



# Strategie Naturgefahren Schweiz

Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005 - 2008

Projekt B 5

## Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren - eine Situationsanalyse



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
Plate-forme nationale «Dangers naturels»  
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»  
National Platform for Natural Hazards

Schlussbericht  
31. Oktober 2008





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

**Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT**  
**Plate-forme nationale «Dangers naturels»**  
**Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»**  
**National Platform for Natural Hazards**

# **Strategie Naturgefahren Schweiz**

**Umsetzung des Aktionsplanes PLANAT 2005-2008**

Projekt B 5

## **Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren - eine Situationsanalyse**

Schlussbericht

31. Oktober 2008

## Impressum

### Auftraggeber

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
c/o Abteilung Gefahrenprävention  
Bundesamt für Umwelt BAFU  
3003 Bern  
Telefon: 031 324 17 81 Fax: 031 324 19 10  
[planat@bafu.admin.ch](mailto:planat@bafu.admin.ch) [www.planat.ch](http://www.planat.ch)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS  
Monbijoustrasse 51A  
3003 Bern  
Telefon: 031 322 50 80  
Fax: 031 324 87 89  
[forschung@babs.admin.ch](mailto:forschung@babs.admin.ch)  
[www.bevoelkerungsschutz.admin.ch](http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch)

### Projektsteuerung (Gesamtprojekt)

Andreas Götz, BAFU, Präsident PLANAT (Leitung)  
Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU  
Dr. Pierre Ecoffey, ECAB, PLANAT  
Willy Eyer, Kanton Freiburg  
Bruno Hostettler, BABS, PLANAT  
Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, PLANAT

### Projektbetreuung (Gesamtprojekt)

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering (Leitung)  
Dörte Aller, Aller Risk Management  
Christoph Werner, BABS (Betreuung Projekt B5)  
Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG

### Projektleitung Projekt B 5

Dr. Michael Bründl, SLF

### Begleitung Projekt B 5

Dörte Aller, Aller Risk Management  
Dr. Jochen Köhler, ETH Zürich  
Dr. Olivier Lateltin, VKF  
Christoph Werner, BABS

### Auftragnehmer Projekt B 5

WSL-Institut für Schnee- und  
Lawinenforschung SLF  
Flüelastrasse 11  
7260 Davos Dorf  
Telefon: 081 417 01 11  
Fax: 081 417 01 10  
[www.slf.ch](http://www.slf.ch)

### Autoren Projekt B 5

Dr. Michael Bründl, SLF (Leitung)  
Stefan Spichtig, SLF

### Zitiervorschlag

Spichtig Stefan und Bründl Michael 2008: Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren - eine Situationsanalyse. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 101 S.

### Hinweis

Die Reproduktion der Texte und Grafiken mit Quellenangabe und Belegexemplar an die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT ist erwünscht.

## Vorwort

Angeregt durch die Motion Danioth (1999) hat der Bundesrat der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT den Auftrag erteilt, eine übergeordnete und vernetzte Strategie zur Verbesserung der Sicherheit vor Naturereignissen auszuarbeiten. Der Bundesrat betonte, dass der Schutz vor Naturgefahren nicht nur für die Bevölkerung im Alpenraum zu gewährleisten sei, sondern für die Bevölkerung in der ganzen Schweiz. Zudem wolle er im Sinn eines umfassenden Risikomanagements einen gesamtschweizerisch vergleichbaren Sicherheitsstandard erreichen. Ziel ist dabei der Schutz des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlagen sowie der Schutz von erheblichen Sachwerten.

Bisher hat die PLANAT in einer ersten Etappe eine übergeordnete und vernetzte Strategie für die Sicherheit von Naturgefahren\*<sup>1</sup> erarbeitet. Die von der PLANAT erarbeitete Strategie entspricht der vom Bundesrat verfolgten Politik der Nachhaltigkeit und den in der Strategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verankerten Grundsätzen der einheitlichen Sicherheitsphilosophie. In der zweiten Etappe hat die PLANAT die heutige Situation im Bereich Naturgefahren analysiert\*<sup>2</sup> und einen Aktionsplan mit Massnahmen vorgeschlagen, welche 2005 bis 2008 in einer dritten Etappe umgesetzt werden.

Der vorliegende Bericht gibt die Ergebnisse des Einzelprojekts B5 „Verletzlichkeit bei gravitativen Naturgefahren – eine Situationsanalyse“ wieder, das im Rahmen des Aktionsplans 2005 bis 2008 durchgeführt wurde.

Wir danken an dieser Stelle allen Behörden, Institutionen, privaten Firmen und Privatpersonen, insbesondere aber den Gebäudeversicherungen Bern und Graubünden für das zur Verfügung gestellte Daten- und Bildmaterial und die freundliche Unterstützung.

Andreas Götz  
Präsident PLANAT  
Ittigen, Oktober 2008

### **Publikationen:**

\*<sup>1</sup> PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren - Vision und Strategie.

\*<sup>2</sup> PLANAT (2005): Strategie Naturgefahren Schweiz (2005). Synthesebericht



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>5</b>
1.1 Anlass des Projekts . . . . .	5
1.2 Ziele und Gliederung des Berichts . . . . .	9
<b>2 Literaturübersicht</b>	<b>11</b>
2.1 Allgemeines . . . . .	11
2.2 Prozess Lawinen . . . . .	12
2.3 Prozess Hochwasser . . . . .	14
2.4 Prozess Murgänge . . . . .	15
2.5 Prozess Sturz . . . . .	16
2.6 Prozess Rutschung . . . . .	16
<b>3 Aktivitäten zum Thema „Verletzlichkeit“</b>	<b>19</b>
3.1 Aktivitäten in der Schweiz . . . . .	19
3.1.1 Ereignisanalyse Hochwasser 2005 . . . . .	19
3.1.2 Weitere Arbeiten . . . . .	19
3.2 Aktivitäten im Ausland . . . . .	22
3.2.1 Hochwasser . . . . .	22
3.2.2 Wildbach, Murgang, Rutschung, Sturz . . . . .	25
3.2.3 Lawinen . . . . .	26
<b>4 Übersicht vorhandener Datenquellen</b>	<b>29</b>
4.1 Schadenlawinendatenbank (SLDB), SLF . . . . .	29
4.2 Unwetterdatenbank WSL . . . . .	30
4.3 StorMe Datenbank . . . . .	30
4.4 Kantonale Gebäudeversicherungen . . . . .	30
4.4.1 Beispiel Kanton Bern . . . . .	31
4.4.2 Beispiel Kanton Graubünden . . . . .	31
4.5 Private Gebäude- und Sachversicherungen . . . . .	32
<b>5 Fallbeispiele</b>	<b>33</b>
5.1 Prozess Lawine . . . . .	33
5.1.1 Davos, GR - Albertilawine 1984 . . . . .	33

5.1.2	Malbun, FL - 1999 . . . . .	36
5.1.3	Cristallinahütte SAC, TI - 1999 . . . . .	42
5.1.4	Anenhütte, VS - 2007 . . . . .	43
5.1.5	Naters, VS - Gratlawine 1999 . . . . .	44
5.2	Prozess Hochwasser . . . . .	46
5.2.1	Klosters, GR - Hochwasser 2005 . . . . .	46
5.2.2	Susch, GR - Hochwasser 2005 . . . . .	49
5.2.3	Bern, BE - Hochwasser 2005 . . . . .	52
5.2.4	Thun, BE - Hochwasser 2005 . . . . .	55
5.2.5	Zusammenfassung Prozess Hochwasser . . . . .	57
5.3	Prozess Murgang . . . . .	59
5.3.1	Glyssibach, BE - Hochwasser 2005 . . . . .	59
5.3.2	Grossalp Sertig, Davos, GR - 2006 . . . . .	62
5.3.3	Oey/Diemtigen, BE - Hochwasser 2005 . . . . .	63
5.4	Prozess Sturz . . . . .	67
5.4.1	Kanton Graubünden, 1990 - 2008 . . . . .	67
5.4.2	Göschenen, UR - 1994 . . . . .	67
5.4.3	Weggis, LU - 2001 . . . . .	69
5.4.4	Silvaplana, GR - 2006 . . . . .	70
5.4.5	Sool, GL - 2008 . . . . .	71
5.5	Prozess Rutschung . . . . .	71
<b>6</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>73</b>
6.1	Lawine . . . . .	73
6.2	Hochwasser . . . . .	76
6.3	Murgang . . . . .	80
6.4	Sturz . . . . .	81
6.5	Rutschung . . . . .	82
6.6	Fazit . . . . .	82
<b>7</b>	<b>Vorschlag für weiteres Vorgehen</b>	<b>85</b>
7.1	Vergleich Ergebnisse mit den Projektzielen . . . . .	85
7.2	Grundlagen für zukünftige Datenerhebungen . . . . .	86
7.3	Ergänzungsstudie . . . . .	87
7.4	Zusammenstellung Modellierungsansätze . . . . .	88
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>89</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>91</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>93</b>



# Zusammenfassung

Die Verletzlichkeit von Objekten und Systemen ist ein grundlegender Faktor bei der Beurteilung von Risiken infolge Naturgefahren. In diesem Bericht wird der Begriff Verletzlichkeit auf die Schadenempfindlichkeit von Gebäuden beschränkt. Darunter wird der Grad der Beschädigung verstanden, den ein Gebäude unter einer bestimmten physikalischen Einwirkung erleidet. In der Naturgefahrenpraxis werden gegenwärtig Werte zur Schadenempfindlichkeit verwendet, die auf Abschätzungen beruhen. Das Hauptziel dieses Berichts war der Vergleich dieser Werte mit dem relativen Schaden von Gebäuden, der sich für betroffene Gebäude aus Ereignissen vergangener Jahre ermitteln lässt.

Im ersten Teil des Berichts wird eine Übersicht über die vorhandene Literatur und laufende Aktivitäten zum Thema Schadenempfindlichkeit von Gebäuden gegeben. Es zeigt sich, dass das Thema Verletzlichkeit sehr breit gefasst wird und insbesondere in den letzten Jahren sehr viele Studien durchgeführt wurden. Spezifische Untersuchungen zur Schadenempfindlichkeit von Gebäuden sind jedoch nur wenige vorhanden.

Die Zusammenstellung der Daten von Schadenereignissen zeigt die schwierige Datensituation. Zwar sind bei den Gebäudeversicherungen viele Daten vorhanden; diese müssen in vielen Fällen mit relativ grossem Aufwand spezifisch aufgearbeitet werden. Häufig sind keine gesicherten Angaben zu Art und Intensität der abgelaufenen Prozess vorhanden, was die Anzahl auswertbarer Ereignisse stark einschränkt. Die Untersuchungen beschränkten sich daher auf wenige Fallbeispiele. Für die Prozesse Lawine und Hochwasser wurden jeweils vier und für den Prozess Murgang drei Fallbeispiele detaillierter untersucht. Für die Prozesse Sturz und Rutschung konnten nur qualitative Aussagen gemacht werden.

Die Unsicherheiten bezüglich der Einwirkung und der erfassten Schäden erlauben nur eine grobe Einordnung der vorhandenen Werte zur Schadenempfindlichkeit. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die zum Teil geschätzten Werte aus der Publikation „Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren“ und dem Berechnungsinstrument „EconoMe“ im Bereich der in dieser Studie ermittelten Werte liegen. Für genauere Überprüfungen bzw. Anpassungen ist die erarbeitete Datenlage zu dünn.

Aus dieser Analyse werden hinsichtlich eines möglichen weiteren Vorgehens folgende Schlüsse gezogen. Um die Datenlage zu verbessern, wird bei zukünftigen Ereignissen eine sorgfältige Datenerhebung der aufgetretenen Intensitäten und der sich daraus ergebenden Schäden und deren Ursache empfohlen. Um die Daten einheitlich zu erheben, sollten vorhandene Grundlagen zur Datenerhebung entsprechend erweitert werden. Zudem können spezifisch auf einzelne Prozesse bezogene Ergänzungsuntersuchungen mit

vergleichbaren Schadenbildern genauere Anhaltspunkte für die Überprüfung der vorhandenen Werte liefern. Eine weitere Möglichkeit die vorhandenen Werte zu überprüfen, stellt die Ermittlung von Durchschnittsschäden dar. Neben diesen eher empirischen Ansätzen wird empfohlen, die Möglichkeiten einer Modellierung genauer zu evaluieren und gegebenenfalls entsprechende Untersuchungen zu initiieren. Da die Schadenempfindlichkeit aber nur ein Faktor in der Risikogleichung ist, der mit Unsicherheiten behaftet ist, sollten die Anstrengungen auf diesem Gebiet in einen ausgewogenen Verhältnis zu Arbeiten in anderen Bereichen wie z.B. in der Prozessforschung stehen.

# Kapitel 1

## Einführung

### 1.1 Anlass des Projekts

Die Verletzlichkeit von Objekten und Systemen ist ein grundlegender Faktor bei der Beurteilung von Risiken infolge Naturgefahren, des Versagens und der Auswirkungen auf technische oder soziale Systeme, der Beeinträchtigung der Umwelt sowie von terroristischen oder kriegerischen Handlungen. Der Begriff Verletzlichkeit wird in der Literatur und im Sprachgebrauch sehr weit gefasst und daher unterschiedlich verstanden (Thywissen, 2006). In Abbildung 1.1 sind verschiedene Aspekte der Verletzlichkeit dargestellt.

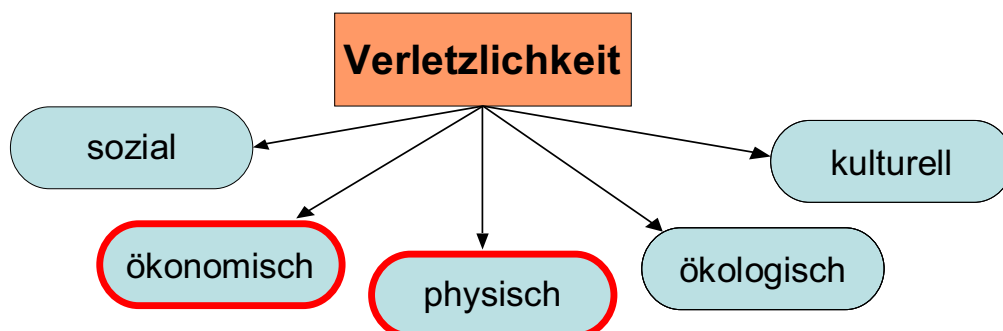


Abbildung 1.1: Verschiedene Aspekte der Verletzlichkeit.

Allgemein lässt sich Verletzlichkeit als Charakterisierung des Ausmasses und/oder der Art der negativen Beeinträchtigung definieren, welche ein Objekt oder ein System unter einer bestimmten Einwirkung erfährt (Hollenstein et al., 2002). Verletzlichkeit bezeichnet daher allgemein die Beeinträchtigung von technischen Systemen, wie z.B. Versorgungseinrichtungen (Life Lines), die Beeinträchtigung von gesellschaftlichen Systemen, wie z.B. die sozio-ökonomische Struktur einer Region, aber auch die Verletzlichkeit von Objekten und Personen unter der Einwirkung von äusseren Einflüssen, in diesem Fall von gravitativen Naturgefahren, wie Lawinen, Hochwasser, Murgänge, Sturz und Rutschung.

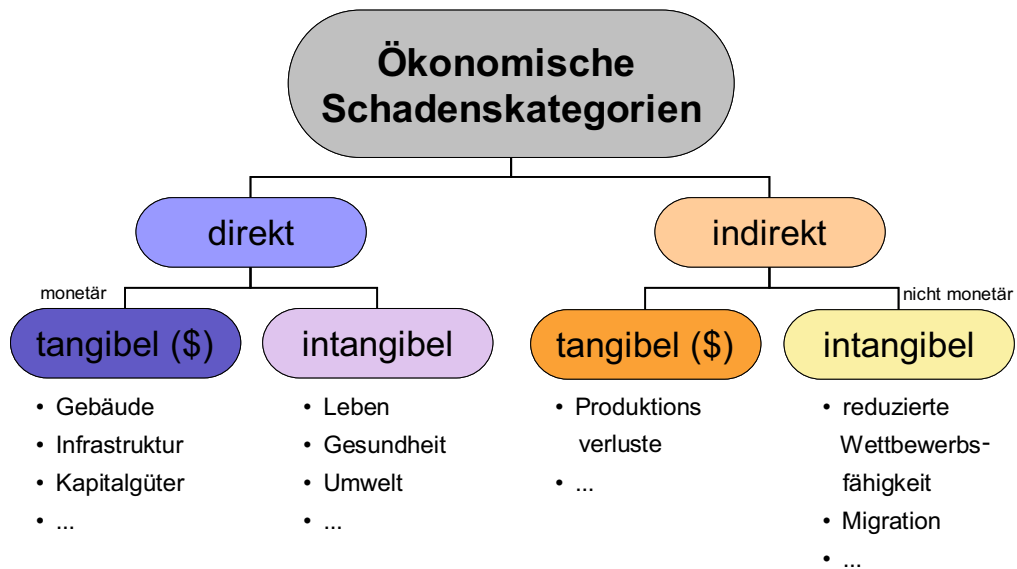


Abbildung 1.2: Aufteilung ökonomischer Schadenkategorien (Messner, 2005).

In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus in erster Linie auf der Verletzlichkeit der Struktur von Gebäuden und in zweiter Hinsicht für ausgewählte Prozesse auf der Verletzlichkeit von Personen, die mit dem Begriff „Letalität“ bezeichnet wird. Die Letalität bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person bei Einwirkung einer bestimmten Prozessintensität zu Tode kommt. Der Fokus der Betrachtungen liegt auf dem ökonomischen und physischen Aspekt der Verletzlichkeit (Abbildung 1.1). Die Verletzlichkeit von technischen oder sozialen Systemen wird ausgeklammert. Gemäss der Darstellung der ökonomischen Schadenkategorien in Abbildung 1.2 werden somit die direkten tangiblen Schäden (links unten) angesprochen.

Bei der Berechnung von Risiken infolge Naturgefahren geht der Term „Verletzlichkeit“  $V_{i,j}$  linear in die Risikogleichung ein, wie Gleichung 1.1 zeigt:

$$R_{i,j} = p_j \cdot p_{i,j} \cdot A_i \cdot V_{i,j} \quad (1.1)$$

$$R_j = \sum_i R_{i,j} \quad (1.2)$$

$$R = \sum_j R_j \quad [\text{Tf/a oder CHF/a}] \quad (1.3)$$

wobei:

- $R_{i,j}$  = Risiko für Szenario  $j$  und Objekt  $i$ ;
- $R_j$  = Risiko für Szenario  $j$ ;
- $R$  = Kollektives Risiko;
- $p_j$  = Häufigkeit des Szenarios  $j$ ;
- $p_{i,j}$  = Wahrscheinlichkeit, dass Objekt  $i$  dem Szenario  $j$  ausgesetzt ist;
- $A_i$  = Wert des Objektes  $i$ . Der Wert kann als Neuwert oder als Zeitwert ausgedrückt werden;

$V_{i,j}$  = Verletzlichkeit des Objektes  $i$  in Abhängigkeit von Szenario  $j$ .

Gemäss dem Glossar des Technical Committee on Risk Assessment and Management (ISSMGE TC32, <http://www.engmath.dal.ca/tc32/>) und Uzielli et al. (2008) lässt sich die Verletzlichkeit eines Objektes  $i$  als Produkt der Intensität eines Prozesses unter einem gegebenen Szenario  $j$  und der Schadenempfindlichkeit (engl. susceptibility) des Objektes  $i$  definieren. Beide Faktoren werden mit Werten zwischen 0 und 1 umschrieben, daher ist auch der Faktor Verletzlichkeit dimensionslos und hat einen Wert zwischen 0 und 1.

Der Faktor  $V_{i,j}$  in Gleichung 1.1 stellt so im Sinne der obigen Definition der ISSMGE und Uzielli et al. (2008) die Verletzlichkeit dar. In Anlehnung an den Sprachgebrauch der Naturgefahrenpraxis in der Schweiz wird hier für den Begriff „Verletzlichkeit“ der Begriff „Schadenempfindlichkeit“ verwendet. So wird die Schadenempfindlichkeit in der vorliegenden Arbeit in Abhängigkeit der jeweiligen Intensität verstanden und daher als Synonym zum Begriff „Verletzlichkeit“ verwendet.

Im Umgang mit Naturgefahren bekommen Risikoanalysen zunehmend eine grössere Bedeutung, da sie unter anderem als Grundlage für die Planung von Schutzmassnahmen dienen. So werden gegenwärtig in der Schweiz in verschiedenen Projekten Instrumente entwickelt (bzw. befinden sich bereits im Einsatz), die der Anwenderin und dem Anwender erlauben, mit Berechnungstools, wie z.B. „EconoMe“<sup>1</sup> Risiken zu berechnen und Massnahmen auf ihre Kosten-Wirksamkeit bzw. ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis hin zu überprüfen (Arge EconoMe, 2008). Dabei spielt der Faktor „Schadenempfindlichkeit“ eine bedeutende Rolle für die Berechnung des Schadenausmasses und damit des Risikos (Gleichung 1.1). Damit wirkt sich die Schadenempfindlichkeit direkt auf das Kosten-Wirksamkeits bzw. Kosten-Nutzen-Verhältnis von Schutzmassnahmen aus.

Im Rahmen der Arbeiten zum Einzelprojekt A1.1 „Leitfaden Risikokzept“ des PLANAT Aktionsplans und des Online Berechnungsprogramms „EconoMe“ des BAFU wurde deutlich, dass die vorhandenen Werte zur Schadenempfindlichkeit von Gebäuden und anderen Objekten auf zum Teil groben Abschätzungen beruhen, die mit Hilfe empirisch ermittelter Daten überprüft werden sollten. Die Überprüfung der bestehenden Annahmen mit empirisch erhobenen Daten war daher der wesentliche Auslöser für die vorliegende Arbeit. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen daher Anhaltspunkte liefern, ob die in „EconoMe“ verwendeten Werte, die auch als Annäherung für die detaillierten Risikoanalysen im „Leitfaden Risikokzept“ dienen, in der richtigen Grössenordnung liegen. Im Sinne des in Abbildung 1.3 dargestellten Schemas sind die Ergebnisse dieser Arbeit als Input für die Konsequenzenanalyse zu sehen. Im übergeordneten Sinne wird damit ein Beitrag zur genaueren Dimensionierung von Massnahmen zur Prävention geleistet und ein Hinweis auf das Ausmass von Schäden (Bedeutung in der Interventions- bzw. Wiederherstellungsphase) gegeben.

<sup>1</sup>Bei EconoMe handelt es sich um Online-Tool für die Berechnung der Kosten-Wirksamkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Die Berechnung der Risiken erfolgt anhand von Durchschnittswerten. Die Ergebnisse dienen dem Bundesamt für Umwelt und den Kantonen zur Priorisierung von Massnahmen.

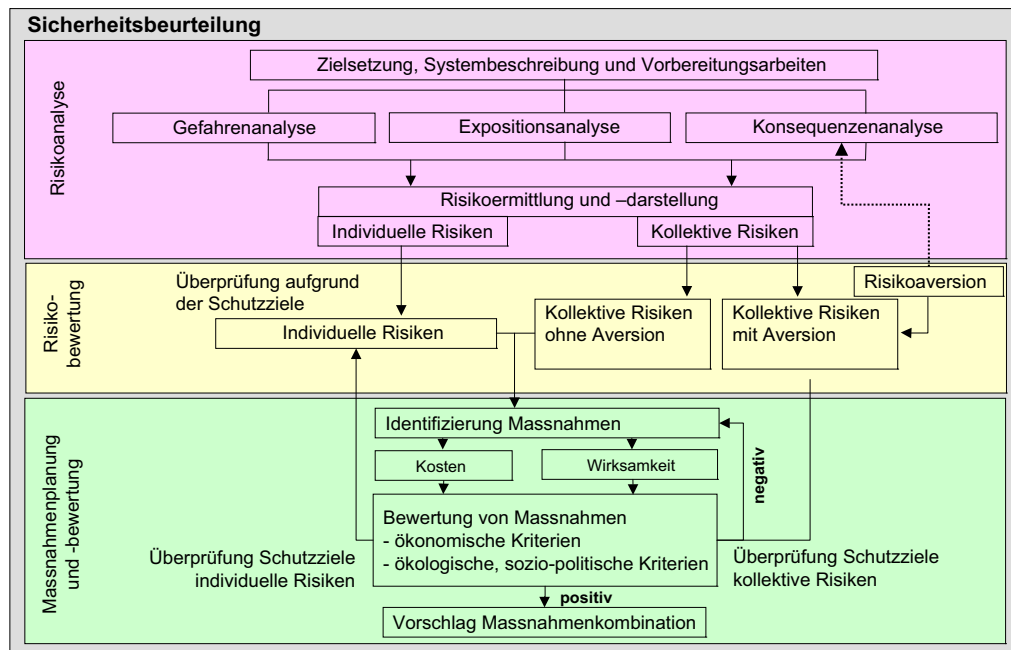


Abbildung 1.3: Der Parameter „Schadenempfindlichkeit“ ist ein Faktor in der Konsequenzenanalyse und geht damit in die Risikoberechnung ein.

Die empirisch ermittelten Werte zur Schadenempfindlichkeit von Gebäuden werden in dieser Arbeit über das Verhältnis von tatsächlich erhobenen Gebäudeschäden zum Versicherungswert des Gebäudes<sup>2</sup> nach Gleichung 1.4 ermittelt:

$$V_{i,j} = \frac{D_{i,j}}{A_i} \quad (1.4)$$

wobei:

$D_{i,j}$  = Schadenssumme Objekt  $i$  bei Einwirkung (Intensität)  $j$  [CHF]

$A_i$  = Wert des Objektes  $i$  [CHF]

Gemäss dieser monetären Definition der Schadenempfindlichkeit wird in diesem Sinne auch vom relativen Schaden gesprochen. Der relative Schaden kann einen Wert zwischen 0 (kein Schaden) und 1 (Totalschaden) annehmen. Die Höhe des relativen Schadens beeinflusst die Tragsicherheit bzw. die Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes. Die Relation von relativem Schaden und Gebrauchstauglichkeit bzw. Tragsicherheit ist je nach Objekt sehr verschieden. Die Quantifizierung dieser Relation, d.h. bei welcher Grösse des relativen Schadens die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Tragsicherheit zu einem gewissen Grad herabgesetzt ist, wird in dieser Arbeit nicht untersucht.

<sup>2</sup>Die Wahl des Versicherungswertes stellt eine pragmatische Vereinfachung dar. Der tatsächliche Wiederherstellungswert kann sich vom Versicherungswert unterscheiden.

## 1.2 Ziele und Gliederung des Berichts

Bei verschiedenen Naturereignissen in der Schweiz und im benachbarten Ausland sind im Verlauf der vergangenen Jahre zahlreiche Schäden an Gebäuden und Infrastruktur entstanden. Die Daten dieser Ereignisse sollten in diesem Bericht dahingehend überprüft werden, ob sie sich für eine Überprüfung bestehender Funktionen und die Ableitung genauerer Funktionen von Schadenempfindlichkeit und Letalität eignen. Ein weiteres Ziel der Arbeit ist ein die Erarbeitung eines Überblickes über Arbeiten zur Verletzlichkeit bei Naturgefahren dar, die in den vergangenen Jahren publiziert wurde. Die Ziele der vorliegenden Arbeit können mit folgenden fünf Punkten beschrieben werden:

1. Erstellung einer Übersicht vorhandener Literatur und laufender Arbeiten;
2. Erstellung einer Übersicht der Datenlage bezüglich Schaden- und Prozessdokumentationen vergangener Ereignisse. Zusammenstellung ausgewählter Fallbeispiele;
3. Detailanalyse von Schäden anhand der gewählten Fallbeispiele;
4. Überprüfung und Vorschlag zur Anpassung bereits vorhandener Werte zur Schadenempfindlichkeit (Borter und Bart, 1999) sowie der Werte, die im Online-Tool EconoMe implementiert sind.
5. Vorschlag zum Vorgehen bei weiterführenden Untersuchungen.

Entsprechend diesen Anforderungen wurde der vorliegende Bericht wie folgt gegliedert:

**Kapitel 2:** gibt aufbauend auf der Arbeit von Hollenstein et al. (2002) eine Übersicht über die Literatur zur Verletzlichkeit.

**Kapitel 3:** stellt laufende Aktivitäten, wie z.B. wissenschaftliche Projekte im nationalen und benachbarten internationalen Umfeld auf dem Gebiet der Verletzlichkeitsanalyse dar.

**Kapitel 4:** beschreibt die verschiedenen Datenquellen, die in der Schweiz für eine Analyse zur Verfügung stehen.

**Kapitel 5:** analysiert anhand verschiedener Fallbeispiele die Verwendbarkeit der zur Verfügung stehenden Daten.

**Kapitel 6** diskutiert diese Analyse und soll die Grundlage für den Entscheid über das weitere Vorgehen liefern.

**Kapitel 7** macht Vorschläge zum weiteren Vorgehen.





## Kapitel 2

# Literaturübersicht

### 2.1 Allgemeines

Der Begriff Verletzlichkeit (engl. Vulnerability) findet in der Literatur eine breite Verwendung in den unterschiedlichsten Fachgebieten. Diese Tatsache führt dazu, dass sich gezielte Suchabfragen zu diesem Thema in Online-Katalogen (Web of Science, Nebis, Science Direct) schwierig gestalten. Ausserdem ist es sehr schwierig und oft mit vielen Umwegen verbunden, auf Berichte zu stossen, die auf Verwaltungsebene oder bei privaten Firmen (z.B. Versicherungen) für den internen Gebrauch erstellt wurden. Diese Probleme treten im gleichen Rahmen bei den Recherchen über die Aktivitäten zum Thema Verletzlichkeit (Kap. 3) auf.

In Hollenstein et al. (2002) wurde bereits eine systematische Literaturrecherche zum Thema Verletzlichkeit gegenüber Naturgefahren durchgeführt. Darin sind vorhandene methodische oder konzeptionelle Ansätze zur Verletzlichkeit sowie angewandte Verletzlichkeitsanalysen oder -funktionen, nach den Gefahrenprozessen Erdbeben, Wind, Lawinen, Massenbewegungen und Hochwasser unterteilt, beschrieben. Der Bericht kommt zum Schluss, dass die vorhandene Literatur sehr schmal und lückenhaft ist. Besonders für die hier interessierenden gravitativen Gefahrenprozesse sind wenige bis keine praxistauglichen Werkzeuge vorhanden. Ebenfalls zeigt sich ein sehr unterschiedlicher Wissensstand je nach Prozessart.

Eine weitere Bestandesaufnahme in Hollenstein (2005) hat ergeben, dass ein sehr heterogenes Bild bezüglich der Definition und der Verwendung des Begriffs Verletzlichkeit besteht. In den meisten Arbeiten sind die Ansätze sehr spezifisch auf eine bestimmte Kombination von Gefahr und gefährdete Objekte ausgerichtet und erlauben nur bedingt die Übertragung auf andere Rahmenbedingungen. Hollenstein (2005) schlägt ein allgemeineres Konzept für die Verletzlichkeitsanalyse vor. Dieses beruht darauf, dass die Beeinträchtigung von Objekten durch eine Einwirkung über einen Zwischenschritt beurteilt wird. Es müssten also kausale Ketten von Einwirkung–Zustand–resultierende Funktionstüchtigkeit aufgestellt werden. Die Beschreibung der Einwirkungen geschieht idealerweise über eine Schnittstelle, welche dazu dient die verschiedenen Outputs aus der Gefahrenbeurteilung in messbare Parameter (z.B. Druck, Impuls, etc.) umzuwandeln. Dadurch könnte

die Gefahren- und Schadenbeurteilung modulweise, das heisst unabhängig voneinander behandelt werden. Ein solches standardisiertes Vorgehen würde den Vergleich zwischen verschiedenen Modellen erheblich vereinfachen und somit die Kalibrierung und Optimierung derselben ermöglichen.

In Douglas (2007) wird ausführlich dargelegt, wieso der Untersuchung der Verletzlichkeit bei gravitativen Gefahrenprozessen sehr wenig Beachtung geschenkt wurde. Einer der Hauptgründe besteht darin, dass es möglich ist den Prozessen genügend gut auszuweichen oder die Auswirkungen durch geeignete Massnahmen zu reduzieren oder gar an der Gefahrenquelle ganz abzuwenden. Durch geeignete Massnahmen (am Objekt) kann man bei Sturm, Erdbeben, Hagel die Verletzlichkeit verringern.

Aufgrund der Resultate von Hollenstein et al. (2002) drängt sich einerseits eine Unterteilung der Literaturübersicht in die Prozesskategorien Lawinen, Hochwasser, Murgang, Sturz, Rutschungen und andererseits eine Fokussierung auf Publikationen nach dem Jahr 2002 auf.

## 2.2 Prozess Lawinen

Ein erster Ansatz zur Quantifizierung der Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber Lawinen ist in Wilhelm (1997) zu finden. Dort werden sechs Gebäudekategorien unterschieden (Tab. 2.1), für die Schwellenwerte (Schadenschwelle, Zerstörungsgrenze) definiert wurden, die als Stützpunkte für den Verlauf der Schadenempfindlichkeit gegenüber dem Lawinausmass (Druck) dienen. Zwischen den spezifischen Schadensschwellen und Zerstörungsgrenzen wurde eine lineare Abhängigkeit angenommen. Zusätzlich geht Wilhelm davon aus, dass eine Schadenempfindlichkeit grösser als 0.5 einem Totalschaden des Gebäudes entspricht ( $V=1$ ).

*Tabelle 2.1: Gebäudekategorien nach Wilhelm (1997), wie sie auch in Borter und Bart (1999) verwendet werden.*

Gebäude- kategorie	Bauweise	Resistenz
GK 0	Leichtestbauweisen (einfache Holzbauten, Caravan)	keine
GK 1	Leichtbauweise (Rundholzbauten, Ständerbauweise mit Verschalung)	sehr gering
GK 2	Gemischte Bauten (Mauer und Holz, Chalets)	gering
GK 3	Mauerbauten	mittel
GK 4	Betonbauten armiert	hoch
GK 5	Verstärkte Bauten	sehr hoch

Die bereits bei Hollenstein et al. (2002) erwähnte Arbeit von Keylock und Barbolini (2001) präsentiert eine empirisch ermittelte Funktion der Schadenempfindlichkeit aus einigen Fallanalysen. Es wird gezeigt, dass eine deutliche Relation zwischen der Schadenempfindlichkeit eines Gebäudes und der Distanz zwischen Position eines Gebäudes entlang der Lawinenbahn und dem Startpunkt der Lawine besteht. Die Schadenempfindlichkeit eines Gebäudes lässt sich nach diesen Untersuchungen als Funktion der Distanz

zum Startpunkt der Lawine ableiten. Die Autoren schliessen daraus, dass bessere Kenntnisse (mehr Fallbeispiele) über Lawinengeschwindigkeiten und verursachte Schäden als Funktion von Gebäudetyp und -position das Modell entscheidend verbessern könnten und eine Verwendung ohne individuelle Kalibration für jede Lawinenlaufbahn ermöglichen würden.

Bonnevie et al. (2003) modellieren die Druckeinwirkung für drei unterschiedliche Lawinentypen auf eine Gebäudeseite (Mauerwerk), welche aus Standardmodulen aufgebaut ist. Aufgrund der beobachteten Auswirkungen konnten drei Schadenklassen (siehe Tab. 2.2) definiert werden. Weiter wurden daraus die drei entsprechenden Stufen der Schutzwirkung für sich im Gebäude befindende Personen abgeleitet.

*Tabelle 2.2: Schadenklassen und entsprechender Schutz für Personen in Gebäuden (nach Bonnevie et al. (2003)).*

Klasse	Schadenbild	Sicherheit für Personen
1	Das Gebäude zeigt keine signifikanten Schäden.	Optimal
2	Das Gebäude zeigt signifikante Schäden, bewahrt jedoch kurzfristig seine Schutzfunktion.	Gut
3	Das Gebäude ist zerstört und kann wahrscheinlich keine Schutzfunktion wahrnehmen.	Nicht gesichert

Die empirischen Schadenempfindlichkeitsfunktionen in Barbolini et al. (2004); Barbolini et al. (2006) wurden in Abhängigkeit von lawinendynamischen Parametern (Geschwindigkeit, Fliesshöhe, Druck) abgeleitet. Die dazu verwendeten Daten stammen von den Schadenlawinen 1988 in St. Anton (Wolfsgruben) und 1999 in Galtür (beide Tirol, Österreich), wobei der verwendete Datensatz 57 Gebäude beinhaltet. Eine Unterscheidung von Schäden durch den Fliess- oder Staubanteil einer Lawine ist sehr schwierig. In Tabelle 2.3 ist die Klassierung der Gebäudeschäden in eine Skala von eins bis vier ersichtlich, auf deren Grundlage der relative Schaden (oder die Schadenempfindlichkeit) mit der Beziehung:

$$V = \frac{4 \cdot DD^2}{64} \quad (2.1)$$

abgeleitet wurde<sup>1</sup>. Dieses Vorgehen wurde bereits von Keylock et al. (1999) vorgeschlagen und stammt ursprünglich aus dem Gebiet der Erdbebenforschung (d'Albe, 1988). Für eine Funktion der Schadenempfindlichkeit bei Personen im Freien diente die Statistik der Lawinenunfälle in den italienischen Alpen zwischen 1983 und 2003. In diesem Datensatz waren bei 529 Lawinenereignissen 1423 Personen betroffen und 388 davon sind zu Tode gekommen. Die abgeleitete Todesfallwahrscheinlichkeit (Letalität) wurde mit der Verschüttungstiefe verglichen. In diesen zwei Arbeiten kommt man zum Schluss, dass noch mehr Daten als Grundlage vorhanden sein sollten, um die Schadenempfindlichkeiten besser bestimmen zu können.

Die Risikoeinschätzung für drei Lawinenzüge in Galtür, Tirol von Keiler et al. (2006) legt ein besonderes Augenmerk auf die zeitliche Entwicklung des Risikos und somit auch

<sup>1</sup>Die Beziehung von Barbolini et al. (2004) liesse sich nach Meinung der Autoren noch weiter vereinfachen, so dass  $V \equiv \left(\frac{DD}{DD_{max}}\right)^2$

Tabelle 2.3: Vierskalige Schadenklassierung nach Barbolini et al. (2004) wie sie in ähnlicher Weise bereits bei Erdbebenschäden verwendet wird. „DD“ bezeichnet den Schadengrad eines Gebäudes (engl. Abkürzung für „Damage Degree“).

DD	Beobachtete Schäden
4	Teilweise oder komplett zerstörtes Gebäude
3	Grosser Schaden an der Tragkonstruktion
2	Zerstörte Kamine, Gibel und Dachkonstruktionen; Schaden oder Kollaps des Daches
1	Keine sichtbaren Schäden an der Tragstruktur, Schaden an Türen und Fenstern, etc.

der Verletzlichkeit. Als Wert für die Schadenempfindlichkeit wurde die Werte gemäss der Funktion von Wilhelm (1997) übernommen, weil diese verschiedene Gebäudekategorien unterscheidet und so der zeitliche Verlauf der Widerstandsfähigkeit von Gebäuden wiedergegeben werden kann.

## 2.3 Prozess Hochwasser

In den letzten Jahren wurden in europäischen Forschungsprojekten (insbesondere in Deutschland) sehr grosse Anstrengungen im Bereich Verletzlichkeit durch Hochwasser unternommen bzw. sind immer noch im Gang (siehe Kap. 3.2.1).

Im Rahmen des europäischen DayWater Projekts von 2003 bis 2005 (Barroca et al., 2006, [www.daywater.h2o.net](http://www.daywater.h2o.net)) wurde eine offene Internetplattform erstellt, wo qualitativ auf verschiedene Aspekte der Verletzlichkeit eingegangen wird. Die Plattform ist für ein breites Publikum vorgesehen und thematisiert unter anderem die Verletzlichkeit von Gebieten sowie die Schadenempfindlichkeiten von einzelnen Objekten. Die Bedeutung ist im Bereich der Ausbildung und Prävention (Sensibilisierung) anzusiedeln.

Im Rahmen des INTEREGG IIIb Projektes „FLOWS“ wurde eine E-Learning Plattform<sup>2</sup> zum Thema „Sustainable Flood Management“ entwickelt. Darin sind einige Hinweise auf die Anwendung von Verletzlichkeits- respektive Schadenfunktionen in den Anrainerstaaten der Nordsee zu finden. Grundsätzlich gibt es in den beteiligten Staaten Norwegen, Schweden, Niederlande, Deutschland und Grossbritannien keine offizielle und national angewandte Schadenfunktion. Bei den zwei erstgenannten Ländern sind die Gemeindebehörden für das Risikomanagement verantwortlich. Der Schaden wird hauptsächlich aufgrund der reellen Kosten von Gemeinde und Versicherungen ermittelt. In den Niederlanden, Deutschland und Grossbritannien sind Schadenfunktionen eher in Gebrauch, wobei es dazu jeweils keine klaren Richtlinien gibt. Deshalb sind die angewandten Methoden auch innerstaatlich nicht einheitlich. Die aktuellen Ansätze in Deutschland sind in Kap. 3.2.1 erläutert. Für Grossbritannien ist vorwiegend das sogenannte „Multi Coloured Manual (MCM)“ (Penning-Rowsell et al., 2006b,a) wegweisend. Dieses wurde vom Flood Hazard Research Center<sup>3</sup> an der Middlesex Universität in London erarbeitet und berücksichtigt auch indirekte Kosten (Rettungskosten, Unterbruch von Verkehrswegen,

<sup>2</sup>FLOWS-Projekt: <http://flows.wb.tu-harburg.de/index.php?id=135>

<sup>3</sup>fhrc, Middlesex University: <http://www.fhrc.mdx.ac.uk/resources/index.html>

Betriebsunterbruch). Der neueste Stand in den Niederlanden wird in der Dissertation von Jonkman (2007) präsentiert. Er entwickelte eine neue Methodik um die Anzahl Todesfälle bei Überflutungsereignissen zu modellieren. Die Faktoren welche die Letalität beeinflussen (zB. Flutcharakteristik, Warnung und Evakuationsmöglichkeiten) werden berücksichtigt und erlauben zusammen mit Daten aus vorangegangenen Ereignissen genauere Abschätzungen als bis anhin. Die Arbeit fokussiert sich auf Ereignisse, in denen das Versagen eines Schutzdammes zu Hochwasser in tiefliegenden Gebieten (Niederlande, New Orleans) führt (Jonkman und Vrijling, 2007; Roos und Jonkman, 2006).

Die Federal Emergency Management Agency (FEMA) des U.S. Departement of Homeland Security stellt ein GIS-basiertes Instrument zur Risikoabschätzung (FEMA, 2006) zur Verfügung. Damit kann die Verletzlichkeit von Gebieten in drei unterschiedlichen Grössenordnungen analysiert werden, je nach Detaillierungsgrad der vorhandenen Grundlagen. Es können die Prozesse Erdbeben, Wind und Hochwasser berücksichtigt werden. Für Hochwasseranalysen werden physische und ökonomische Schäden abgeschätzt. Im Auftrag des Umweltdepartements des Bundesstaates Maryland, USA wurde beispielsweise eine Verletzlichkeitsanalyse bezüglich Fluss- und Küstenhochwasser mit der HAZUS-Software durchgeführt (Joyce und Scott, 2005).

## 2.4 Prozess Murgänge

Glade (2003) präsentiert einerseits eine Übersicht von Verletzlichkeitsanalysen bei gravitativen Massenbewegungen und andererseits zwei Anwendungen für den Prozess Murgang. Ein Vergleich der untersuchten Arbeiten gestaltet sich schwierig, weil die genaue Berechnung der Schadenempfindlichkeit oft unbekannt ist. Glade vermutet, dass die meisten Werte aufgrund fehlender Datengrundlagen geschätzt sind. Eine allgemeine Strategie zur Bestimmung von Schadenempfindlichkeiten bezüglich Rutschprozessen bietet auch er nicht.

Die Diplomarbeit „Schadenempfindlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachgefahren“ (Kimmerle, 2002) untersucht anhand von vier ausgewählten Wildbachschadenereignissen in der Schweiz die Schadenempfindlichkeit gegenüber den jeweiligen Prozessintensitäten. Mit zunehmender Prozessintensität steigt die Schadenempfindlichkeit zwar tendenziell an, eine konkrete Schadenfunktion konnte jedoch aufgrund der grossen Bandbreite der Resultate nicht hergeleitet werden. Die Rohdaten dieser Arbeit stehen für weitere Analysen zur Verfügung.

Liu und Lei (2003) stellen einen regionalen Index für die Verletzlichkeit bezüglich Murgangprozessen vor. Dieser ist zusammengesetzt aus einem sozialen und einem monetären Anteil. Mit einem nicht-linearen Potenzgesetz-Modell werden die zwei Komponenten verknüpft. Das Konzept wurde für Gebiete ohne Datengrundlagen zu Gefahrenprozessen erdacht.

Die Publikation von Fuchs et al. (2007a) entstand im Rahmen vom Projekt Irasmos (siehe Kap. 3.2.2). Anhand eines Murgangereignisses im Wartschenbach (bei Lienz, Österreich) wurde die Schadenempfindlichkeiten für jedes einzelne Gebäude bestimmt. Es waren 16

Tabelle 2.4: Schadenempfindlichkeiten von Gebäuden ( $V_g$ ), Personen ( $V_{pe}$ ) und Personen in Gebäuden ( $V_{peg}$ ) gegenüber den Prozessen Murgang und Sturz (Bell und Glade, 2004).

Prozess	Intensität								
	schwach			mittel			stark		
	$V_p$	$V_{pe}$	$V_{peg}$	$V_p$	$V_{pe}$	$V_{peg}$	$V_p$	$V_{pe}$	$V_{peg}$
Murgang	0.1	0.2	0.02	0.2	0.3	0.06	0.5	0.5	0.25
Sturz	0.1	0.2	0.02	0.3	0.4	0.12	0.5	0.5	0.25

Wohngebäude betroffen, die typischerweise Erdgeschosse im Mauerwerksbau und Keller- geschosse mit Beton aufweisen. Die Werte für die Schadenempfindlichkeit wurden mit der entsprechenden Prozessintensität (hier approximiert durch die Ablagerungshöhe in Meter) verglichen. Die Autoren schlagen eine quadratische Funktion vor, um die Schadenempfindlichkeit zu beschreiben. Diese Funktion gilt für Ablagerungshöhen von 0.33 bis ca. 3 m. und kann vor allem die Beobachtungen bei kleinen Intensitäten akzeptabel beschreiben. Durch die Limitierung auf eine Ablagerungshöhe von rund 3 m, können höhere Prozessintensität, die zu einer Schadenempfindlichkeit von 1 führen würden, nicht beschrieben werden. Zur Bestätigung der vorliegenden Resultate müssen, nach Meinung von Fuchs et al. (2007a) noch weitere Fallbeispiele analysiert werden.

## 2.5 Prozess Sturz

Für den Prozess sind sehr wenige Arbeiten in der Literatur zu finden. Bell und Glade (2004) geben in ihrer Arbeit auch Schadenempfindlichkeiten für den Prozess Sturz an (Tab. 2.4). Eine neuere Arbeit von Mavrouli und Corominas (2008) präsentiert eine Methodik für die Beurteilung der Verletzlichkeit von Gebäuden unter der Einwirkung von Steinschlag. Weitere Arbeiten von Budetta (2004) oder Straub und Schubert (2008) untersuchen vor allem das Risiko durch Steinschlag entlang von Strassen.

## 2.6 Prozess Rutschung

Dai et al. (2002) geben einen Überblick der vorhandenen Methoden zur Beurteilung von Risiken und dem Risikomanagement bei Rutschprozessen. Die Schadenempfindlichkeit wird als Schadenpotential eines Objekts bei einer bestimmten Intensität des Rutschprozesses definiert. Im Allgemeinen hängt die Schadenempfindlichkeit im Zusammenhang mit Rutschprozessen von folgenden Variablen ab: Auslaufstrecke, Rutschvolumen und -geschwindigkeit, den dem Prozess ausgesetzten Elementen (Gebäude, Strassen, Personen) mit ihren Eigenschaften und der Nähe zu Rutschung.

Delmonaco et al. (2007) versuchen die Verletzlichkeit von Kulturgütern zu evaluieren. Die Analyse wurde anhand direkter Untersuchungen an Objekten durchgeführt und die Funktionen der Schadenempfindlichkeit mittels den drei Parametern Intensität der Rutschung, strukturelle Eigenschaften der Risikoelemente und dem Schadenpotential definiert.

Im Einzugsgebiet des Arno (Toskana, Italien) haben Catani et al. (2005) Schadenempfindlichkeitswerte gegenüber Rutschprozessen ermittelt. In vier Intensitätsstufen unterteilt, konnten den relevanten Objektkategorien entsprechende Werte zugeordnet werden. Die Schadenempfindlichkeiten wurden aus Statistiken des italienischen Finanzministeriums und der lokalen Behörden abgeschätzt.

Düzgün und Lacasse (2005) schlagen vor, dass Schadenempfindlichkeiten auf der Ereignismagnitude, den variablen Eigenschaften der Risikoelemente und der Betrachtungstiefe (lokal, regional, etc.) basiert sein sollen. Die Ereignismagnitude wird durch Geschwindigkeit, Volumen, Mächtigkeit, Auslaufstrecke und flächenhafte Ausdehnung bestimmt. Die Abschätzung der Risikoelemente geschieht aufgrund von Attributen wie Bevölkerungszahl, Eigentumswerte, Umwelt und Wirtschaft zum Beispiel mit Hilfe der Multi Attribute Utility Theory (MAUT). Das vorgeschlagene Konzept für eine 3-D Verletzlichkeit muss nun durch Untersuchungen mit existierenden Datenbanken und ähnlichen Informationsquellen quantifiziert werden.

Die von der Australischen Geomechanischen Gesellschaft (AGS) herausgegebenen „Practice Note Guidelines for Landslide risk management“ (AGS, 2007) geben einen Überblick im Umgang mit dem Faktor Schadenempfindlichkeit. Sowohl die Verletzlichkeit von Objekten als auch von Personen wird berücksichtigt. Die angegebenen Werte für die Schadenempfindlichkeit sind nur als Beispiele aufgeführt sollen für eine spezifische Anwendung ausdrücklich kritisch überprüft werden.

Remondo et al. (2005) haben für ein 140 km<sup>2</sup> grosses Gebiet in Nordspanien ein Inventar aufgearbeitet, um die exponierten Elemente (Gebäude, Infrastrukturanlagen, Landwirtschaftsfläche) bezüglich ihrer Schadenempfindlichkeit zu beurteilen. Die Region ist mit 4000 registrierten Rutschereignissen in 50 Jahren geeignet, um einen statistischen Ansatz zu wählen. Das Verhältnis des durchschnittlichen Schadens bei einem Rutschereignis zum Gesamtwert eines Elements wurde als Schadenempfindlichkeit bei einer Rutschung mit durchschnittlicher Magnitude angesehen.

Lee und Jones (2004) diskutieren verschiedene Aspekte der Verletzlichkeit im Bezug auf Rutschungen. Sie zeigen vorhandene Ansätze zur Klassierung der Schadenintensität, zu den Eigenschaften und zu Typologien von exponierten Elementen (Gebäude, Personen) auf. Damit lassen sich schliesslich Verletzlichkeitsindices bestimmen. Weiter weisen sie auf die Komplexität bei der Anwendung des Verletzlichkeits-Konzepts auf Personen und Gesellschaften hin. Dabei sind die einflussreichen Faktoren sowie Folgen sehr weitreichend, schwierig abzuschätzen und einzugrenzen.

Im EU-Projekt Imiriland<sup>4</sup> (Impact of Large Landslides in the Mountain Environment Identification and Mitigation of Risk) werden relevante Kriterien zur Bestimmung der Verletzlichkeit diskutiert. Die einzigen Verletzlichkeitswerte welche mit einer Intensität in Verbindung gebracht werden sind qualitativ und beziehen sich auf den Prozess Fels- und Bergsturz.

---

<sup>4</sup><http://extranet.regione.piemonte.it/imiriland/>





## **Kapitel 3**

# **Aktivitäten zum Thema „Verletzlichkeit“**

### **3.1 Aktivitäten in der Schweiz**

#### **3.1.1 Ereignisanalyse Hochwasser 2005**

Die Firma Egli Engineering AG bearbeitet im Rahmen des Projekts „Ereignisanalyse Hochwasser 2005“ das Teilprojekt Verletzlichkeit, Objektschutz und Nutzung. Eine Zielsetzung besteht darin, die Verletzlichkeit von Gebäuden in Bezug auf die aufgetretenen Intensitäten der Gefahrenprozesse abzuschätzen. Weiter wird eine Unterscheidung nach Baumaterialien in Gebäude aus Mauerwerk und Holz und Gebäude mehrheitlich mit Mauer vorgenommen. Ein wesentliche Kenngrösse für die Schadenempfindlichkeit ist der Tragwerkschaden. Das heisst, dass vor allem fehlende oder beschädigte tragende Mauern von Interesse sind. Die Schadenempfindlichkeiten werden einerseits an Einzelobjekten und andererseits flächig für Siedlungen durch den Vergleich von Intensitätskarten versus Strukturschäden an den Gebäuden bestimmt. Die berücksichtigten Prozesse sind Rutschung (tief- und flachgründig), Murgang, Übersarung durch Wildbach, und Ufererosion. Die Ergebnisse sind im zweiten Teil der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 dargestellt (Bezzola und Hegg, C. (Ed), 2008).

#### **3.1.2 Weitere Arbeiten**

An verschiedenen Orten sind weitere Arbeiten zum Thema Verletzlichkeit im Gang oder werden in näherer Zukunft gestartet.

#### **ETH Zürich**

- Im Juni 2008 wird von F. Bachmann an der ETH Zürich eine Masterarbeit in Angriff genommen. Dabei soll die Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber statischem

und langsam fliessenden Hochwasser analysiert werden (Stichproben, ca. 300 Objekte). Die Arbeit wird sich vorwiegend auf die Unwetterereignisse im August 2005 in den Kantonen Ob- und Nidwalden fokussieren. In der Vorbereitungsphase wurde bereits versucht, Grundlagendaten zu beschaffen. Seitens der Ereignisdokumentation sind bezüglich Prozessraum und Prozessintensität detaillierte Daten vorhanden. Bei den Elementarschadenversicherungen, privaten sowie kantonalen Institutionen, stösst man offenbar auf grössere Schwierigkeiten an die entsprechende Zahlen heranzukommen (pers. Mitteilung, H. R. Heinimann, J. Hess und F. Bachmann).

- Projekt MERCI: Das vom SNF geförderte interdisziplinäre Forschungsprojekt erarbeitet die theoretischen Grundlagen eines Risikomanagements- und Entscheidungsunterstützungssystems vor, während und nach einem Erdbeben. Der entscheidungstheoretische Rahmen bietet eine Unterstützung für die Entscheidungsträger, die für die Sicherheit von Menschen, Umwelt und Sachwerten einer Region oder einer Stadt zuständig sind. Der theoretische Rahmen für das Risikomanagement ist die Bayes'sche Entscheidungstheorie. Risiken werden mit Hilfe von Bayes'schen Probabilistischen Netzen (BPN) unter Einbeziehung von beobachtbaren Indikatoren quantifiziert. Dies ermöglicht die relativ einfache Anpassung des entscheidungstheoretischen Rahmens auf die Charakteristiken einer spezifischen Region oder Stadt. Der Schwerpunkt wird auf die Versagensrisiken, sowohl von Gebäuden, als auch von Infrastrukturelementen, wie Brücken und Tunnels, gelegt. Darüber hinaus werden die Entscheidungssituationen über pre-posteriori Analysen mit dem Ziel bewertet, inwieweit die Ressourcen für eine Risikominderung optimal eingesetzt werden können ([www.merci.ethz.ch](http://www.merci.ethz.ch))
- Am Lehrstuhl „Risiko und Sicherheit“ an der ETH Zürich werden verschiedene Projekte zu Verletzlichkeit und der Robustheit von System und Anlagen erarbeitet (Baker et al., 2008; Straub und Schubert, 2008). Nähere Informationen finden sich unter <http://www.ibk.ethz.ch>.

### **Gebäudeversicherungen**

Es gibt Berichte von verschiedenen Gebäudeversicherungen zum Thema Schadenempfindlichkeit. Diese wurden teilweise auch für die Publikationen Borter (1999); Borter und Bart (1999) als Grundlage verwendet (pers. Mitteilung, Th. Egli). Dort wird einerseits mit einer Schadensumme pro Fläche aber auch mit einem Schaden pro Objekt (Durchschnittsschaden) gerechnet. Einzelobjekte werden selten detailliert analysiert. Interne Analysen der Gebäudeversicherungen sind in der Regel nicht öffentlich und dienen häufig einem anderen Zweck. Die Ergebnisse sind daher häufig nicht übertragbar.

Analysen von Schadendaten und Schadendossiers wurden von D. Aller (ehemals PartnerRe, Interkantonaler Rückversicherungsverband und Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; seit 2006 GVZürich, und ALLER RISK MANAGEMENT) durchgeführt. Die Analysen dienen unterschiedlichen Zwecken: Ermittlung des Schadenpotentials von Portfolios, um genügend Kapital oder Rückversicherung bereit zu halten (z.B. Geschäftsbe-

richt IRV 2003) oder um die Schadenentwicklung zu analysieren (z.B. BAFU, Ereignisanalyse Hochwasser 2005).

Bei EBP, Zollikon ist seit Februar 2008 ein Projekt im Auftrag der Berner Gebäudeversicherung in Bearbeitung. Um die Verletzlichkeit gegenüber Hochwassergefahren besser abschätzen zu können, wird an einem Instrument zur systematischen Erhebung von relevanten Gebäudeeigenschaften gearbeitet. Der Schwerpunkt liegt dabei vorwiegend auf gewerblich, industriell genutzten Gebäuden. Es werden Faktoren wie Baumaterial (Holz, Beton, . . .), Anzahl Geschosse, Festinstallationsdichte, etc. zur Beurteilung der Verletzlichkeit in Erwägung gezogen (pers. Mitteilung, Ch. Willi EBP).

#### **Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen**

Das Projekt „Erdbeben und Mauerwerk“ der Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen basiert auf der Vermutung, dass für den schweizerischen Bestand an Mauerwerksgebäuden Verletzbarkeits- und Verschiebungsfunktionen verwendet werden, welche das Schadenausmass Erdbeben in der Schweiz zu hoch einschätzen. Das Ziel des Projektes ist es, diese Hypothese zu bestätigen oder zu verwerfen. Sollte sie bestätigt werden, so werden neue Verletzbarkeits- und Verschiebungsfunktionen resultieren, welche das Schadenausmass neu beurteilen und somit direkt Einfluss auf die Rückversicherungsprämien nehmen. Das Teilprojekt „Seismische Verletzbarkeit von bestehenden Mauerwerksgebäuden in der Schweiz“ der ENAC-EPFL bearbeitet den gesamten Gebäudebestand in der Schweiz. Es wird durch das Teilprojekt „Nicht lineares Verformungsverhalten von Tragwerken aus Mauerwerk durch Versuche und numerische Modellierung“ von IBK-ETHZ in komplexen Einzelfragen im Detail unterstützt. Das Teilprojekt „Auswertung der Schadendaten des Albstadt-Bebens 1978 und Übertragung und charakteristische Mauerwerksgebäude in der Schweiz“ der Universität Weimar (Deutschland) stellt Daten eines Starkbebens zur Kalibrierung der anderen Teilprojekte zur Verfügung. Das Projekt hat im Frühjahr 2007 begonnen und wird Anfang 2010 abgeschlossen werden (siehe auch <http://www.praeventionsstiftung.ch>).

#### **Kantonale Naturgefahrenfachstellen**

Die „Wegleitung Naturgefahrenanalyse im Kanton St. Gallen“ (Naturgefahrenkommission et al., 2006) wird periodisch angepasst. Die aktuelle Version ist aus dem Jahr 2006. Darin enthalten sind auch Schadenempfindlichkeiten die gegenüber der Publikation (Borster und Bart, 1999) verändert wurden. Bearbeiter dieser Änderungen war T. Egli (Egli Engineering).

In einer Umfrage im Dezember 2007 wurden alle kantonalen Fachstellen bezüglich laufender Aktivitäten und Vorhandensein von geeigneten Fallbeispielen angefragt. Bis auf zwei Rückmeldungen aus den Kantonen Luzern und Obwalden (Informationen im Bericht eingearbeitet) waren keine weiteren Reaktionen zu verzeichnen. In verschiedenen Kantonen hat man im Laufe der letzten Monate begonnen, sich mit dem Thema Verletzlichkeit auseinanderzusetzen.

### **Bundesamt für Umwelt, BAFU**

Beim BAFU wird das Ziel verfolgt bessere Grundlagen zum Thema Verletzlichkeit bei Naturgefahren zusammen zu stellen. Es ist geplant, die Zusammenarbeit mit den Gebäudeversicherungen und dem Schweizerischen Versicherungsverband SVV zu suchen. Daneben werden Überlegungen angestellt, wie Informationen über Schadenereignisse, z.B. über eine Erweiterung des Ereigniskatasters „StorMe“, schneller verfügbar gemacht werden können. Mittelfristig (Zeithorizont 2011) ist vorgesehen, die verschiedenen Partner auf diesem Gebiet miteinander zu verlinken, damit die Informationen über Grundlagen, Daten und laufende Arbeiten besser fließen. Die verantwortliche Person für diesen Bereich ist Roberto Loat, Abteilung Gefahrenprävention, BAFU.

### **Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT**

Neben dem vorliegenden Projekt werden auch in anderen Projekten Fallbeispiele untersucht. Im Rahmen des Projekt A2 „Praxisbeispiele“ werden verschiedene Projekte hinsichtlich der Anwendung des Risikokonzepts untersucht (Utelli et al., 2008). Für weiterführende Studien kann es daher sinnvoll sein, diese Fallbeispiele näher zu konsultieren.

## **3.2 Aktivitäten im Ausland**

### **3.2.1 Hochwasser**

#### **RIMAX**

Unter dem Titel „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“ (RIMAX) läuft von 2005 bis 2008 ein deutsches Förderprojekt. Dieses wurde aufgrund der in den vergangenen Jahren aufgetretenen, grossen Überflutungsereignisse mit hohen Sachschaden initiiert. Koordiniert wird RIMAX durch das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) in Kooperation mit dem Center for Disaster Management and Risk Reduction Technologies (CEDIM, Uni Karlsruhe und GFZ-Potsdam). Erklärtes Ziel ist es, verbesserte Instrumente des Hochwasserrisikomanagements zu entwickeln und zur Verfügung zu stellen. Um möglichst praxisnahe Lösungen zu erreichen, sind neben Hochschulen und Forschungseinrichtungen auch private Ingenieurbüros, die Behörden sowie kommunale Organisationen an der Forschung beteiligt. Für den Transfer der Ergebnisse in die Praxis wurde vom DAW<sup>1</sup> eine Arbeitsgruppe gegründet. Folgende Arbeiten, Unterprojekte oder Kompetenzzentren beschäftigen sich mit der Verletzlichkeit von Objekten:

<sup>1</sup>Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

**Apel et al. (2007)**

Das Projekt zielt auf den Detaillierungsgrad von Prozess- und Schadenmodellen ab. Ein Vergleich vorhandener Verletzlichkeitsmodelle (Schadenfunktionen) mit unterschiedlicher Komplexität und Betrachtungstiefe wird anhand einer Fallstudie gemacht. Sie kommen zum Schluss, dass die Unsicherheiten auf Seite der Schadenmodellierung noch viel grösser sind als bei den Prozesssimulationen.

**Earthquake Damage Analysis Center (EDAC)**

In diesem Zentrum der Bauhaus-Universität Weimar hat Schwarz et al. (2007) für den Prozess Hochwasser ausgehend von einer Schadenklassierung einen mittleren Schaden-grad für die unterschiedlichen Gebäudetypen ermittelt. Diese Gebäudetypen lassen sich so anschliessend spezifischen Verletzlichkeitsklassen zuordnen und entsprechende Schaden-funktionen können abgeleitet werden. Für die Schadenempfindlichkeit ist die Bauart des Tragwerks der wichtigste Faktor. Die Methodik beschränkt sich vorläufig auf die lokale Ebene, weil für grossräumige Gebiete ein enormer Aufwand nötig ist, um die detaillierten Schadeninformationen zu erfassen.

**Methoden zur Erfassung direkter und indirekter Hochwasserschäden (MEDIS)**

Das Schadenmodell FLEMO basiert auf einer umfangreichen Befragung von hochwasser-geschädigten Haushalten und Unternehmen. Interessant sind die verschiedenen Differen-zierungen, welche gemacht wurden. Bei Privathaushalten zum Beispiel werden Einfa-milienhaus, Doppel-/Reihenhaus und Mehrfamilienhäuser unterschieden, wobei in jeder Kategorie wiederum die Ausstattung (niedrig/hoch) berücksichtigt wird. Mit einem abge-stuften Korrekturfaktor findet auch eine eventuelle Kontamination Eingang in die Höhe des Schadengrades. Die Genauigkeit der Methode für einzelne Gebäude oder sehr kleine Flächeneinheiten (Mikroskala) ist nicht sehr gut. Besser werden die Resultate im meso-skaligen Bereich, wenn sich die Fehler ausmitteln. Insbesondere bei Unternehmen sind die Differenzen zwischen Modell und Realität am grössten. Deshalb überlegt man sich eine Unterscheidung in individuell abzuklärende Objekte und solche, die anhand von Basis-werten geschätzt werden können.

Weitere Schritte im Projekt MEDIS sind die Ergänzung der Schadenfunktion mit ei-nem Unsicherheitsbereich und die Herausgabe eines Leitfadens (evt. zusammen mit dem DAW) zur systematischen Erhebung von Hochwasserschadendaten. Damit erhobene Grund-lagen sollen die Datenbank HOWAS21 speisen, um später die Modelle laufend anzupas-sen, zu verbessern und erweitern (Thieken et al., 2006; Kreibich et al., 2007, pers. Mit-teilung, A. Thieken ).

### **Dresden Flood Research Center**

Ein Themengebiet der Forschungsgruppe wird mit „Analyses of social, economic and ecological vulnerability“ beschrieben. Hier sind verschiedene sächsische Institute beteiligt: TU Dresden, Leibniz Institute of Ecological and Regional Development, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, TU Bergakademie Freiberg, Leibniz Institute for Tropospheric Research. Insgesamt wird eine ganzheitliche Sichtweise des Verletzlichkeitsbegriffs verfolgt (Messner und Meyer, 2006). Es steht die Frage im Vordergrund: Welche Verletzlichkeiten können und müssen berücksichtigt werden? Grundsätzlich werden direkte (physischer Wasserkontakt) und indirekte (kein physischer Wasserkontakt) Schäden unterschieden. Diese zwei Kategorien werden ihrerseits wieder in monetäre und nicht monetäre Schäden unterteilt.

Deilmann (2007) macht Abschätzungen der direkten Hochwasserschäden an Wohngebäuden. In einer GIS-Anwendung können die sogenannten UST (Urban-Structure-Type)-Flächen zusammen mit der simulierten Überschwemmungshöhe mit synthetischen Schaden-Kosten Funktionen verbunden werden. Daraus resultieren räumlich hochaufgelöste Schadenkostenberechnungen.

### **CRUE-ERANET**

Ein EU-Projekt das die Zusammenarbeit und den Wissenstransfer von nationalen Hochwasserprojekten fördert und vom DEFRA (Dept. for Environment Food and Rural Affairs), Grossbritannien von 2004 bis 2008 geleitet wird. Weiter wird das Ziel verfolgt, das entstandene Wissen auf institutioneller Ebene im Hochwasserrisikomanagement einzubinden und zu festigen. Ein Instrument zur Verletzlichkeitsanalyse auf der Stufe Einzugsgebiet ist in Entwicklung (Dorner et al., 2007, [www.fhd.edu/wasserumwelt](http://www.fhd.edu/wasserumwelt)). Dazu wird ein kombinierter Ansatz (statistisch, GIS) zur Beschreibung eines Verletzlichkeits-Index für die Gesellschaft verwendet. Als Grundlage dient eine Einteilung der Schadenobjekte in vier verschiedene Schadengruppen sowie statistische Bevölkerungs- und Wirtschaftsdaten.

### **FLOODsite**

Das europäische Projekt FLOODsite beschäftigt sich mit dem Risikomanagement bei Überflutungsereignissen. Der geplante zeitliche Rahmen dauert von 2005 bis 2008. Das Projekt beinhaltet unter anderem das Subthema „Vulnerability (Receptor exposure and consequence)“. Dabei werden Richtlinien für eine umfassende Schadenerhebung erarbeitet, welche eine einheitliche Praxis in Europa zur Folge haben sollen. Weitere Ziele sind die Entwicklung von Methoden zur sozioökonomischen Beurteilung und Modellierung um ein besseres Verständnis der Risikowahrnehmung in der Bevölkerung und deren Verhalten und Belastbarkeit zu erlangen. Ansätze für die Schadenabschätzung aus vier europäischen Ländern (England, Niederlande, Tschechische Republik und Deutschland) werden in Meyer und Messner (2005) verglichen, um Stärken und Defizite zu ermitteln.

Das Ziel ist schlussendlich eine harmonisierte und umfassende („vollständige“) Bewertung von Schäden (Messner, 2007).

### **3.2.2 Wildbach, Murgang, Rutschung, Sturz**

#### **Mountain Risks, 2007 bis 2010**

Die Koordination dieses EU-Projekts liegt beim Departement Physische Geografie der Universität Caen-Basse-Normandie, Frankreich sowie dem Nationalen Forschungszentrum CNRS. WB2 trägt den Titel „Consequence of hazard, vulnerability analysis and quantitative risk assessment“. Unter anderem wird dort ein Inventar der exponierten Risikoelemente erstellt (wie bei Irasmus WP4). Dazu gehört eine Beschreibung der Eigenschaften und historischen Entwicklung bezüglich deren Verletzlichkeit auf lokaler und regionaler Stufe. Weiter sollen Schadenempfindlichkeiten für die physischen Einwirkungen entsprechender Prozesse abgeschätzt werden (Malet et al., 2007).

#### **Risikoanalyse und Risikomanagement Wildbach, BOKU Wien**

Das interne Projekt der Universität für Bodenkultur in Wien wird am Institut für alpine Naturgefahren während der Dauer von 6 Jahren (2003 bis 2009) durchgeführt. Das Inventar der Wildbachereignisse in Österreich von 1972–2004 dient dabei als Grundlage zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Objekten. (Fuchs et al., 2007b; Oberndorfer et al., 2006; Kraus et al., 2006; Fuchs et al., 2007a).

#### **LESSLOSS**

Das EU-Projekt LESSLOSS ist auf die Erforschung von Grundlagen ausgerichtet, um das Risiko durch Erdbeben und Rutschungen zu verringern. Die Modellierung der Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber Rutschungen wird im Subprojekt 2, Task 1.2.2 bearbeitet. Verschiedene Deliverables (Nummer 10, 17 und 93) enthalten bereits Resultate. Weiter ist eine Arbeit in einer Fachzeitschrift eingereicht (Uzielli et al., 2008).

Papathoma-Koehle et al. (2007) schlagen eine Methodik zur Modellierung der Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber Rutschungen vor, welche auf einer für Tsunamiereignisse entwickelten Methode basiert. Eine Fallstudie in der Gemeinde Lichtenstein, Baden Württemberg (De) wurde durchgeführt.

#### **IRASMOS**

Workpackage behandelt den Verletzlichkeitsaspekt bei Murgängen, Lawinen und Bergstürzen. Es wurde ein Inventar der Risikoelemente erstellt und eine Übersicht über bestehende Verletzlichkeitsfunktionen gegeben. Mit einem Modellierungsansatz wird versucht, Funktionen zur Schadenempfindlichkeit für die Prozesse Murgang und Lawinen zu entwickeln (Bertrand und Naaim, 2008).

### **Einzelne Arbeiten**

In einer Risikoanalyse am Fallbeispiel Ardenno, Provinz Sondrio (I) werden in Calvo et al. (2006) verschiedene Verletzlichkeitsfunktionen angewandt und diskutiert. Die an der Universität „La Sapienza“, Rom ausgeführten Arbeiten sind keinem Projekt zuzuordnen.

Das von Pascale et al. (2007) vorgeschlagene Modell zur Beurteilung der Verletzlichkeit beruht auf der Betrachtung eines ganzen Gebietes und sieht die Schadenempfindlichkeit nicht als Charakteristik eines einzelnen Risikoelements. Die Methode ermittelt eine systemische Verletzlichkeit (Miniciardi et al., 2006) und ist in einem GIS verankert. Durch die wechselseitigen Beziehungen können jene Elemente ausfindig gemacht werden, die am häufigsten betroffen sind.

### **3.2.3 Lawinen**

#### **OPALE**

OPALE (Ouvrages de protection et bâtiments Pavillonnaires soumis à l'Action des avaLanchEs: Sollicitation, réponse, dimensionnement) ist durch die „Agence nationale de la recherche“ finanziert. Eines der Ziele ist die Ermittlung der Schadenempfindlichkeit von Mauerwerk in Relation zu bautechnischen respektive architektonischen Parametern zu ermitteln (Cemagref, 2006, siehe auch Kap. 2.2).

#### **IRASMOS**

Die eingereichte Arbeit von Bertrand und Naaim (2008) untersucht die Verletzlichkeit von Betonkonstruktionen gegenüber Lawinen. Bei weiterführenden Arbeiten werden auch Mauerwerkstrukturen betrachtet. Die Verletzlichkeit bezieht sich auf das Verhalten der Tragkonstruktion und wird aus dem Anteil deformierter Zonen im Verhältnis zu intakten Bereichen berechnet.



Tabelle 3.1: Eckdaten aktueller Forschungsprojekte.

RIMAX	2005 bis 2008	<a href="http://www.rimax-hochwasser.de">www.rimax-hochwasser.de</a>
Dresden Flood Research Center	-	<a href="http://www.Dresden-FRC.de">www.Dresden-FRC.de</a>
CRUE-ERANET	2004 bis 2008	<a href="http://www.crue-eranet.net">www.crue-eranet.net</a>
FLOODsite	2005 bis 2008	<a href="http://www.floodsite.net">www.floodsite.net</a>
MountainRisks	2007 bis 2010	<a href="http://mountain-risks.eu">mountain-risks.eu</a>
Risikoanalyse und Risikomanagement Wildbach	2003 bis 2009	<a href="http://www.baunat.boku.ac.at/488.html">www.baunat.boku.ac.at/488.html</a>
Ereignisanalyse Hochwasser 2005	2005 bis 2008	<a href="http://www.bafu.admin.ch">www.bafu.admin.ch</a>
LESSLOSS	2005 bis 2007	<a href="http://www.lessloss.org">www.lessloss.org</a>
OPALE	2006 bis 2009	<a href="http://www.grenoble.cemagref.fr/opale">www.grenoble.cemagref.fr/opale</a>
IRASMOS	2005 bis 2008	<a href="http://www.slf.ch/iramos">www.slf.ch/iramos</a>
EBP im Auftrag von Gebäudeversicherung Bern	2008	Erhebung relevanter Gebäudeeigenschaften
MERCI	seit 2004	<a href="http://www.merci.ethz.ch">www.merci.ethz.ch</a>
Verletzlichkeit Hochwasser	2008	Masterarbeit ETH, F. Bachmann



## Kapitel 4

# Übersicht vorhandener Datenquellen

### 4.1 Schadenlawinendatenbank (SLDB), SLF

Die Datenqualität und -quantität bezüglich der Verletzlichkeit von Objekten und Personen ist sehr unterschiedlich. Alle Ereignisse mit Todesfällen sind in der Datenbank erfasst. Es besteht jedoch eine grosse Unsicherheit, was die Vollständigkeit von Ereignissen mit nicht tödlichem Ausgang betrifft. Der Aufenthaltsort von Personen innerhalb eines Gebäudes während einem Lawinenniedergang ist in den allermeisten Fällen nicht oder nur mangelhaft beschrieben.

Um zuverlässige Werte der Prozessintensität und deren räumliche Verteilung abzuschätzen oder zu modellieren, sind möglichst gute Informationen der Anrissgeometrie einer Lawine erforderlich. Aufgrund von verschiedenen Faktoren (Lawine in der Nacht, Schneeverfrachtungen, Nebel, unzugängliches Anrissgebiet, etc.) können diese Parameter jedoch oft nicht ausreichend erhoben werden. Dies schlägt sich dann in der Qualität der Daten in der Schadenlawinendatenbank nieder, was bei Auswertungen entsprechend berücksichtigt werden muss.

*Tabelle 4.1: Lawinopfer in der Schweiz von 1946/47 bis 2006/07 getrennt nach Aufenthaltsort. (Quelle: SLDB SLF, Stand Mai 2007.)*

Schaden	Aufenthaltort					
	im freien Gelände		in Fahrzeugen		in Gebäuden	
	Anz.	[%]	Anz.	[%]	Anz.	[%]
Betroffen	4249	100	190	100	336	100
Davon tot	1028	24	29	15	142	42
Davon verletzt	954	22	53	28	63	19
Davon unverletzt	2267	53	108	57	131	39

## 4.2 Unwetterdatenbank WSL

Seit 1972 werden durch die Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Angaben zu Schäden durch Unwetter gesammelt. Die berücksichtigten Prozesse sind Hochwasser, Murgang, Rutschung sowie seit 2002 auch Sturzereignisse (zuvor nicht systematisch). Die Informationen stammen vorwiegend aus Medienberichten.

Für eine Auswertung in Bezug auf die Verletzlichkeit sind die Daten unterschiedlich gut geeignet. Allgemein ist auch die Unsicherheit der Daten zu berücksichtigen, welche zum Beispiel durch die zum Teil unvollständige oder zusammengefasste Berichterstattung in den Medien resultiert.

Die Verwendbarkeit der Datenbank zur Bestimmung von Schadenempfindlichkeiten bei Gebäuden ist ungenügend. Es wird nur angegeben, wie viele Objekte jeweils beschädigt oder zerstört wurden. Angaben zum Standort oder welchen Intensitäten ein Gebäude ausgesetzt war, sind nicht vorhanden.

Die Letalität von Personen kann grob abgeschätzt werden. Leider sind keine Angaben vorhanden, wie viele Personen jeweils insgesamt im Prozessraum betroffen waren. Lediglich die Anzahl toter und verletzter Menschen (letztere mit grösserer Unsicherheit) sind bekannt. Es können nur Letalitätswerte abgeleitet werden, die eine obere Grenze darstellen, weil die Anzahl unverletzter Personen nicht bekannt ist.

## 4.3 StorMe Datenbank

Die Ereignisse sind nach den Kategorien Hochwasser, Murgang, Rutschung und Sturz unterteilt. Die Informationen zu den betroffenen Personen werden durch die Anzahl der Toten, Verletzten und Evakuierten zusammengefasst. Gebäudeschäden sind grundsätzlich aufgeteilt in „beschädigt“ und „zerstört“ wobei Wohnhäuser, Industrie-/Gewerbebauten, landwirtschaftliche Gebäude und öffentliche Gebäude separat erfasst werden. Zu den einzelnen Ereignissen ist die Datenlage sehr unterschiedlich - einige beinhalten einen ausführlichen Memotext, bei anderen sind nur sehr spärliche Informationen vorhanden. Um spezifische Auswertungen der Datenbank zu machen ist die online Abfrageoberfläche leider ungeeignet.

## 4.4 Kantonale Gebäudeversicherungen

Die öffentlich-rechtlichen kantonalen Gebäudeversicherungen versichern in 19 Kantonen sämtliche Gebäude und damit 80% aller Gebäude in der Schweiz unbegrenzt gegen Feuer und Elementarschäden. Für aussergewöhnliche Ereignisse kaufen die KGV daher bei ihrem Interkantonalen Rückversicherungsverband (IRV) zusätzliche Deckung, für extreme Ereignisse bieten sie sich gegenseitig Schutz in der Interkantonalen Risikogemeinschaft. Der IRV kauft wiederum Rückversicherung auf dem Weltmarkt (OcCC und ProClim, 2007).

Bei den kantonalen Gebäudeversicherungen sind die Schadendossiers für vergangene Schäden archiviert. In der Regel sind die Daten der jeweils vergangenen 10 Jahre verfügbar. Zudem verfügen die Versicherungen über verschiedene Datenbanken. Bei einigen Gebäudeversicherungen ist man gegenwärtig daran, die Daten zu Gebäuden geofrenziert in den Datenbanken abzulegen. Die Daten nach Schäden werden von den Schadenschätzern in erster Linie hinsichtlich der Begleichung der Schäden nach einem Ereignis erhoben. Inwieweit sich die Daten für eine Analyse der Schadenempfindlichkeit für einzelne Gebäude eignen, muss in Einzelfall mit den Versicherungen abgeklärt werden. Stellvertretend für die 19 kantonalen Gebäudeversicherungen wurden zwei Kantone für eine Datenanfrage ausgewählt.

#### 4.4.1 Beispiel Kanton Bern

Von der Gebäudeversicherung Bern wurden die Daten für Objekte mit Elementarschäden (Erdrutsch, Hochwasser, Wasserschaden) in den Gemeinden Bern, Brienz, Diemtigen, Thun aus dem Zeitraum vom 21.08.-24.08.2005 zur Verfügung gestellt. Der Datensatz beinhaltet die jeweiligen Versicherungs- sowie Schadensumme und die Versicherungsnummer respektive Adresse des betreffenden Objekts. Der Schadenprozess ist nur sehr allgemein dokumentiert. Dies zeigt sich darin, dass praktisch alle betroffenen Objekte in Brienz und Diemtigen in die Kategorie Hochwasser eingeteilt sind. Ein weiteres Problem sind fehlende Adressen zu Objekten. Dadurch erhöht sich der Aufwand um die vorhandenen Daten für die vorliegende Fragestellung sinnvoll nutzen zu können.

Insbesondere nach Schadenereignissen bekommen die Versicherungen sehr viele Anfragen bezüglich Daten. Da die Versicherungen mit erster Priorität ihren eigenen Geschäften nachgehen, können sich bei Anfragen Wartezeiten ergeben.

#### 4.4.2 Beispiel Kanton Graubünden

Für Ereignisse aus den Jahren 1999 und 2005 war es kein Problem die Schadendaten für den Kanton Graubünden in Tabellenform zu erhalten. Bei den Ereignissen die länger als 10 Jahre zurückliegen ist es schwierig die korrekten Versicherungswerte ausfindig zu machen, da diese Daten nur 10 Jahre aufbewahrt werden müssen. Für die vorliegende Arbeit standen folgende Angaben von der Gebäudeversicherung Graubünden zur Verfügung:

**Gebäude:** Gebäudebezeichnung, Adresse, Parzellenummer, Gebäudenummer, Baujahr, Versicherungswert, Gebäudezweck

**Ereignis:** Datum, Schadennummer, Schadenursache, Schadenursache (Zusatz), Schadensumme (brutto)

Für die direkte Auswertung ergeben sich folgende Schwierigkeiten: Die Schadenwerte sind nicht zusammen mit den Versicherungswerten aufgeführt, sondern in separaten Datenbanken erfasst und nur über die Versicherungsnummer verknüpft. Zudem liegen die älteren Dokumente nicht digital vor, und die Verknüpfung ist aufwendiger. Heute noch existieren

tierende Gebäude, die einmal einen Schaden erlitten haben, sind im System nur noch mit den aktuellen Versicherungswerten aufgeführt. Diese entsprechen teilweise nicht mehr den gleichen Werten wie zum Zeitpunkt des Ereignisses. In solchen Fällen sind Auswertungen eingeschränkt und mit Vorsicht zu betrachten.

#### **4.5 Private Gebäude- und Sachversicherungen**

Die Privatassekuranz versichert gemäss Versicherungsaufsichtsgesetz (VAG) die Gebäude in den übrigen Kantonen. Auch das Mobiliar wird mit Ausnahme von Waadt und Nidwalden von der Privatassekuranz abgedeckt. Auch die privaten Versicherungen haben sich in einem Elementarschadenpool zusammengetan, um das Risiko gemeinsam zu tragen und an den internationalen Rückversicherungsmarkt weiterzugeben (OcCC und ProClim, 2007).

Die Daten der privaten Gebäudeversicherungen werden direkt bei den einzelnen Gesellschaften archiviert. Eine Verwendung der Daten dürfte vor allem deswegen problematisch sein, da die verschiedenen Gebäude bei verschiedenen Gesellschaften versichert sind. In diesem Projekt konnten keine entsprechenden Erfahrungen gesammelt werden.

# Kapitel 5

## Fallbeispiele

In diesem Kapitel werden die ermittelten Fallbeispiele vorgestellt. Bei der Auswahl der Fallbeispiele waren vor allem folgende Kriterien massgebend:

- Verfügbarkeit von Prozessdaten (Ablauf und Intensität) bzw. die Möglichkeit diese zu rekonstruieren;
- Verfügbarkeit von Schadendaten;
- Weitere vorhandene Zusatzinformationen.

Diese Kriterien engte die Auswahl relativ stark ein. Für die ausgewählten Fallbeispiele werden jeweils das Ereignis und der entstandene Schaden beschrieben. Anschliessend folgt die Beschreibung der vorhandenen Datengrundlagen. Als letzter Punkt wird die Auswertung hinsichtlich der Schadenempfindlichkeit vorgestellt, welche als Grundlage für die Diskussion in Kapitel 6 dient.

### 5.1 Prozess Lawine

#### 5.1.1 Davos, GR - Albertilawine 1984

##### Ereignis

Am 9. Februar 1984 stiess die Albertilawine in Davos Platz bis zu den ersten Häusern vor. Die Lawine hatte eine grosse und weitverzweigte Anrissfläche. Es ist nicht ganz geklärt, ob die gesamten Anrissgebiete zur selben Zeit ausgelöst wurden.

##### Schäden

Am Ausgang des Albertitobels wurden 3 Gebäude teilweise beschädigt. Je eine Person wurde getötet respektive verletzt, weil sie sich bergseitig, vor und im Gebäude aufhielten.



Abbildung 5.1: Zwei der drei durch die Albertilawine beschädigten Gebäude. Das dritte Haus liegt etwas tiefer zwischen den beiden sichtbaren Gebäuden. Das gelbliche Haus in der rechten Bildhälfte wurde vollständig überflossen (siehe auch Abb. 5.2) und trug den grössten Schaden davon. Foto: S. Spichtig.



Abbildung 5.2: Das vollständig überflossene Gebäude and der Ortsstrasse 2 während den Räumungsarbeiten am 10. Februar 1984. Foto: H.-J. Etter.

### Datensatz

Die verursachten Schäden sind bekannt und im Winterbericht 1983/84 des SLF (Etter, 1985) dokumentiert. Weitere Angaben der Gebäudeversicherung sind ebenfalls vorhanden (Versicherungswert, Schadenssumme, Adresse). Prozessseitig sind ausreichende Kenntnisse für eine Simulation des Ereignisses vorhanden. Damit können die Intensitätsparameter abgeschätzt und berechnet werden.



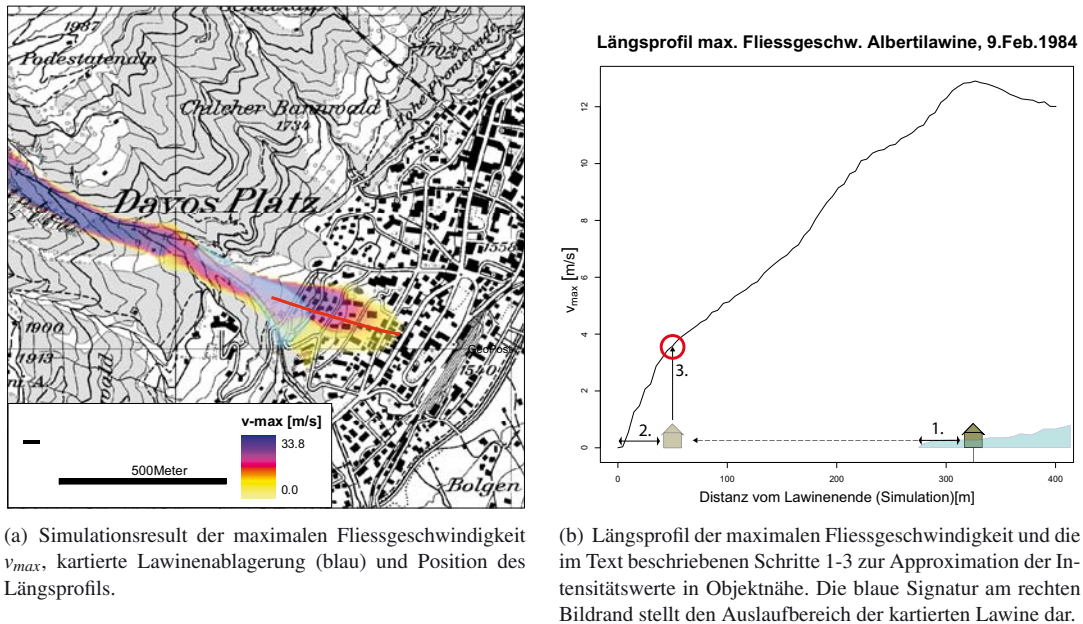


Abbildung 5.3: Ermittlung der Intensitätsparameter aus den Modellberechnungen.

### Auswertung

Die Abschätzung der Prozessintensitäten erfolgte auf Basis einer 2D-Simulation der Lawine. In einem ersten Schritt wurden die maximalen Fließhöhen und Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Schadenobjekte ermittelt. Da in der Modellierung die vorhandenen Gebäude mit ihrer bremsenden Wirkung nicht berücksichtigt werden, ist die Auslauflänge der modellierten Lawine zu gross. Dies erschwert die eindeutige Zuordnung von Druckwerten zu den jeweiligen Objekten. In Abbildung 5.3 ist der Unterschied zwischen der räumlichen Ausdehnung der modellierten Lawine zur Realität deutlich sichtbar. Die Intensitätswerte (Fließhöhe und -geschwindigkeit) beim Schadenobjekt mussten daher auf folgende Weise angepasst werden (Abb. 5.3):

1. Die Distanz des jeweiligen Objekts zum beobachteten Lawinenende wird entlang der Fließrichtung gemessen.
2. Dieselbe Distanz ausgehend vom Ende der simulierten Lawine wird entgegen der Fließrichtung, also bergaufwärts abgetragen.
3. An der so ermittelten Stelle werden die Intensitäten abgelesen.

Diese Annäherung erlaubte zumindest eine näherungsweise Abschätzung der Intensitäten.

Für die Bestimmung der Intensität werden üblicherweise die maximalen Druckwerte verwendet, welche sich aus der Gleichung:

$$p_{max} = \rho \cdot v_{max}^2 \quad (5.1)$$

mit Dichte  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  ergeben. Für die drei betroffenen Gebäude wurden Fließgeschwindigkeiten von 1.5 und 3.5 m/s abgeschätzt. Daraus ergeben sich Druckwerte zwi-

schen 0.7 und 3.7 kPa. In Tabelle 5.1 sind die Schaden und Intensitätswerte aufgeführt und in Abbildung 5.4 in einem halblogarithmischen Plot dargestellt.

Tabelle 5.1: Übersicht der Schadenobjekte in Davos mit entsprechenden Werten der Prozess- und Schadenseite. Die Gebäudekategorien wurden nach Wilhelm (1997) verwendet,  $V_{Ver}$  entspricht dem relativen Schaden abgeleitet nach Schadensumme und Versicherungswert,  $v_{max}$  und  $p_{max}$  sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten respektive Lawinendrucke.

Gebäudenr.	Gebäudekategorie	$V_{Ver}$	$v_{max}$ [m/s]	$p_{max}$ [kPa]
184	GK 3	0.015	1.5	0.7
152	GK 3	0.073	3.5	3.7
186	GK 3	0.003	3.5	3.7

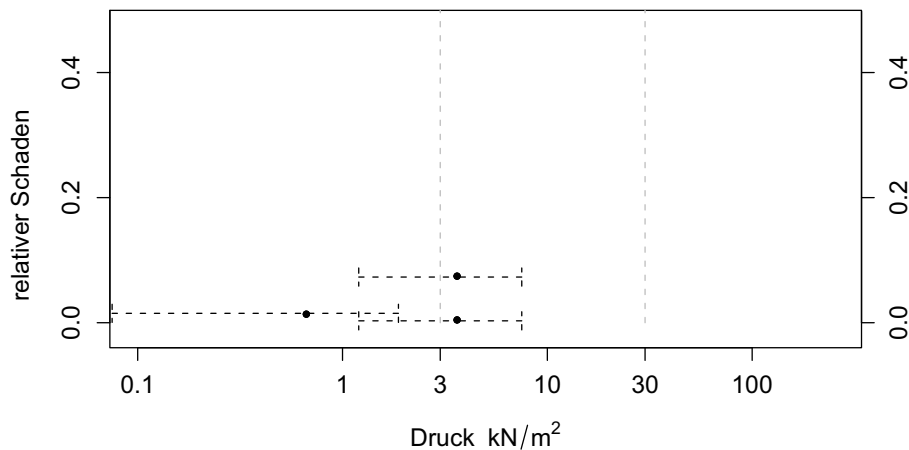


Abbildung 5.4: Die Datenpunkte der Schadenobjekte in Davos in der halblogarithmischen Darstellung. Die gestrichelten Linien zeigen den Fehlerbereich beim Druck, wenn für die maximalen Fließgeschwindigkeiten ein Fehler von  $\pm 1.5$  m/s angenommen wird. Die vertikalen Linien stellen die Grenzen zwischen schwacher, mittlerer und starker Intensität dar.

## 5.1.2 Malbun, FL - 1999

### Ereignis

Die Lawinenniedergänge ereigneten sich am 21. Februar 1999 um ca. 15.20 Uhr sowie in der Nacht auf den 22. Februar 1999. Ein solches Ereignis war bis anhin nicht bekannt. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich im hinteren Malbun erst seit der touristischen Erschliessung in den 1960-iger Jahren Personen im Winter aufhalten. Die Anrissgeometrie der beiden Lawinen konnte abgeschätzt werden.

### Schäden

Die beschädigten Objekte werden vorwiegend als Ferienhäuser benutzt, weisen jedoch verschiedene Bauarten auf. Total wurden 3 Häuser zerstört, 11 stark beschädigt und 5



Abbildung 5.5: Übersicht der zwei Lawinenniedergänge in Malbun auf Grundlage eines Fotos vor 1999. Die Gebäude sind nach Bachofner (1999) eingefärbt und stehen entsprechend der Beschädigung heute teilweise nicht mehr. Rot bedeutet zerstört, gelb teilweise beschädigt und grün leicht beschädigt. Foto: Archiv SLF.

teilweise beschädigt. Personen kamen keine zu Schaden, da das Gebiet vorgängig evakuiert wurde.

#### Datensatz

Die ausführliche Schadendokumentation stellt eine sehr gute Basis für Auswertungen dar. Für Berechnungen der Prozessintensität sind die Voraussetzungen insofern günstig, als SLF-intern bereits lawinenspezifische Kenntnisse vorhanden sind (die Gefahrenkarte wurde vom SLF erstellt). Folgende Dokumente aus dem Archiv des Hochbauamtes und dem Amt für Wald und Natur Liechtenstein (AWNL) stehen zur Verfügung:

- Karte mit Lawinengeometrie;
- Liste mit allen betroffenen Objekten inklusive Beschädigungsgrad;
- Plan mit Parzellennummern;
- Protokoll der Begehung vom 2. März 1999 (mit Fotos);
- Regierungsbeschluss über das Vorgehen bei der Beurteilung des Beschädigungsgrades (9. März 1999);
- Begründung zum Regierungsbeschluss;

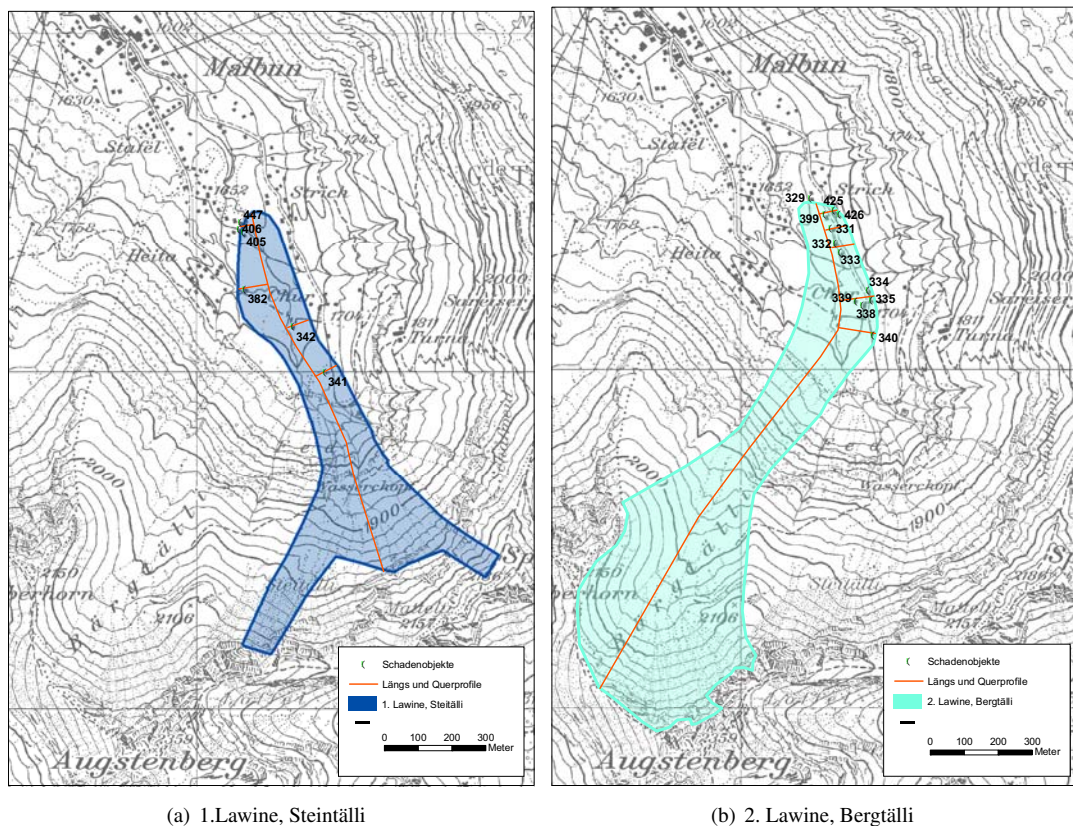


Abbildung 5.6: In den Karten sind die kartierten Lawinenumrisse sowie die entsprechenden Schadenobjekte mit Gebäudenummer eingetragen. Zusätzlich ist die Lage der Längs- und Querprofile ersichtlich, für welche die Intensitätswerte aus der Simulation abgeschätzt wurden.

- Schlussbericht zur Schadenaufnahme des Ingenieurbüros Conzett, Bronzini, Gartmann AG, Chur (Bachofner, 1999).

Zusätzlich wurden die jeweiligen Schadensummen und Gebäudewerte bei den Besitzern in Erfahrung gebracht. Die Befragung war jedoch nicht in allen Fällen erfolgreich. (Teilweise sind die Besitzer sehr zuvorkommend oder aber sehr zurückhaltend, wenn sie auf die damaligen Ereignissen angesprochen werden.) Persönliche Erfahrungen/Gefühle der betroffenen Leute, der Wechsel des Besitzers, Verständnisprobleme bei älteren Personen und nicht zuletzt die telefonische Erreichbarkeit machten es schwierig und aufwendig an die erwünschten Informationen heranzukommen.

### Auswertung

Abschätzungen der Fliesshöhen und -geschwindigkeiten wurden prinzipiell nach dem gleichen Vorgehen abgeschätzt wie beim vorangehenden Fallbeispiel Davos, 1984 (Kap. 5.1.1). Aufgrund der Lage der Schadenobjekten musste vor allem auch die Änderung der Intensitätsparameter quer zur Fliessrichtung berücksichtigt werden. Abbildung 5.7(c) zeigt die entsprechenden Querprofile der maximalen Fliessgeschwindigkeit. Aus diesen wurden die Geschwindigkeitswerte in Objektnähe abgeleitet.

Der relative Schaden konnte nicht bei allen Objekten aus den Verhältnis von Schadensumme und Versicherungswert gebildet werden. Deshalb wurde der relative Schaden pro Objekt zusätzlich nach der Methode, wie sie bereits Barbolini et al. (2004) verwendet haben, abgeschätzt (siehe Kap. 2.2, Seite 13). Für die Gebäude in Malbun wurden jedoch auch Abstufungen zwischen den vier Schadenklassen verwendet, weil eine sehr ausführliche Schadendokumentation (Bachofner, 1999) vorhanden ist. In Tabelle 5.2 sind die Werte der Prozessintensität sowie des relativen Schadens für jedes Objekt aufgelistet.

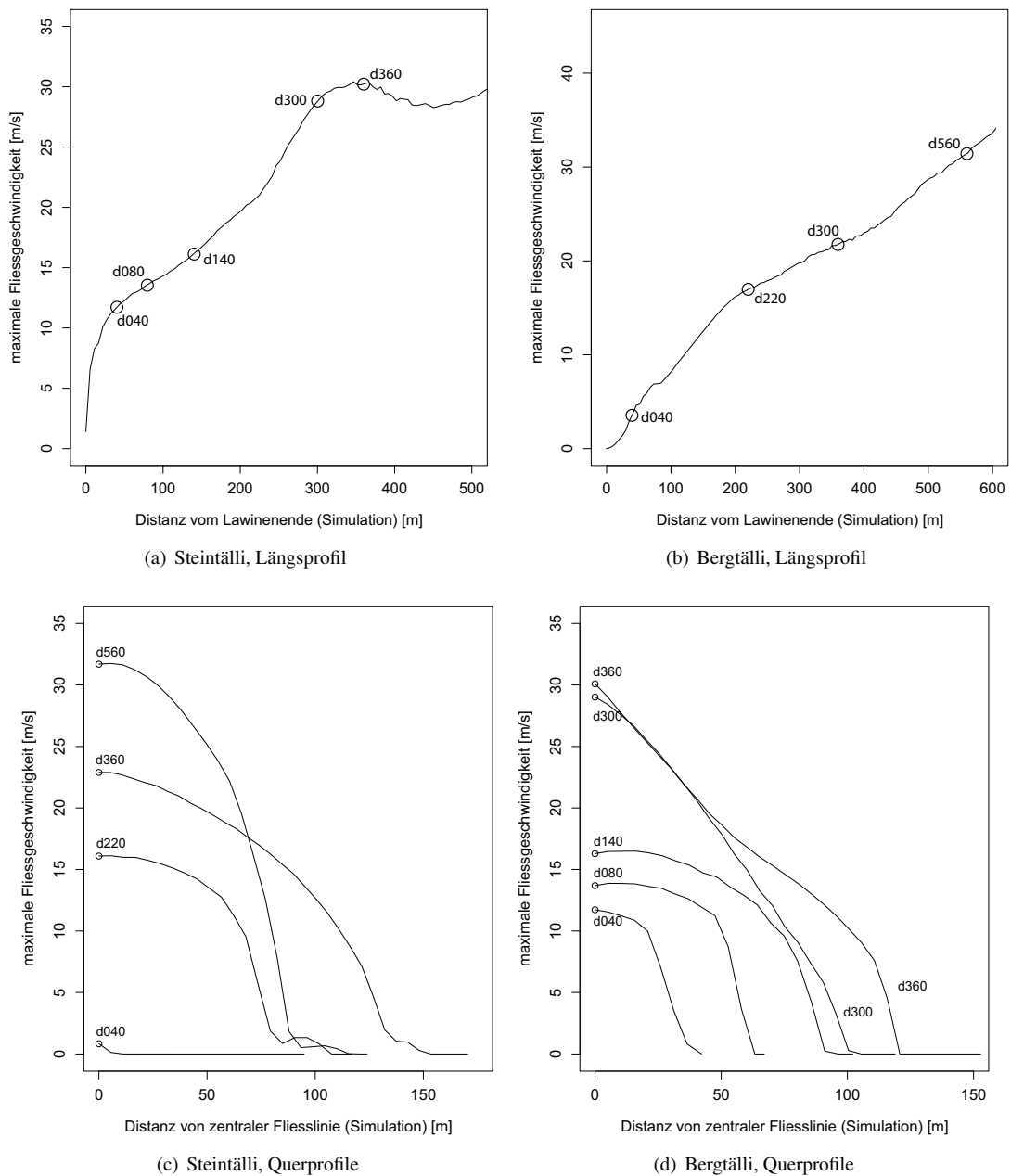


Abbildung 5.7: Quer- und Längsprofile aus der 2D-Simulation der maximalen Fließgeschwindigkeit für die Lawine aus dem Stein- respektive Bergtäli. Die Querprofilnamen entstehen aus der Distanz zum Lawinenende, z.B. d040= 40 m, d080= 80 m, etc. Die Positionen der Querprofile sind auch bei den Längsprofilen (a), (b) angegeben.

Tabelle 5.2: Übersicht der Schadenobjekte in Malbun mit entsprechenden Werten der Prozess- und Schadenseite. Gebäudekategorien nach Wilhelm (1997),  $V_{Ver}$  entspricht dem relativen Schaden abgeleitet nach Schaden-summe und Versicherungswert,  $V_{DD}$  sind die mit Gleichung 2.1 (Seite 13) geschätzten Werte des relativen Schadens,  $v_{max}$  und  $p_{max}$  sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten respektive Lawinendrucke.

Objektnummer	Gebäudekategorie	$V_{Ver}$	$V_{DD}$	$v_{max}$ [m/s]	$p_{max}$ [kPa]
341	GK 3	-	0.56	29.0	252
340	GK 2	-	0.25	8.0	19
342	GK 3	-	1.00	22.0	145
339	GK 2	-	0.88	21.0	132
338	GK 3	-	1.00	21.0	132
335	GK 1	-	1.00	12.5	47
334	GK 1	0.14	0.14	10.5	33
333	GK 2	-	1.00	16.5	82
332	GK 2	1.00	1.00	16.5	82
331	GK 2	1.00	1.00	13.5	55
399	GK 2	-	0.88	9.0	24
425	GK 1	-	0.88	1.5	0.7
426	GK 2	0.21	0.39	1.5	0.7
329	GK 1	0.01	0.06	1.0	0.3
447	GK 2	-	0.14	1.0	0.3
406	GK 3	-	0.06	1.5	0.7
405	GK 1	0.28	0.39	2.0	1.2
382	GK 2	-	0.88	12.0	43

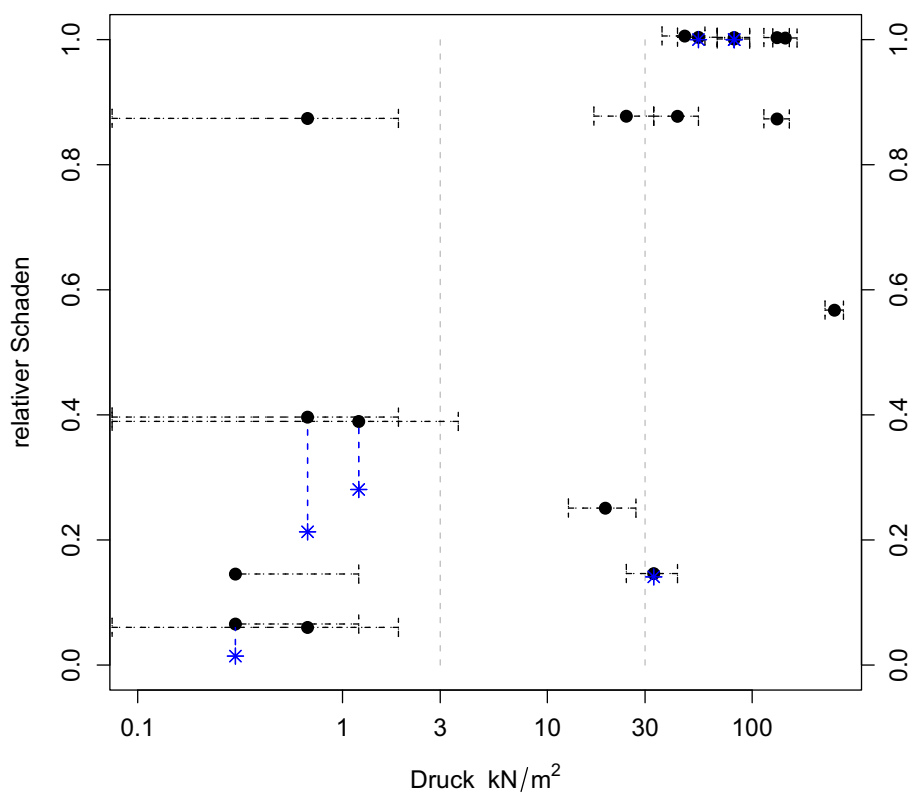


Abbildung 5.8: Die Datenpunkte der Schadenobjekte in Malbun in der halblogarithmischen Darstellung. Die blauen Punkte stellen die Werte dar für die der relative Schaden aus Schaden- und Versicherungswert gebildet wurde. Die gestrichelten Linien zeigen den Fehlerbereich beim Druck, wenn für die maximalen Fließgeschwindigkeiten ein Fehler von  $\pm 1.5$  m/s angenommen wird. Die vertikalen Linien stellen die Grenzen zwischen schwacher, mittlerer und starker Intensität dar.

### 5.1.3 Cristallinahütte SAC, TI - 1999

#### Ereignis

Über das Lawinenereignis, das 1999 die Cristallinahütte zerstörte, ist wenig bekannt, da zum Zeitpunkt des Niederganges niemand im Gebiet war. Der Zeitraum kann jedoch auf den 22.-25. Februar 1999 eingeschränkt werden. Es können zwei Ereignisse unterschieden werden; durch welche Lawine allerdings das Gebäude zerstört wurde, ist unklar. Aufgrund des Schadenbildes und topographischen Verhältnissen ist davon auszugehen, dass eine trockene Fliess- und Staublawine zur Zerstörung der Hütte geführt hat.

#### Schäden

Die Hütte wurde vollständig zerstört. Teile der nordwestlichen Ecke sind jedoch stehen geblieben, ansonsten sind nur noch herumliegende Trümmer übriggeblieben.

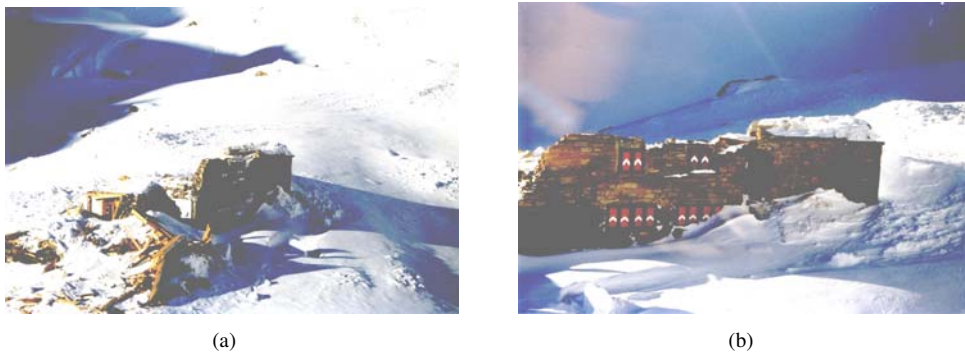


Abbildung 5.9: Bilder der Überreste der zerstörten Cristallinahütte. (a) und (b) zeigen die stehengebliebene, nordwestliche Ecke des Gebäudes. Fotos: T. Arn.

#### Datensatz

Folgend Grundlagen standen zur Verfügung:

- Fotos und Bericht (Arn, 1999);
- Gutachten SLF.

#### Auswertung

Die Cristallinahütte war ein gemischtes Bauwerk aus Mauerwerk und Holz mit verstärkten Gebäudeteilen. Nach der Kategorisierung von Wilhelm (1997) (siehe auch Tab. 2.1, Seite 12) ist es einerseits dem Typ GK 2 (gemischte Bauten) aber auch zum Teil der GK 5 (verstärkte Bauten) zuzuordnen. Der entstandene Schaden ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch die Beschädigung des Daches die Gebäudestabilität massiv



herabgesetzt wurde und anschliessend die restlichen Strukturelemente entscheidend geschwächt waren. Die verstärkte und stehengebliebene nordwestliche Ecke (Abb. 5.9) war auf 15 kPa dimensioniert. Die maximal aufgetretenen Drücke werden somit auf 15 bis 32 kPa abgeschätzt. Für die Fliessgeschwindigkeit und -höhe kann mit ca. 7-10 m/s respektive 1.2-1.8 m gerechnet werden. Der relative Schaden für die Cristallinahütte beträgt 1.0. Das Gebäude wurde an einem anderen (sichereren) Standort neu gebaut.

#### 5.1.4 Anenhütte, VS - 2007

##### Ereignis

Als Folge der intensiven Niederschlagsperiode in der Nacht vom 2. zum 3. März 2007 gingen im Geländekessel nördlich der Anenhütte eine oder mehrere Lawinen nieder. Es muss angenommen werden, dass die Hütte aus verschiedenen Richtungen getroffen wurde. Die Anrisszonen konnten nicht genau ausgemacht werden, können jedoch im extremsten Fall auf über 3000 Metern Höhe gelegen haben.

##### Schäden

Die auf 2358 Metern Höhe gelegene Hütte wurde stark beschädigt (Abb. 5.10(b)). Die noch bestehenden Gebäudeteile wiesen grosse Verschiebungen und Risse auf, wodurch diese nicht mehr nutzbar waren. Durch die kleinen Küchenfenster und eine Türe sind geringe Mengen von Schnee in das Gebäude eingedrungen (Abb. 5.11).

##### Datensatz

- Gutachten Ingenieurbüro wasser/schnee/lawinen (Burkard und Rieder, 2007);
- Fotos;
- Gutachten SLF.



(a)



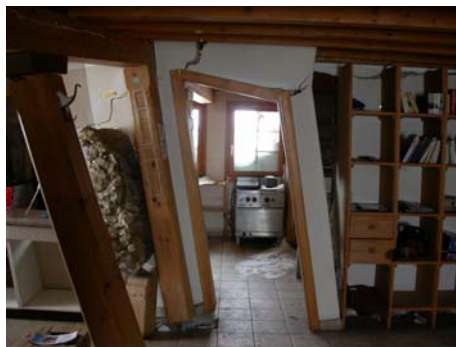
(b)

Abbildung 5.10: (a) Intakte Anenhütte 2004. Foto: A. Henzen (b) Zerstörte Anenhütte nach dem Lawinenereignis vom März 2007. Foto: A. Burkard.

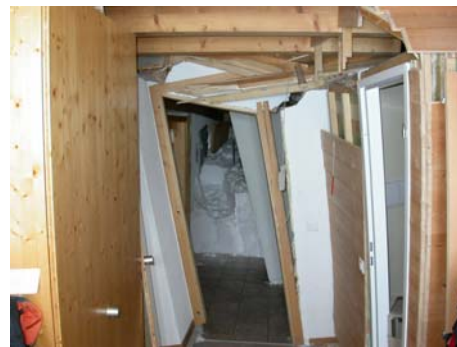
### Auswertung

In Abbildung 5.10(a) ist zu erkennen, dass die Anenhütte ein gemischtes Bauwerk bestehend aus Holz und Beton war. Es ist nicht eindeutig, in welche Gebäudeklasse die Anenhütte gemäss Wilhelm (1997) einzuteilen ist (siehe auch Tab. 2.1, Seite 12). Es kommen die Kategorien GK 2 (gemischte Bauten) oder GK 4 (Betonbauten armiert) in Frage.

Baustatische Abschätzungen haben ergeben, dass ein Druck von ca. 3 bis 5 kPa ausgereicht hat um den oberen Dachteil zu zerstören (Burkard und Rieder, 2007). Die Lawineneinwirkung auf das Gebäude hatte zur Folge, dass der Dachteil grösstenteils entfernt wurde. Das Erdgeschoss erlitt ebenfalls strukturelle Schäden, ist jedoch nicht kollabiert und hätte eine Schutzfunktion für Personen vermutlich teilweise gewährleisten können. Wie auf den Bildern in Abbildung 5.11 zu sehen ist, ist eine weitere Nutzung in diesem Zustand nicht denkbar. Die Beschädigung der Anenhütte muss deshalb als Totalschaden mit dem Wert 1.0 eingeordnet werden.



(a)



(b)

Abbildung 5.11: Schadenbild im Erdgeschoss der Anenhütte. Es sind grosse Verschiebungen und Risse und relativ wenig eingedrungener Lawinenschnee sichtbar.

### 5.1.5 Naters, VS - Gratlawine 1999

#### Ereignis

Nach der Periode mit starken Schneefällen ging die Lawine am 22. Februar 1999 um ca. 17 Uhr nieder. Ein mehrere Kilometer langer Anriss und Anrisshöhen von 3 bis 8 Meter zeigen deutlich das riesige Ausmass dieser Lawine (Abbildung 5.12).

#### Schäden

Insgesamt waren 72 Objekte durch den Fliess- und oder Staubanteil der Lawine betroffen. Etwa 30 davon waren Wohngebäude, von denen mehrere ganz zerstört wurden.



Abbildung 5.12: Anrissgebiet der Gratlawine, Naters, Wallis vom 22. Februar 1999. Die schwarze Linie deutet den Anriss an. Foto: M. Bründl.

### Datensatz

Folgende Grundlagen waren zum Zeitpunkt dieses Projekts vorhanden:

- Fotodokumentation, Ingenieurbüro B. Reinhold (vor allem Anrissgebiet und Übersichten der Schadengebiete);
- Weitere Übersichtsfotos;
- Liste oder Plan mit betroffenen Objekten und jeweiliger Besitzer;
- Geometrische Angaben zu Anriss- und Ablagerungsgebiet.

### Auswertung

Die mangelnden Datengrundlagen erlaubten in der verfügbaren Zeit keine Auswertungen. Dazu wären weitere Anstrengungen nötig um einerseits die betroffenen Gebäude und entsprechende Schadenbilder zu identifizieren und andererseits die entsprechenden Prozessintensitäten zu ermitteln. Da im Kanton Wallis kein Obligatorium für eine Gebäudeversicherung besteht, wäre die Zusammenstellung der Gebäudeschäden sehr aufwendig. Die Kontaktaufnahme mit den Gebäudeeigentümern wäre unabdingbar, dürfte jedoch, wie die Erfahrungen aus Malbun gezeigt haben, zu gewissen Schwierigkeiten führen.

Eine Modellierung der Lawine dürfte jedoch das grössere Problem darstellen. Obwohl relativ viele Parameter bekannt sind, können aufgrund des komplexen topografischen Verlaufs der Lawinenbahn nur Resultate mit einer sehr grossen Unsicherheit erwartet werden. Aus diesen Gründen und den weiter oben aufgeführten Gründen wurde von einer detaillierten Bearbeitung dieses Beispiels abgesehen.

## 5.2 Prozess Hochwasser

### 5.2.1 Klosters, GR - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Die Landquart hat während dem Unwetter vom 21. bis 23. August 2005 weite Siedlungsgebiete von Klosters (Ortsteile Klosters Platz, Doggiloch, Äeuja) überschwemmt, da die Landquart ihr Bachbett verlassen hat (Abbildung 5.13). Grosse Mengen an Schwemmholz führten zur Verklauung von Brücken was den Hauptabfluss zeitweise durch ein Gewerbe- und Wohngebiet leitete. Wegen des hohen Sedimenttransports wurde sehr viel Feinsand abgelagert.



Abbildung 5.13: Klosters am 23. August 2005. Am rechten Bildrand sind die grossen Mengen an Schwemmholz zu sehen, welche die Landquart staut und das Wasser aus dem Gerinne leitete. Foto: ©Bauamt Klosters.

#### Schäden

Vom Hochwasser waren ca 140 Objekte betroffen.

#### Datensatz

Für die Ereignisanalyse „Hochwasser Klosters-Serneus“ (tur gmbh, 2005) wurden die Prozessintensitäten (Wassertiefen, -geschwindigkeiten und Ablagerungsmächtigkeiten)

punktuell aufgenommen und zusammen mit den Ausdehnungen der Überflutungsflächen kartiert. Nachträglich konnten durch H. Romang (Autor der Ereignisanalyse) Flächen mit gleicher, mittlerer Überflutungshöhe respektive Geschwindigkeit definiert werden. Auf der Schadenseite sind die Informationen der Gebäudeversicherung Graubünden vorhanden. Dieser Datensatz beinhaltet zum einen die Versicherungswerte und Schadensummen und zum anderen Informationen über die beschädigten Gebäude wie: Baujahr, Zweck, Parzellen- und Gebäudenummer. Genaue Postadressen standen nicht zur Verfügung und die Objekte mussten mittels der Parzellenummer georeferenziert werden. Zusätzliche Kenntnisse über die betroffenen Gebäude wurden im Feld erhoben. Folgende Parameter wurden aufgenommen: Ein- oder Mehrfamilienhaus, Keller ja/nein, Erhöhung des Erdgeschosses tief/eben/hoch.

### Auswertung

Aus den 148 Objekten konnten 98 zur Analyse verwendet werden. Nicht berücksichtigt wurden fünf Objekte mit einer Schadensumme gleich Null sowie Gebäude, welche ausserhalb des Prozessbereichs Klosters Platz liegen. Zusätzlich konnten ein paar wenige Objekte nicht lokalisiert werden.

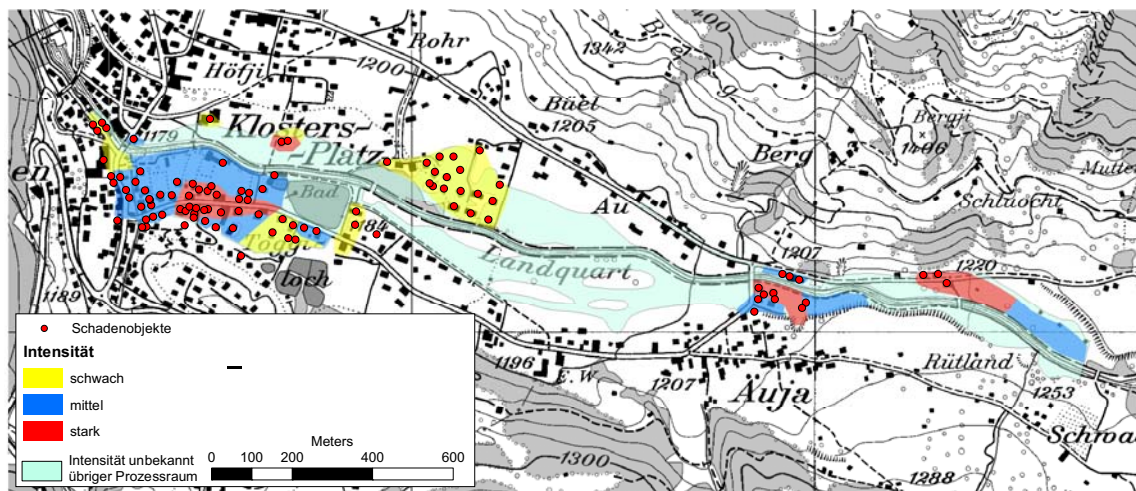


Abbildung 5.14: Schadenobjekte und Prozessraum in Klosters.

Die auswertbaren Gebäude sind gleichmässig auf die drei Intensitätsklassen verteilt (N=35, 36, 27). Die ermittelten Mediane für den relativen Schaden sind 0.05 bei schwacher, 0.12 bei mittlerer und 0.18 bei starker Intensität (Tab. 5.3). Die Boxplots in Abbildung 5.15 zeigen, dass sich die Einschnürung im Balken bei schwacher und mittlerer Intensität nicht überlappen. Dies deutet darauf hin, dass sich die beiden Medianwerte signifikant unterscheiden. Dies gilt nicht für den Vergleich zwischen mittleren und starken Intensitäten wo jeweils eine grössere Streuung als bei der schwachen Intensität zu beobachten ist.

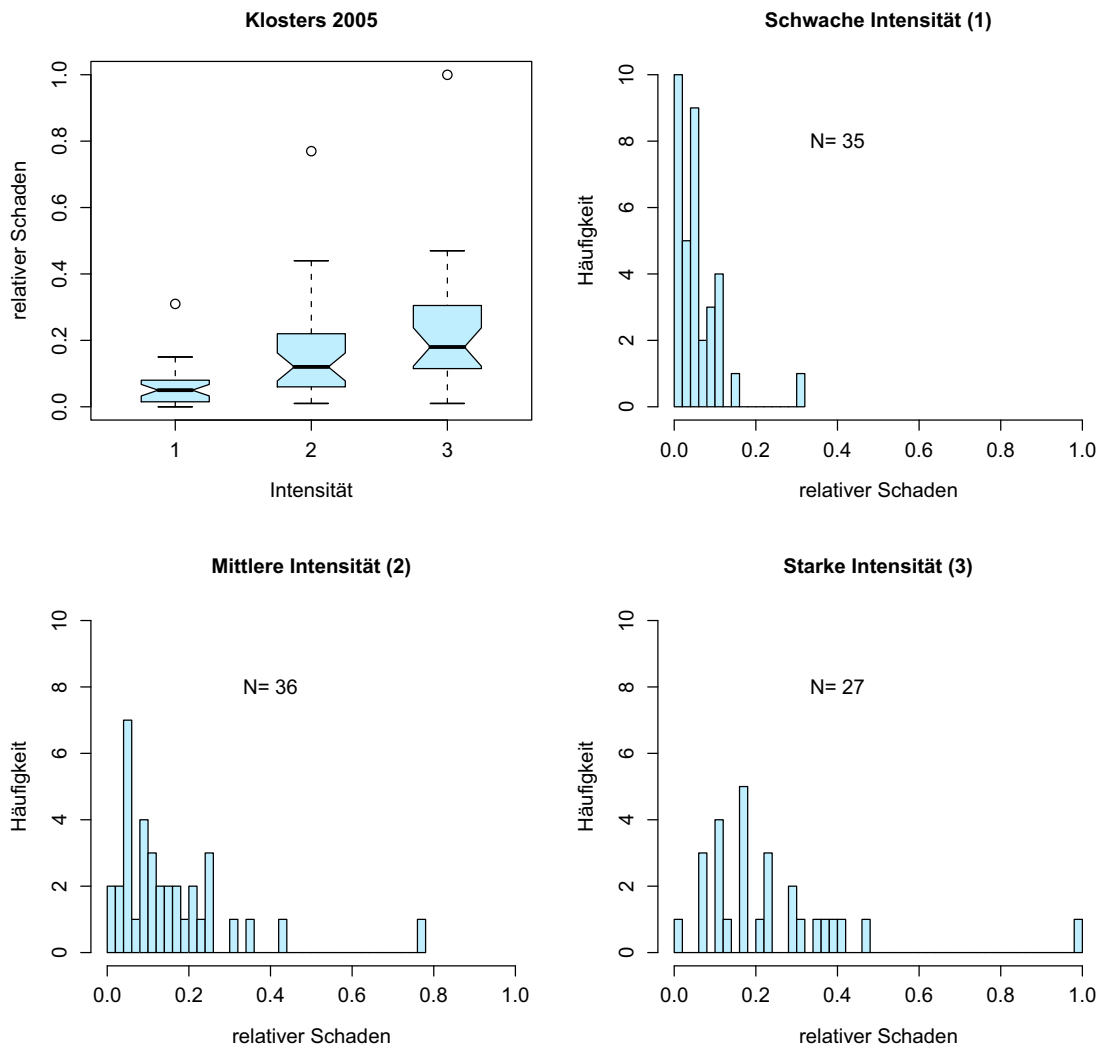


Abbildung 5.15: Auswertung der Schadenobjekte Klosters. Die Einschnürung in den Balken deutet auf den Median. Wenn sich die Einschnürungen von zwei Boxen nicht überlappen, dann deutet dies darauf hin, dass sich die Mediane signifikant voneinander unterscheiden.

### 5.2.2 Susch, GR - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Am 21.-23. August 2005 wurden durch die Hochwasser und Geschiebe führende Susasca Überflutungen und eine teilweise Übersaarung des Dorfes Susch ausgelöst. Durch eine Verflachung im Bachlauf hatte sich sukzessive Geschiebe abgelagert, was zur Ausuferung des Baches nach beiden Seiten führte. Die anliegenden Strassen dienten so während dem Ereignis als Gerinne.

#### Schäden

Ungefähr 45 Gebäude im Dorf, vor allem entlang der Hauptstrasse, waren durch die Überflutung oder Geschiebeablagerungen betroffen (Abb. 5.16, 5.17).

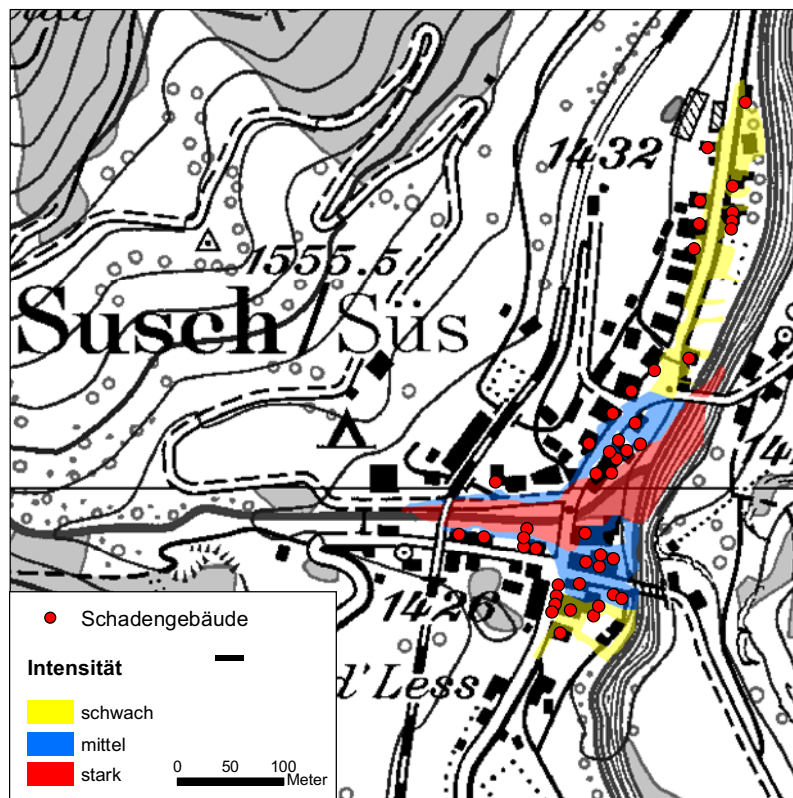


Abbildung 5.16: Intensitäten und Schadenobjekte beim Fallbeispiel Susch, Graubünden. Die beschädigten Gebäude liegen vor allem im Bereich schwacher und mittlerer Intensität.

#### Datensatz

Die Hochwasserprozesse sind in einer Ereignisdokumentation (Amt für Wald GR, 2006) zusammengefasst. Genaue Intensitäten wurden jedoch nicht kartiert, sondern es wurden nur die Prozessräume nach Überschwemmung mit Geschiebe und Feinmaterial und



(a) Erhöhung des Erdgeschosses (Treppen) und ebenerdige Fenster



(b) Kellereingang auf Strassenseite

Abbildung 5.17: Gebäude in Susch, die durch ebenerdige Gebäudeöffnungen und Kellereingänge auf der Strassenseite charakterisiert sind.

Übersarung mit grobem Geschiebe unterschieden. Die Intensitäten konnten basierend auf Experteneinschätzungen (pers. Mitteilung, B. Krummenacher) und einer ausreichenden Fotodokumentation rekonstruiert werden. Auf der Schadenseite sind die Informationen der Gebäudeversicherung Graubünden vorhanden. Der Datensatz beinhaltet Versicherungswerte und Schadenssummen, der Zweck, das Baujahr und die Gebäudenummer. Die Objekt- und Prozesskenntnisse wurden durch eine Begehung und Gespräche mit Augenzeugen zusätzlich erweitert.

### Auswertung

Von 46 Schadenobjekten in der Gemeinde Susch konnte lediglich ein Gebäude nicht lokalisiert werden. Alle anderen waren über die Hausnummer mit einem Ortsplan einfach zu georeferenzieren. Die aufgetretenen Schäden sind alle auf das Hochwasser der Susasca zurückzuführen und konnten den Intensitätsklassen schwach, mittel und stark zugeordnet werden. 18 respektive 21 Objekte lagen im Einflussbereich schwacher und mittlerer Intensität, 6 Gebäude im Bereich starker Intensität. Die Mediane der schwachen und mittleren Intensität liegen bei 0.04 und 0.03 für den relativen Schaden. Der deutlich höhere Wert bei starker Intensität von 0.26 ist aufgrund der geringen Anzahl Objekte mit Vorsicht zu bewerten. Die Mittelwerte würden eine deutlichere Zunahme mit steigender Intensität zeigen, sind jedoch stark von einzelnen hohen Schadenwerten beeinflusst, wie in den Histogrammen der Abbildung 5.18 zu sehen ist.

Die erhobenen Objekteigenschaften zeigen in Susch ein sehr einheitliches Bild. Die betroffenen Wohngebäude sind vom gleichen Typ, das heisst die Erdgeschosse sind erhöht und die Keller sind oft direkt von aussen erreichbar (Rampe) und haben ebenerdige Fensteröffnungen (siehe Abb. 5.17). Eine Unterscheidung verschiedener Gebäudecharakteristiken ist innerhalb des Datensatzes von Susch nicht möglich. Die spezifischen Eigenheiten der Gebäude sollten jedoch beim Vergleich mit anderen Daten berücksichtigt werden. Die Kellernutzung wurde nicht systematisch erhoben, dürfte aber entscheidend für das Schadenpotential und somit auch den relativen Schaden sein. Es sind durchaus un-



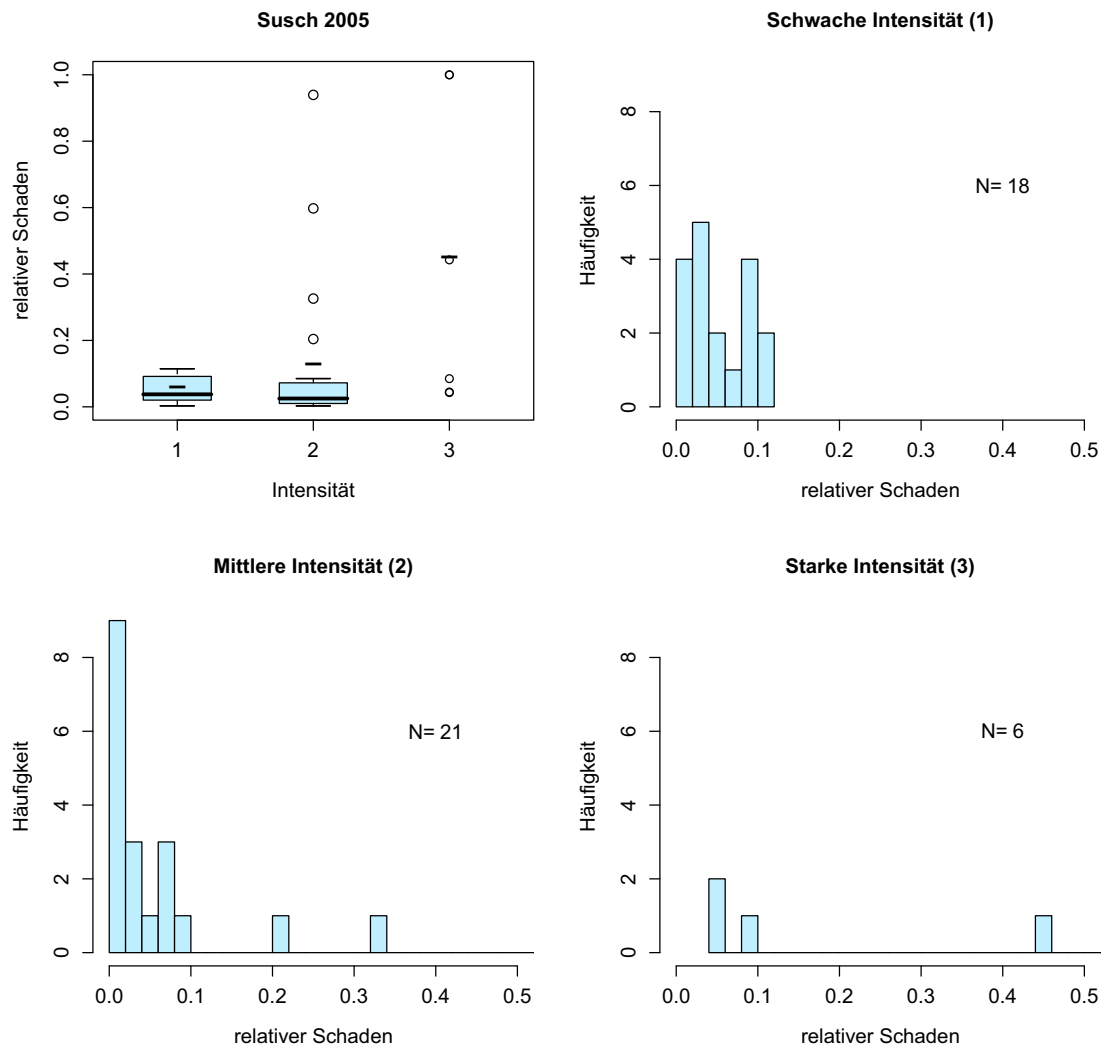


Abbildung 5.18: Auswertung Schadenobjekte Susch. Die Histogramme zeigen, dass in der schwachen und mittleren Intensitätszone viele kleinere Schäden entstanden sind. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde bei der Histogrammdarstellung nur die Fälle bis zu einem relativen Schaden von 0.5 dargestellt. In der mittleren Intensität wurden auch einige stärkere Schäden beobachtet, was im Boxplot anhand der Ausreisser ersichtlich ist.

terschiedliche Nutzungen von der einfachen Abstellkammer bis hin zum Fitnessraum zu beobachten.

### 5.2.3 Bern, BE - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Während des Hochwassers vom 21.-23. August 2005 traten vorwiegend dynamische Überflutungen entlang der Aare in der Stadt Bern auf.

#### Schäden

Überflutungsschäden betrafen vor allem bewohnte Gebiete wie das Marzili- und Mattequartier sowie weitere an der Aare liegende Gebiete in der Stadt Bern.

#### Datensatz

Von der Gebäudeversicherung Bern (GVB) wurden die Daten der betroffenen Objekte bereitgestellt. Diese beinhalten die Gebäudeadresse, den Versicherungswert sowie die Schadenssumme. Angaben über Gebäudezweck und -art als auch die genaue Lage (Koordinaten) waren nicht verfügbar. Deshalb wurde zusätzlich eine objektgenaue Georeferenzierung der Gebäudeadressen auf Basis der GeoPost-Daten durchgeführt.

Auf der Prozessseite standen die Flächen der provisorischen Intensitätskarte HQ100 (Naturgefahrenkarte Aareraum Bern, Kissling+Zbinden) zur Verfügung, welche das Ereignis 2005 abbilden.

#### Auswertung

Die Versicherungsdaten umfassen insgesamt 333 Objekte. Davon konnten 48 keiner Intensität zugeordnet werden und 58 weisen eine Schadenssumme von 0 CHF auf. Somit verbleiben 227 Objekte zur Auswertung. In den untersuchten Gebieten treten die Intensitäten schwach, mittel und stark auf. Die Anzahl Objekte und deren Verteilung pro Intensitätsklasse ist in Tabelle 5.3 und in Abbildung 5.20 ersichtlich. Die ermittelten Mediane des relativen Schadens  $sp$  betragen für schwache Intensität 0.03, für mittlere 0.08 und für starke Intensität 0.10. Dabei ist zu beachten, dass in der Klasse starke Intensität nur 15 Objekte vertreten sind, markant weniger als in den beiden anderen Klassen. In Abbildung 5.20 sind die Boxplots der verschiedenen Intensitätsklassen zu sehen. Die Einschnürungen der ersten zwei Boxplots (schwach 1, mittel 2) überlappen sich nicht. Dies ist ein starker Hinweis dafür, dass sich die Mediane signifikant unterscheiden. Für die mittlere und starke Intensitäten trifft dies nicht zu.

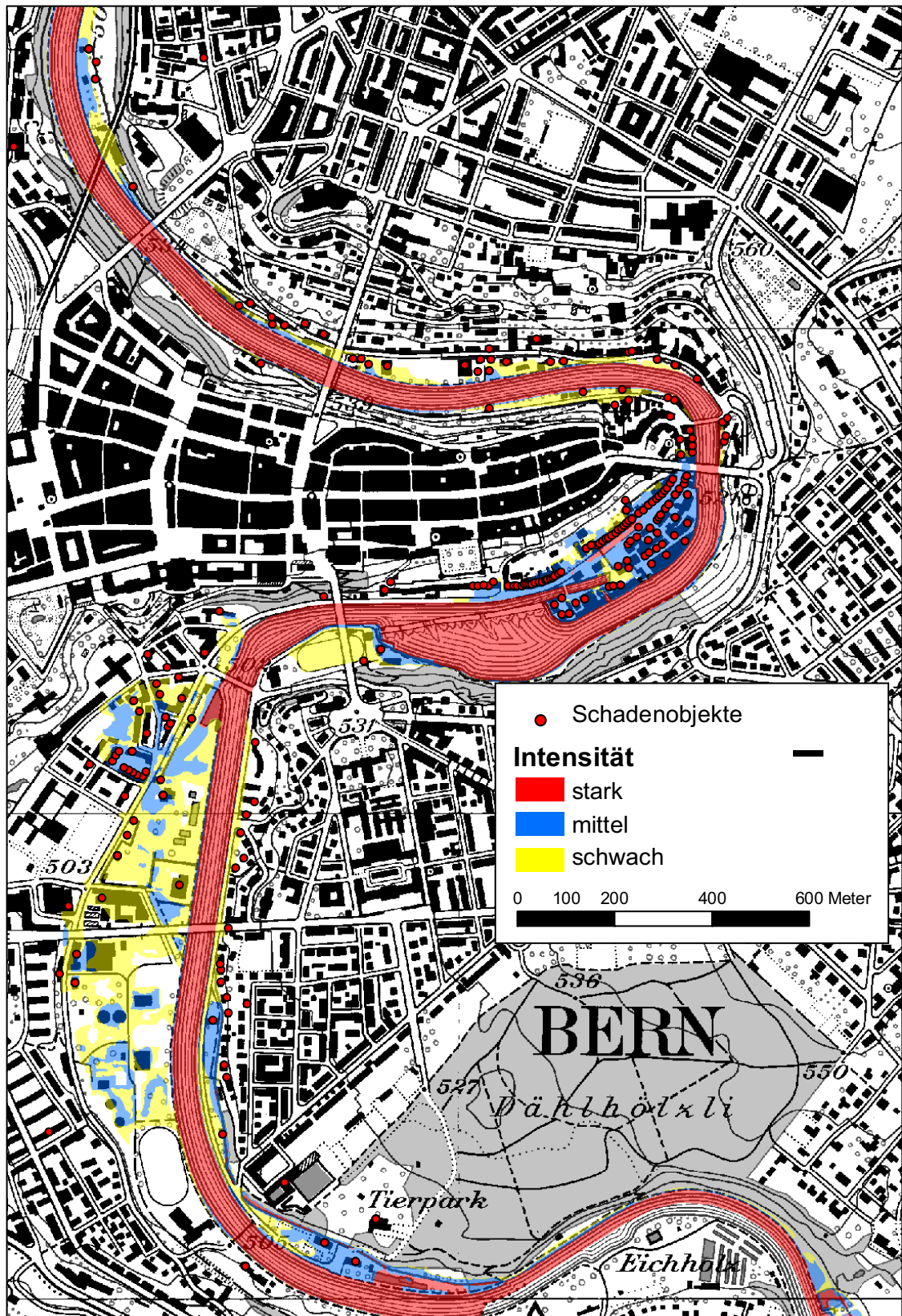


Abbildung 5.19: Schadenobjekte und Intensitätsflächen in der Stadt Bern. Die Abbildung zeigt, dass die meisten Objekte, die einen Schaden zu verzeichnen hatten, in der schwachen und mittleren Intensitätszone liegen.

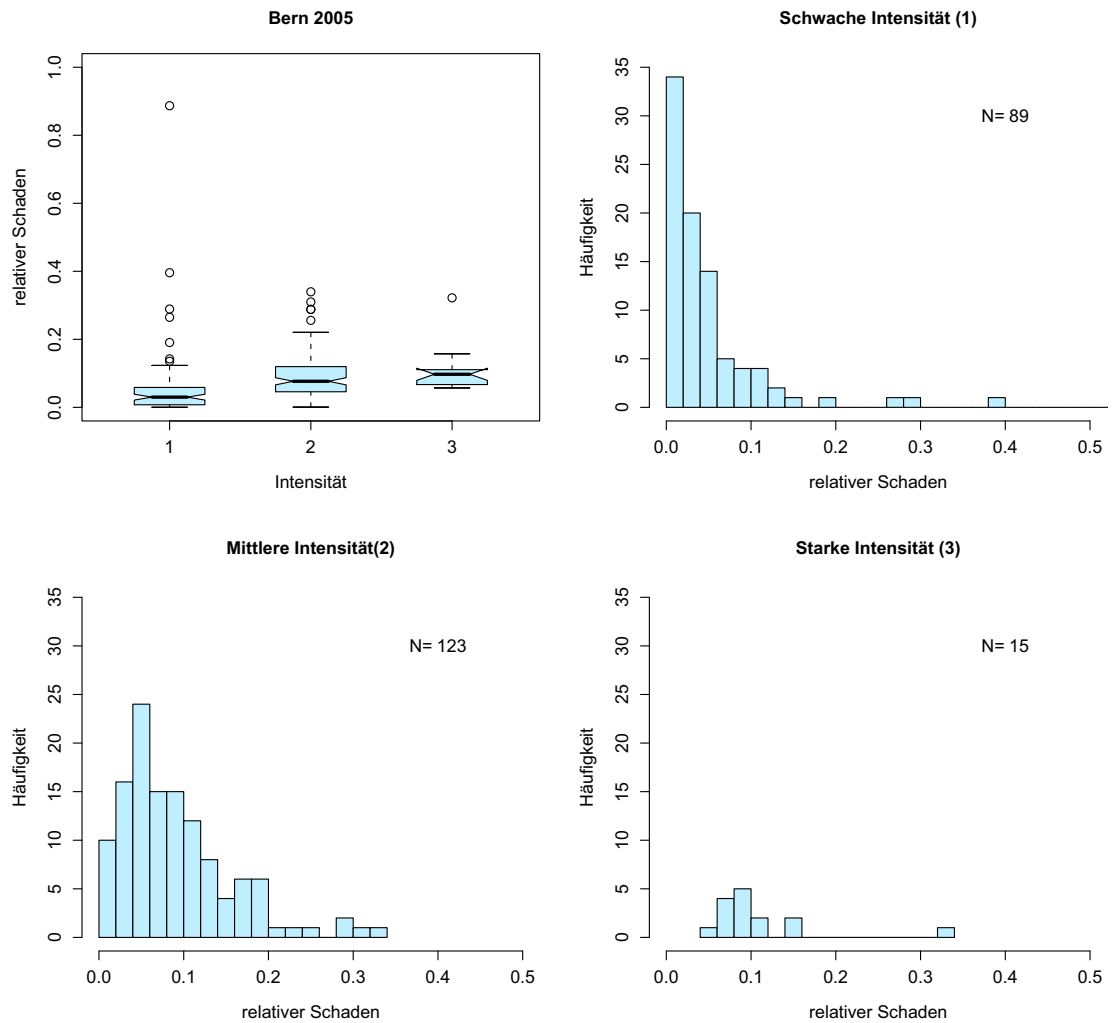


Abbildung 5.20: Boxplots und Histogramme der berücksichtigten Schadenobjekte im Fallbeispiel Bern. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde bei der Histogrammdarstellung nur die Fälle bis zu einem relativen Schaden von 0.5 dargestellt. Im Bereich der schwachen Intensität wurden auch einige stärkere Schäden beobachtet, was im Boxplot anhand der Ausreisser ersichtlich ist. Die Histogramme für die schwache und mittlere Intensität zeigen, die viele Gebäude einen kleinen relativen Schaden aufwiesen.

### 5.2.4 Thun, BE - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Auf dem Gebiet der Gemeinde Thun waren im Zeitraum vom 21.-23. August 2005 grosse Flächen überschwemmt. Die Überflutung war grösstenteils statisch wobei im Bereich der Aare ebenfalls dynamische Hochwasserprozesse aufgetreten sind (Abbildung 5.21).

#### Schäden

Überflutungsschäden traten vorwiegend in Wohngebieten auf. In oberflächlich nicht überfluteten Gebieten drang teilweise Grundwasser in die Gebäude ein, was ebenfalls zu Schäden führte.

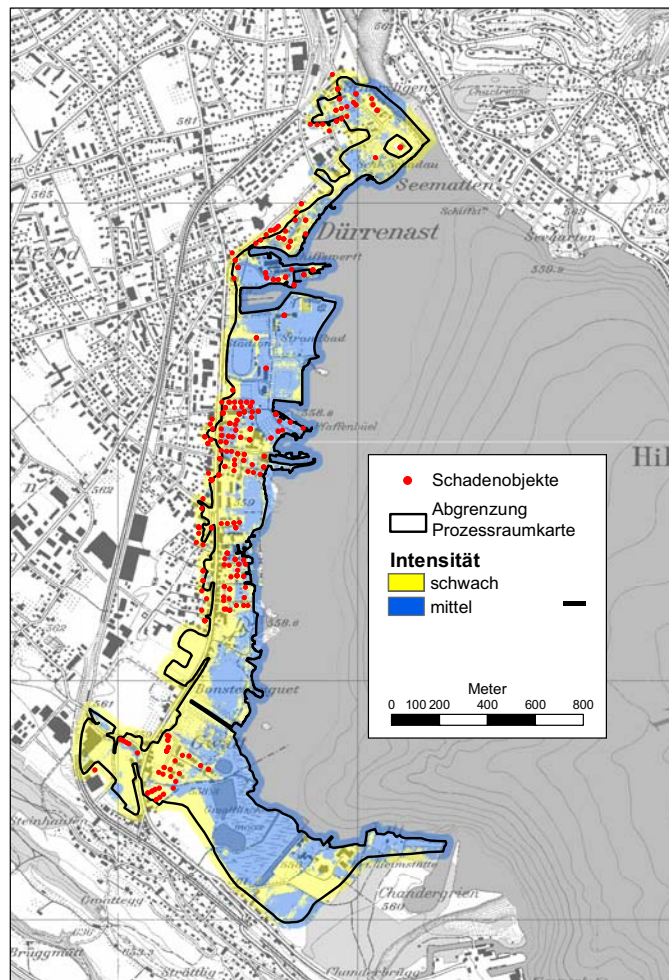


Abbildung 5.21: Schadenobjekte im Prozessraum statisches Hochwasser in der Stadt Thun. Die Karte zeigt, dass der grösste Teil der Gebäude im Bereich der schwachen Intensität lagen. Die Intensitätskarten wurden durch den Verschnitt eines hochaufgelösten Geländemodells mit dem maximalen Pegelstand erzeugt.

### Datensatz

Die Versicherungsdaten von der GVB sind wie beim Fallbeispiel Bern auch für die Gemeinde Thun vorhanden. Als Adressangaben waren lediglich Angaben zu Ort, Strasse und Strassennummer vorhanden. Entsprechende Postleitzahlen sowie korrekte Ortsbezeichnungen standen nicht zur Verfügung, was die ebenfalls durchgeführte Georeferenzierung erschwert hat. Für die Hochwasserereignisse im August 2005 in der Region Thun sind Prozessraumkarten vorhanden. Darin werden jedoch zu Gunsten der Übersichtlichkeit keine Intensitäten dargestellt, obwohl diese ermittelt wurden. Leider waren die Angaben zur Intensität nicht mehr verfügbar, weshalb die Überflutungshöhen im seenahen Bereich anhand des maximalen Pegelstandes für den Thunersee (559.25 m ü. M.) nochmals berechnet werden mussten. Dies geschah mittels dem Verschnitt des hochaufgelösten Geländemodells DTM-AV (2 m Raster,  $\sigma = \pm 0.5 m$ ) mit dem erwähnten maximalen Pegelstand. Daraus konnten anschliessend die Intensitäten für die statische Überflutung abgeleitet werden. Die Intensitäten entlang der Aare konnten im Rahmen dieses Projektes nicht abgeschätzt werden. Die Gründe dafür liegen in der sich flussabwärts ändernden maximalen Pegelhöhe sowie zusätzlich zu berücksichtigenden Fliessgeschwindigkeiten.

### Auswertung

Der zu Beginn 902 Objekte umfassende Datensatz für die Region Thun wurde auf 414 Objekte dezimiert. Der Grund dafür ist, dass einerseits viele Objekte nicht innerhalb des Prozessraumes liegen (351) und andererseits weil einige Objekte mit einer Schadenssumme gleich Null im Datensatz enthalten sind (insgesamt 68). Zudem musste die Auswertung auf den seenahen Überflutungsbereich eingeschränkt werden, was zu einer weiteren Reduktion der berücksichtigten Schadenobjekte führte. Bei der Bestimmung der Intensitäten aufgrund der berechneten Überflutungshöhen wurde der Ungenauigkeit des DTM-AV von  $\sigma = \pm 0.5 m$  insofern Rechnung getragen, als die knapp nicht überschwemmten Flächen ebenfalls noch zur schwachen Intensität hinzugenommen wurden. In den betroffenen Gebieten treten schwache und mittlere Intensitäten auf. Die Mediane des relativen Schadens betragen 0.05 und 0.09 für schwache respektive mittlere Intensität. Die sich nicht überlappenden Einschnürungen der Boxplots in Abbildung 5.22 zeigen, dass sich die beiden Medianwerte vermutlich signifikant voneinander unterscheiden.

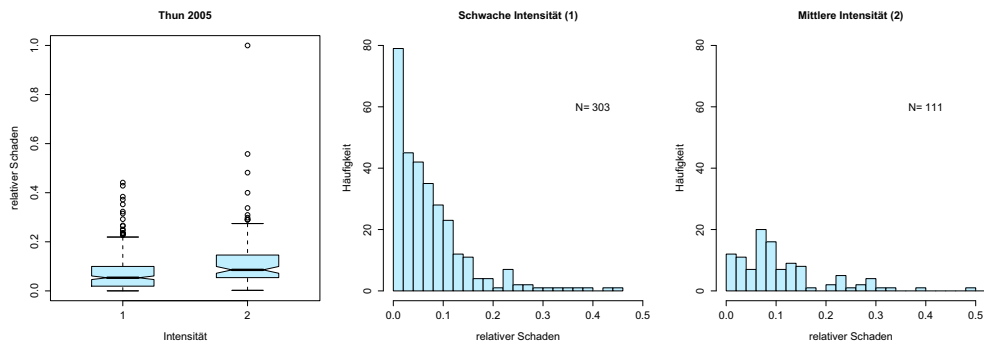


Abbildung 5.22: Boxplots und Histogramme der Schadenobjekte im Fallbeispiel Thun für die schwache und mittlere Intensität. Der Boxplot zeigt, dass bei schwacher und mittlerer Intensität sehr viele Ausreisser zu verzeichnen waren. Da sich die Einschnürungen in beiden Boxen nicht überlagern, ist davon auszugehen, dass sich die Mediane signifikant unterscheiden. Vor allem das Histogramm für die schwache Intensität zeigt, dass sehr kleinere Schäden aufgetreten sind.

### 5.2.5 Zusammenfassung Prozess Hochwasser

Zusammenfassend lässt sich für den Prozess festhalten, dass die Festlegung einer Schadenempfindlichkeit für verschiedene Intensitäten — mehr noch als bei den anderen gravitativen Prozessen — mit grossen Unsicherheiten behaftet ist. Die Schadenempfindlichkeit hängt von vielen Faktoren ab, wie Gebäudeöffnungen, Lage des Gebäudes (erhöht, nicht erhöht), Wertensammlung im Keller bzw. im Erdgeschoss.

Die dargestellten Fallbeispiele aus verschiedenen Regionen der Schweiz (ländlich, städtisch) zeigen auch die Schwierigkeit, den relativen Schaden an Gebäuden aus verschiedenen Regionen miteinander zu vergleichen. So weisen die Werte aus den beiden Beispielen Bern und Thun eine Tendenz zu anteilmässig vielen kleinen Schäden auf.

Die Tabelle 5.3 zeigt eine Zusammenschau verschiedener statistischer Kennwerte.

Tabelle 5.3: Übersicht zu statistischen Parametern zu den Fallbeispielen beim Prozess Hochwasser.

	VERSICHERUNGSWERT				SCHADENSUMME				RELATIVER SCHADEN			
	Bern	Klosters	Thun	Susch	Bern	Klosters	Thun	Susch	Bern	Klosters	Thun	Susch
<b>Schwache Intensität</b>												
Anzahl Fälle	89	35	303	21	89	35	303	21	89	35	303	21
Minimum	90'000	24'700	3'500	120'000	1'450	911	146	1'600	0.00	0.00	0.00	0.003
Maximum	14'412'800	36'400'000	64'965'100	1'779'000	1'100'000	605'000	1'705'094	113'891	0.89	0.31	0.44	0.11
Median	774'400	1'500'000	600'000	520'000	22'223	64'600	30'484	12'324	0.03	0.05	0.05	0.04
Mittel	1'586'142	2'850'000	1'267'757	625'056	50'467	119'000	61'470	27'558	0.06	0.06	0.07	0.05
Schiefte	3.68	0.76	14.68	0.77	6.74	1.29	8.26	1.24	5.39	0.42	2.09	0.33
<b>Mittlere Intensität</b>												
Anzahl Fälle	123	36	111	18	123	36	111	18	123	36	111	18
Minimum	25'000	64'000	13'200	14'900	1'576	3'830	550	1000	0.00	0.01	0.00	0.003
Maximum	9'142'400	7'800'000	4'650'000	1'773'000	801'959	2000'000	500'000	28079	0.34	0.77	1.00	0.94
Median	1'400'000	919'000	510'000	723'000	110'000	119'000	39'257	14000	0.08	0.12	0.09	0.03
Mittel	1'823'101	1'350'000	675'994	745'805	151'320	211'000	59'995	32461	0.09	0.16	0.12	0.12
Schiefte	1.84	1.51	2.69	0.28	1.94	0.73	3.16	1.24	1.32	1.97	3.47	2.38
<b>Starke Intensität</b>												
Anzahl Fälle	15	27	0	6	15	27	0	6	15	27	0	6
Minimum	900'000	8'700	-	6'700	98'700	1'790	-	6'700	0.06	0.01	-	0.04
Maximum	4'250'000	5'040'000	-	1'291'000	90'000	1'650'000	-	71'473	0.32	1.00	-	1.00
Median	1'650'000	708'000	-	460'500	55'000	120'000	-	30'781	0.10	0.18	-	0.26
Mittel	1'807'107	1'080'000	-	521'950	173'944	233'000	-	121'018	0.11	0.24	-	0.44
Schiefte	1.88	1.26	-	-	0.59	2.58	-	-	2.20	0.52	-	-



## 5.3 Prozess Murgang

### 5.3.1 Glyssibach, BE - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Der Briener Dorfteil am Glyssibach wurde durch das grosse Murgangereignis im August 2005 schwer getroffen (Abb. 5.23). Die einzelnen Murgangschübe ereigneten sich in der Nacht vom 22. auf den 23. August 2005. Es wurden auch einzelne Grossblöcke mobilisiert, welche die Zerstörungskraft des Murgangs vermutlich noch erhöhten.



Abbildung 5.23: Übersicht des Schadengebietes am Glyssibach in Brienz.

#### Schäden

Es waren zwei Todesopfer zu beklagen, 11 Gebäude wurden total zerstört und 20 weitere schwer beschädigt. Insgesamt waren 48 Objekte betroffen.

### **Datensatz**

Von der Gebäudeversicherung Bern (GVB) wurden die Schadendaten der betroffenen Objekte bereitgestellt. Diese enthielten Angaben zu Gebäudenummer, Strassenname, Versicherungswert sowie die Schadenssumme. Angaben zur genauen Lage der Gebäude mit Koordinatenangaben konnten nicht zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe eines Parzellenplanes der Gemeinde konnte eine Georeferenzierung der Gebäude hergestellt werden.

Bezüglich des Prozesses wurden stand eine Intensitätskarte zur Verfügung. Diese beruhte auf einer groben Abgrenzung auf Basis von Feldkenntnissen und Fotos. Es wurde keine detaillierte Feldkartierung vorgenommen.

### **Auswertung**

Insgesamt standen für die Auswertung 48 Gebäude zur Verfügung. Auf Basis der Überlagerung von Intensitätskarte mit der Objektkarte wurden die relativen Schäden für die einzelnen Objekte in den einzelnen Intensitätsklassen bestimmt. In Abb. 5.24 ist die Lage der betroffenen Gebäude und der relative Schaden der einzelnen Gebäude dargestellt. Mit schwacher Intensität waren 23 Gebäude betroffen, von mittlerer Intensität 9 Objekte und von starker Intensität 16 Gebäude. Abb. 5.24 zeigt, dass von den 19 Gebäuden, die von einem relativen Schaden von  $> 0.5$  aufwiesen, 13 Gebäude der starken Intensität zugeordnet werden konnten, 4 Gebäude der mittleren Intensität, 1 Gebäude an der Grenze zwischen mittlerer und schwacher Intensität und 1 Gebäude der schwachen Intensität. Der hohe relative Schaden des Gebäudes an der Grenze mittel/schwache Intensität zeigt, die hohe räumliche Variabilität der Intensität. Innerhalb weniger Meter kann die Intensität stark abnehmen. Trotzdem genügt es, dass ein Hausteil stärker betroffen ist um einen hohen Schaden bzw. eine Zerstörung eines Gebäudes herbeizuführen.

Deutlich zeigen sich auch Schatteneffekte, d.h. der Fall wenn Gebäude die Energie des Murgangs abmindern, so dass in anderen Gebäude ein wesentlicherer Schaden entsteht. Dies ist zwei Beispielen gut zu erkennen (schwarze Kreise in Abb. 5.24).

Die Streuung des relativen Schadens in den einzelnen Intensitätsklassen ist in Abbildung 5.25 dargestellt. Während die relativen Schäden in der schwachen Intensität noch eine relativ geringe Streuung aufweisen (2 Ausreisser), zeigen die Werte in der mittleren Intensität, dass bereits in dieser Intensitätsklasse sehr starke Schäden bzw. Totalschäden auftreten können.

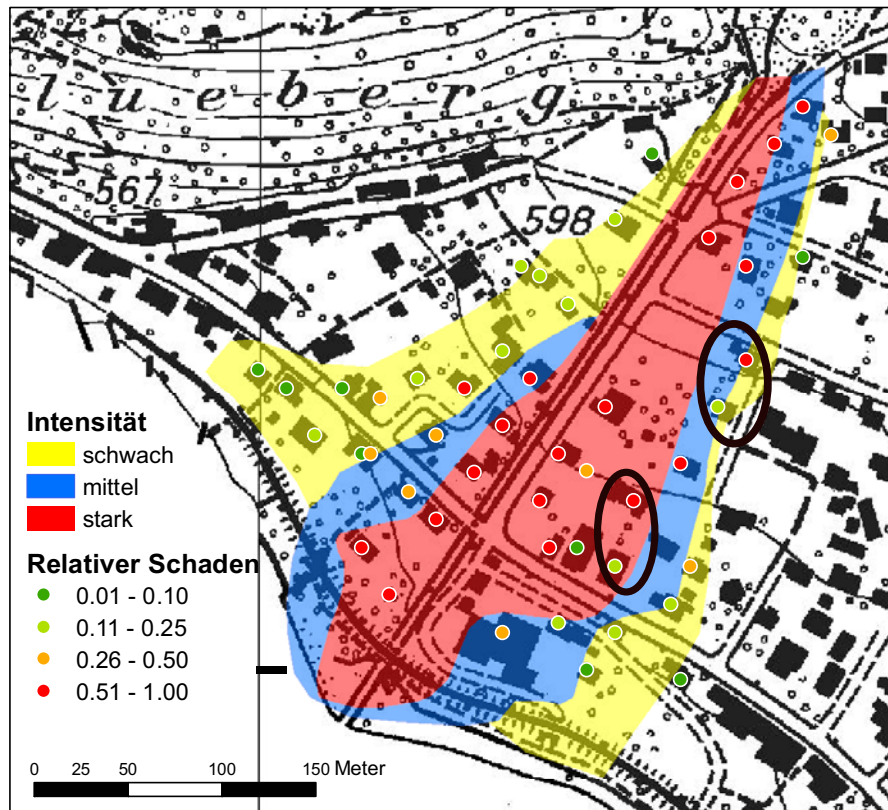


Abbildung 5.24: Schadenobjekte am Glyssibach in Brienz in den einzelnen Intensitätsklassen sowie der relative Schaden der Gebäude.

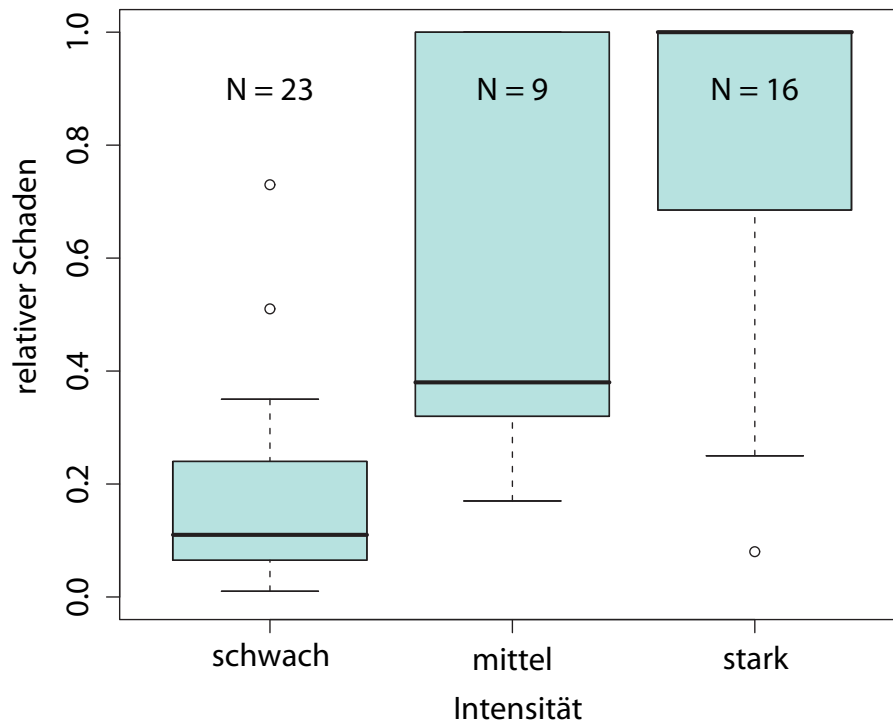


Abbildung 5.25: Auswertung Brienz. Die Querbalken in den Boxplots markieren den Medianwert.

### 5.3.2 Grossalp Sertig, Davos, GR - 2006

#### Ereignis

Starke Niederschläge infolge heftiger Gewitter verursachten im Alpenbach Sertig am Abend des 28. Juli 2006 gegen 19:00 Uhr ein Murgangereignis. In einem einzigen Schub wurden laut Augenzeugen sehr langsam und beinahe geräuschlos einzelne Grossblöcke und sehr viel Feinmaterial zur Siedlung Grossalp verfrachtet. Dank der linksseitigen Ausuferung des Murgangs, wenig oberhalb der Siedlung, war nur ein Teil der Gebäude betroffen (siehe Abb. 5.26).

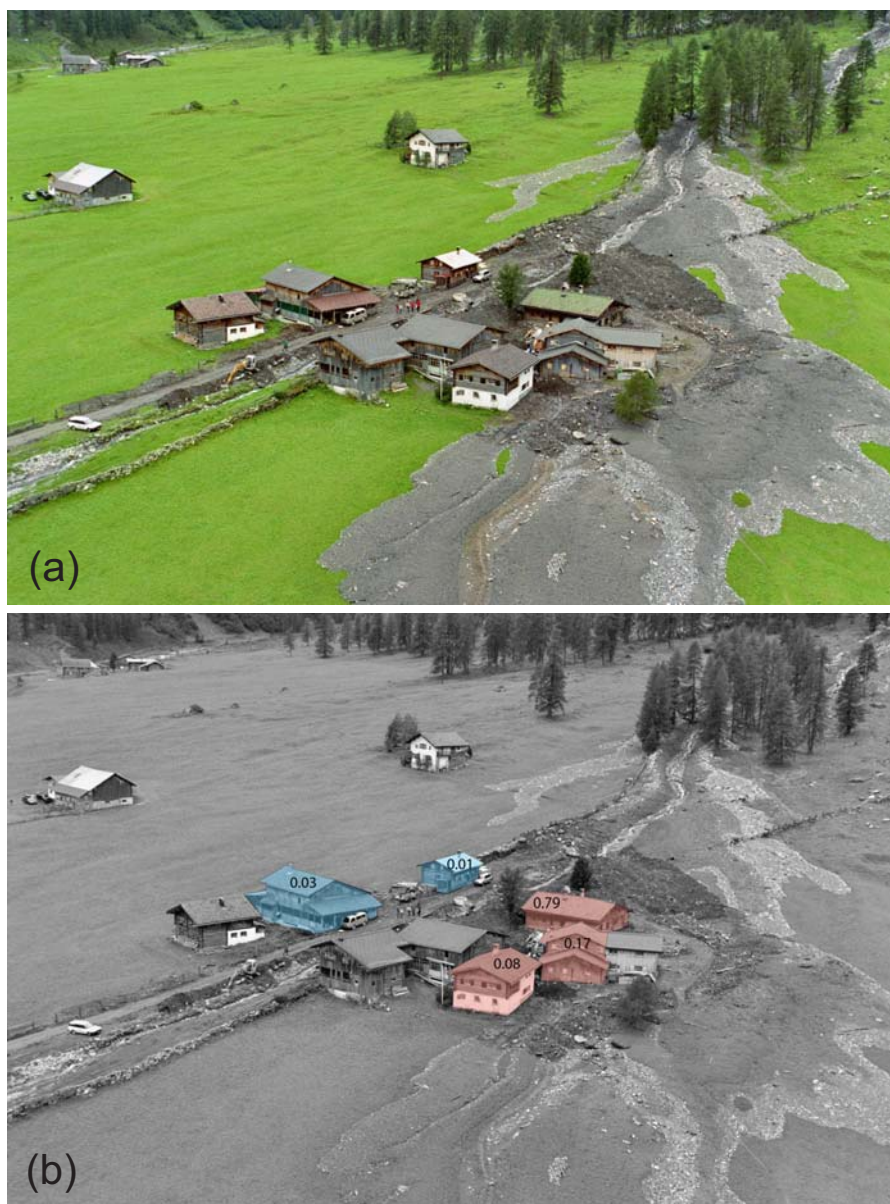


Abbildung 5.26: Murgangereignis im Sertig, Davos vom 28.7.2006. Abb. (a) zeigt eine Übersicht der Siedlung Grossalp. Abb. (b) zeigt die betroffenen Gebäude, die je nach Intensität des Murgangs eingefärbt sind. Rot bedeutet starke, blau mittlere Intensität. Die Zahlen stellen den relativen Schaden am Gebäude dar.

### Schäden

Fünf Gebäude der Grossalp wurden sehr unterschiedlich stark betroffen. Vier davon sind Wohn- oder Ferienhäuser. Personen kamen keine zu Schaden.

### Datensatz

Für Quantifizierung des relativen Schadens standen die Daten der Gebäudeversicherung Graubünden zur Verfügung. Da diese Daten nicht geofenziert waren, konnten sie nachträglich via Parzellen- und Hausnummer georeferenziert werden<sup>1</sup>.

Als Datengrundlagen stand die Ereignisdokumentation Alpenbach Sertig der Fa. GEOTEST AG zur Verfügung. Aus der in diesen Unterlagen vorhandenen Kartierung konnten die mittleren Ablagerungshöhen des Murgangs abgeleitet und die Intensitätsklasse zugeordnet werden. Als weitere Grundlage standen Fotos zur Verfügung, die eine Überprüfung der Ablagerungshöhen erlaubte<sup>2</sup>

### Auswertungen

Die Überlagerung der Ablagerungshöhen mit den Objekten erlaubte zusammen mit den Versicherungsangaben eine Ermittlung des relativen Schadens. Abb. 5.26(b) zeigt den relativen Schaden für die einzelnen Gebäude. Die in Abb. 5.26(b) blau eingefärbten Gebäude wurden der mittleren Intensität zugeordnet. Sie weisen einen geringen relativen Schaden auf. Wie die Abbildung zeigt, wurden diese Gebäude auch nur randlich getroffen. Bei den rot eingefärbten Gebäuden entsprechen die Ablagerungshöhen der starken Intensitäten; sie liegen in der Hauptstossrichtung des Murgangs. Deutlich zeigt sich auch hier die Schattenwirkung des oberen Gebäudes, das quer zur Fliessrichtung steht. Es weist einen relativen Schaden von 0.79 auf. Die unterhalb gelegenen Gebäude wurden deutlich weniger beschädigt; das unterste Gebäude hatte den kleinsten Schaden zu verzeichnen.

### 5.3.3 Oey/Diemtigen, BE - Hochwasser 2005

#### Ereignis

Der ganze Dorfkern von Oey war während des Hochwasserereignisses vom 21.-23. August 2005 durch den über die Ufer getretenen Chirelbach und die darauf folgende Übersarung betroffen (Abbildung 5.27). Diese Prozesse sind vorwiegend auf einen Rückstau bei der Einmündung in die Simme und der sukzessiven Auffüllung des Gerinnes zurückzuführen.

<sup>1</sup>Wir danken an dieser Stelle der freundliche Mithilfe des Vermessungsbüros Darnuzer, Davos.

<sup>2</sup>Wir danken Herrn Grunder für die freundliche Unterstützung.

### Schäden

Im Vergleich zu den Intensitäten ist das Schadenausmass nicht sehr gross ausgefallen, was mit der kontinuierlichen Einwirkung erklärt werden kann. Es wurden vorwiegend Wasser, Sand- und Kiesablagerungen in Erdgeschoss und Kellerräumen beobachtet. Durch den geringen Anteil an Geschiebe kann dieser Prozess eher in den Übergangsbereich zwischen dynamischer Überschwemmung und Murgang eingeordnet werden. Durch die Dynamik des Prozesses gibt es jedoch trotzdem Gebäude die einen Tragwerksschaden aufweisen. Diese beschädigten Gebäude stehen in der Zone der hohen Intensität mit rund 50 weiteren Objekten, welche unbeschädigt blieben.

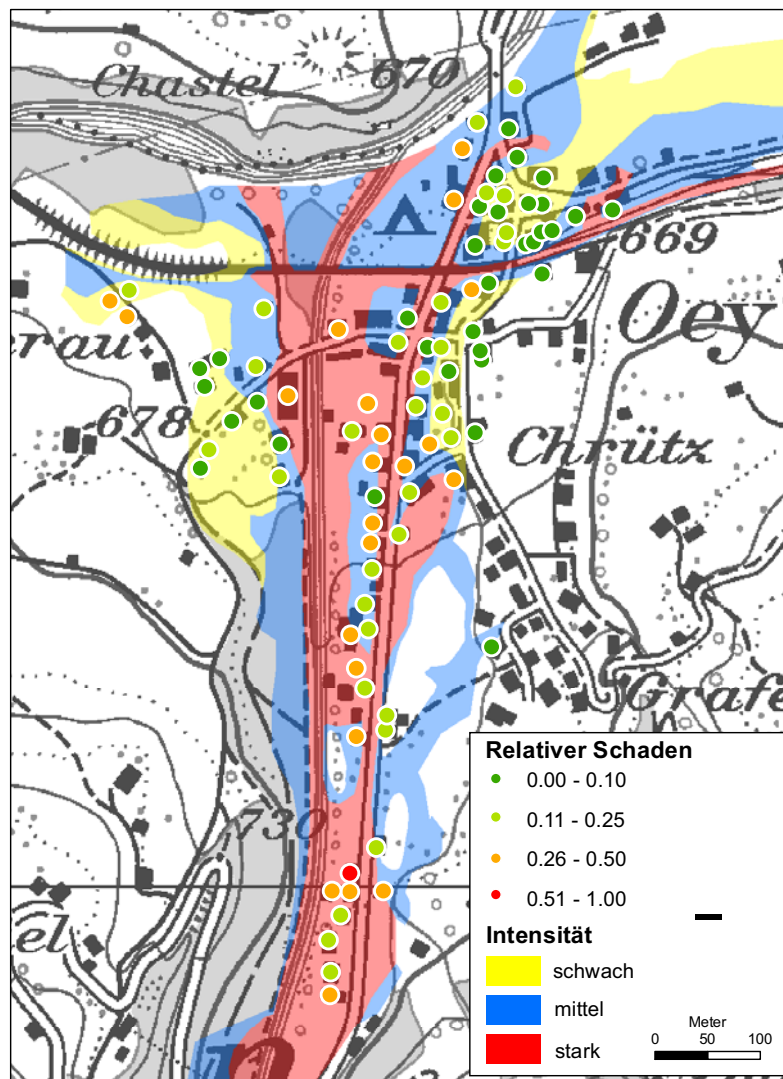


Abbildung 5.27: Schadenobjekte in Oey. Der Grossteil der Objekte weist einen geringen relativen Schaden auf.

### **Datensatz**

Die Versicherungsdaten wurden wiederum von der Gebäudeversicherung Bern zur Verfügung gestellt. Sie enthalten keine Gebäudeadressen, da die Gebäude in der Gemeinde Oey fortlaufend mit der Gebäudeversicherungsnummer nummeriert sind. Es war somit eine separate Georeferenzierung der einzelnen Objekte notwendig. Diese konnten mit Hilfe des Geodatenportals des Kantons Bern ausgeführt werden. Eine Prozessintensitätskarte des Ereignisses war auf Basis der lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse vorhanden (Quelle: LLE Kt. Bern). Die Intensitäten wurden anhand der Ablagerungshöhen und der Zusammensetzung des abgelagerten Materials (grob, fein) mit Hilfe von Luftbildern erstellt (pers. Mitteilung, L. Hunzinger). Dadurch weist die Intensitätskarte gewisse Ungenauigkeiten auf.

### **Auswertung**

Durch die Überlagerung der Gebäude mit der Intensitätskarte konnten die relativen Schäden den Intensitätsklassen zugeordnet werden. Anders als beim Fallbeispiel Glyssibach (Kap. 5.3.1) weisen die meisten Gebäude nur einen vergleichsweise geringen relativen Schaden auf. So musste nur bei 20 von 23 Gebäuden in der starken Intensitätsklasse ein relativer Schaden von  $< 0.5$  verzeichnet werden. Der Grund dafür liegt sicher in der Prozesscharakteristik. Dadurch, dass wesentlich weniger grobes Geschiebe transportiert wurde, war die Zerstörungskraft bedeutend geringer und die Schäden sind vor allem durch Wasser-, Sand- und Kiesablagerungen entstanden. Dieser Unterschied zu den Prozessen am Glyssibach zeigt, dass der Geschiebeanteil wesentlich für die Zerstörungskraft verantwortlich ist.

Die Streuung des relativen Schadens dargestellt im Boxplot-Diagramm (Abb. 5.28) zeigt einen Anstieg des relativen Schadens von der schwachen über die mittlere bis zur starken Intensität. Verglichen mit den Daten vom Glyssibach (Abb. 5.25, Seite 61), sind die Werte deutlich geringer. Auch zeigt sich, dass die Streuung der Werte relativ gering ist.

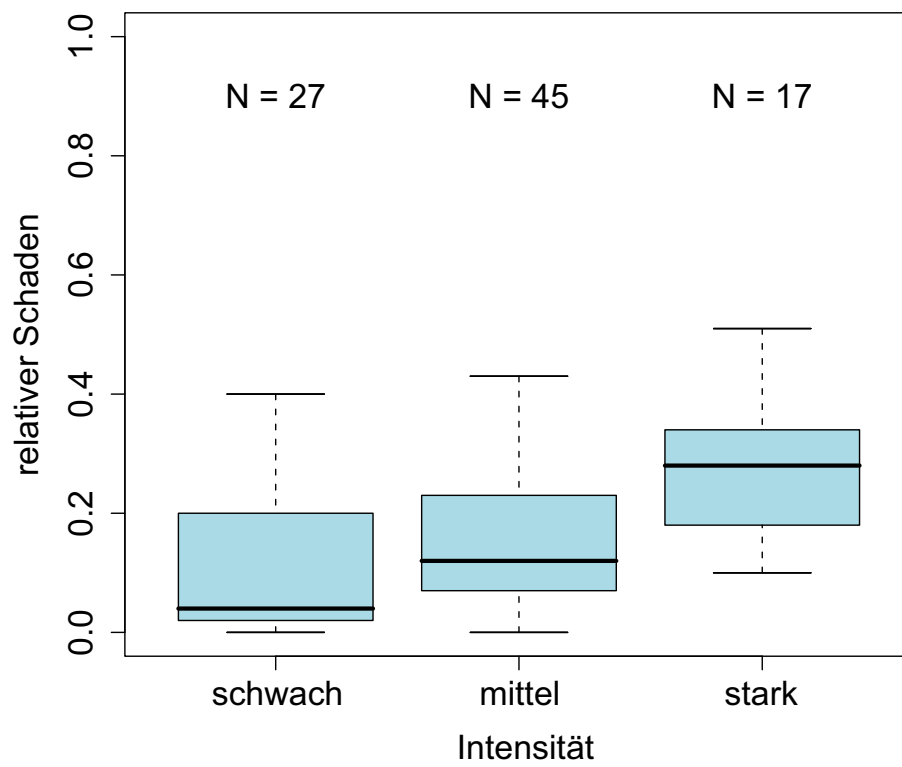


Abbildung 5.28: Auswertung Oey. Die Querbalken in den Boxplots markieren den Medianwert.



## 5.4 Prozess Sturz

Für den Prozess muss vorgemerkt werden, dass sich die Datenlage sehr viel schlechter ist, als bei den Prozessen Hochwasser und Murgang. Es konnten nur vereinzelte Ereignisse gefunden werden, vielfach waren es nur „Beinahe-Ereignisse“, die keinen bedeutenden Schaden hervorgerufen haben. Eine Zusammenstellung von geeigneten Daten ist daher wesentlich schwieriger. Im folgenden werden einige Datensätze vorgestellt.

### 5.4.1 Kanton Graubünden, 1990 - 2008

Von der Gebäudeversicherung Graubünden stand ein Datensatz zur Verfügung in dem alle Schadenfälle der Schadenursache „Steinschlag/Erdrutsch“ vom 1.1.1990 bis 10.3.2008 enthalten sind. Von diesen 325 Fällen konnten 150 als Steinschlag- oder Felssturzereignis selektioniert werden. Die restlichen Fälle wurden dem Prozess Erdrutsch zugeordnet und ein paar wenige wurden von Seite des Versicherers als nicht verwendbar deklariert.

#### Auswertung

Für die Schadenfälle sind keine Intensitäten der Ereignisse bekannt. Aufgrund der für alle Schadenobjekte erhobenen Eigenschaft „Schadenursache (Detail)“ wurde überprüft, ob die Einteilung in Steinschlag und Felssturz auf die Intensität des Prozesses schliessen lässt. Dies war jedoch nicht möglich, da die Variabilität des relativen Schadens zu gross ist. Es wurde erwartet, dass bei den Ereignissen mit Felssturz grössere Schäden aufgetreten sind. Abb. 5.29 zeigt die Zusammenstellung der Daten.

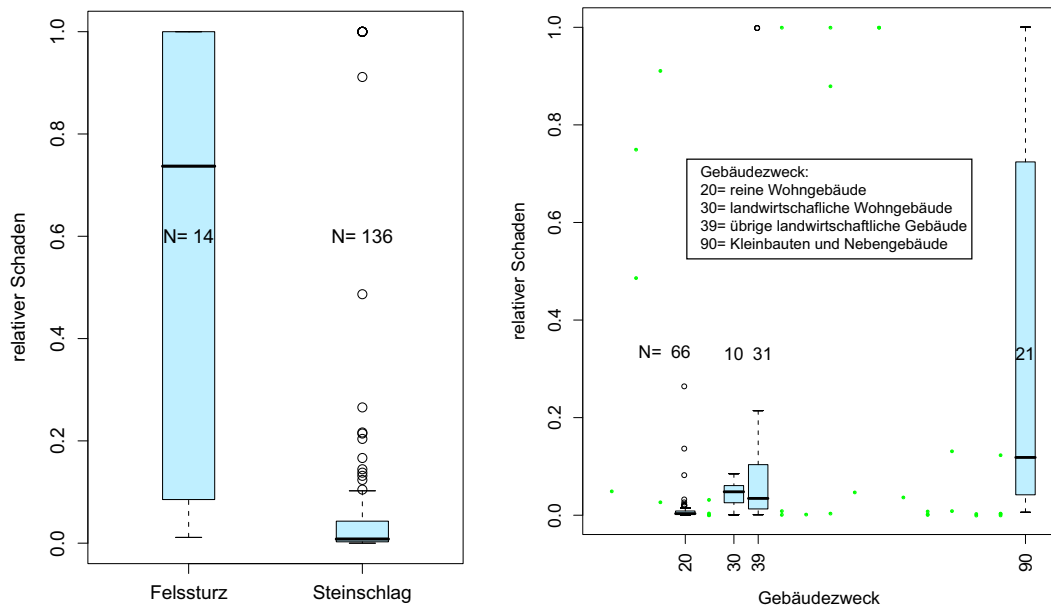
### 5.4.2 Göschenen, UR - 1994

#### Ereignis und Datensatz

Am 9. Dezember 1994 ereignete sich in Göschenen ein Sturzereignis, wobei ein etwa 180 Höhenmeter oberhalb ausgebrochener ca. 2 m<sup>3</sup> grosser und 6 Tonnen schwerer Block das Hallenbadgebäude traf (Abb. 5.30). Im betroffenen Stockwerk befand sich noch eine Wohnung. Bis auf eine Frau, die einen Schock erlitt, waren keine weiteren Personenschäden zu verzeichnen.

Von einem Augenzeugen wurden das Ereignis wie folgt umschrieben: „An der gegenüberliegenden Wand aber steckten handgrosse Splitter, bis an die Decke, alles war übersät, es sah aus, wie ein voll gestecktes Nadelkissen“. Die Aufprallenergie wurde auf 1000 kJ geschätzt. Zusätzlich sind detaillierte Angaben zur Sturzbahn vorhanden. Genaue Kenntnisse über das Gebäude (z.B. Wanddicke) sind nicht bekannt<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>Wir danken für die freundliche Auskunft von Herrn Urs Thali, Ingenieurbüro, Winterhalten, Göschenen, [ing.buero.thali@freesurf.ch](mailto:ing.buero.thali@freesurf.ch)



(a) Aufteilung der Ereignisse nach der Kategorie „Schadenursache (Detail)“.

(b) Verteilung der relativen Schäden auf die unterschiedlichen Nutzungskategorien. Die grünen Punkte sind Objekte in Kategorien mit weniger als fünf Fällen.

Abbildung 5.29: Auswertung Sturzereignisse Graubünden 1990 bis 2008. Anzahl Schadenobjekte  $N=150$ .



Abbildung 5.30: Der 6 Tonnen schwere Block der ins Hallenbad von Göschenen einschlug. Foto: U. Thali

### Auswertung

Die fehlenden Informationen auf der Schadenseite lassen keine genaue Beurteilung der Schadenempfindlichkeit zu. Es kann jedoch angenommen werden, dass die Schadensumme am Gebäude verglichen mit dem Gesamtwert (Versicherungswert) eines Hallenbades einen kleinen relativen Schaden ergibt. Dies obwohl das Gebäude mit starker Intensität getroffen wurde.

### 5.4.3 Weggis, LU - 2001

#### Ereignis und Datensatz

Auf Rigi Kaltbad in Weggis wurde am 10. Dezember 2001 das sogenannte „Haus Zollinger“ durch ein Blocksturzereignis stark beschädigt. Dafür war ein Ausbruch von insgesamt ca.  $80\text{ m}^3$  zehn bis zwanzig Meter oberhalb des Gebäudes verantwortlich. Die Aufprallenergien der 10 bis  $20\text{ m}^3$  grossen Blöcke wurden auf 1000 bis 1500 kJ geschätzt. Diese Energien haben zur Zerstörung der bergseitigen Mauern (Abb. 5.31(a)) und der Verschiebung des ganzen Dachstocks (Abb. 5.32) geführt. Bedingt durch einen Generationenwechsel und Krankheit haben die Besitzverhältnisse mehrfach gewechselt, weshalb keine genaueren Schadeninformationen eingeholt werden konnten.

### Auswertung

Leider lassen sich auch in diesem Fallbeispiel keine fundierten Aussagen zur Schadenempfindlichkeit machen. Vermutlich musste aber mindestens das ganze Dachgeschoss erneuert werden. Dies würde bedeuten, dass ein sehr hoher relativer Schaden resultiert hat.



Abbildung 5.31: Sturzereignis auf Rigi Kaltbad in Weggis (LU). Fotos: K. Louis.



Abbildung 5.32: Frontalansicht des beschädigten Hauses auf Rigi-Kaltbad. Der gesamte Dachstock wurde stark beschädigt. Im Hintergrund gut zu sehen der wenig oberhalb liegende Ausbruch im Molassegestein. Foto: K. Louis.

#### 5.4.4 Silvaplana, GR - 2006

##### Ereignis und Datensatz

Am 26. September 2006 stürzten ca. 4-5 m<sup>3</sup> Fels aus der Wand oberhalb des Werkhofes des Tiefbauamtes Graubünden. Die nordöstliche Ecke dieses Gebäudes wurde getroffen, wobei ein Kleinblock das Dach durchschlug und in den Aufenthaltsraum eindrang. Glücklicherweise wurden keine Personen betroffen. Das Dach und die bergseitigen Eckwände wurden durch die Einwirkungen des Sturzereignisses massiv beschädigt (Feuerstein, 2007). Im Datensatz, welcher in Kapitel 5.4.1 genauer beschrieben ist, sind die Gebäude- und Versicherten- Daten des Versicherers für dieses Ereignis vorhanden.



(a) Ausbruchzone

(b) Nordöstliche Ecke des betroffenen Gebäudes.

(c) Aufenthaltsraum mit eingedrungenen Blöcken.

Abbildung 5.33: Schäden durch das Sturzereignis in Silvaplana.

##### Auswertung

Aufgrund der Schadenssumme und des versicherten Gebäudewertes kann der relative Schaden auf rund 0.13 geschätzt werden. Die Intensität kann mittels den vorhandenen Unter-

lagen und Fotos nur grob in den Bereich der mittleren Intensität (30 bis 300 kJ) geschätzt werden.

#### 5.4.5 Sool, GL - 2008

##### Ereignis und Datensatz

Hier werden zwei sehr ähnliche Ereignisse erwähnt, obwohl nur in einem Fall tatsächlich ein Schaden aufgetreten ist. Am 8. Januar 2008 ist ein rund 1 m<sup>3</sup> grosser Block direkt neben dem Haus Zellweger in der Wart bei Sool liegengeblieben. Ein Schaden am Gebäude blieb aus. Nur vier Wochen später und in unmittelbarer Nähe hatte ein ca. 0.25 m<sup>3</sup> grosser Stein in einen Holzschopf eingeschlagen. Informationen über die Schadenssumme und den Gebäudewert sind nur ungefähr oder gar nicht vorhanden. Die beiden Fälle wurden im Ereigniskataster mit einer Kartierung und Fotodokumentation durch den zuständigen Förster (W. Kessler) erfasst.

##### Auswertung

Die ungefähre Schadenssumme beträgt 1000 Franken. Bei einem Objektwert des Holzschopfs von maximal ca. 10'000 Franken ergäbe sich ein relativer Schaden von 0.1. Die Prozessintensität könnte aufgrund der bestehenden Kartierung nicht zuverlässig zusätzlich abgeschätzt werden.

### 5.5 Prozess Rutschung

Der Prozess Rutschung muss für eine Analyse der Schadenempfindlichkeit in die Prozesse:

- tiefgründige, permanente Rutschung
- flachgründige, spontane Rutschung
- Hangmure

unterteilt werden. Bei den beiden ersten Typen ist es entscheidend, welche Einwirkung massgebend ist. So kann ein Gebäude am Rand einer Rutschung oder auf einer Rutschung stehen. Ebenso kann ein Gebäude von einer Rutschung oder eben einer Hangmure betroffen werden, was am ehesten mit der Einwirkung durch einen Murgang verglichen werden kann.

Für alle diese Prozesse konnten keine Daten in ausreichender Qualität zusammengestellt werden. Von folgenden Ereignissen konnten einige wenige Daten gesammelt werden:

- Feldweid am 23.8.2005, Entlebuch, Kanton Luzern
- Vitznau, Kanton Luzern

- Schüpfheim am 23.08.2005, Hasle/Schüpfheim, Kanton Luzern
- Moos, Beckenried, Kanton Nidwalden

Diese Informationen reichten jedoch nicht aus, um entsprechende Auswertungen durchzuführen, wie bei den anderen Prozessen.

## Kapitel 6

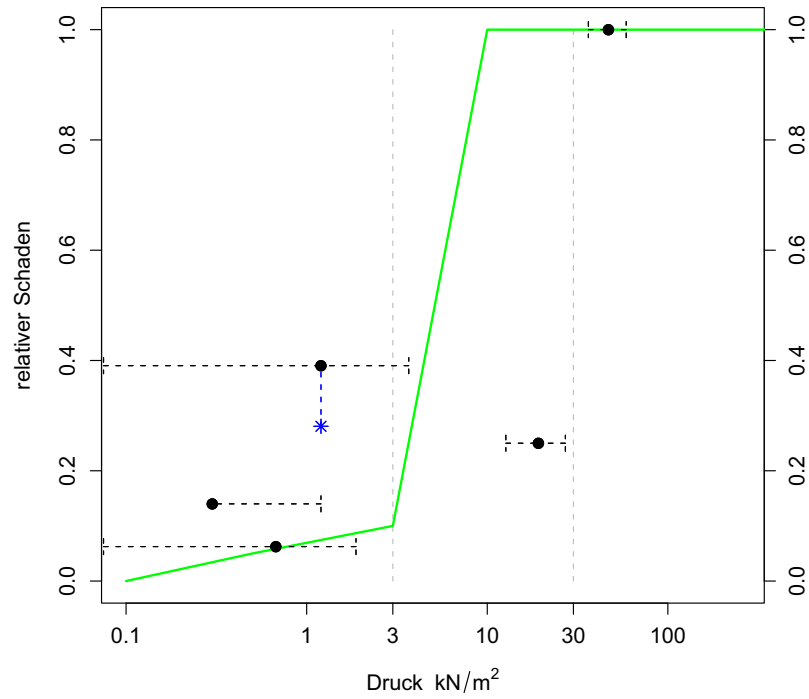
# Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus Kapitel 5 diskutiert und in den Zusammenhang mit bestehenden Abschätzungen wie die Werte zu Schadenempfindlichkeit in der BUWAL Publikation 107/II und dem Online-Tool „EconoMe“ sowie Angaben aus der Literatur gemacht.

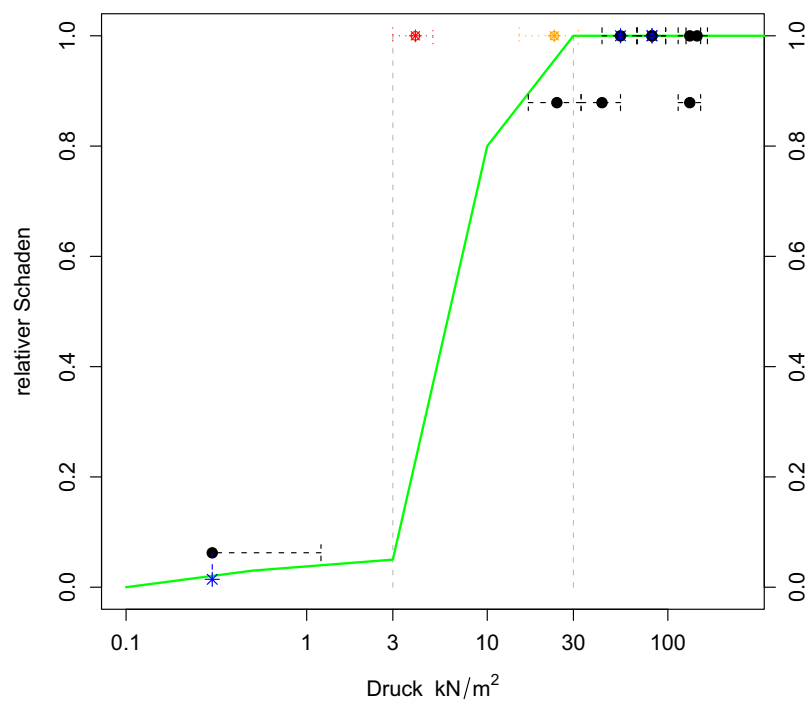
### 6.1 Lawine

Für den Prozess Lawine wurden die Intensitäten mit einem 2D-Simulationsmodell (AVAL-2D) modelliert. Da die Auslösebedingungen (Anrisshöhe, Anrissbreite und Anrisslänge) nur rudimentär bekannt waren und auch im Auslaufbereich Hindernisse, wie Gebäude, durch das Modell nicht berücksichtigt werden, sind die Resultate mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die Fehlerbereiche für den Lawinendruck wurden über einen Fehler bei den maximalen Lawinengeschwindigkeiten von  $\pm 1.5\text{m/s}$  bestimmt. Der Lawinendruck als Ergebnis des 2D-Modells ist als Intensitätsparameter grundsätzlich gut geeignet, er vermag jedoch im Einzelfall die Einwirkung auf ein Objekt nur näherungsweise abzuschätzen. So wurden zum Beispiel die Einflussfaktoren auf die Schadenempfindlichkeit eines Gebäudes wie Stauhöhe der Lawine am Gebäude, die Kraft auf vorspringende Dächer, Öffnungen des Gebäudes, der Winkel unter dem eine Lawine auf das Gebäude trifft, nicht im Einzelfall berücksichtigt. Den genauen Zusammenhang zwischen Einwirkung und Auswirkung anhand von Angaben aus Lawinenmodellierung und aufgenommenen Schäden herzustellen, war wegen auch der fehlenden genauen Angaben zu den Schäden und der Konstruktion des Gebäudes (statische Eigenschaften) nicht möglich. Die gezeigten Fallbeispiele geben daher nur einen groben Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Einwirkung und entstandenem Schaden. Im Rahmen eines Durchschnittswertes für eine Risikoanalyse, wie sie mit dem Tool EconoMe durchgeführt wird, wird diese Genauigkeit jedoch als ausreichend erachtet.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 zeigen den Zusammenhang zwischen Druck und relativem Schaden für verschiedene Gebäudeklassen (Wilhelm, 1997) für die Fallbeispiele, Malbun, Anenhütte, Cristallinahütte und Albertilawine Davos. Bei den beiden Objekten



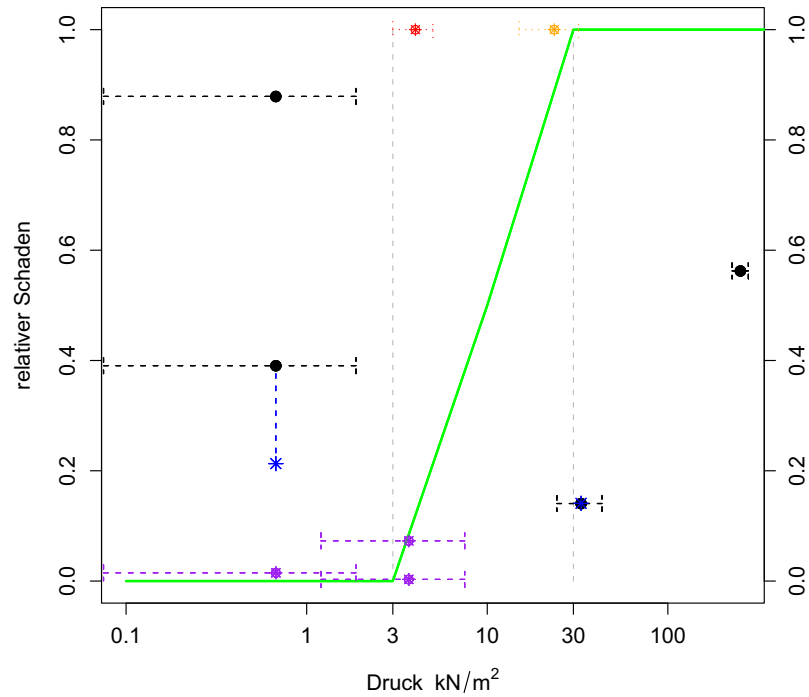
(a) Die Gebäude der Klasse GK1, Leichtbauweisen Malbun (schwarz,blau)



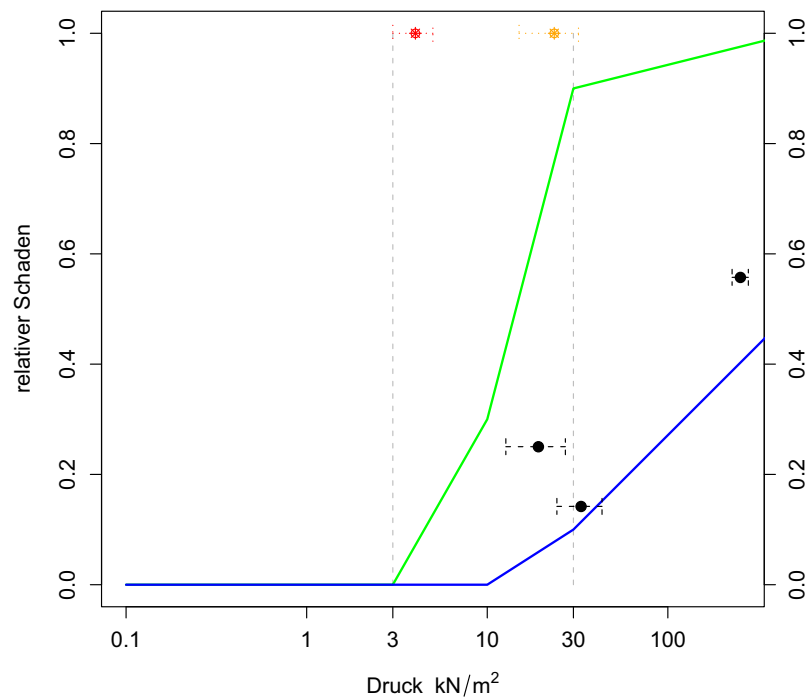
(b) GK2 Gemischte Bauten Anenhütte (rot), Cristallinhütte (orange), Malbun (schwarz,blau)

Abbildung 6.1: Vergleich (1/2) der Resultate mit den Schadenempfindlichkeitsfunktionen (grün) von Bortor und Bart (1999)





(a) GK3 Mauerbauten Anenhütte (rot), Cristallinahütte (orange), Malbun (schwarz,blau), Davos (violett)



(b) GK4 Betonbauten armiert (grün) und GK5 verstärkte Bauten (blau) Anenhütte (rot), Cristallinahütte (orange), Malbun (schwarz,blau)

Abbildung 6.2: Vergleich (2/2) der Resultate mit den Schadenempfindlichkeitsfunktionen (grün, blau) von Borter und Bart (1999).

Cristallina- und Anenhütte wird von einem relativen Schaden gleich 1 (Totalschaden) ausgegangen (Abbildung 6.1(b)). Der Vergleich mit den Werten aus Borter und Bart (1999) (grüne Linie in Abbildung 6.1(b) zeigt, dass diese Werte in der richtigen Grössenordnung liegen. Die Zuordnung zur jeweiligen Gebäudeklasse unterliegt einer gewissen Ungenauigkeit, da die statischen Eigenschaften nicht genau bekannt waren.

Für die Schadenobjekte der Albertilawine, Davos sind die Schadenempfindlichkeiten eher gering, liegen aber auch im Bereich der Werte von Borter und Bart (1999) (Abbildung 6.2(a)).

Beim Beispiel Malbun tritt ein sehr breites Spektrum des relativen Schadens bzw. der Schadenempfindlichkeit auf. Dazu ist jedoch zu bemerken, dass auch die zugeordneten Gebäudeklassen sehr verschieden sind. Das Verhältnis von relativem Schaden zu Druck ist für Malbun in den Abbildungen 6.1 und 6.2 dargestellt. Für die Gebäudeklassen 2 (gemischte Bauten) und Gebäudeklassen 4 (Betonbauten armiert) und 5 (verstärkte Gebäude) liegen die Werte im Bereich der bekannten Abschätzungen aus Borter (1999). Für die beiden anderen Gebäudeklassen zeigen die ermittelten Werte eine weniger gute Übereinstimmung. Es muss jedoch nochmals betont werden, dass die Einteilung in die Gebäudekategorien sehr unsicher ist.

## 6.2 Hochwasser

Die vier untersuchten Fallbeispiele Bern, Thun, Klosters und Susch wurden als Beispiel für den Prozess Hochwasser ausgewählt, stellen jedoch bei genauerem Hinsehen nicht genau den gleichen Prozess dar. Für das Beispiel Bern darf von einer dynamischen Überflutung gesprochen, bei Thun von einer statischen Überflutung, im Fall Klosters war der hohe Sedimenttransport charakteristisch, was auch für Susch im Rahmen der vorhandenen Informationen gelten darf. Neben den unterschiedlichen Prozessen muss auch bemerkt werden, dass die Intensitäten unterschiedlich bestimmt wurden. So stützten sich die Abschätzungen einerseits auf Expertenabschätzungen, eine Detailkartierung aber auch auf Berechnungen bzw. Simulation. Für eine empirische Untersuchung dürfte dies jedoch den Normalfall darstellen, da gesicherte Aussagen über den genauen Prozessablauf für vergangene Ereignisse in den wenigsten Fällen verfügbar sein dürfte und Übergangsformen schwierig einzuordnen sind.

Der Zusammenhang zwischen der Anzahl Schadenobjekte und der Schadenssumme ist in Abbildung 6.3 gezeigt. Es ist ersichtlich, dass die untersuchten Fallbeispiele in der Verteilung der Schadenssummen relativ zur Anzahl betroffener Objekte wenig Differenzen aufzeigen. Wie bei anderen Ereignissen bereits beobachtet und in verschiedenen Untersuchungen beschrieben (Donzé, 2004), zeigt sich ein kleiner Anteil der beschädigten Objekte für einen sehr grossen Anteil der totalen Schadenssumme verantwortlich.

Eine Zusammenstellung der betroffenen Objekte je nach Intensitätsklasse zeigt Tabelle 6.1. Es liegen viele Objekte im Bereich der schwachen und mittleren Intensität, in der Klasse der starken Intensität hingegen gibt es deutlich weniger Schadenobjekte, was mit der Charakteristik der aufgetretenen Ereignisse zusammenhängt. Speziell für die beiden

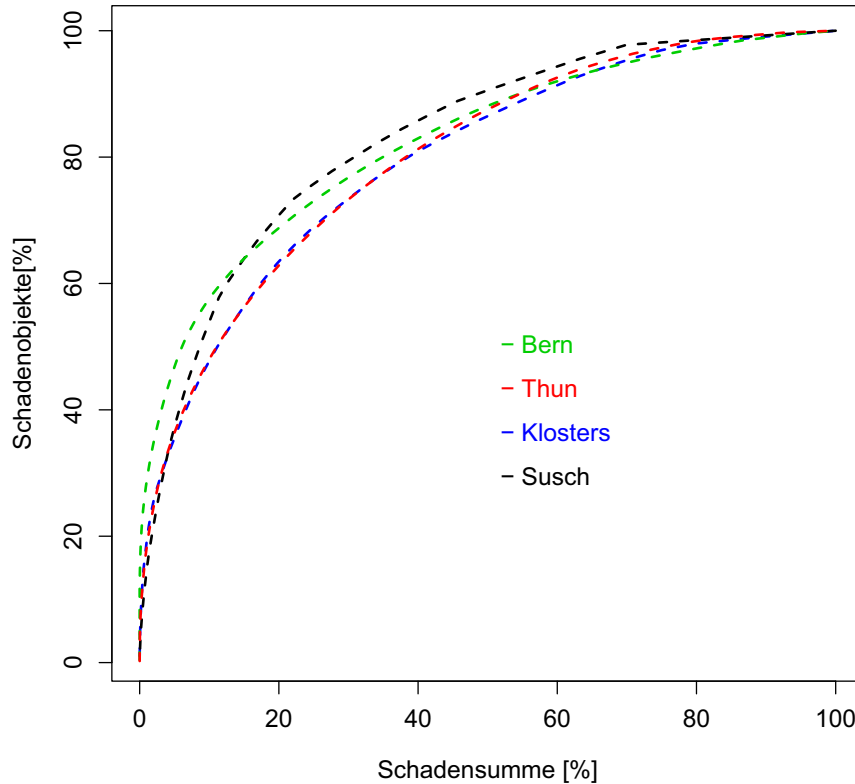


Abbildung 6.3: Vergleich der 4 Fallbeispiele für den Prozess Hochwasser anhand der Anzahl betroffener Objekte vs. der kumulativen Schadensumme.

Beispiele Bern und Thun aber auch bei der mittleren Intensität im Fall von Klosters und Susch fällt die deutliche rechtschiefe Verteilung des relativen Schadens auf. Bei diesen Beispielen haben sehr viele Objekte einen kleinen relativen Schaden.

Tabelle 6.1: Statistische Werte für den relativen Schaden bei den Fallbeispielen Hochwasser.

	SCHWACHE INTENSITÄT				MITTLERE INTENSITÄT				STARKE INTENSITÄT			
	Bern	Thun	Klosters	Susch	Bern	Thun	Klosters	Susch	Bern	Thun	Klosters	Susch
Anzahl Objekte	89	303	35	21	123	111	36	18	15	0	27	6
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.003	0.00	0.00	0.01	0.003	0.06	-	0.01	0.04
Maximum	0.89	0.44	0.31	0.11	0.34	1.00	0.77	0.94	0.32	-	1.00	1.00
Median	0.03	0.05	0.05	0.04	0.08	0.09	0.12	0.03	0.10	-	0.18	0.26
Mittel	0.06	0.07	0.06	0.05	0.09	0.12	0.16	0.12	0.11	-	0.24	0.44
Schiefe	5.39	2.09	0.42	0.33	1.32	3.47	1.97	2.38	2.20	-	0.52	-

Der Vergleich der Streuung des relativen Schadens der vier Fallbeispiele und der Vergleich mit den Werten aus der Literatur ist in Abb. 6.4 dargestellt. Bei der schwachen

Intensität liegt der Median der Werte aus den Fallbeispielen leicht über den Werten aus Borter und Bart (1999) und auch über denen aus dem Rheinatlas (IKSR). Bei der mittleren Intensität liegen die Medianwerte aus Bern, Thun und Susch darunter, der Medianwert für Klosters liegt hingegen im Bereich des Werts aus Borter und Bart (1999). Für die starke Intensität liegen die bestimmten Werte aus den Fallbeispielen unter den Werten aus Borter und Bart (1999) und EconoMe aber im Schwankungsbereich der Werte aus dem Rheinatlas IKSR. Beim Vergleich dieser Daten ist zu beachten, dass die Prozesse der Fallbeispiele verschiedene Charakteristika aufwiesen. Insbesondere für Klosters ist zu beachten, dass der Geschiebetransport einen wesentlichen Anteil an dem höheren relativen Schaden haben dürfte. Bei allen Fallbeispielen und allen Intensitätsklassen sind Ausreisser zu beachten, die einen hohen relativen Schaden bzw. auf einen Totalschaden hinweisen.

Der Zusammenhang zwischen dem relativen Schaden und der gesamten Schadenssumme bei den einzelnen Gebäuden als eher gering zu bezeichnen (Abb. 6.5). Es zeichnet sich eine leichte Tendenz von zunehmendem relativem Schaden bei einer Zunahme der Schadenssumme ab. Die Korrelation ist jedoch sehr gering und wird von Ausreißern beeinflusst.

Wird der relative Schaden gegenüber dem Versicherungswert aufgetragen, so ergibt sich ebenfalls kein klares Bild. Einzig für den Fall Klosters zeigt sich eine leichte Tendenz von abnehmendem relativem Schaden mit zunehmendem Versicherungswert.

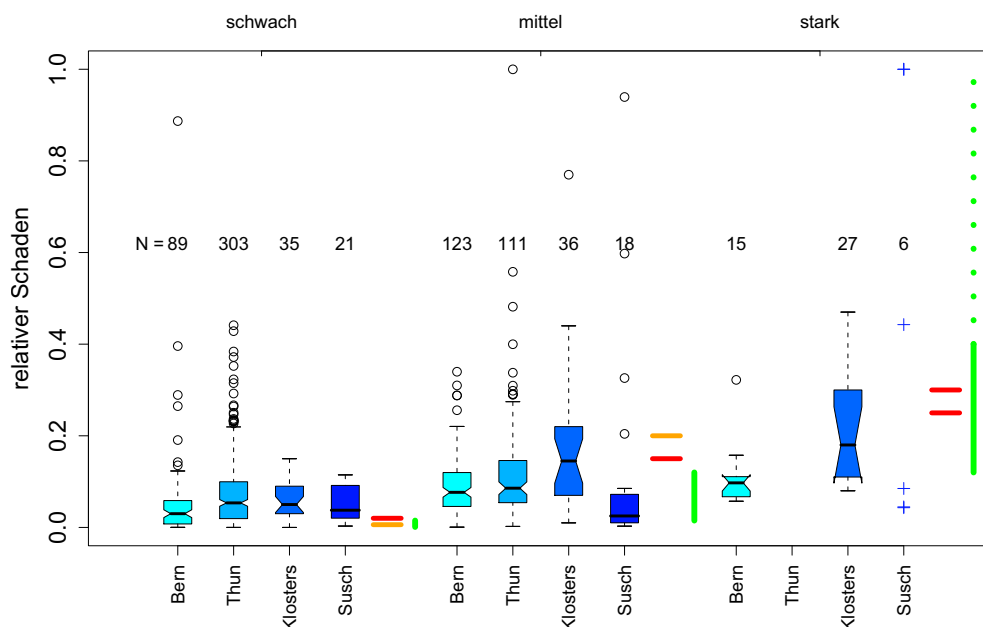


Abbildung 6.4: Vergleich des relativen Schadens bei den Fallbeispielen für Überflutung anhand der Intensität. Zusätzlich als Vergleichswerte aufgetragen sind die Schadenempfindlichkeiten aus Borter und Bart (1999) (rot), Rheinatlas, IKSR (grün, grün gestrichelt für Überschwemmungshöhen grösser 4 m) und wo von den „Borterverwerten“ abweichend jene aus EconoMe (gelb). Bei der starken Intensität entspricht der untere rote Strich dem Wert für Mehrfamilienhäuser aus EconoMe, der obere Wert derjenige für Einfamilienhäuser.

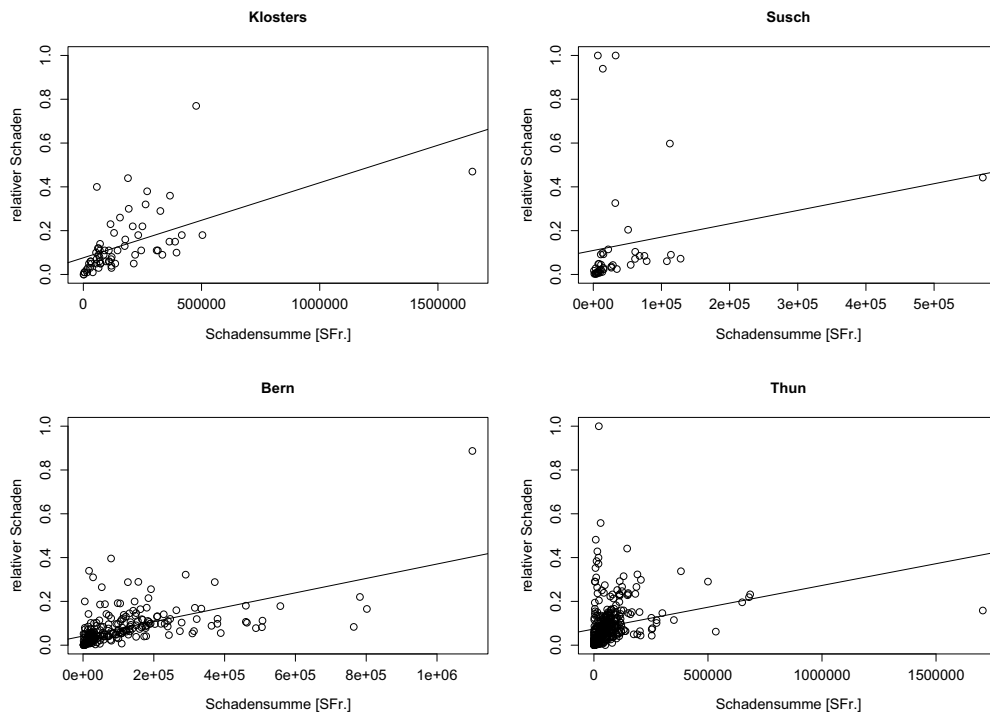


Abbildung 6.5: Darstellung des Zusammenhangs von relativem Schaden mit der Schadensumme. Der Zusammenhang ist eher gering und wird von Ausreissern beeinflusst.

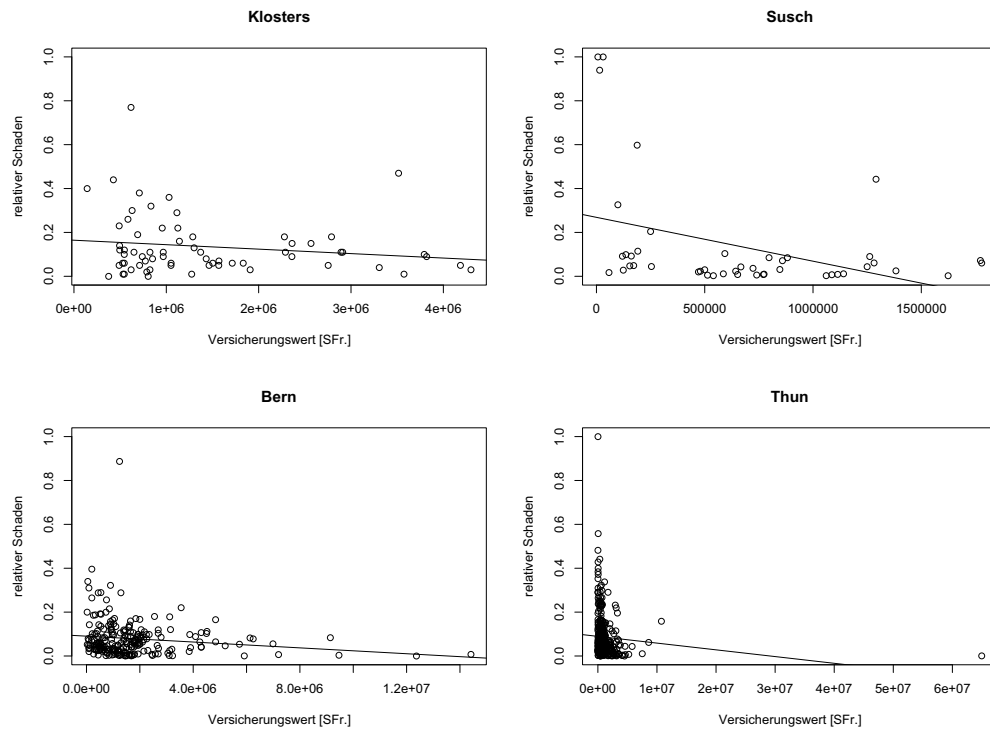


Abbildung 6.6: Darstellung des Zusammenhangs von relativem Schaden mit dem Versicherungswert. Der Zusammenhang ist eher gering und wird von Ausreissern beeinflusst.

### 6.3 Murgang

Die Auswahl der Fallbeispiele zum Prozess erfolgte, weil es sich bei den Ereignissen von Brienz (Glyssibach), Oey und Davos um Ereignisse aus der jüngeren Vergangenheit handelte und die Datenverfügbarkeit und die Kenntnisse zum Prozess daher als hoch eingestuft wurde. In Bezug auf die Prozesscharakteristik handelt es sich jedoch streng genommen um verschiedene Prozesstypen. Die Darstellung des relativen Schadens im Vergleich der verschiedenen Fallbeispiele in Abb. 6.7 verdeutlicht dies. So darf beim Beispiel von einem klassischen Murgang in mehreren Schüben mit einem starken Geschiebeanteil gesprochen werden, während das Ereignis in Oey eher als Übersaarung angesprochen werden kann. Die Werte des relativen Schadens sind in allen drei Intensitäten deutlich höher als die von Oey. Die Grenzen zwischen Überschwemmung und Übersaarung respektive Murgang sind fließend. Die Werte für die Schadenempfindlichkeit für schwache Intensität können daher mit den Werten beim Prozess Überschwemmung verglichen werden.

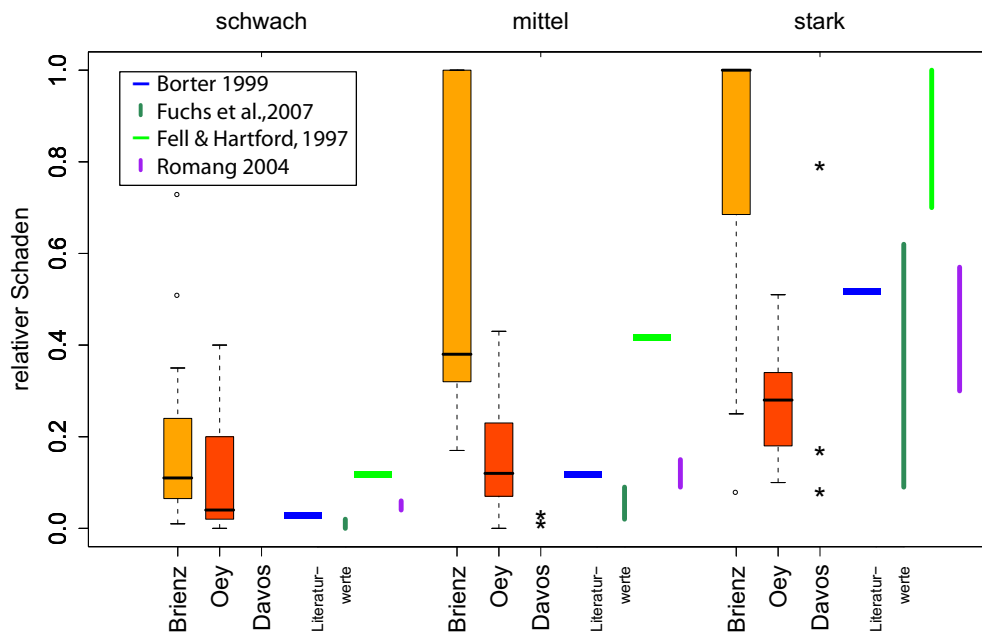


Abbildung 6.7: Vergleich der Fallbeispiele Wildbach/Murgang mit Literaturwerten. Die Querbalken in den Boxplots stellen den Median dar, Mittelwerte und andere statistische Grössen sind in Tabelle 6.2 ersichtlich.

Dass die Art der Gebäude einen wesentlichen Einfluss auf die Werte des relativen Schadens hat, zeigt sich auch am Beispiel Davos. Die für das Beispiel Grossalp quantifizierten relativen Schäden liegen deutlich unter denen von Brienz und für die mittlere Intensität auch unter denen von Oey. Für die starke Intensität streuen die wenigen Werte stark; diese Streuung kann jedoch durch die Schattenwirkung von Gebäuden erklärt werden, die den relativen Schaden unterhalb gelegener Gebäude vermindert haben dürfte.

Werden die Daten dieser Fallbeispiele mit Werten aus der Literatur verglichen, dann zeigt sich, dass die Werte für Brienz über den Werten in Bortner und Bart (1999) und Romang

(2004) aber im Bereich der Werte von Fell und Hartford (1997) liegen. Die Werte von Fuchs et al. (2007a), die ein Murgangereignis im Wartschenbach, Österreich untersucht haben und eine vergleichbare Gebäudestruktur als Grundlage haben, kommen bei der geringen und mittleren Intensität zu tieferen Werten und bei der starken Intensität auf einen relativen grossen Schwankungsbereich. Gebäude mit einem relativen Schaden von grösser 0.6 kamen bei Fuchs et al. (2007a) jedoch nicht vor.

Der Vergleich dieser Werte zeigt, dass schon bei der mittleren, insbesondere bei der starken Intensität die Schwankungsbreite des relativen Schadens, im Sinne dieses Bericht also der Schadenempfindlichkeit, sehr gross ist. Für eine Risikoanalyse, die über ein Gebiet mittlere Werte annehmen muss, stellen die Werte nach Borter und Bart (1999) daher einen guten Anhaltspunkt dar. Die leicht angepassten Werte aus EconoMe, mit  $SE = 0.02$  für schwache,  $SE = 0.4$  für mittlere und  $SE = 0.6$  für starke Intensität sind ebenfalls eine gute Näherung. Für Einzelbeurteilungen sind diese Werte jedoch kritisch zu hinterfragen, da insbesondere Schatteneffekte im Ereignisfall grössere Schäden verhindern können.

In Tabelle 6.2 sind neben Median auch die Mittelwerte sowie die Minimum und Maximum Werte sowie die Schiefe der jeweiligen Verteilung aufgelistet. Auffallend ist die linksschiefe Verteilung ( $v < 0$ ) der Werte von Brienz bei der starken Intensität. In diesem Beispiel wurden anteilmässig sehr viele Gebäude in dieser Intensitätsklassen fast vollständig zerstört. Generell ist jedoch zu bemerken, dass die Intensitätsbestimmung a posteriori auf Basis des Schadenbildes der betroffenen Gebäude problematisch ist und zu falschen Schlüssen führen kann. Wichtig ist daher, dass beide Faktoren unmittelbar nach einem Ereignis erhoben werden müssen, wenn diese Daten als Grundlage für empirische Untersuchungen verwendet werden sollen.

Tabelle 6.2: Statistische Werte für den relativen Schaden bei den Fallbeispielen Wildbach/Murgang aufgeteilt nach schwacher, mittlerer und starker Intensität.

	SCHWACH			MITTEL			STARK		
	Brienz	Oey	Davos	Brienz	Oey	Davos	Brienz	Oey	Davos
Anzahl Objekte	23	27	0	9	45	2	16	17	3
Minimum	0.01	0.00	-	0.17	0.00	0.01	0.08	0.10	0.08
Maximum	0.73	0.40	-	1.00	0.43	0.03	1.00	0.51	0.79
Median	0.11	0.04	-	0.38	0.12	-	1.00	0.28	-
Mittel	0.17	0.11	-	0.55	0.16	0.02	0.82	0.26	0.35
Schiefe	1.63	1.02	-	0.41	0.63	-	-1.22	0.29	-

## 6.4 Sturz

Die vereinzelt Fallbeispiele, die für den Prozess analysiert wurden, erlauben keine detailliertere Auswertung und keine Einordnung in Bezug zu den vorhandenen Werte in der Literatur. So konnten zwar rund 136 Ereignisse aus den Daten des kantonalen Gebäudeversicherung herausgefiltert werden, eine Einordnung hinsichtlich der Intensität war je-

doch nicht möglich. Für eine Beurteilung von Steinschlagereignissen hinsichtlich der Ermittlung der Schadenempfindlichkeit bei verschiedenen Intensitäten ist die Analyse weiterer Fallbeispiele notwendig. Generell stellt sich die Zusammenstellung von genügend Schadenobjekten durch den Prozess Sturz stellte sich als sehr aufwendiges Unterfangen heraus. Pro Ereignis sind jeweils nur einzelne oder sehr wenige Gebäude betroffen. Der Aufwand für die Aufbereitung der Prozessparameter ist jedoch beinahe konstant hoch unabhängig von der Anzahl Schadenobjekte.

## 6.5 Rutschung

Wie in Kapitel 5.5, Seite 71 erläutert, konnten für den Prozess ebenfalls keine Analysen der Schadenempfindlichkeit vorgenommen werden. Für eine detaillierte Analyse von Rutschungen dürfte insbesondere die Bestimmung der Intensitätsparameter und die Analyse des Zusammenhangs zu aufgetretenen Schäden zu Schwierigkeiten führen.

## 6.6 Fazit

Zusammenfassend kann aus der Analyse der präsentierten Fallbeispiele Folgendes in Bezug auf die Analyse der Schadenempfindlichkeit von Gebäuden festgehalten werden.

**Dokumentation:** Gut dokumentierte Beispiele, die gleichermassen für den einwirkenden Prozess als auch in Bezug auf die aufgetretenen Schäden ausreichende Informationen für die Ableitung eines relativen Schadens liefern, sind sehr selten. Im Fokus der Dokumentation von Schadenereignissen stehen für die beteiligten Stellen (beauftragte Ing. Büros, kantonale Fachstellen, Gebäudeversicherungen) meist andere Punkte.

**Einwirkung und Intensität:** Beim Prozess *Lawine* muss die Einwirkung nachträglich modelliert werden, was zu erheblichen Unsicherheiten bezüglich der Intensität führen kann. Die eigentliche Einwirkung auf das Gebäude ist meistens weitgehend unbekannt und kann nur grob abgeschätzt werden.

Bei den Prozessen *Hochwasser* und *Murgang* kann zumindest kurz nach dem Ereignis oder evtl. schon während des Ereignisses die Überflutungshöhe bzw. Ablagerungshöhe und / oder die Fliessgeschwindigkeit bestimmt oder aus Foto- oder Filmdokumentation abgeleitet werden. Beim Prozess Hochwasser ist zusätzlich die Dauer der Einwirkung entscheidend.

Beim Prozess *Sturz* kann die Energie aus der Höhendifferenz zwischen betroffenen Objekt und Auslösebereich mittels Modellen abgeschätzt werden.

Beim Prozess *Rutschung* muss zunächst nach der Art der Einwirkung differenziert werden. Schliesslich sind die geschätzten (oder gemessenen) Bewegungsraten in den Zusammenhang mit aufgetretenen Schäden zu bringen.

**Schadenbild:** Das aufgetretene Schadenbild als qualitative Beschreibung ist sehr entscheidend für die Bestimmung des relativen Schadens. Erst eine Beschreibung des



Schadens erlaubt, einen Zusammenhang zwischen Einwirkung und Schadenhöhe zu herzuleiten. So können z.B. beim Prozess Hochwasser die Trocknungszeiten erheblich zum Gesamtschaden beitragen. Daher sind v.a. auch Angaben zur Zusammensetzung der Schadens wichtig und nicht nur der absolute Schadenwert in Geldeinheiten.

**Objekteigenschaften:** Die Eigenschaften des Objekts hinsichtlich seiner Konstruktions-eigenschaften wie Statik (v.a. bei den „brutalen Prozessen“ relevant) und Gebäudeöffnungen, der absolute Werts und die Werteverteilung sind entscheidend, wenn aus den aufgetretenen Schäden und dem Wert des Objekts auf den relativen Schaden geschlossen werden soll.

Im Idealfall sind möglichst viele der oben aufgeführten Informationen vorhanden. Da dies jedoch in den allermeisten nicht der Fall ist, können Auswertungen wie in dieser Studie immer nur grobe Hinweise liefern. Daher muss in diesem Zusammenhang auch auf die Aussagekraft der dargestellten Daten und Fallbeispiele hingewiesen werden. Bei den dargestellten Fallbeispielen und den Daten zur Schadenempfindlichkeit handelt es sich Ergebnisse, die im Rahmen der vorhandenen Daten, möglich waren. Das Ziel dieser Arbeit war nicht, allgemein gültige Werte für die Schadenempfindlichkeit zu erarbeiten, sondern bestehende Werte zu überprüfen. Daher dürfen die hier präsentierten Daten nicht als allgemein gültig und für Einzelstudien als alleinige Werte angesehen werden. Im Einzelfall kann es z.B. sehr entscheidend sein, ob der relative Schaden als Quotient von Neuwerter-satz zu Versicherungssumme oder als Quotient von Zeitwertersatz zu Versicherungssumme berechnet wird.

Für die vorliegende Studie gilt zu beachten, dass verschiedene Prozessarten eines Prozesse (z.B. innerhalb des Prozesses Murgang) und verschiedene Objekte zusammen betrachtet wurden. Um allgemein gültige Daten zu erhalten, sind weitere Studien notwendig. Eine möglichst grosse Anzahl ähnlicher Ereignisse sowie ähnliche, vergleichbare Objekte erlauben die Streuung der Werte der Schadenempfindlichkeit weiter einzugrenzen und somit zu verlässlicheren Werte der Schadenempfindlichkeit zu kommen. Eine weitere Möglichkeit um auf die Schadenempfindlichkeit von Objekten während eines bestimmten Ereignisses zu schliessen, wäre die Betrachtung des Durchschnittsschadens. Dabei wird die gesamte Schadenssumme in einem definierten Gebiet der gesamten Versicherungssumme dieses Gebietes gegenüber gestellt. Damit wird einerseits der Beobachtung Rechnung getragen, dass nicht immer alle Objekte getroffen werden und andererseits, dass sich Objekt spezifische Eigenschaften nicht direkt auf das Endergebnis durchschlagen. Ein Vergleich der Ergebnisse, die mit verschiedenen Ansätzen erzielt wurden, erlaubt es, ein geeignetes Vorgehen für die Zukunft zu definieren.



## Kapitel 7

# Vorschlag für weiteres Vorgehen

Bevor im abschliessenden Kapitel ein mögliches weiteres Vorgehen vorgeschlagen wird, sollen kurz die erreichten Ergebnisse mit den Zielen des Projekts (s.a. Kapitel 1.2, S. 9) verglichen werden.

### 7.1 Vergleich Ergebnisse mit den Projektzielen

**Übersicht Literatur und laufende Arbeiten:** Es gibt eine Vielzahl von Literatur zum Thema „Verletzlichkeit“, wobei der Begriff sehr verschieden definiert wird. Auf das enge Themengebiet „Schadenempfindlichkeit von Gebäuden“ ist die Auswahl eher gering. Im Bereich „Hochwasser“ sind in Deutschland einige Arbeiten publiziert worden, vergleichbare Untersuchungen wie in der vorliegenden Arbeit werden gegenwärtig in Österreich an der BOKU Wien gemacht. Bei der Verwendung von Angaben aus der Literatur muss zwischen grossräumigen Untersuchungen und solchen auf Stufe Einzelobjekt unterschieden werden.

**Übersicht Datenlage:** Die Datenlage in Bezug auf Schäden ist grundsätzlich als schwierig einzustufen, da die Daten einerseits bei verschiedenen Versicherungen abgelegt werden und andererseits Schäden unterschiedlich versichert sind. Bei den Gebäudeversicherungen werden Gebäudeschäden verzeichnet und bei Sachversicherungen die Fahrhabeschäden. Bei der Schadenursache ist festzuhalten, dass in der Elementarversicherung nur das oberflächlich eindringende Wasser als Schadenursache bezeichnet wird. Der für den Schaden zu Grunde liegende Prozess (See, Fluss, Murgang oder Oberflächenabfluss) wird dabei grundsätzlich nicht unterschieden, sondern in den Datenbanken der Versicherung nur einem Code zugeordnet. Schäden durch Oberflächenabfluss machen einen nicht zu vernachlässigen Teil der Gesamtschadenssumme aus (Aller und Petrascheck, 2008). Schäden durch Grundwasseranstieg oder Rückstau sind in der Elementarschaden-Versicherung nicht versichert. Auch gemischte Schäden, sowohl durch oberflächlich eindringendes Wasser als auch durch Grundwasser oder Rückstau, gibt es häufig. Die Schadendossiers bei den Versicherungen werden in der Regel nur 10 Jahre aufbewahrt. Die Auswertung der Daten, die detailliertere Informationen über den Schaden und teilweise auch über die

Ursache enthalten, ist Handarbeit und zeitaufwendig. Die grundsätzliche Zurückhaltung der Versicherungen Schadendaten herauszugeben, kann mit Datenschutz, dem Aufwand der Bereitstellung und der Frage der Interpretierbarkeit begründet werden. Aus eigener Erfahrung wissen die Gebäudeversicherungen, dass verschiedenste Parameter den Eintritt und die Höhe des Schadens beeinflussen, so sind grundsätzlich die Anordnung und der Widerstand der Öffnungen oder die Nutzung und die verletzlichen Werte im Keller oder Erdgeschoss entscheidend. Aber auch die Reaktion durch Eigentümer, Mieter, Nachbarn oder der Feuerwehr beeinflussen den Schaden. Zur richtigen Interpretation der Daten braucht es zudem Kenntnisse zur Schadenregulierung.

**Detailanalyse anhand Fallbeispielen:** Insgesamt standen für den Prozess Lawine vier, für den Prozess Hochwasser ebenfalls vier, für den Prozess Murgang drei, für den Prozess Sturz und Rutschung keine Fallbeispiele wie bei den anderen Prozessen zur Verfügung. Der Grund liegt vor allem in der aufwendigen Aufarbeitung der übrigen Daten und der schlechten Datenlage für die beiden Prozesse Sturz und Rutschung. Insbesondere für den Prozess „Hangmure“ dürften jedoch mit einigem Zusatzaufwand weitere Beispiele auswertbar sein.

**Überprüfung Werte aus Literatur:** Im Rahmen der Unsicherheit zu Einwirkung und resultierendem Schaden und angesichts der verschiedenen Objekte, die für die Analyse zur Verfügung standen, kann gesagt werden, dass die empirischen Werte dieser Fallstudie im Bereich der geschätzten Werte aus Borter und Bart (1999) und auch dem Online-Tool EconoMe (Arge EconoMe, 2008) liegen. Eine Anpassung konnte aufgrund der vorhandenen Ergebnisse nicht vorgenommen werden. Dazu war die Datenlage zu dünn. Da jedoch nur wenige Beispiele für diese Studie zur Verfügung standen, sollten diese Werte mit weiteren Fallbeispielen kritisch überprüft werden. Dabei sollte auch überprüft werden, ob die Festlegung des Faktors „räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit“ *prA* (Bründl, 2008) auf den Wert „1“ für alle Szenarien sinnvoll ist. Da in der Regel nicht alle Gebäudeöffnungen unter der Überschwemmungskote liegen, ergeben sich damit zu hohe Schäden.

Der letzte Punkt aus den Zielen (Kapitel 1.2, S. 9) „Vorschlag zum weiteren Vorgehen“ wird in den folgenden Abschnitten behandelt.

## 7.2 Grundlagen für zukünftige Datenerhebungen

Wie bereits erläutert wurde, war die Datenaufarbeitung und Datenanalyse sehr aufwendig. Der Grund dafür liegt darin, dass die Daten nach Schadenereignissen nicht mit dem Ziel erhoben werden, daraus Funktionen für die Schadenempfindlichkeit abzuleiten. Es wird daher für zukünftige Untersuchungen vorgeschlagen, eine Erhebungsmethodik (Erhebungsblatt oder PDA-Tool) zu entwerfen (evtl. Ergänzung zu StorMe), anhand derer während oder nach Ereignissen eine detaillierte Erhebung der Prozesse und der Schäden möglich ist. Das Ziel dieser Erhebungen sollte sein, über die Jahre hinweg eine fundiertere Datengrundlage für die Abschätzung der Schadenempfindlichkeit zu erhalten. Bei der

Erarbeitung dieser Erhebungsmethodik sollen verschiedene Interessengruppen eingebunden werden, um die vielschichtigen Erfahrungen (insbesondere auch bei der Schadenaufnahme) gewinnbringend einzusetzen. Bei der Unterscheidung der Prozesse sollte darauf geachtet werden, dass ähnliche Einwirkungen zusammengefasst werden (z.B. Murgang und Hangmure). Entscheidend ist, dass die Methodik einfach ist, damit eine rasche Datenaufnahme möglich ist. Den Rahmenbedingungen bei solchen Aufnahmen (Witterung, Möglichkeit Ansprache, Gefährdung, Aufräumarbeiten etc.) ist entsprechend Rechnung zu tragen. Entscheidend für den Erfolg sind auch Testläufe im Vorfeld und eine Einweisung bzw. die Ausbildung der Personen, die für eine Erhebung in Frage kommen. Generell ist festzuhalten, dass nach einem Ereignis die Eigenschaften der abgelaufenen Prozesse relativ rasch erhoben werden müssen. Erfahrungen bei verschiedenen Ereignisanalysen zeigen jedoch, dass es für die Auswertung der Schäden sinnvoll ist, den Abschluss der Schadenerhebung abzuwarten, um verlässliche Aussagen machen zu können.

### **7.3 Ergänzungsstudie**

Das Ziel dieser Studie war primär zu überprüfen, ob die in den vorhandenen Instrumenten „Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren“ (Borter, 1999; Borter und Bart, 1999) und Online-Tool EconoMe (Arge EconoMe, 2008) vorhandenen Durchschnittswerte in der richtigen Grössenordnung liegen. Wegen der aufwendigen Datenaufarbeitung und Datenanalyse konnten nur wenige Fallbeispiele bearbeitet werden. Auch konnte keine feinere Differenzierung der einwirkenden Prozesse und Gebäude gemacht werden.

Es drängt sich daher auf, bestehende Datensätze über alle Prozesse hinweg weiter aufzuarbeiten und detaillierter zu untersuchen. Dabei sollte zum einen gezielt nach Gebäuden gleicher Art aber auch nach typischen Schadenbildern differenziert werden. Eine weitere Typisierung der betroffenen Gebäude könnte nach typischen Eigenschaften erfolgen, die einen Bezug zum aufgetretenen Schaden haben (z.B. Keller, Nutzung Keller, weitere Öffnungen etc.). Hierbei sollten auch integrierte Objektschutzmassnahmen (Verstärkungen, Erhöhungen, Rückstauklappen, etc.) entsprechend berücksichtigt werden. Darauf aufbauend könnte ein Kriterienkatalog erarbeitet werden, anhand dem die Vergleichbarkeit der Objekte beurteilt werden kann. Damit soll eine möglichst grosse Anzahl von Schadenempfindlichkeitswerten gleichartiger Objekte in einer Intensitätsklasse zusammengestellt werden. Dies sollte die Ableitung einer Dichtefunktion erlauben, die in dieser Form für Risikoanalysen beigezogen werden kann. Die Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 dürften hierzu einen wichtigen Beitrag liefern. In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, ob der Durchschnittsschaden als Quotient der Gesamtschadensumme eines Gebietes in Relation zur gesamten Versicherungssumme des untersuchten Gebietes vernünftige Anhaltspunkte liefert.

Grundsätzlich sollte bei ergänzenden Studien immer der Aufwand von weiteren Datenanalysen und der zu erwartende Ertrag im Sinn von verbesserten Schadenempfindlichkeiten im Auge behalten werden. Schliesslich stellt die Schadenempfindlichkeit nicht die einzige Unsicherheit in der Risikogleichung dar. Die damit verbundenen Unsicherheiten

können mit einem unteren und einem oberen Wert in Risikoanalysen einbezogen werden. Ein weiterer Ansatz stellt die Verwendung von Bayes'schen Netzen dar (Grêt-Regamey und Straub, 2006) dar, die es erlauben die Abhängigkeiten der verschiedenen Faktoren in einer Risikoanalyse zu beurteilen.

#### **7.4 Zusammenstellung Modellierungsansätze**

In Ergänzung zu den empirisch ermittelten Daten kann eine physikalische Modellierung helfen, Abschätzungen zur Schadenempfindlichkeit vorzunehmen. In den letzten Jahren wurden insbesondere im Bereich im Hochwasser aber auch für andere Prozesse Modellansätze erarbeitet, die es auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen gilt (z.B. Bertrand und Naaim, 2008). Daher erscheint es sinnvoll, vorhandene Modellierungsansätze zusammen zu stellen und diese auf die Abbildung der Schadenempfindlichkeit hin prüfen. Um bei der Modellierung Fortschritte zu erzielen, bedarf es einer Kooperation und Koordination von Experten aus verschiedenen Disziplinen. Das Ziel dieser Ansätze sollte sein, die relevanten Prozesse und Mechanismen zunächst als Modelle darzustellen und diese dann durch Daten und Beobachtungen zu aktualisieren und zu verifizieren.

Ein Instrument, das in Teilen schon für den Prozess Erdbeben in der Schweiz (Kanton Nidwalden) angewendet wurde, ist das HAZUS-Tool (FEMA, 2006). Ob es sich neben der grossräumigen Analyse von Prozessen auch für kleinräumige Untersuchungen wie im Themenbereich dieses Berichts eignet, sollte überprüft werden. Weitere Modellansätze sind bei den Rückversicherungen oder einschlägigen Unternehmen (z.B. Risk Management Solutions Inc., [www.rms.com](http://www.rms.com)) vorhanden. Welche Modelle öffentlich zugänglich sind, muss im Einzelfall geprüft werden.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Verschiedene Aspekte der Verletzlichkeit. . . . .	5
1.2	Aufteilung ökonomischer Schadenkategorien (Messner, 2005). . . . .	6
1.3	Der Parameter „Schadenempfindlichkeit“ ist ein Faktor in der Konsequenzenanalyse und geht damit in die Risikoberechnung ein. . . . .	8
5.1	Zwei der drei durch die Albertilawine beschädigten Gebäude. Das dritte Haus liegt etwas tiefer zwischen den beiden sichtbaren Gebäuden. Das gelbliche Haus in der rechten Bildhälfte wurde vollständig überflossen (siehe auch Abb. 5.2) und trug den grössten Schaden davon. Foto: S. Spichtig.	34
5.2	Das vollständig überflossene Gebäude and der Ortsstrasse 2 während den Räumungsarbeiten am 10. Februar 1984. Foto: H.-J. Etter. . . . .	34
5.3	Ermittlung der Intensitätsparameter aus den Modellberechnungen. . . . .	35
5.4	Schadenempfindlichkeit vs. Prozessintensität, Fallbeispiel Davos . . . . .	36
5.5	Übersicht der zwei Lawinenniedergänge in Malbun auf Grundlage eines Fotos vor 1999. Die Gebäude sind nach Bachofner (1999) eingefärbt und stehen entsprechend der Beschädigung heute teilweise nicht mehr. Rot bedeutet zerstört, gelb teilweise beschädigt und grün leicht beschädigt. Foto: Archiv SLF. . . . .	37
5.6	In den Karten sind die kartierten Lawinenumrisse sowie die entsprechenden Schadenobjekte mit Gebäudenummer eingetragen. Zusätzlich ist die Lage der Längs- und Querprofile ersichtlich, für welche die Intensitätswerte aus der Simulation abgeschätzt wurden. . . . .	38
5.7	Quer- und Längsprofile aus der 2D-Simulation der maximalen Fließgeschwindigkeit für die Lawine aus dem Stein- respektive Bergtäli. Die Querprofilnamen entstehen aus der Distanz zum Lawinenende, z.B. $d040=40$ m, $d080=80$ m, etc. Die Positionen der Querprofile sind auch bei den Längsprofilen (a), (b) angegeben. . . . .	39
5.8	Schadenempfindlichkeit vs. Prozessintensität, Fallbeispiel Malbun . . . . .	41
5.9	Zerstörte Cristallinahütte . . . . .	42
5.10	(a) Intakte Anenhütte 2004. Foto: A. Henzen (b) Zerstörte Anenhütte nach dem Lawinenereignis vom März 2007. Foto: A. Burkard. . . . .	43
5.11	Schadenbild im Erdgeschoss der Anenhütte. Es sind grosse Verschiebungen und Risse und relativ wenig eingedrungener Lawinenschnee sichtbar. . . . .	44
5.12	Anrissgebiet der Gratlawine, Naters, Wallis . . . . .	45

5.13	Klosters am 23. August 2005. Am rechten Bildrand sind die grossen Mengen an Schwemmholz zu sehen, welche die Landquart stauten und das Wasser aus dem Gerinne leitete. Foto: ©Bauamt Klosters. . . . .	46
5.14	Schadenobjekte und Prozessraum in Klosters. . . . .	47
5.15	Auswertung der Schadenobjekte Klosters. Die Einschnürung in den Balken deutet auf den Median. Wenn sich die Einschnürungen von zwei Boxen nicht überlappen, dann deutet dies darauf hin, dass sich die Mediane signifikant voneinander unterscheiden. . . . .	48
5.16	Intensitäten und Schadenobjekte beim Fallbeispiel Susch, Graubünden. Die beschädigten Gebäude liegen vor allem im Bereich schwacher und mittlerer Intensität. . . . .	49
5.17	Gebäude in Susch, die durch ebenerdige Gebäudeöffnungen und Kellereingänge auf der Strassenseite charakterisiert sind. . . . .	50
5.18	Auswertung Schadenobjekte Susch. Die Histogramme zeigen, dass in der schwachen und mittleren Intensitätszone viele kleinere Schäden entstanden sind. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde bei der Histogrammdarstellung nur die Fälle bis zu einem relativen Schaden von 0.5 dargestellt. In der mittleren Intensität wurden auch einige stärkere Schäden beobachtet, was im Boxplot anhand der Ausreisser ersichtlich ist. . . . .	51
5.19	Schadenobjekte und Intensitätsflächen in der Stadt Bern. Die Abbildung zeigt, dass die meisten Objekte, die einen Schaden zu verzeichnen hatten, in der schwachen und mittleren Intensitätszone liegen. . . . .	53
5.20	Boxplots und Histogramme der berücksichtigten Schadenobjekte im Fallbeispiel Bern. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde bei der Histogrammdarstellung nur die Fälle bis zu einem relativen Schaden von 0.5 dargestellt. Im Bereich der schwachen Intensität wurden auch einige stärkere Schäden beobachtet, was im Boxplot anhand der Ausreisser ersichtlich ist. Die Histogramme für die schwache und mittlere Intensität zeigen, die viele Gebäude einen kleinen relativen Schaden aufwiesen. . . . .	54
5.21	Schadenobjekte im Prozessraum statisches Hochwasser in der Stadt Thun. Die Karte zeigt, dass der grösste Teil der Gebäude im Bereich der schwachen Intensität lagen. Die Intensitätskarten wurden durch den Verschnitt eines hochaufgelösten Geländemodells mit dem maximalen Pegelstand erzeugt. . . . .	55
5.22	Boxplots und Histogramme der Schadenobjekte im Fallbeispiel Thun für die schwache und mittlere Intensität. Der Boxplot zeigt, dass bei schwacher und mittlerer Intensität sehr viele Ausreisser zu verzeichnen waren. Da sich die Einschnürungen in beiden Boxen nicht überlagern, ist davon auszugehen, dass sich die Mediane signifikant unterscheiden. Vor allem das Histogramm für die schwache Intensität zeigt, dass sehr kleinere Schäden aufgetreten sind. . . . .	57
5.23	Übersicht des Schadengebietes am Glyssibach in Brienz. . . . .	59
5.24	Schadenobjekte am Glyssibach in Brienz in den einzelnen Intensitätsklassen sowie der relative Schaden der Gebäude. . . . .	61



5.25	Auswertung Brienz . . . . .	61
5.26	Murgangereignis im Sertig, Davos vom 28.7.2006. Abb. (a) zeigt eine Übersicht der Siedlung Grossalp. Abb. (b) zeigt die betroffenen Gebäude, die je nach Intensität des Murgangs eingefärbt sind. Rot bedeutet starke, blau mittlere Intensität. Die Zahlen stellen den relativen Schaden am Gebäude dar. . . . .	62
5.27	Schadenobjekte in Oey. . . . .	64
5.28	Auswertung Oey . . . . .	66
5.29	Auswertung Sturzereignisse Graubünden 1990 bis 2008. Anzahl Schadenobjekte N=150. . . . .	68
5.30	Der 6 Tonnen schwere Block der ins Hallenbad von Göschenen einschlug. Foto: U. Thali . . . . .	68
5.31	Sturzereignis auf Rigi Kaltbad in Weggis (LU). Fotos: K. Louis. . . . .	69
5.32	Frontalansicht des beschädigten Hauses auf Rigi-Kaltbad. Der gesamte Dachstock wurde stark beschädigt. Im Hintergrund gut zu sehen der wenig oberhalb liegende Ausbruch im Molassegestein. Foto: K. Louis. . . . .	70
5.33	Schäden durch das Sturzereignis in Silvaplana. . . . .	70
6.1	Vergleich (1/2) der Resultate mit den Schadenempfindlichkeitsfunktionen (grün) von Borter und Bart (1999) . . . . .	74
6.2	Vergleich (2/2) der Resultate mit den Schadenempfindlichkeitsfunktionen (grün, blau) von Borter und Bart (1999). . . . .	75
6.3	Vergleich der 4 Fallbeispiele für den Prozess Hochwasser anhand der Anzahl betroffener Objekte vs. der kumulativen Schadensumme. . . . .	77
6.4	Vergleich des relativen Schadens bei den Fallbeispielen für Überflutung anhand der Intensität. Zusätzlich als Vergleichswerte aufgetragen sind die Schadenempfindlichkeiten aus Borter und Bart (1999)(rot), Rheinatlas, IKSR (grün, grün gestrichelt für Überschwemmungshöhen grösser 4 m) und wo von den „Borterwerten“ abweichend jene aus EconoMe (gelb). Bei der starken Intensität entspricht der untere rote Strich dem Wert für Mehrfamilienhäuser aus EconoMe, der obere Wert derjenige für Einfamilienhäuser. . . . .	78
6.5	Darstellung des Zusammenhangs von relativem Schaden mit der Schadensumme. Der Zusammenhang ist eher gering und wird von Ausreissern beeinflusst. . . . .	79
6.6	Darstellung des Zusammenhangs von relativem Schaden mit dem Versicherungswert. Der Zusammenhang ist eher gering und wird von Ausreissern beeinflusst. . . . .	79
6.7	Vergleich der Fallbeispiele Wildbach/Murgang mit Literaturwerten. Die Querbalken in den Boxplots stellen den Median dar, Mittelwerte und andere statistische Grössen sind in Tabelle 6.2 ersichtlich. . . . .	80



# Tabellenverzeichnis

2.1	Gebäudekategorien . . . . .	12
2.2	Schadenklassen und entsprechender Schutz für Personen in Gebäuden . .	13
2.3	Schadenklassierung nach Barbolini et al. (2004) . . . . .	14
2.4	Schadenempfindlichkeiten nach Bell und Glade (2004) . . . . .	16
3.1	Eckdaten aktueller Forschungsprojekte. . . . .	27
4.1	Lawinenopfer in der Schweiz von 1946/47 bis 2006/07. . . . .	29
5.1	Auswertung, Fallbeispiel Davos . . . . .	36
5.2	Auswertung, Fallbeispiel Malbun . . . . .	40
5.3	Übersicht zu statistischen Parametern zu den Fallbeispielen beim Prozess Hochwasser. . . . .	58
6.1	Statistische Werte für den relativen Schaden bei den Fallbeispielen Hoch- wasser. . . . .	77
6.2	Statistische Werte für den relativen Schaden bei den Fallbeispielen Wild- bach/Murgang aufgeteilt nach schwacher, mittlerer und starker Intensität.	81



# Literaturverzeichnis

- [AGS 2007] AGS, Landslide T.: Practice Note Guidelines for Landslide Risk Management 2007. In: *Australian Geomechanics* 42 (2007), 3, Nr. 1, S. 63–114
- [Aller und Petrascheck 2008] ALLER, D. ; PETRASCHECK, A.: Schadenentwicklung im Kanton Aargau. In: BEZZOLA, G.R. (Ed.) ; HEGG, Ch. (Ed.): *Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen*. Bern : Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2008, Kapitel 2.6, S. 82–92
- [Apel et al. 2007] APEL, H. ; THIEKEN, A. ; ARONICA, G. ; KREIBICH, H.: Flood Risk Assessments - How Detailed Do We Need To Be? In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 228–229
- [Arge EconoMe 2008] ARGE ECONOME: *EconoMe 1.0. Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren*, [www.econome.admin.ch](http://www.econome.admin.ch). 2008
- [Arn 1999] ARN, T.: 2006 / Ingenieurbüro Arn. Lugano, 3 1999. – Rapporto preliminare
- [Bachofner 1999] BACHOFNER, R.: Schadenaufnahmen in Malbun / Conzett, Bronzini, Gartmann AG dipl. Ingenieure ETH/HTL. Chur, 6 1999. – Gutachten
- [Baker et al. 2008] BAKER, Jack W. ; SCHUBERT, Matthias ; FABER, Michael H.: On the assessment of robustness. In: *Structural Safety* 30 (2008), Mai, Nr. 3, 253–267. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V54-4MV71BF-3/1/8c910d0294a9604fdf4ac8b5aa571db8>
- [Barbolini et al. 2004] BARBOLINI ; M. ; F., Cappabianca ; SAVI, F.: "Risk assessment in avalanche-prone areas". In: *Annals of Glaciology* 38 (2004), S. 115–122
- [Barbolini et al. 2006] BARBOLINI, M. ; CAPPABIANCA, F. ; FRIGO, B. ; SAILER, R.: The vulnerability of buildings affected by powder avalanches. In: W. J. AMMANN, L. V. S. Dannenmann D. S. Dannenmann (Ed.) ; CENAT (Veranst.): *RISK21 - Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21<sup>st</sup> Century*. Leiden : Taylor & Francis / Balkema, 12 2006, S. 227–235
- [Barroca et al. 2006] BARROCA, B. ; BERNARDARA, P. ; MOUCHEL, J.M. ; G.HUBERT: Indicators for identification of urban flooding vulnerability. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6 (2006), S. 553–561

- [Bell und Glade 2004] BELL, R. ; GLADE, T.: Quantitative risk analysis for landslides - Examples from BÍLDUDALUR, NW-Iceland. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4 (2004), 3, Nr. 1, S. 117–131
- [Bertrand und Naaim 2008] BERTRAND, D. ; NAAIM, M.: Physical vulnerability of concrete buildings exposed to snow avalanches. In: *Journal of Glaciology* submitted (2008), S. –
- [Bezzola und Hegg, C. (Ed) 2008] BEZZOLA, G.R. ; HEGG, C. (ED): Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen / Bundesamt für Umwelt BAFU; Eidg. Forschungsanstalt WSL. Bern, 2008. – Forschungsbericht
- [Bonnievie et al. 2003] BONNEVIE, C. ; BERTHET-RAMBAUD, P. ; NICOT, F.: Évaluation de la vulnérabilité associée aux bâtiments en maçonnerie soumis à l'action d'une avalanche. In: *Ingénieries eau agriculture territoires* 9 (2003), 10, Nr. spécial, S. 137–150
- [Borter 1999] BORTER, P.: Risikoanalysen bei gravitativen Naturgefahren - Methode / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. BUWAL, Bern, 6 1999 (107/I). – Umwelt-Materialien
- [Borter und Bart 1999] BORTER, P. ; BART, R.: Risikoanalysen bei gravitativen Naturgefahren - Fallbeispiele und Daten / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. BUWAL, Bern, 6 1999 (107/II). – Umwelt-Materialien
- [Bründl 2008] BRÜNDL, M. (Ed.): *Risikokonzzept für Naturgefahren. Einzelprojekt A1.1: Leitfaden.* Bern : Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT and WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2008
- [Budetta 2004] BUDETTA, P.: Assessment of rockfall risk along roads. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4 (2004), 3, Nr. 1, S. 71–81
- [Burkard und Rieder 2007] BURKARD, A. ; RIEDER, U.: Anenhütte im Lötschental - Beurteilung der Lawinengefährdung / Ingenieurbüro, wasser/schnee/lawinen. Brig, 4 2007. – Bericht
- [Calvo et al. 2006] CALVO, B. ; NAPOLETANO, F. ; SAVI, F.: Debris Flow risk assessment: a case study. In: *Geophysical Research Abstracts* 8 (2006), S. –
- [Catani et al. 2005] CATANI, F. ; CASAGLI, N. ; L.ERMINI ; G.RIGHINI ; MENDUNI, G.: Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. In: *Landslides* 2 (2005), 11, S. 329–342
- [Cemagref 2006] CEMAGREF: *Ouvrage de protection et bâtiments Pavillonnaires soumis à l'Action des avaLanchEs (OPALE).* Internet, 2006. – Letzer Zugriff: 5. 7. 2007
- [Dai et al. 2002] DAI, F.C. ; LEE, C.F. ; NGAI, Y.Y.: Landslide risk assessment and management: an overview. In: *Engineering Geology* 64 (2002), 4, Nr. 1, S. 65–87

- [d'Albe 1988] D'ALBE, E.M. F.: The assessment of seismic risk. In: KORIDZE, A. (Ed.): *Seismic risk assessment and design of building structures*. Oxford : Omega Scientific, 1988, S. 31–46
- [Deilmann 2007] DEILMANN, C.: High-Resolution damage simulation flood damage to residential properties. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 90–96
- [Delmonaco et al. 2007] DELMONACO, G. ; FALCONI, L. ; MARGOTTINI, C. ; SPIZZICHINO, D.: A Novel procedure for exposure and vulnerability of Cultural Heritage at landslide risk. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2007)
- [Donzé 2004] DONZÉ, H.: Die Schadenempfindlichkeit, ein Teilaspekt bei der Abschätzung des Schadenpotentials von Überschwemmungen. In: PETRASCHKEK, A. (Ed.) ; LOAT, R. (Ed.): *Hochwasservorsorge - Erkenntnisse aus vier Fallbeispielen*. Biel : Bundesamt für Wasser und Geologie, 5 2004, Kapitel Teilprojekt Schadenbilder
- [Dorner et al. 2007] DORNER, W. ; SPACHINGER, K. ; METZKA, R.: Vulnerability Analysis on a Catchment Scale - Statistical and GIS Approach to Derive a Vulnerability Index. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 206–207
- [Douglas 2007] DOUGLAS, J.: Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7 (2007), 4, Nr. 2, S. 283–288
- [Düzgün und Lacasse 2005] DÜZGÜN, H. S. B. ; LACASSE, S.: Vulnerability and acceptable risk in integrated risk assessment framework. In: HUNGR, O. (Ed.) ; FELL, R. (Ed.) ; COUTURE, R. (Ed.) ; EBERHARDT, E. (Ed.): *Landslide Risk Management*. London : A. A. Balkema Publishers, 6 2005, S. 505–515
- [Etter 1985] ETTER, H.-J.: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen 1983/84, Teil D / Eidg. Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF. Davos, 1985 (48). – Winterbericht
- [Fell und Hartford 1997] FELL, R. ; HARTFORD, D.: Landslide Risk Management. In: CRUDEN, D. (Ed.) ; FELL, R. (Ed.): *Landslide Risk Assessment. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment - Honolulu, Hawaii, USA, 19-21 February 1997*. Rotterdam : Balkema, 1997, S. 51–109
- [FEMA 2006] FEMA: *HAZUS-MH; FEMA's Software Program for Estimating Potential Losses from Disasters*. 1.2. Washington DC: U.S. Department of Homeland Security, 5 2006
- [Feuerstein 2007] FEUERSTEIN, G.C.: Steinschlagschutz Silvaplana - Vorprojekt / Amt für Wald Graubünden - Region Südbünden. Zuoz, 3 2007. – Technischer Bericht

- [Fuchs et al. 2007a] FUCHS, S. ; HEISS, K. ; HÜBL, J.: Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7 (2007), 8, Nr. 5, S. 495 – 506
- [Fuchs et al. 2007b] FUCHS, S. ; OBERNDORFER, S. ; HEISS, K.: Application of the vulnerability concept to torrent events in Austria. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2007)
- [Glade 2003] GLADE, T.: Vulnerability Assessment in Landslide Risk Analysis. In: *DIE ERDE* 2 (2003), S. 123–146
- [Grêt-Regamey und Straub 2006] GRÊT-REGAMEY, A. ; STRAUB, D.: Spatially explicit avalanche risk assessment linking Bayesian networks to a GIS. In: *Natural Hazards and Earth System Science* 6 (2006), Nr. 6, 911–926. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/911/2006/>. – ISSN 1561–8633
- [Hollenstein 2005] HOLLENSTEIN, K.: Reconsidering the risk assessment concept: Standardizing the impact description as a building block for vulnerability assessment. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5 (2005), S. 301–307
- [Hollenstein et al. 2002] HOLLENSTEIN, K. ; BIERI, O. ; STÜCKELBERGER, J.: Modellierung der Vulnerability von Schadenobjekten gegenüber Naturgefahrenprozessen / ETHZ, Forstliches Ingenieurwesen. Zürich, 2002. – Elektronische Daten
- [Jonkman und Vrijling 2007] JONKMAN, S. N. ; VRIJLING, J. K.: Loss of Life Caused by Floods. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 83–89
- [Jonkman 2007] JONKMAN, S.N.: *Loss of life estimation in flood risk assessment – Theory and applications*. Delft, Netherland, Technische Universität Delft, Diss., 4 2007
- [Joyce und Scott 2005] JOYCE, J.M. ; SCOTT, M.S.: An Assessment of Maryland's Flood Vulnerability to Flood Damage / Maryland Department of the Environment. <http://www.esrgc.org/hazus.htm> access: 15.11.2007, 8 2005. – Forschungsbericht
- [Keiler et al. 2006] KEILER, M. ; SAILER, R. ; JÖRG, P. ; WEBER, C. ; FUCHS, S. ; ZISCHG, A. ; SAUERMOSER, S.: Avalanche risk assessment - a multi temporal approach, results from Galtür, Austria. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6 (2006), Nr. 4, S. 637–651
- [Keylock und Barbolini 2001] KEYLOCK, Ch. J. ; BARBOLINI, M.: Snow avalanche impact pressure - vulnerability relations for use in risk assessment. In: *Canadian Geotechnical Journal* 38 (2001), 4, Nr. 2, S. 227–238
- [Keylock et al. 1999] KEYLOCK, C.J. ; MCCLUNG, D.M. ; MAGNÚSSON, M.M.: Avalanche risk mapping by simulation. In: *Journal of Glaciology* 45 (1999), Nr. 150, S. 303 – 314
- [Kimmerle 2002] KIMMERLE, R.: *Schadenempfindlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachgefahren*, Geografisches Institut Universität Bern, Diplomarbeit, 2002



- [Kraus et al. 2006] KRAUS, D. ; HÜBL, J. ; RICKENMANN, D.: Building vulnerability related to floods and debris flows - Case studies. In: W. J. AMMANN, L. V. S. Dannenmann D. S. Dannenmann (Ed.) ; CENAT (Veranst.): *RISK21 - Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21<sup>st</sup> Century*. Leiden : Taylor & Francis / Balkema, 12 2006, S. 181–190
- [Kreibich et al. 2007] KREIBICH, H. ; THIEKEN, A. ; MÜLLER, M. ; SEIFERT, I. ; MERZ, B.: Improved Models for the Estimation of Flood Losses in Households and Companies. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 208–209
- [Lee und Jones 2004] LEE, M. ; JONES, D.: *Landslide risk assessment*. 1. London : Thomas Telford Publishing, 2004
- [Liu und Lei 2003] LIU, X. ; LEI, J.: A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China). In: *Geomorphology* 52 (2003), 6, Nr. 3-4, S. 181–191. – <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-46WPKPP-1/2/e0f1c0d9e7160f5a8acf12d620bb937c>
- [Malet et al. 2007] MALET, J.-P. ; MAQUAIRE, O. ; ASCH, Th.W.J. van ; GIACOMELLI, P. ; S.STERLACCHINI ; COROMINAS, J. ; GLADE, T. ; GREIVING, S. ; IBSEN, M.-L.: The "Mountain Risks" research project: challenges in risk prediction, management and governance. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2007)
- [Mavrouli und Corominas 2008] MAVROULI, O. ; COROMINAS, J.: Structural response and vulnerability assessment of buildings in front of the rockfall impact. In: *Geophysical Research Abstracts* 10 (2008), S. EGU2008–A–07035
- [Messner 2007] MESSNER, F.: Evaluating Flood Vulnerability - Scope of Approaches and Challenges to Research. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Division of Social Sciences, Department Economics, Working Group River Basin Management, Leipzig, Germany (frank.messner@ufz.de) : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), Dresden, Germany, 2 2007, S. 75–82
- [Messner und Meyer 2006] MESSNER, F. ; MEYER, V.: Flood Damage, Vulnerability and Risk Perception - Challenges for Flood Damage Research. In: JOCHEN SCHANZE, Jiri M. Evzen Zeman Z. Evzen Zeman (Ed.) ; NATO Science Series (Veranst.): *Flood Risk Management - Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. UFZ - Centre for Environmental Research Leipzig-Halle, Dresden, Germany : Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 10 2006, S. 149–167
- [Meyer und Messner 2005] MEYER, V. ; MESSNER, F.: National Flood Damage Evaluation Methods - A Review of Applied Methods in England, the Netherlands / Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ. Leipzig, NOV 2005 (21). – UFZ - Discussion Papers

- [Miniciardi et al. 2006] MINICIARDI, R. ; SACILE, R. ; TARAMASSO, A.C. ; TRASFORINI, E. ; TRAVERSO, S.: Modeling the vulnerability of complex territorial systems: An application to hydrological risk. In: *Environmental Modelling and Software* 21 (2006), 7, Nr. 7, S. 949–960
- [Naturgefahrenkommission et al. 2006] NATURGEFAHRENKOMMISSION ; BART, R. ; EGLI, Th. ; GÄCHTER, M. ; ROTH, Ch.: *Wegleitung Naturgefahrenanalyse im Kanton St. Gallen*. <http://www.sg.ch/> → Bauen, Raum und Umwelt → Kantonaler Tiefbau → Download/Links → Naturgefahren → Leitfaden und Wegleitungen; Letzter Zugriff: 12.Sept.2007, 2006
- [Oberndorfer et al. 2006] OBERNDORFER, S. ; RICKENMANN, D. ; DAVIES, T.: Damage monetization of gravity-driven torrent events in Austria. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2006)
- [OcCC und ProClim 2007] OCC AND PROCLIM ; OCC AND PROCLIM (Ed.): *Klimaänderung und die Schweiz 2050–Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. OcCC / ProClim, 2007
- [Papathoma-Koehle et al. 2007] PAPATHOMA-KOEHLE, M. ; NEUHAUSER, B. ; RATZINGER, K. ; WENZEL, H.: A Methodology for Vulnerability Assessment of Communities prone to Landslide related Disasters. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2007)
- [Pascale et al. 2007] PASCALE, S. ; SDAO, F. ; SOLE, A.: Assessment of systemic vulnerability in landslide prone areas: a proposed model. In: *Geophysical Research Abstracts* 9 (2007)
- [Penning-Rowse et al. 2006a] PENNING-ROUSELL, E. ; JOHNSON, C. ; TUNSTALL, S. ; TAPSELL, S. ; MORRIS, J. ; CHATTERTON, J. ; GREEN, C.: *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques*. London : Middlesex University Press, 2006
- [Penning-Rowse et al. 2006b] PENNING-ROUSELL, E. ; JOHNSON, C. ; TUNSTALL, S. ; TAPSELL, S. ; MORRIS, J. ; CHATTERTON, J. ; GREEN, C.: *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Manual of Assessment Techniques*. London : Middlesex University Press, 2006
- [Remondo et al. 2005] REMONDO, J. ; BONACHEA, J. ; CENDRERO, A.: A statistical approach to landslide risk modelling at basin scale: from landslide susceptibility to quantitative risk assessment. In: *Landslides* 2 (2005), 12, Nr. 4, S. 321–328
- [Romang 2004] ROMANG, Hans: *Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen*. Bd. G 73. Bern : Geographica Bernensia, 2004
- [Roos und Jonkman 2006] ROOS, A. ; JONKMAN, B.: Flood risk assessment in the Netherlands with focus on the expected damages and loss of life. In: JOCHEN SCHANZE, Jiri M. Evzen Zeman Z. Evzen Zeman (Ed.) ; NATO Science Series (Veranst.): *Flood Risk Management - Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. Ministry of Trans-

- port, Public works and Water Management, The Netherlands : Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 10 2006, S. 169–183
- [Schwarz et al. 2007] SCHWARZ, J. ; H.MAIWALD ; GERSTBERGER, A.: Flood Damage Prognosis Considering the Vulnerability of Building Types. In: SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.): *Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement*. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), 2 2007, S. 211
- [Straub und Schubert 2008] STRAUB, Daniel ; SCHUBERT, Matthias: Modeling and managing uncertainties in rock-fall hazards. In: *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards* 2 (2008), Nr. 1, 1–15. <http://www.informaworld.com/10.1080/17499510701835696>. – ISSN 1749–9518
- [Thieken et al. 2006] THIEKEN, A.H. ; MÜLLER, M. ; KLEIST, L. ; SEIFERT, I. ; BORST, D. ; WERNER, U.: Regionalisation of asset values for risk analyses. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6 (2006), S. 167–178
- [Thywissen 2006] THYWISSEN, K.: Core terminology of disaster reduction: A comparative glossary. In: BIRKMANN, J. (Ed.): *Measuring Vulnerability to Natural Hazards*, United Nations University Press, 2006, S. 448–496
- [Utelli et al. 2008] UTELLI, H.H. ; ROTH, U. ; RICKLI, R.: Umsetzung PLANAT Aktionsplan 2006–2008. Einzelprojekt A2: Praxisbeispiele zum Risikomanagement von Naturgefahren. Schlussbericht / Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. 2008. – Forschungsbericht
- [Uzielli et al. 2008] UZIELLI, M. ; FARROKH, N. ; LACASSE, S. ; KAYNIA, A.M.: A Conceptual Framework for Quantitative Estimation of Physical Vulnerability to Landslides. In: *Journal of Engineering Geology* inpress (2008), S. –
- [Wilhelm 1997] WILHELM, C.: Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz : Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung / Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Davos, 1997 (54). – Mitteilungen