahmen von Risikoanalysen stellen ein stets präsentes Problem dar, welche nur schwer zu umgehen sind. Dementsprechend ist es notwendig, die potentiellen Fehlerquellen immer aufzuzeigen, vorallem deshalb weil Risikoanalysen einen hoch sensitiven Charakter im Rahmen eines entscheidungsfindenden Prozesses haben. Daher werden im späteren Kapitel 4 Wege aufgezeigt, wie ein Umgang mit diesen Unsicherheiten aussehen kann.

3.5 Zusammenfassende Diskussion aller vorgestellten Arbeiten

Obwohl Lawinen ein hohes Gefährdungspotential in besiedelten Bereichen alpiner Staaten spielen, wurde erst recht wenig Forschungsinteresse in die Erstellung sogenannter Vulnerabilitätskurven von Gebäuden aufgezeigt. Dementsprechend sind Ergebnisse bzw. Vorschläge zwischen den Schadverhalten von Gebäuden auf Lawinen noch in bemängelndem Zustand.

Wie wir anhand der Bestandesaufnahme gesehen haben, lassen sich generell zwei Trends bei der Verwirklichung von Gebäudeschadanfälligkeiten beobachten. Bei den älteren Arbeiten wird über die direkte Aufnahme des Schadens und dem „dazugehörigen“ Prozessablauf auf die Vulnerabilität der Gebäude geschlossen (vgl. Wilhelm 1997a, Borter 1999b, Barbolini et al. 2004, Barbolini et al. 2006). Dafür sind allerdings empirische Daten notwendig, welche leider bis dato noch wenig in systematisch ermittelter Form zur Verfügung stehen. Borter (1999a), Wilhelm (1997a) und Barbolini et al. (2004, auch 2006), als auch andere AutorInnen (Keylock et al. 1999, Cappabianca et al. 2008, 195) welche sich dem Thema der strukturellen Vulnerabilität (bzw. der Vulnerabilität von Menschen in Gebäuden) gegenüber Lawinen annehmen, lamentieren über den Mangel an „echten“, im Sinne von empirisch erhobenen Daten. Keylock et al. (1999, 310-311) sehen vorwiegend das Fehlen von angewandter wissenschaftlicher Arbeit als Grund für diesen Datenmangel. Bertrand und Naiim (2008) hingegen versuchen als zweite Variante dieses Problem zu umgehen, indem sie das Materialverhalten numerisch simulieren (Bertrand et al. 2008, 2). Damit

lässt sich die Reaktion der Struktur auf eine Druckeinwirkung mithilfe Experimenten und materialwissenschaftlichen Computermodellen nachrechnen.

Die folgende Tabelle 5 soll nochmal überblicksartig die wichtigsten inhaltlichen Punkte der vorgestellten Konzepte verdeutlichen und die Arbeiten darin einbetten. Dabei wurden die Arbeiten nach den Gesichtspunkten Zielsetzung, Datenbasis, Prozesstyp, methodische Umsetzung, Ergebnis und Fehlerangaben wiedergegeben. Dadurch soll nochmal in aller Kürze aufgezeigt werden, dass es bis heute keine uniforme Ableitung von Schadanfälligkeitswerten von Gebäuden gegenüber Lawinenprozessen gibt.

	Wilhelm 1997a	Borter 1999a und 1999b	Barbolini et al. 2004 (mit der Erweiterung Barbolini et al. 2006)	Bertrand und Naim 2008
Zielsetzung der Publikation	Methodenentwicklung und empirische Datenerfassung bezügl. ökonomisch – technischen Aspekten im Lawinenschutz	Genereller Vorschlag für Risikoanalysen-methodik gegenüber gravitativen Massenbewegungen. „3-Stufen Modell“	Primär das Erstellen einer standardisierten Vuln./Prozess Relation für eine Gebäudebauweise	Erstellung von komplexen Schadens- Intensitätsrelationen mithilfe numerischer Simulationen, Umgehen der Problematik fehlender Daten
Datenbasis	z.T. Voellmy (1955); aber auch „diverse mündliche Besprechungen und Berechnungen mit Prüf- bzw. Statik-Ingenieuren“ ³⁹	In Anlehnung an Wilhelm (1997a)	Wildbach- und Lawinenverbauung, offizieller Polizeibericht, für Prozessmodellierung: Anlehnung an Sauermoser et al.(2004), Luftbilder, Feldbegehungen, Schadbild in Morgex	Keine genaue Angabe über die herangezogene Daten, Referenzwerte aus Experimenten
Prozesstyp	Fliesslawinen	Für schwache Intensitäten nur Staublawine; ansonsten beides.	Staublawine für St.Anton, Galtür und Morgex	Für alle Lawinentypen anwendbar, weil sie ein Druckfeld

³⁹ Dies wurde aus einer persönlichen Kommunikation per E-Mail vom 17.11.2009 im Nachhinein eruiert und ist in seiner Arbeit so nicht ersichtlich.

				modellieren
Methodische Umsetzung	Abschätzung, „Expertenwissen“	Abschätzung, „Expertenwissen“	Mathematisch - statistische Herangehensweise	Numerische Simulation, technischer Ansatz
Ergebnis	Kurven für 5 Gebäudekategorien, graduelle Druckachse (kN/m ²), monetäre Bemessung der Vulnerabilität	Kurven für 6 Gebäudekategorien, kategorisierte Druckachse (kN/m ²), monetäre Bemessung der Vulnerabilität	Eine Gebäudekategorie-Kurve („alpiner Typ“), graduelle Druckachse (kP), monetäre Bemessung der Vulnerabilität	Vulnerabilitätskurven für einzelne Systemkomponenten bei gemauerten bzw. betonierten Gebäuden, technische Bemessung der Vulnerabilität
Fehlerangaben	Keine Aussagen über Fehler, weder quantitativ noch qualitativ	Eigenes Kapitel mit Unschärfen - Thematik	Keine Angaben über Fehler	Keine Angaben über mögliche Fehlerquellen
Probleme innerhalb der Ansätze	Geometrische Objektdefinition als Einschränkung: 4-eckige Quader ohne Balkone,..., Geringe Drücke können ebenso Schaden anrichten, keine Fehlerangaben, Abschätzungen	Vulnerabilitäten der mittleren Intensitätsklasse ungewiss, keine Prozessdifferenzierung, Abschätzungen	Geometrische Objektdefinition (sh. Wilhelm 1997a) Ausreißer (Sonderobjekte), Was bedeutet „partly reinforced“?, Werte wie DD = 2,5 nicht definiert, Grenzwertziehung bei Intensitätsklassen	Aufgrund Multi-parametrisierung nur schwer verständlich, dennoch Annahmen, Fehlerangaben fehlen, Bedeutung des Schadens unklar und nur schwer in Risikoanalyse einbindbar. Geometrische Objektdefinition (sh. Wilhelm 1997a)

Tab. 5: Tabellarische Zusammenstellung zentraler Punkte innerhalb der vorgestellten Arbeiten (eigene Darstellung).

Generell ist zu sagen, dass keine von den hier vorgestellten Arbeiten ohne problematische Schritte bei der Implementierung der Kurven bleibt. Entweder basieren die Arbeiten auf Meinungen von einzelnen Experten, welche sehr situationsbedingt sind. Ähnliches gilt für die Arbeit von Barbolini et al. (2004, auch 2006), welche von zwei statistisch ausgewerteten Ereignissen auf allgemeingültige Werte schließen. Auch ergeben sich im Rahmen der Ansätze viele Ungenauigkeiten, welche zum Teil nur mässig kommuniziert wurden. Das hat zur Folge, dass Wilhelm (1998) um Vorsicht bittet indem er sagt: „*It is emphasized that Fig.4* [Anmerkung PJ: in dieser Arbeit

entspricht es der Abbildung 2] *must not be used as a basis for dimensioning, but only as a help in recording the extent of damage*“ (Wilhelm 1998, 290).

Dahingehend kann klar festgestellt werden, dass bis dato kein einheitliches Konzept für Vulnerabilitätsabschätzungen von Gebäuden bei Lawinenprozessen erstellt wurde. Es sind weiterhin viele Lücken offen, auch wenn die neueste Arbeit von Bertrand und Naiim (2008) versucht, den Mangel an empirischen Daten zu überwinden. Dieser Ansatz stellt aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht eine gute Methode für die Evaluation von Strukturresistenzen dar, jedoch muss diese für die Zwecke holistischer Risikobetrachtungen adaptiert werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass Missverständnisse vermieden werden und Risikoanalysen ihr Soll erfüllen.

4. Folgerungen aus den beschriebenen Arbeiten

Nachdem die wenigen Publikationen beschrieben wurden, ist es nun notwendig Folgerungen und Forderungen für den weiteren Forschungsverlauf abzuleiten. Dazu werden in den nächsten Kapiteln die Probleme, welche bei der Vulnerabilitätsberechnung bzw. der Entwicklung standardisierter Schadanfälligkeitswerte einhergehen, beschrieben. Gleichzeitig gilt es auch die Notwendigkeit solcher Standardkurven für eine kosten- und zeiteffizienteren Risikobestimmung anzudeuten.

Vulnerability	Buildings	Dense avalanches	Wilhelm (1998)
		Powder avalanches	Barbolini et al. (2004b)
	People		
	Inside buildings	Dense avalanches	Jónasson et al. (1999)
			Keylock and Barbolini (2001)
			Barbolini et al. (2004a)
			Cappabianca (2006)
		Powder avalanches	Barbolini et al. (2004b)
	Outside buildings	Dense avalanches	Barbolini et al. (2004b)
		Powder avalanches	–

Abb. 8: Übersicht von den bis 2008 auf Englisch publizierten Ergebnissen bezüglich der strukturellen Vulnerabilität von Gebäuden gegenüber Lawinenprozessen (aus Cappabianca et al. 2008, 195)

Wie die obenstehende Abbildung 8 aus Cappabianca et al. (2008) zeigt, sind Publikationen zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven für Intensitäts-Schaden-Relationen bei Lawinenereignissen Mangelware. Sie weisen auf nur zwei Publikationen hin, welche sich dem Thema annehmen. Fuchs (2009, 339-340) verweist auf 3 publizierte Arbeiten und nimmt neben den beiden in Abb. 9 stehenden auch noch Borter (1999a und 1999b) dazu. Damit stimmt sein „Review“ mit dieser Arbeit gut überein. Auch wurde die Publikation von Bertrand und Naiim (2008) in diese Untersuchung aufgenommen, um einen technischen Weg zur Beurteilung der Schadanfälligkeit einzelner Gebäude aufzuzeigen.

Verschiedenste AutorInnen sprachen in den letzten Jahren dieses Fehlen an veröffentlichtem Material an. Hollenstein (2002), Hollenstein (2005) und Papatoma-Köhle et al. (2007) verdeutlichen in ihren Arbeiten diesen Mangel an Publikationen. Keiler et al. (2006) vermerken diesbezüglich folgendes: „*There is a lack of studies on*

vulnerability related to avalanches in general as well as on temporal changes of vulnerability in both natural science and social science“ (Keiler et al. 2006, 638). Hollenstein et al. (2002) bezeichnen diesen Sachverhalt als „etwas überraschend“ (Hollenstein et al. 2002, 40), vorwiegend in Anbetracht der durchaus guten Verfügbarkeit von zumindest prozessbezogenen Daten. Schließlich gibt es einige Länder mit einer langen Forschungstradition zum Lawinenprozess und dementsprechend guten Lawinenkatastern (vgl. dazu WLK, SLF). Es konnten zwar einige isländische Publikationen bezüglich Vulnerabilitätsabschätzungen gefunden werden, jedoch war keine unter ihnen, welche Gebäude im Zentrum ihrer Untersuchungen hatten. Allerdings verweisen Jónasson et al. (1999, 8) darauf, dass einige Arbeiten nur auf isländisch vorhanden sind und dementsprechend sind diese dem hiesigen Autor nicht zugänglich. Nebenbei deuten Hollenstein et al. (2002, 40) an, dass es nicht zwingend einen Forschungsmangel geben muss (können sich diesen gleichzeitig aber auch durchaus vorstellen). Vielmehr vermuten Hollenstein et al. (2002, 40), dass die Arbeiten inter, also innerhalb forschender Institutionen abgelegt werden und dementsprechend der wissenschaftlichen Gemeinschaft, den politischen Entscheidungsträgern, Versicherungen sowie der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind. Diese Feststellungen zeigen durchaus auf, dass manche ForscherInnen einen dringenden Bedarf in der Konzipierung von Intensitäts-Schaden Relationen sehen. Vorwiegend für Sonderobjekte wäre ein solches Konzept empfehlenswert, um eine quantifizierte Risikoeinstufung zu ermöglichen und wenn anschließend notwendig, eine effiziente und gerechtfertigte Basis für risikominimierende Massnahmen zu gewerkstelligen.

Hollenstein (2005) verdeutlicht in seiner Arbeit, dass Vulnerabilitätskurven für die Beurteilung diverser Prozesseinwirkungen, wie für Erdbeben und Wind (vgl. auch Douglas 2007)⁴⁰ durchaus gängig sind. Bei gravitiven Massenbewegungen (Hollenstein

⁴⁰ Douglas (2007) nennt in seiner Arbeit u.a. folgende Gründe für eine stärkere Tradition der Einbindung strukturelle Schadanfälligkeiten bei Erdbeben gegenüber anderen Prozessen. Dazu zählt er: 1. Erdbeben sind nur schwer durch technische Massnahmen kontrollierbar, 2. Erdbeben sind großräumig und spontan, dementsprechend sicherheitsbringende Konzepte notwendig, (geringere räumliche Ausdehnung anderer Prozesse (Steinschlag, auch Lawinen) bzw. langsamere, schleichende Prozesse), 3. Erdbeben töten selten direkt Menschen, sondern es ist zumeist der Gebäudeschaden, welcher Menschen tötet 4. Bei Erdbeben ist der schadbringende Prozessparameter gut ermittelbar, bei anderen Prozessen ist dies nur schwer zu sagen (komplexeres Schadverhalten von Lawinen) 5. gutes empirisches Datenmaterial aufgrund präzisen Ereignisdokumentationen nach Erdbebenereignissen als auch gutes Datenmaterial zu den Struktureigenschaften.

zählt Lawinen dazu) gibt es jedoch folgende Probleme und Schwierigkeiten (nach Hollenstein 2005, 302f):

- Den Hauptgrund sieht er in der generell spärlichen Auseinandersetzung mit Vulnerabilitätsaspekten innerhalb der Naturgefahrenforschung. Auch heute noch werden bedrohte Objekte bzw. Räume vorwiegend aus einer Prozessanalyse abgeleitet, ohne strukturelle Eigenschaften in die Problembetrachtungen miteinzubeziehen. Dies verdeutlicht auch die aktuelle rechtliche Lage in Österreich bei der die „*Analysen des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit nicht zwingend erforderlich sind*“ (Keiler und Fuchs 2008, 379; nach Hattenberger 2006; Kanonier 2006).
- Durch die relativ genaue räumliche Abgrenzbarkeit von Lawinen können Schadereignisse recht einfach verhindert werden, indem bekannte Lawinenstriche (z.B. durch raumplanerische Strategien) gemieden werden.
- Einen weiteren Grund wittert Hollenstein (2005, 302) schlicht in den bereits existierenden und zufriedenstellend angewandeten Methoden innerhalb einer institutionell ablaufenden Gefahrensicherung, wodurch weitere theoretische Herangehensweisen als unnötig betrachtet werden (auch Papathoma-Köhle et al. 2007, 766). Vielleicht lässt sich daraus eine gewisse staatlich-institutionelle Zufriedenheit mit bereits bestehenden Konzepten ablesen.

4.1 Unsicherheiten bedingen Fehler in der Risikoanalyse

Diese obenstehenden Gründe tragen dazu bei, dass Vulnerabilität innerhalb staatlicher Massnahmenplanungen stiefkindlich behandelt wird. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass die Auseinandersetzung mit Vulnerabilitäten eine kostenspielige und zeitaufwendige ist (Fuchs 2009, 340), vorwiegend wenn Objekte im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen. Leider sind bis heute die vorgestellten Kurvenverläufe noch zu sehr mit **Unsicherheiten** aufgrund Schätzungen und Annahmen belastet, die Analysen sodurch auf Heuristik basierend (v.Elverfeldt et al. 2008, 36). Dadurch ist das Werkzeug stark fehleranfällig und ist dementsprechend nicht in einen staatlich-institutionellen Entscheidungsprozess einbindbar. Vorwiegend sind es die Schadanfälligkeiten von Gebäudestrukturen, deren Implementierung stark von Unsicherheiten bezüglich des Fehlerausmasses belastet sind. Oder wie Douglas (2007; nach e.g. Crowley et al. 2005)

sagt: „*However, even when fragility curves are used predicted losses are still associated with large uncertainties*“ (Douglas 2007, 284). Auch Bohle und Glade (2008, 115) sprechen diese Schwierigkeit in ihrer Arbeit an und verweisen darauf, dass bei jedem Analyseschritt mit Unsicherheiten zu rechnen ist. Diese können dazu führen, dass Ergebnisse verzeert werden und Fehlinterpretationen bezüglich sicherheitsrelevanter Fragen die Folge sind. Dementsprechend müssen Wege im Umgang mit diesen Einschränkungen gefunden werden. Basisschaffend gilt es, die Gründe für diese Ungewissheiten aufzuzeigen. Zischg (2005, 824; auch Zischg et al. 2004) klassifiziert dazu nach Zimmermann (1993) Ungewissheit in 3 unterschiedliche Typen:

- Als mangelndes Wissen über den zukünftigen Systemzustand,
- als mangelnde Information über das zukünftige Systemverhalten und
- als Ungenauigkeiten im Zuge von Messungen.

Diese 3 Gründe verdeutlichen, warum es dermaßen schwer ist, Aussagen über zukünftige Risikoszenarien zu treffen. Es ist schlicht das unzureichende Wissen über zukünftige Entwicklungen, wodurch die Vulnerabilitätsanalysen stets spekulativen Charakter aufweisen.

Im folgenden sollen die potentiellen Unsicherheiten 1. *auf der Prozess-* als auch 2. *auf der Objektebene* aufgezeigt werden.

Fehlende Datengrundlage

Die wohl zentralste Schwierigkeit ergibt sich aus einer **ungenügsamen Datenlage** vorwiegend bezogen auf die Schadanfälligkeiten von einzelnen Risikoelementen. Diese prekäre Situation führt dazu, dass nicht klar ist, wie die einzelnen Gebäude auf äussere Einflüsse reagieren. Und auch wenn einzelne Objektvulnerabilitäten erhoben werden stellt sich die Frage, wie diese Information auf eine übergeordnete, umfassendere Systemebene gebracht werden können (Hollenstein et al. 2002, 50), um standardisierte Werte aus den Untersuchungen abzuleiten.

Um dieses Problem zu beheben, müssen mehr Daten systematisch akquiriert werden. So führen z.B. bei einer statistischen Herangehensweise mehr Daten zu einer größeren Punktwolke (vgl. dazu die Herangehensweise von Barbolini et al. 2004), wodurch z.B. die von Barbolini et al. (2004) vorgestellten Werte überprüft werden können.

Fehleranfälligkeit bei der Prozessmodellierung aufgrund inakkurater Modellparametrisierungen

Ein weiterer Aspekt, welcher die Fehleranfälligkeit von Vulnerabilitätskurven durchaus beeinflusst sind die Ungenauigkeiten bzw. die Ungewissheiten bei der Parametrisierung von Computermodellen. Selbst bei den technisch recht ausgefeilten Simulationsmodellen (ELBA+, SAMOS, etc.) und einem gutem Datenbestand bezüglich klimatischer Daten müssen stets potentielle Fehler bei der Aussagekraft der Modellergebnisse angedacht werden (Kulterer 2005, 15; nach WLV 2003). Vorwiegend die Eingangsdaten (Geländemodell, die Anrissgebiete, die Anrisshöhen, Reibungskoeffizienten, etc.) müssen wohlüberlegt durch die Auswertung statistischer Daten⁴¹, nach Kontrollen bei Feldbegehungen,... in das Modell eingespeist werden. Auch können, trotz der stets vorwärtsgetriebenen Entwicklungen zur Modelloptimierung viele Prozesseffekte nur unzulänglich nachgestellt bzw. vorhergesagt werden. Beispielweise kann es vorkommen, dass Nassschneelawinen in nur schwer prognostifizierbaren Ablagerungsmustern zu Stillstand kommen („fingering“-Effekt⁴²).⁴³ So stehen trotz aller Forschung noch viele Fragen bezüglich des physikalischen und rheologischen Verhaltens von Lawinen offen, wodurch diese Ungewissheiten zu Fehlern in den Modellen führen können (Keylock und Barbolini 2001, 228). Dementsprechend fordern die Autoren ein „*accurate model of flow behaviour*“ (ebd., 228), um möglichst genaue Werte für die Lawinenschadparameter (wie Druck, Fließhöhen, Geschwindigkeiten) zu errechnen. Ebenso haben wir in der Arbeit Barbolinis et al. (2004, 537) gesehen, dass Abschirmeffekte nur durch Abschätzungen in die Prozessmodellierung eingerechnet werden konnten, weil diese im Computerprogramm SAMOS nicht implementiert sind. Fuchs (2009, 340) spricht dieses Problem in seiner Arbeit an und verweist darauf, dass Gebäude wie Abbremshöcker wirken und den Prozess verlangsamen können (siehe auch Voellmy 1955). Allerdings muss diesbezüglich beachtet werden, dass selbst wenn Simulationen diesen Sachverhalt

⁴¹ Wilhelm (1997a, 29) spricht in dieser Hinsicht von einem „Maß an Gewißheit“ mit denen Lawinen auftreten. Diesbezüglich können über statistische Messreihen objektive Auslösewahrscheinlichkeiten abgeleitet werden.

⁴² Darunter versteht man eine „*instability when a front of a granular material propagates down a rough inclined plane. The front, which is initially uniform in crosssection, rapidly breaks up into fingers*“ (Pouliquen et al. 2007, 816). Dahingehend lagern sich die Schneemassen in fingerähnlichen Bahnen ab (vgl. dazu Photo Fig.2 in Fuchs (2009, 341)).

⁴³ Für eine bessere Berechnung dieses Effektes schlagen Cappabianca et al. (2008) 1D-Modelle vor.

darstellen könnten, es sich bei den Modellen generell um Abbilder der Realität handelt (Kulterer 2005, 15; nach WVL 2003), welche reduktionistisch in ihrer Natur (Kleemayr 2004, 130)⁴⁴ sind.

Reduktion komplexer Systeme⁴⁵ auf einfache Modelle

Die meisten oben beschriebenen Vulnerabilitätskurven stützen sich auf Annahmen (Wilhelm 1997a, Borter 1999a und 1999b) bzw. greifen auf einfache mathematische Modelle zurück (Barbolini et al. 2004, auch 2006). Dabei wird klar, dass die Modelle auf einzelne schadverursachende Parameter heruntergebrochen werden. In den oben beschriebenen Arbeiten nehmen Wilhelm (1997a), Borter (1999a und 1999b) & Barbolini et al. (2004, auch 2006) an, dass sich Schaden aus einer Kombination von 2 Parametern, nämlich dem Gebäudebaumaterial und der Druckemission der Lawine errechnen lässt. Beachtet muss aber werden, dass es sich bei diesen Annahmen um starke Vereinfachungen komplexer Systeme handelt (Fuchs 2009, 340), wodurch andere schadevozierende Ursachen schlicht außer acht gelassen werden und damit nicht in die Risikobestimmung einfließen. Damit basieren die Kurven auf einfachen Ursache-Wirkungs-Formel, dementsprechend führt diese **Monokausalität** zu Ungenauigkeiten und somit zu Schwächen bezogen auf die Aussagekraft solcher Vulnerabilitätskurven. Es ist zwar anzunehmen, dass bei Lawinen Drücke und das Gebäudematerial starken Einfluss auf den Gebäudezustand nehmen. Allerdings darf nicht darüber hinweggetäuscht, dass ebenso die Fliesshöhe einer Lawine oder auch mit der Lawine mittransportierte Feststoffe wie Bäume, Steine,... (vgl. Bründl et al. 2009, 1 Teil B Lawine) ein anderes Vulnerabilitätsbild, als jene in den Kurven beschrieben, hervorrufen können. Dennoch kann man nicht, wie am Beispiel Bertrands und Naiim (2008) aufgezeigt, schlicht annehmen, dass eine multiparametrische Methode die Unsicherheiten automatisch minimiert. Ganz im Gegenteil sogar führt eine komplexe Methodik dazu, dass auch die Fülle an Unsicherheiten erhöht wird und gleichzeitig die Berechnungen undurchsichtiger sind. So verwenden zwar Bertrand und Naiim (2008) eine Fülle an Parametern, ohne allerdings auf die möglichen dahinterstehenden Fehlerquellen zu verweisen.

⁴⁴ Kleemayr (2004, 130) spricht in seiner Arbeit an, dass es (zumindest damals) noch keine Verbindung zwischen thermodynamischen und rheologischen Modellen gibt, obwohl das mechanische Verhalten von Schnee durchaus von klimatischen Bedingungen und den Kornformen abhängig ist.

⁴⁵ Für weiterführende Literatur über Komplexität in der Geographie verweise ich auf Lukesch (2009)

4.2 Vorschläge zur Handhabung der Unsicherheiten

Um mit dem Manko der Unsicherheiten umzugehen und dennoch Vulnerabilitäts- bzw. Risikoanalysen quantitativ erstellen zu können schlagen einige AutorInnen verschiedenste Lösungswege vor. Dabei lassen sich 2 grundlegende Richtungen bei der Fehlerabsprache bestimmen.

Hollenstein et al. (2002), Zischg et al. (2004) und Hollenstein (2005) empfehlen das Verhältnis zwischen Intensität und Schadanfälligkeit mithilfe Formulierungen aus der Fuzzy Logic zu verwirklichen, um die Ungenauigkeit des Datenbestandes besser zu handhaben. Zischg et al. (2004, 526) gehen davon aus, dass bei linearen Gleichungen die Unsicherheiten in den Eingangsparametern direkt über die Unsicherheiten beim Informationsoutput entscheiden. Darum schlagen sie vor bei mehrparametrischen Funktionsgleichungen auf die Methode der **Fuzzy-Logic** (um Mehrdeutigkeiten und Unklarheiten zu bestimmen) bzw. die **Monte Carlo Simulation** (um Zufälligkeit zu bestimmen) zurückzugreifen. Mithilfe Fuzzy Logic ist es möglich, mit ungenauen und unpräzisen Eingangsparameter zu rechnen (Zischg 2005, 824), sogenannten „*weichen Größen*“ (Hollenstein et al. 2002, 62) und so die Ungenauigkeiten bzw. den Fehlerausmass transparent zu machen (Zischg et al. 2004).

Einen anderen Weg schlagen Bell und Glade (2004a, 130) in ihrer Arbeit ein, in der sie Ungenauigkeiten qualitativ abschätzen. Dabei dröseln sie tabellarisch auf, wo und wie die Ungewissheiten für die einzelnen Eingangsparameter einer Risikoanalyse sind und woher die Gründe dafür kommen. Offensichtlich wird dabei, dass vorwiegend der Faktor der Vulnerabilität einen hohen bis sehr hohen Grad an Ungenauigkeit aufweist, da Daten und Forschungsergebnisse rar sind (ebd., 130). Dieser Lösungsvorschlag verfolgt das Ziel, die einzelnen Parametrisierungsschritte **transparent und nachvollziehbar** darzulegen, um eventuelle Missverständnisse zu verhindern. Es geht vorwiegend darum, dem/der BetrachterIn den Weg zu den Resultaten aufzuzeigen und damit eigene methodische und konzeptuelle Schwachstellen zu akzeptieren. Vorwiegend bei dem iterativen Vorgehen in der Risikoanalyse herrscht die Gefahr, dass Fehler sich kummulieren und dementsprechend die Endaussage irreführend wird. Auch Bohle und Glade (2008, 115) plädieren für eine Klarlegung der Unsicherheiten, indem die potentiellen Schwachstellen innerhalb der Risikoanalyse kommuniziert und für

Aussenstehende begreifbar gemacht werden. Außerdem schlagen Bell und Glade (2004a, 130) vor die Resultate einer Risikoanalyse nicht als absolute sondern als relative Werte anzusehen. (nach IUGS Working Group on Landslides - Committee on Risk Assessment 1997, Heinemann 1999).

5. Perspektiven

In diesem *abschliessenden Kapitel* soll eine gesamtheitliche Einordnung der vorliegenden Arbeit in die risikoorientierte Naturgefahrenforschung gegeben werden. Es gilt abzuklären, welchen Nutzen quantitative Risikoanalysen und damit verbunden Intensitäts-Vulnerabilitätsrelationen als Planungsbasis bzw. als entscheidungsstützendes Werkzeug für planerisch-technische Massnahmen darstellen. Nachdem die ersten, in Kapitel 1.1 gestellten Fragen geklärt werden konnten, sollen nun noch die zukünftig relevanten Forschungsbereiche bezüglich des Themas ausgemacht werden.

Es wurde im Laufe der Arbeit recht schnell klar, dass Publikationen zur Erstellung von Vulnerabilitätskurven innerhalb der Lawinenforschung rar sind. Jene wenigen Arbeiten welche publiziert worden, stehen obendrein auf einer wackeligen Basis, wodurch die Aussagekraft ebendieser hinterfragt gehört. Die Arbeiten basieren demnach auf (z.T. gerechtfertigten) Annahmen, begründet über transparentes ExpertInnenwissen, im Falle von Barbolini et al. (2004, auch 2006) auf einer mathematischen Ableitung von erhobenen Daten oder wie im Falle von Bertrand und Naiim (2008) auf komplexen, aber undurchsichtigen numerischen Modellierungen.

Nun stellt sich die Frage, wie in naher Zukunft die **Forschungsschwerpunkte** gelegt werden müssen, um dieses Instrument besser in ein Risikomanagement einzugliedern. Einen zentralen Aspekt spielt sicherlich die Überwindung der Unsicherheiten, im Sinne einer möglichst genauen Benennung bzw. Minimierung ebendieser. Denn nur so kann das Instrument als Grundlage für risikobasierte Entscheidungen zur Optimierung von Schutzmassnahmen dienen. Schließlich wird es staatlichen Institutionen schwer fallen, die oben vorgestellten Ansätze in ihr Risikokzept einzubauen, ohne eine Grundlage zur Rechtfertigung der erstellten Ergebnisse zu haben. Staatliche Massnahmen müssen transparent und vertrauenswürdig, im Sinne von möglichst „realitätsnah“ sein, wohingegen die obigen Beispiele eine Fülle an potentiellen Fehlerquellen aufweisen. Dahingehend müssen in Zukunft folgende Punkte forciert werden.

- (1) Barbolini et al. (2006, 234) fordern **mehr empirisches Datenmaterial**, um ihr Kurvenbild zu optimieren. Nur eine gezielte Datenerfassung direkt nach einem katastrophalen Ereignis hilft weiter, Vulnerabilitätskurven zu validieren bzw. über deren Aussagekraft detailliertere Information zu bekommen.

Ereignisdokumentationen sind im Alpenraum durchaus möglich, schließlich gehen Jahr für Jahr Lawinen ab, welche Siedlungen betreffen und damit menschliches Gut zerstören. Dementsprechend müssen direkt nach einem katastrophalen Ereignis Beobachtungen und normiert ablaufende Datenerfassungen vor Ort getroffen werden, um Schäden an Objekten festzuhalten. Diese Schadevaluation muss direkt an das Schadereignis anschließen, weil Schäden zumeist wieder recht schnell weggeräumt bzw. behoben werden, wodurch das eigentliche Schadausmass bald nicht mehr eruierbar ist. Gleichzeitig ist es notwendig prozessbezogene Attribute aufzunehmen, um ein möglichst genaues Rückrechnen des Lawinendruckes bzw. etwaiger anderer Schadfaktoren zu gewährleisten. Sodurch können die Simulationsmodelle optimiert und deren Ungenauigkeiten verringert werden.

Das österreichische Lebensministerium sieht in der Ereignisdokumentation vor allem das Ziel, Daten zu erhalten um Naturgefahren besser zu beurteilen, zukünftige Ereignisse zu verhindern und bewusstseinsbildende Massnahmen für die Bevölkerung zu treffen (Lebensministerium 2009, Vorwort). Hübl et al. (2006) geben im DOMODIS-Handbuch eine Empfehlung ab, wie eine koordinierte und strukturierte Datenaufnahme aussehen soll. Auch wenn in ihrer Dokumentationsanleitung primär die Prozesserhebung im Vordergrund steht, gibt ihre Arbeit ebenso Empfehlungen für die Aufnahme von Schäden bedingt durch den Naturprozess ab (Hübl et al. 2006, 4; auch 37-39). Diese aufgenommenen Daten müssen als Basis herangezogen werden, um Vulnerabilitätskurvenverläufe zu erstellen bzw. die wenigen existierenden Vorschläge zu optimieren und müssen dementsprechend der wissenschaftlichen Tätigkeit zugänglich gemacht werden. Bei der Datenerhebung ist es wichtig, stets die Verbindung zwischen dem Prozess, deren Charakteristik und dem Schaden zu bedenken. Somit ist es wichtig, Schäden so detailliert wie möglich aufzunehmen. Das bedeutet, dass jedes Objekt auf dessen Schadausmass hin untersucht werden muss und gleichzeitig Daten über die Objektstruktur, die Gebäudebauweise, den Erhaltungszustand, über eventuelle Schutzmassnahmen vor Ort, wenn möglich auch über die Innenraumsituation bzw. die Raumkonzepte der Häuser (zur Berechnung der Vulnerabilität von Menschen in Gebäuden), u.v.a.

aufgenommen werden müssen. Diese Schäden gilt es zu kartieren, photodokumentarisch aufzunehmen und zuguterletzt in eine Datenbank einzuspeisen.

Hübl et al. (2006) verweisen in der nachstehende Abbildung 9 auf die Struktur und die Methodik hinter der möglichen Datenaufnahme. Sie beziehen sich in ihrer Empfehlung primär auf die prozessbezogene Datenerhebung, dennoch lässt sich dieser Ansatz auch auf eine risikobasierte Aussagekraft und die Aufnahme von strukturellen Daten ummünzen. Dahingehend soll auch die Stellung des Vulnerabilitätskurvenkonzeptes innerhalb der methodischen Herangehensweise aufgezeigt werden. Erst diese exakte Datensammlung ermöglicht es, bereits erstellte Vulnerabilitätskurven ex-post zu evaluieren und damit ihre Aussagekraft für ex-ante Untersuchungen zu verbessern.

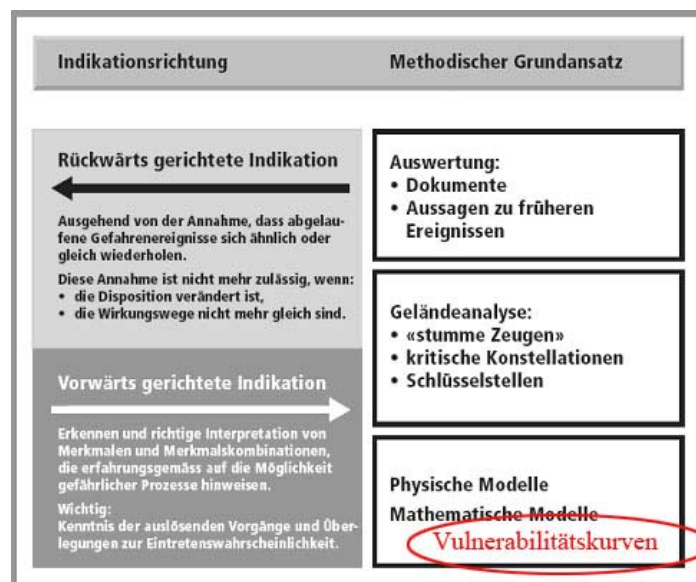


Abb. 9: Methodische Herangehensweise zur Datenaufnahme bei der Gefahrenanalyse (leicht verändert aus Hübl et al. 2006, 5)

Auch lässt sich nur über eine umfangreiche Datenerhebung klären, wie die bis jetzt erstellten Konzepte mit der „Realität“ übereinstimmen und ob aus den bisherigen Konzepten bereits die ersten Standardwerte für gewisse Gebäudebauweisen ablesbar sind.

- (2) Gleichzeitig wird es in naher Zukunft von Nöten sein, Gefahrenbereiche nicht rein über singuläre Prozessbeurteilungen auszuweisen. Denn zumeist werden

Räume durch die **Kopplung verschiedenster Naturprozesse** bedroht. Bell und Glade (2004b, 197)⁴⁶ weisen darauf hin, dass die Beurteilung nur eines Prozesses zu Missverständnissen bezüglich des Risikos führen kann. Sie fordern Multi-Risiko Ansätze, wann immer es möglich ist (ebd., 198). Dementsprechend steigen aber die Komplexität bzw. die Unsicherheiten für multiprozesuale Vulnerabilitätsabschätzungen an, schließlich müssen unterschiedliche schadbringende Parameter eruiert (bei Lawinen z.B. Druck, bei Hochwasser z.B. Fließhöhe, Fließgeschwindigkeit,...) und zusammengefasst werden. Douglas (2005, 47) verdeutlicht, dass ebendieser Sachverhalt zu Schwierigkeiten bei der Erstellung von Multirisikokarten führen kann, weil sich dadurch nur schwer standardisierte Unsicherheitswerte finden lassen. Außerdem muss beachtet werden, dass zumeist die Datenbasis für multiprozesuale Risikountersuchungen spärlich ist. Denn auch hier gilt, dass erst eine bessere Datensammlung, gewährleistet durch eine akkurate Ereignisdokumentation treffendere Aussagen über strukturelle Vulnerabilitäten bzw. Risiken zulässt. Bezogen auf Multi-Risiko Räume muss dies bedeuten, dass eine bessere Kommunikation zwischen unterschiedlichen, sich mit Naturgefahren beschäftigenden Institutionen (WLV, LWD, Geologische Bundesanstalt, wissenschaftliche Institutionen usw...) notwendig ist. Dazu kann eine zentrale Datenbank helfen, in die die wichtigen Prozess- und Schaddaten aufgenommen werden und welche stets für Untersuchungen ebendieser Institutionen offen steht.

- (3) Eine Möglichkeit, um den Vulnerabilitätskurvenverlauf zu optimieren, ist von **anderen Prozessen** mit einer besseren Forschungsvergangenheit bzw. eines größeren Datenpotential bezüglich Gebäudeschadanfälligkeiten Informationen abzuleiten. Diesbezüglich eignen sich eventuell Graphen aus der Hochwasserforschung. Bei Hochwasser schlagen z.B. Romang und Margreth (2006, 222) einen stufenweisen Anstieg der Schadanfälligkeit mit der Intensität vor. Dies ließe sich auch bei Fließlawinen implementieren, vorwiegend dann,

⁴⁶ Auch schlagen Bell und Glade (2004b, 202) in ihrer Arbeit Schadanfälligkeitswerte für Lawinen vor, allerdings konstruieren sie keine Kurven, mit der für jede Prozessintensität der zu erwartende Schadensausmaß verdeutlicht wird.

wenn bei kritischen Stellen wie Fenster oder andere Öffnungen Schneemassen in das Gebäude eindringen und den monetären Gebäudeschaden deutlich erhöhen. Dementsprechend wäre die Ablagerungshöhe der Lawine ein Proxy für die Intensität. Auch vergleichen z.B. Bohle und Glade (2008, 157) die Wirkung von Feuchtschneelawinen mit jenen von Muren und flachgründigen Translationsrutschungen. Daraus schließend könnten Vulnerabilitätsszenarien aus diesem Prozessschwerpunkt auf ebendiese Lawinenform projiziert werden.

- (4) Einen weiteren wichtigen Punkt bei der Implementierung von Vulnerabilitäten stellt der räumliche und vorwiegend **zeitliche Wandel** der Rahmenbedingungen als auch der einzelnen Systemelemente dar. Dabei muss der Aspekt der Aktualität von Ergebnisse kritisch hinterfragt werden. Hufschmidt et al. (2005, 375) zeigen in ihrer Arbeit auf, dass Vulnerabilität und die damit verbundenen Elemente stets einem zeitlichen Wandel unterworfen sind. Naturprozesse verändern ihre Dynamiken z.B durch den Klimawandel (Stethem et al. 2003, 493), soziale Systeme sind sozioökonomischen Transformationen unterworfen und dementsprechend ändern sich die perzeptiven Mustern gegenüber Naturgefahren (vgl. Keiler 2004⁴⁷, auch Hufschmidt et al. 2005; Keiler und Fuchs 2008). Auch kritisieren die AutorInnen, dass Risiken nur anhand statischen Ansätzen gemessen werden, ohne auf die dynamischen Eigenschaften von Systeme einzugehen und somit stellen sie einen „*moment in time*“ (Hufschmidt et al. 2005, 376) dar. Keiler und Fuchs (2008) unterscheiden in ihrer Arbeit kurzfristige & langfristige Wandlungen der Vulnerabilität. Bei Gebäuden sind es vorwiegend die langsam ablaufende Änderungen, welche die Schadanfälligkeit eines Objektes ändern. So verlieren Objekte, wenn auch schleichend, im Laufe der Zeit ihre Stabilität und werden dadurch sensibler gegenüber äusseren Einflüssen. Diese Risikoveränderung, einhergehend mit der altersbedingten Schwächung, muss in regelmäßigen Zeiten nachkontrolliert werden, damit die Sicherheit einzelner Gebäude gewährleistet ist. Umgekehrt

⁴⁷ Keiler (2004, 255) schliesst in ihrer Arbeit auf die Wichtigkeit zeitlicher Analysen für die Vulnerabilitätsabschätzung. Dabei nimmt sie die Entwicklung des Schadenpotentials in den Fokus ihrer Untersuchungen. Zentrale Aussagen ihrer Arbeit sind u.a., dass eine zeitliche Entwicklungsanalyse des Schadenspotentials für Zukunftsprojektionen notwendig ist, dass durch eine genauere Analyse der Risikoelemente auch die Risikoanalyse genauer wird und dass mithilfe von Schadenpotentialanalysen risikominimierende Entscheidungen besser getroffen werden können.

kann ein Gebäude durch die Errichtung protektiver Massnahmen am oder beim Objekt seine Vulnerabilität minimieren. Dementsprechend gehört auch hier, z.B. nach Errichtung von Schutzmassnahmen⁴⁸ bzw. nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne eine Neuevaluation der Objektvulnerabilität und des damit verbundenen Risikos unternommen.

- (5) Außerdem muß stets im Hinterkopf behalten werden, dass naturwissenschaftlich-technische Vulnerabilitätsbetrachtungen und die damit verbundene Erstellung von Vulnerabilitätskurven realitätsannähernde Konstruktionen darstellen. Vorwiegend mit dem Wissen, dass Risiko mehr ist als schlichte Wahrscheinlichkeitsrechnungen und Betrachtungen von Objektschadanfälligkeiten wird es notwendig, sensitiv mit dem Thema Sicherheit, Verletzlichkeit und Risiko umzugehen. Denn wie Proske (2007) feststellt: *„Aber Sicherheit kann gar nicht alleine aus technischen Parametern erfasst werden, da Sicherheit letztendlich ein Gefühl ist“* (Proske 2007, 402). Dahingehend muss vorderstes Ziel sein Vulnerabilitäten zu senken, indem Risiken und Vulnerabilitäten bewusst kommuniziert und somit verantwortungsvoller Handel auf eine allumfassende TeilnehmerInnenebene gebracht wird.⁴⁹
- (6) Ein nicht zu unterschätzender Punkt ist die Kostenfrage hinter Risikoanalysen und den folgenden sicherheitsstiftenden Massnahmeplanungen. Dementsprechend ist es wichtig, auf allen AkteurInnenebenen strukturiert zu arbeiten, damit redundante Datenaufnahmen bzw. –auswertungen vermieden werden können. Vorwiegend in wirtschaftlichen Zeiten der Rezession muss staatliche Finanzierung sichergestellt werden um weiterhin an Sicherheitsfragen arbeiten zu können. Gleichzeitig bedingt ein effizientes Risikokonzept, dass Kosten gesenkt und Nutzen gefördert werden. Hierzu könnten standardisierte Vulnerabilitätswerte weiterhelfen, vorausgesetzt ihre Aussagestärke wird durch die Minimierung der Unsicherheiten gefestigt.

⁴⁸ Für die unterschiedlichen Schutzmassnahmen am Objekt verweise ich auf den Objektschutzkatalog aus Holub (2008, 367-368).

⁴⁹ Zum Aspekt der Risikokommunikation vergleiche auch PLANAT (2004, 49-51).

- (7) Zusammenfassend empfehlen Ammann et al. (2006) folgende Struktur, um in naher Zukunft mit Lawinenrisiken bzw. generell mit Naturgefahren besser umzugehen. Das gesamte Risikokonzept muss auf gehaltvollen Daten basieren und das Ziel einer integralen Beschäftigung mit Naturgefahren muss sein, Entscheidungen gestützt durch Kosten-Nutzen Analysen und unter dem Vorsatz nachhaltigen Handels zu treffen. Dabei müssen Entscheidungen transparent getroffen und kommuniziert werden. Es gilt zu klären, wer über Risiko, Restrisiko und Sicherheit wie und nach welchen Kriterien entscheidet. Wie kann eine objektiv gültiges Wertungsschemata gebildet werden, sodass das ExpertInnenwissen mitsamt seinen Unsicherheiten nicht rein aus einem Bauchgefühl heraus entsteht?⁵⁰

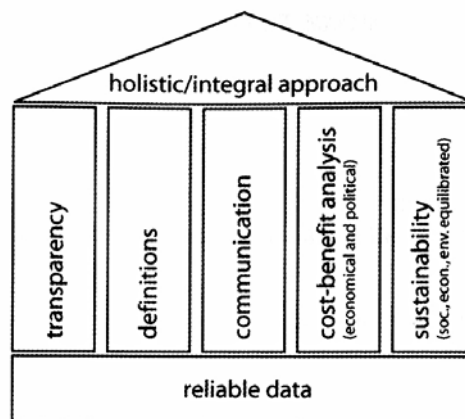


Abb. 10: Das Anforderungsgebäude einer guten Risikogovernance (aus: Ammann et al. 2006, 250)

Am Ende der Arbeit steht vorwiegend die Klarheit darüber, dass eine wissenschaftliche Beschäftigung mit Lawinenabgängen aus prozessorientierter und sicherheitstechnischer Sicht durchaus gegeben ist. Leider fehlt allerdings eine stringente Umsetzung des Vulnerabilitätsaspektes innerhalb staatlicher Massnahmeplanungen, insbesondere wenn es darum geht, Konsequenzen aus Ereignissen zu prognostifizieren. Die Gründe dafür sind unterschiedlichster Art. Zentraler Aspekt ist sicherlich, dass die bis dato vorgeschlagenen Vulnerabilitätskurven aufgrund ihres hohen bzw. zumeist unbekannten Unsicherheitsgrades nicht für staatliche Verantwortungskompetenzen heranziehbar sind. Daher muss weiterhin an Konzepten gefeilt und vorwiegend per internationalen

⁵⁰ Bezüglich von Werthaltungen im Rahmen der Risikobewertung vgl. auch PLANAT (2004, 54)

Forschungskooperationen Ideen, Wissen und vorwiegend Datenmaterial ausgetauscht werden, um normierte Werte für Gebäudeschadanfälligkeiten abzuleiten.

6. Bibliographie

Ammann, W.J., S.Dannenmann und U. Kastrup (2006): Outlook. In: Ammann, W.J., S. Dannenmann und J. Vulliet (Hrsg.): Risk 21 - Coping with Risk due to Natural Hazards in the 21st Century. London: Taylor & Francis Group, S.249-250.

Ancey, C. (2001): Snow Avalanches. In: Balmforth, N.J. and A. Provenzale (Hrsg.): Geomorphological Fluid Mechanics. Heidelberg: Springer, S.319-338.

Arnalds, T., K. Jonasson und S. Sigurdsson (2004): Avalanche hazard zoning in Iceland based on individual risk. *Annals of Glaciology* 38, S.285-290.

Barbolini, M., F. Cappabianca, B. Frigo und R. Sailer (2006): The vulnerability of buildings affected by powder avalanches. In: Ammann, W.J., S. Dannenmann und J. Vulliet (Hrsg.): Risk21 - Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century. London: Taylor & Francis Group, S.227-235.

Barbolini, M., F. Cappabianca und R. Sailer (2004): Empirical estimate of vulnerability relations for use in snow avalanche risk assessment. In: Brebbia, C.A. (Hrsg.): International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. WIT Press, 26.-29. September, Rhodes (GR), S.533–542.

Barbolini, M., F. Cappabianca und F. Savi (2004): Risk assessment in avalanche-prone areas. *Annals of Glaciology* 38, S.115-122.

Barbolini, M. und C.J. Keylock (2002): A new method for avalanche hazard mapping using a combination of statistical and deterministic models. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 2, S.239–245, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/2/239/2002/nhess-2-239-2002.pdf> (Zugriff: 4.10.2009).

Bätzing, W. (2005): Die Alpen - Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft. München: C.H. Beck, 451 S.

Beck, U. (2007): Weltrisikogesellschaft - auf der Suche nach der verlorenen Sicherheit. Frankfurt/Main: Suhrkamp, 439 S.

Bell, R. und T. Glade (2004a): Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bíldudalur, NW-Iceland. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 4, S.117-131, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/117/2004/nhess-4-117-2004.pdf> (Zugriff: 4.10.2009).

Bell, R. und T. Glade (2004b): Multi-hazard analysis in natural risk assessment. In Brebbia, C.A. (Hrsg.): International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. WIT Press, 26.-29.September, Rhodes (GR), S.197-206.

Bertrand, D. und M. Naaïm (2008): Physical vulnerability of concrete and masonry buildings exposed to rapid mass movements. In: Naaïm, M. (Hrsg.): WP-4 IRASMOS report. Grenoble: Cemagref, S.43-87, http://iramos.slf.ch/pdf/WP4_D40_20080710.pdf (Zugriff: 21.11.2009).

Bertrand, D., S. Fuchs, M. Naaïm und M.Bründl (2008): Vulnerability concepts. In: Naaïm, M. (Hrsg.): WP-4 IRASMOS report. Grenoble: Cemagref, S.1-2, http://iramos.slf.ch/pdf/WP4_D40_20080710.pdf (Zugriff: 21.11.2009).

BFF/EISLF (Hrsg.) (1984): Richtlinien zur Beurteilung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern, Davos, <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01923/01955/index.html?lang=de> (Zugriff: 30.10.2009).

Björck, Å. (1996): Numerical methods for least squares problems. Philadelphia: S.I.A.M., 408 S.

BMLFUW (Hrsg.) (2009): Ereignisdokumentation Lawinen 2009 - Bericht über die Lawinenereignisse im Februar und März 2009 in Österreich: Wien, 63 S., <http://www.forstnet.at/article/articleview/77098/1/4932/> (Zugriff 2.11.2009).

BMLFUW (Hrsg.) (2007): Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien, publikationen.lebensministerium.at/filemanager/download/51390 (Zugriff: 14.10.2009).

Bohle, H.-G., und T. Glade (2008): Vulnerabilitätskonzepte in Sozial- und Naturwissenschaften. In: Felgentreff, C. und T. Glade (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S.99-119.

Borter, P. (1999a): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Methode. Bern: BUWAL, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00131/index.html?lang=de> (Zugriff 5.10.2009).

Borter, P. (1999b): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Fallbeispiele und Daten. Bern: BUWAL, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00131/index.html?lang=de> (Zugriff 5.10.2009).

Bründl M. (Hrsg.) (2009): Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern, 420 S., http://www.planat.ch/ressources/planat_product_de_1110.pdf (Zugriff: 14.10.2009).

Bründl, M., H.J. Etter, M. Steiniger, C. Klingler, J. Rhyner und W.J. Ammann (2004): IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland. Natural Hazard and Earth System Sciences 4, S.257-262, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/257/2004/nhess-4-257-2004.pdf> (Zugriff 14.10.2009).

Cannon, T. (2006): Vulnerability analysis, livelihood and disasters. In: Ammann, W.J., S. Dannenmann und J. Vulliet (Hrsg.): Risk 21 - Coping with Risks due to natural

hazards in the 21th century. London: Taylor & Francis Group, S.41-49.

Cappabianca, F., M. Barbolini und L. Natale (2008): Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. *Cold Regions Science and Technology* 54, S.193-205.

Crozier, M.J. und T. Glade (2006): Landslide Hazard and Risk: Issues, concepts and approach. In: Glade, T., M. Anderson und M.J. Crozier (Hrsg.): *Landslide Hazard and Risk*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, S.1-40.

Decaulne, A. (2007): Snow-avalanche and debris-flow hazards in the fjords of north-western Iceland, mitigation and prevention. *Natural Hazards* 41, S.81-98.

Dikau, R. und J. Weichselgartner (2005): *Der unruhige Planet*. Darmstadt: Primus Verlag, 191 S.

Douglas, J. (2007): Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 7, S.283-288, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/283/2007/nhess-7-283-2007.pdf> (Zugriff: 2.10.09).

Douglas, J. (2005): RISK-NAT (module 4) - Methods and tools for risk evaluation. BRGM, <http://www.brgm.fr/result/telechargement/telechargement.jsp?id=RSP-BRGM/RP-54041-FR> (Zugriff: 12.11.2009).

Egli, T. (2005): Naturgefahrenanalyse und Gebäudeschutz. Präsentation: Konferenz: 30 Jahre Gefahrenzonenplan, 21. -23. September 2005, Villach.

Egli, T. (2004): Einwirkungen von Naturgefahren auf Gebäude - Grundlagen einer systematischen Gesamtschau. In: Mikos, M. und D. Gutknecht (Hrsg.): *Veränderungen im Natur- und Kulturhaushalt und ihre Auswirkungen*. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004, Riva del Garda, S.93-100.

Egli, T. (2000): Objektschutz: Angepasste Bauweise reduziert das Personen- und Sachrisiko. In: Zollinger, F. (Hrsg.): *Veränderungen im Natur- und Kulturhaushalt und ihre Auswirkungen*. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2000, Villach, S.227-239.

Filiben, J.J., K. Gurley, J.P. Pinelli, und E. Simiu (2002): Fragility curves, damage matrices, and wind induced loss estimation. In: Brebbia, C.A. (Hrsg.): *International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation*. WIT Press, 19.-21. Juni 2002, Sintra (P), S.119-126.

Fuchs, S. (2009): Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigmas of vulnerability revisited. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 9, S. 337-352, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/337/2009/nhess-9-337-2009.pdf> (Zugriff: 2.10.2009).

Fuchs, S. und K. Heiss (2008): Vulnerabilität gegenüber Wildbachprozessen - Vorgangsweise und Diskussion anhand einer Studie in Österreich. In: Mikos, M., J. Hübl und G. Koboltschnig (Hrsg.): Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT, Dornbirn, S.311-322.

Fuchs, S., K. Heiss und J. Hübl (2007): Toward an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 7, S. 495-506, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/495/2007/nhess-7-495-2007.pdf> (Zugriff 2.10.2009).

Fuchs, S. und M. Bründl (2005): Damage Potential and Losses Resulting from Snow Avalanches in Settlements of the Canton of Grisons, Switzerland. *Natural Hazards* 34, S.53-69.

Fuchs, S., M. Bruendl und J. Stötter (2004): Entwicklung des Lawinenrisikos im Siedlungsraum - Fallbeispiel Davos, Schweiz. In: Mikos, M. und D. Gutknecht (Hrsg.): Veränderungen im Natur- und Kulturhaushalt und ihre Auswirkungen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004, Riva del Garda, S.115-126.

Glade, T. und J. Stötter (2008): Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen. In: Felgentreff, D. und T. Glade (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Berlin, Heidelberg: Springer, S.151-163.

Glade, T. and M.J. Crozier (2004): The Nature of landslide Hazard Impact. In: Glade, T., M. Anderson and M.J. Crozier (Hrsg.): *Landslide Hazard and Risk*. Chichester: John Wiles & Sons Ltd, S.43-74.

Glade, T. (2003): Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Die Erde* 2, S. 123-146, <http://homepage.univie.ac.at/thomas.glade/Publications/Glade2003b.pdf> (Zugriff: 3.10.2009).

Grêt-Regamey, A. und D. Straub (2006): Spatially explicit avalanche risk assessment linking Bayesian networks to a GIS. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 6, S.911-926, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/911/2006/nhess-6-911-2006.pdf> (Zugriff 22.11.2009).

Haid, H. (2007): *Mythos Lawine - eine Kulturgeschichte*. Innsbruck, Wien, Bozen: Studien Verlag. 262 S.

Hama, A.M., M. Seitz, A. Sansone und J. Stötter (2005): An Environmental Education Concept for Galtür. Austria. *Journal of Geography in Higher Education* 29, S.61-77.

Hausmann, P. (1992): Die Schadenempfindlichkeit, ein Teilaspekt bei der Abschätzung des Schadenpotentials bei Überschwemmungen. In: Fiebiger, G. (Hrsg.): Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT, Bern, S.147-158.

Heinimann, H.R., K. Hollenstein, H. Kienholz, B. Krummenacher und P. Mani (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. In: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Umwelt Materialien 85. Bern, 248S., <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00866/index.html?lang=de> (Zugriff; 15.11.2000).

Hervás, J. (Hrsg.) (2003): Recommendations to deal with snow avalanches in Europe. NEDIS – Project, Report EUR 20839 EN, 81S., http://nedies.jrc.it/doc/avalanche_recommendations.pdf (Zugriff: 6.10.2009).

Hoeller, P. (2009): Avalanche cycles in Austria: an analysis of the major events in the last 50 years. Natural Hazards 48, S.399-424.

Hoeller, P. (2007): Avalanche hazards and mitigation in Austria: a review. Natural Hazards 43, S.81-101.

Hollenstein, K. (2006): The role of administrative bodies in landslide risk assessment. In: Glade, T., M. Anderson und M.J. Crozier (Hrsg.), Landslide Hazard and Risk. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, S.286-310.

Hollenstein, K. (2005): Reconsidering the risk assessment concept: Standardizing the impact description as a building block for vulnerability assessment. Natural Hazard and Earth System Sciences 5, S.301-307, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/301/2005/nhess-5-301-2005.pdf> (Zugriff: 11.11.2009).

Hollenstein, K., O. Bieri und J. Stükelberger (2002): Modellierung der Vulnerability von Schadenobjekten gegenüber Naturgefahrenprozessen. Zürich: ETH, 118 S., <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:25498/eth-25498-01.pdf> (Zugriff am 3.10.2009).

Holub, M. (2008): Technischer Objektschutz - Stand der Technik und künftige Anforderungen. In: Mikos, M., J. Hübl und G. Koboltschnig (Hrsg.): Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT, Dornbirn, S.359-370.

Holub, M. und Hübl, J. (2008): Local protection against mountain hazards – state of the art and future needs. Natural Hazard and Earth System Sciences 8, S.81-99, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/81/2008/nhess-8-81-2008.pdf> (Zugriff 11.10.2009).

Hübl, J., H. Kienholz und A. Loipersberger (Hrsg.) (2006): DOMODIS – Dokumentation alpiner Naturereignisse, http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/DOMODIS/Domodis_de_web_endf.pdf (Zugriff 20.10.2009).

Hufschmidt, G., M.J. Crozier und T. Glade (2005): Evolution of natural risk: research framework and perspectives. Natural Hazard and Earth System Sciences 5, S.375-387, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/375/2005/nhess-5-375-2005.pdf> (Zugriff: 16.11.2009).

Jóhannesson, T., P. Gauer, P. Issler und K. Lied (Hrsg.) (2009): The design of avalanche protection dams - Recent practical and theoretical developments. EUR23339, 195S., <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/environment/docs/avalanche-protection.pdf> (Zugriff 28.10.2009).

Jóhannesson, T. und T. Arnalds (2001): Accidents and economic damage due to snow avalanches and landslides in Iceland. *Jökull* 50, S.81-90.

Jónasson, K., S. Sigurðsson, und Þ. Arnalds (1999): Estimation of avalanche risk. Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, http://andvari.vedur.is/snjoflod/haettumat/estim_of_avalancherisk_1999.pdf (Zugriff: 17.10.2009)

Kadakal, U., N.G. Kishi, J. Song und J. Byeon (2000): An objective methodology for the assessment of building vulnerability to earthquakes and to development of damage functions. In Brebbia, C.A. (Hrsg.): International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. WIT Press, Bologna (I), S.83-92.

Keiler, M. and S. Fuchs (2008): Variabilität des Schadenspotential - Methodik im Rahmen des integralen Risikomanagements. In: Mikos, M., J. Hübl und G. Koboltschnig (Hrsg.): Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT, Dornbirn, S.371-382.

Keiler, M., R. Sailer, P. Jörg, C. Weber, S. Fuchs, A. Zischg und S. Sauermoser (2006): Avalanche risk assessment – a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 6, S.637–651, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/637/2006/nhess-6-637-2006.pdf> (Zugriff: 4.10.2009).

Keiler, M. (2004): Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950-2000, case study Galtür. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 4, S.249-256, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/249/2004/nhess-4-249-2004.pdf> (Zugriff: 10.11.2009).

Keylock, C.J. und M. Barbolini (2001): Snow avalanche impact pressure - vulnerability relations for use in risk assessment. *Canadian Geotechnical Journal* 38, S.227-238.

Keylock, C.J., D. McClung und M.M. Magnusson (1999): Avalanche risk mapping by simulation. *Journal of Glaciology* 45, S.303-314.

Kleemayr, K. (2004): Modelling and Simulations in snow sciences. *Mathematics and Simulations in Computers* 66, S.129-153.

Kluge, F. (2002): Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. Berlin, New York: de Gruyter, 1023 S.

Kraif, U. (2006): Duden - das Fremdwörterbuch, In: Dudenredaktion (Hrsg.). Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag, 1104 S.

Kulterer (2005): Lawinsimulationen in der Gefahrenzonenplanung - Lawinen Bad Bleiberg (Exkursionsführer). "30 Jahre Gefahrenzonenplan", 21.-23.9.2005, Villach, 29 S., <http://www.gefahrenzonenplan.at/?page=presse.php> (Zugriff: 13.11.2009).

Lukesch, R. (2008): Das Komplexitätsparadigma in der Physischen Geographie. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Regionalforschung, Wien, 67 S.

Margreth, S. und W.J Ammann (2004): Hazard scenarios for avalanche actions on bridges. *Annals of Glaciology* 38, S.89-96.

McClung, D. und P. Schaerer(2006): *The Avalanche Handbook*. Seattle: The Mountaineers Books, 342 S.

Moser, K. (1993): Erdbebentauglichkeit von Stahlbetonbauten. Institut für Baustatistik und Konstruktion ETHZ, IBK Bericht Nr.201, Basel,Boston,Berlin: Birkhäuser.

Naaïm, M., D. Bertrand, T. Faug, S. Fuchs, F. Cappabianca und M. Bründl (2008): Vulnerability to rapid mass movements. In: Naaïm, M. (Hrsg.): WP-4 IRASMOS report. Grenoble: Cemagref, S.105-112, http://iramos.slf.ch/pdf/WP4_D40_20080710.pdf (Zugriff 21.11.2009)

Papathoma-Köhle, M., B. Neuhäuser, K. Ratzinger, H. Wenzel und D. Dominey-Howes (2007): Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 7, S.765-779, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/765/2007/nhess-7-765-2007.pdf> (Zugriff: 5.10.2009).

PLANAT (2004): Strategie Naturgefahren Schweiz - Synthesebericht. Biel, http://www.planat.ch/ressources/planat_product_de_543.pdf (Zugriff: 14.10.2009)

Pouliquen, O., R. Delour und S.B. Savage (1997): Fingering in granular flows. *Nature* 386, S.816-817.

Proske, D. (2007): Kleine Einführung in die Systemtheorie und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für den Bauingenieur. *Beton- und Stahlbetonbau* 102, S.399-402.

Renn, O. (2007): Einführung – Zugänge zum Thema Risiko: eine multidisziplinäre Betrachtung. In: Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Debatte – Risiko*, Heft 6. Berlin, S.11-18.

Rodriguez, J., F. Vos, R. Below und D. Guha-Sapir (2009): Annual Disaster Statistical Review 2008 - The numbers and trends. Brüssel: CRED (Center for Research of the Epistemology of Disasters), 26 S., http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2008.pdf (zugriff: 20.10.2009).

Romang, H. und S. Margreth (2006): Protective measures and risk management - Basics and examples of avalanche and torrential risks in Switzerland. In: Ammann, W.J., S. Dannenmann und J. Vulliet (Hrsg.): *Risk 21 - Coping with Risks due to*

Natural Hazards in the 21st century. London: Taylor & Francis, S.215-225.

Sampl, P. und T. Zwinger (2004): Avalanche simulation with SAMOS. *Annals of Glaciology* 38, S.393-398.

Schmid, F. (2008): Der Gefahrenzonenplan. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.). <http://www.forstnet.at/article/articleview/16333/1/12681/> (Zugriff: 6.11.2009).

Schweizer, J. (2008): Snow avalanche formation and dynamics. *Cold Regions Science and Technology* 54, S.153-154.

Schweizer, J. (1999): Review of dry snow slab avalanche release. *Cold Regions Science and Technology* 30, S.43-57.

Sterlacchini, S., S. Frigerio, P. Giacomelli und M. Brambilla (2007): Landslide risk analysis: a multi-disciplinary methodological approach. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 7, S.657-675, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/657/2007/nhess-7-657-2007.pdf> (Zugriff: 24.11.2009).

Stethem, C., B. Jamieson, P. Schaerer, D. Livermann, D. Germain und S. Walker (2003): Snow Avalanche Hazard in Canada – a Review. *Natural Hazards* 28, S.487–515.

UNESCO (1981): Lawinen Atlas - bebilderte Internationale Lawinenklassifikation. Paris: UNESO - Internationale Kommission für Schnee und Eis der internationalen Assoziation für hydrologische Wissenschaften, 267 S., <http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000480/048004mb.pdf> (Zugriff: 19.10.2009).

Uzielli, M., F. Nadim, S. Lacasse und A.M. Kaynia (2008): A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology* 102, S.251-256.

v. Elverfeldt, K., T. Glade und R. Dikau (2008): Naturwissenschaftliche Gefahren- und Risikoanalyse. In: Felgentreff, C und T. Glade (Hrsg.): *Naturreisiken und Sozialkatastrophen*. Berlin, Heidelberg: Springer, S.31-46.

Vanomsen, P. Und T. Egli (2008): Verletzlichkeit von Gebäuden und Wirksamkeit von Objektschutzmassnahmen. In: Mikos, M., J. Hübl und G. Koboltschnig (Hrsg.): *Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen. Internationales Symposium INTERPRAEVENT*, Dornbirn, S.419-430.

Veit, H. (2002): *Die Alpen - Geoökologie und Landschaftsentwicklung*. Stuttgart: Eugen Ulmer, 352 S.

Villmann, B., N. Bretschneider, V. Slowik und A. Michel (2006): Bestimmung von Materialeigenschaften zementgebundener Werkstoffe mittels inverser Analyse. *Bautechnik* 83, S.747-753.

Voellmy, A. (1955): Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweizer Bauzeitung 73, S.159-167.

Weichselgartner, J. (2002): Naturgefahren als soziale Konstruktion. Eine geographische Beobachtung der gesellschaftlichen Auseinandersetzung mit Naturrisiken. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Bonn: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, 248 S., http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2001/weichselgartner_juergen/0175.pdf (Zugriff am 2.10.2009)

Weingart, P. (2007): Risiko aus soziologischer Perspektive. In: Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Debatte – Risiko, Heft 6. Berlin, S.57-59.

Wilhelm, C. (2009): Persönliche Kommunikation über die Datenbasis, 17.11.2009.

Wilhelm, C. (1998): Quantitative risk analysis for evaluation of avalanche protection measures. In: Hestnes, E. (Hrsg.): Proceeding of 25 years of Snow and Avalanche Research Voss. NGI, 12-16.May 1998, Oslo (N), S.288-293.

Wilhelm, C. (1997a): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz. Mtt. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 54, Davos, 309 S.

Wilhelm, C. (1997b): Risikobewertung und Naturraumprävention von Wildbächen und Lawineneinzugsgebieten. In: Volk, G. (Hrsg.): Risikosymposium, Universität für Bodenkultur Wien, S.112-127.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon und I. Davis (2004): At risk - natural hazards, people's vulnerability and disasters. London: Routledge, 471 S.

Zingari, P.C. und G. Fiebiger (2002): Mountain risks and hazards. Unasylva 53, S.71-78.

Zischg, A. (2005): Modelling the system behaviour of wet snow avalanches using an expert system approach for risk management on high alpine traffic roads. Natural Hazard and Earth System Sciences 5, S.821–832, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/821/2005/nhess-5-821-2005.pdf> (Zugriff 17.11.2009).

Zischg, A., S. Fuchs und J. Stötter (2004): Uncertainties and fuzziness in analyzing risk related to natural hazards: a case study in the Ortles Alps, South Tyrol, Italy. In: Brebbia, C.A. (Hrsg.), International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. WIT Press, 26.-29.September, Rhodes (GR), S.197-206.

Auflistung der besuchten Internetseiten

- <http://www.munichre.com/de/homepage/default.aspx> (Zugriff vom 5.11.2009)
- www.cred.be (Zugriff vom 20.10.2009)
- publikationen.lebensministerium.at/filemanager/download/51390 (Zugriff vom 11.10.2009)
- www.planat.ch (Zugriff vom 2.11.2009)
- <http://www.gefahrenzonenplan.at/?page=presse.php> (Zugriff vom 10.11.2009)
- <http://publikationen.lebensministerium.at/publication/publication/view/2805/28533> (Zugriff vom 14.10.2009)
- www.empa.ch (Zugriff vom 21.10.2009)
- http://www.slf.ch/forschung_entwicklung/lawinen/lawinenschutz/index_DE?C=& (Zugriff vom 16.11.2009)
- <http://www.sia.ch> (Zugriff vom 28.10.2009)
- <http://www.wuestundpartner.com/home/index.phtml> (Zugriff vom 9.11.2009)
- <http://www.forstnet.at/article/archive/4932> (Zugriff vom 2.11.2009)
- <http://www.die-wildbach.at/> (Zugriff vom 2.11.2009)
- http://www.waldwissen.net/themen/naturgefahren/schnee/bfw_samos04_2005_DE/printerfriendly? (Zugriff vom 30.10.2009)
- <http://bfw.ac.at/050/1912> (Zugriff vom 30.10.2009)
- <http://www.itascacg.com/flac3d/index.php> (Zugriff vom 29.11.2009)
- <http://www.itasca.de/pages/software/3dec/3dec.html> (Zugriff vom 29.11.2009)

Zusammenfassung

Im Naturgefahrenmanagement gebirgiger Regionen mit Schneefall spielen Lawinen einen zentralen Prozess. Dabei lässt sich vorwiegend in den letzten Jahren ein Anstieg an schadbringenden Ereignissen beobachten. Gründe für diese Entwicklung sind hauptsächlich die Ausweitung menschlicher Interessensräume aufgrund einer Intensivierung sozioökonomischer und ökonomischer Gepflogenheiten. Waren früher diese Räume dem Naturprozess überlassen, so ergeben sich heute aus der Überlagerung menschlicher (monetärer) Werte mit Lawinen risikogeladene Bereiche. In Österreich war sicherlich der Lawinenabgang 1999 in Galtür, bei dem 31 Menschen starben und sich der direkte Sachschaden auf 5 Mio. Euro belief, ein negativer Höhepunkt dieser Entwicklung. Dementsprechend sind Massnahmen zum Schutz von Menschen, Siedlungen und Gebäuden gegenüber Lawinengefahren von Nöten.

Hierzu bedient sich eine risikobasierte Auseinandersetzung mit Naturgefahren dem Konzept des integralen Risikomanagement. Dieses besteht aus den Teilkomponenten der Risikoanalyse, der Risikobewertung und dem Risikomanagement. Im Rahmen der naturwissenschaftlich-technischen Risikoanalyse wird versucht, gefährdete Räume durch eine Überschneidung der Ergebnisse von Prozess- als auch Schadenspotentialanalysen auszuweisen. Dabei ist es notwendig, auf das Schadverhalten einzelner Objekte einzugehen. Diese wird als Vulnerabilität bezeichnet und manifestiert sich über prozess- als auch objektspezifische Eigenschaften.

Die Diplomarbeit bietet dabei den aktuellen Stand der Forschung und die Publikationsdichte bezüglich der Erstellung gebäudebasierter Vulnerabilitätskurven bei Lawinen. Das Ziel war es aufzuzeigen, inwieweit ein Publikationsinteresse bezüglich diesem Thema existiert. Mithilfe einer Literaturrecherche in den Datenbanken „Scopus“ und „Web of Science“ wurden Publikationen ermittelt, welche sich dem Thema annehmen. Die Arbeiten wurden in weiterer Folge hinsichtlich ihrer Zielsetzung, der verwendeten Methode und der Ergebnisse beschrieben und diskutiert. Sodurch konnten die aktuellen Publikationen auf ihre Vor- und Nachteile bzw. ihre Stärken und Schwächen analysiert werden. Im abschließenden Kapitel wurden Perspektiven für die Modifizierung von Vulnerabilitätskurven diskutiert, damit diese in naher Zukunft besser ins Risikokonzept implementierbar werden.

Abstract

Avalanches play a mayor role in the hazard management of mountainous regions with snow precipitations. In the last few decades an increase of natural catastrophes could be observed, although there are doubts about an intensification of process frequencies. Therefore the reasons for this development have to be searched on the human side, as economic development led to an altering of space-orientated activities. An example for a disastrous event was Galtür 1999, where an avalanche killed 31 people and caused direct damage costs of about 5 million Euros. So there is an urgent demand for risk reducing measures and for concepts to deal with hazards. In the actual risk-orientated hazard discourse the concept of an integral risk management is applied. For this, informations are collected by making a risk analysis and a risk assessment. Finally these informations are unified in the risk management, giving the base for safty measures decisions.

This thesis is taking a closer look to the natural scientific risk analysis, where process relevant informations are overlapped with the damage potential and, as a crucial part, with their vulnerabilities. Especially the vulnerability aspect is reviewed in this thesis. The goal of this thesis is to get a proper view about the state of the art of conceptualising vulnerability curves in avalanche research. Therefore a literature search was applied to get the actual density of publications dealing with this concept. In a second step these publications were analyzed on their goals, their methodological approaches and the results. A synoptical comparison of all found publications was made to visualize the gaps in this research field. Finally an outlook helped to close these gaps by giving ideas for further research. Only so the vulnerability aspect of risks due to natural hazards can gain more scientific attention.

Lebenslauf

Philipp Jankela

17. März 1982

Schulische Ausbildung

- 1988-1992 Volksschule St. Johann/Pongau, Salzburg
- 1992-1996 Bundesgymnasium St.Johann/Pongau, Salzburg
- 1996-2000 Bundesoberstufenrealgymnasium St.Johann/Pg, Salzburg

Universitäre Ausbildung

- 2000-2001 Studium der Soziologie, Spanisch und Russisch an der Karl-Franzens Universität in Graz
- Okt. 2003 Beginn Studium der Geographie & Tibetologie/Buddismuskunde in Wien
- 2005-2006 ERASMUS Auslandssemester im Rahmen des Geographie Studiums an der Universitat d'Alacant/Spanien

Fachspezifische Berufserfahrung

- 2005-2009 Pädagogische Tätigkeiten als Skilehrer
- 2007 Praktikum beim CIAT "Centro Internacional de Agricultura tropical"/Kolumbien
- 2008 Tutorium am Institut für Geographie und Regionalforschung
- 2009 Praktikum beim LWD Tirol