



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Globaler Wandel und
raum-zeitliche Veränderungen in Hochgebirgen
– GIS-gestützte Vulnerabilitätsanalyse eines
Murereignisses im Martelltal
(Südtirol/Italien)“

Verfasserin

Barbara Schwendtner

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat)

Wien, November 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Theoretische und Angewandte Geographie

Betreuer:

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

Erklärung

Ich versichere,

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, November 2011

Barbara Schwendtner

Danksagung

Viele Personen haben mir im mehrmonatigen Prozess bei der Erstellung meiner Diplomarbeit geholfen und mich in diversen Belangen unterstützt.

Allen voran möchte ich mich bei Prof. Dr. Thomas Glade bedanken. Nach einem Gespräch über meine Ideen und Vorstellungen einer Diplomarbeit hat er mir dieses Thema vorgeschlagen, an dem ich im Laufe der Zeit immer mehr Gefallen gefunden und eine Passion entwickelt habe, die ich auf meinem weiteren Weg verfolgen möchte. Die Gespräche mit Ihnen waren immer sehr motivierend und haben mich in meinem Arbeitsprozess bestätigt. Danke sehr für Ihre Hilfe!

Dr. Maria Papathoma-Köhle möchte ich für die Einführung in die Thematik danken, den vielen Diskussionen, die wir geführt haben, für die Hilfe in jedem meiner Arbeitsschritte der Diplomarbeit. Deine Hilfe war unerlässlich für die Erstellung der Diplomarbeit.

Zum Entstehen dieser Diplomarbeit haben weiters die Gemeinde Martell beigetragen, wobei ich hier Herrn Ulrich Walder hervorheben möchte, der mir zur Situation in der Gemeinde sowohl die subjektive Perspektive eines Ortsansässigen als auch die objektive als Bauamtsleiter näher gebracht hat. Der Autonomen Provinz Bozen danke ich für die zur Verfügung gestellten Daten.

Danke an die vielen Personen, die mich immer wieder motiviert und Input geliefert haben:

- die Physiogeographische Arbeitsgruppe des Instituts
- Christine und Catrin, die mir bei unzähligen kleineren Problemen weitergeholfen haben
- den Diplomarbeitkollegen Bettina, Robert und Thomas für die abwechslungsreichen Gespräche
- die Diplomandinnengruppe der ÖH unter der Leitung von Heidi Niederkofler und Sabine Eybl und hier besonders unserer Peergroup mit Huem, Katharina, Lena, Nora, Ursula und Verena
- Lisi und Eki für das Beisein während meiner Feldtage
- Armin, Eki, Gerald, Kim, Stine und Verena für das partielle Korrekturlesen
- alle Studienkollegen, die das Studium noch schöner, aufregender und interessanter gestaltet haben
- EGEA Wien und das EGEA Wien Board 2010/2011 – Julian, Maria und Stefan – für ihr Verständnis in intensiven Phasen

Meinem Freund Gerald, für seine lieben Worte, Unterstützung in technischer aber besonders in emotionaler Hinsicht, möchte ich ganz herzlich danken. Danke für die oft dringend nötigen Auszeiten, in denen ich Energie schöpfen konnte. Meiner Schwester Katharina möchte ich für ihre interessierten Fragen und der ausführlichen Erklärung meines Forschungsgegenstandes an Externe danken – das hat mir oft großes Amüsement bereitet!

Mein größter Dank gilt meinen Eltern. Ohne eure Unterstützung wäre Vieles in meinem Leben nicht möglich gewesen: eure liebevolle Erziehung und eine Heimat, in der individuelles Denken großen Raum gelassen wurden, 17 Jahre Bildung und Finanzierung derselben, Reisen und Zurückkommen können, Loslassen und Rückhalt. Diese Arbeit möchte ich euch widmen, als bescheidener Dank für eure bedingungslose Liebe und grenzenlose Unterstützung.

„Wer will dass die Welt so bleibt wie sie ist, der will nicht dass sie bleibt.“

Erich Fried

Zusammenfassung

Hochgebirge, wie die Alpen, sind besonders sensitive Gebiete, die von den Folgen des Globalen Wandels in vielen Bereichen beeinflusst werden. Der anthropogene Eingriff ins Umweltsystem trägt in vielfältiger Weise zu einer Erhöhung des Gefährdungspotentials bei. Die Verdichtung und Erweiterung der Siedlungsstrukturen in Tälern, Bodenversiegelung oder Ausweitung der touristischen Infrastrukturen können unter Umständen die Frequenzen und die Magnitude von Naturgefahren verstärken, wodurch es zu einem größeren Schadensausmaß kommen kann. Ein adäquates Risikomanagement sowie Präventionsmaßnahmen sind wichtig, um die Verluste und die Vulnerabilität zu reduzieren.

Die Arbeit basiert auf einem Murereignis von 1987, das am 24. August 1987 im Martelltal (Südtirol/Italien) stattgefunden hat. Die Katastrophe kann nicht als vollständig natürlich angesehen werden, da ein plötzliches Entlassen des Wassers aus einem Stausee eine Flutwelle erzeugte, die sich durch das Mitreißen von Material zu einer Mure mit einer immensen Zerstörungskraft entwickelte. Da das Untersuchungsgebiet eine wichtige Rolle im Forschungsthema spielt, wird in der Arbeit explizit darauf eingegangen, wobei ein Schwerpunkt auf der Darstellung der sozio-ökonomischen Entwicklung im Untersuchungszeitraum liegt. Trotz einer Bevölkerungsabnahme kann die Entwicklung im Martelltal als positiv angesehen werden, die sich in einer Neuorientierung in der Landwirtschaft und im Tourismus und einer Ausdehnung des Siedlungsraumes ausdrückt.

Das primäre Ziel besteht in einer Aufnahme der raum-zeitlichen Veränderungen der Risikoelemente im Martelltal, wobei der Fokus auf die physische Vulnerabilität gelegt wurde. Das Datenmaterial besteht primär aus Orthofotos der Jahre 1954, 1985, 1992, 1999 und 2006, anhand derer eine GIS-gestützte Digitalisierung der Risikoelemente durchgeführt werden kann. Eine Intensitätskarte, die mittels Interpolation erstellt wurde, gibt Aufschluss über Bereiche mit höheren Ablagerungsintensitäten. Mit einer bereits existierenden Vulnerabilitätskurve, die das Schadensausmaß in Relation zur Ablagerungsintensität setzt, kann eine Schadensschätzung durchgeführt werden.

Die Ergebnisse zeigen seit dem Analysebeginn 1954 eine klare Vergrößerung der Siedlungsflächen sowie eine Verdichtung der Siedlungsstruktur. Eine Steigerung in den Gebäudewertigkeiten lässt auf eine Vergrößerung der Wohnflächen schließen. Daraus resultiert ein höheres potentiellles Schadensausmaß, da Risikoelemente in Zonen mit höherer Ablagerungsintensität lokalisiert sind. Das ermittelte Schadenspotential liegt zwischen 2,4 Millionen € im Jahr 1954 und 13,9 Mio. € zum Analyseendzeitpunkt im Jahr 2006. Eine Validierung mit dem Schaden von 1987 entspricht der zeitlichen Zunahme der Schadenspotentiale.

Eine Aufnahme der Schäden unmittelbar nach einem Ereignis ist für die weitere Forschung sehr wichtig. Des Weiteren leistet die Vulnerabilitätsforschung wichtige Beiträge für eine Verbesserung des Risikomanagements. Die Interaktion von Globalen Wandel und den darin inkludierten Klimaänderungen wird weitere Herausforderungen bringen, deren Intensitäten und Auswirkungen noch nicht abzuschätzen sind.

Abstract

Alpine regions are particularly sensitive areas. Densely settled valleys grew more and more vulnerable towards natural hazards over time. Sealing of the soil surface, settling in endangered areas and enhanced human intervention in the natural settings caused damage. Changes in the natural environment lead to unexpected consequences increasing the importance of the development of adaptation strategies.

This diploma thesis deals with a severe debris flow event, which took place in 1987 in the municipality of Martell in South Tyrol/Italy. The event cannot be regarded as being entirely naturally released, since the trigger was caused by technical defects and human misdeterminations. A high precipitation intensity filled the existing storage reservoir and the profit-orientated aim of the operating company did not expect the release of an amount of water many times the usual which caused serious damage among the properties of the inhabitants. A spatiotemporal approach should answer the question whether the event would have had more impact if it had happened on another date. The main research question focused on estimating the potential degree of loss for the debris flow event of 1987 setting them against the elements of risk in the study area for selected years of research (1954, 1985, 1992, 1999 and 2006). The emphasis was put on the physical vulnerability with respect to the build environment. For the account of the damage potential solely the residential buildings were used whereas the area calculation included all elements at risk. The intensities were determined and an intensity map was generated through interpolation. For good measure an existing vulnerability curve was used to estimate and ascertain the changes of the degree of loss. The digitalisation was done using ArcGis, with which the best visualisation results were achieved.

The results show a significant increase of the degree of loss over the years. More importantly, the results are in line with the amount of loss of 1987. The resulting values vary from more than 2,4 million € in 1954 to 13,9 million in 2006 implying a potential sixfold increase. Notwithstanding that population decreased during the period of time, the settlement development was indeed positive. The amount of elements at risk increased in conjunction with an increment of the living area and a decline in the size of households. The settlement structure has undergone a considerable change from being fairly compressed to a more structured arrangement of houses.

Concerning the state of research of vulnerability, more research is needed. In the last decade more study areas were investigated. Nevertheless, the comparability and further use of the results is not given. The contemporary topic of Global Change is of certain interest in mountainous regions such as the Alps. The alpine population developed functional adaptation and mitigation strategies to cope with frequently occurring natural hazards. New developments and impacts/effects on the alpine environments lead to new challenges.

Abkürzungsverzeichnis

Aut.Prov.BZ	Autonome Provinz Bozen-Südtirol
€	Euro
GIS	Geoinformationssystem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Mio.	Millionen
UIBK	Universität Innsbruck
WIFO	Wirtschaftsforschungsinstitut der Handelskammer Bozen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	3
1.2 Forschungsleitende Fragen und Hypothesen	4
1.3 Gliederung der Arbeit	5
2. Theoretische Konzeption.....	6
2.1 Globaler Wandel im Hochgebirge	6
2.2 Vulnerabilität.....	13
2.2.1 Definition.....	13
2.2.2 Vulnerabilitätsdimensionen	15
2.2.3 Interdisziplinarität und Problematiken in der Vulnerabilitätsforschung	18
2.2.4 Vulnerabilitätskurve	20
2.3 Mure - Terminologie und Prozesscharakteristik.....	21
2.3.1 Massenbewegungen.....	21
2.3.2 Begriffsbestimmung	23
2.3.3 Auslösemechanismen und Forschungsgegenstände.....	24
3. Methodische Konzeption und Datengrundlage.....	26
3.1 Datengrundlage.....	27
3.2 Intensitätskarte	29
3.3 Digitalisierung der Risikoelemente	32
3.4 Darstellung der Siedlungsveränderung	34
3.5 Schadenspotential.....	37
4. Untersuchungsgebiet.....	42
4.1 Geographische Lage.....	42
4.2 Klima	43
4.3 Geologie und Geomorphologie.....	45
4.4 Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung	47
4.5 Wirtschaftliche Wertschöpfung	48
4.6 Tourismus.....	49
4.7 Natürliche Gefährdung? Das Murereignis vom 24. August 1987	52

5. Ergebnisse	58
5.1 Ablagerungsintensitäten.....	58
5.2 Aufnahme der Bau- und Siedlungsstruktur und Veränderung der Risikoelemente	62
5.3 Ergebnisse der flächenhaften Analyse.....	76
5.4 Ergebnisse der Schadensanalyse	80
5.5 Zusammenfassung	88
6. Diskussion	89
6.1 Diskussion der Datengrundlage und Methoden	89
6.1.1 Bewertung der Orthofotos und der Digitalisierung	89
6.1.2 Intensität und Siedlungsveränderung.....	92
6.1.3 Vulnerabilitäts- und Schadensanalyse	92
6.2 Diskussion der Ergebnisse	94
6.2.1 Siedlungsveränderung	94
6.2.2 Flächenanalyse.....	95
6.2.3 Ermittlung des Schadenspotentials.....	95
6.3 Diskussion der Hypothesen.....	97
7. Perspektiven und Zusammenfassung.....	101
7.1 Perspektiven	101
7.2 Zusammenfassung	104
Bibliographie.....	108
Abbildungsverzeichnis.....	113
Tabellenverzeichnis	115
Anhang	116
Curriculum Vitae	135

1. Einleitung

Naturgefahren stehen in den letzten Jahren medial und in der Wissenschaft oft im Kontext des Globalen Wandels. Die Wahrnehmung derselben hat sich im Laufe der Zeit verstärkt und das Auftreten von Gefahren wird kritisch beurteilt und bewertet. Insbesondere Gebirgsregionen stellen sensitive und vulnerable Gebiete dar. Die alpinen Bewohner haben mit den latenten Gefahr zu leben gelernt, früh Anpassungsstrategien entwickelt und auch bauliche Maßnahmen erstellt (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a, WALDER, 2011).

Nicht nur regionale Tätigkeiten wirken sich auf die Umwelt aus, sondern auch jene Entwicklungen, die ebenso auf globaler Ebene ablaufen – Bevölkerungswachstum, wirtschaftlicher Fortschritt und soziale Veränderungen. Diese Form der Entwicklung lässt sich unter dem Überbegriff des Globalen Wandels zusammenfassen. Der Globale Wandel kann jedoch nicht nur auf den Klimawandel reduziert werden, sondern wird von vielen Einflussfaktoren und Teilaspekten determiniert. Die Veränderungen in der Umwelt sind vielfältig und reichen von der Erwärmung der Lufttemperatur in urbanen Agglomerationen über das Auftauen des Permafrosts bis hin zu global veränderter Landnutzung. Viele Auswirkungen können durch achtsamen Umgang mit den Ressourcen oder einem Umdenken in der Handlungsweise und Nutzung bestimmter Gebiete aufgehalten oder abgeschwächt werden.

Es wird angenommen, dass die beobachteten Vorgänge in unserer Umwelt schneller vor sich gehen als zuerst gedacht, weshalb ein rasches Handeln und Einschreiten in die Prozessabläufe wichtig ist. Ein weiteres Problem ist der höhere Bedarf an Ressourcen, was in einen höheren Verbrauch derselben resultiert. In dieser Hinsicht müssen Bemühungen und Aktionen gesetzt werden, um die anthropogenen Faktoren vom Globalen Wandel zu reduzieren und ein Umdenken der Menschen und politischen Entscheidungsträger zu erreichen. Eine weitere Herausforderung ist die Zunahme von Umweltrisiken, die zunehmend die menschlichen Lebensräume bedrohen, da sie sich besonders in urbanen Räumen risikoreich auswirken, wo eine große Anzahl an Menschen betroffen ist.

Die Hochgebirge sind hochsensitive Räume, die den Folgen des Globalen Wandels unmittelbar ausgesetzt sind. Schwankungen des Klimas wirken sich umgehend aus, der zunehmende Bevölkerungsdruck zeigt sich durch die intensivere Nutzung entlegener Gebiete und eine Modifikation der natürlichen Umwelt geht vonstatten. Langjährige Temperaturaufzeichnungen zeigen einen eindeutigen Trend zur Temperaturerhöhung nicht nur global sondern auch in den Hochgebirgen (IPCC, 2007). Insbesondere in den Alpen hat die Thematik der sich zurückziehenden Gletscher eine hohe Aktualität.

Durch das anhaltende Bevölkerungswachstum in den letzten Jahrzehnten kam es zu einer steten Erweiterung des Siedlungsraumes in den Alpen. Die positive wirtschaftliche und auch technische Entwicklung ermöglichten die intensivere Nutzung des Alpenraumes. Tourismusgebiete wurden erschlossen, groß dimensionierte Wasserkraftwerke gebaut und der Mensch drang immer weiter in das sensible alpine Ökosystem vor. Der verstärkte Schutz dieser Natur in Form von Nationalparks oder Schutzzonen steht der ökonomisch orientierten Nutzung gegenüber.

1. Einleitung

Naturgefahren in Gebirgsregionen – seit Jahrhunderten steht dieser Truismus für den Menschen in einem Zusammenhang. In der Vergangenheit waren alpine Siedlungen oft von Lawinen, Muren oder Steinschlägen betroffen, die zum Teil überraschend auftraten und die Bevölkerung unvorbereitet trafen. Diverse Alpenchroniken überliefern Aufzeichnungen über die Ereignisse, deren Frequenz und Intensität. Eine Analyse derselben zeigt, dass schon immer Naturgefahren den Menschen bedroht haben und dies nicht eine Erscheinung der neuzeitlichen Entwicklung ist. Mit der Gefahr leben zu lernen war eine der Devisen für die Bewohner. Das unregelmäßige Auftreten der Ereignisse und die unterschiedliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit führen dazu, dass die Vorfälle vergessen werden oder die darauffolgenden Generationen zu wenig dafür sensibilisiert wurden. Die (Wieder-)Besiedelung gefährdeter Gebiete ist eine negative Folge, worunter zum Beispiel das vermeintliche „sichere“ Ansiedeln in der Nähe eines Stausees zu sehen ist. Die Resilienz – die Fähigkeit, nach einem Ereignis den vorherigen Zustand schnellst möglich wiederherzustellen – ist einer Schwankung unterworfen und ist abhängig von der Bevölkerung und der Frequenz der Naturgefahren.

In Hinblick auf die persistente Gefährdung der alpinen Bewohner durch Naturereignisse wurde diese vorliegende Arbeit mit dem Fokus auf ein Murereignis im Jahre 1987 im Südtiroler Martelltal verfasst. Muren stellen seit jeher eine immer wiederkehrende Gefahr im Alpenraum dar, die oft verheerende Unglücke verursachten. Ebenso hat der Schutz vor diesen eine lange Tradition, wobei die Pont-alto-Sperre bei Triest aus dem 16. Jahrhundert zu nennen ist. (LUZIAN, 2002) Die Forschung in diesem Themenfeld ist bereits sehr weit fortgeschritten, sowohl im Sinne der Prozess- und Entstehungscharakteristik als auch bei Verbauungsmaßnahmen. Präventionsmaßnahmen wie Wiederaufforstungen, Sohlstabilisierungen oder Wildbachverbauungen werden seit Jahrzehnten durchgeführt, um die Magnituden und in weiterer Folge die Auswirkungen von Muren abzuschwächen. In den letzten Jahren wurden diese Maßnahmen immer weiter verbessert, Teststudien durchgeführt und ein Schwerpunkt auf die Modellierung von Murereignissen gelegt. Letzteres dient der Abschätzung des Gefährdungsraumes und der Gefährdungsabschätzung. Ebenso bedeutsam ist die Ausweisung von gefährdeten Gebieten, die von Bebauung freigehalten werden sollen.

Die Arbeit wurde unter dem Dach des MOVE Projektes, einem *Seventh Framework Program*, verfasst. MOVE steht für *Methods for the improvement of Vulnerability Assessment in Europe* und fokussiert sich auf sieben Untersuchungsgebiete. Das Ziel ist die Bildung von Indikatoren und Indizes zur Erhöhung der Resilienz und der Vulnerabilität gegenüber Naturgefahren in Europa. Verschiedene methodische Ansätze werden anhand von Fallstudien angewendet und unter Einbeziehung von Interessensgruppen die Verfügbarkeit und Qualität der Daten in Bezug auf gefährdete Strukturen überprüft. Die Arbeitsgruppe Geomorphologische Systeme und Risikoforschung des Instituts für Geographie und Regionalforschung fokussierte sich auf die Analyse von Murereignissen in Südtirol. Das Ziel besteht in der Durchsetzung von Methoden und Rahmenbedingungen für die Anwendung von Vulnerabilität für unterschiedliche Naturgefahren und geographischen Maßstäben. Ausgehend vom Konzept der sich verstärkenden Frequenzen und Magnituden von Naturgefahren wird deutlich, dass der Begriff der Vulnerabilität noch unterrepräsentiert ist (MOVE, 2011). Hierfür möchte auch diese Diplomarbeit einen Beitrag leisten.

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Ausgehend vom Murereignis 1987 und dessen Intensität soll ein zeitlicher Vergleich hinsichtlich der Vulnerabilität der Gebäude erstellt werden. Dabei soll ermittelt werden, ob es Veränderungen der Siedlungsstruktur in zwei Ortsteilen der Gemeinde gegeben hat. Zusätzlich wird der Frage nachgegangen, ob auf das Ereignis in Bezug der Verteilung der Gebäude reagiert wurde und neue Zonen mit Verbauungsverbot eingerichtet wurden.

Die vorliegende Arbeit vergleicht das Schadenspotential der Risikoelemente der letzten 60 Jahre in der Gemeinde Martell in Südtirol mit der Mure vom 24. August 1987 mit Hilfe einer multitemporalen Analyse. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Zeitraum eine verstärkte Bautätigkeit vonstatten ging, da die durchschnittliche Haushaltsgröße gesunken ist. Hinzu kommt die Veränderung der Siedlungsstruktur der Ortsteile durch das Murereignis selbst. Es sind einige Gebäude komplett zerstört worden, die mit aller Wahrscheinlichkeit an einer anderen Stelle wieder aufgebaut wurden.

Das Ziel ist eine Digitalisierung der baulichen Veränderung seit Mitte des 20. Jahrhunderts unter Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklung und des Murereignisses 1987. Die Darstellung des sich verändernde Schadenspotential der Gebäude in der Gemeinde soll gefährdete Gebiete aufzeigen, die bei einem Murereignis derselben Intensität wie 1987 besonders betroffen wären. Um die Fragestellung ausreichend beantworten zu können, wird eine GIS-basierte flächenhafte Analyse bezüglich der Intensität und der vulnerablen Gebäude erstellt. Daraus lässt sich das Schadensausmaß für die Gebäude der jeweiligen Jahre berechnen und anschließend vergleichen. Des Weiteren sollen besonders vulnerable Gebiete identifiziert und die Auswirkungen von Baumaßnahmen nach dem Ereignis miteinbezogen werden.

Die Analyse der oben beschriebenen Vorgehensweise ist deshalb von wissenschaftlicher Bedeutung, da dies im Zusammenhang mit Muraktivitäten in Gebirgsregionen noch nicht durchgeführt wurde. Vergleichbare Studien wurden bereits für andere Prozesscharakteristika erstellt (FUCHS et al., 2004). Mit dem Fokus auf den alpinen Lebensraum soll ein Ansatz geschaffen werden, dem viele weitere Forschungsarbeiten folgen können.

Die Identifizierung von vulnerablen Siedlungsgebieten und die räumliche Verteilung von Gebäuden im zeitlichen Verlauf kann einen Aufschluss über den Zusammenhang mit dem Globalen Wandel geben. Die Analysen und Diskussionen zu diesem Thema können die Wahrnehmung der Verantwortlichen und auch der Bevölkerung vor Ort schärfen und das bereits zwei Jahrzehnte zurückliegende Ereignis durch den raum-zeitlichen Vergleich in Erinnerung gerufen werden. Das Bewusstsein der Bevölkerung ist durch das persistente Auftreten von Naturgefahren als sehr hoch einzuschätzen, dennoch ist der Zusammenhang der möglichen vulnerablen Gebäudeinfrastruktur bei Gefahren aufzuzeigen. Diese Arbeit dient unter anderem auch den lokalen Endnutzern, wie der Wildbach- und Lawinenverbauung in Südtirol, eine zusätzliche Literatur für die Erstellung der zukünftigen Bebauungs-, Flächenwidmungs- und Gefahrenzonenplänen, etc. und letztendlich der Gemeinde Martell selbst. Des Weiteren ist sie ein neuer praktischer Beitrag zur Vulnerabilitätsforschung im Feld der fluvialen Geschiebetransporte. Die Aktualität der Fragestellung ist durch die Thematik des Globalen Wandels und der zunehmenden Vulnerabilität durch Naturgefahren gegeben.

1. Einleitung

1.2 Forschungsleitende Fragen und Hypothesen

Für das gewählte Thema kann eine umfassende Forschungsfrage formuliert werden:

Wie würde sich das Murereignis des Jahres 1987 im Martelltal ausgehend von demselben Ausmaß und Intensität auf die Risikoelemente und deren Verteilung seit 1954 bis 2006 mit Hinblick auf das Schadensausmaß auswirken?

Um die Diplomarbeit umfassend und zielgerichtet zu bearbeiten, wird dabei folgende Hypothese untersucht:

Ausgehend vom Murereignis 1987 im Südtiroler Martelltal ist eine räumliche und zeitliche Veränderung im Schadenspotential der Gebäude erkennbar.

Diese Hypothese impliziert einige weitere sekundäre Forschungsfragen, die im Zuge der Arbeit beantwortet werden sollen und im Schlusskapitel wieder aufgegriffen werden:

Sind signifikante Veränderungen hinsichtlich der Siedlungsstruktur seit der Mitte des 20. Jahrhunderts erkennbar?

Damit soll geklärt werden, ob es sichtbare Umsiedelungen bzw. Änderungen und Neuerungen im Flächenwidmungsplan gab. Inkludiert wird die Bevölkerungsentwicklung und die Verteilung dieser in der Gemeinde Martell. Die Fragestellung kann mit den Orthofotos und der Analyse derselben sowie unter Heranziehung statistischer Daten beantwortet werden.

Inwiefern sind Murereignisse als Konsequenz des Globalen Wandels zu sehen?

Bei der Beantwortung dieser Frage soll untersucht werden, ob es einen Zusammenhang mit dem Globalen Wandel und der Naturkatastrophe im Martelltal gegeben hat bzw. geben könnte. Des Weiteren ist generell eine intensive Auseinandersetzung mit dieser Thematik wichtig, da viele Faktoren beeinflussend wirken.

Inwiefern kann eine GIS-Analyse zur Beantwortung der Fragestellung helfen und inwieweit ist ihr Einsatz in diesem Zusammenhang sinnvoll?

Wie bei jeder gewählten Methodik sind Vor- und Nachteile vorhanden. Hierbei soll überprüft werden, ob die gewählte Methode sinnvoll ist oder ob es Alternativen gibt, die sich besser eignen würden.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit wurde in sieben Textkapitel untergliedert, die das Thema umfassend und detailliert beschreiben. Das erste Kapitel gab bereits eine Einführung in die Thematik mit Bezug zum Titel der Diplomarbeit. Hypothesen und Forschungsfragen konkretisieren die Fragestellung und bilden einen Leitfaden der Ziele, die erarbeitet werden sollen.

Das zweite Kapitel zeigt einen Überblick des aktuellen Forschungsstandes zu den Thematiken, die in der Arbeit behandelt werden. Der vielfach verwendete Begriff des Globalen Wandels wird im Gesamtkontext der Naturgefahren und der Vulnerabilität beschrieben. Der letztgenannte Fachbegriff wird nicht nur hinsichtlich seiner wissenschaftlichen Verwendung erläutert, sondern auch bezüglich der Anwendung von Vulnerabilitätskurven. Das Unterkapitel Muren geht neben der Terminologie auf die Prozesscharakteristik und auf die Abgrenzung zu anderen gravitativen Massenbewegungen ein.

Die verwendete Methodik wird ausreichend im dritten Kapitel beschrieben. Es wird näher auf die Datengrundlagen eingegangen, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Verwendung der Orthofotos gelegt wird. Des Weiteren wird die Vorgehensweise der GIS-gestützten Digitalisierung erklärt und der Analyseablauf dargelegt. Zum Schluss wird auf die Berechnung des Schadenspotentials eingegangen, das methodisch als weiterer Schwerpunkt der Arbeit gilt.

Um einen Überblick über das Untersuchungskapitel zu bekommen, werden im vierten Kapitel die Bereiche Geographische Lage, Klima, Geologie und Geomorphologie sowie die historische Entwicklung einschließlich der Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung beschrieben. Ein weiteres Unterkapitel stellt die Katastrophe vom Jahr 1987 dar, die mit weiteren Daten und Fakten zu den bedingenden Faktoren beschrieben wird.

Im fünften Kapitel werden die Ergebnisse der GIS-Analyse präsentiert. Dabei wird auf eine adäquate Darstellung in Form von Karten, Tabellen und Diagrammen Wert gelegt, die mit deskriptiven Beschreibungen abgerundet werden. Im darauffolgenden Kapitel 6 werden die Ergebnisse diskutiert sowie auf Plausibilität geprüft. Dabei wird besondere Rücksicht auf die Beantwortung der Forschungsfragen gelegt.

Das Kapitel Perspektive zeigt mögliche weiterführende Forschungsarbeiten auf. Daran anschließend folgt die Zusammenfassung, in der der Inhalt der Arbeit retrospektiv dargestellt und die zentralen Aussagen resümiert werden. Im Anhang finden sich unter anderem Karten für jedes Untersuchungsjahr, die aus Platzgründen nicht im Ergebniskapitel aufscheinen, Fotos vor und nach dem Ereignis und Tabellen zu der Schadensabschätzung.

2. Theoretische Konzeption

Das folgende Kapitel zeigt einen kurzen Abriss des aktuellen Forschungsstandes zu den für diese Arbeit nötigen Terminologien. Zudem werden aktuelle Aspekte in Bezug zum Thema erwähnt und dargestellt. Der Fokus liegt dabei zuerst beim Globalen Wandel, bei dem ob seiner breiten Begriffsbestimmung nur auf einige bestimmte Aspekte eingegangen werden kann. Das Hauptaugenmerk wird auf das Hochgebirge und dem menschlichen Einfluss auf die Umwelt gelegt. Die Vulnerabilität wird hinsichtlich der Entwicklung der Definition, ihrer Dimensionen und dem aktuellen Forschungsstand beleuchtet. Explizit eingegangen wird auf die Darstellungsmethode der Vulnerabilitätskurven, die für die Methodik eine bedeutende Rolle spielen. Zu guter Letzt steht der zentrale Prozess des Murganges, wobei zunächst eine Einteilung in die Prozessgruppe der Massenbewegungen erfolgt und danach näher auf die Charakteristika und Auslösemechanismen eingegangen wird. Gesamt gesehen mögen diese drei sehr umfassenden Themen nur wenig miteinander zu tun haben. Jedoch sind sie essentiell zur Erforschung und Analyse von Naturgefahren im Alpenraum.

2. 1 Globaler Wandel im Hochgebirge

Die Welt befindet sich in einem steten Wandel, der von diversen Forschungsdisziplinen erfasst und untersucht wird. Diese global vor sich gehenden Veränderungen werden meist nur auf das Klima reduziert, das einen Teil des Ganzen einnimmt (SLAYMAKER et al., 2009). Das Interesse am Globalen Wandel bzw. Klimawandel ist in der heutigen Zeit ungebrochen groß, weshalb die Thematik interdisziplinären Zugang gefunden ist. Dieser ist in der Wissenschaft von großer Relevanz, da die einzelnen Faktoren im Zusammenhang nur im Gesamten betrachtet werden können. Der Begriff des Globalen Wandels ist sehr umfassend, weswegen nur auf ausgewählte Themenbereiche in Bezug zum Thema der Arbeit näher eingegangen werden kann. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf den Auswirkungen auf die alpinen Gebiete und wird hauptsächlich in Hinblick auf die Naturgefahren dargestellt.

GOUDIE (1994) sieht den Begriff „global“ wie folgt:

„In der systemischen Bedeutung bezieht sich der Begriff ‚global‘ auf den räumlichen Handlungsmaßstab und umfaßt solche Problembereiche wie den durch Verschmutzung der Atmosphäre herbeigeführten globalen Klimawandel. (...) ein Wandel wird dann als ‚global‘ angesehen, wenn er in weltweitem Maßstab geschieht oder einen bedeutsamen Anteil des gesamten die Umwelt betreffenden Phänomens beziehungsweise der erdweiten Ressource ausmacht.“

GOUDIE (1994, 1997) spricht vom *environmental global change*, wobei der Autor diesen wiederum in den *systematic* und *cumulative global change* unterteilt, die untereinander verbunden sind. Ersterer Begriff meint direkte Einflüsse auf das globale System und inkludiert den durch Luftverschmutzung induzierten Klimawandel. Der kumulative Globale Wandel fasst die Effekte zusammen, die zuerst auf einem lokalen Level vor sich gehen, aber globale Auswirkungen mit sich bringen können (zum Beispiel Bodenerosion). Lokale und regionale Phänomene tragen nicht primär zum Globalen Wandel bei, sehr wohl aber bei einem kummulierten Auftreten.

Die Umwelt an sich besteht aus vielen miteinander verbundenen Systemen, die einander bedingen und beeinflussen. Die positiven Feedbackprozesse erreichen teilweise die sogenannten Kipppunkte (SLAYMAKER et al., 2009), bei denen das System Ungleichmäßigkeiten nicht mehr ausbalancieren kann. Sie sind des Weiteren einer Vielzahl von Stressfaktoren ausgeliefert, die entweder natürlichen oder menschlichen Ursprungs sein können. Ein Eingriff in ein System kann deswegen genauso Auswirkungen auf eines oder mehrere andere haben (GOUDIE et al., 1997).

Unsere Umwelt ist nicht statisch, sondern befindet sich seit jeher in einer kontinuierlichen Veränderung und Entwicklung. Dieses komplexe System wird von den menschlichen Eingriffen historisch weiter verändert und modifiziert. (MARSH, 1864) Der anthropogene Eingriff, auf dem im Folgenden genauer eingegangen wird, drückt sich auf vielfältige Weise aus, da der Mensch als Gestalter der Geomorphologie auftritt (GOUDIE, 1994). Laut NIR (1983) gibt es vier Faktoren, die die weltweite Entwicklung beeinflussen. Zum einen der demographische Faktor, mit dem sich positiv entwickelten Bevölkerungswachstum; zum zweiten der historische Faktor, der sich durch die sich stetig intensivierende landwirtschaftliche Nutzung ausdrückt. Der dritte ist der ökonomische Faktor, der durch Modernisierung neue Bewirtschaftungsformen ermöglicht hat. Der vierte Faktor drückt sich im Streben nach einem höheren Lebensstandard aus. Die Landoberflächen, Atmosphäre, Biodiversität, der Wasserkreislauf und biologische Kreisläufe sind davon betroffen (STEININGER et al., 2002).

Besiedelungen des Menschen haben für die Umwelt natürlich klare Auswirkungen. Das lokale geomorphologische System wird in gewisser Hinsicht verändert bzw. zerstört (NIR, 1983). Durch Bautätigkeit wird die natürliche Umwelt in versiegelte Flächen gewandelt, Baumaterial wird aus der näheren Umgebung entnommen und natürliche Ressourcen werden mittels Bergbau abgebaut. Das fluviale System wird vielfach verändert: Küstenverbauung sollen Siedlungen schützen, Flussregulierungen und Kanäle sollen Hochwasser mindern und eine konstante Wasserversorgung garantieren. Die Oberflächen werden seit Jahrhunderten durch Pflügen und Terrassieren für die landwirtschaftliche Produktivität geformt. Die Erosion und Sedimentation wird durch Intensivierung der Landwirtschaft und Entfernung der Vegetation ebenso beschleunigt. Durch Hanganschnitt, Durchfeuchtung, Bergbau oder Erschütterung werden instabile Hanglagen aktiviert. Auch die Freizeiteinrichtungen haben eine direkte Auswirkung auf die Umwelt, seien es Parks, Bäder oder Skiresorts.

Laut dem aktuellen IPCC Report von 2007 wird eine Veränderung der klimatischen Bedingungen einhergehend mit dem verstärkten Auftreten von Naturgefahren erwartet. Erst kürzlich aufgetretene Ereignisse wie das verheerende Erdbeben vor der Küste Japans im März 2011 oder Hurricane Katrina im Mississippi-Delta im August 2005 zeigen, dass hochentwickelte Industrieländer nicht vor den Auswirkungen von Naturereignissen gefeit sind. Bereits in den 1970er Jahren wurden Studien durchgeführt, die den menschlichen Eingriff als Ursache von Naturgefahren festlegen. (LUZIAN, 2002) Zum Großteil ist dies auf die Besiedelung von Gefahrenbereichen oder zu wenig Schutzbauten zurückzuführen. GOUDIE (1997) bestätigt, dass die Kombination von menschlichen und natürlichen Faktoren zur Erklärung von Vorgängen und dem Globalen Wandel noch weiterer Forschung bedarf. Insbesondere Ursachen- und Wirkungszusammenhänge sind in großen Teilen noch nicht geklärt.

2. Theoretische Konzeption

Naturgefahren stellen seit jeher eine große Bedrohung für die Bevölkerung dar. Sie haben Auswirkungen auf das wirtschaftliche und soziale Leben und insbesondere die unteren sozialen Schichten sind durch die Konsequenzen mehr betroffen. Naturgefahren sind mittlerweile von weltweitem Interesse, weshalb Bestrebungen von internationalen Organisationen zur Verbesserung der Risikominimierungsmaßnahmen getroffen werden. Die Auswirkungen eines Ereignisses haben nicht nur regionale Folgen, sondern können sich häufig auf viele weltweit agierende Wirtschaftssysteme auswirken. Global gesehen ist eine Erhöhung der Vulnerabilität bemerkbar, da in demographischen, sozio-ökonomischen und technischen Bereichen Veränderungen stattfinden. Des Weiteren ist die sich rasch vollziehende Urbanisierung und Verbauung von Risikobereichen ein zusätzlicher Gefahrenfaktor. Das Zusammenspiel von verschiedenen bedingenden Ursachen hat Auswirkungen auf die globale wirtschaftliche Situation und die nachhaltige Entwicklung von Regionen. (UNISDR, 2005)

Da der Fokus auf Hochgebirge gelegt wurde, soll speziell auf die Konsequenzen des Globalen Wandels auf die Alpen eingegangen werden. Das mitteleuropäische Hochgebirge wirkt wie ein „Frühwarnsystem“ in Bezug zu Klima- und weiteren Umweltveränderungen, wie VEIT (2002) bemerkt. Die Alpen sind als sensitive Zone speziell vom Klimawandel betroffen (IPCC, 2007). Dabei spielen globale Veränderung ebenso eine Rolle, wie lokale und regionale Probleme, die Ausprägungen im Verkehrswesen, Tourismus, Wirtschaft und der Siedlungsaktivität finden (SLAYMAKER et al., 2009). Die North Atlantic Oscillation und Strömungen aus dem Mittelmeerraum sowie der East European Oscillation (Ural) bestimmen das alpine Klima, das durch die verschiedenen Einflüsse großen Veränderungen unterlegen ist (AMMANN et al., 2002, KEILER et al., 2010). Laut IM (2010) ist mit einer ganzjährigen Temperaturerhöhung zu rechnen bzw. wurde sie bereits registriert. Es wird davon ausgegangen, dass eine Temperaturerhöhung und eine Änderung in der Niederschlagsverteilung weitreichende Folgen für die Umwelt hat. Die Gletscher verlieren an Masse bzw. kleinere verschwinden, die Permafrost- und Schneegrenzen sowie die Vegetationszonen verschieben sich in höhere Bereiche, wo sie andere Arten verdrängen. Durch die sich verändernde Zirkulation der Atmosphäre in Interaktion mit den Ozeanen ändert sich der Wasserdampfgehalt, was Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse und Wechselwirkungen im alpinen Bereich hat. Extremereignisse (Starkniederschlag, Hitzeperioden, Starkschneefälle, etc.) können auftreten, die zu Naturkatastrophen führen können. (BERZ, 2006)

Änderungen in der Niederschlagsintensität und -verteilung haben großen Einfluss auf den inneralpinen Wasserkreislauf (STEININGER et al., 2002). Auswertungen von Klimadaten zeigen, dass der Niederschlag im Sommer im alpinen Raum abnimmt, was auf die geringere Schneedecke und höherer Bodenfeuchte im Frühsommer zurückzuführen ist. Die stärkere Erwärmung der Hochgebirge ist auf einen positiven Rückkoppelungseffekt zurückzuführen. Dieser entsteht durch die Verminderung der Eismassen und der daraus resultierenden geringeren Albedo. (STEININGER et al., 2002) Die Durchschnittstemperatur hat sich im Alpenraum innerhalb von 90 Jahren (von 1895 bis 1985) um 1° C erhöht. In den darauffolgenden 15 Jahren verzeichneten die Messstationen einen neuerlichen Anstieg um 1° C. (PSENNER, 2002) Global gesehen war jedoch ein Anstieg von 0,7° C zu verzeichnen (VEIT, 2002). Basierend auf regionalen Klimamodellen konnte herausgefunden werden (IM et al., 2010), dass die Erwärmung etwas schneller im Winter vor sich geht. Des Weiteren ist der Grad der Erwärmung stark von der Topographie abhängig, da auch eine Zunahme mit der Höhe registriert werden konnte. Bei etwa 1700 m wird im Winter ein Maximum erreicht, im Frühling liegt es etwa bei 2000 m. Im Winter

drückt sich dies verstärkt in der Reduzierung der Schneedecke aus, was natürlich wiederum Folgen für den jährlichen Wasserhaushalt hat. Der Abfluss nimmt im Winter zu, im Sommer hingegen ab. Zudem verringert sich die Albedo, was zu einer Erwärmung der Oberfläche führt. Dieselben Ergebnisse bezogen auf das Klima und deren Auswirkungen auf die Abflussregimes, Bodenfeuchte etc. können für andere Hochgebirgsregionen (Apenninen, Balkan,...) ermittelt werden (IM et al., 2010).

Die Gründe für den Klimawandel sieht IPCC (2007) im Anstieg der Emissionen von langlebigen Treibhausgasen (CO_2 , N_2O , CH_4 ,...) und Änderungen der Konzentration der Gase in der Atmosphäre. Diese Gründe sind auf weltweite wirtschaftliche Intensivierungen und Erhöhung des Lebensstandards zurückzuführen. Das starke Bevölkerungswachstum im 20. Jahrhundert führte zu einer höheren Nahrungsmittelproduktion entgegen einer nachhaltigen Weide- und Ackerwirtschaft. Viele Länder vollzogen einen rasanten wirtschaftlichen Aufschwung, wobei global gesehen drastische Ungleichverteilungen vorhanden sind. Die Alpen wurden immer dichter besiedelt (HOLUB et al., 2008, SLAYMAKER et al., 2009) und intensiver genutzt. Durch die begrenzten Möglichkeiten zu wirtschaften und zu leben, kommt es zu Konflikten zwischen Mensch und Umwelt. In den Alpen sind häufig Inversionslagen möglich, weshalb mit einer erhöhten Konzentration von Treibstoffgasen zu rechnen ist. Insbesondere die Stickoxide gefährden die ökologischen Verhältnisse. Zum Großteil stammen sie vom Verkehr, was die immer wiederkehrende Problematik der alpenquerenden Verkehrsrouten (Brenner, Gotthard,...) aufzeigt. Durch die Topographie kommt es so zu einer Schadstoffanreicherung in den Tälern. (VEIT, 2002)

Die schneesicheren Winter ab den 1970er Jahren bewirkten einen großen Ausbau des Winterskitourismus. Die Folgen war eine intensive Landnutzungsveränderung, die sich vor allem durch Erosion, Vegetationsveränderung und Problemen im Wasserhaushalt durch die Produktion von Kunstschnee ausdrückt (SLAYMAKER et al., 2009). Durch die milderen Winter ist die Schneesicherheit nicht mehr gegeben, was in diesem Falle ökonomische Folgen hat. (KEILER et al., 2010, VEIT, 2002) Positiv können einige Wirtschaftszweige profitieren, wie der Sommertourismus oder die Landwirtschaft, die längere Anbau- und Ernteperioden erwarten können.

Durch den Globalen Wandel sind vielfältige Faktoren der Änderung des Ökosystems und auch der natürlichen Gegebenheiten bereits erkannt und erforscht worden (VEIT, 2002). Besonders sensibel reagieren die Vegetation und Gletscher – wenn auch zeitverzögert um etwa 30 Jahre – auf Veränderungen der Umwelt, zum Beispiel durch Temperaturanstieg, geänderte Landnutzung, etc. Die Pflanzen werden zu Wanderungsbewegungen gezwungen, die meist vertikal von staten geht. In höheren alpinen Stufen kann es zu Konkurrenzdruck kommen, der sich in der Verdrängung der dort vorherrschenden Arten ausdrücken kann, was wiederum in eine Verminderung der Biodiversität mündet. Die Massenbilanzen der Gletscher reagieren sofort auf veränderte Umweltbedingungen, während die Reaktionszeit in Abhängigkeit der maximalen Eismächtigkeit steht. In Österreich ist die Gletscherfläche seit 1850 um 46 % zurückgegangen, in der Schweiz um 30 %. Der Verlust des Gesamtvolumens aller Gletscher in den Alpen beträgt etwa 50 bis 60 %. Ein Folgeproblem ist das Abbrechen von Eis, das auf Grund des Abschmelzen des Permafrostes und dem Rückzug des Gletschers neue Gefahrensituationen bewirkt. Die Temperaturveränderungen haben Einfluss auf das Verhalten der Gletscher, was wiederum zu

2. Theoretische Konzeption

einer Veränderung des Abflussverhaltens führen kann. Durch das Abschmelzen der vergletscherten Gebiete kommt es zunächst zu einer Erhöhung des Abflusses, der durch die Abnahme derselben daraufhin natürlich wieder zurückgeht, und zwar unter das Niveau vom Ausgangszeitpunkt. (VEIT, 2002)

Des Weiteren wird angenommen, dass die Frequenz alpiner Naturgefahren zunehmen wird (KEILER et al., 2010). Dies kann zum einen durch den Klimawandel hervorgerufen werden, zum anderen ist der anthropogene Faktor sehr entscheidend. Während geophysikalische Gefahren wie Erdbeben, Vulkanismus oder Tsunamis ohne menschlichen Einfluss entstehen können, ist bei atmosphärischen Naturgefahren wie Lawinen, Hochwasser, Stürme und Muren eine anthropogene Beeinflussung nicht auszuschließen. Durch den teilweise schwerwiegenden menschlichen Eingriff ist es schwierig, natürliche von menschengemachten Ursachen zu unterscheiden. Durch die Siedlung in gefährdeten Zonen ist mit einer Zunahme des Schadensausmaßes zu rechnen (HOLUB et al., 2008).

„Die Sensitivität verschiedener Höhenlagen gegenüber Klimaschwankungen und dadurch verursachter Naturereignisse ist unterschiedlich. In den Hochlagen spielen Temperaturveränderungen eine wesentliche Rolle. Bei Erwärmung kommt es hier zu Gletscherschwund und zum Abbau von Permafrost. Lang anhaltende Niederschläge sind in den Hochlagen ebenfalls typische Auslöser von Muren. Tieflagen sind dagegen empfindlicher gegenüber Starkniederschlägen.“ (VEIT, 2002:299)

Das Auftreten von Muren kann durch anthropogenen Einfluss verstärkt werden. Besonders im Gebirge wird die Veränderung der Landschaft durch Erschließung von Skigebieten, Intensivierung in der Landwirtschaft, Hanganschnidungen oder Rodung die Frequenz und Magnitude verstärken (LUZIAN, 2002). Durch das Abschmelzen der Gletscher und des Permafrostes kann es zu Destabilisierungen kommen, die Steinschläge oder Felsstürze begünstigen (IPCC, 2007). Abgesehen von der Zunahme der Niederschlagsmengen, stehen Murprozessen durch dieses Abschmelzen mehr Material zur Verfügung (VEIT, 2002).

Folgende Abbildung 1 zeigt die Verknüpfungen zwischen alpinen Zonen und menschlicher Einwirkungen im Kontext des Globalen Wandels. Wichtige umweltliche Attribute wie der Niederschlag, Schneebedeckung, Wald etc. wird direkt oder indirekt Einflüssen ausgesetzt – sei es vom Menschen oder durch menschliche Aktivitäten, die sich auf Prozesse und Systeme (Hangstabilitäten, Niederschlagsverteilung) auswirken.

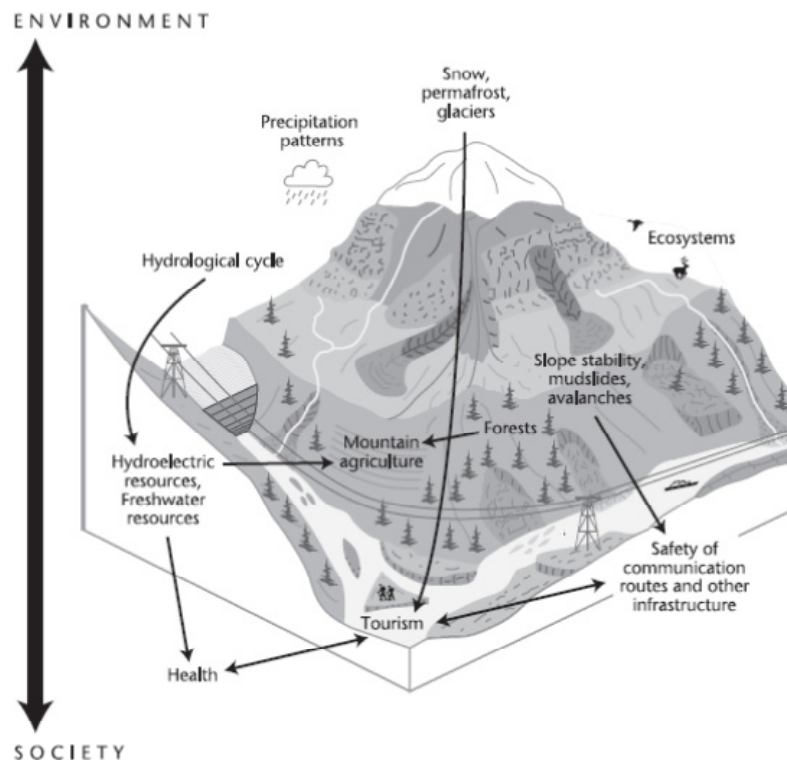


Abbildung 1: Verknüpfungen in alpinen Gebieten zwischen sozio-ökonomischen Aktivitäten, Landnutzungsänderungen und Globalem Wandel. (SLAYMAKER et al., 2009)

Die Nutzung der alpinen Regionen in landwirtschaftlicher, ökonomischer und touristischer Hinsicht und deren Folgen auf das alpine Ökosystem sind nur schwer von den klimatischen Bedingungen und Veränderungen zu trennen. Dahingehend müssen Maßnahmen gesetzt werden, die verschiedene Ansätze haben können. Raumplanerische Maßnahmen erweisen sich durch die Ausweisung von Schutz- und Sperrzonen als günstig, wobei keine ausreichende Garantie für einen 100-prozentigen Schutz gegeben werden kann. Die Kombination von Schutzbauten und Bauvorschriften zielt auf die Abwehr, Abschwächung bzw. Verminderung von Naturgefahren und deren Auswirkungen auf infrastrukturelle Bereiche und zur Sicherung von Menschenleben ab. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Anpassung an die Gegebenheiten, indem vermehrt in den Katastrophen- und Klimaschutz investiert, aber auch auf eine ausreichende finanzielle Vorsorge gedacht wird. (BERZ, 2006, HOLUB et al., 2008, KEILER et al., 2010)

Die Erhöhung des Bewusstseins zum Globalen Wandel ist auch auf die generelle Akzeptanz des Klimawandels zurückzuführen (STEININGER et al., 2002). Zahlreiche Programme, Projekte, Gesetze, Dokumentationsfilme und bewusstseinschärfende Kampagnen wurden gestartet, um die Nachhaltigkeit in den Vordergrund zu stellen. Die menschlichen Tätigkeiten stehen dabei immer im Vordergrund und die Interaktionen mit dem Umweltsystem ergeben oftmals ungewünschte Ergebnisse. „Geomorphological events become natural hazards when they conflict with the human environment and lead to damage.“ (KEILER et al., 2010)

2. Theoretische Konzeption

Im alpinen Raum gibt es im Gegensatz zu anderen Hochgebirgen kaum mehr natürliche Fließgewässer. Der weitaus größte Teil ist einer menschlichen Regulierung unterworfen und der Flusslauf wurde verbaut, umgelagert oder verändert. Durch andere Einflüsse, wie zum Beispiel Staudämmen, kommt es zu einer Veränderung im Fließverhalten. Talböden wurden entsumpft, um eine Siedlung möglich zu machen. (VEIT, 2002) Für viele Autoren drückt sich der Globale Wandel und der Eingriff des Menschen in das natürliche System auch in der Regulierung der Flüsse und im Staudammbau aus (GOUDIE et al., 1997). Aufgrund der passenden Thematik wird darauf etwas näher eingegangen.

„The building of dams is undoubtedly one of the most ancient human engineering activities (...)“ (NIR, 1983:96). Die ältesten bekannten Staudämme wurden an den Flüssen Euphrat, Tigris, dem Nil und dem Gelben Fluss gebaut (NIR, 1983). Sowohl der Wasser- als auch der Energieverbrauch ist seit Beginn der Industrialisierung stark gestiegen, weshalb Wasserkraftwerke in der gesamten Welt gebaut wurden. Heute dienen Dämme nicht nur der Gewinnung von Energie, sondern auch als Speicher, zur Kontrolle der Erosion und zur Bewässerung. Staukraftwerke werden in den Alpen seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts gebaut. In den 1950er Jahren setzt der technische Fortschritt eine neue Dimension im Staudammbau (BÄTZING, 2003). Für den Bau von Staudämmen in Gebirgsregionen sind in Tabelle 1 einige Pro- und Contraargumente aufgelistet.

Tabelle 1: Pro- und Contraargumente für die Wasserkraft (verändert nach GOUDIE, 1994)

Pro	Contra
Wasserregulierung, -speicherung, Regulierung des Abflusses	Errichtung eines Stausees, Überschwemmung von (Kultur-)Landschaften
Schutz vor Hochwasser	keine saisonalen Schwankungen des Abflusses → Veränderungen im Ökosystem
Schutz vor Dürre, Entwicklung von Bewässerungssystemen	Sedimentation des Stausees, zu wenig Sedimentfracht im Fluss
(saubere, erneuerbare) Energiegewinnung	Absenkung des Bodens, Bodenversalzung
Ermöglichung von Freizeitaktivitäten (Fischen, Schwimmen, Wassersport)	Latente Gefahr des Dammbbruchs
	Auslösung von Erdbeben

Ein Pro-Argument, das häufig für Staudämme verwendet wird, ist die Verminderung der Abflussspitzen wodurch das Hochwasserrisiko sinken kann. Im alpinen Raum ist das Auftreten von Hochwassern vorwiegend auf den Sommer bzw. Herbst beschränkt (BÄTZING, 2003). Jedoch sind die Stauseen der Kraftwerke zu diesem Zeitpunkt für den Winter meist bis zum Maximum gefüllt. Ein Ablassen des Wassers kann dabei die Situation noch verschärfen. Des Weiteren führt die Ableitung der Bäche „zu einer Reduzierung der natürlichen Schleppkraft durch die geringe Restwassermenge“ (VEIT, 2002:213). Dadurch verbleibt ein höherer Anteil an Material im Einzugsgebiet, die bei normaler Wasserführung ohne Einfluss abtransportiert werden. Zudem ändert sich das Abflussregime im Jahresgang, was zu ökologischen Beeinträchtigungen führen kann. (VEIT, 2002)

Um den Bogen zu einem weiteren zentralen Begriff dieser Arbeit zu spannen, dient eine zentrale Aussage von Slaymaker et al. (2009:7). Die Regionen und Systeme, die am sensitivsten sind und am wenigsten mit veränderten Bedingungen umgehen können, sind meist auch die empfindlichsten (d.h. von erhöhter Vulnerabilität betroffen).

2.2 Vulnerabilität

Das Feld der Vulnerabilitätsforschung ist noch relativ jung und hat im Bereich der Geographie erst seit den frühen 1980er Jahren erhöhte Aufmerksamkeit bekommen (FUCHS, 2009, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Im Folgenden Unterkapitel soll ein kurzer Abriss des Verlaufs der Vulnerabilitätsforschung erfolgen, eine Begriffsdefinition für diese Arbeit gefunden werden und im Speziellen die Vulnerabilitätskurve erklärt werden. Letzteres ist ein wichtiger Teil der angewandten Methodik.

2.2.1 Definition

„The term vulnerability is closely related to natural hazards (...)“ wie FUCHS (2009:338) anmerkt. Für den Begriff gibt es viele zum Teil sehr unterschiedliche Definitionen und bis jetzt noch keine allgemein gültige. Jedoch ist eine gewisse Tendenz in eine einheitliche Begriffsbestimmung erkennbar, die jedoch durch einige Faktoren in der Forschung erschwert wird. Diese Unterschiede sind auch auf den sehr frühen Forschungsstand zurückzuführen (FUCHS et al., 2007, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Zudem wird die Vulnerabilitätsforschung von vielen Disziplinen betrieben, sowohl in den Naturwissenschaften als auch in den Sozialwissenschaften, Ökonomie, Risikomanagement oder Entwicklungsforschung, um nur einige zu nennen (FUCHS, 2009).

FUCHS et al. (2007) gibt eine Übersicht über die unterschiedliche Definition des Begriffes der Vulnerabilität hinsichtlich der Naturgefahren. Ein Auszug über die relevantesten Begriffsbestimmungen in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit sei in Tabelle 2 gegeben.

Tabelle 2: Zeitliche Entwicklung der Begriffsdefinition mit Anmerkungen (FUCHS et al., 2007)

Quelle	Definition	Bemerkung
Timmerman (1981)	<i>Vulnerability is the degree to which a system acts adversely to the occurrence of a hazardous event. The degree and quality of the adverse reaction are conditioned by a system's resilience (a measure of the system's capacity to absorb and recover from the event).</i>	Begriff der Resilienz verwendet, Vulnerabilität als nachteilige Reaktion
UNDRO (1982)	<i>Vulnerability is the degree of the loss to a given element or set of elements at risk resulting from the occurrence of a natural phenomenon of a given magnitude.</i>	Ausdruck „Grad des Schadens“ verwendet und Bezug auf die Magnitude
Varnes (1984)	<i>Vulnerability means the degree of loss to a given element or set of elements at risk resulting from the occurrence of a natural phenomenon of a given magnitude. It is expressed on a scale from 1 (no damage) to 1 (total loss).</i>	Angabe der Skale von 0 bis 1, welche bis heute als numerischer Ausdruck verwendet wird
Pijawka and Radwan (1985)	<i>Vulnerability is the threat or interaction between risk and preparedness. It is the degree to which hazardous materials threaten a particular population (risk) and the capacity of the community to reduce the risk or adverse consequences of hazardous materials releases.</i>	Einbeziehung von Risiko und Bereitschaft mit Fokus auf den Menschen und dem Vermögen der Bevölkerung, das Risiko zu vermindern.

2. Theoretische Konzeption

Quelle	Definition	Bemerkung
Liverman (1990)	<i>Distinction between vulnerability as a biophysical condition and vulnerability as defined by political, social and economic conditions of society. Argumentation for vulnerability in geographic space (where vulnerable people and places are located) and vulnerability in social space (who in that place is vulnerable).</i>	Erstmals Erwähnung von nicht-physischen Bereichen und Einflussparametern. Gefährdungsraum und Gefährdung des Menschen
UNDRO (1991)	<i>Vulnerability is the degree of the loss to a given element or set of elements at risk resulting from the occurrence of a natural phenomenon of a given magnitude and expressed on a scale from 0 (no damage) to 1 (total loss). In lay terms, it means the degree to which individual, family, community, class or region is at risk from suffering a sudden and serious misfortune following an extreme natural event.</i>	Weiterentwicklung der Definition von 1982 mit Einbeziehung der Skala. Inkludiert vereinfachte Erklärung
Dow (1992)	<i>Vulnerability is the differential capacity of groups and individuals to deal with hazards, based on their positions within physical and social worlds.</i>	Beschränkung auf die Fähigkeit der Bevölkerung, ein Ereignis zu verarbeiten.
Watts and Bohle (1993)	<i>Vulnerability is defined in terms of exposure, capacity and potentiality. Accordingly, the prescriptive and normative response to vulnerability is to reduce exposure, enhance coping capacity, strengthen recovery potential and bolster damage control (i.e., minimize destructive consequences) via private and public means.</i>	Neue Einbeziehung der Begriffe Exponiertheit und Möglichkeit. Erwähnung der Bewältigungsstrategien
Amendola (1998)	<i>Vulnerability (to dangerous substances) is linked to the human sensitivity, the number of people exposed and the duration of their exposure, the sensitivity of the environmental factors, and the effectiveness of the emergency response, including public awareness and preparedness.</i>	Hinzufügen von weiteren (insbesondere sozialen) Merkmalen und der Länge des Ereignisses als determinierender Faktor
Weichselgartner and Bertens (2000)	<i>Vulnerability is defined as the condition of a given area with respect to hazard, exposure, preparedness, prevention, and response characteristics to cope with specific natural hazards. It is a measure of capability of this set of elements to withstand events of a certain physical character.</i>	Weitere Zusammenfassung von Amendola (1988) mit der Verwendung von Überbegriffen
Wisner et al. (2004)	<i>Vulnerability is defined as characteristics of a person or a group in terms of their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard. It involves a combination of factors that determine the degree to which someone's life and livelihood are put at risk by a discrete and identifiable event in nature or in society.</i>	Fokus auf die Risikowahrnehmung und -verarbeitung
Alexander (2005)	<i>The word "vulnerability" comes from the Latin verb vulnerare, "to wound", and signifies exposure to physical or moral harm.</i>	Etymologische Beschreibung

Vulnerabilität wurde von der UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005) in Genf 2004 wie folgt definiert: „The conditions determined by physical, social, economic and environmental factors or processes, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards.“ Somit wird der Begriff weiter gefasst und insbesondere in Bezug auf die verschiedenen Einflussfaktoren gesetzt. LIU et al. (2002:181) definieren den Begriff als „the potential total maximum losses due to a potential damaging phenomenon for a specified area and during a reference period.“ FUCHS et al. (2007:495) fassen sich kürzer: "(...) vulnerability is defined as the expected degree of loss for an element at risk as a consequence of a certain event.“ Für diese Arbeit wird die Definition verwendet, an der sich die meisten Autoren laut PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011a:659) orientieren: Vulnerabilität ist „the degree of loss of a specific element at risk to a hazard of a given magnitude.“ Die Schäden der Risikoelemente sind abhängig von der Magnitude der Ereignisse.

Das Zusammenspiel vom sozialen und physischen System bedingt dynamische Veränderungen in Bezug auf Gefahr, Exponiertheit und Vulnerabilität (FUCHS et al., 2007).

„Vulnerability is understood as a predisposition and potential of society or individuals to be harmed, consequently, vulnerability does not change if the hazard is more intense or not – it is in contrast the exposure that might change and that influences the degree of being at risk.“ (FUCHS, 2009:338)

Dabei werden nicht nur individuelle sondern auch soziale Einflüsse in Bezug auf das Risikoempfinden berücksichtigt. Außerdem spielen die Einflussfaktoren wie Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß, Wahrnehmung, Unsicherheit, etc. eine wichtige Rolle (ebenda).

In den Naturwissenschaften wird die Vulnerabilität als eine Gleichung der Prozessintensität (normalerweise in Metern) auf die Risikoelemente angegeben (FUCHS et al., 2007). Die Ablagerungshöhe kann durch Modellierung eines Ereignisses ebenso ermittelt werden, wie durch die Festlegung der Wahrscheinlichkeit. Letzteres wird durch die geomorphologischen Gegebenheiten und die Kenntnis von früheren Ereignissen abschätzbar. Der Wert der Vulnerabilität ist durch die Prozessintensität und die betroffenen bzw. gefährdeten Risikoelemente determiniert (FUCHS et al., 2007). Die Vulnerabilität wird auf einer Skala von 0 bis 1 (0 bis 100 %ige Zerstörung) wiedergegeben (FUCHS, 2008, FUCHS et al., 2007, LIU et al., 2003). Von daher ist die Baustruktur ein wichtiger Faktor bei der Analyse der Verwundbarkeit eines Gebietes (FUCHS et al., 2007). Dazu zählt das Baumaterial, die Bautechnik, die Instandhaltung, Schutzvorkehrungen, etc. (AKBAS et al., 2009, FUCHS, 2008).

2.2.2 Vulnerabilitätsdimensionen

Die Vulnerabilität ist von vielen Faktoren abhängig, LIU et al. (2003) beziehen neben dem Bruttoinlandsprodukt auch die Landressourcen, die Bevölkerungsdichte und weitere demographische Faktoren (Alter, Bildung, Wohlstand) mit ein. In der Literatur hat sich eine Unterteilung des Überbegriffes der Vulnerabilität durchgesetzt. Im Allgemeinen bezieht sich die Vulnerabilität auf vier Faktoren, die *physische* (oder auch strukturelle bei FUCHS, 2009), *ökonomische*, *ökologische* und *soziale* Vulnerabilität. Ein Ereignis hat meist auf alle Dimensionen Einfluss, wenn auch in unterschiedlichen Ausprägungen (LIU et al., 2003, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a, STERLACCHINI et al., 2007).

Die *physische* Vulnerabilität ermittelt die Konsequenzen eines Ereignisses und bezieht sich dabei auf Gebäude oder die Infrastruktur (QUAN LUNA et al., 2011). Die *ökonomische* Vulnerabilität wird meist durch das Bruttoinlandsprodukt ausgedrückt. Bezogen auf natürliche Ressourcen wie Landwirtschaft, forstwirtschaftlich genutzter Wald aber auch schützenswerte Gebiete, werden unter der *ökologischen* Vulnerabilität zusammengefasst. Die *soziale* Vulnerabilität fokussiert sich auf demographische Indikatoren wie Alter, Bevölkerungszusammensetzung und Bildung. Eine Quantifizierung erfolgt meist durch die Ermittlung der Bevölkerungsdichte, woraus sich eine Abschätzung der potentiell gefährdeten Personenzahl ergibt. Die Vulnerabilität gegenüber der Gefährdung der Bevölkerung wurde zum Beispiel von LIU et al. (2003) und BELL et al. (2004) in ihren Arbeiten miteinbezogen. Im globalen Kontext ist anzumerken, dass die personelle

2. Theoretische Konzeption

Vulnerabilität meist mit der generellen Entwicklung eines Landes zusammenhängt (PEDUZZI et al., 2009). Des Weiteren ist eine detailliertere Analyse hinsichtlich der Alterszusammensetzung möglich, da die nicht-erwerbsfähige Bevölkerung (unter 14- und über 65-Jährige) zumeist gefährdeter sind. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Die soziale Vulnerabilität stellt einen wichtigen Beitrag zum Mensch-Umwelt-Verständnis und den Auswirkungen des menschlichen Handelns bzw. die Auswirkungen eines Naturereignisses auf die Menschen dar.

Weitere sekundäre Forschungsfelder der Vulnerabilitätsdimensionen wären die ökologische und kulturelle Vulnerabilität, die die Auswirkungen von Naturgefahren auf die Umwelt selbst und auf Kulturgüter sowohl natürlicher als auch menschlicher Herkunft untersuchen. Die institutionelle und politische Vulnerabilität zielt auf die Einbeziehung von Interessensgruppen und Vorsorgungsmaßnahmen ab. Hierbei gibt es zahlreiche Anwendungsspektren die von Anpassungs- und Minderungsstrategien bis hin zur Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands reichen. (FUCHS, 2009)

Nachdem der Begriff der Vulnerabilität stark mit dem Begriff der Gefahr und insbesondere im Feld der Geographie mit den Naturgefahren verbunden ist, soll hier eine kurze Einführung in die Begriffsdefinition folgen. *Gefahr* wird von der UNISDR (2005) wie folgt definiert:

"A potentially damaging physical event, phenomenon or human activity that may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation. Hazards can include latent conditions that may represent future threats and can have different origins: natural (geological, hydrometeorological and biological) or induced by human processes (environmental degradation and technological hazards)."

GLADE et al. (2006) fügen die Eintrittswahrscheinlichkeit mit einer zeitlichen Begrenzung ausgedrückt durch eine vorgegebene Periode hinzu. Sobald eine Gefährdung des Menschen vorliegt, kann von einer Naturgefahr gesprochen werden. Ist dies nicht der Fall, so handelt es sich um ein Naturereignis.

Ein weiterer wichtiger Begriff in diesem Kontext ist die *Resilienz*:

The "(...) capacity of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure. This is determined by the degree to which the social system is capable of organising itself to increase this capacity for learning from past disasters for better future protection and to improve risk reduction measures." (UNISDR, 2005)

Dazu gehört auch die Fähigkeit des Systems den Zustand vor dem Ereignis wiederherzustellen (KIENBERGER et al., 2009).

*„The first aspect of resilience, focusing on the amount of disturbance that can be sustained before a change in system control and structure occurs, refers to the **ability** of a society to cope with the impact of hazardous events unless the effects are as severe that a sudden change in livelihood conditions occurs, which results in political instability or even chaos. The second aspect concentrates on **stability** and is probably therefore more applicable within the framework of managing mountain hazards in Europe."* (FUCHS, 2009:347, eigene Hervorhebung)

Der Begriff des *Risikos* ist heute in den Medien nicht mehr wegzudenken und wird im Zusammenhang mit dem Globalen Wandel und den Berichten von Extremereignissen oft erwähnt (ARL, 2011). Untrennbar mit dem Begriff Risiko im Zusammenhang stehen die Risikoelemente, worunter nicht nur Gebäude zu verstehen sind, sondern auch die Bevölkerung, wirtschaftliche Aktivitäten und Infrastrukturen. VAN WESTEN (2009) beschreibt den Zusammenhang mit der Vulnerabilität wie folgt: „The interaction of elements at risk and hazard defines the exposure and the vulnerability of the elements-at-risk.“ Laut STERLACCHINI et al. (2007) ist Risiko eine Gleichung bestehend aus den Variablen Gefahr, Risikoelemente und Vulnerabilität. Risiken durch Naturgefahren entstehen durch das Zusammenspiel von physischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Vulnerabilitäten (UNISDR, 2005).

Zwischen den hier in aller Kürze beschriebenen Begriffen besteht ein konzeptioneller Zusammenhang, der unter Berücksichtigung der physischen und sozialen Vulnerabilität in Abbildung 2 dargestellt ist. Das Risiko ist von einem natürlich auftretenden Prozess (dem Threat, der Gefahr) abhängig und es besteht ein Bezug zu den Risikoelementen (GLADE et al., 2006). Bei der sozialen Vulnerabilität steht die Exponiertheit der Bevölkerung gegenüber der Gefahr im Vordergrund. Die institutionelle Vulnerabilität hat Einfluss auf die strukturelle, da sie sich auf das Risikomanagement, Präventionsmaßnahmen etc. bezieht. Die ökonomische Vulnerabilität hat Auswirkungen auf die soziale, da bei einer Exponiertheit von Risikoelementen gegenüber einer Naturgefahr von monetären Schäden ausgegangen werden kann.

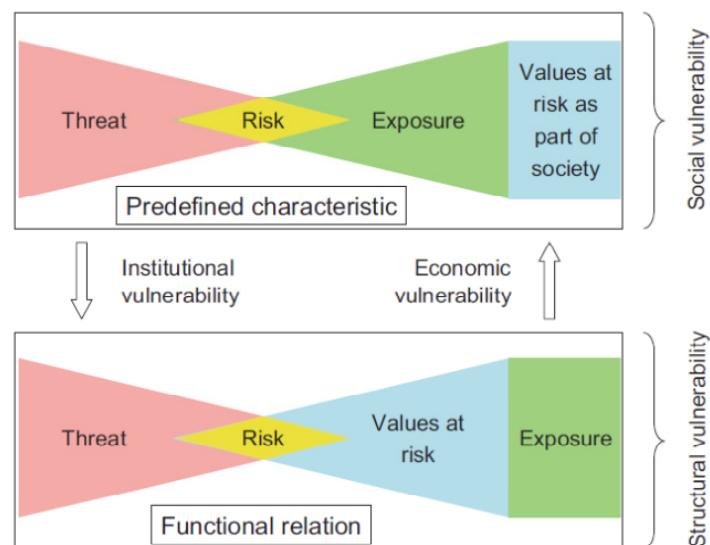


Abbildung 2: Beziehung zwischen Gefahr, Risikoelementen, Exponiertheit und Risiko für die strukturelle (physische) und soziale Vulnerabilität in Bezug zur ökonomischen und institutionellen Vulnerabilität (FUCHS, 2009)

In der Literaturanalyse von PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011a) finden sich von 41 untersuchten wissenschaftlichen Arbeiten 36 zur physischen Vulnerabilität, 24 inkludieren die Gefährdung der Bevölkerung in ihre Arbeit mit ein, 9 berücksichtigen auch die ökologische und weitere 8 die ökonomische. Nur zwei Arbeiten haben einen multidimensionalen Ansatz für die Beantwortung ihrer Fragestellung gewählt, während 18 Forschergruppen sich nur auf eine Ausprägung der Vulnerabilität fokussiert haben (zumeist der physische Vulnerabilität). Durch den prägnanten Fokus der Forschung der physischen Vulnerabilität, ergibt sich das Problem der Übertragbarkeit

2. Theoretische Konzeption

der Daten in andere Untersuchungsgebiete. Die isländische Bauweise kann nicht mit der alpinen verglichen werden, die sich wiederum von der australischen unterscheidet. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a)

Diese Arbeit fokussiert sich vorwiegend auf die physische Vulnerabilität, wobei hier die Infrastrukturen wie Straßen und Versorgungsleitungen ausgeklammert sind. Zusätzlich wird ein Teil der ökonomischen Vulnerabilität beleuchtet, da auftretende Gefahren meist Schäden verursachen, die kompensiert werden müssen. Die Exponiertheit eines Risikoelements gegenüber einer möglichen Gefahr definiert ihre Anfälligkeit (FUCHS, 2009), weshalb in Hinblick auf den finanziellen Schaden eine potentielle Schadenssumme berechnet werden kann.

2.2.3 Interdisziplinarität und Problematiken in der Vulnerabilitätsforschung

Die Vulnerabilität ist in ein multidisziplinäres Forschungsfeld eingegliedert (FUCHS, 2009, KIENBERGER et al., 2009), da nicht nur die Geographie wichtige Forschungsbeiträge liefert, sondern auch Augenmerk auf die Entwicklungsländerforschung im Zusammenhang mit Armut und Gesundheitswesen gelegt wird. Des Weiteren beschäftigt sich das Ingenieurwesen, Politikwissenschaften und auch die Psychologie mit der Vulnerabilität bei Menschen, Gebäuden und Landschaften. Daher ist eine unterschiedliche Auslegung des Begriffes zu erkennen, da darin zum einen das Potential für einen wirtschaftlichen Schaden verstanden wird, zum anderen steht der betroffene und gefährdete Mensch für Sozialwissenschaftler im Vordergrund. Dabei wird auch der Fokus auf das Individuum und die Auswirkungen im sozialen System gelegt (FUCHS et al., 2007). Außerdem wird die Fähigkeit des Individuums mit Stress und den veränderten Umweltbedingungen zu leben, als wichtiger Forschungsgegenstand angesehen (FUCHS, 2009). In der Klimaforschung wird die Vulnerabilität als die Fähigkeit des Systems beschrieben, ein extremes Event oder Klimaänderungen bzw. -schwankungen standzuhalten (MOVE, 2011). Des Weiteren ist eine Einbeziehung der Vulnerabilität im Kontext des Klimawandels im Risikomanagement sinnvoll (KIENBERGER et al., 2009).

Einen Beitrag zur interdisziplinären Kommunikation legt die UNU-EHS EWG – die *United Nations University Institute for Environment and Human Security Expert Group on Measuring Vulnerability*. Ihr Ziel ist die Weiterentwicklung des allgemeinen Schutzes der Bevölkerung in Bezug auf Naturgefahren. Die EWG setzt sich aus Forschern diverser Fachrichtungen zusammen, die gemeinsam in der Vulnerabilitätsforschung Methoden, Konzepte und Indikatoren entwickeln wollen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Anpassungs- und Bewältigungsstrategien unterschiedlicher sozialer Gruppen und der sozialen und ökonomischen Vulnerabilität. (UNU-EHS_EWG, 2011)

Die Thematik der Vulnerabilität ist auf globaler Ebene insbesondere in Entwicklungsländern ein wichtiges Thema. Die Action Plans der Vereinten Nationen (z.B. Hyogo Framework for Action 2005-2015 oder Johannesburg Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development (UNISDR, 2005)) greifen das Thema der Risikominimierung immer wieder in verschiedenen Bereichen auf. Es werden Anmerkungen und Empfehlungen für NGOs und Regierungen gegeben und ein Fokus auf die Verminderung der Vulnerabilität gelegt. WISNER (2000, 2004 in: FUCHS, 2009) beschreibt einen Ansatz aus der Kritischen Geographie, dass die

ökonomisch schwächeren Bevölkerungsgruppen, die eventuell in politisch unsicheren Regionen leben, weniger Optionen in der Wahl ihres Wohnortes haben. Dies resultiert in einer Entscheidung in einer unsicheren, gefährdeten Umwelt zu leben, da Alternativen unter den gegebenen Umständen kaum verfügbar sind. Die Folge ist eine erhöhte Vulnerabilität und größere Schwierigkeiten mit Stressfaktoren und Störungen umzugehen. Die Reduzierung der Vulnerabilität bezogen auf klimainduzierte Naturgefahren mündet in ein komplexes Risikominimierungskonzept, das gleichermaßen auf der Anpassung des sich verändernden Klimas, Umweltmanagement und Armutsbekämpfung abzielt (KIENBERGER et al., 2009).

Ein multidimensionaler, Multigefahren-Ansatz aus einer gesamtheitlichen Perspektive scheint wichtig für die Vulnerabilitätsforschung (FUCHS, 2009). Dazu sind einige Vorüberlegungen vom durchführenden Wissenschaftler notwendig, um zu vergleichbaren und validen Ergebnissen zu kommen. Eine Berücksichtigung des Endnutzerkreises ist unerlässlich, da nur so die Fragestellung adäquat und treffend bearbeitet werden kann. Die Endnutzer sind in den verschiedenen untersuchten Studien sehr unterschiedlich und fokussieren sich vorwiegend auf die lokalen Behörden oder auf Wissenschaftler, die die Ergebnisse für die Grundlagenforschung verwenden. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a, STERLACCHINI et al., 2007)

Die meisten Vulnerabilitätsanalysen erfolgen auf lokalem, kleinräumigen Level; nur wenige werden auf regionalem Niveau bearbeitet. Dies liegt vor allem an den verfügbaren Daten (AKBAS et al., 2009, GLADE, 2003) – je weniger bereits erhoben sind und je größer das Untersuchungsgebiet, desto länger dauert die Feldarbeit. Der Zeitaufwand für die Erstellung einer Ereignisdatenbank zum Beispiel auf Gebäudeebene ist nicht unerheblich, weshalb oft die Wahl auf kleinere Untersuchungsräume fällt (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Insbesondere im Gebiet der Geschiebetransporte sind zu wenig Forschungsarbeiten vorhanden. Es existieren mehr als 100 Studien zur Erdbebenvulnerabilitätsmodellen, ebensoviele bezogen auf klimatische Aspekte der Vulnerabilität aber nur etwa 20 bezüglich Massenbewegungen (HOLLENSTEIN, 2005 in: PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Des Weiteren lassen sich signifikante Unterschiede in den Forschungsarbeiten des ozeanischen und alpinen Raumes identifizieren, da es hier Unterschiede in der Resilienz gibt (neben diversen anderen wie Baustruktur, Siedlungsdichte etc.). (FUCHS et al., 2007)

Die Auswahl der Methodik ist zum heutigen Stand der Vulnerabilitätsforschung noch immer differenziert und im Einzelfall zu beurteilen. Bei der Bearbeitung von physischer Vulnerabilität spielt die Datenverfügbarkeit (Ereignisdokumentation, detailgetreue Gebäudehebungen,...) eine große Rolle. Für die Weiterverwendung von Vulnerabilitätsergebnissen müssen mehrere Faktoren gegeben sein. Neben der Auswahl sinnvoller Parameter und Indikatoren, einer GIS-gestützten Verarbeitung und die Darstellung der Ergebnisse (z.B. in Vulnerabilitätskurven oder – karten), ist auch die Übertragbarkeit der verwendeten Methodik wichtig. Dies bedeutet, dass die gewählte Methode sowohl für andere Untersuchungsgebiete als auch für unterschiedliche Prozesscharakteristika verwendet werden kann. Zum derzeitigen Forschungsstand finden sich noch keine allgemein gültigen Vulnerabilitätsgleichungen (FUCHS, 2008). Momentan operieren viele Forschergruppen im alpinen Raum eigenständig und mit den jeweils für das Untersuchungsgebiet passenden Strategien und Methoden. "Although it is widely acknowledged that the reduction and measurement of vulnerability are important tasks, the concept of vulnerability remains relatively unclear and under-researched, particularly in highly

2. Theoretische Konzeption

developed regions. (...) There is a general understanding that it involves at least three things: susceptibility to harm, the extent to which people and goods are predisposed to impact, and conditions that favour damage. " (MOVE, 2011) Die Notwendigkeit für neue Ansätze in der Vulnerabilitätsforschung wird aber erkannt (FUCHS et al., 2007, KIENBERGER et al., 2009, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a).

2.2.4 Vulnerabilitätskurve

Vulnerabilitätskurven sind ein relativ neues Phänomen zur Quantifizierung von gravitativen Naturgefahren und sind neben Formeln und Matrizen eine Form der Darstellung der Vulnerabilität (QUAN LUNA et al., 2011). Die Vulnerabilitätskurve stellt den Zusammenhang zwischen dem erwarteten oder eingetroffenen Schaden und der Ablagerungshöhe dar (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a). Die Verwendung der Prozessintensität ist unabhängig vom Wiederkehrintervall und gibt einen Rückschluss auf die zu erwartenden Schäden ab einer gewissen Intensität. Der Grad des Schadens wird als Prozentwert angegeben, der sich auf die Auswirkungen des Prozesses auf die Gebäudewertigkeit bezieht. Die Darstellung erfolgt meist auf Basis der Ablagerungsintensität und dem Schadensausmaß, was die Vulnerabilität auf einer Skala von 0 bis 1 ergibt (FUCHS et al., 2007, MICHAEL-LEIBA et al., 2003, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b). Der Vollständigkeit sei erwähnt, dass im Gegensatz dazu qualitativen Arbeiten stehen, die zum Beispiel eine Einteilung nach den Kriterien „low, medium, high“ durchführen (BELL et al., 2004, CARDINALI, 1999, GLADE, 2003, STERLACCHINI et al., 2007). Der Schaden („degree of loss“) wird als monetärer Schaden angegeben, das heißt als der Wert oder die Wiederherstellungskosten eines Gebäudes. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a)

PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011a) stellen in ihrer Arbeit das Ergebnis einer intensiven Literaturrecherche dar. Von 41 überprüften wissenschaftlichen Arbeiten verwendeten 21 für ihre Methode eine Vulnerabilitätskurve. Davon erstellten 9 Forschergruppen eine neue, während 12 eine bereits existierende einsetzen. Beispielhaft wird die Arbeit von FUCHS (2008) dargestellt, der nach demselben Prinzip wie PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011b) eine Vulnerabilitätskurve erstellt hat. Herangezogen wurde die Prozessintensität und der Wiederherstellungswert der Risikoelemente. Hierfür wurde die folgende Gleichung zur Vulnerabilitätsklassenbestimmung verwendet:

$$f_{(x)} = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0.3 \\ 0.12x^2 - 0.04x & \text{if } 0.3 \leq x \leq 3.06 \\ 1 & \text{if } x > 3.06 \end{cases}$$

Abbildung 3: Zusammenhang der Prozessintensität x und der Vulnerabilität y in einer Studie von FUCHS (2008)

Hohe Ablagerungsintensitäten der Mure werden dem maximalen Wert für Vulnerabilität zugeschrieben. Werte unter 0,3 verursachten kaum Schäden an den Gebäuden, weshalb sie in der Kurvenerstellung vernachlässigt werden. Die letztendlich erstellte Vulnerabilitätskurve wird mit Werten von anderen (Test)Gebieten verglichen (Abbildung 4).

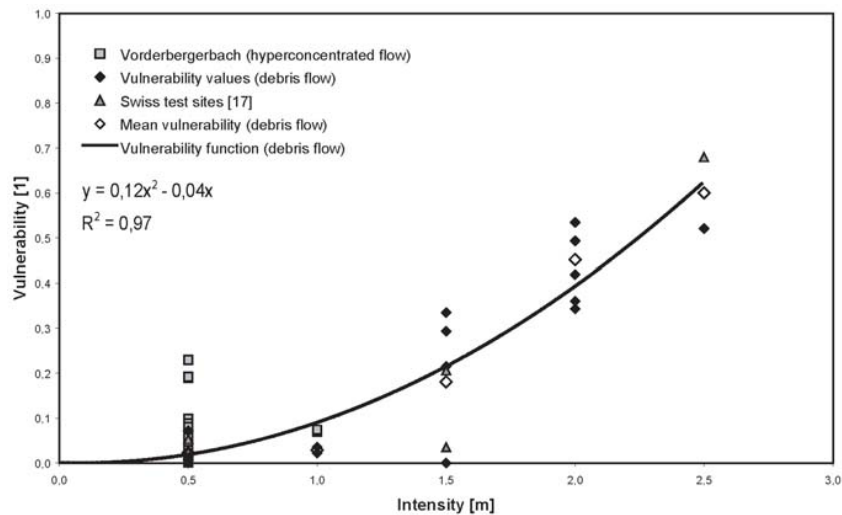


Abbildung 4: Vulnerabilitätskurve für Muren (FUCHS, 2008)

Durch eine Vielzahl an Projekten im Risiko- und Vulnerabilitätsbereich in den Ländern der Europäischen Union ist die Forschung an dieser Thematik schon sehr weit fortgeschritten. Das MOVE-Projekt fokussiert sich unter anderem sehr stark auf die Endnutzer wie Bundesländer oder Regionalplanungsbüros. Die Weitergabe der Ergebnisse stellt somit eine wichtige Verbindung zwischen den Forschungsprojekten und den Interessensvertretern dar. Abschließend sei festzustellen, dass die Vulnerabilität stark von den sozialen und physischen Gegebenheiten abhängt und einem zeitlichen Wandel unterworfen ist. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011a) Durch die positive wirtschaftliche Entwicklung einer Region kann von einer Senkung der Vulnerabilität ausgegangen werden. Bessere Bildungs- und Ausbildungschancen, politische Stabilität, Raumplanungsmaßnahmen und Risikominimierungsstrategien (Frühwarnung, Schutzbauten, Monitoring etc.) führen zu einer Verringerung des Schadens sowohl in personeller wie auch ökonomischer Sicht. Des Weiteren kann die Resilienz der Bevölkerung durch die Implementierung diverser Maßnahmen gesteigert werden: Information, Präventionsmaßnahmen oder schadensmindernde Vorkehrungen, um zum Beispiel die physische Vulnerabilität zu senken. (FUCHS, 2009)

2.3 Mure - Terminologie und Prozesscharakteristik

Muren treten als spezifisches Naturereignis sehr oft im Alpenraum auf. Die Auslösemechanismen, Formen sowie die Auswirkungen können dabei sehr unterschiedlich sein. Sie sind stark von der gegebenen Morphometrie abhängig und das verfügbare Material definiert den Prozesstyp.

2.3.1 Massenbewegungen

Bevor auf die Prozesscharakteristik des Murgangs speziell eingegangen wird, soll auf die Einteilung dieses Prozesses im Kontext der Massenbewegungen geklärt werden. Der Überbegriff der Massenbewegungen fasst eine Prozessgruppe zusammen, die sich hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit, Auslöse- und Bewegungsmechanismus und der Materialzusammensetzung unterscheidet. Dabei sind die ausschlaggebenden Merkmale die Form, das Verhalten, Volumen, Geschwindigkeit, Fortbewegung und das Material. (DIKAU et al.,

2. Theoretische Konzeption

1996) Es kann generell zwischen Bewegungen, die aufgrund der Schwerkraft geführt werden, und jenen, die fluiddynamisch angetrieben werden unterschieden werden. (TAKAHASHI, 2007) CRUDEN (1991, in: DIKAU et al., 1996:2) fasst sich kurz und stellt das Material („a movement of a mass of rock, earth or debris down a slope“) in den Vordergrund. VARNES (1978, ebenda) fokussiert sich mehr auf die Beschreibung der Bewegung: „a downward and outward movement of slope forming materials under the influence of gravity.“

Die Einteilung der Massenbewegungen kann bezüglich deren Materialanteil erfolgen (Abbildung 5). Ist grobes Material in einem Fallprozess beteiligt, so wird von Steinschlag oder Bergsturz gesprochen. Bei einem Gemisch mit feinem Material ist eine Rutschung zu erwarten. Wenn der Prozess zum Größtenteil aus feinem Material besteht, handelt es sich um einen Erdrutsch. Je mehr Wasser beteiligt ist, desto eher kann von einer Mure gesprochen werden. Als „debris flow like“ werden zum Beispiel Lahare, Erdströme und Muren mit einem höheren Wasseranteil bezeichnet. Danach wird von fluvialen Sedimenttransporten gesprochen, die im Gegensatz zu einem Hochwasser einen gewissen bzw. höheren Anteil an Geschiebefracht mit sich führen.

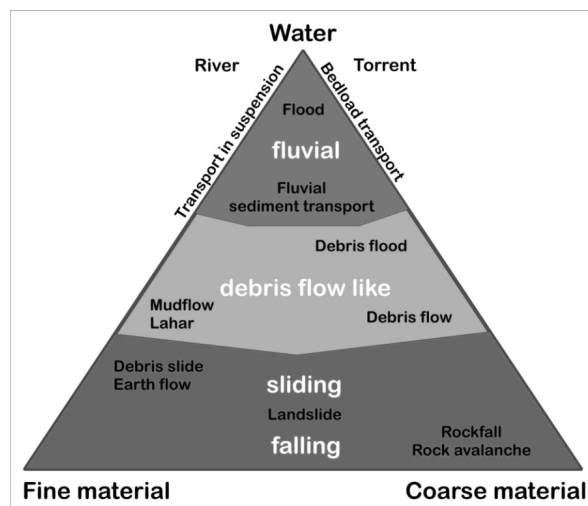


Abbildung 5: Klassifikation der Massenbewegungen nach Materialanteil (DEBRIS-FLOW.AT, 2010) modifiziert nach (PHILLIPS et al., 1991)

Bezüglich der knappen Unterscheidung zwischen fluvialen Feststofftransporten und Muren an sich, muss auf die Dichte bezogen werden. Während letzteres meist zwischen 2 bis 2,4 g/cm³ aufweist, beträgt die Dichte bei ersteres zwischen 1,3 und 1,8 g/cm³. (DIKAU et al., 1996)

Die Massenbewegungen können in mehrere Typen unterschieden werden, wobei in Bezug zum Murgang nur das Fließen herausgegriffen wird. Weitere Prozesstypen wären das Fallen, Kippen, Gleiten, Driften und eine komplexe Form. „Fließen ist eine kontinuierliche, irreversible Deformation von Fest- oder Lockergesteinen, bei der die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse der einer viskosen Flüssigkeit gleicht.“ (DIKAU et al., 2002:40)

Bei der Begriffsdefinitionen ergeben sich Schwierigkeiten hinsichtlich des interdisziplinären Forschungsfeldes und der sprachlichen Übersetzung vorwiegend aus dem anglo-amerikanischen Sprachraum. In der englischsprachigen Wissenschaft wird unter dem Begriff Landslide alle Massenbewegungen, deren Bestandteile aus Fels, Erde oder Geschiebe bestehen, zusammengefasst. Diese der Gravitation folgenden Massen werden durch einen Trigger

ausgelöst, der in den meisten Fällen aus Extremniederschläge kommt. Muren sind demnach ein Typ der Massenbewegungen, vorkommend an Berghängen. Durch Starkniederschläge wird transportierbares Material in Bewegung versetzt und das Gemisch aus Blöcken, Steinen und feinem Material gemixt mit Wasser fließt als Sturzflut ab. (MICHAEL-LEIBA et al., 2003)

2.3.2 Begriffsbestimmung

Unter einer Mure wird gemeinhin ein Wildbach mit zeitweise stark erhöhtem Abfluss verstanden, der zu einem großen Anteil Sedimente und Lockergestein mit sich transportiert. Murgangartige Geschiebeprozesse werden seit langer Zeit regional dokumentiert. Die Auseinandersetzung mit dieser Naturgefahr besteht schon seit einigen Jahrhunderten. In Tirol gibt es zum Beispiel seit etwa 400 bis 500 Jahren Murverbauungen (LUZIAN, 2002). So listet STINY (1910:56f) einige Kollegen auf, die Muren als „wandernde ungeheure Steinhäufen oder kleinen Berg“ (WALCHER, 1773) oder brüllende, steinerfüllte Meere (BERLEPSCH, 1871) bezeichnen. Manche Autoren vergleichen Muren mit Lavaströmen (STUR, 1855 und STRESSLER 1852) und letztendlich bezeichnet DOMASZWSKY (1879) sie als Schutt- und SchlammLawinen (STINY, 1910). TAKAHASHI (2007:6) beschreibt einen Murgang wie folgt: „Debris flow is a flow of sediment and water mixture in a manner as if it was a flow of continuous fluid driven by gravity, and it attains large mobility from the enlarged void space saturated with water or slurry.“ Die Erforschung von Multigefahrenzusammenhänge im Kontext der Muren und fluvialen Feststofftransporte wird erst seit etwa 30 Jahren betrieben (LIU et al., 2003), während die Terminologie und Prozesscharakteristik viel länger erforscht ist (STINY, 1910).

„The debris flow mechanisms enable solids to be carried in dense volumes due to particle suspension caused by inter-particle collision, turbulent mixing or laminar dispersion“ (TAKAHASHI, 2007:212) Eine ausreichende Scherspannung ist ebenfalls notwendig, um das Material in Bewegung zu halten. COROMINAS et al. (1996) betonen die Zusammensetzung aus feinem Material wie Sand, Ton und Schluff, groben Material wie Steine und Blöcke, die in Wasser gebunden sind. Die Mure „moves downslope, usually in surges induced by gravity and the sudden collapse of bank material.“ (ebenda S. 161) Der Feststoffanteil liegt zwischen 30 und 60 % und lässt sich so klar von Hochwasser unterscheiden. (BRÜNDL, 2009) Muren können bezüglich ihrer Materialzusammensetzung erneut unterschieden werden.

Murprozesse lassen sich klar in drei Teile trennen. Zuvorderst steht der Entstehungs- bzw. Ursprungsbereich, der Transferweg und das Ablagerungsgebiet. Die Hanggeometrie ist dabei von entscheidender Bedeutung. Der Murgang bewegt sich zumeist in einem morphologisch vorgegebenen Bachbett oder Graben fort. Sie können sich seitlich davon ausbreiten und eine Ablenkung des bestehenden Baches bewirken (BRÜNDL, 2009, STINY, 1910). Sobald eine flachere Stelle (zumeist am Ende des Hanges) erreicht wurde, wird sich der Murgang noch solange fortsetzen, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Dabei wird das Bachbett aufgefüllt und das Material des Murschwanzes breitet sich fächerförmig aus, was meist zu den größten Schäden führt. (TAKAHASHI, 2007)

Das Vorkommen von Muren ist größtenteils auf gebirgige Regionen beschränkt bzw. dort ihr Vorkommen am Häufigsten, da hier die Reliefenergie und vorhandenes Material eine

2. Theoretische Konzeption

Murbewegung möglich machen. Die Neigung muss mindestens 25 bis 30 % betragen, um einen Murprozess entstehen lassen zu können. (BRÜNDL, 2009) Das murfähige Material stammt in den alpinen Gebieten meist aus dem Schutt der Eiszeiten (LUZIAN, 2002), das durch mechanische Verwitterung in die Entstehungsbereiche gelangt (COROMINAS et al., 1996).

Diese Form der Massenbewegung ist vor allem wegen ihrer starken Zerstörungskraft gefährlich. Geschiebe- und Geröllmassen reißen Bäume, Autos und bewegliches Material mit sich und es können Schäden an Gebäuden, Infrastruktur, Straßen entstehen und Personenleben gefährdet werden (BRÜNDL, 2009). Bezogen auf Gebäude, können Muren nicht nur die Stabilität gefährden, sondern auch in das Innere dringen und weitere Schäden verursachen (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b).

2.3.3 Auslösemechanismen und Forschungsgegenstände

Neben den geologischen Verhältnissen und der Topographie, stellt der Niederschlag einen weiteren wichtigen Faktor dar. Muren entstehen oft nach langanhaltenden Regen, bei Starkniederschlägen oder werden durch verspätet auftretende Schneeschmelze ausgelöst (Luzian, 2002). „In diesem Zusammenhang müssen die saisonale Niederschlagsverteilung, die vorherrschende Windsysteme und die typischen Wetterlagen berücksichtigt werden.“ (BRÜNDL, 2009:Teil B – Muren, S. 2) COROMINAS et al. (1996) erwähnen auch Gletschersee- oder Seerausbrüche, die durch die rasche Entleerung große Schäden anrichten können. Die Murgangaktivität ist abhängig von der Größe und Zahl der Anbruchgebiete, der Niederschlagsintensität und -häufigkeit und der Bodenbedeckung (LIU et al., 2003). Weitere Faktoren sind die Topographie und der anthropogene Einfluss (DIKAU et al., 2002).

Auswirkungen von Muren hängen von einigen Faktoren ab. Als solche sind das Volumen, die Geschwindigkeit, Hangneigung, geländemorphologische Gegebenheiten, der Wassergehalt, die auslösenden Faktoren und die Blockgröße bedeutend (VAN WESTEN, 2009). Die Magnitude von Murereignissen wird generell in m³ angegeben, was sich auf die Ablagerungsvolumina bezieht. Jedoch ist es auch üblich – insbesondere im Zusammenhang mit der Vulnerabilitätsforschung – die Ablagerungen in Metern oder die Geschwindigkeit heranzuziehen. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b) Durch die Angabe der Ablagerungshöhen kann eine Intensitätskarte generiert werden (BRÜNDL, 2009).

Um eine Abschätzung von den Entstehungs- und Ablagerungsbereichen von Murereignissen zu machen, ist eine eingehende räumliche Analyse nötig. Miteinbezogen wird die Reliefenergie, die Hangneigung, die durchschnittlichen Niederschlagswerte, Bodenbedeckung und -nutzung, Bevölkerungsdichte und Landnutzungsänderungen. Die Kartierung und Datierung ist wichtig für die Vorhersage von weiteren Ereignissen. Dabei sind die Prozesscharakteristik und die auslösenden Faktoren zu bestimmen. (DIKAU et al., 1996) Muren können anhand ihrer Ablagerungsmorphologie erkannt werden: längliche Levees an beiden Seiten einer furchenartigen flachen Vertiefung und Loben am Ende der Mure sind charakteristisch (VAN STEIJN, 1996). Des Weiteren können Fließlinien an der Oberfläche erkannt werden (COROMINAS et al., 1996).

Methoden wie Lichenometrie, Dendrochronology oder C₁₄ haben sich bei der Datierung als sinnvoll erwiesen (COROMINAS et al., 1996). Des Weiteren sind Luftbildauswertungen, Feldkartierungen und die Analyse lokaler Chroniken eine Hilfe. Probleme ergeben sich durch die Überlagerung von Murablagerungen, da einzelne Prozesse oft nicht deutlich voneinander unterschieden werden können. Regionale Aufzeichnungen geben Aufschluss über die Aktivitäten in der Vergangenheit, wobei oft subjektive Einschätzungen bezüglich Ausmaß und Schaden schwer weiter verwertbar sind. Eine gute Möglichkeit zur Rekonstruktion ist die Verwendung von computerbasierten Modellierungsprogrammen (TAKAHASHI, 2007). Mithilfe derer können zusätzlich verschiedene Ausprägungen von Murprozessen modelliert werden und bieten so ein ideales Instrument bei der Erstellung von Gefahrenzonenplänen.

Insbesondere im Zusammenhang mit Murereignissen wird vom magnitude-frequency concept gesprochen. Dieses ist speziell für die Gefahrenbeurteilung relevant, da eine Reihe von Aufzeichnungen von der Magnitude und den zugehörigen Frequenzen von Ereignissen einen wichtigen Beitrag dazu leistet. Die Magnitude ist das Volumen des Ablagerungsmaterials eines einzelnen Ereignisses. Die Frequenz bezieht sich auf den zeitlichen Aspekt des Prozesses und meint die Wiederkehrperioden von Murereignissen. Durch die Kombination der beiden lässt sich die Muraktivität einer Region ermitteln. (VAN STEIJN, 1996)

DIKAU et al. (1996) erwähnen die möglichen Auswirkungen auf die Frequenz von Massenbewegungen durch die Klimaänderung und des menschlichen Einfluss in Bezug auf die Risikoanalyse. Ein Beispiel ist die Zunahme an verfügbaren Material durch das Abschmelzen des alpinen Permafrostes (SATTLER et al., 2011). Bereits STINY (1910) zeigt die „Wechselbeziehung zwischen Muren und menschlicher Kultur“ (ebenda, S. 96) auf. Der Mensch wurde damals schon als Faktor der Verstärkung des Auftretens von Muren gesehen: „(...) daß der Mensch sich allerdings in einzelnen Fällen selbst die verderbenbringende Waffe geschmiedet, bzw. zugeschärft hat, und daß ferner die Mißgriffe des Menschen kultureller Natur sich in den Zeiten schwächerer meteorologischer Einflüsse bis zu einem gewissen Grad zweifellos fühlbar machen. Der Eintritt außergewöhnlicher Elementarereignisse aber wird durch Ursachen bedingt, die weit tiefer liegen und auf die menschliche Muster- oder Mißwirtschaft seinen entscheidenden Einfluß nehmen können (...)“ (ebenda, S. 102) Die Zusammenhänge im Mensch-Umwelt-System im Bezug auf die Muraktivität sind komplex und noch nicht vollständig erforscht (LIU et al., 2003). Die Anpassung an die natürlichen Gegebenheiten und Gefahren erfolgt durch diverse Strategien, die insbesondere die Bewohner alpiner Räume im Laufe der Zeit entwickelt haben. Neben der Verbauung von gefährdeten Bereichen und Schutz der Infrastrukturen und Siedlungen, gibt es eine Vielzahl anderer Methoden, um die Gefährdung zu senken. Neben der Relokalisierung sind auch die raumplanerischen Maßnahmen zu erwähnen, die sich insbesondere in den Gefahrenzonenplänen und dem expliziten Freihalten von gefährdeten Flächen ausdrückt.

Die in diesem Kapitel erläuterten Termini Gefahr, Vulnerabilität und Risiko hängen sehr stark vom Massenbewegungstyp ab. Dabei ist die Auftretenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen. Im Zusammenhang mit dem Globalen Wandel kann von Auswirkungen ausgegangen werden, die Massenbewegungen verursachen können. (DIKAU et al., 2002)

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Dieses Kapitel beschreibt Schritt für Schritt die Durchführung der Methodik zur Erreichung der Ergebnisse. Zudem wird ein kurzer Überblick über die Datengrundlage gegeben, deren Schwerpunkt auf den Orthofotos liegt. Mit dem Fokus auf die physische und ökonomische Vulnerabilität ist es möglich, Aussagen zur Veränderung der Schadenssumme und der Siedlungsentwicklung zu machen. Unter der Zuhilfenahme der bereits erstellten Vulnerabilitätskurve, kann bei Kenntnis des Gebäudewertes eine Schadenssumme ermittelt werden.

Die Vorgehensweise ist mit dem folgenden Ablaufdiagramm veranschaulicht:

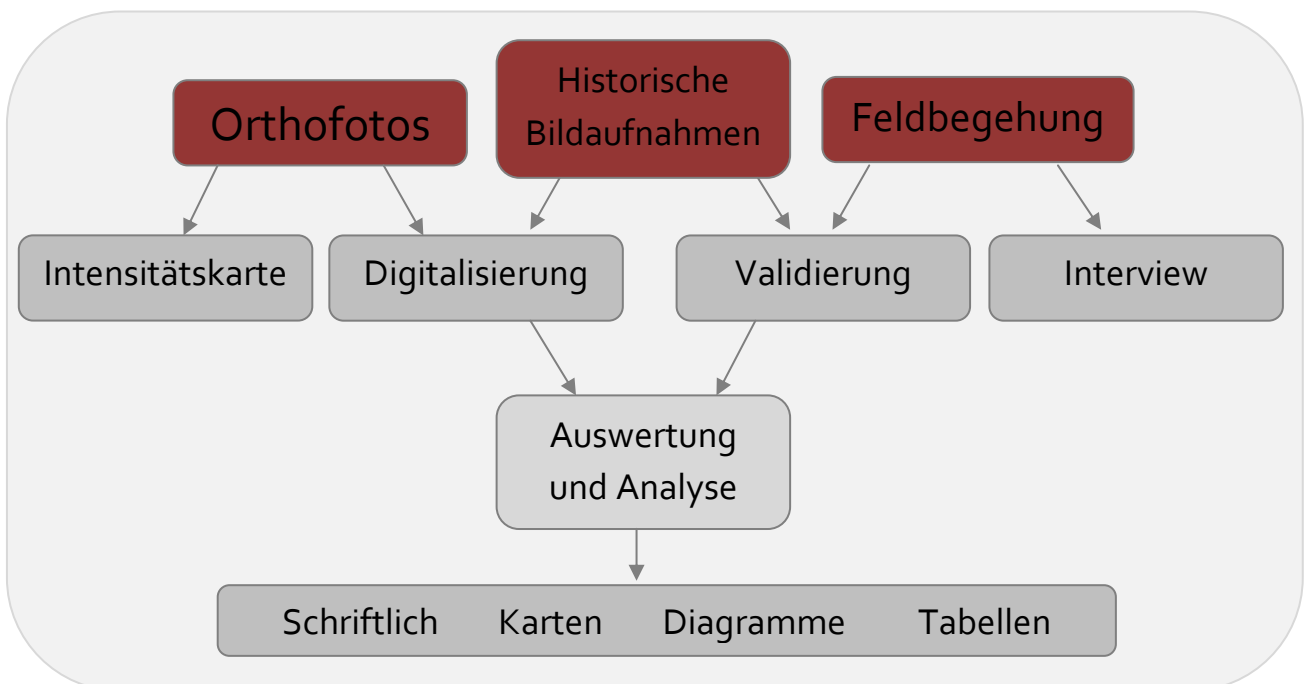


Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Methodik

Auf der Inputseite stehen die Orthofotos, historische Bildaufnahmen und die Feldbegehung. Die beiden letztgenannten Punkte werden vor allem zur Validierung verwendet. Aus der primären Datenquellen der Orthofotos werden die ersten Produkte erstellt. Zum einen ist das eine Intensitätskarte, die die Verteilung der Murablagerung im Jahr 1987 darstellt, zum anderen die Digitalisierung der Risikoelemente. Die Validierungen und Interviews mit Ortsansässigen geben zusätzliche Hilfestellungen zur Beantwortung der Forschungsfrage. Die Resultate werden ausgewertet und analysiert und in Form von Karten, Diagrammen und Tabellen dargestellt.

Anzumerken ist, dass bei der Analyse nicht das gesamte Gemeindegebiet des Martellts berücksichtigt wird, sondern nur jene Teile, die von der Mure am stärksten betroffen waren. Dies sind die beiden Ortsteile Gand und Ennewasser im Talboden, die das Fokusgebiet der Diplomarbeit darstellen (Übersichtskarte des Hauptsiedlungsbereiches befindet sich im Anhang). Des Weiteren wurden ähnliche Analysen bzw. Teile der hier verwendeten Methodik von anderen Autoren und Forschergruppen bereits durchgeführt, die im Text bei Übereinstimmungen zitiert werden.

3.1 Datengrundlage

Alle Daten, die für die Analyse im ESRI Produkt ArcGIS verwendet werden, wurden von der Autonomen Provinz Bozen Südtirol von der Abteilung für Raumentwicklung zur Verfügung gestellt (Tabelle 3). Für die Validierung werden Fotoaufnahmen verwendet, die zum einen gesammelt und digital aufbereitet wurden (UIBK, 2008), zum anderen selbst aufgenommen werden. Des Weiteren wurden für die Schadensanalyse Daten von PAPHOMA-KÖHLE (2011b) verwendet.

Tabelle 3: Digitale Datengrundlage (AUT.PROV.BZ, 2006, PAPHOMA-KÖHLE et al., 2011b)

Basisdaten	Beschreibung
Orthofotos	1954, 1985, 1992, 1999, 2003, 2006
Digitales Geländemodell	Sowohl Digitales Oberflächenmodell als auch Digitales Höhenmodell
Topographische Karte	1:5.000 und 1:10.000
Kataster	2006
Vulnerabilitätskurve	Basierend auf den beschädigten Gebäuden von 1987

Das Digitale Höhenmodell wurde mit einer Maschenweite von 20x20 m und einer Höhengenaugigkeit von ± 25 cm im Talboden und ± 45 cm in Höhenlagen aufgenommen (AUT.PROV.BZ, 2006). Der Kataster der Gemeinde dient vor allem zu Beginn der Analyse als Richtlinie hinsichtlich der Gebäudeanzahl und den Anbauten. Eine weitere Hilfe zur Vorbereitung und bei der Analyse stellt das Gemeinde GIS dar (GEMBROWSER, 2010). Hierbei gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Layern, die Auskunft über die Gefahrenzonierung, Flächenwidmung und infrastrukturelle Bauten gibt. Des Weiteren kann die aktuelle Hausnummerierung abgerufen werden, was wichtig für die zeitliche Nachverfolgung und räumliche Zuweisung der Gebäude ist.

Orthofotos sind entzerrte, lagetreue Luftbilder, die von der Autonomen Provinz Bozen Südtirol aus Luftbildern generiert wurden. Diese wurden zuerst eingescannt und digital verarbeitet bzw. seit 2006 werden die Luftbilder direkt digital erfasst (AUT.PROV.BZ, 2006). Alle Orthofotos, die für das Untersuchungsgebiet vorhanden sind, werden für die Arbeit verwendet. Die einzige Ausnahme bildet jenes von 2003, das aufgrund des kurzen Zeitabstandes zum vorhergehenden (1999) und nachfolgenden (2006) nicht gewählt wird. Somit ergibt sich zuerst eine große Zeitspanne von 31 Jahren zwischen 1954 und 1985. Jedoch resultieren die darauffolgenden Aufnahmen der Orthofotos in einer Zeitspanne von jeweils sieben Jahren, was eine direkte zeitliche Vergleichbarkeit möglich macht.

Für die Orthofotos gibt es unterschiedlich zugängliche Information, die sich mit der Aktualität stark bessert. Die Orthofotos der folgenden Jahre 1954, 1985, 1992, 1999 und 2006 werden analysiert und in der Tabelle 4 näher beschrieben.

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Tabelle 4: Parameter der Orthofotos (AUT.PROV.BZ, 2011c, UIBK, 2008)

Aufnahme-jahr	Anmerkung	Relevanz für die Aufgabenstellung
1954	Fotoabzüge 50x50 cm, im schlechten Zustand, Verzerrungen nach Scan möglich, nicht genordet, starker Schattenwurf	Information zur Siedlungsausdehnung bis Mitte der 1950er Jahre
1985	Von Bildflügen zwischen 1982 und 1985, Geländeprofile durch händische Stereoauswertung erzeugt	ideal zur Bestandsaufnahme der Gebäude und ihrer Anordnung vor dem Ereignis
1992	Von Bildflügen zwischen 1992 und 1997, handgezeichneten Höhenlinien und Kartenrahmen auf getrennten Folien – können nach Anfrage ausgegeben werden	fünf Jahre nach dem Ereignis – was hat sich verändert und wie? Wurden die Überflutungszonen wieder bebaut?
1999	Sommer/Herbst 1999 Maßstab 1:10.000 noch kein komplett digitales Produkt Reihenmesskammer, gescannt digital verfügbar Auflösung mind. 1 m	6-Jahres Abstand zum letzten Orthofoto
2006	aktuellstes Orthofoto der Flugaufnahme im Sommer 2006 Maßstab 1:10.000 vollständig digitales Produkt CCD-Kamera, keine einzelnen überlappende Aufnahmen sondern Abtaststreifen Auflösung mind. 0,5 m	6-Jahres Abstand zum letzten Orthofoto Annähernd vergleichbare Siedlungsausdehnung von 2011

Zusätzliche Informationen zu genauem Aufnahmedatum, Flughöhe etc. sind leider von Seiten der Autonomen Provinz Bozen Südtirol nicht erhältlich. Jedoch gelten zumindest für die aktuellsten Bilder die Angaben aus der Autonomen Provinz Bozen Südtirol (2006):

- Messkammern mit einer Brennweite f 150 mm
- Bildformat 23x23 cm²
- mittlerer Bildmaßstab nie kleiner als 1:15.500 für den Maßstab 1:5.000 bzw. 1:25.500 für den Maßstab 1:10.000
- Längsüberdeckung der Bilder 60% $\pm$ 5%
- Querüberdeckung 15% - 30%
- Flüge in der Mittagszeit von Juni bis September
- Witterung muss beständig und gut sein, frei von Wolken, Nebel oder Schneebedeckung

Die Orthofotos der zur Verfügung gestellten Jahre werden zuerst in ArcGIS georeferenziert und danach als Analysegrundlage herangezogen. Bei diesen Luftbildern handelt es sich um jeweils eigenständige Aufnahmen, deren Aufnahmezeitpunkt, -höhe und -durchführung variiert. Durch die Georektifizierung werden die Orthofotos vergleichbar, da sie direkt übereinanderliegen und entzerrt werden. Für die Georeferenzierung wurde das vorgeorektifizierte Orthofoto von 1992 verwendet. Als geodätisches Bezugssystem wird laut der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol das WGS 1984 verwendet, als geodätisches Datum ETRS89. Das UTM WGS 84 ist eine auf der Merkator Projektion basierende transversale Zylinderprojektion (AUT.PROV.BZ, 2011b).

Mittels Passpunkte konnten alle zur Verfügung stehenden Orthofotos und Karten verortet und übereinandergelegt werden, damit ein raum-zeitliche Vergleich möglich wird. Dafür dienten Straßenkreuzungen, der Kirchturm und andere markante Geländemerkmale. Nachdem alle Punkte georeferenziert wurden, wird der RMSE (*Root Mean Square*, Standardabweichung) kontrolliert, der bei allen Orthofotos unter 1 liegen muss. Im Normalfall genügen vier Passpunkte, zur Vergrößerung der Genauigkeit werden jedoch mindestens fünf für jede Georeferenzierung gewählt. Große Schwierigkeiten gibt es beim ältesten Orthofoto von 1954, da die Lokation der zuvor gesetzten Passpunkte in diesem alten Luftbild noch nicht existiert haben. Deswegen mussten neue, auch im Bild von 1954 verortbare Punkte gesetzt werden.

Mit dem Befehl *Rectify* werden die Orthofotos auch georektifiziert und für den weiteren Gebrauch nutzbar. Durch die unterschiedliche Qualität der Orthofotos, ist eine Ungenauigkeit nicht auszuschließen. Die Problematik der Pixelgröße und des Schattenwurfs wird im Diskussionskapitel (Kapitel 6) genauer beschrieben.

3.2 Intensitätskarte

Zu Beginn soll eine sogenannte Intensitätskarte erstellt werden, die die Mureablagerungshöhen von 1987 räumlich darstellt. Ein Vergleich dieser Karte mit der Verteilung der Risikoelemente der Untersuchungsjahre gibt ein anschauliches Bild der gefährdeten Gebäude im zeitlichen Verlauf und einen generellen Überblick, welche Gebäude bezogen auf die Ablagerungshöhe höheren Schaden nehmen könnten (QUAN LUNA et al., 2011). Durch die Intensitätskarte lässt sich das Ausmaß der Mure am besten erkennen. Die Ablagerungshöhen sind für jedes Gebäude vorhanden, jedoch ist auch die Information von den unbebauten Flächen, d.h. zwischen den Häusern, gewünscht und interessant. Die punktuelle Information ist zwar wichtig, jedoch kommen flächenhaften Daten und Informationen besonders in der Geographie eine höhere Bedeutung zu.

Die Begrenzung des Ablagerungsgebietes wird mithilfe des Digitalen Höhenmodells festgelegt. Die Hangneigung kann mit dem Spatial Analyst Tool in ArcGIS erstellt werden, woraus sich Geländestufen und Neigungen leichter erkennen lassen. Die Gebäude, die beim Ereignis existiert haben, bekommen zuvor ein weiteres Attribut hinzugefügt, das die Ablagerungshöhe darstellt. Da für die Interpolation nur Punkte berücksichtigt werden können, wird jedem Haus ein Punkt im Polygonschwerpunkt zugewiesen, was mittels der ArcGIS Option *Feature to Point* gelöst wird.

Die Interpolationskarte wird mittels dem Geostatistical Wizard in ArcGIS erstellt und die Methode des *Kriging* gewählt. Dieses statistische Verfahren erlaubt mehr Auswahlmöglichkeiten an Parametern und ist flexibler als andere. Um ein erstes Ergebnis zu erhalten, wurde die einfachere Methode des *Inverse Distance Weighting* gewählt. Das Resultat ist ähnlich wie jenes des Kriging, jedoch ist eine detailliertere Auswahl der Parameter wichtig für ein zufriedenstellendes, visuell anschauliches und realistisches Ergebnis.

Die Verwendung einer Interpolationsmethode indiziert die Annahme, dass es einen Zusammenhang zwischen räumlich benachbarten Werten gibt, der dargestellt werden soll. Das Verfahren des Kriging erfordert ein komplexeres Verständnis von statistischen

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Vorgehensweisen. Grundsätzlich wird aus punkthaften Daten eine flächenhafte Datenoberfläche ermittelt. Es ist eine Interpolationsmethode, die auf einem statistischen Schätzverfahren basiert und mehrere Analyseschritte notwendig macht. Nach einer ersten Datenanalyse wird ein Variogramm (Semivariogramm und Kovarianz) erstellt und danach werden die interpolierten Oberfläche generiert. Die Auswertung der gemessenen Punkte basiert nicht nur auf deren Distanz zueinander und zur prognostizierten Lage sondern auch in deren Anordnung. Die räumlichen Beziehungen der Punkte werden hinsichtlich ihrer Nähe zur prognostizierten Lage interpoliert. In weiterer Folge heißt das, dass sich räumliche Verteilungen mit demselben Muster im Untersuchungsgebiet fortsetzen. (ARCGIS, 2011a, 2011d)

Für diese Aufgabenstellung wird das *Ordinary Kriging* Verfahren verwendet, da es im Gegensatz zum *Universal Kriging* keine wissenschaftliche Begründung für einen Trend in den Daten gibt, da letzteres eine Abweichung miteinbezieht, die für diese Fragestellung nicht relevant ist. Dabei wird ein konstanter Mittelwert angenommen, sie sich jedoch durch eine größere Flexibilität auszeichnet (ARCGIS, 2011c). Es wird ein Modell in Form der folgenden Gleichung angenommen (ARCGIS, 2011c):

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

$Z(s)$ ist die zu ermittelnde Variable, μ stellt den unbekannten Mittelwert dar, $\varepsilon(s)$ die Standardabweichung, die angenommen werden um μ besser zu beschreiben. Das s steht für die Lokation und kann mit dem x bzw. y eines Koordinatensystems verglichen werden. Die Angabe eines Schätz- oder Messfehlers beim Kriging führt zu genaueren Ergebnissen als bei andere Interpolationsmethoden.

Aus allen vorhandenen Daten wird ein Semivariogramm erstellt, das die räumliche Variation und Abhängigkeit zwischen den Daten zueinander untersucht. Des Weiteren wird auch eine Kovarianz ausgegeben. Beide Diagramme helfen, die räumliche Abhängigkeit bzw. Autokorrelation zu ermitteln. "Spatial autocorrelation quantifies a basic principle of geography: things that are closer are more alike than things farther apart." (ARCGIS, 2011d) Weiters sind die Differenzen bei näheren oder benachbarten Punkte kleiner und werden größer bei weiter auseinanderliegenden Punkten. In diesem Fall (Abbildung 7) haben nah beieinander stehende Risikoelemente meist die gleiche Ablagerungsintensität.

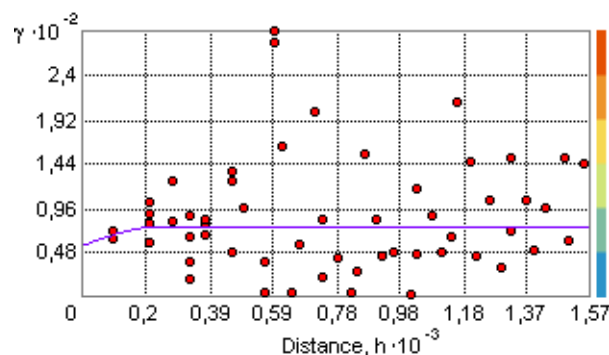


Abbildung 7: Sphärisches Semivariogramm des Geospatial Wizards mit Daten der Ablagerungshöhen

Es ist ein *Nugget-Effekt* zu erkennen, der sich durch eine Diskontinuität am Beginn der Ordinate ausdrückt und über null liegt. Das kann an Messfehlern oder mikroskaligen Variationen liegen. Die *sill* (Schwelle) ist sehr flach und erreicht schnell das Maximum. Der Abstand, bis zu der eine Abflachung der Kurve erreicht ist, wird *range* genannt. Bis zu diesem Punkt können räumliche Korrelationen auftreten. (ARCGIS, 2011b) Das Semivariogramm zeigt eine dichtere Konzentration der Punkte entlang der Linie, die Streuung nimmt mit steigender Distanz zu, verdichtet sich danach wieder etwas mehr.

In einem weiteren Schritt werden in einem bestimmten angegebenen Radius nach benachbarten ähnlichen Punkten gesucht. Jeder Punkt, der im Radius liegt, wird in die Interpolationsberechnung miteinbezogen. Am Ende steht ein Wert mit dem die Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis dem tatsächlichen Wert der Zufallsvariable entspricht, beschrieben wird.

Eine einfache statistische Auswertung in Form eines Histogrammes (Abbildung 8) zeigt einen deutlichen Schwerpunkt der Daten bei einer Ablagerungshöhe von unter 0,5 m. Ein kleinerer „Gipfel“ ist bei 1 bis 1,5 m zu erkennen und einige Gebäude wurden sogar bis zu 3 m hoch verschüttet. Zudem werden weitere statistische Kennzahlen angegeben. Der Durchschnittswert liegt bei 0,892 m, der Median bei 0,5 m und zum Beispiel das erste Quartil bei 0,1 m.

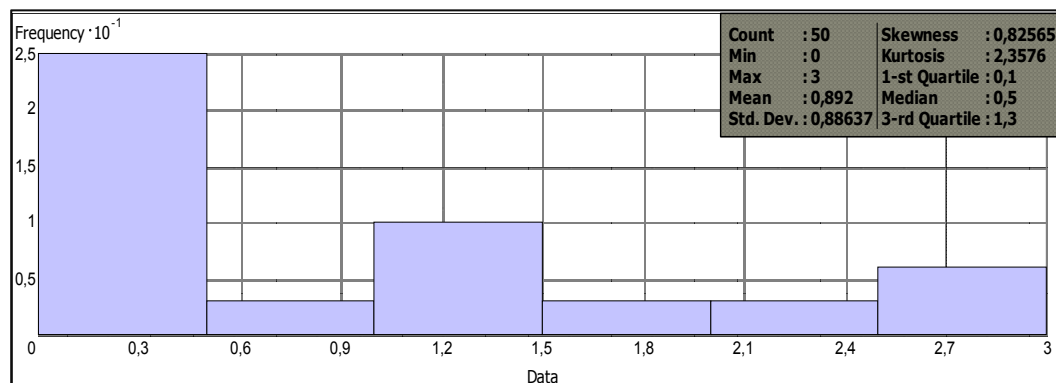


Abbildung 8: Histogramm vor dem Interpolationsvorgang

Zusätzlich zur visuellen Darstellung der Intensitäten in Form einer Karte werden die betreffenden Ablagerungsstufen den Gebäuden für jedes Untersuchungsjahr zugewiesen. Daraus lassen sich nicht nur die durchschnittlichen Ablagerungshöhen für bestimmte Bereiche des Untersuchungsgebietes bestimmen, sondern auch eine Einteilung der Schadensempfindlichkeit nach BRÜNDL (2009) erstellen. Der Begriff der Schadensempfindlichkeit kann dabei Synonym zu Vulnerabilität verwendet werden, zudem die Skala dieselbe ist. Dabei werden Durchschnittswerte herangezogen, die im Projekt EconoMe ermittelt wurden. Diese beziehen sich im Fall des Prozessstyps Murgang auf die Intensitäten und wurden in drei Klassen unterschieden – schwach, mittel und stark (Tabelle 5). Bei schwachen Intensitäten sind entweder keine Ablagerungshöhen oder nur sehr geringe zu erwarten, mittel sind alle unter 1 m und stark über 1 m. Um die ermittelten Werte eindeutig zuordnen zu können, wurde dabei nur eine Kommastelle bedacht. Die dafür verwendeten Werte beziehen sich auf die jeweiligen Objektarten. (BRÜNDL, 2009)

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Tabelle 5: Auszug der relevanten Richtwerte nach EconoMe 1.0 - Prozesstyp Murgang (BRÜNDL, 2009)

Objektnutzform	Schadensempfindlichkeit		
	Intensität		
	schwach	mittel	stark
Einfamilienwohnhaus	0,02	0,40	0,60
Mehrfamilienhaus	0,01	0,30	0,50
Garage	0,02	0,50	0,80
Hotel	0,10	0,30	0,50
Industrie/Gewerbegebäude	0,10	0,20	0,50
Öffentliche Gebäude	0,10	0,30	0,50
Stall	0,05	0,20	0,50
Schuppen	0,02	0,50	1,00

3.3 Digitalisierung der Risikoelemente

Um die Fragestellung zu beantworten, müssen die einzelnen Baueinheiten digitalisiert werden, die als exponierte Gebäude gelten. Eine bereits vorgegebene Datengrundlage ist nicht existent. Um den Anspruch des zeitlichen Vergleiches gerecht zu werden, wird diese Analyse bei allen der gewählten Orthofotos durchgeführt. Daraus ergibt sich ein komplexes Bild der Bautätigkeit und insbesondere der Veränderung der baulichen Anordnung nach dem Murereignis 1987. Die Kartierung erfolgt im ArcGIS 10 mit den Orthofotos als Digitalisierungsgrundlage. Der Kartiermaßstab liegt bei 1:1.000, da sowohl Details erkannt werden sollen, als auch die Siedlungsstruktur in der Nachbarschaft im Blickfeld bleibt. Der Fokus liegt auf dem Untersuchungsgebiet der beiden Ortschaften Gand und Ennewasser, da diese die größten Schäden zu verzeichnen hatten. Mithilfe des Katasters, welcher von der Autonomen Provinz Bozen Südtirol zur Verfügung gestellt wurde, können zumindest die Risikoelemente desselben Jahres (2006) verifiziert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Verifizierung besteht während der Feldbegehung.

Alle erkennbaren Gebäude – sowohl Wohn- als auch Wirtschafts- und Gewerbegebäude – werden kartiert und wie in der wissenschaftlichen Literatur als Risikoelemente bezeichnet. Mittels einer einfachen Flächenberechnung kann die Gesamtsiedlungsfläche ermittelt und zeitlich verglichen werden. Für die potentielle Schadensberechnung werden jedoch nur die Wohngebäude und ihre primären Anbauten wie Garagen verwendet. Das Augenmerk liegt auf den Gebäuden, weshalb Gärten, Vorplätze und dergleichen nicht berücksichtigt werden. Die Einbeziehung von Straßen würde eher in die infrastrukturelle Analyse fallen, die 1987 zwar ebenso stark geschädigt wurde, für diese Fragestellung jedoch nicht relevant ist.

Für jedes zu digitalisierende Objekt werden eigene Datasets erstellt. Allen voran natürlich die Gebäude, des Weiteren der Verkehr und der Fluss Plima als eigenständiges Gewässer. Für jedes der Datasets gibt es eine eigene *Feature Class* für jedes Orthofoto. So können zum Beispiel mit der Feature Class von geb_2006 alle Gebäude auf dem Orthofoto von 2006 digitalisiert werden. Ein simples Überlagern der Shapefiles zeigt am Ende die zeitliche Veränderung der Gebäude und der Plima. Durch das flächenhafte Digitalisieren des Flusses Plima wird eine quantitative

Analyse möglich, inwiefern sich das Murereignis auf die Regulierungsmaßnahmen des Gewässers ausgewirkt hat. Dabei soll der Frage nachgegangen werden, ob das Bachbett verbreitert wurde, wo und an welchen Stellen der Fluss reguliert wurde.

Um eine Differenzierung der Digitalisierung zu ermöglichen, wird jede Feature Class weiter unterteilt. Während dem Digitalisieren wird die betreffende Objektart ausgewählt (Tabelle 6). Dabei wird zwischen Wohngebäuden, landwirtschaftlichen, öffentlichen, touristischen und gewerblichen Gebäuden unterschieden. Dies hat den Vorteil, dass Unterscheidungen hinsichtlich der Vulnerabilität getroffen werden können. Ein landwirtschaftliches Gebäude ist weniger vulnerabel als ein Wohngebäude, in die Schadensanalyse werden nur Wohngebäude einbezogen etc. Da auf einem Orthofoto diese Zuteilung und Unterscheidung nur beschränkt möglich ist, wird dieser Teil vorwiegend während der Ortsbegehung und mithilfe von Fotos durchgeführt. In ArcGIS ist eine spätere Änderung der Objektart jederzeit möglich. Eine weitere Quelle ist die Auflistung aller touristischer und gewerblicher Betriebe auf der Gemeindehomepage (MARTELL, 2011b).

Tabelle 6: Verwendete Objektarten (AUT.PROV.BZ, 2001)

	Objektart	Bezeichnung
Gebäude	1111	Wohngebäude
	1112	Landwirtschaftliche Gebäude
	1113	Öffentliche Gebäude
	1114	Touristische Gebäude
	112	Gewerbliche Gebäude
Gewässer		Plima

Eine weitere wichtige Hilfe stellt das Gemeinde GIS dar (GEMBROWSER, 2010), das nicht nur Abfragen zum Bebauungsplan, Hausnummern sondern auch zur Wirtschaftszugehörigkeit liefert. Mithilfe dieses Tools können ausgehend vom aktuellen Stand Neubauten, die primären Wohngebäude und deren Nebengebäude und die Hausnummern festgelegt werden. Letzteres stellt sich als wichtige Analysemethode heraus, da in einigen verschiedenen Quellen (MARTELL, 1987, PERKMANN-STRICKER, 1985, PFITSCHER, 1996) mit Hausnummern und Familiennamen gearbeitet wird. Dies ermöglicht eine Rückverfolgung und eine genauere Zuweisung. PERKMANN-STRICKER (1985) hat eine ausführliche Auflistung der Gebäude ab ihrer ersten Erwähnung im Frühmesserbuch (eine lokale Kirchenchronik) erstellt. Zudem ist vermerkt, wann ein Gebäude abgerissen und neu erbaut wurde und ob es sich um einen Tourismusbetrieb handelt. Somit dienen diese zusätzlichen Quellen als detaillierte Angaben bezüglich der Objektarten und der Rekonstruktion der Siedlungsveränderung insbesondere zwischen 1954 und 1985.

Durch den starken Schattenwurf beim Orthofoto aus dem Jahr 1954 ist die Digitalisierung nur erschwert möglich. Insbesondere der Ortsteil Ennewasser und Teile von Gand sind überschattet. Um dennoch eine valide Aussage treffen zu können, wird ein Vergleich mit historischen Fotoaufnahmen durchgeführt. Viele davon sind in der Martellerchronik (PERKMANN-STRICKER, 1985) enthalten. Die Universität Innsbruck hat mit dem Projekt „Kulturlandschaft Südtirol – Der Wandel seit 1950“ (2011) einen Beitrag zur Aufarbeitung und Bereitstellung der Fotos geleistet. Hier wurde ein direkter Fotovergleich von alten Aufnahmen mit jenen von heute erstellt (siehe

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Beispiele Abbildung 9). Mit ihrer Hilfe ist ein Vergleich der damals bestehenden Gebäude visuell möglich. Weiters stellt die Fotodokumentation nach dem Ereignis eine wichtige Quelle dar. Anhand derer wurde die Vulnerabilitätskurve erstellt, da das Schadensausmaß und die Ablagerungshöhe (Intensität in Meter) abgeschätzt werden kann. Eine zusätzliche Analysemethod ist der Vergleich der Beschädigung der Gebäude 1987 und der Fotos der einzelnen Gebäude von der Geländebegehung (August 2011).



Abbildung 9: Siedlungsveränderung dargestellt an historischen und aktuellen Aufnahmen. Links oben Meiern in Richtung Zufrittspitze 1920-1933, rechts oben 2008. Links unten Ennewasser 1920-1933, rechts unten 2008. (UIBK, 2008)

Digitalisiert werden nur Gebäude am Talboden entlang der Plima in den Ortsteilen Gand und Ennewasser. Höher liegende Gebäude, die aber bei einem Murereignis nicht betroffen sind, wurden mithilfe des Digitalen Geländemodells der Autonomen Provinz Bozen identifiziert. So liegen einige Gebäude, die trotzdem zu den Ortsteilen gehören und auf den Orthofotos als benachbarte Häuser identifiziert werden, auf einer Geländestufe.

3.4 Darstellung der Siedlungsveränderung

Die Erfassung und Darstellung der Siedlungsveränderung seit 1954 im Untersuchungsgebiet ist eines der Ziele der Arbeit. Der Vergleich der Zeitpunkte ergibt ein gutes Bild über die Siedlungsdynamik zwischen zwei Untersuchungsjahren. Ausgedrückt durch Zahlen werden die Veränderungen in Tabellen und Diagrammen dargestellt. Eine visuelle Darstellung ist aber ebenso aussagekräftig. Drei beispielhafte Arbeiten sollen kurz vorgestellt werden, die die Möglichkeiten der Darstellung einer Siedlungsveränderung veranschaulichen.

Die zeitliche Analyse der Boca-Ciega-Bucht am Golf von Mexiko in der Nähe von St. Petersburg (südlich von Tampa, Florida). Abbildung 10) zeigt ein Beispiel der in großen Teilen der Welt vor sich gehende Siedlungsveränderung. Hier wurde die Bucht durch Aufschüttungen und Auffüllungen urbar gemacht, was konsequenterweise zu starken Eingriffen in das natürliche System führte. Die Ansiedlung entlang der Küsten orientiert sich an der grundsätzlichen Überlegung zur Nahrungssicherung. Im Laufe der Zeit wird weiter in das Hinterland eingedrungen und einzelne Siedlungen miteinander verbunden. (GOUDIE, 1994) Heute ist das Gebiet komplett verbaut, die „Tierra Verde“ stellt ein künstliches Gebiet dar, das in der Realität kaum grüne Flächen aufweist (GOOGLEMAPS, 2011).

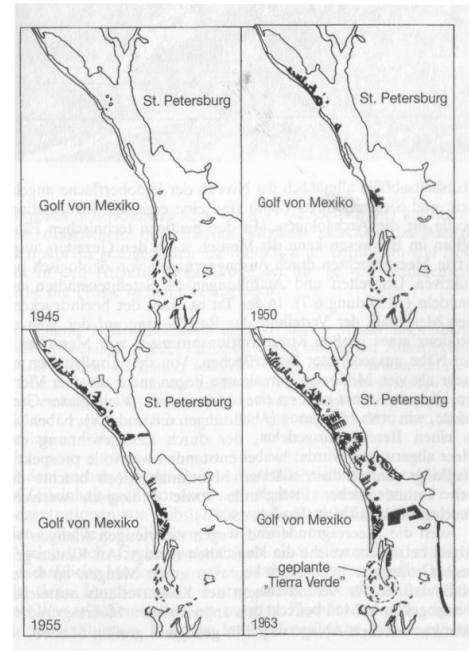


Abbildung 10: Darstellung der Siedlungsveränderung von 1945 bis 1963 in der Boca-Ciega-Bucht am Golf von Mexiko. (GOUDIE, 1994)

Ein weiteres Beispiel ist das Projekt der Universität Innsbruck, das sich mit dem Kulturlandschaftswandel in Südtirol beschäftigt hat (UIBK, 2008). Das Martelltal stellt in deren Arbeit ein Untersuchungsgebiet dar. Hierbei wurden zwar nicht die Gebäude an sich als Untersuchungseinheit ausgewählt, sondern die jeweilige Siedlungsausdehnung zu einem Zeitpunkt. Daraus können die Differenzen zwischen zwei Zeitpunkten optisch dargestellt werden (Abbildung 11). Somit ergibt sich ein klares Bild, in welchen Zeitabschnitten welcher Siedlungsbereich erweitert wurde.

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

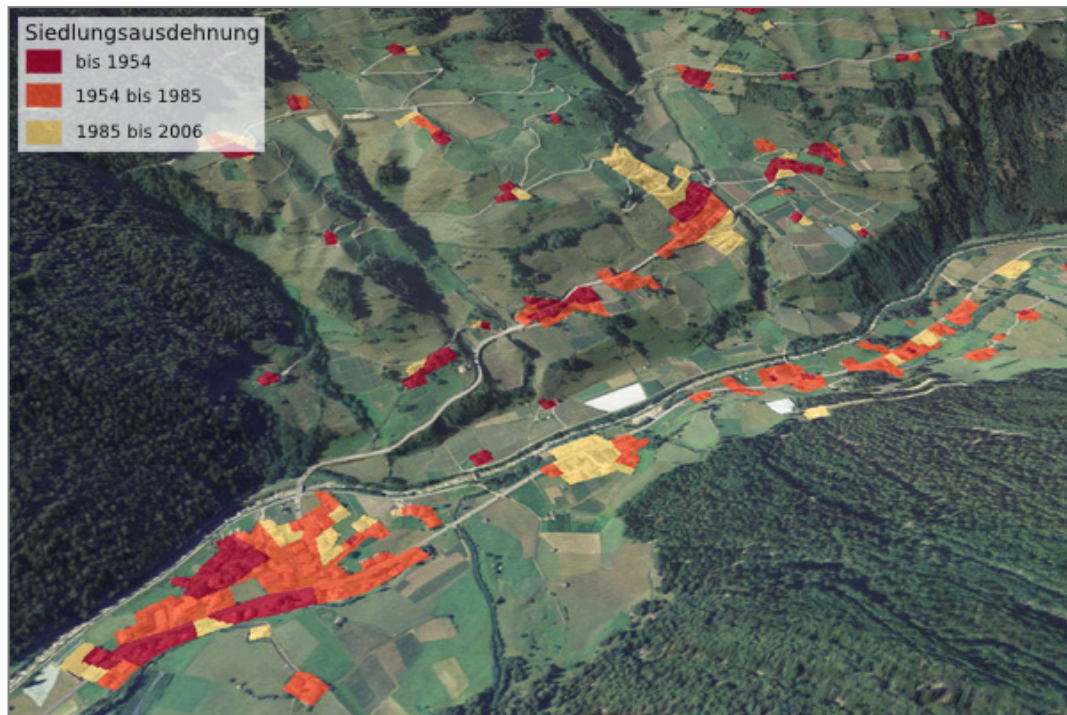


Abbildung 11: Siedlungsausdehnung Meiern, Gand und Ennewasser in drei Zeitabschnitten (UIBK, 2008)

Ein weiterer Ansatz soll mit dem Beispiel aus FUCHS et al. (2004) veranschaulicht werden. Abbildung 12 zeigt die Ablagerungsbereiche von Lawinen mit einer 30-, 100- und 300-jährigen Wiederkehrperiode. Dieser raum-zeitliche Vergleich berücksichtigt Verbauungsmaßnahmen, die zwischen 1950 und 2000 errichtet wurden und deren Auswirkung auf die Gefahrenzonen. Die linke Abbildung zeigt gefährdete Gebiete im Jahr 1950, das zweite Bild zeigt dieselben Risikoelemente, die durch eine Lawinenverbauung nicht mehr gefährdet sind. Die rechte Abbildung verdeutlicht die starke Siedlungsausdehnung und dass dadurch Risikoelemente in gefährdeten Bereichen liegen.

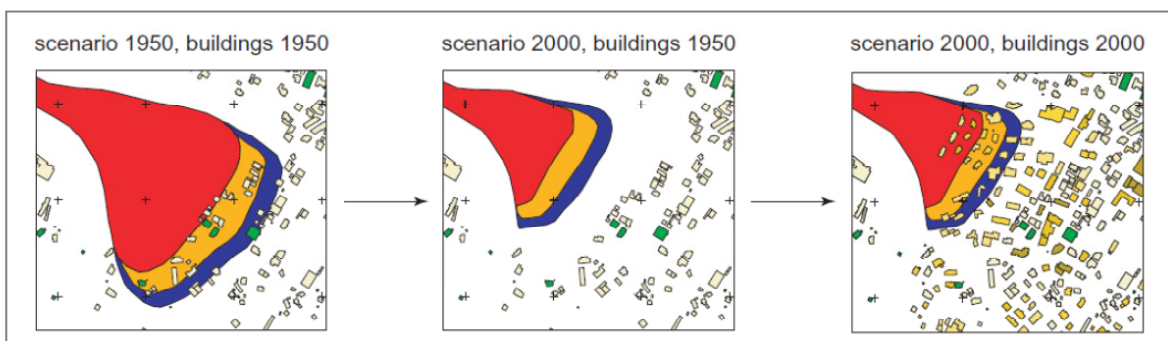


Abbildung 12: Veränderung der Risikobereiche in siedlungsnahen Zonen unter der Berücksichtigung von Verbauungsmaßnahmen (FUCHS et al., 2004)

Durch den Fokus auf die Risikoelemente und der physischen Vulnerabilität ist in dieser Arbeit die Untersuchungseinheit auf mikroskaliiger Ebene. Das heißt, dass nicht die Siedlungsflächen digitalisiert werden, sondern jede identifizierbare Gebäudeinheit. Die Ereignisdokumentation (MARTELL, 1987) von 1987 ist ebenfalls auf Gebäudeebene erfolgt, weshalb die Wahl der Analyseeinheit evident ist.

3.5 Schadenspotential

Das Untersuchungsgebiet in Südtirol soll im Folgenden in verschiedenster Weise hinsichtlich seiner Vulnerabilität gegenüber der Murgefahr aus dem Jahr 1987 verglichen werden. Hierbei wird insbesondere auf die physische Vulnerabilität, das heißt auf die Gefährdung der Gebäude, eingegangen. Die physische Vulnerabilität ergibt sich aus dem Verhältnis des Schadens am Gebäude und den Wiederherstellungskosten in Euro (STERLACCHINI et al., 2007). Deshalb wird zunächst der generelle Wert eines Risikoelements ermittelt und deren Schadenspotential auf Basis der Ablagerungsintensität ermittelt. (QUAN LUNA et al., 2011) Das Hauptaugenmerk liegt jedoch auf dem raum-zeitlichen Vergleich der Veränderung des Schadenpotentials und der Veränderung der Risikoelemente (AKBAS et al., 2009, FUCHS et al., 2004, STERLACCHINI et al., 2007). Prinzipiell erfolgt eine Rekalkulation ausgehend vom Ereignis von 1987. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Gebäude bei einer Beschädigung ebenso wie 1987 wieder vollständig aufgebaut werden bzw. eine Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes erfolgen würde (STERLACCHINI et al., 2007).

Insgesamt wurden im Jahr 1987 69 Gebäude als beschädigt bzw. komplett zerstört registriert (PFITSCHER, 1996). Davon gingen 53 in die Berechnung zur Erstellung der Vulnerabilitätskurve ein. Dafür wurden Fotos der Schadensdokumentation verwendet und zusätzlich Orthofotos zur Lokalisierung der Gebäude herangezogen. Anhand der Fotos konnte das Schadenausmaß und die Ablagerungsintensität festgestellt und die Berechnung für das Schadenausmaß durchgeführt werden. Da nicht von allen Gebäuden Fotos vorhanden waren, konnten diese nicht berücksichtigt werden. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b)

Der gesamten Analyse liegt eine Vulnerabilitätskurve (Abbildung 13) zugrunde, die für die betroffenen Gebäude in den Marteller Ortsteilen Gand und Ennewasser erstellt wurde. Die rote Linie zeigt die Vulnerabilitätskurve an, die blaue jene, die für die Validierung verwendeten Gebäude. Diese zeigt deutlich, dass je höher die Ablagerungsintensität ist, desto größer ist auch der Schaden eines Risikoelements. Des Weiteren wird die Kurve ab Intensitäten von über einem Meter steiler, was auf die Intrusion von Murmaterial durch Türen und Fensteröffnungen zurückzuführen ist. Somit können nicht nur Schäden im äußeren Bereich entstehen, sondern auch im Inneren. Ein kompletter Neubau des Gebäudes ist ab Intensitäten von 1,7 m zu erwarten (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b). Einige Risikoelemente verzeichneten trotz hohen Ablagerungen geringere Schäden in Relation zu deren Wertigkeiten, was auf die größere Anzahl an Stockwerken zurückgeführt werden kann, die den Wert eines Gebäudes steigen lassen. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b)

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

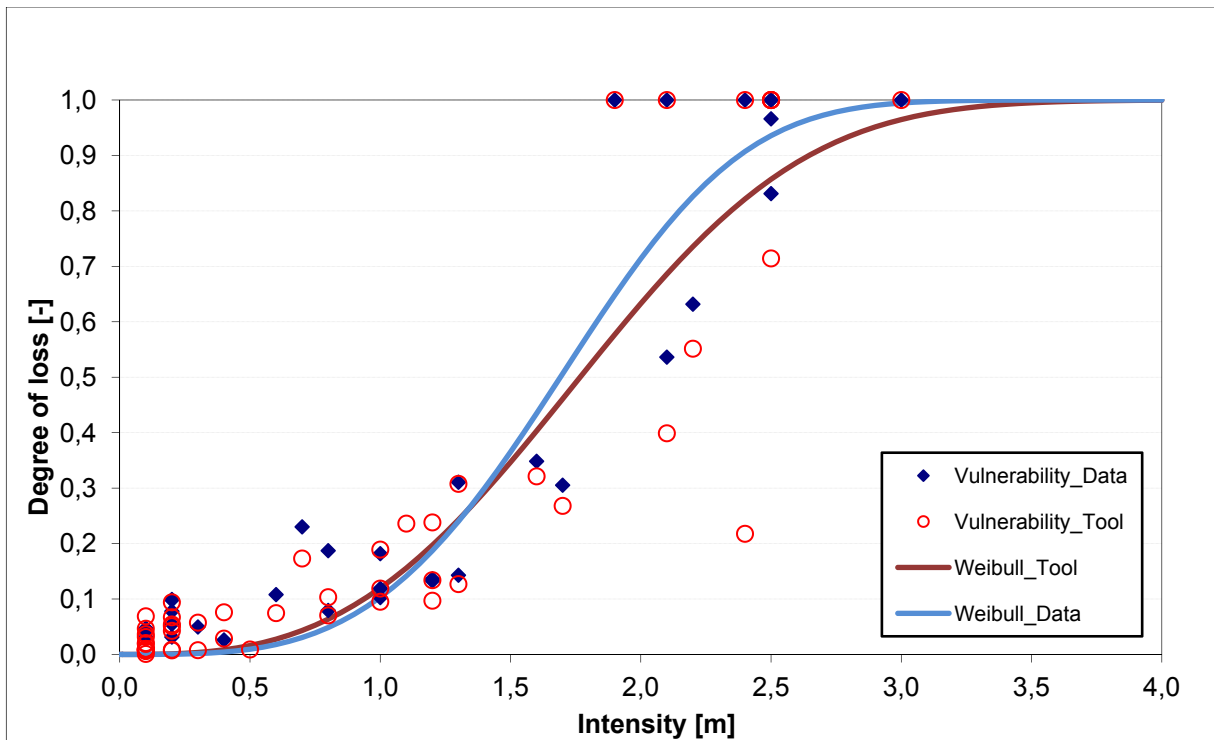


Abbildung 13: Vulnerabilitätskurve Martellital (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b)

Bei der Vulnerabilitätsanalyse wurden nur die folgenden Parameter berücksichtigt:

- Grundfläche in m²
- Etagenanzahl
- Keller
- Dachgeschoss (Unterscheidung als Dachboden oder Wohnfläche verwendet)
- Garage oder weitere zusätzliche Gebäude

Bei einer besseren Datenlage könnte die Baustruktur, das Alter des Gebäudes, die Instandhaltung durch den Besitzer, die Gebäudehöhe, das Volumen, Form, Fenster und Türen und auch die Nähe zu anderen Gebäuden, zum Gefahrenbereich und zu umliegender Vegetation miteinbezogen werden. Jedoch bietet diese Vulnerabilitätskurve eine höhere Genauigkeit, da verglichen zu anderen Studien (AKBAS et al., 2009, FUCHS, 2008, FUCHS et al., 2007) ein größerer Datensatz in die Generierung eingeflossen ist. Generell wird die Vulnerabilität für jedes Gebäude aus dem Quotienten vom Schaden und den Wiederherstellungskosten gebildet. Danach erfolgt eine Kombination mit der Ablagerungsintensität, was letztendlich eine Vulnerabilitätsgleichung ergibt, die die Prozessintensität mit der Gebäudevulnerabilität kombiniert. (FUCHS, 2008)

Für die Berechnung des potentiellen Schadens der verschiedenen Jahre werden nur Wohngebäude berücksichtigt, da diese bei der Vulnerabilitätsberechnung ebenfalls miteinbezogen worden sind. Ausnahme hierbei bilden Hotels und Pensionen sowie teilweise gewerbliche Einrichtungen, da der Wohnbereich des Besitzers zumeist in das Gebäude integriert ist. Des Weiteren werden auch öffentliche Gebäude berücksichtigt, sofern sie 1987 Schaden genommen haben und in die Kalkulation einbezogen wurden. Zusätzlich werden weitere zum Haus gehörende Bauten wie Garagen oder kleine Ställe in die Wertberechnung integriert, jedoch

gehen sie in einem geringen Ausmaß in die Berechnung mit ein. Mithilfe der Intensitätskarte kann für die neuerstellten Gebäude nach 1987 die Intensität festgestellt und zugeordnet werden.

Die Größen der Wohnflächen werden zuerst von der bestehenden Vulnerabilitätsanalyse übernommen. Für die neuen Gebäude nach 1987 wird die Fläche der Digitalisierung in ArcGIS verwendet. Hierbei kommt es zu großen Diskrepanzen und Unsicherheiten, die auf mehrere Faktoren zurückzuführen sind. Zum einen gibt es Unsicherheiten bei den Orthofotos, da Schattenwurf und Auflösung bei der Befliegung eine wichtige Rolle spielen. Zum anderen wird hier die sichtbare Fläche digitalisiert, was die reale Grundfläche der Häuser verzerrt. So vergrößert sich die Fläche alleine durch die Dachfläche, die bei den Marteller Häusern die eigentliche Hausform um etwa einen Meter überragt. Aus den Orthofotos können auch große überdachte Flächen für Fahrzeuge nicht von Zivilgebäuden unterschieden werden. Für die letzten beiden untersuchten Zeitpunkte 2006 und 1999 kann aufgrund der Geländebegehung eine Verifizierung vorgenommen werden. Die Schadensdokumentation (MARTELL, 1987) von 1987 war hier ebenfalls eine Hilfe, da bei der Vulnerabilitätskurvenerstellung nur die Wohngebäude berücksichtigt wurden. Für die älteren Orthofotos ist dies nicht möglich, da hierzu genauere Analysen der Baustruktur nötig wären.

Um zu einem der Realität entsprechenden Ergebnis zu kommen, wird eine Streuwertberechnung durchgeführt. Die Fläche von 44 Gebäuden, die auch zur Erstellung der Vulnerabilitätskurve verwendet wurden, wird für dieselben Risikoelemente der verschiedenen Zeitpunkte übernommen und dienen als Rechengrundlage. Um einen Streuwert von den digitalisierten Gebäude zu bekommen, sind einige Analyseschritte notwendig. Es werden nur jene Daten von Häusern verwendet, die auch in der Vulnerabilitätsanalyse Verwendung fanden. Das heißt, dass für die Ermittlung der Streuung nur die durch das Ereignis beschädigten Gebäude und alle seit 1987 neugebauten bzw. vor 1987 abgerissene Häuser nicht berücksichtigt werden. Somit werden besser vergleichbare Daten erhalten. Um zu einem möglichst plausiblen Ergebnis zu kommen, werden Ausreißer nicht berücksichtigt. Für jedes Gebäude wird ein Mittelwert über alle Jahre (1954, 1985, 1992, 1999 und 2006) berechnet. Danach wird die Differenz von diesem Wert und der Quadratmeter von 1987 gebildet. Das wird für jedes Haus einzeln durchgeführt, ein individueller Wert daraus erhalten und wiederum der Mittelwert von allen 44 Gebäudedaten ermittelt. Der somit erhaltene Streuwert beläuft sich auf **36 m²**. Dieser Wert wird bei jedem Haus sowohl addiert als auch subtrahiert, wodurch sich ein der Realität besser entsprechenden Streubereich bildet.

Die Berücksichtigung des Dachüberhanges in die gesamte Flächenberechnung wurde angedacht, jedoch wegen des zu starken Eingriffes in die Originaldaten wieder verworfen. Dabei hätte eine weitere Annahme getroffen werden müssen, die sich durch das Angeben eines 1 m großen Überhanges ausgedrückt hätte. Durch das Berechnen des Umfanges, das im ArcGIS problemlos möglich ist, kann die Fläche ermittelt werden, die von der Gesamtfläche subtrahiert werden könnte. Somit würde die Wohnfläche auf ein durchaus tolerierbares Maß sinken. Allerdings scheint diese Annahme weniger einen wissenschaftlich-korrekten Anspruch zu haben, weshalb darauf verzichtet wurde und mit dem statistisch ermittelten Streuwert gearbeitet wird. Eine vertiefende Diskussion zu dieser Problematik folgt im entsprechenden Kapitel 6.1.

3. Methodische Konzeption und Datengrundlage

Für die Schadensanalyse werden wie schon erwähnt nur die Wohngebäude verwendet, während bei der generellen Analyse zu den zeitlichen Veränderungen alle bebauten Flächen wie Garagen oder landwirtschaftlichen Gebäude, miteinbezogen werden. Ein Teil der für die Schadensberechnung notwendigen Daten stammen aus den GIS-Berechnungen. Ein anderer Teil beruht zum einen auf Bildmaterial (historisch und aktuell) und der Aufnahme der Daten während einer Feldbegehung. Mehrstöckige Häuser sind aus den Orthofotos und Grundrissdarstellungen nicht erkennbar, weshalb vor Ort der Aufbau der Gebäude aufgenommen werden kann. Des Weiteren soll während des lokalen Besuches die Digitalisierung verifiziert und Unsicherheiten klargestellt werden.

Die Fläche und deren Streuwert wird von der GIS-Digitalisierung verwendet, ebenso die Größe der zusätzlichen Gebäude. Bei der Feldbegehung vor Ort wird eine Stockwerkserhebung durchgeführt. Damit kann die Berechnung des potentiellen Schadens für den letzten Zeitpunkt 2006 genauer ermittelt werden. Für 1985 kann die Annahme angenommen werden, dass die Stockwerksanzahl identisch war. Für das Jahr 1954 werden zum Teil Annahmen gemacht, dass zum Beispiel kein Haus (außer der Ortlerhof, das schon damals als großes Gasthaus existierte, PERKMANN-STRICKER, 1985) mehr als 2 Stockwerke hat. Die Preise für die Wohnfläche, den Keller und das Dachgeschoss, stammen von PAPATHOMA-KÖHLE (2011), die auf Daten von KEILER (2004) und der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol (2010) beruhen. Bezüglich dem Dachgeschoss wird unterschieden, ob es als Wohnfläche verwendet wird oder als simpler Dachboden. Mithilfe dieser Angaben kann der generelle Wert von jedem Gebäude berechnet werden. Betroffen können neben dem Außenbereich, der Keller, Erdgeschoss, bei genügend hoher Intensität auch obere Geschosse, Zerstörung von Wänden, Türen, Fenstern und Interieur etc. sein (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b). Für eine Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes müssen auch die Arbeitsstunden und sonstigen Reperaturarbeiten an der Elektrizität, Malerarbeiten etc. einkalkuliert werden, deren Daten von der Autonomen Provinz Bozen (2009).

Anhand eines Beispiels vom Ortsteil Gand soll dies veranschaulicht werden. Das Wohngebäude mit der Hausnummer 27 befindet sich am südlichen Ortsende von Gand. Das klassische Einfamilienhaus im alpinen Baustil hatte 2006 zwei Stöcke und ein Dachgeschoss, das als Wohnfläche verwendet wird. Zwei weitere Gebäude dienten früher als Stall und Scheune (Abbildung 14). Die Wohnfläche – extrahiert aus ArcGIS – beträgt 269 m², wobei dies wie oben erwähnt, unrealistisch erscheint. Die Angabe des Streuwertes ermöglicht eine Annäherung an den Realwert (269 ±36 m² → 305 bzw. 233). Zuerst wird die generelle Wertigkeit (Tabelle 7) des Wohnhauses ermittelt (AUT.PROV.BZ, 2009).



Abbildung 14: Gand 27, zweistöckiges Einfamilienhaus mit zwei weiteren Gebäuden (Foto: Ekrem Canli, 2011)

Tabelle 7: Beispielhafte Wertberechnung für ein Gebäude in Gand (Linke Spalte selbst erhobene Daten, rechte Spalte (AUT.PROV.BZ, 2009, 2010, KEILER, 2004, PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b))

Wertberechnung für Gand 27		Preis
Fläche	269 ±36 m ²	1153 €/m ²
Stockwerke	2	
Dachgeschoss	als Wohnfläche genutzt	1153 €/m ² ansonsten 294,03 €/m ²
Keller	ja	575,91 €/m ²
Zusätzliche Gebäude	2, insgesamt 149 m ²	575,91 €/m ²

Berechnung des *Mindestwertes* des Gebäudes: (Fläche * Stockwerkszahl * Quadratmeterpreis) + (Dachgeschoss nicht als Wohnfläche * Preis des Dachgeschoss nicht als Wohnfläche * Fläche/2) + (Dachgeschoss als Wohnfläche genutzt * Preis des Dachgeschoss * Fläche/2) + (zusätzliche Gebäude * Fläche * Quadratmeterpreis)

$$(269 * 2 * 1153) + (0 * 294,03 * 269/2) + (1 * 1153 * 269/2) + (1 * 149 * 1153) = \underline{860.520 \text{ €}}$$

Berechnung des *Maximalwertes* des Gebäudes: Mindestwert + (Keller * Preis * Fläche)

$$860.520 + (1 * 575,91 * 269) = \underline{1.015.274 \text{ €}}$$

Aus den beiden Werten wird ein Mittelwert gebildet, was den wahrscheinlichsten Gebäudewert ergibt. (Durchschnittswert: 937.897 €)

Diese Berechnung wird insgesamt drei Mal durchgeführt – einmal für die Fläche der Digitalisierung, danach mit den Streuwerten von +36 m² und -36 m². Somit werden insgesamt jeweils drei Werte für den Wertbestand eines Hauses erhalten (Mindestwert, Maximalwert, Durchschnittswert). Für die weitere Verwendung der Daten wird der Durchschnittswert herangezogen.

Nachdem der Wert eines Hauses ermittelt worden ist, kann der Schaden durch das Murereignis berechnet werden. Hierfür sind die Daten der Intensitätskarte notwendig, da sie Auskunft über die Ablagerungshöhe in einem bestimmten Punkt geben. Die Information zur Intensität lässt sich in die bestehende *Attributes Table* des Features der Gebäude eingliedern, weshalb für jedes Haus ein Minimal-, Maximal- und Durchschnittswert ermittelt werden kann. Von den Daten der Vulnerabilitätskurve kann abgelesen werden, in welchem Punkt welcher Schaden (ausgegeben in Prozent vom Wert des Gebäudes) zu erwarten ist. Der Schaden pro Haus wird wiederum für den Wert aus der Digitalisierung und den Streuwerten berechnet. Für das Wohngebäude Gand 27 wurde die Intensität auf 1,81 festgelegt, was einem Schaden laut Vulnerabilitätskurve von 52 % der Wertigkeit macht. Somit beträgt der potentielle Schaden dieses Hauses 486.931 ±59.437 €.

Im Gegensatz zu vergleichbaren Arbeiten (FUCHS et al., 2007), wurde die Anpassung an die Inflation bereits in den Primärdaten vorgenommen. Für alle Zeitpunkte wird das Ergebnis in Euro und nicht in Lire ausgegeben. Die Berechnung der Vulnerabilitätskurve erfolgte unter Berücksichtigung des Wechselkurses von Lire zu Euro und zudem wurde eine Indexanpassung basierend auf 2009 durchgeführt. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b)

4.1 Geographische Lage

Die benachbarten Gemeinden sind Latsch und Schlanders im Norden im Etschtal, im westlichen Nachbartal Laas und Stilfs, im Südwesten Valfurva, die bereits zur Provinz Sondrio gehört, im Süden Peio und Rabbi und im östlichen Nachbartal die Gemeinde Ulten. (PERKMANN-STRICKER, 1985)

Der südliche Teil des Tales ist vorwiegend naturbelassen und vom Gletscherfeld und hochalpinen Gebieten geprägt. Der Talboden und insbesondere der Talausgang zum Vinschgau wurde zu einer Kulturlandschaft geformt, die intensiv genutzt wird. Die Gemeindefläche beträgt 14.294 ha, davon sind 23,6 % (3.380 ha) Waldfläche und nur 430 ha zählen zum Dauersiedlungsraum (UIBK, 2011) (Abbildung 16). Insgesamt sind 30,15 ha mit Gebäuden verbaut (marginale 0,21 %), wobei der Großteil aus Einzelhäusern oder Streusiedlungen besteht. Die landwirtschaftliche Fläche beträgt 373 ha (2,61 %), unterdessen Ackerkulturen deutlich überwiegen. Ein großer Teil entfällt auf das Grasland (17,1 %, 2.448 ha). Der überwiegende Teil des Martelltals, nämlich 55,4 %, besteht aus vegetationslosen Flächen, zu denen Fels, Lockermaterial in hochalpinen Bereichen und Gletscher zählen. Das „ewige Eis“ nimmt 12,2 % der Fläche des Martelltals ein. (AUT.PROV.BZ, 2007)

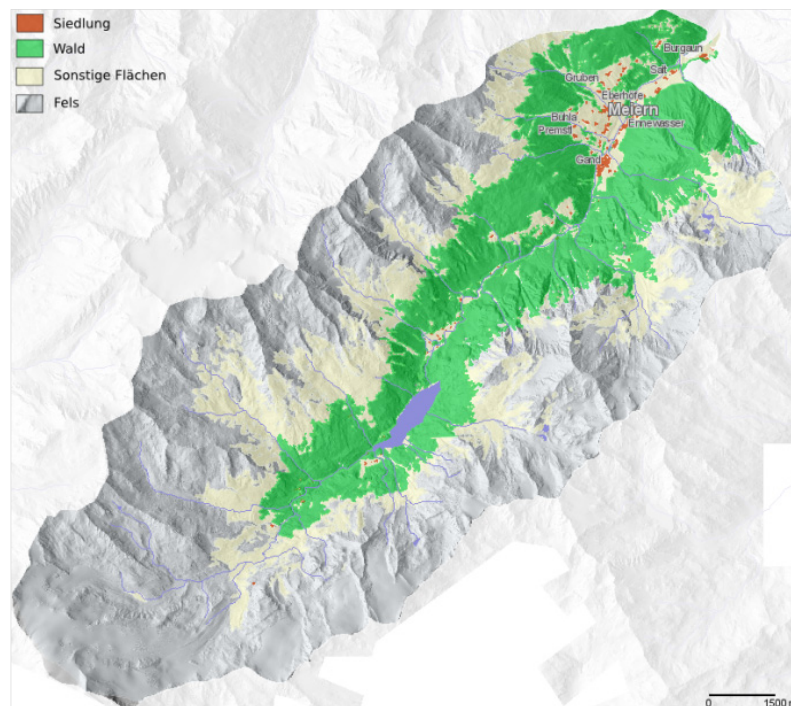


Abbildung 16: Landschaftsnutzung im Martelltal (UIBK, 2008)

4.2 Klima

Das Etschtal ist ein inneralpines Trockental mit etwa 550 mm Jahresniederschlag und das regenärmste Tal der Ostalpen (MARTELL, 2005). Das Klima ist sehr durch die umliegenden Berge und Gebirgszüge geprägt, wobei lokal auftretende Starkniederschlagszellen als Auslöser für Muren, Rutschungen und Sturzfluten gelten (BELL et al., 2010). Der Jahresmittelwert beträgt 2,8 °C (Jänner -3,1°, April 1,5°, Juli 13,1° und Oktober 4,6°C. In: MARTELL, 2005). Trotz der zentral-alpinen Lage ist die Landwirtschaft ein wichtiger Zweig der örtlichen Wirtschaft und hier insbesondere der Anbau von Obst und Gemüse.

Da es im Martelltal selbst keine Klimastation gibt, werden die Daten von der nächstgelegenen Klimastation in Schlanders/Vinschgau verwendet. Die Abbildung 17 zeigt die monatlichen Niederschlagssummen seit Beginn der Aufzeichnungen in Schlanders von 1921 bis 2010 und

4. Untersuchungsgebiet

gesondert für das Jahr 1987. Im direkten Vergleich der beiden Jahresniederschlagsverteilung zeigt sich, dass insbesondere der Monat August im Jahr 1987 besonders regenreich war. Das monatliche Mittel liegt im Jänner und Februar bei etwas über 15 mm, steigt bis zu den niederschlagsreichen Sommermonaten Juni, Juli und August auf über 60 mm pro Monat, gefolgt von etwas geringeren Niederschlagsmengen im Herbst (zwischen 45 und 48 mm).

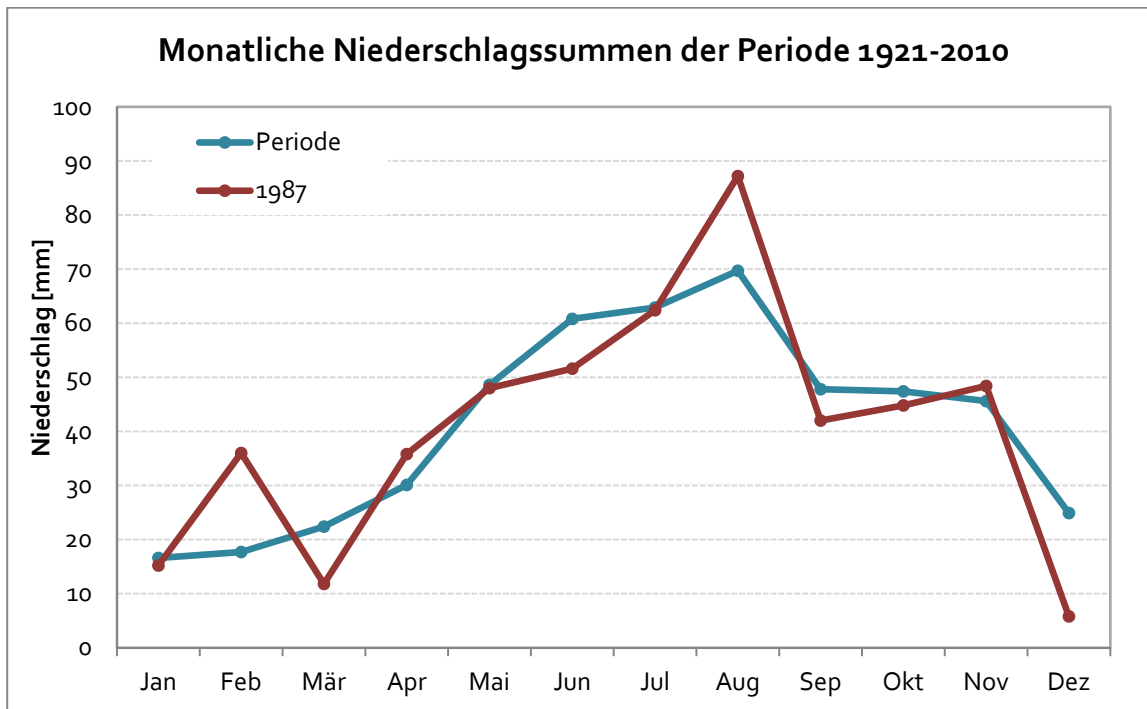


Abbildung 17: Monatliche Niederschlagssummen im Jahresgang zwischen 1921 und 2010 in Schlanders.
(Autonome Provinz Bozen Südtirol, Hydrographisches Amt)

Das Walter-Lieth-Klimadiagramm (Abbildung 18) zeigt den Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsverteilung im Jahresgang. Der Temperaturverlauf ist relativ linear steigend und in der zweiten Jahreshälfte fallend. Die Durchschnittstemperaturen in Schlanders/Vinschgau beginnen bei knapp unter 0° Celsius, steigen zuerst um 2°, dann um jeweils 4° monatlich bis Juli, wo mit 19,5° ein Höchstwert erzielt wird. Der August ist um etwa 1° kälter und die Temperatur nimmt bis Oktober schrittweise weiter ab (10,1°). Der November ist mit 4,4° bereits empfindlich kühler, der Dezember mit knapp über 0° ebenso. Verglichen mit Martell ist das mildere Klima des Vinschgaus spürbar, da höhere Maximalwerte erzielt werden. Die Jahresmitteltemperatur in Schlanders beträgt 9,9 °C, die Jahresniederschlagssumme liegt bei knapp unter 500 mm (494,5 mm). Der Aufzeichnungszeitraum für die Temperatur ist nicht durchgängig, da Daten von 1946 und jene von 1979 bis 1987 fehlen. Für den Niederschlag ist eine längere Aufzeichnungsreihe von 1921 bis 2010 vorhanden. Trotz der räumlichen Distanz zwischen Martell und Schlanders sind die Daten vergleichbar, wobei berücksichtigt werden muss, dass die morphologischen Gegebenheiten differenzierte Witterungsbedingungen indizieren. Generell ist der Vinschgau noch etwas trockener als das Martelltal oder andere Seitentäler, da die Mitteltemperatur etwas über den Vergleichswerten des Martelltales liegt, die Niederschlagssummen etwas darunter.

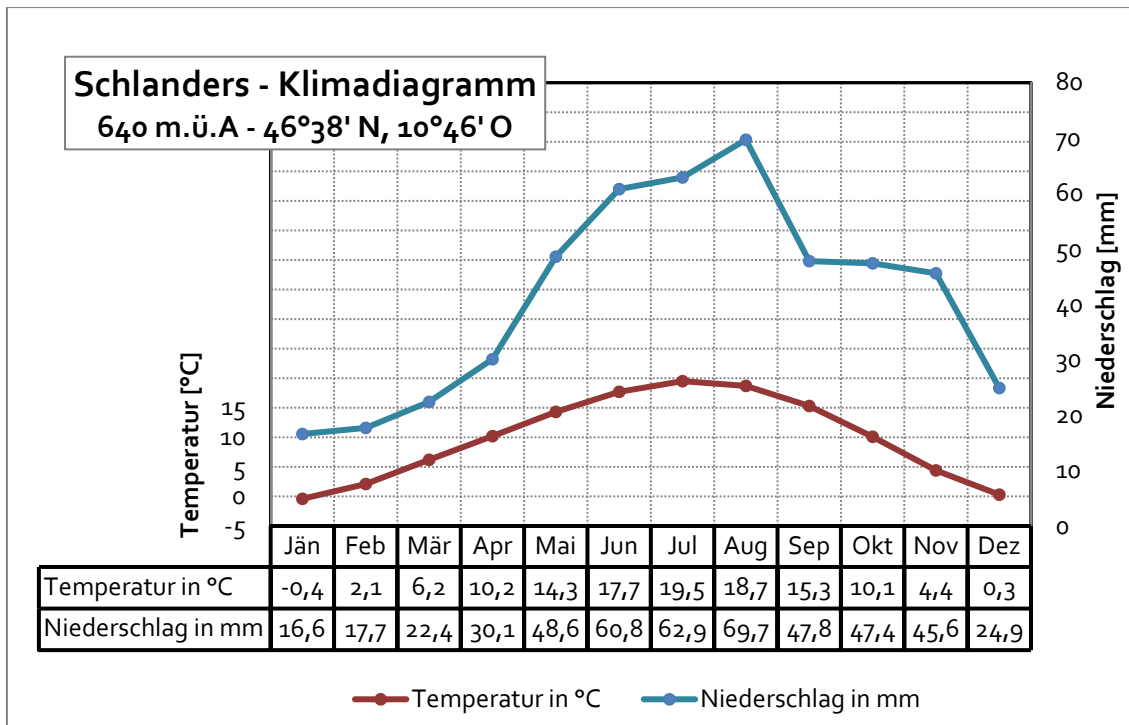


Abbildung 18: Walter-Lieth-Klimadiagramm von Schlanders (Autonome Provinz Bozen Südtirol, Hydrographisches Amt)

Ein Auswertung der Messreihen hat ergeben, dass seit Beginn der Aufzeichnungen 1926 ein leichter Temperaturanstieg zu verzeichnen ist. Insbesondere die Wintermonate sind von einem ausgeprägten Anstieg gekennzeichnet. Das Sommerhalbjahr verzeichnet hingegen kaum einen Trend in Richtung Temperaturanstieg. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist von etwa 8,6 auf 10,3°C angestiegen. Bei der monatlichen Niederschlagsverteilung im Zeitvergleich ist keine saisonale Ausprägung ersichtlich. Nur die Sommermonate verzeichneten etwas höhere Niederschlagswerte im Laufe der Zeit. Insgesamt gesehen haben sich die jährlichen Niederschlagssummen von 1921 bis 2010 von etwa 440 mm auf 540 mm erhöht.

4.3 Geologie und Geomorphologie

Das gesamte Martelltal ist durch die Abtrennung durch die pedriatische Naht südlich des Ortlermassivs zu den Ostalpen zu zählen. Die alpine Gebirgsbildung brachte vor allem metamorphe Gesteinsformationen hervor. Durch die räumliche Nähe zu dieser Störungszone sind im Tal Granite vorherrschend. (LACHEINER, 1999) Die steilen Talflanken zwischen Gand und dem Stausee werden vorwiegend vom Granit aufgebaut, der lokal besonders hell und grobkörnig ist. Die Zeburu und Madritsch Linie vereinigen sich beim Zufrittstausee und bilden die Zeburu Schuppenzone. Sie besteht vor allem aus Phylliten und Quarzphylliten des Ortler-Campo Kristallins, die zu geringeren Anteilen von Schiefen, Quarziten und Gneisen eingelagert sind. Die Zeburu Zone schob sich über die Pejo Einheit, die am Westrand des Zufrittsees aufgeschlossen ist. Diese ist durch Paragneise und Glimmerschiefer gekennzeichnet. Im Bereich des Stausees herrschen vor allem Glimmerschiefer vor, die von Pegmatitgängen durchzogen sind. Durch die spezielle Faltung sind Marmorbänder sichtbar eingelagert, die sich nicht nur im hinteren sondern auch vorderen Talbereich finden. Die dort vorherrschende Laaser Einheit

4. Untersuchungsgebiet

zeichnet sich durch Paragneise und Glimmerschiefer aus, in denen auch Pegmatitgneise eingelagert sind. (MAIR et al., 2007)

Die folgende Abbildung 19 veranschaulicht die geologischen Gegenheiten im südlichen Vinschgau. Im vorderen Talbereich herrschen Glimmerschiefer und Paragneise vor, die von Marmor durchzogen sein können. Der Talboden ist von quartären Sedimenten bedeckt. Hinter der Gand schließt sich Marteller Orthogneis (Granit) an, der bis zum Stausee formgebend ist. Hinter dem See folgt die Zebbru Schuppenzone mit Quarzphylliten.

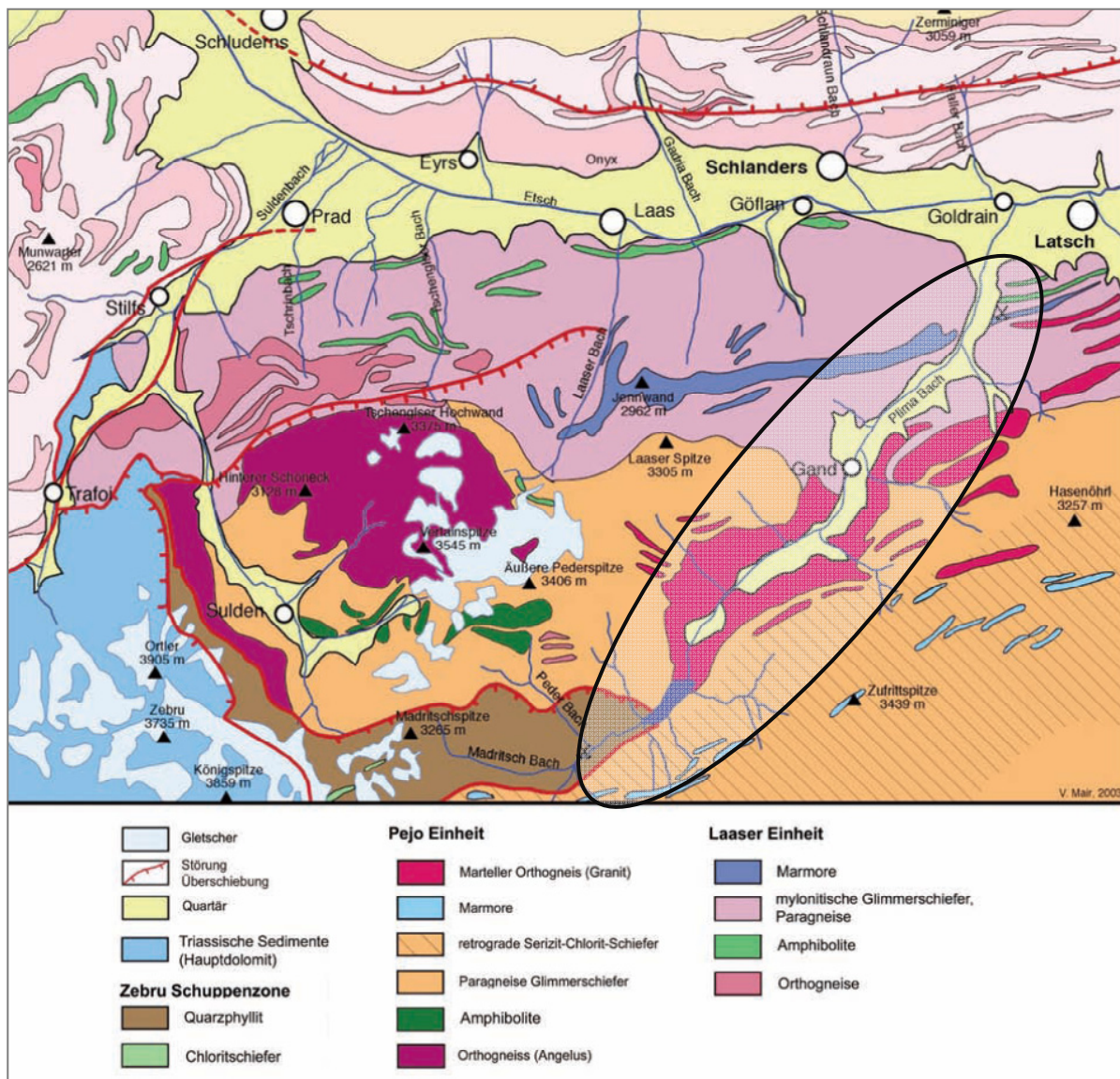


Abbildung 19: Vereinfachte geologische Karte des Ortler-Campo Kristallins, Martelltal hervorgehoben (MAIR et al., 2007)

Das Martelltal ist klassisch glazial geprägt und wurde seit der letzten Eiszeit durch verschiedene Prozessdynamiken entsprechend überformt. Das Tal weist mehrere Stufen auf, die das hochalpine Gebiet mit dem breiten Talgrund des Vinschgaus verbindet. In den hochalpinen Zonen ist der glaziale Formenschatz deutlich sichtbar. Moränen zeigen den früheren Gletscherstand an, Schmelzwasserbäche formen das Gletschervorfeld und die Gletscher selber haben immer noch eine flächenmäßig große Ausdehnung. Das stufenförmige Kar geht in ein

breites Tal über, das vor allem von einer steilen Felsenzone dominiert wird. Die Plima bildete eine tiefe Schlucht aus, um die Höhendifferenz zu überwinden. An deren Ende befindet sich der Zufrittstausee, der durch seine Staumauer eine markante Geländekante bildet. Das Tal zeichnet sich durch abwechselnd enge und einige breitere Stellen aus, die heute vor allem für wirtschaftliche Zwecke (u.a. Biathlonzentrum, Felder, Almwirtschaft) genutzt werden. Ab Gand verbreitert sich der Talboden wieder etwas mehr, was eine Besiedlung an den Ufern der Plima ermöglicht. Am Talausgang zum Etschtal trennt ein Felsriegel den deutlich ausgebildeten Schuttkegel vom Martelltal. Die Talflanken sind im gesamten Einzugsbereich sehr steil und größtenteils bewaldet.

Die Länge der Plima ist auf rund 28 km zu beziffern und die Einzugsgebietsgröße beläuft sich auf 162 km². Etliche kleinere Wild- und Gletscherbäche nähren den Hauptfluss des Tales, der im Vinschgau in die Etsch mündet. Vorrangig sind der Pedertalbach, der Soybach und der Flimbach bei Gand zu nennen (AUT.PROV.BZ, 2011d). Die Abflussmengen steigen somit zunehmend in Richtung Talausgang, wobei die meisten Zuflüsse im Gletscher(nah)bereich bzw. beim Zufrittsee zu verzeichnen sind. Der Bau eines Stausees hat den Abfluss und auch das Auftreten von Hochwasser verringert, jedoch die Katastrophe vom 24. August 1987 erst wirklich möglich gemacht.

4.4 Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung

Seit Jahrhunderten ist das Tal besiedelt und wird als Kulturlandschaft genutzt. Die Siedlungsgeschichte des Tales reicht bis in die vorgermanische oder sogar vorrömische Zeit zurück. Laut historischen Aufzeichnungen sollen im Laufe der Jahrhunderte die Sonnenhänge und Almen immer mehr genutzt worden sein und im 13. Jahrhundert soll die Hauptsiedlungsperiode abgeschlossen gewesen sein. Dauersiedlungen werden seit 1100 vermutet und 1340 wurde Martell das erste Mal als Gemeinde erwähnt. Im Jahre 1427 gab es 50 Haushalte, wobei diese aus mehreren Generationen und kinderreichen Familien zusammengesetzt waren. Die Einwohnerzahl schwankte aufgrund von Krankheiten und Epidemien, wurde aber durch Einwanderungswellen in das Tal wieder erhöht. Die ersten belegbaren Zahlen sind aus den kanonischen Büchern entnommen und mit den statistischen Erhebungen bis heute in der nachfolgenden Grafik dargestellt (Abbildung 20). Eine größere Auswanderungswelle gab es zwischen 1940 und 1942, da 290 Marteller in das Deutsche Reich auswanderten, von denen aber nur mehr 10 % nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges 1945 zurück kamen. (PERKMANN-STRICKER, 1985) Pendelte die Einwohnerzahl im 19. und im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts zwischen 900 und 1000 Einwohner, so liegt sie seit den 1950er Jahren eher mehr zwischen 800 und 900. Der leicht negative Bevölkerungstrend ist vor allem auf die periphere Lage und die fehlenden alternativen Beschäftigungsmöglichkeiten zurückzuführen, die viele Marteller zur Migration zwingen. (MARTELL, 2011a)

4. Untersuchungsgebiet

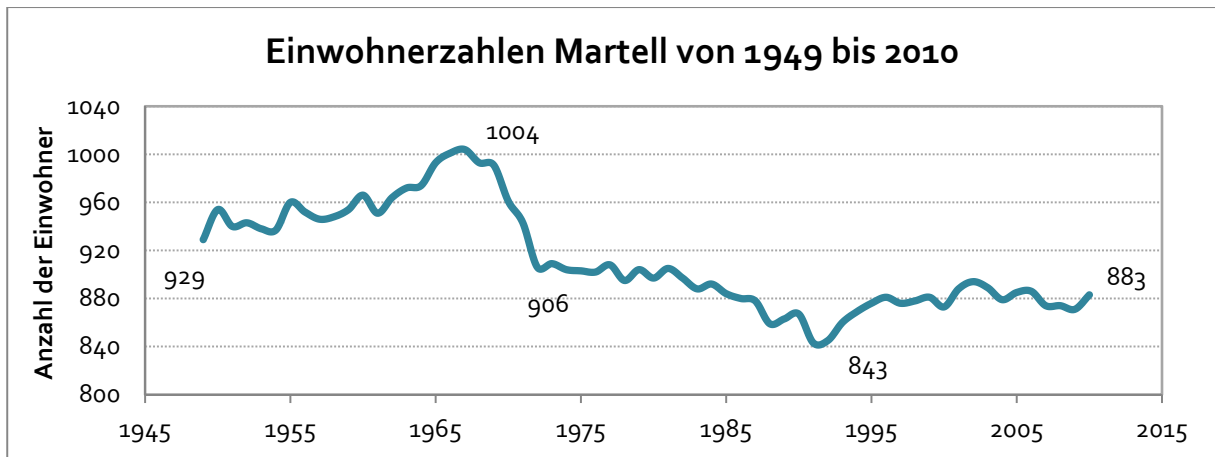


Abbildung 20: Einwohnerzahlen von Martell zwischen 1981 und 2009. (MARTELL, 2011a)

Die Siedlungen befinden sich hauptsächlich auf der Sonnenseite der vorderen Talhälfte, mit Ausnahme von Gand (von Unterwald bis zum Flimbach) am Talboden. Dieser Ortsteil musste ob seiner sumpfigen, schattigen Lage erst kultiviert werden, hat sich aber seit dem 2. Weltkrieg flächig sehr ausgeweitet. Zu den weiteren Ortschaften zählen das langgestreckte Ennewasser, das an die Gand anschließt (mit Bad Salt), Mayern (von Farma bis Flura), Sonnenberg (von Eberhöf bis Steinwand), Ennetal, Waldberg, Hintermartell und der Hauptort Thal. (PERKMANN-STRICKER, 1985) Besonders häufig finden sich Einzelhöfe, die meist aus einem Wohnhaus mit Wirtschaftsgebäude bestehen. (UIBK, 2008) Alle Bewohner Martells gehören der deutschen Sprachgruppe an. Südlich des Ortler Hauptkammes befindet sich bereits die Lombardei und das Trentin, weshalb dieser die Grenze zwischen den beiden Sprachgruppen bildet. (PERKMANN-STRICKER, 1985)

4.5 Wirtschaftliche Wertschöpfung

Die wirtschaftliche Entwicklung im Martelltal hat sich seit dem Industriezeitalter ähnlich wie andere alpine Regionen verhalten (BÄTZING, 2003). Der sektorale Wandel hat erst später eingesetzt, was vorwiegend auf die periphere Lage zurückzuführen ist. In früheren Zeiten war auch der Bergbau von Bedeutung, wobei vor allem Eisen, Kupfer und Silber abgebaut wurden (PERKMANN-STRICKER, 1985). Bis heute hat die Landwirtschaft einen hohen Stellenwert im Tal. Die Hälfte der 137 landwirtschaftlichen Betriebe werden im Haupterwerb bewirtschaftet. Den größten Anteil nimmt immer noch die Viehhaltung (1,7 Schafe und Ziegen pro Einwohner) ein, da rund 44,5 % aller Betriebe eine Rinderhaltung betreiben. Des Weiteren spielt die Grünlandwirtschaft eine wichtige Rolle, die ob der klimatischen Bedingungen Bewässerung erfordert. Durch vermehrten Obstanbau ab den 1980er Jahren ging die Produktion des Getreides zurück, wodurch auch die Mühlen verschwanden. (UIBK, 2008) Das Martelltal rühmt sich mit dem Faktum, das höchstgelegene Erbeergebiet Europas zu sein, was vor allem am milden und trockenen Mikroklima liegt. (MARTELL, 2011b) Viele Äcker wurden durch Wiesen ersetzt und durch die verbesserte Bewässerungstechnik führte eine größere Heuernte zu einem Anstieg der Rinder. Die Beschäftigtenzahl im primären Sektor nimmt seit Jahrzehnten in Europa ab, derselbe Trend ist auch im Martelltal zu bemerken. 1951 waren noch über 300 Personen in der Landwirtschaft beschäftigt, zur letzten Volkszählung 2001 waren es knapp unter 100.

Verglichen mit der Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe, die nur wenig gesunken sind, werden diese von einer geringen Anzahl an Arbeitskräften geführt. Die meisten landwirtschaftlichen Betriebe werden als Familienunternehmen bewirtschaftet. Im Jahr 2000 waren nur 94 externe Arbeitskräfte in der Landwirtschaft eingestellt. (UIBK, 2011) Die landwirtschaftliche Nutzfläche ist in den 1980er Jahren von 2.500 ha auf 4.500 ha angestiegen, was mit der Intensivierung des Obstanbaus zusammenhängen könnte. (MARTELL, 1998)

Daten zum Bruttoinlandsprodukt sind auf Gemeindeebene nicht verfügbar, jedoch ist die Wertschöpfung ebenso ein guter Indikator zur wirtschaftlichen Situation. Tabelle 8 zeigt die Wertschöpfungszahlen von 2008 (WIFO, 2008), absolut für Martell und Südtirol, für Martell zusätzlich in Prozent für jedes Gewerbe für das Tal selbst, für den Vinschgau in Relation zur gesamten Provinz. Die Landwirtschaft ist im Martelltal das wichtigste Gewerbe, das fast ein Drittel der Wertschöpfung erwirtschaftet. Danach folgt das Gastgewerbe mit über 2,8 Millionen € und 20 % an der gesamten Wertschöpfung. Die Dienstleister und das Baugewerbe sind weitere wichtige Branchen. Der Handel liegt abgeschlagen mit 1,5 % und erwirtschaftete nur rund 209.000 €. Die Wertschöpfung des Vinschgaus trägt zur gesamten Wertschöpfung des Südtirols mit nur 5,8 % nur wenig bei. Der Landwirtschaftssektor ist hier wiederum am stärksten vertreten, während in der gesamten Provinz die Dienstleister den größten Beitrag zur Wertschöpfung liefern. Im Vinschgau ist der Handel auch ein großer Wertschöpfungsleister, wobei der Beitrag im Bezirksgemeinschaftsvergleich bei 9 % liegt.

Tabelle 8: Hochgerechnete Wertschöpfung 2008 für Martell, Vinschgau und Südtirol in Euro (WIFO, 2008)

Wirtschaftszweige	Martell absolut	%	Vinschgau in % von Südtirol	Südtirol
Landwirtschaft	4.273.840	30,1	12,9	996.727.585
Gastgewerbe	2.819.766	19,9	9,5	1.631.756.829
Dienstleister	2.365.458	16,7	2,3	4.312.775.108
Baugewerbe	2.341.845	16,5	6,1	1.328.340.328
Verarbeitendes Gewerbe	1.575.032	11,1	4,6	2.340.497.434
Öffentlicher Sektor	591.557	4,2	5,3	2.815.541.457
Handel	209.050	1,5	9,0	1.939.875.758
Gesamt	14.176.548	100	5,8	15.365.514.500

4.6 Tourismus

Der Tourismus stellt im Martelltal einen nicht unbedeutenden Faktor dar und ist in Bezug auf eine weitere Thematik der Arbeit – dem Globalen Wandel – als erwähnenswert und wichtig anzusehen.

Das Martelltal verbindet unberührte Naturlandschaften mit seit Jahrhunderten bestehende Kulturlandschaften. Durch die Einbettung in den Stilfserjoch Nationalpark ergeben sich viele Möglichkeiten für die Gemeinde, in diesem Wirtschaftssektor zu wirken. Der Nationalpark wurde im Jahr 1935 gegründet und ist mit einer Fläche von 134.620 ha der viertgrößte Nationalpark in Italien. Mehr als 40 % davon liegen in Südtirol, der restliche Teil im Trentin und der Lombardei. Durch die Eingliederung ganzer Täler und Gemeinden entsteht ein sehr

4. Untersuchungsgebiet

komplexes und vielfältiges Gebilde an Landschaften und Lebensräume. Die Aufgabe des Parkes besteht vordergründig am Schutz der Landschaft, deren Pflege, der Aufrechterhaltung des ökologischen Gleichgewichtes und der regionalen Wirtschaftsentwicklung. Zudem wird auch der Schwerpunkt auf die Erhaltung des Bestehenden gesetzt, was auf die Vielfalt der Lebensräume, das biologische Gleichgewicht und die lebenswerte Umwelt für den Menschen abzielt. (MARTELL, o.J.) Es kann davon ausgegangen werden, dass der Nationalpark die touristische Entwicklung im Tal positiv beeinflusst hat, da Exkursionen, Führungen und Ausstellungen angeboten werden. (UIBK, 2008) Die vorbildliche Ausschilderung der Wanderwege und Routenplanung ist ein weiterer Faktor, der von Touristen als positiv angesehen wird.

Schon früh wurde an die Erweiterung des Tourismus gedacht, weshalb das Hotel Paradies im hinteren Teil des Tales im Jahr 1935 eröffnet wurde. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde es jedoch aus Rentabilitätsgründen geschlossen und seitdem nicht wieder renoviert und geöffnet (PERKMANN-STRICKER, 1985). Neben einigen Hotels, Pensionen und Gasthäusern wurden in den folgenden Jahrzehnten auch infrastrukturelle Einrichtungen für den Tourismus erstellt. Erwähnenswert ist das Biathlonzentrum und das culturamartell, das eines der Besucherzentren des Stilfserjoch Nationalpark ist. Heute spielt vor allem der Sommertourismus eine große Rolle, während sich die Wintersaison nach der Entscheidung, keinen Skilift zu errichten (WALDER, 2011), auf die Ausführung von Biathlonbewerben beschränkt. Die Identifikation mit dem Sanften Tourismus ist umstritten, da zwar in einigen Stellen (MARTELL, o.J.) davon die Rede ist, die volle und bewusste Umsetzung jedoch schwer möglich ist (WALDER, 2011). Dafür müssten weitere Standards erreicht werden, die vor allem aus finanziellen und Rentabilitätsgründen nicht realisierbar sind. (ebenda)

Die Daten zum Tourismus (WIFO, 2010) sind seit 1972 digital erfasst und werden in einigen Aspekten im Folgenden dargestellt. Zwischen Mitte der 1970er Jahre und Ende der 80er Jahre gab es einen signifikanten Anstieg an der Anzahl der Beherbergungs- bzw. Gastbetriebe, die danach wieder leicht gesunken ist. Ebenso ist die absolute Bettenanzahl von vormals knapp 500 (1972) auf über 1.000 in den 1980er Jahren angestiegen. Nach der Jahrtausendwende kam es zu einem abrupten Rückgang von 963 auf unter 700 Betten. Somit kamen damals ca. 1,2 Gästebetten auf jeden Marteller Bürger. Heute liegt der Wert mit 0,8 immer noch über dem Südtiroler Länderschnitt von 0,4. Die meisten Gäste kommen aus Deutschland, gefolgt von den italienischen Staatsbürgern. Österreicher und Schweizer machen eine etwa gleiche Anzahl in den Ankünften und Nächtigungen aus. Gäste aus anderen Ländern tragen durchaus einen großen Beitrag zu den Gesamtzahlen bei. Verglichen mit dem Vinschgau verlief die touristische Entwicklung im Martelltal weniger stark, aber immer stetig. Die Entwicklung der Ankünfte und Nächtigungszahlen, dargestellt in Abbildung 21, zeigen einen positiven Verlauf. Die Zahl der Ankünfte hat kontinuierlich zugenommen, während die Nächtigungen in den 1980er und frühen 1990er Jahren auf einem Niveau von etwa 35.000 – unterlegen von jährlichen Schwankungen – stagniert haben. Zur Jahrtausendwende gab es jedoch einen Anstieg auf zuerst über 50.000, einige Jahre später auf über 60.000 Nächtigungen pro Jahr.

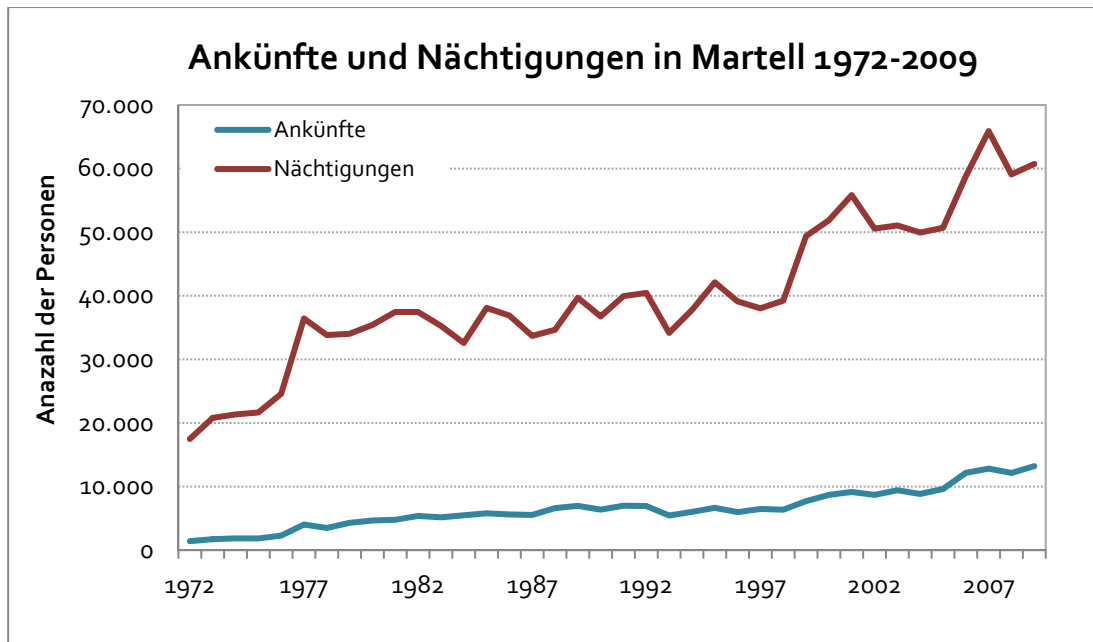


Abbildung 21: Touristische Kennzahlen im Zeitverlauf in Martell - Ankünfte und Nächtigungen von 1972 bis 2009 (WIFO, 2010)

Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer gemessenen an den Nächtigungen und Ankünften, lag zu Beginn des Aufnahmezeitpunktes 1972 bei 12,2 Nächten. Seitdem sinkt der Wert kontinuierlich und liegt heute bei 4,6. Am längsten bleiben immer noch die Deutschen mit durchschnittlich 5,5 Nächtigungen. Hervorzuheben ist auch, dass die unter „Andere Länder“ zusammengefassten Gäste insbesondere in den 1980er und 1990er Jahren deutlich länger im Martelltal verweilen als alle anderen Gästegruppen. Dies kann eventuell an der längeren Anreisedauer liegen, die für die Nachbarländer bzw. Italien selbst geringer ist. Verglichen mit der Autonomen Provinz Südtirol (2009 5,1 Nächte) ist die Aufenthaltsdauer der Gäste im Tal jedoch kürzer.

Für die Aufgabenstellung der Arbeit ist natürlich die touristische Entwicklung nach dem Ereignis von 1987 relevant. Die Bevölkerungszahl hat um 19 Personen abgenommen, ebenso die Bettenanzahl um 54, da zwei Gastbetriebe eingestellt wurden. Jedoch nahmen die Ankünfte sowohl im Ereignisjahr als auch im Folgejahr zu und überschritten zum ersten Mal die 6.000er Hürde. Des Weiteren war ein Plus von 1.000 Nächtigungen zu verzeichnen (1986: 36.890, 1987: 33.690, 1988: 34.656), nachdem 1987 doch etliche Nächtigungen entfallen sind. Der vorangegangene Trend des steten Anstiegens der Nächtigungszahlen wurde durch das Ereignisjahr und das Folgejahr kurzzeitig unterbrochen. Jedoch verzeichnete 1989 mit 39.696 einen vorher noch nie dagewesenen Höchststand an Nächtigungen. Zusammenfassend lassen sich aus der jährlichen Statistik keine Hinweise auf einen Einbruch oder starken Rückgang des Tourismus im Martelltal infolge des Ereignis von 1987 finden. Leider stehen keine ökonomischen Daten zur Verfügung, die einen indirekten Schaden sowohl im Tourismussektor als auch im Gewerbe in monetären Verlusten fassen können. Zudem können die individuellen Schäden nicht erfasst werden, da am 24. August 1987 nicht nur die Marteller viele Verluste erleiden mussten, sondern natürlich auch die Gäste (WALDER, 2011). Viele haben ihr Auto in den Schlammmassen verloren, wofür keine Versicherung aufgekommen ist und die Geduld, die Betreibergesellschaft des Staudamms zu verklagen, nicht aufgebracht werden konnte.

4.7 Natürliche Gefährdung? Das Murereignis vom 24. August 1987

Der Mensch hat sich schon seit jeher an die Ufer von Flüssen, Seen und Meeren angesiedelt (AUT.PROV.BZ, 2009, GOUDIE, 1994), da die Bedeutung des Wassers als Lebensgrundlage früh erkannt wurde. Die Gefährdung durch Naturkatastrophen wie Hochwasser, Überschwemmungen, Tsunamis oder im Gebirge durch Vermurung, wird von der Bevölkerung zumeist in Kauf genommen. Anpassungsstrategien wurden im Laufe der Zeit gefestigt und Wasserschutzbauten errichtet, um einen zusätzlichen Schutz zu bieten. Eben solcher Fall sind die Ortsteile Gand und – wie der Name schon sagt – Ennewasser, die entlang der Plima entstanden sind.

Von allen möglichen Naturgefahren wurde das Martelltal am häufigsten von den Wassergefahren bedroht. Das freiliegende, von Gletschern zurückgelassene Material und Lockergesteine werden vom reißenden Wasser mitgerissen und diese Geschiebetransportprozesse richten verheerende Schäden an. Eine sehr interessante Tradition in diesem Zusammenhang ist der lokale Feiertag „Hoachunsafruentog“, der am 15. August begangen wird. An diesem Tag werden Blumen- und Kräutersträuße geweiht, die bei starken Niederschlägen im Ofen verbrannt werden und währenddessen wird um die Bewahrung vor Muren und Blitzschlägen gebetet. (PERKMANN-STRICKER, 1985)

Schon früh wurde über die topographischen Besonderheiten des Martelltales geschrieben, die auf die Gefährdung durch Naturgefahren hinweisen, wie etwa der Romantiker Beda Weber 1838: „Grauensvolle Bilder einer steil abschüssigen Alpennatur in enger Schlucht bietet das Martelltal“ (Benedikter, in: Südtiroler Landtag, 1989:87) oder der Führer der Ortlergruppe Luis Köll im Jahr 1959 (ebenda): „Das Martell selbst hat steile Hänge, zum Teil sehr offen gegen Süden, durch eine Welt ewigen Eises abgeschlossen, zudem bedroht von Lawinen, Murbrüchen, Wildbächen.“ In PERKMANN-STRICKER (1985) wird aus dem sogenannten Frühmesserbuch zitiert, wo ein Hochwasserereignis von 1777 erwähnt wird. Dabei wurden 18 Hütten in Gand fortgespült und die Plima teilte sich in zwei Arme, sodass einige Häuser wie auf einer Insel abgeschnitten wurden. Auch Ennewasser ist nicht von „Muhr- und Schneelahnsgefahr“ bewahrt (ebenda, S. 74). Viele andere Bäche und Gräben sind als murfähig bekannt und der Talboden in Gand und Ennewasser wurde in den letzten Jahrhunderten mehrmals mit Geröll verschüttet. Zur Vollständigkeit sei erwähnt, dass die Lawinengefahr im Martelltal allgegenwärtig ist (WALDER, 2011).

In den Chroniken wird wiederholt von Katastrophen berichtet, die sich zumeist an schönen Tagen im Hochsommer ereignet haben. Lange wurde über die Ursachen gerätselt, bis man zum Entschluss kam, dass die reißenden Fluten von sogenannten „Wasserstuben“ kommen müssen – Zungenbeckenseen, die ihre natürliche Barriere der Moränenwälle durchbrochen haben und sich jährlich wieder neu füllen. Insbesondere jene Ereignisse der Jahre 1779, 1888, 1889 und 1891 sind gut dokumentiert. Durch die Erfahrung der vorangegangenen Jahre wurde die Katastrophenvorsorge ausgefeilter, Wachen aufgestellt und die Bewohner wurden durch Alarmschüsse und Glocken vor den kommenden Wassermassen gewarnt. Im Jahre 1892 und 1893 wurde eine Klause gebaut, die ein plötzliches Austreten des angestauten Wassers verhindert und ein langsames Ausfließen des Sees ermöglicht. (PFITSCHER, 1996) Die Staumauer ist heute immer noch erhalten, die Gletscher haben sich jedoch bereits weit zurückgezogen, weshalb sie ihre ursprüngliche Funktion verloren hat.

Von 1954 bis 1956 wurde nach ausführlichen Planungs- und Vermessungsarbeiten das Kraftwerk Laas-Martell gebaut, das weitere Wasserkatastrophen verhindern soll, aber primär zum Zweck der Energieproduktion dient. Infrastruktureinrichtungen wurden dafür bis in den hinteren Teil des Martelltales geführt, da die vorhandenen Straßen, die zum Bau des Hotel Paradies und der Zufritthütte errichtet wurden, nicht ausreichend waren. Zudem verloren die Bauern durch den Bau viel kostbares Weideland auf den Almen. (PFITSCHER, 1996) Die Betreibergesellschaft ist die vormalige die Sel Montedison (heute: Edison AG). Da der für das Kraftwerk nötige Stausee eine nicht unentscheidende Rolle im Katastrophenhergang spielt, soll hier etwas ausführlicher darauf eingegangen werden. Die Tabelle 9 beinhaltet einige Daten zum Ausmaß und der technischen Leistung des Speicherkraftwerkes. Die Staumauer stellte damals eine Neuerung in den Ingenieursleistungen dar und bildet sich aus einem massiven dreieckigen Querschnitt.

Tabelle 9: Technische Daten des Zufrittstausees und der Staumauer (HYDROS, 2010)

Indikatoren	Leistung
Gesamtoberfläche des Nutzungsbeckens	117,4 km ²
Mittlere Meereshöhe des Staubeckens	1.850,50 m
Nutzungsdurchfluss	2,41 m ³ /s
Fallhöhe	968,50 m
Durchschnittliche Jahresproduktion	226.000.000 kWh
Maximale Leistung	63 MW
Nutzkapazität	19.600.000 m ³
Jährliches Abfließvolumen	76.000.000 m ³
Staumauer	
Höhe	83 m
Anzahl der Sporne	17, je 18 m breit
Scheitellänge	300 m

Das Martelltal war also regelmäßig von größeren Katastrophen getroffen; die letzten lagen im Jahr 1987 schon etwa 100 Jahre zurück. Durch den Bau des Kraftwerks schien sich die Gefährdungslage zu entspannen und es traten keine weiteren großen Hochwasser oder Vermurungen der Plima auf. Am 24. August 1987 waren die Stimmungen der Bewohner im vorderen Teil des Martelltales jedoch Besorgnis erregend. Die Plima führte mehr Wasser als sonst, von den Seitengräben gingen kleinere Muren ab. Am Abend wurde eine Warnung für die Ortschaften Gand und Ennewasser ausgegeben, mit der Forderung, die Häuser zu verlassen. (PFITSCHER, 1996) Nur kurz darauf bahnte sich ein gewaltiger Murstrom den Weg durch das Tal.

Auslöser war mit großer Wahrscheinlichkeit der zu voll gefüllte Staudamm, dessen Grundschleuse im letzten Moment geöffnet wurde. Dem Ereignis vorhergehende Umstände machten die Katastrophe erst möglich: der anhaltende Regen ließ den Pegel des Sees bedenklich steigen und auch der erhoffte Schneefall in den Bergen trat nicht ein. An diesem Tag war zudem nur eine Aushilfe im Kraftwerk, der den Dienst allein versah und nicht – wie vorgeschrieben – zu zweit. Der See drohte überzulaufen und die Gefahr wurde vom Arbeiter am Nachmittag auch richtig erkannt, jedoch verlief ein Anruf in der Zentrale negativ und die Schleusen blieben bis zum Abend geschlossen. Am Abend wurde dann doch von Seiten der

4. Untersuchungsgebiet

Zentrale das Erlaubnis erteilt, die Grundsleusen zu öffnen. Damit ging ein technischer Defekt einher, der einen Stromausfall verursachte. Das für den Notfall installierte Notaggregat sprang nicht an. Die Schleuse musste manuell geschlossen werden, zuerst aber Hilfe aus 2,6 km Entfernung geholt werden. Durch diese Umstände blieben die Schleusen zu lange und zu weit geöffnet – das Wasser konnte mit einer ungeheuren Stärke herausfließen und riss auf seinem Weg in das Etschtal alles mit sich. (PFITSCHER, 1996)

Eine Kette von ungünstigen Gegebenheiten machten demzufolge die Katastrophe erst möglich: der den Dienst allein versehende Arbeiter, das zu späte Öffnen der Grundsleusen, der Ausfall des Notstromaggregats. Auf der Auslöserseite stehen somit technische und menschliche Fehler. Auf der anderen Seite ist der natürlich entstandene Prozess zu sehen. Sofern murfähiges Material im Gerinne vorhanden und das Gefälle steil genug ist, kann eine Mure entstehen. Zudem spielten die klimatischen Bedingungen eine Rolle, da es durch warme Strömungen vom Mittelmeer zu einer höher liegenden Schneegrenze kam. (VEIT, 2002) Durch die gewaltigen Wassermassen, die innerhalb kürzester Zeit ausgetreten sind, konnte eine extreme Zerstörungskraft entstehen. Der Abfluss wurde auf 300 bis 350 m³ pro Sekunde von der Wildbachverbauung berechnet (PFITSCHER, 1996) und liegt somit um ein Vielfaches höher. Die Murfront erreichte um etwa 21 Uhr die Gand, bahnte sich ihren Weg abseits des Bachbettes durch den Ort, riss mehrere Häuser mit sich und richtete hier und in Ennewasser große Schäden an. Etliche Wiesen wurden überschwemmt, in Morter im Etschtal wurde die Plima vom Dorf abgelenkt, weshalb der Ort vor dem Schlimmsten bewahrt wurde. Die Latscher Industriezone war jedoch stark betroffen. Durch die rechtzeitige Warnung seitens der Feuerwehr konnten alle Personen aus der Gefahrenzone gebracht werden, weshalb keine Menschenleben zu bedauern waren. (PFITSCHER, 1996)

Die Schadensaufzählung in der Gand liest sich wie folgt (PFITSCHER, 1996):

„vier Brücken fortgerissen bzw. unbrauchbar gemacht; mehrere Häuser ganz oder größtenteils weggerissen; andere Häuser bis zur Unbewohnbarkeit zerstört und viele weitere Gebäude und Wohnungen erlitten Schäden (eigenes Verzeichnis); Zimmermannswerkstatt schwer beschädigt; Sägewerk mit mehreren Kubikmetern gelagertem Holz fortgespült; Strom-, Telefon- und Wasserleitungen und die SIP-Zentrale zerstört; Landesbauhof und Gemeindebauhof mit Geräten unbrauchbar gemacht; mehrere landwirtschaftliche Gebäude weggerissen oder stark beschädigt; gesamter Kulturgrund (viele Gärten) weggeschwemmt und mit meterhohem Schlamm, Geröll und großen Steinen übersät; Straße an mehreren Stellen weggerissen oder aufgeschüttet; rechtsseitiger Hang abgetragen' Ziegen, Hennen, Schweine fortgeschwemmt.“

In Ennewasser waren an 12 Häusern Schäden zu verzeichnen. In den anderen Ortsteilen am Talboden waren vor allem Flurschäden zu beklagen, Hänge wurden abgetragen, Straßen unterschritten und der Wald nahm beträchtlichen Schaden. (PFITSCHER, 1996) Durch die schweren Schäden in der Gand wurde die komplette Infrastruktur in den hinteren Talteil abgetrennt, was aufwendige Renovierungsarbeiten notwendig machte. Die Almen, Schutzhütten und Dörfer waren für einige Zeit ohne Strom, Wasser- und Telefonanschluss. Nicht nur die Einwohner sind zu Schaden gekommen, sondern auch die Touristen, die zumeist ihr Auto verloren haben. (WALDER, 2011)

Einen visuellen Eindruck vermitteln die folgenden Abbildungen, die in den Tagen nach dem Ereignis aufgenommen wurden (Abbildung 22, Abbildung 23 und Abbildung 24). Der Kern des Ortsteil Gand wurde komplett überspült. Nur eine kleine Insel – deutlich erkennbar an dem Grün – ragt hervor. Die Plima floss durch die Gand hindurch und richtete ein breites Feld an Verwüstung an. Im etwas breiteren Teil des Talbodens in Richtung Ennewasser floss der reißende Bach wieder zurück in sein Bachbett. Die Häuser, die dem Ortsteil Meiern zuzuschreiben sind, aber auf der orographisch linken Seite der Plima stehen, wurden nur wenig beschädigt. Deutlich sichtbar ist, dass der Talboden vollkommen verschlammmt und mit großen Blöcken und Murmaterial bedeckt ist.



Abbildung 22: Ortsteil Gand nach dem Ereignis (MARTELL, 1987)

Abbildung 23: Aufnahmen nach dem Ereignis. Links: Gand im Vordergrund, Ennewasser im Hintergrund. Mitte: südliches Gand und Meiern. Rechts: Ennewasser (MARTELL, 1987)

4. Untersuchungsgebiet

Abbildung 24: Ereignisdokumentation. Links: Gand 32, rechts: Gand 35.

Die Gesamtschäden beliefen sich auf 45 bis 50 Milliarden Lire (etwa 23.240.560 bis 25.822.845 €), in Martell bezogen auf die Gemeindegüter (Infrastruktur, Bauhof, Forst, Landwirtschaft, touristische Infrastruktur und Sofortmaßnahmen) alleine auf umgerechnet 4.008.738 €. Die Schäden der Privaten beliefen sich auf 7.979.259 €, wobei hier den größten Anteil die Wohngebäude hatten. Weiters fielen 5.681.000 € an Kosten für das Landesstraßennetz, das Telefonnetz und für die Wildbachverbauung an. Die Gemeinde Latsch verzeichnete Schäden in der Höhe von 3.253.678 €. (PFITSCHER, 1996) Jedoch ist nicht dieser Betrag alleine ausschlaggebend, weshalb eine Berücksichtigung der indirekten Schäden von Bedeutung ist. Selbstverständlich hat die Gemeinde durch dieses verheerende Unglück Einbußen in den Nüchtingungszahlen und der Erträge aus der Landwirtschaft zu verzeichnen. Die wirtschaftliche Leistung des Martelltals wurde für einige Monate unterbrochen beziehungsweise reduziert. Konkrete Zahlen gibt es dafür leider nicht, da sie einer Schätzung und großen Unsicherheiten unterliegen.

Die Betreibergesellschaft des Staudammes hat jede Schuld von sich gewiesen und forderte somit die Geschädigten und die Lokalpolitik zu einem Gerichtsstreit heraus. Die Bewohner fühlten sich zuerst siegessicher – das Unglück wäre ohne die aufgetretenen technischen und menschlichen Fehler nicht passiert. Jedoch haben sie nicht mit der Hartnäckigkeit und dem Durchhaltevermögen eines großen Konzerns gerechnet. (PFITSCHER, 1996) Nach zähen und jahrelangen Verhandlungen wurde letzten Endes die vormalige SEL Montedison bzw. dessen ehemalige Direktor vom italienischen Gericht schuldig gesprochen. Laut Urteil wurde die Entscheidung am Abend des 24. August 1987, das Wasser des Stausees abzulassen, zu spät getroffen und das Ereignis somit fahrlässig verursacht. Nach dem Unglück wurden vom Unternehmen bereits 7 Mill. Lire (361.520 €) an Vorschusszahlungen getätigt. Der weitere Schadenersatz soll vom Konzern übernommen werden, wie das Kassationsgericht Rom am 24. Juni 1998 entschieden hat. (MARTELL, o.J.)

Die Schäden, die durch die Mure angerichtet wurden, mussten so schnell als möglich beseitigt werden, da manchen Häusern die Trinkwasserversorgung fehlte und zahlreiche Straßen unterspült waren. Das Bachbett der Plima wurde neu verlegt, verbreitert und vertieft. Der Reitgraben oberhalb von Gand wurde verbaut und ein Auffangbecken errichtet. Zudem wurde ein Sicherheitsstreifen an der orographisch rechten Seite der Plima errichtet, der frei von Bebauung bleiben soll. (PFITSCHER, 1996) Die Gebäude, die zuvor dort gestanden sind, wurden abgerissen, sofern die Mure am Abend des 24. August sie nicht schon mit sich gerissen hat. An dieser Stelle befindet sich heute eine kleine Gedenkstätte, die an dieses Ereignis und den auslösenden Faktoren erinnern soll (Abbildung 25).



Abbildung 25: Gedenkstein im ausgewiesenen baufreien Bereich in Gand (Foto: Ekrem Canli, 2011)

Die Aufbauarbeiten stellten sich jedoch als lange und mühsam heraus, da die offizielle Finanzierung nicht geklärt war. Durch die starken Niederschläge und das Ereignis selbst sind einige Hänge abgerutscht, die durch ingenieurbologische Maßnahmen wieder stabilisiert wurden. Diese Arbeit übernahm die Wildbachverbauung, die wasserziehende Pflanzen gesetzt und Drainagen gelegt haben. (MESSNER, 2008) Bezüglich der baulichen Maßnahmen, die nach dem Ereignis durchgeführt wurden, gab es nicht nur positive Worte seitens der einheimischen Bevölkerung. Die fühlte sich zu sehr bevormundet und zu wenig in die Sanierungsplanung miteinbezogen. So wurden zwei Anträge an den Südtiroler Landtag (LANDTAG, 1989) geschrieben, die das Besorgnis der Bevölkerung zum Ausdruck brachten. Von der Mure abgelagerte Steine wurden aus dem Bachbett wieder entfernt und zur Aufregung der Marteller außerhalb des Tales wieder verwendet. Die Befürchtung konnte wiederlegt und die Außensicht klar dargelegt werden: „Ich glaube, man muß einfach einsehen, daß in das Martelltal eine ganze Menge von Materialien gebracht worden sind, aus anderen Gebieten, und so ist es auch richtig, daß die Steine aus dem Martelltal dorthin gebracht werden, wo sie eben gebracht werden.“ (LH Durnwalder, in: Südtiroler Landtag, 1989:7)

Abschließend soll die Diskussionsfrage aufgeworfen werden, ob es sich um eine Mure oder eher um einen fluvialen Feststofftransport gehandelt hat. Das Ausmaß und die Größe waren für einen Murgang beträchtlich, sodass es kaum vergleichbare Fälle gibt. Das Ereignis hatte jedoch eine enorme Zerstörungskraft, die nicht nur schwere aber bewegliche Gegenstände, wie Autos oder Steine, mittransportiert hat, sondern auch ganz Häuserteile und Gebäude weggerissen hat. Ein starkes Hochwasser oder ein fluvialer Feststofftransport kann aufgrund des geringeren Sedimentgehalts nur bedingt diese Kräfte aufbauen. Das mittransportierte Material und die aufgebaute Energie konnte diese Zerstörungen, Intensitäten von bis zu 3 m und Totalschäden an Gebäuden, bewirken.

5. Ergebnisse

Das Ergebniskapitel stellt den Kern der Arbeit dar, bei dem auf den folgenden Seiten die Resultate der GIS-Analyse und den daraus folgenden Berechnungen präsentiert werden. Dabei wird dem chronologischen Verlauf der Methodik gefolgt und mit der Präsentation der Ergebnisse der Intensitätskarte begonnen. Danach folgt die Darstellung der Siedlungsveränderung, zuerst für jedes Untersuchungsjahr, woraus eine ganzheitliche Darstellung resultiert. An dieser Stelle wird auf die Veränderungen der Zeitabschnitte eingegangen. Besondere Bedeutung kommt der Analyse der Schadensveränderung zu. Die Berechnung des potentiellen Schadens gibt an, wie hoch das Schadensausmaß für ein Gebäude bzw. Siedlungen ausfallen würde, würde das Murereignis vom August 1987 ein weiteres Mal mit derselben Intensität auftreten.

5.1 Ablagerungsintensitäten

Aufgrund der Ereignisdokumentation der Gemeinde Martell (1987) konnten die Ablagerungshöhen – angegeben in Metern – für jedes Haus berechnet werden. Mittels Interpolation kann die Ablagerung im Untersuchungsgebiet rekonstruiert werden. Hierfür wurde die Methodik des Kriging gewählt, die ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis brachte. Das Resultat aus dieser Analyse ist ein detailliertes Bild über die Ablagerungshöhen im relevanten Gefahrenbereich von Gand und Ennewasser.

Die Ergebnisse, dargestellt und aufgeteilt auf die beiden Untersuchungsbereiche Gand und Ennewasser, sind in Abbildung 26 sichtbar. Gand hat generell höhere Ablagerungen zu verzeichnen als Ennewasser, weshalb in diesem Ortsteil die meisten und finanziell schwersten Schäden erreicht wurden. Besonders betroffen waren die Häuser am Südende von Gand mit den Hausnummern 32 bis 34. Hier hat sich die Plima ihren Weg abseits des ursprünglichen Bachbettes gesucht und stellenweise bis zu 3 m hohe Ablagerungen hinterlassen bzw. Material mit sich transportiert. Deutlich erkennbar ist ein breiter Streifen mit Intensitäten von etwa 2 m, die den Transferbereich des Murstromes nachzeichnet. Höhere Ablagerungsintensitäten wie an diesen Stellen gab es sonst in keinen Bereichen mehr. Die Häuser von Meiern am Talboden waren nur gering betroffen, weshalb die Intensitäten bei einigen Dezimeter liegen. In Ennewasser waren die Ablagerungshöhen nicht mehr so intensiv und nur stellenweise etwas höher. Totalschäden (Vulnerabilität = 1) sind hier keine aufgetreten. Der Unterschied zwischen Gand und Ennewasser drückt sich auch durch den durchschnittlichen Intensitätswert aus, der bei den Gebäuden in Gand bei 1,175 m liegt, in Ennewasser bei knapp unter einem halben Meter. Durch die Annahme, dass die Intensitäten gleich bleiben, kann für alle Untersuchungsjahre der potentielle Schaden berechnet werden.

Eine Übersichtskarte für die Intensitäten von 1987 mit den Gebäuden von 1985 für das gesamte Untersuchungsgebiet ist im Anhang zu finden. Zusätzlich enthält der Anhang für jedes Untersuchungsjahr eine Intensitätskarte mit den damals relevanten Gebäuden um die Lokalisation der Risikoelemente bezogen auf die Ablagerungshöhen nachzuvollziehen.

5. Ergebnisse

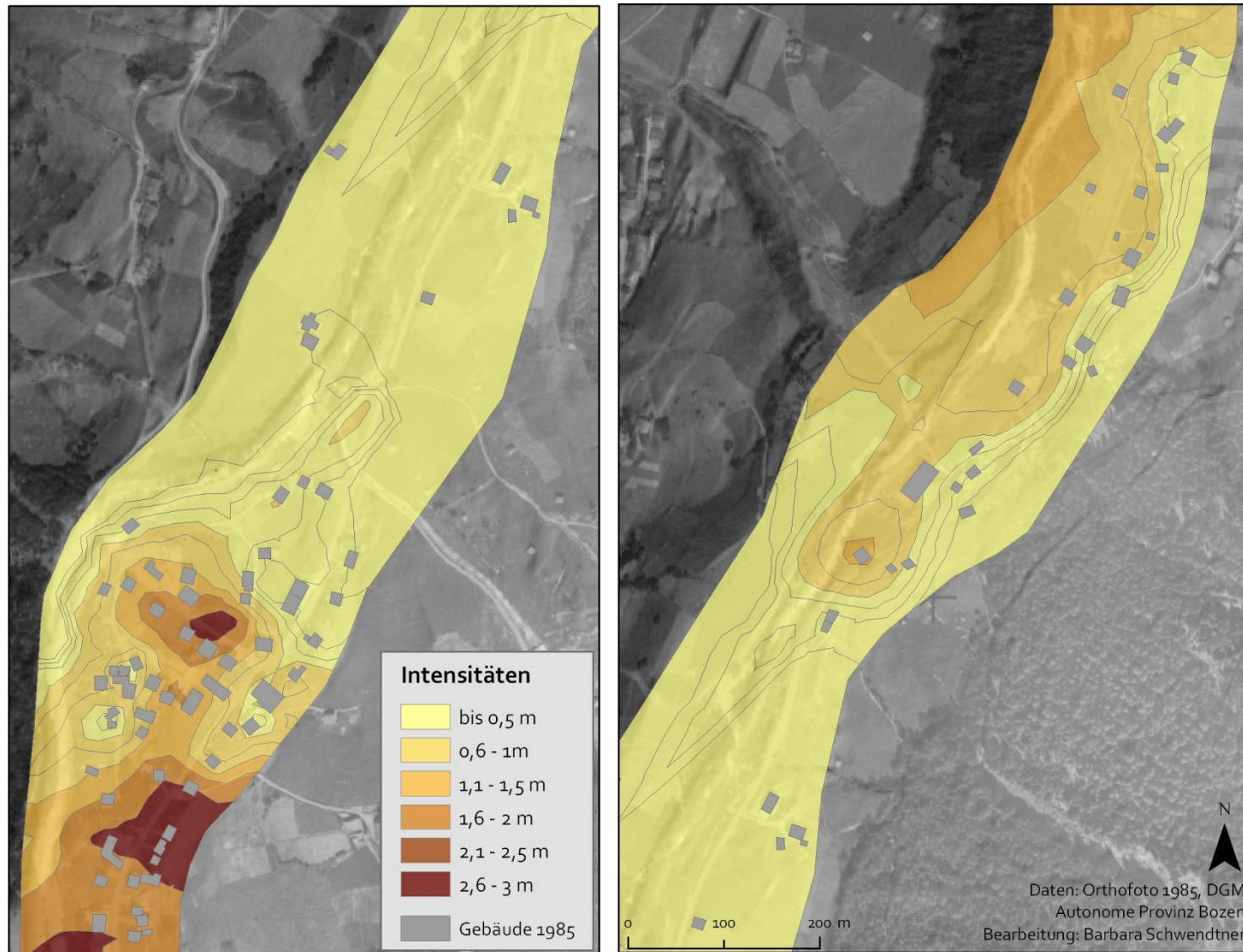


Abbildung 26: Ablagerungsintensitäten für 1987 im Detail in Gand (links) und Ennewasser (rechts)

5. Ergebnisse

Ein sehr interessanter Ansatz ist der zeitliche Vergleich der Schadensanfälligkeiten, die sich auf die Ablagerungsintensitäten beziehen. Dabei wird zwischen drei Klassen unterschieden. Abbildung 27 zeigt die prozentuale Verteilung der für die Schadensanalyse herangezogenen Gebäude im zeitlichen Vergleich. Dabei wurden jeweils die durchschnittlichen ermittelten Ablagerungsintensitäten für jedes Gebäude im GIS ermittelt und entsprechend der Höhe einer der drei Klassen zugeordnet (Kapitel 3.2). Die Verteilung zeigt einen deutlichen Trend zu mehr Gebäuden in den Bereichen mit einer höheren Ablagerungsintensität, was einer Vulnerabilität von etwa 0,6 entsprechen würde. Das bedeutet, dass im Laufe der Zeit und insbesondere nach dem Ereignis, mehr Häuser in den Zonen errichtet wurden, in denen im Jahr 1987 die Ablagerung besonders hoch war. Das heißt, würde das Ereignis in denselben Intensitäten in einem der Untersuchungsjahre aufgetreten sein, so würde ein höherer Prozentsatz (zwischen 28 und 33 %) der Gebäude eine erhöhte Schadensanfälligkeit aufweisen. Ein weiteres interessantes Ergebnis ist der höhere Prozentsatz an Gebäuden, die im Jahr 1954 eine mittlere Schadensempfindlichkeit erlitten hätten (78 %), wodurch die Vulnerabilität bei 0,3 liegen würde. Das ist darauf zurückzuführen, dass mehr Gebäude in Bereichen mit Ablagerungshöhen bis 1 m gestanden haben. 1985 hat sich das Verhältnis der Klassen zueinander gewandelt, da mehr Gebäude aufgrund der Intensitäten nur schwach betroffen wären (12 %). In den folgenden Jahren nimmt nicht nur die höchste Klasse an Prozentanteilen zu, sondern auch die Klasse mit mittleren Intensitäten ab (von 78 % im Jahr 1954 auf 51 % 2006). Somit stehen mehr Gebäude in Bereichen mit höherer Intensität als in jenen, in der 1987 die Ablagerung geringer war. Der Prozentanteil an Gebäuden, die eine Vulnerabilität von unter 0,1 erfahren würden, nimmt im Zeitverlauf ebenfalls zu. 1954 standen noch 8 % aller Gebäude in Bereichen, mit einer sehr geringen oder keinen Ablagerungshöhe. Bis 1992 hat sich der Prozentanteil auf 16 % erhöht. Das heißt, dass zwar vergleichsweise ein höherer Anteil an Gebäuden in kaum gefährdeten Bereichen steht, jedoch genau ein Drittel aufgrund einer höheren Vulnerabilität ein höheres Schadensausmaß erwarten muss.

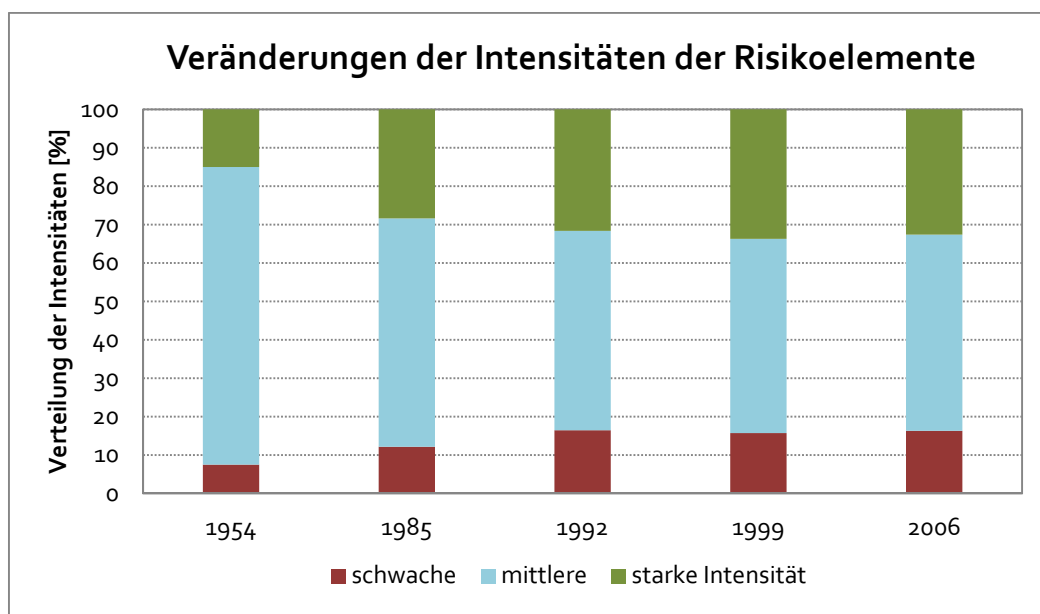


Abbildung 27: Schadensempfindlichkeit der Gebäude anhand der Ablagerungsintensitäten von 1954 bis 2006 in %

Durch die Darstellung der Intensitäten und der Aufteilung zwischen den Objektklassen, wird ersichtlich, dass in den letzten Jahren vermehrt Mehrfamilienhäuser gebaut wurden. Diese waren im ersten Untersuchungsjahr 1954 praktisch nicht existent. Ähnlich verhält es sich mit den gewerblichen, öffentlichen und touristischen Gebäuden. Zur Veranschaulichung wird die Verteilung der Intensitäten der Einfamilienhäuser in Abbildung 28 dargestellt. 1954 standen viele Einfamilienwohnhäuser in Zonen, die 1987 bis etwa 1 m mit Murmaterial angeschüttet wurden (76 % aller Einfamilienhäuser), was einer Vulnerabilität von 0,4 entspricht. Diese Verteilung der Prozentsätze ändert sich in den folgenden Untersuchungsjahren. 1985 verschob sich das Verhältnis in Richtung starker Ablagerung (Anstieg von 15 % 1954 auf 28 % im Jahr 1985, Vulnerabilität 0,6). Bis 1999 ist der Anteil an Einfamilienhäusern in einer schwachen Ablagerungsintensität von 6 auf 20 % angestiegen, danach wieder auf 17 % gesunken. Diese Klasse entspricht bei Einfamilienhäusern einer Vulnerabilität von 0,02, was in ein sehr geringes Schadensausmaß münden würde. Die mittleren Intensitäten verlieren zugunsten der starken, die im Laufe der Zeit Anteile von zuerst 76 % innehatten, dann aber auf 50 % gesunken sind. Das heißt, dass im Jahr 2006 genau die Hälfte aller Einfamilienhäuser in Intensitätsklassen von unter einem 1 m standen. Die nächste Klasse wären jene von über 1 m, deren Anteile der Gebäude nach 1987 bei 32 % respektive 33 % liegen.

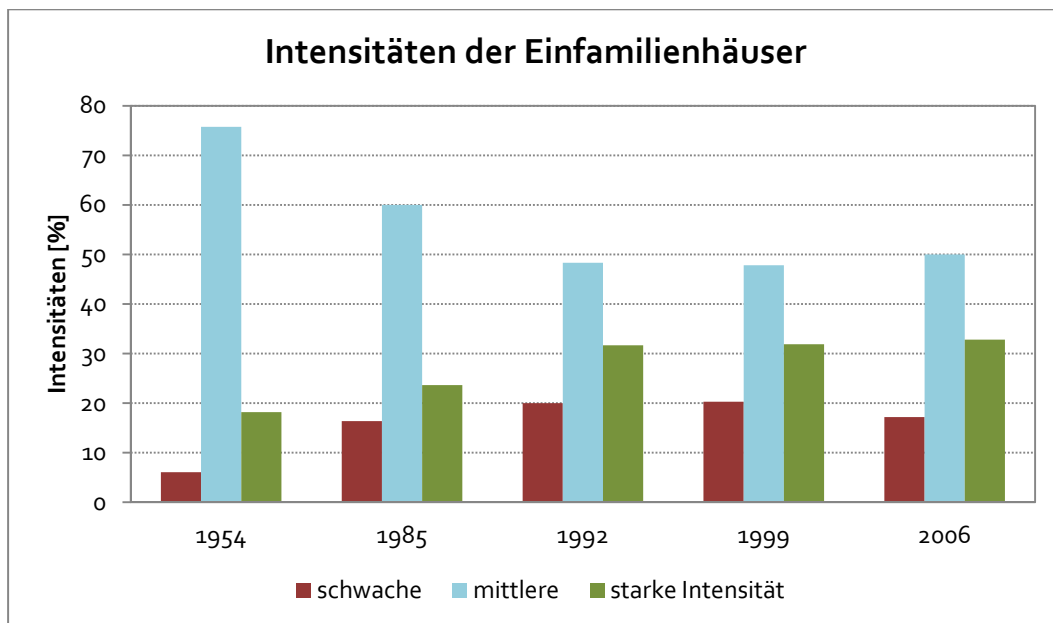


Abbildung 28: Schadensempfindlichkeit und Intensitäten der Einfamilienhäuser von 1954 bis 2006 in Prozent

Die Zuweisung aller Gebäude zu einer Intensitätsklasse zeigt einen erhöhten Anteil an Gebäuden, die bis 0,5 m verschüttet werden. 1954 ist die Verteilung im Vergleich der Folgejahre etwas differenziert, da mehr als die Hälfte der Risikoelemente Ablagerungen zwischen 0,6 bis 1 m zu verzeichnen hätten. Danach beträgt deren Anteil an der jeweiligen Gesamtzahl der Gebäude um die 20 %. Höhere Ablagerungen hätten nur ein geringer Prozentanteil an Gebäuden zu erwarten. Bei über 2 m wären meist etwa 10 % betroffen. Die Verteilung bleibt über die Jahre gesehen relativ konstant.

5. Ergebnisse

Einen Überblick über die Anzahl an Risikoelementen, die als vermut bezeichnet werden können, gibt die Tabelle 10. Als potentiell vermut gelten all jene Gebäude, die mit mehr als 0,5 m Geschiebematerial verschüttet wurden. In dieser Intensitätsklasse ist bereits mit einem erheblichen Schaden am Gebäude zu rechnen, da Material durch Fenster und Türen in das Innere eindringen kann. Die Bezeichnung „nicht vermut“ ist zunächst irreführend, weswegen eine Unterteilung in Gebäude, die weniger als 0,1 m an Ablagerungen zu verzeichnen hatten und jene zwischen 0,1 und 0,5 m. Erstere würden kaum bzw. sehr geringe Schäden erleiden, während bei Zweiterem mit bereits größeren Schäden zu rechnen ist. 1954 würden 28 Gebäude erheblich betroffen sein, nur 12 würden weniger verschüttet werden. Nur drei Gebäude würden kaum betroffen sein. In den folgenden Untersuchungsjahren ändert sich die Verteilung. 1985 und 1992 liegen mehr als 50 % der Risikoelemente in Bereichen, wo die Intensität weniger als einen halben Meter betragen würde. In den letzten beiden Jahren liegt der Anteil bei genau 53 %. Das heißt, dass in den letzten 30 Jahren bei einem Auftreten desselben Ereignisses die Hälfte der existierenden Gebäude bis 0,5 m verschüttet worden wären, und der Rest höhere Intensitäten zu erwarten hätte. Des Weiteren zeigt das Ergebnis, dass viele Gebäude nicht betroffen werden. Waren es 1954 nur 8 %, so stieg deren Anteil auf 16 %.

Tabelle 10: Potentiell vermutete und nicht-vermutete Gebäude im zeitlichen Vergleich

	vermut > 0,5 m	nicht vermut < 0,5 m < 0,1 m		Gesamtzahl
1954	28	9	3	40
1985	34	31	9	74
1992	39	27	13	79
1999	47	28	14	89
2006	49	28	15	92

5.2 Aufnahme der Bau- und Siedlungsstruktur und Veränderung der Risikoelemente

Die Gand liegt in einem großen Mäanderbogen der Plima und wird von der einen Seiten vom Bach, von der anderen Seite von der Straße und einer Geländestufe begrenzt. Gand ist ein sehr dicht besiedelter Ortsteil, der von der Hauptstraße des Tales durchquert wird. Zwei weitere Straßen durchkreuzen die Siedlung und bilden die Gemeindestraße nach Meiern. In Ennewasser liegt der Hauptsiedlungsbereich entlang der Hauptstraße mit Fokus auf der rechten, talauswärts führenden Seite. Auf der linken Seite, die näher an der Plima liegt, befinden sich nur wenige Häuser und einige landwirtschaftliche Gebäude.

Bei einer Geländebegehung fanden sich nicht nur Möglichkeiten für ein Gespräch mit dem Bauamtsleiter von Martell und einigen Bewohnern, sondern es konnte die Kartierung des ArcGIS im Gelände verifiziert werden. Zusätzlich wurden alle Gebäude im Untersuchungsgebiet Gand und Ennewasser fotografiert, um eine Aufnahme des Ist-Zustandes zu erhalten. Des Weiteren wurde die Anzahl der Nebengebäude (Garagen, Carport, Hütten,...) erfasst. Durch diesen Besuch im Martelltal konnte die räumliche Aufteilung der Wohnhäuser und ihrer Nebengebäude aus einem neuen Blickwinkel betrachtet werden. Zudem konnten die Gebäude ermittelt werden, die zwar eine räumliche Nähe mit dem Untersuchungsgebiet aufweisen, jedoch durch eine Geländestufe davon abgetrennt sind

und deswegen keine Schäden im Jahr 1987 genommen haben bzw. bei einem hypothetischen Auftreten des Ereignisses zu einem der Untersuchungsjahre keine Schäden nehmen würden. Die digitale Analyse am Computer ermöglicht eine nur eindimensionale Sichtweise, die zudem nur von der Luftaufnahme abhängt. Des Weiteren konnte der Unsicherheitsfehler bei der Digitalisierung reduziert werden, da die Häuser augenscheinlich eine deutlich kleinere Grundfläche aufweisen.

Die Gebäude im Untersuchungsgebiet lassen sich aufgrund ihrer Bauzeit eindeutig unterscheiden und in vorwiegend drei Bautypen klassifizieren. Der erste betrifft die älteste Baustruktur, der zweite jene der vermehrten Bautätigkeit in den 1960er und 1970er Jahren und der dritte die Neubauten um die Jahrtausendwende (vgl. Abbildung 29). Es herrscht die typisch alpine Bauweise vor, mit weniger stark geneigten Dächern, einfachem Querschnitt und Verwendung von lokal vorhandenem Baumaterial. Zum Teil ist die Baustruktur recht alt, was sich an der nach außen sichtbaren Baustruktur, der Holzfärbung und am allgemeinen Zustand der Gebäude erkennen lässt. Das unterste Geschoss ist in einer Steinschichtung (verputzt oder unverputzt) ausgeführt, die darüber liegenden Etagen sind meist in Holzbauweise errichtet und das Dach ist mit Schindeln gedeckt. Sofern das Gebäude noch als Wohnmöglichkeit genutzt wird, wird nur das Erdgeschoss bewohnt und das Dachgeschoss dient nicht als Wohnfläche. Die ältesten Gebäude bzw. Schuppen sind sehr gedrungen, mit wenigen Fenstern und kleinen, schmalen Türen. Des Weiteren fallen die Gebäude der 1960/70er Jahre auf, die größer gebaut wurden, mehrere Stockwerke besitzen, auf Verzierungen weitestgehend verzichten und sich durch die Verwendung dunklerer Holzarten auszeichnen. Es finden sich auch sehr viele neue Gebäude, die maximal 20 Jahre alt sind und in der typischen Mauerwerk-Beton-Bauweise errichtet wurden. Diese weisen trotzdem die traditionellen Formen von einer kleinen Grundfläche und einer geringen Dachneigung auf. Dabei wird oft helles Kiefernholz verwendet und das Dach mit roten Schindeln gedeckt.



Abbildung 29: Gebäudetypen im Untersuchungsgebiet. Links oben: Ennewasser 157 in alter Bauweise. Rechts oben: Ennewasser 173 in typischer 1960/1970er Bauweise. Unten: Gand 256 und 257 in moderner Bauart (Fotos: Ekrem Canli, 2011)

Die Grundform der Gebäude ist zum Großteil architektonisch wenig anspruchsvoll und verfolgt meist einen rechteckigen Grundriss. Nur vereinzelt finden sich komplexere Formen, wie zum Beispiel jenes in Abbildung 29 (rechts).

5. Ergebnisse

Einen Überblick über die Siedlungsentwicklung und den Entstehungszeitraum der Gebäude gibt die folgende Abbildung 30. Als Darstellungsgrundlage wurde bewusst das Orthofoto von 1985 verwendet, da es zum einen den ursprünglicheren Verlauf der Plima zeigt, zum anderen weil einige Häuser nach dem Ereignis an anderer Stelle wiederaufgebaut wurden. Bis 1954 wurden vor allem Häuser in Gand und Ennewasser entlang der Straße gebaut. Gut erkennbar ist, dass sich rund um die ursprünglichen Siedlungszonen der Gebäude, die vor 1954 gebaut wurden, neue Häuser angeschlossen haben. Dadurch haben sich die Siedlungen in beiden Ortsteilen mit der Zeit mehr und mehr verdichtet. Zwischen 1954 und 1985 wurden vor allem sehr viele Wohngebäude gebaut; in Ennewasser entstammen viele Häuser dieser Bauperiode. Nach dem Ereignis wurden zwei Wohnhäuser und vier landwirtschaftliche Gebäude nicht wieder an derselben Stelle aufgebaut. Zudem erfolgte eine Verlegung des Bachbetts der Plima verändert, der einige Grundstücke zum Opfer gefallen sind. Außerdem werden die Katasterflächen neben dem Bach frei von Verbauung gehalten. In der nächsten Periode bis 1992 entstanden vereinzelt neue Gebäude, auch Anbauten zu bestehenden Häusern erfolgten. Die Gewerbe- und Handwerkerzone zwischen den beiden Ortsteilen begann zu entstehen. Bis 1999 wurden dort drei neue Gebäude errichtet, in Ennewasser nur eines, in der Gand drei Wohngebäude mit Garagen. Im neuen Jahrtausend entstanden vereinzelt neue Häuser, das Wachstum hielt sich aber im Vergleich zu den vorherigen Perioden in Grenzen. Bezogen auf die eben erwähnte Aufschließung der Siedlungen ist erkennbar, dass außer dem Gewerbegebiet kaum neue Aufschließungen vorgenommen worden sind. Es wird vielmehr ein Augenmerk auf das Zusammenwachsen zu einer geschlossenen Siedlungsstruktur der zuvor einzeln stehenden Gebäude gelegt. Dieser erste visuelle Eindruck gibt Aufschluss über die positive Siedlungsentwicklung im Untersuchungsgebiet in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

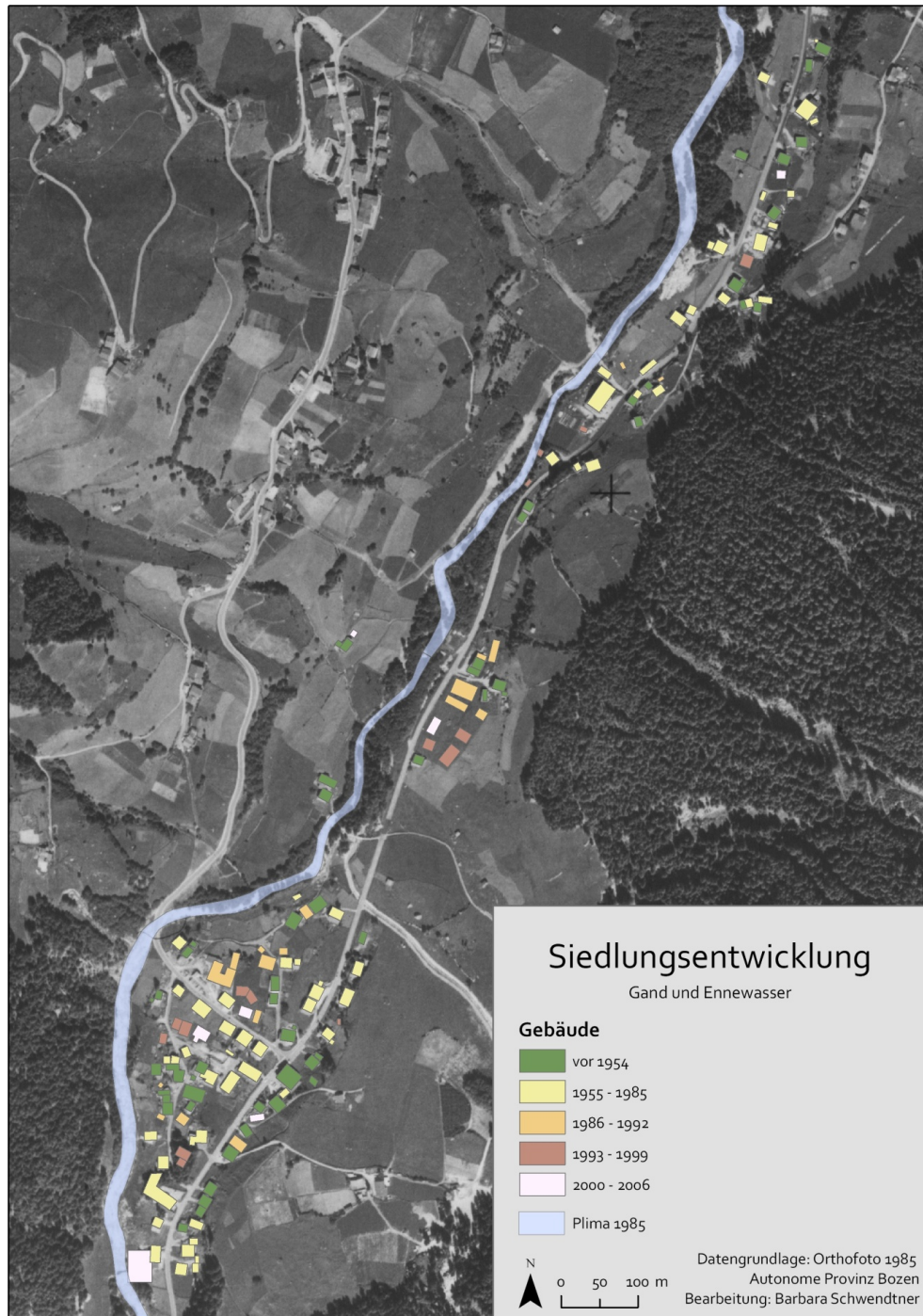


Abbildung 30: Siedlungsentwicklung und Bauperioden seit 1954 bis 2006

Die nachfolgende Abbildung 31 verdeutlicht den Sachverhalt noch mehr. Hier erfolgt eine Zweiteilung und zwar in den ersten Zeitabschnitt von 1954 bis 1985 und von 1986 bis 2006. Der erste symbolisiert die Verteilung der Risikoelemente vor dem Ereignis, der zweite nach dem Ereignis und den jüngsten Veränderungen in den letzten 20 Jahren des Untersuchungszeitraumes.

5. Ergebnisse

Hier wird noch einmal mehr deutlich, dass der größte Teil der Bausubstanz aus der Mitte des 20. Jahrhunderts stammt. Bis 1985 bildeten sich die primären Kernzonen in der Gand und auch in Ennewasser. Es wurde vorwiegend entlang der Straßen gesiedelt, während in der darauffolgenden Periode auch von der Straße versetzte Grundstücke als Bauplatz ausgewiesen wurden. Weiters zeigt sich, dass die Gebäude in der ersten dargestellten Periode wesentlich kleiner sind und primär als Wohnraum errichtet wurden. Der Zeitabschnitt nach dem Ereignis hingegen zeigt auch deutlich größere Gebäude, die dem Gewerbegebiet, einer Tischlerei und dem Bauhof zuzuschreiben sind. Es wurden zudem einige kleinere Gebäude wie Garagen als Zubauten errichtet. Die Gebäude dienen zum Teil nicht mehr nur der Wohnfunktion, sondern inkludieren oft auch Betriebs- und Gewerberäume. Die große Siedlungserweiterung erfolgte somit in den bauaktiven Jahren zwischen dem ersten und zweiten Orthofoto (1954 bis 1985).

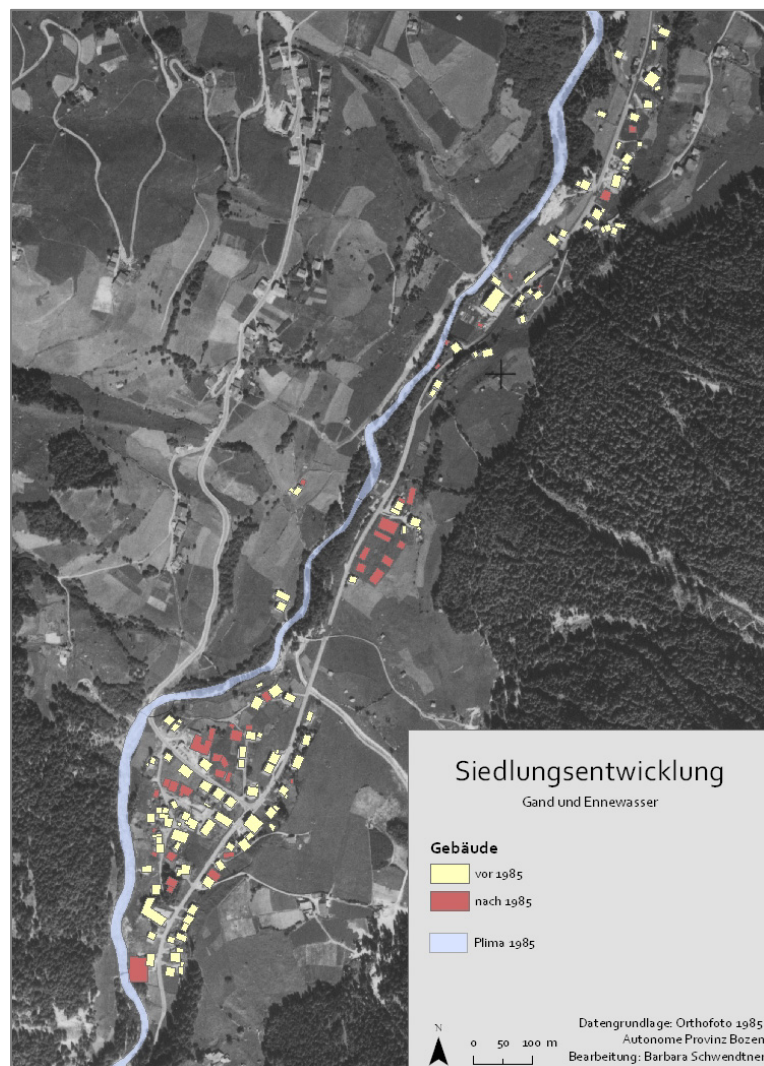


Abbildung 31: Siedlungsentwicklung in zwei Perioden von 1954 bis 1985 und 1986 bis 2006

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Flächen- und Schadensanalyse für jedes Untersuchungsjaar präsentiert. Zusätzlich zu den numerischen Angaben erfolgt eine deskriptive Analyse der Digitalisierung. Es wird die räumliche Verteilung und Anordnung der Risikoelemente, die durchschnittlichen Ablagerungshöhen und neben den Gebäudewertigkeiten natürlich auch das potentielle Schadensausmaß dargestellt. Alle Karten sind genordet und im Maßstab 1:5.000 (jeder Bildausschnitt) abgebildet. Die Datengrundlage besteht aus den jeweiligen Orthofotos der entsprechenden Jahre, auf Basis derer die Identifizierung der Risikoelemente erfolgte. Folgende Legende (Abbildung 32) gilt für dieses Unterkapitel:

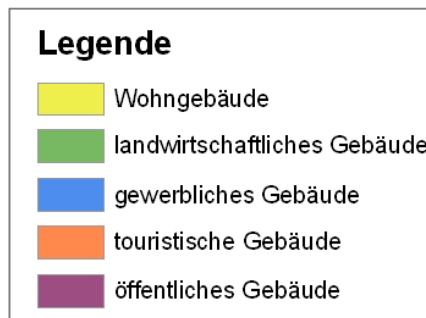


Abbildung 32: Legende der Objektarten

In die Ermittlung der Gebäudewertigkeiten und der potentiellen Schäden sind alle Wohngebäude des Untersuchungsgebietes eingegangen. Lag die Intensität jedoch bei einigen Gebäuden bei null oder nur etwas darüber, so liegt die daraus resultierte Schadenssumme ebenso bei null. Das ist vor allem bei den Häusern aus Meiern der Fall, weshalb sie nicht in den teilgebietsspezifischen Analysen berücksichtigt werden. Diese Ergebnisse sind somit repräsentativer, da bei einem Auftreten desselben Murereignisses davon ausgegangen werden kann, dass trotz der extremen Intensitäten und Überflutungsbereichen nicht alle Häuser Schaden erleiden würden. Die räumliche Verteilung der Murablagerungen spielen somit eine entscheidende Rolle.

- **Verteilung der Risikoelemente 1954**

Wie bereits im Kapitel 4.4 ausgeführt, ist eine Besiedelung im Martelltal seit einigen Jahrhunderten nachgewiesen. Die Sonnenhänge von Meiern wurden dabei bevorzugt, während das ärmere Volk sich am Talboden angesiedelt hat. In der Gand sind die kleinstrukturierten Siedlungen, dargestellt in Abbildung 33, gut erkennbar. Vier Gebäude gehörend zum Ortsteil Meiern, bestanden bereits zu dieser Zeit. 24 Wohngebäude existierten in Gand und weitere 16 in Ennewasser. Die Siedlungsstruktur zeigt einige kleinere Cluster von mehreren Bauernhöfen vor allem in Gand an der Hauptstraße. Eine weitere Anhäufung von Gebäuden ist am Ufer der Plima zu erkennen. Durch die Identifizierung von kleineren zusätzlichen Gebäuden dürften sich hier einige Landwirte oder Handwerker angesiedelt haben. Bezüglich des Wegenetzes ist festzustellen, dass einige Fußwege zu erkennen sind, die durch die Dörfern verlaufen und nach Meiern führen. Die breitere Straße wird vermehrt vom Verkehr genutzt, der die durch den Bau des Staudammes verbreitert wurde. Die Plima fließt in diesem Abschnitt unreguliert und in einigen Mäanderbögen am Talboden. Einige wenige Gebäude stehen direkt am Bach.

5. Ergebnisse

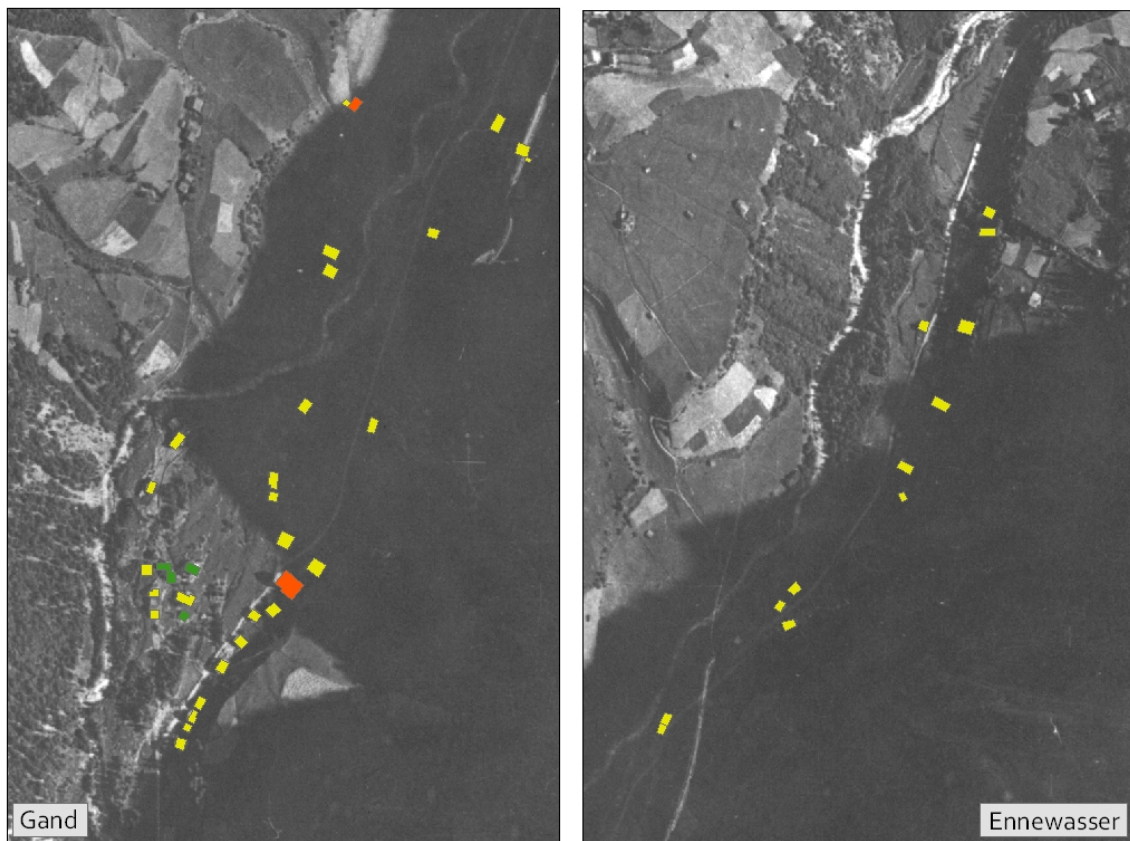


Abbildung 33: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1954

Es wurden insgesamt 68 Gebäude identifiziert, wobei der größte Teil auf die Kategorie der Wohngebäude entfällt. Anhand der Fotoanalyse konnte ermittelt werden, dass zu dieser Zeit die landwirtschaftlichen Gebäude in das Wohnhaus integriert war. Dennoch konnten 16 Gebäude landwirtschaftlichen Zwecken zugeordnet werden. Diese befanden sich meist in der Nähe der Wohngebäude und waren anhand ihrer deutlich kleineren Größe erkennbar. Auf den Archivfotos sind sie besser unterscheidbar, da sie kaum ein weiteres Stockwerk besitzen. Zudem sind reine Holzbauweisen häufig. Der Tourismus und sonstiges Gewerbe war im Jahr 1954 noch kaum entwickelt, weshalb nur das Gasthaus Martellerhof in Gand bestand. Gewerbebetriebe dürften nur kleinere bestanden haben, zum Beispiel ein Schuster oder Zimmermann, die ihre Werkstatt in ihrem Hof untergebracht haben.

Die durchschnittliche Grundfläche beträgt $150 \pm 36 \text{ m}^2$, worunter hier nicht die Wohnfläche zu verstehen ist. Die Fläche der Wohngebäude machte 75 % der gesamten bebauten Fläche im Untersuchungsgebiet aus. In Quadratmeter ausgedrückt sind dies $6.510 \pm 1.764 \text{ m}^2$. Weitere 15 %, respektive $1.349 \pm 576 \text{ m}^2$, entfallen auf die landwirtschaftlichen Gebäude und die restlichen 10 % ($846 \pm 108 \text{ m}^2$) auf touristische und gewerbliche Einrichtungen.

Der minimale Wert für alle relevanten Gebäude konnte auf $19.416.463 \pm 3.676.955$ € (ohne die Einbeziehung des Kellers) festgelegt werden. Der maximale Wert beläuft sich auf $23.674.940 \pm 4.508.792$ €. Somit ergibt sich eine durchschnittliche Wertigkeit von $21.545.702 \pm 4.092.874$ €. Der Minimalwert für ein Haus beläuft sich auf 245.462 €, der Maximalwert wurde für den Gasthof in Gand erreicht ($1.716.019$ €). Für das gesamte Untersuchungsgebiet ergibt sich ein Durchschnittswert pro Haus von 538.642 €.

Die Berechnung der Schäden erfolgte unter der Annahme, dass das Ereignis von August 1987 mit derselben Intensität im Jahr 1954 bei der damals vorhandenen Siedlungsstruktur noch einmal auftritt. Hierfür wurden die durchschnittlichen Werte der Gebäude verwendet und zusätzlich der Streuwert für jedes Gebäude berechnet. Der potentielle Gesamtschaden beläuft sich auf $2.394.082 \pm 603.719$ €, wobei der Maximalwert von 454.829 € in Gand 34 erreicht wird, da es hier große Ablagerungshöhen gab. Für jedes Gebäude konnte eine Intensität ermittelt werden, die im Untersuchungsgebiet durchschnittlich bei $0,73$ m liegt und Maximalwerte von $2,52$ m erreicht.

Im Vergleich von Gand und Ennewasser (ohne den Höfen von Meiern) kommt es zu interessanten – aber erwartbaren – Unterschieden. Die Summen der Werte für die Gebäude beläuft sich in Ennewasser auf $6.866.214 \pm 1.406.058$ € und in Gand auf $12.986.489 \pm 2.389.889$ €. Die Schäden durch das Murereignis wären in Ennewasser um ein Vielfaches kleiner als in Gand. In Ennewasser wären 137.212 ± 21.872 € an Schäden zu beklagen, in der Gand insgesamt $2.220.787 \pm 575.519$ €. Auch die Ablagerungsintensitäten zeigen deutlich höhere Werte in Gand. Die durchschnittliche Ablagerungshöhe liegt hier bei $1,05$ m, während es in Ennewasser nur $0,23$ m sind. Dieser räumliche Unterschied kommt noch mehr zum Ausdruck, wenn die minimalen Intensitäten betrachtet werden. In Gand wären die Gebäude im Jahr 1954 mindestens zu $0,82$ m mit Murmaterial verschüttet gewesen. In Ennewasser wäre die Intensität bei gerade $0,18$ m gelegen. Dieser Vergleich zeigt die Auswirkungen eines Ereignisses in räumlich dispersen Gebieten.

Insbesondere für das Untersuchungsjahr 1954 ist anzumerken, dass mit denselben vorgegebenen Werten wie 1987 gerechnet wurde. Aus Gründen der Vergleichbarkeit kann nicht mit den realen damals existierenden Werten von 1954 gerechnet werden, da sie einer Inflation unterliegen.

• Verteilung der Risikoelemente 1985

Zwischen 1954 und 1985 gab es eine rege Bautätigkeit im Ortsteil Gand. In diesem Zeitraum wurden auch sehr viele Häuser abgerissen, versetzt und renoviert. Die Siedlungen haben sich verdichtet und Baulücken bzw. freie Flächen wurden vorwiegend mit Einfamilienhäusern aufgefüllt. So hat sich das Bild insbesondere in Gand deutlich geändert, da einige neue Straßen entstanden sind. In Ennewasser wurde wiederum entlang der Straße gesiedelt und es sind auch einige größere Gebäude entstanden. Zudem hat sich der Lauf der Plima im Ortsteil Ennewasser verändert, da sie etwas nach links versetzt wurde, um Bauplatz bzw. landwirtschaftlich nutzbare Fläche zu schaffen. Die Mäanderbögen haben sich demnach etwas verändert und sind nicht mehr so stark ausgeprägt. Deutlich erkennbar ist die Verbauung des Flimbaches, der etwas nördlich der Gand von der orographisch rechten Seite in die

5. Ergebnisse

Plima mündet. Das Bachbett wurde ausgekleidet und eine Stufung gebaut, um die Fließgeschwindigkeit zu reduzieren. (vgl. Abbildung 34)

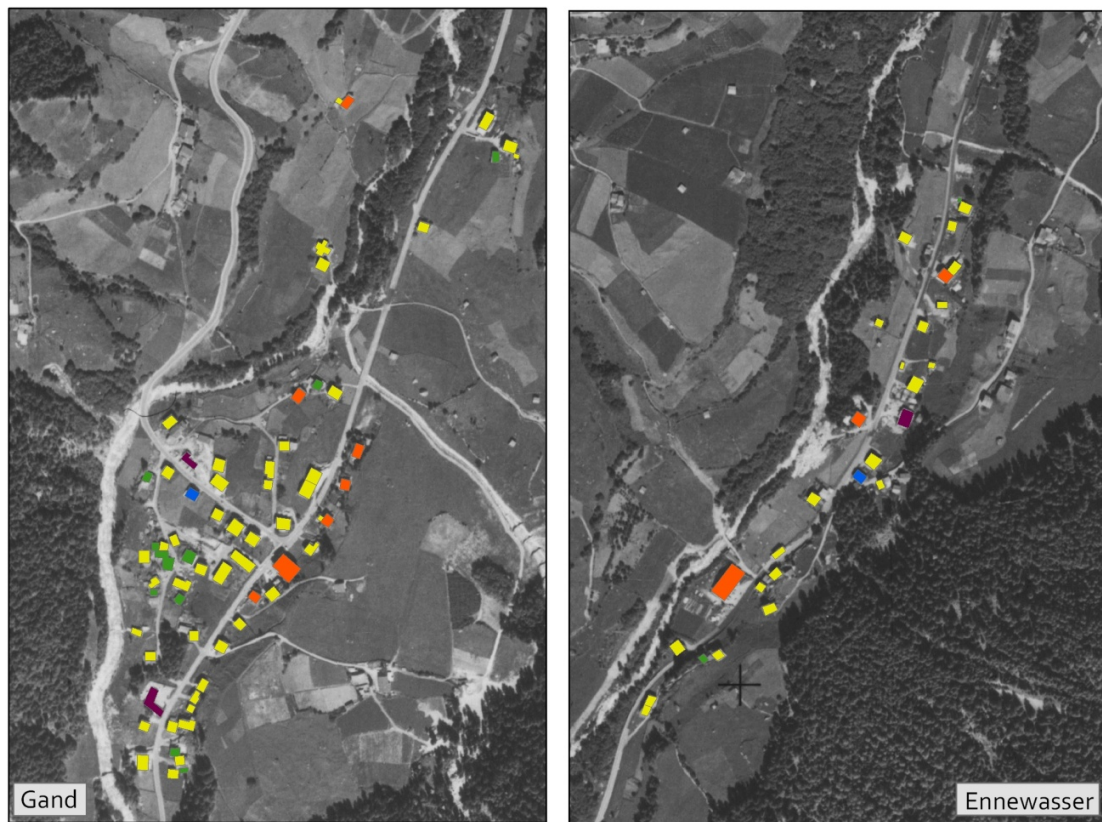


Abbildung 34: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1985

Für das Jahr 1985 konnten 121 Gebäude identifiziert werden, wobei es hier durch die Kenntnis der touristischen Einrichtungen zu Differenzierungen in den Objektklassen kommt. So finden sich neben 76 Wohngebäuden, 25 für die Landwirtschaft und 11 für den Tourismus genutzte Häuser. Gewerbliche Einrichtungen gab es etwa vier und öffentliche fünf (z.B. Stromverteilerhäuschen, Gemeindebauhof, sonstige Gebäude für den öffentlichen Dienst).

Die verbaute Fläche im Untersuchungsgebiet beläuft sich auf $18.612 \pm 4.356 \text{ m}^2$, wobei sich 62 % bzw. $11.530 \pm 2.736 \text{ m}^2$ auf Wohngebäude belaufen. 16 % ($2.966 \pm 396 \text{ m}^2$) entfallen auf touristische Einrichtungen und 14 % ($2.540 \pm 900 \text{ m}^2$) auf landwirtschaftliche Gebäude. Gewerbliche und öffentliche Gebäude nehmen den Rest ein ($1576 \pm 324 \text{ m}^2$). Da es kaum rein gewerbliche genutzte Gebäude im Jahr 1985 gab, fällt deren Anteil an der gesamten verbauten Fläche eher gering aus ($427 \pm 144 \text{ m}^2$).

Für alle Gebäude im Untersuchungsgebiet wurde der minimale Wert von $39.542.674 \pm 6.921.222 \text{ €}$ ermittelt. Der maximale Wert durch das Inkludieren des Kellers beläuft sich auf $47.961.617 \pm 8.460.120 \text{ m}^2$, woraus sich der Durchschnittswert von $43.752.145 \pm 7.690.670 \text{ €}$ ergibt. Der minimalste Wert wurde für Ennewasser 176 mit 190.087 € ermittelt, der maximale für Ennewasser 156

mit knapp über 2,7 Millionen €. Die Intensitäten der Ablagerungen belaufen sich auf durchschnittliche 0,75 m im gesamten Untersuchungsgebiet. Der Gesamtschaden im Jahr 1985 würde sich auf 6.224.105 ±1.194.822 € belaufen. Daraus ergibt sich von den 74 in die Analyse einbezogenen Gebäude ein Durchschnittswert von 84.109 € pro Haus. Das Haus mit dem potentiell höchstem Schaden ist Gand 58 mit 744.794 €.

Bezüglich der räumlichen Differenzierung zwischen Gand und Ennewasser gibt es wiederholt klare Unterschiede. So belaufen sich die durchschnittlichen Werte der Gebäude in Ennewasser auf 15.070.806 ±2.457.649 € und in Gand auf 24.384.548 ±2.278.248 €, was einen Unterschied von mehr als 9,3 Millionen € macht. Wiederum sind die Ablagerungsintensitäten in Gand um einiges höher als in Ennewasser. Der durchschnittliche Wert liegt in Ennewasser bei 0,34 m, in Gand jedoch bei genau einem Meter. Auch die Maximalwerte liegen in Ennewasser bei nur 1,06 m, im Vergleichsteilgebiet bei knapp über 2,5 m. Dies drückt sich deutlich in den Schadenssummen aus, die sich für Ennewasser auf 224.753,31 ±36.867 € und in Gand wiederum auf fast 6 Millionen € (±1.157.950 €) belaufen.

- **Verteilung der Risikoelemente 1992**

Nach dem Murereignis 1987 wurde die Plima entlang der gesamten Strecke reguliert. Das Bachbett wurde ausgekleidet, verbreitert und stellenweise verlegt. Kleinere Mäander wurden begradigt und die Plima fließt zwischen Gand und Ennewasser streckenweise sehr gerade. Die verbleibenden Flächen wurden noch dichter besiedelt und verbaut. In Ennewasser entstand im Zeitraum von 1985 bis 1992 ein kleines Gewerbegebiet mit größeren Hallen. Die Begradigung eines weiteren Bauplatzes ist im Orthofoto von 1992 sehr gut sichtbar, auch einige weitere Gebäude sind in Bau. In Gand wurden die von der Mure fortgerissenen Gebäude an einer anderen Stelle wiederaufgebaut, der Bauhof der Gemeinde entstand neu und wurde vergrößert. Entlang der Hauptstraße und der Dorfstraße nach Meiern wurden einige Einfamilienhäuser gebaut. Die Siedlung in Gand verdichtet sich mehr und mehr, viele Grundstücke wurden verbaut. Jedoch ist klar zu bemerken, dass zur Plima hin die Parzellen frei von Bebauung gehalten wurden. (vgl. Abbildung 35)

5. Ergebnisse

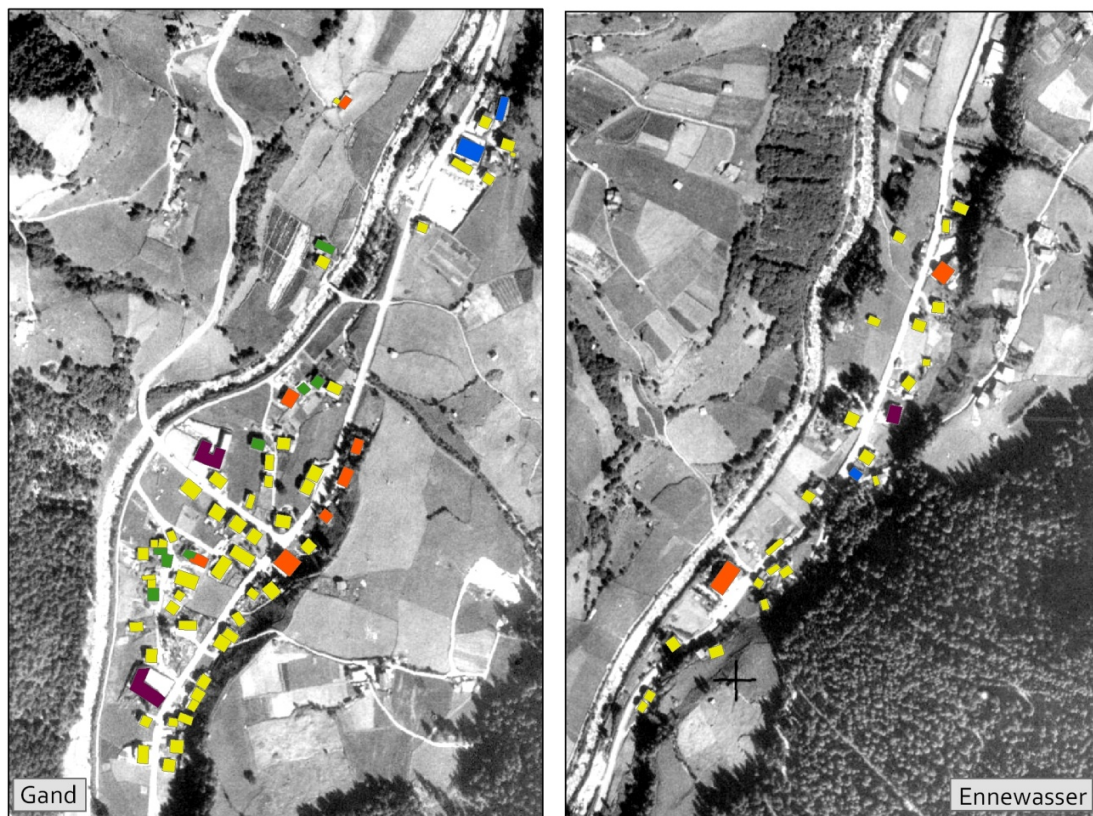


Abbildung 35: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1992

Im Vergleich zu 1985 gab es hinsichtlich der ermittelten Gebäudeanzahl keine Veränderung – 121 Gebäude konnten identifiziert werden. Darunter finden sich 77 Wohngebäude, die 57 % der verbauten Fläche ($14.069 \pm 2.772 \text{ m}^2$) einnehmen und 25 landwirtschaftlich genutzte Gebäude ($3.711 \pm 900 \text{ m}^2$). Des Weiteren gibt es einige Gewerbegebäude, deren Fläche sich zum vorherigen Untersuchungsjahr vervierfacht hat. $1.607 \pm 216 \text{ m}^2$ entfallen somit auf diese Objektart. Insgesamt sind etwas unter $25.000 \text{ m}^2 (\pm 4.300 \text{ m}^2)$ verbaut.

Der minimale Wert für alle Gebäude im Untersuchungsgebiet beläuft sich auf $53.145.334 \pm 7.477.560 \text{ €}$, der maximale unter Einbeziehung der Keller auf $64.453.363 \pm 9.120.439 \text{ €}$. Somit ergibt sich ein durchschnittlicher und wahrscheinlicherer Wert von $58.799.349 \pm 3,9 \text{ Mio. €}$. Der minimalste Wert wird für Ennewasser 176 erreicht (219.858 €), der maximale für Gand 58 ($2.507.233 \text{ €}$). Der Durchschnittswert eines Hauses im gesamten Untersuchungsgebiet für die 79 in die Analyse eingegangenen Gebäude beträgt 744.295 € . Die durchschnittliche Ablagerungsintensität beläuft sich auf $0,79 \text{ m}$, der Maximalwert ist bei $2,66 \text{ m}$ erreicht. Der Gesamtschaden bei einem Auftreten des Murereignisses 5 Jahre später würde sich auf $10.524.226 \pm 1.353.879 \text{ €}$ belaufen. Den größten Schaden hätte wiederum Gand 58 zu verzeichnen ($\sim 1,8 \text{ Mio. €}$).

Es gehen etwas mehr Gebäude aus Gand in die Analyse ein, weshalb die Unterschiede zwischen den Teilgebieten größer werden. In Ennewasser beträgt der Wert aller Häuser $17.196.388 \pm 2.452.121$ €, in Gand $37.095.518 \pm 5.039.764$ €. Die durchschnittliche Intensitätshöhe liegt in Ennewasser bei 0,42 m, in Gand jedoch bei 1,06 m. Dadurch ergeben sich auch deutlich differenziertere Schadensbilder, da sich der Gesamtschaden in Ennewasser auf 956.191 ± 121.762 € beläuft. Die Gebäude in Gand hätten somit den Löwenanteil des Gesamtschadens zu tragen – 9,5 Mio. $\pm 1.220.570$ €.

- **Verteilung der Risikoelemente 1999**

Zwischen 1992 und 1999 war die Neubauaktivität der Marteller im Talboden etwas mehr eingeschränkt (Abbildung 36). Neubauten gab es einige wenige, die vor allem Baulücken aufgefüllt haben. Insbesondere fallen die vielen Zubauten auf, die nach einer Feldbegehung als Carports, Garagen oder kleinere landwirtschaftliche Gebäude zu identifizieren sind. Einige Häuser vergrößerten ihre Wohnfläche; der Schwerpunkt der Bauaktionen bildeten aber die eben erwähnten kleineren Bauten. In Gand hat sich dadurch die Siedlungsstruktur weiter verdichtet, einige Grünflächen zwischen den Wohngebäuden blieben dennoch erhalten. In Ennewasser fällt sofort die Erweiterung des Gewerbegebietes auf, das durch einige Gebäude und größere Hallen gewachsen ist. In Kombination mit den Wohnhäusern der Gewerbetreibenden entstand hier in den 1990er Jahren eine kleine Siedlung zwischen Gand und dem Straßendorf Ennewasser.

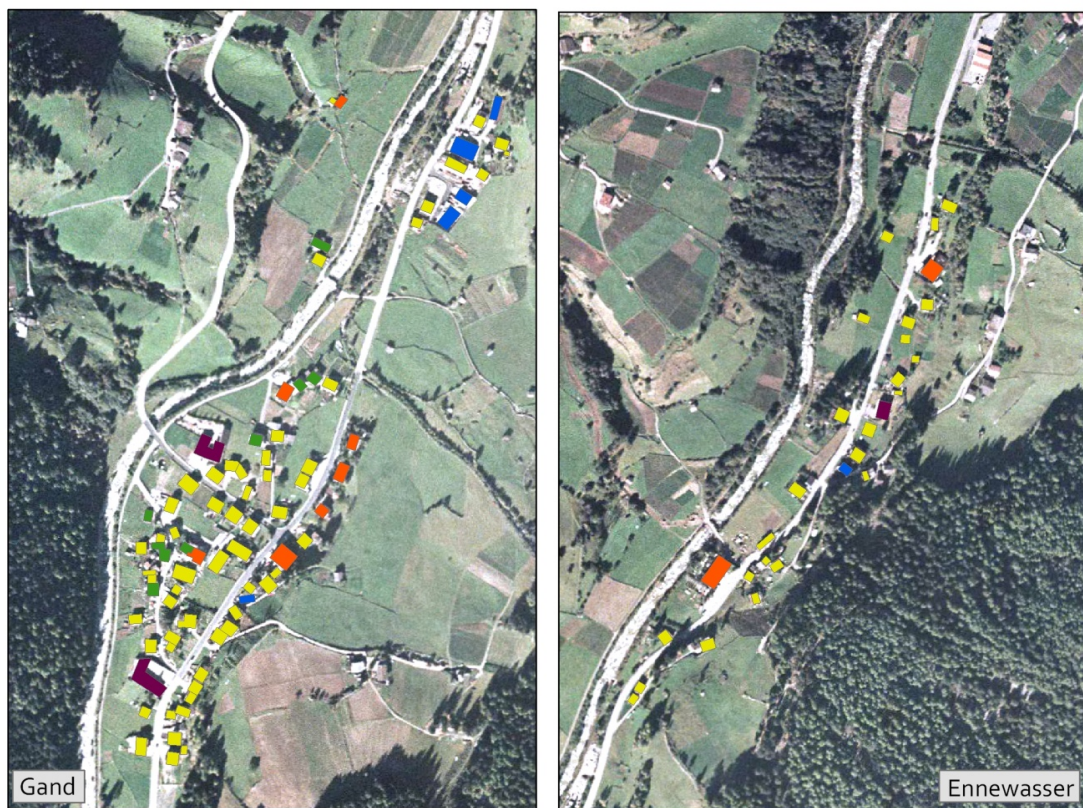


Abbildung 36: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1999

5. Ergebnisse

Für das Jahr 1999 gehen insgesamt 142 Gebäude in die primäre Flächenanalyse ein. Darunter fallen 88 Wohngebäude, 31 landwirtschaftliche und 9 gewerblich genutzte Gebäude. Die verbleibenden 14 Gebäude können dem Tourismus und Öffentlichen Diensten zugewiesen werden. Von den insgesamt $28.295 \pm 5.112 \text{ m}^2$ der verbauten Fläche entfallen $16.000 \pm 3.168 \text{ m}^2$ (57 %) auf die Wohnhäuser. $4.241 \pm 1116 \text{ m}^2$ (15 %) stehen für die Landwirtschaft zur Verfügung, der Rest entfällt zu etwa gleichen Teilen auf das Gewerbe, den Tourismus und öffentlichen Einrichtungen.

Gesamt gesehen waren die Gebäude im Untersuchungsgebiet $68.827.853 \pm 9.580.197 \text{ €}$ wert, wobei der minimale Wert bei $62.428.971 \pm 8.654.778 \text{ €}$ liegt, der maximale bei $75.226.735 \pm 10.505.615 \text{ €}$. 89 Gebäude wurden in die Schadensanalyse mit einbezogen, da diese als primäre Wohngebäude anzusehen sind. Somit ergibt sich ein durchschnittlicher Wert pro Haus von 773.346 € . Die durchschnittliche Ablagerungsintensität durch das Murereignis würde im gesamten Gebiet bei $0,82 \text{ m}$ liegen. Der potentielle Gesamtschaden würde 1999 $13.163.381 \pm 1.721.677 \text{ €}$ betragen. Die Schäden liegen zwischen 0 und über 1,7 Millionen € pro Haus, der durchschnittliche Wert beläuft sich auf 147.903 € pro Haus.

Natürlich sind wiederum Unterschiede zwischen Gand und Ennewasser erkennbar. 34 Gebäude wären in Ennewasser betroffen, 52 in Gand. Durch die geringere Ablagerungsintensität in Ennewasser, würden die Schäden um ein Vielfaches geringer ausfallen. Die durchschnittliche Höhe der Murablagerungen liegen in Gand bei $1,10 \text{ m}$, in Ennewasser bei weniger als der Hälfte ($0,45 \text{ m}$). Gand würde bei dem Auftreten desselben Ereignisses wie 1987 im Jahr 1999 über $11,8 \text{ Mio. } \pm 1.534.522 \text{ €}$ an Schäden aufweisen, Ennewasser bedingt durch die geringere Intensität vergleichsweise nur $1.354.972 \pm 187.153 \text{ €}$.

- **Verteilung der Risikoelemente 2006**

Die expansive Phase der Siedlungsentwicklung scheint abgeschlossen; es ist seit einigen Jahren keine rege Bautätigkeit mehr erkennbar. Vereinzelt werden noch Einfamilienhäuser gebaut und selbst das Gewerbegebiet hat seit der Jahrtausendwende keine Erweiterung zu verzeichnen. Das als Gewerbebeerweiterungsgebiet ausgewiesene Südennde von Gand ist noch unbebaut. (vgl. Abbildung 37) Durch die Geländebegehung konnte festgestellt werden, dass seit 2006 in den Untersuchungsgebieten keine großen Bauvorhaben mehr getätigt worden sind. Einzig ein Haus wurde abgerissen, das sich im August 2011 als neu entstandene Baugrube präsentierte.

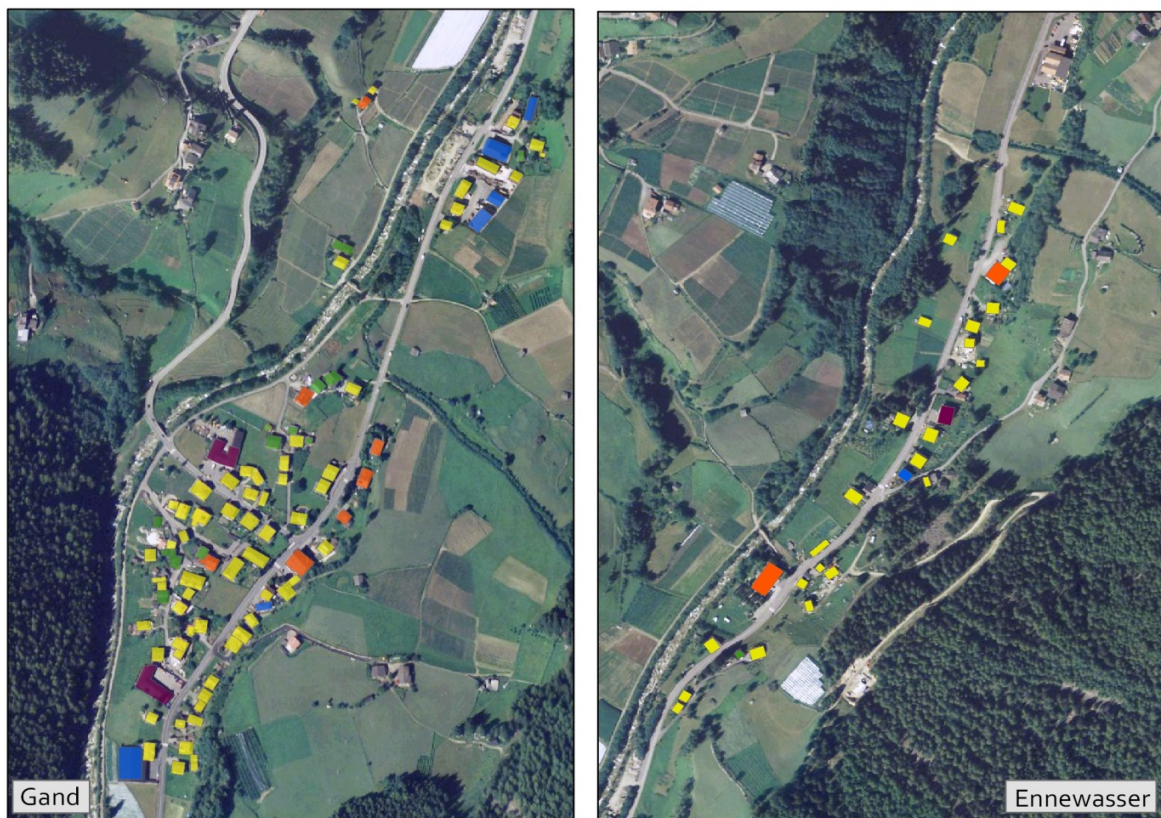


Abbildung 37: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 2006

Im Vergleich zu 1999 sind nur vier weitere Gebäude zur Analyse hinzugekommen. Nun zählen 92 Häuser zu den Wohngebäuden, die mehr als die Hälfte der bebauten Fläche einnehmen ($16.918 \pm 3.312 \text{ m}^2$). 31 Gebäude können zu den landwirtschaftlichen Gebäuden gezählt werden, jeweils 9 zum Gewerbe und Tourismus. Die Scheunen, Ställe und Garagen nehmen 18 % der bebauten Fläche ein ($5.374 \pm 1.116 \text{ m}^2$). Ungefähr 2.500 m^2 werden gewerblich genutzt, mehr als 3.000 m^2 Grundfläche stehen dem Tourismus zur Verfügung. Die restlichen 2.300 m^2 werden von öffentlicher Hand, wie dem Bauhof, betrieben. Somit sind $30.311 \pm 5256 \text{ m}^2$ in Gand und Ennewasser verbaut.

Insgesamt belaufen sich die Werte der 92 Häuser, die für die Schadensanalyse herangezogen wurden, auf $72.062.354 \pm 9.866.506 \text{ €}$. Davon ausgehend beträgt der Minimalwert $65.420.425 \pm 8.909.893 \text{ €}$, der Maximalwert $78.704.283 \pm 10.823.119 \text{ €}$. Der Durchschnittswert pro Haus beläuft sich auf 783.286 € , der Minimalwert ist auf 179.990 € zu beziffern. Die Durchschnittsintensität über das gesamte Untersuchungsgebiet ist mit $0,82 \text{ m}$ festzulegen. Würde die Mure vom August 1987 im Jahr 2006 auftreten, so würde ein Schaden von $13.895.925 \pm 1.782.553 \text{ €}$ zu beziffern sein.

Die Differenzen zwischen Gand und Ennewasser drücken sich in den summierten Gebäudewertigkeiten aus, die in Ennewasser $25.785.928 \pm 3.655.337 \text{ €}$ von 35 Gebäuden betragen, in Gand jedoch $44.345.891 \pm 5.872.608 \text{ €}$, gemessen an 53 Wohnhäusern. Die unterschiedlichen Intensitäten (Gand im Durchschnitt

5. Ergebnisse

1,11 m, in Ennewasser 0,46 m) zeigen sich auch deutlich in den potentiellen Schadenssummen. In Ennewasser würde der Schaden $1.509.548 \pm 203.723$ betragen, in Gand jedoch das 8-fache, nämlich $12.386.356 \pm 1.578.828$ €.

5.3 Ergebnisse der flächenhaften Analyse

Bei den ermittelten Flächen der Gebäude liegt nach einer statistischen Analyse keine Normalverteilung vor. Die Spannweite ist sehr unterschiedlich und nimmt insbesondere durch den Bau von größeren Gewerbehallen stark zu. Im Zeitverlauf zeigt sich eine klare Erhöhung der Quadratmetergrößen sowohl im Mittelwert als auch im Median.

- **Flächenhafte Veränderung der Gebäudegrundflächen**

Ein Vergleich der Verteilung der Gebäudegrundflächen wird in Abbildung 38 dargestellt. Dabei wurden die ermittelten Flächen der Wohngebäude aus der Digitalisierung ohne Berücksichtigung der Streuung in fünf Klassen eingeteilt. Gebäude mit einer Grundfläche von weniger als 100 m² verfügen in allen Untersuchungsjahren von eher geringen Prozentanteilen. 1954 und 1985 zeigen ein ausgeglichenes Verteilungsverhältnis an Gebäuden mit einer Fläche mindestens 100 m². In den folgenden Untersuchungsjahren verschiebt sich dieses mehr und mehr zugunsten der sehr großen Gebäude von über 250 m². 1954 waren noch kaum Gebäude in dieser Größenklasse vorhanden und haben sich vorwiegend auf Gasthöfe beschränkt. Gebäude der Größenordnung von 100 bis 250 % sind prozentual gesehen meist im gleichen Ausmaß vertreten. Deren Anteil beträgt um 17 % und verändert sich kaum im Zeitverlauf.

Würden alle Gebäude im Untersuchungsgebiet für eine prozentuale Flächenaufteilung herangezogen werden, so würde der Großteil der Gebäude in die Gruppe der unter 100 m² fallen. Dies ist auf die kleineren Häuser zurückzuführen, die beinahe jedes Haus als zusätzlichen Raum besitzt. Die Nutzung ist dabei äußerst unterschiedlich, da Garagen, Ställe, Scheunen und Hütten dazu zählen. Im Fall von gewerblich genutzten Gebäuden sind zusätzliche Hallen nicht in der Schadensanalyse berücksichtigt worden, da sie keine Wohngebäude darstellen. Im Falle der Flächenanalyse ist anzumerken, dass dieser Typ meist in der größten Grundflächenklasse von über 250 m² zu finden wäre.

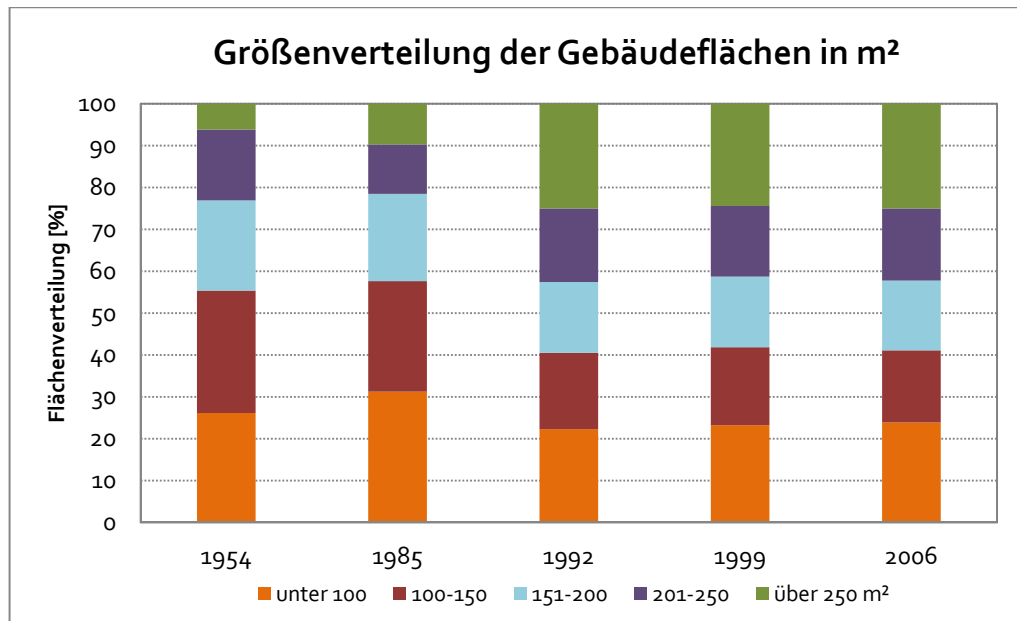


Abbildung 38: Verteilung der Gebäudegrundflächen in Quadratmeter für alle Untersuchungsjahre

- **Flächenhafte Veränderung der Objektarten**

Die folgende Tabelle 11 stellt die Anzahl der einzelnen Objektarten aller Untersuchungsjahre dar. Zusätzlich sind die Gesamtsummen mit ihrem Streuwert angeführt. Es ist ein deutlicher Trend zu mehr Gebäuden erkennbar. Von 1954 bis 2006 hat sich die Gebäudeanzahl um 115 % verändert – von insgesamt 68 Gebäuden auf 146 im Untersuchungsgebiet. Die größte Veränderung nahm dabei der erste Untersuchungsabschnitt ein, wo die Anzahl der Risikoelemente um 78 % gestiegen ist (von 68 auf 121). Die darauffolgende Zeitspanne von sieben Jahren brachte keine Veränderung in der Gesamtzahl der Gebäude. Danach ändert sich die Gebäudeanzahl um 17 % von 121 auf 142 Gebäude (von 1954 bis 1999 um 109 %) und um 3 % von innerhalb der nächsten sieben Jahre von 142 Gebäuden 1999 und 146 in 2006. Vor allem die Anzahl der Wohngebäude ist deutlich gestiegen, die der landwirtschaftlichen Gebäude etwas (zuerst von 16 auf 25 und um die Jahrtausendwende auf 31), was an den Zubauten von einem oder mehreren kleineren Ställen und Scheunen liegt. Aus der Digitalisierung geht hervor, dass viele Wohngebäude zumindest einen, manchmal zwei oder drei Anbauten haben. Die Anzahl der touristischen Gebäude ist zuerst stark angestiegen (von zwei auf elf im ersten Untersuchungsabschnitt von 1954 bis 1985), dann etwas gesunken (auf neun).

Beim Einbezug aller digitalisierten Gebäude sind auch die Grundflächen deutlich gestiegen. Die größte Veränderung an verbauter Fläche vollzog sich zwischen 1954 und 1985. In den 31 Jahren hat sich die verbaute Fläche um 114 % von 8.705 auf 18.612 m² verändert. In den darauffolgenden Zeitspannen von jeweils sieben Jahren nahm die Fläche zuerst um 34 % (von 18.612 auf 24.876 m²), dann um 14 % (auf 28.295 m²) und um 7 % (auf 30.311 m²) zu. Somit war die Zeitspanne zwischen den Untersuchungsjahren mit einer Siedlungsflächenvergrößerung verbunden, jedoch waren die

5. Ergebnisse

Veränderungen zuerst größer und nahmen danach kontinuierlich ein wenig ab. Insgesamt hat die Siedlungsfläche ausgehend von 1954 um 248 % zugenommen (von 8.705 auf 30.311 m²), was mehr als eine Verdreifachung darstellt.

Tabelle 11: Anzahl der Objektarten und Gesamtsummen aller Untersuchungsjahre

Objektart	Bezeichnung	1954	1985	1992	1999	2006
1111	Wohngebäude	49	76	77	88	92
1112	Landwirtschaftliche Gebäude	16	25	25	31	31
1113	Öffentliche Gebäude	0	5	4	5	5
1114	Touristische Gebäude	2	11	9	9	9
112	Gewerbliche Gebäude	1	4	6	9	9
	Anzahl	68	121	121	142	146
	Fläche in m²	8.705	18.612	24.876	28.295	30.311
	± Streubereich	±2.448	±4.356	±4.356	±5.112	±5.256

Die Abbildung 39 zeigt die prozentuale Verteilung der Objektarten anhand deren Fläche für jedes Untersuchungsjahr. Im Jahr 1954 waren 75 % der gesamten verbauten Fläche als Wohngebäude identifiziert, der nächstgrößte Anteil bezog sich auf die landwirtschaftlichen Gebäude (15 %). Touristische und gewerbliche Einrichtungen kommen auf 10 %. Diese Verteilung hat sich bis 1985 etwas aufgelockert, da die Wohngebäude nur mehr 62 % an der gesamten Verteilung ausmachen. Prozentual gesehen haben die landwirtschaftlichen Gebäude etwas verloren (14 %), jedoch wurden mehr Pensionsionen, Hotels etc. eröffnet, weshalb diese Klasse 16 % an der Gesamtverteilung ausmacht. 8 % entfallen auf gewerbliche und öffentliche Einrichtungen. Im Jahr 1992 machten die Wohngebäude an der Gesamtgrundfläche nur mehr 57 % aus, die landwirtschaftlichen 15 % und die touristische Fläche hat etwas abgenommen (13 %). Jedoch hat sich die Fläche der öffentlichen Einrichtungen vergrößert, weshalb sie 9 % an der Gesamtfläche ausmachen. Auch die Fläche, die mit gewerblichen Gebäuden verbaut ist, hat stark zugenommen, da ihr Anteil 6 % beträgt. Ein ähnliches Bild ergibt sich im Untersuchungsjahr 1999. Der Anteil der landwirtschaftlichen und Wohngebäude an der gesamten verbauten Fläche ist gleich geblieben. 9 % der Fläche zählen zum Gewerbe, 12 % zum Tourismus und 8 % zu den öffentlichen Einrichtungen. Zwischen 1999 und 2006 hat sich ebenfalls nicht viel verändert. Die Gebäude für die landwirtschaftliche Nutzung haben flächenmäßig zugenommen und nehmen 18 % der verbauten Gesamtfläche ein. Bei allen anderen Objektarten haben die Anteilen um jeweils ein Prozent abgenommen.

Die prozentuale Verteilung anhand der Fläche zeigt für manche Objektarten höhere Anteile an, als zu erwarten wären. Deren Anzahl mag in manchen Untersuchungsjahren gering gewesen sein, jedoch erreichen sie hohe Prozentanteile. Dies liegt vor allem daran, dass die betreffenden Gebäude in Relation zu den anderen größer sind.

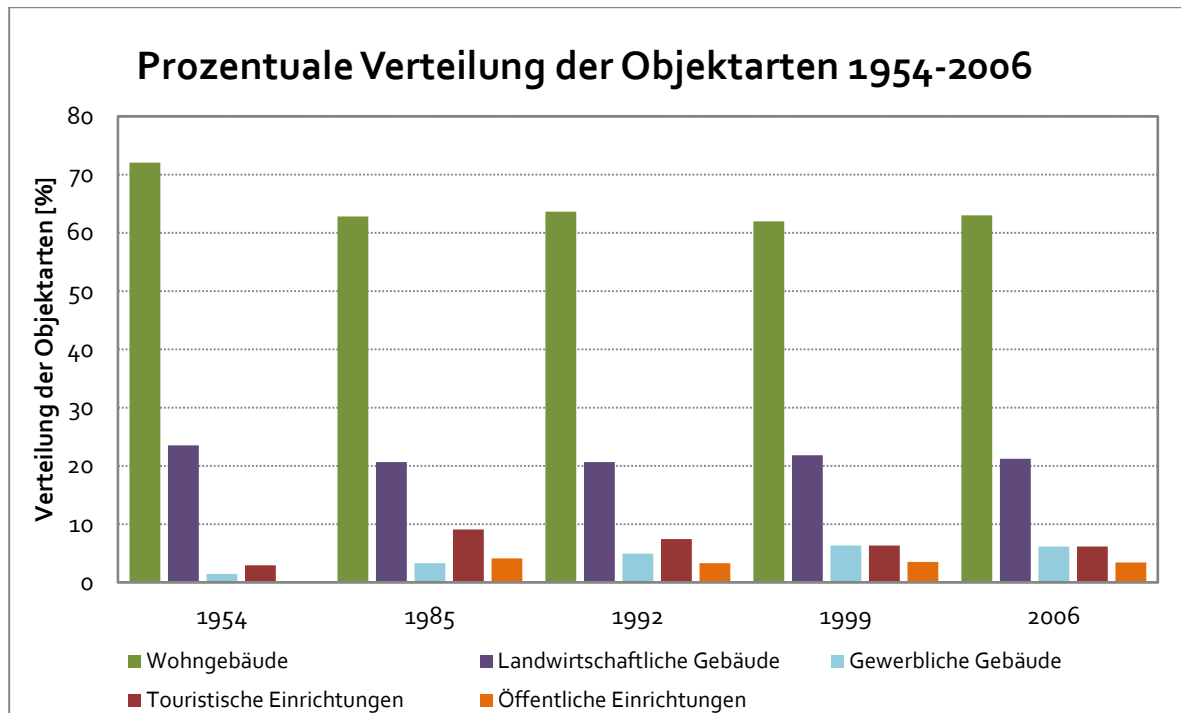


Abbildung 39: Prozentuale Verteilung der Objektarten aller Untersuchungsjahre

- **Flächenhafte Veränderung der Plima**

Ebenso wie alle Gebäude wurde die Plima auf Basis der Orthofotos digitalisiert. Der Fokus liegt wiederum auf dem Untersuchungsgebiet, weshalb die Strecke von Gand bis Ennewasser als raumrelevanter Bereich gilt. Dabei wurde das sichtbare Bachbett digital vermessen und die Uferlinie bei Schattenwurf oder Vegetationsverdeckung verlängert. Aus den Orthofotos ist klar ersichtlich, dass die Plima in den letzten Jahrzehnten mehrfach reguliert wurde (vgl. Abbildung 40). Zwischen 1954 und 1985 wurden einige Mäander in Ennewasser begradigt, weshalb sich die Fläche von 40.942 m² auf 38.151 m² verringert hat. Nach dem Ereignis wurde die Plima stark reguliert und verändert. Das Bachbett wurde über die gesamte Strecke vertieft und verbreitert. Die verbleibenden Mäander wurden allesamt begradigt und die Plima fließt seitdem nahezu geradlinig durch die Ortsteile Gand und Ennewasser. Insbesondere in Gand wurden viele Veränderungen am Bach vorgenommen. Der Bachlauf wurde um einige Meter versetzt, zum Beispiel südlich von Gand, wo er weiter weg von der Straße verlegt wurde, oder bei der Straße nach Meiern. Hier fließt die Plima nun an der Stelle, wo bis zum Jahr 1987 Gebäude standen. Somit hat sich auch die Fläche des Bachbettes auf 62.272 m² vergrößert. Seit den groß angelegten Regulierungsbauten hat sich der Lauf der Plima nicht mehr verändert.



Abbildung 40: Darstellung der Flusslaufänderung der Plima im Untersuchungsgebiet von 1954 bis 1992

5.4 Ergebnisse der Schadensanalyse

Durch die Annahme, dass das Ereignis in derselben Intensität in den Untersuchungsjahren auftreten hätte können, ist die Berechnung des Schadenspotentials möglich. Detaillierte Beschreibungen zu den potentiellen Schadenssummen und Gebäudewertigkeiten wurden für jedes einzelne Jahr in dem jeweiligen Unterkapitel vorgenommen. Dieses Kapitel dient zum zeitlichen Vergleich und Gegenüberstellung aller Untersuchungsjahre.

Insgesamt wurden max. 146 Gebäude (2006, siehe Tabelle 11) identifiziert, wobei nur die Wohngebäude in die weiterführende Analyse mit einfließen. Deren Zahl beläuft sich im Jahr 1954 auf 40, 1985 beinahe doppelt so viele, nämlich 74, 1992 etwas mehr (79 Gebäude), 1999 89 und 2006 92 Gebäude. Das heißt, dass alle weiteren zumeist kleineren Gebäude der jeweiligen Untersuchungsjahre landwirtschaftlich, öffentlich oder gewerblich genutzt werden. In die Schadensanalyse wurden nur

Garagen mit einbezogen. Gewerbliche Hallen, landwirtschaftliche Ställe etc. fließen nicht mit ein. Ausnahme ist der Gemeindebauhof, der bei der ursprünglichen Vulnerabilitätsanalyse berücksichtigt wurde. Die meisten touristischen Einrichtungen, die sich größtenteils aus Pensionen oder Appartements zusammensetzen, werden zugleich als Wohnhaus genutzt. Hierbei bezieht sich die Schadensabschätzung nur auf die bebaute Fläche. Bewegliches Gut kann nicht mit einbezogen werden, da durch den zeitlichen Vergleich eine Rückverfolgung diesbezüglich nur schwer möglich ist. Für die Einkalkulierung von Mobiliar, gewerblich genutzter Maschinen etc. müssten weiterführende Arbeiten folgen.

Der erste Analyseschritt bestand in der Berechnung der Werte jedes einzelnen Gebäudes, die für die Berechnung herangezogen wurden. Dafür werden die Grundfläche, die Stockwerke, das Dachgeschoss, die Keller und eventuell direkte Anbauten wie Garagen miteinbezogen. Die Wertigkeiten der Gebäude sind stark von der Grundfläche abhängig, die sich je nach Stockwerkszahl und Benutzung des Dachgeschosses ergibt.

Sowohl die Siedlungsfläche als auch die Gebäudezahl hat sich seit 1954 vergrößert. Erkennbar ist, dass bei einer erhöhten Bautätigkeit zwischen zwei Untersuchungsjahren auch mit einer Erhöhung der verbauten Fläche zu rechnen ist. Dieser Umstand zeigt sich direkt in der Ermittlung der Gebäudewertigkeiten, die in [Tabelle 12](#) angeführt sind. Insgesamt hat sich die Wertigkeit zwischen 1954 und 2006 um 234 % erhöht, was eine Verdreifachung des Wertes von 1954 entspricht. Zwischen 1954 und 1985 hat sich der Wert aller untersuchten Gebäude verdoppelt (von $21,5 \pm 4$ Mio. auf $43,7 \pm 7,7$ Mio. €). Danach war die Veränderung nicht mehr so stark, was an den kürzeren Zeitintervallen liegt. Zwischen 1985 und 1992 hat es dennoch eine große Steigerung von 34 % gegeben, von 1992 auf 1999 nur mehr 17 % und bis 2006 betrug die prozentuelle Veränderung 5 %. Die durchschnittlichen Werte ergeben sich durch die Division der in die Analyse einbezogenen Gebäudezahl und dem Gesamtwert für jedes Jahr. Bis 1985 blieb der Wert unter 600.000 € pro Haus, ist bis 1992 jedoch um 26 % auf annähernd 750.000 € gestiegen. Die Änderungen danach sind eher marginal, da kaum größere Bauten realisiert wurden, die den durchschnittlichen Wert hätten stark ansteigen lassen können. 2006 lag er bei etwas über 783.000 €.

Die Schadenssummen geben einen deutlicheren Eindruck über die möglichen monetären Konsequenzen eines Murereingisses. Dabei wird von derselben Prozessintensität wie 1987 ausgegangen. Der potentielle Schaden ist stark abhängig von der Lage des Gebäudes. Durch die Rekonstruktion der Ablagerungshöhen ist es möglich, neue Intensitätswerte für Häuser zu ermitteln, die 1987 nicht existiert haben. Zum ersten Zeitpunkt im Jahr 1954 würde der Schaden unter $2,4 \pm 0,6$ Mio. € betragen. 31 Jahre später, zum zweiten Analysezeitpunkt, würde die Schadenssumme bereits das 2,6-fache ausmachen, nämlich $6,2 \pm 1,2$ Mio. €. Durch die Bebauung augenscheinlicher Risikozonen (Bereiche mit höherer Ablagerungsintensität), steigt der potentielle Schaden bis 1992 auf $10,5 \pm 1,35$ Mio. € an. Bis 1999 ist ein weiterer Anstieg auf $13,2 \pm 1,7$ Mio. € zu verzeichnen. Zwischen 1999 und 2006 würde sich die Summe um weitere 730.000 € auf $13,9 \pm 1,8$ Mio. € steigen. Zwischen den am weitesten auseinanderliegenden Zeitpunkten liegen 52 Jahre, in denen sich die potentielle Schadenssumme um das 5,8-fache erhöht hätte. Der durchschnittliche Schadenswert würde insgesamt um 152 % bzw. um das 2,5-fache ansteigen. So hätten im Jahr 1954 jedes der 40 Wohngebäude einen

5. Ergebnisse

Schaden von 59.852 ±15.000 €. Dieser Wert ist kontinuierlich im Steigen begriffen. 1985 liegt der durchschnittliche Schaden pro Haus bei 84.110 ±16.146 €, 1992 bei 133.218 ±17.138 €, 1999 bis 148.000 ±19.345 € und 2006 bei 151.043 ±19.376 €.

Viele Gebäude würden keinen Schaden nehmen, einige jedoch umso mehr, in Abhängigkeit ihres Wertes und der Ablagerungshöhen. Die Schwankungsbreiten bewegen sich zwischen im Jahr 1954 0 und 454.829 ±98.117 €, im darauffolgenden Untersuchungsjahr bereits zwischen 0 und 744.794 ±70.393 €. Der mögliche Maximalwert liegt in den Jahren 1992, 1999 und 2006 um eine Million € höher, nämlich bei 7.783.186 ±70.393 €. Zusätzlich ist in der Tabelle 12 der Medianwert für das Schadenspotential angegeben. Dieser teilt die Grundgesamtheit (den potentiellen Schaden für jedes Gebäude) in zwei Hälften, wodurch Ausreißer weniger stark ins Gewicht fallen als beim Mittelwert. Im Jahr 1954 würde die Hälfte der damals existenten Gebäude einen Schaden von 11.239 € verzeichnen, die andere Hälfte würde mehr als diesen Betrag kompensieren müssen. 1985 verändert sich die Aufteilung stark, da der Median bei 5.850 € liegt. 1992 ist beinahe das Niveau von 1954 erreicht (10.727 €) und bis 1999 steigt der Wert auf knapp unter 20.000 €. 2006 sinkt er wieder leicht auf 18.362 €.

Tabelle 12: Änderung Gebäudewertigkeit und der Schadenssumme von 1954 bis 2006 in Euro

	Wert	+/-	Schadenssumme	+/-	Median
1954	21.545.702	4.092.873	2.394.082	603.719	11.239
1985	43.752.145	7.690.671	6.224.105	1.194.821	5.850
1992	58.799.349	8.299.000	10.524.226	1.353.878	10.727
1999	68.827.853	9.580.196	13.163.381	1.721.678	19.507
2006	72.062.354	9.866.506	13.895.925	1.782.553	18.362

Die Veränderung der Schadenssummen ist noch einmal in Abbildung 41 graphisch aufbereitet. Es zeigt sich ein klarer positiver Trend zu einer Erhöhung der Schadenssummen für das Untersuchungsgebiet. Der Anstieg von zuerst etwas über 2 Mio. € Schaden im Jahr 1954 auf durchschnittlich über 6 Mio. € im Jahr 1985 vollzog sich vergleichsweise langsamer. Zwischen 1985 und 1992 erfolgte ein relativ rascher Anstieg der potentiellen Schadenssummen auf durchschnittlich 10,5 Mio. €. Im folgenden Zeitabschnitt begann sich der Anstieg zu verflachen, bis zwischen 1999 und 2006 die Differenz nur mehr einige 100.000 € an durchschnittlichen Schaden betragen würde.

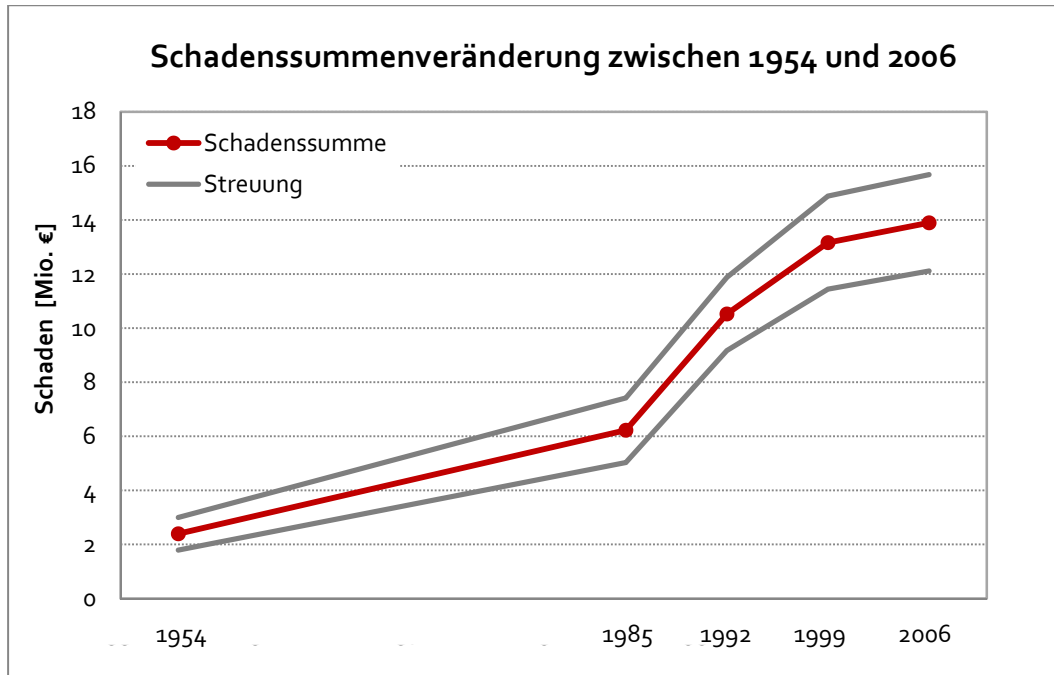


Abbildung 41: Veränderung der potentiellen Schadenssummen in € inklusive Streubereich im Zeitverlauf

Eine interessante Option ist der Vergleich der beiden Ortsteile Gand und Ennewasser, da hier klare Differenzen zu erkennen sind (vgl. Tabelle 13). Im Kapitel 5.2 wurde schon darauf eingegangen, ein direkter zeitlicher Vergleich scheint dennoch sinnvoll und anschaulicher. Die drei Gebäude in Meiern weisen in allen Untersuchungsjahren kaum bis keine Schäden auf, weshalb sie hier nicht gesondert aufgelistet werden. So ergeben sich die vor allem zum ersten Untersuchungsjahr bestehenden großen Differenzen. Im Jahr 1954 hätte der Schaden in Gand $2,2 \pm 0,57$ Mio. € ausgemacht, während Ennewasser nur ein Sechzehntel davon kompensieren hätte müssen. Ein ebensolches Ergebnis würde 1985 erhalten werden, wo die Schadenssumme in Gand $6 \pm 1,16$ Mio. € betragen würde, in Ennewasser jedoch nur 224.753 ± 36.867 €. In den folgenden Jahren beträgt die Differenz zwischen den Ortsteilen meist in etwa das Neunfache der Summe von Gand. Das zeitliche Verlaufsdiagramm, abgebildet in Abbildung 42, veranschaulicht die Veränderung der Schadenssummen beider Ortsteile mit den jeweiligen Streubereichen. Anzumerken ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen Skala der Ordinaten, die so gewählt wurde, dass auch die Werte von Ennewasser lesbar sind. Besonders hervorzuheben ist Ennewasser, wo sich der Schaden zwischen 1954 und 1985 nicht einmal verdoppelt hätte. Bis zum darauffolgenden Untersuchungsjahr 1992 erfolgte jedoch ein sprunghafter Anstieg auf etwas über eine Million potentieller Schaden im Ortsteil. Die Entwicklung der Schadenssummen in Gand sind jedoch mit jener des gesamten Untersuchungsgebietes zu vergleichen (siehe Abbildung 41).

5. Ergebnisse

Tabelle 13: Schadenssummen in Gand und Ennewasser in Euro

Jahr	Gand			Ennewasser		
	Schaden	+/-	Gebäude	Schaden	+/-	Gebäude
1954	2.220.787	575.519	23	137.212	21.872	14
1985	5.999.331	1.157.951	48	224.753	36.867	23
1992	9.506.566	1.220.571	48	1.017.636	133.304	28
1999	11.808.388	1.534.521	52	1.354.972	187.153	34
2006	12.386.356	1.578.828	53	1.509.548	203.722	36

Generell ist anzumerken, dass die Schadenssummen in Gand immer höher wären als jene in Ennewasser. Das liegt zum einen an der geringeren Zahl der Häuser in Ennewasser. Zum anderen war die Ablagerungsintensität 1987 nicht so hoch wie in Gand, weshalb viele Gebäude unbeschadet blieben und bei der hier durchgeführten zeitlichen Analyse auch bleiben würden. Der Durchschnittswert pro Haus gibt darüber mehr Aufschluss und zeigt weitere Differenzen auf. In Gand würde dieser 1954 bei 96.556 € liegen, 1985 bereits bei 125.000 €. Im Jahr 1992 würde der durchschnittliche Schaden pro Wohnhaus bei knapp unter 200.000 € liegen. Die Werte von 1999 und 2006 liegen recht knapp beieinander (~227.000 bzw. 233.705 €), was die geringen Veränderungen der Risikolelemente um die Jahrtausendwende verdeutlicht. In Ennewasser ist nicht nur bei den absoluten Schadenssummen ein anderes Bild zu erkennen, auch die durchschnittlichen potentiellen Schäden pro Haus differieren stark von Gand. So würden im Jahr 1954 nur 9.800 € Schaden pro Haus anfallen, 1985 würde er sogar um 29 € weniger betragen. 1992 würde jedoch ein Sprung auf 36.344 € erfolgen. Bis 1999 würde der Durchschnittsschaden pro Haus auf knapp unter 40.000 € ansteigen, 2006 würde er bei unter 42.000 € liegen. Die geringeren Ablagerungsintensitäten in Ennewasser würden somit zu weitaus geringeren Schäden führen.

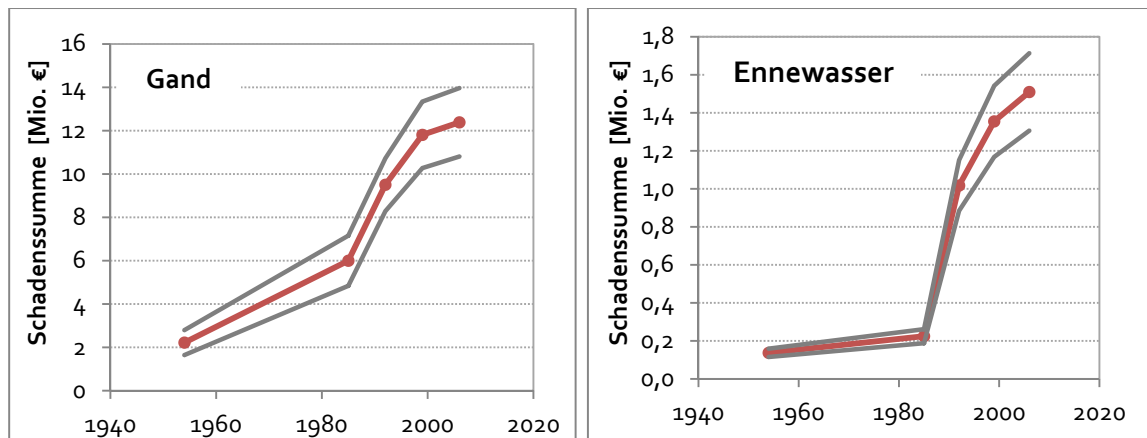


Abbildung 42: Veränderungen der durchschnittlichen Schadenssummen (mittlere rote Linie) mit Streubereich in Gand und Ennewasser von 1954 bis 2006

Abschließend soll ein räumlicher Vergleich der Ablagerungsintensitäten kombiniert mit dem Schadenspotential dargestellt werden. In Abbildung 43 wurde exemplarisch das Jahr 1985 verwendet, alle weiteren Untersuchungsjahre sind im Anhang zu finden. Die Darstellung der Gebäude erfolgt nach dem Ausmaß ihres Schadenspotentials. Dadurch zeigt sich, dass exakt jene Bereiche, in denen die Ablagerungsintensität durch das Ereignis sehr gering war, keine Schäden bei den betreffenden Gebäuden entstehen. Dies ist der Fall bei jenen zwischen Gand und Ennewasser. Relativ geringe Schäden von unter 50.000 € finden sich vor allem bei Gebäuden in Ennewasser, aber auch bei vielen in der Gand. Bei den Gebäuden, die zwischen 50.000 und 100.000 € Schaden zu verzeichnen hätten, zeigt sich wiederum eine Korrelation mit den Ablagerungsintensitäten, die hierbei meist zwischen 0,6 und 1,5 m liegen. In Ennewasser wäre das 1985 bei einem kleinen Gebäude auf der linken Straßenseite der Fall, in Gand vor allem um den Bereich, den die Mure 1987 als Transferweg genommen hat. Die Gebäude, die potentiell der nächsthöheren Schadensklasse von 100.000 bis 250.000 € angehören würden, sind deutlich um die Ablagerungskegel in Gand angesiedelt. Hier würden die Intensitäten zwischen 1,6 und 2,5 m liegen. Über 250.000 € Schaden würden die Gebäude von 1985 erleiden, würde bei einem erneuten Auftreten desselben Ereignisses die Intensität genauso stark sein, sodass sie bis zu 3 m hoch zu- bzw. verschüttet werden. Insbesondere das Südende von Gand ist sehr betroffen, da die Mure hier mit der aufgebauten Energie auf die ersten Gebäude treffen würde und die meisten Schäden anrichten könnte.

Zu denselben Ergebnissen kommt der Vergleich mit den anderen Untersuchungsjahren. Es ist eine klare Konzentration der Gebäude um die Bereiche mit einer hohen Ablagerungsintensität zu erkennen, da der mögliche Schaden mit den Intensitäten zusammenhängt. Die Zonen, die nur wenige Zehnerzentimeter mit Murmaterial bedeckt waren, erfahren kaum Schaden. Ab 1992 ist dies zum Beispiel bei der Handwerker- und Gewerbezone in Ennewasser zu erkennen. Würde das Ereignis also noch einmal mit derselben Intensität passieren, so wären die Betriebshallen weniger stark betroffen. Insbesondere bei den letzten drei Untersuchungsjahren ist das Band der Zerstörung durch Gand anhand der Gebäude mit dem höchsten Schadenspotential gut zu erkennen.

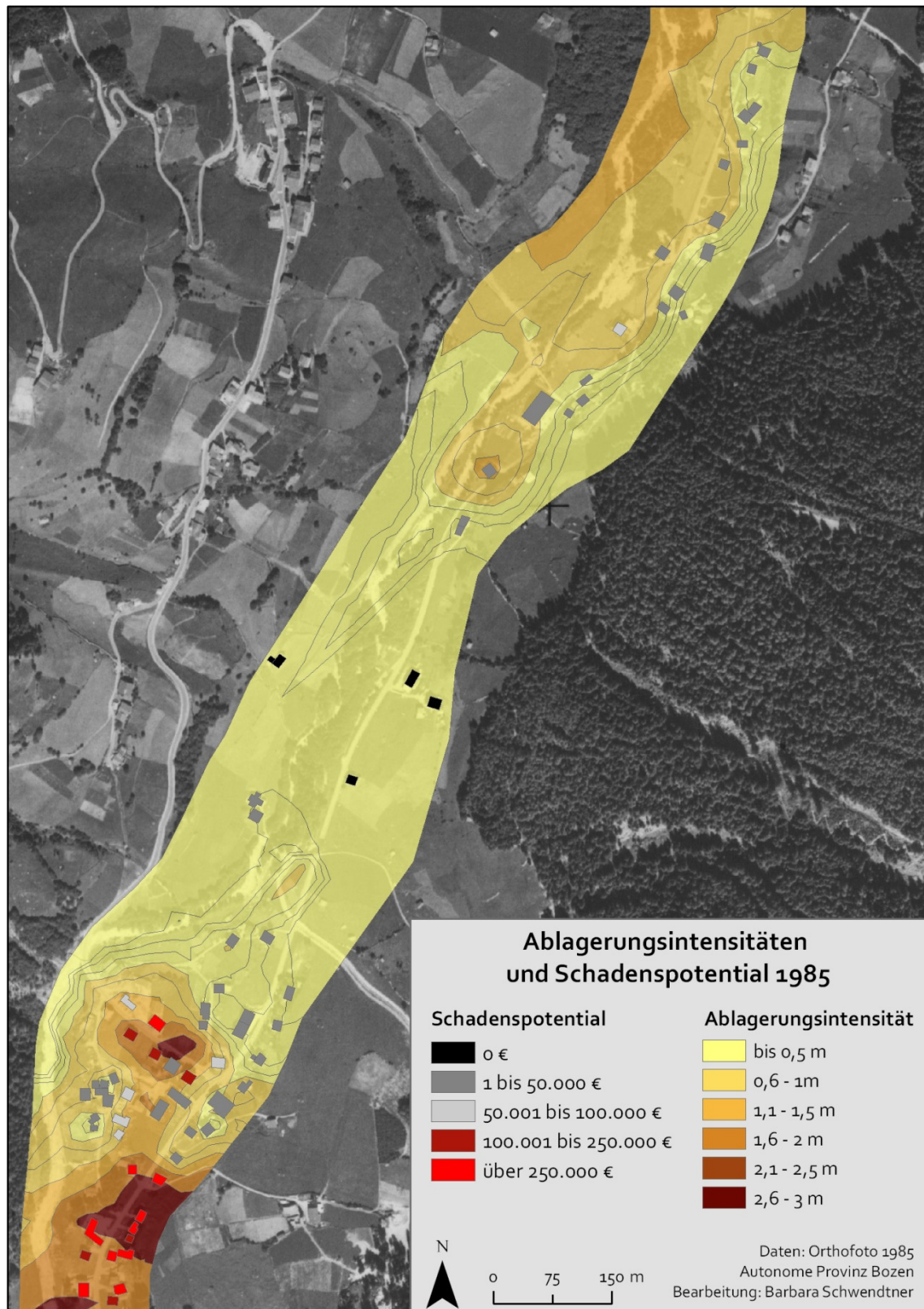


Abbildung 43: Ablagerungsintensitäten und Schadenspotential von 1985

Um festzustellen, welcher durchschnittliche Schaden pro Haus zu erwarten ist, wurde für jedes Untersuchungsjahr die Durchschnittswerte für die betreffenden Intensitätsklassen berechnet (Tabelle 14). Risikoelemente, die nur wenige Zentimeter zugeschüttet wurden, würden meist Schäden im ein- bis maximal zweistelligen Eurobereich aufweisen. Häuser, die bis zu einem halben Meter betroffen wären, würden 3.000 € an Schaden zu kompensieren haben. In der darauffolgenden Klasse ist ein großer Sprung zu bemerken. Das Murmaterial kann bei einer Höhe von mehr als einem halben Meter durch Fensteröffnungen in das Innere gelangen, weshalb es zu größeren Schäden kommen kann. Dasselbe gilt für die Gebäude, die bis zu 1,5 m mit Material zugeschüttet würden. Türen können eingebrochen werden und Murmaterial in das Innere des Gebäudes eindringen. Das größte Schadenspotential ist bei Ablagerungshöhen von 2,1 bis 2,5 m zu erwarten, wo insbesondere seit 1992 die Schäden über 700.000 € betragen würden. Dass in der darauffolgenden Intensitätsklasse ein geringeres Ausmaß an Schaden zu erwarten wäre, liegt zum einen an der geringeren Anzahl an Risikoelementen, die über 2,5 m verschüttet werden würden. Im Jahr 1954 hätte dies fünf Gebäude getroffen, in den darauffolgenden Untersuchungsjahren nur jeweils drei. Zum anderen hängt dies auch von der generellen Größe der Gebäude ab, die bei den betreffenden Risikoelementen geringer ist. Im direkten Vergleich der Untersuchungsjahre ist die Veränderung innerhalb jeder Klasse meist nur relativ gering ausgeprägt. Mehrfach steigt das durchschnittliche Schadenspotential pro Haus im Laufe der Zeit an (z.B. in der Klasse 0,6 bis 1) oder sinkt zwischenzeitlich wieder leicht (1,1 bis 1,5 m).

Tabelle 14: Schadenspotentiale in € der jeweiligen Intensitätsklassen von 1954 bis 2006

Intensität	1954	1985	1992	1999	2006	Durchschnitt
0 m	0	5	5	3	3	3 €
0,1 bis 0,5 m	724	2.766	4.191	3.755	3.561	2.999 €
0,6 bis 1 m	18.089	29.897	35.579	36.263	43.558	32.677 €
1,1 bis 1,5 m	--	117.842	199.870	187.905	216.775	180.598 €
1,6 bis 2 m	250.857	222.172	396.414	425.208	470.985	353.127 €
2,1 bis 2,5 m	--	477.885	746.046	835.063	786.284	711.319 €
2,6 bis 3 m	347.749	315.528	469.688	734.559	449.871	463.479 €

5.5 Zusammenfassung

Die Tabelle 15 zeigt einen Überblick über die Gebäudeanzahl, die zur Analyse herangezogen wurde, die verbauten Grundflächen und das Schadenspotential im Untersuchungsgebiet im zeitlichen Vergleich. Die Anzahl der Risikoelemente ist im Zeitverlauf gestiegen und hat sich insgesamt mehr als verdoppelt. Die verbaute Fläche ist dabei um das Dreifache gestiegen und betrug 2006 mehr als 2,3 ha, wobei eine Streuung von mehr als 3.000 m² zu berücksichtigen ist. Zwischen 1954 und 1985 hat sich die Fläche verdoppelt, was an dem längsten Zeitabschnitt und der intensivsten Bauphase zurückzuführen ist. Das Schadenspotential, das zu erwarten wäre, liegt zwischen 2,4 ± 0,6 Mio. € im Jahr 1954 und 13,9 ± 1,78 Mio. € im Jahr 2006. Der durchschnittliche potentielle Schaden pro Haus steigt somit von etwa 60.000 auf das 2,5-fache auf über 150.000 €. Die durchschnittlichen Intensitäten lagen immer bei 0,8, ausgenommen 1954, wo sie bei allen Gebäuden bei 0,7 liegen würde.

Tabelle 15: Zusammenfassende Darstellung der primären Ergebnisse

Jahr	Gebäude- anzahl	Verbaute Fläche (m ²)	+/-	Schadens- potential (€)	+/-
1954	40	7.394	1.440	2.394.082	603.719
1985	74	14.619	2.664	6.224.105	1.194.821
1992	79	19.635	2.844	10.524.226	1.353.878
1999	89	22.222	3.204	13.163.381	1.721.678
2006	92	23.066	3.312	13.895.925	1.782.553

6. Diskussion

Dieses Kapitel dient zur kritischen Auseinandersetzung der ermittelten Ergebnisse. Zusammenhänge, Problematiken und Unsicherheiten aber auch Vorteile der gewählten Methodik sollen aufgezeigt und im Kontext der wissenschaftlichen Forschung diskutiert werden. Des Weiteren werden die Resultate auf ihre Plausibilität überprüft.

6.1 Diskussion der Datengrundlage und Methoden

6.1.1 Bewertung der Orthofotos und der Digitalisierung

Die verwendeten Orthofotos weisen aufgrund ihrer unterschiedlichen Aufnahmeverfahren verschiedene Eigenschaften auf. Die Qualität variiert deswegen sehr stark und ist insbesondere bei den älteren Orthofotos nicht mit neueren Aufnahmen zu vergleichen. Verbesserungen in der Technik ermöglichen heute hochwertige Luftbilder, die digital weiterverarbeitet werden. Die Befliegungsbedingungen wurden vereinheitlicht und finden heute im Normalfall in den Sommermonaten bei guter Witterung bzw. wolkenlosem Himmel um die Mittagszeit statt. Somit können Schattenwürfe vermieden werden, was die Lesbarkeit erhöhte.

Durch die schlechte Qualität des ältesten Orthofotos von 1954 kann die Lage-treue nicht vollständig gegeben werden. Teilweise ist ein Fehler von mehreren Metern zu berücksichtigen. Abbildung 44 zeigt einen direkten Vergleich aller Orthofotos im gewählten Kartiermaßstab von 1:1.000. Hier zeigt sich die unterschiedliche Qualität besonders. Jenes von 1954 weist eine nur sehr geringe und eingeschränkte Grauwertskala auf, weshalb Unterschiede nur schwer erkannt werden können. Der starke Schattenwurf verursacht jedoch bei einigen Gebäuden eine stärkere Spiegelung der Dächer, weshalb diese heller erscheinen und so leichter erkannt werden können. Häuser in anderen Teilen des Untersuchungsgebietes können im Gegensatz gar nicht identifiziert werden, da die umliegenden Berge einen extremen Schatten werfen. Wie im Methodenkapitel erwähnt, wurden für diese Bereiche historische Fotoaufnahmen verwendet. Die Orthofotos von 1992 und 1999 sind sehr pixelig, während jenes von 1985 in vergleichsweise ausgesprochen guter Qualität vorliegt. Der Kartiermaßstab erwies sich als ideal, da in einem größerem Maßstab die Gebäude zu pixelig und nicht mehr von ihrer Umgebung unterschieden werden hätten können. Ein kleinerer Maßstab hätte die Identifizierung von kleineren Gebäuden und Gebäudegrenzen erschwert.

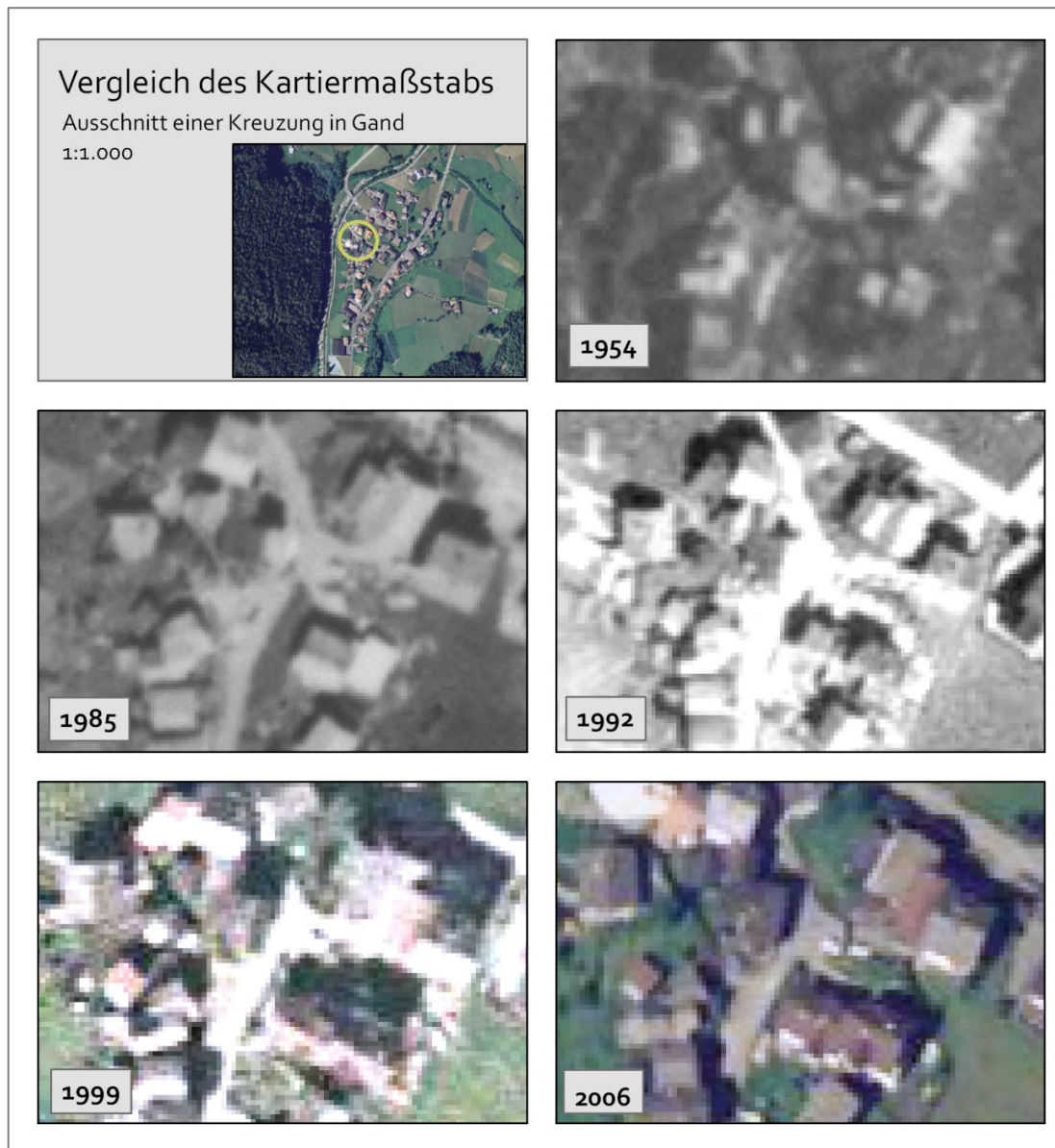


Abbildung 44: Kartiermaßstab und Vergleich der Orthofotos 1954 bis 2006

Durch die unterschiedlichen Qualitäten der Orthofotos kommt es zu Lagefehlern. Eine höhere Auflösung der Orthofotos hätten den Fehler senken können. Ein Problem wäre jedoch dadurch nicht lösbar, da die reale Gebäudegrundfläche ebenso nicht ermittelt werden kann. Durch die Qualität der Orthofotos kann es aufgrund der Auflösung zu Unsicherheiten in der Digitalisierung kommen. Ein Schattenwurf der Gebäude oder eine starke Verpixelung erschweren die Trennung von einzelnen Gebäudeeinheiten. Der gegebene technische Fehler kann durch diese Streuwertberechnung abgeschwächt und somit ein realeres Ergebnis erzielt werden. Durch das Ausgleichen des Fehlers bereits zu Beginn der Schadensanalyse kann ein „Weitertragen“ und –verwenden des Fehlers vermieden werden.

Wie im Methodenkapitel angesprochen, wurde auch angedacht, den Dachüberhang in der Flächenberechnung zu berücksichtigen. Dies würde die Annahme erfordern, dass jedes Haus einen 1 m großen Überhang des Daches über die reale Wohnfläche aufzuweisen hat. Durch die Kenntnis des Umfangs können die entsprechenden Quadratmeter von der Fläche subtrahiert werden. Somit würde eine der Realität eher entsprechende Wohnfläche ermittelt werden können. Die Verringerung der Fläche um den Dachüberhang würde zur Folge haben, dass mit Daten weitergearbeitet wird, die aus einer Annahme entstammen, weshalb auf diesen Analyseschritt aus Gründen der Datenoriginalität und -weiterverarbeitung verzichtet worden ist. Die Angabe eines statistisch ermittelten Streuwertes scheint plausibler und die originalen Daten werden weiter verwendet und nicht verfremdet. Eine weitere Möglichkeit hätte in der Akzeptanz des Fehlers bestanden, der ebenso ausreichend dargelegt worden wäre. Jedoch wären hierbei die Ergebnisse mit größerer Vorsicht zu bewerten.

Eine Unterteilung hinsichtlich der unterschiedlichen Objektarten wurde zwar unternommen, untersteht jedoch einer gewissen Unsicherheit. Die flächenmäßige Analyse der Orthofotos als primäre Quelle erschwert grundsätzlich eine Aufteilung nach Objektarten (Wohngebäude, landwirtschaftliche, touristische, öffentliche oder gewerbliche Nutzung). Zumeist kann von Beihäusern, die dieselbe Hausnummer haben bzw. auf demselben Katastergrundstück stehen, ausgegangen werden, dass es sich hierbei um Garagen oder landwirtschaftlichen Gebäuden handelt. Als zusätzliche Quellen hierfür dienten die Gemeindechronik (PERKMANN-STRICKER, 1985), die Dokumentationsschrift über das Ereignis (PFITSCHER, 1996) sowie das aktuelle Verzeichnis über die gewerblichen und touristischen Betriebe der Gemeinde (MARTELL, 2011b) und eine selbst erhobene Fotodokumentation von 2011. Somit stehen vier verlässliche Quellen zur Verfügung, die jedoch nur die Jahre 1985 und davor, 1987 und 2011 abdecken. Nachdem jedoch mehrere Jahre und Zeitabschnitte analysiert wurden, konnten Rückschlüsse auf die Objektwidmung gemacht werden. Die Unterteilung in die Objektarten ermöglichte weitere interessante Analysen, weshalb nicht darauf verzichtet wurde.

Die Auswahl der Untersuchungsjahre und somit auch der Untersuchungszeiträume erwies sich als durchaus sinnvoll. Da mit Luftbildern bzw. Orthofotos gearbeitet wurde, wäre eine Einbeziehung von Fotos oder Karten vor 1954 aufgrund der Datenlage nicht möglich. Nachdem es in den 1960er und 1970er Jahre ein reges Bauwachstum gegeben hat, wären eventuell Aufnahmen von einem Zeitpunkt in diesen 20 Jahren wünschenswert gewesen. Jedoch lässt sich mit den Ergebnissen von 1954 und 1985 eine ausreichende Aussage treffen, da die Unterschiede hierbei signifikant sind. Die Zeitabstände ab 1985 sind mit jeweils sieben Jahren (1992, 1999 und 2006) ideal vergleichbar.

6.1.2 Intensität und Siedlungsveränderung

“Spatial autocorrelation quantifies a basic principle of geography: things that are closer are more alike than things farther apart.” (ARCGIS, 2011d) In diesem Fall haben nah beieinander stehende Häuser meist die gleiche Ablagerungsintensität, was in einer Intensitätskarte ausgedrückt wurde. Die Ablagerungsintensitäten vom Ereignis im Jahr 1987 wurden anhand einer Ereignisdokumentation geschätzt (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b). Um Unsicherheiten zu begrenzen, wurden jeweils minimale und maximale Werte angegeben und mithilfe eines Konfidenzintervalles bewertet. Dieses drückt mit den Angaben „good, bad, average“ die Annahmen aus (ebenda). Das Ergebnis nach der Verknüpfung der Daten mit ArcGIS ist als sehr zufriedenstellend zu erachten, da mit dem Interpolationsverfahren Kriging diverse regionsspezifische Einstellungen vorgenommen werden können. Im Gegensatz zu statistischen Verfahren werden bei nicht-statistischen (wie Inverse-Distance-Weighting) die Zusammenhänge lediglich geschätzt, was einen deutlichen Nachteil ergibt. Die Verwendung statistischen Verfahrens Kriging hat durch die Heranziehung eines geostatistischen Modells somit einen klaren Vorteil. Des Weiteren wurde der Abbildungsrahmen begrenzt, sodass nur für jene Bereiche interpoliert wurde, die zum einen im Untersuchungsgebiet liegen, zum anderen die Ausbreitung der Mure von 1987 bestmöglich wiedergeben. So wird ein optimales, gut rekonstruiertes Ergebnis der Ablagerungsintensitäten erhalten. Ein deskriptiver Vergleich während der Erstellung im ArcGIS mit der Lokalität der Gebäude von 1987, die die höchsten Schäden zu verzeichnen gehabt haben, stimmen mit den Ablagerungshöhen sehr gut überein.

Die Darstellung der Siedlungsveränderung auf Gebäudeebene ist für die Fragestellung am sinnvollsten. Eine größer gewählte Untersuchungseinheit (z.B. des Siedlungsbereiches bzw. der dicht verbauten Gebiete) ist aufgrund des Fokus auf die physische Vulnerabilität nicht vorteilhaft. Die Unterteilung nach Objektarten ist ein zusätzliches Kennzeichen, das in weiterführenden Arbeiten zur Unterscheidung der Vulnerabilitätsklassen angewendet werden kann. Diese Differenzierung half Disparitäten hinsichtlich der flächenmäßigen Größe und des Zeitbezuges zu ermitteln. Die Anwendung im GIS hat die Vorteile, anwendungsfreundlicher zu sein und visuell gute Ergebnisse zu produzieren. Die Darstellung der Siedlungsveränderung kann am besten mittels Karten realisiert werden. Zudem können die ermittelten Daten exportiert und weiterverarbeitet werden.

6.1.3 Vulnerabilitäts- und Schadensanalyse

Die Berechnung des Schadensausmaßes und der Gebäudewertigkeiten erfolgte unter der Weiterverwendung der Methodik von PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011), deren Annahmen auf der Studie von KEILER (2004) und der Autonomen Provinz Bozen (2009) beruht. Die Einbeziehung der verwendeten Parameter scheint ausreichend, da neben den Stockwerken auch das Dachgeschoss, der Keller und Garagen berücksichtigt wurden und die Studie ursprünglich auf dieselben ostalpinen Baustrukturen angewandt wurde.

Für die Schadensanalyse war vor allem die Größe des Hauses – ausgedrückt durch die Quadratmeter und die Stockwerkszahl – ausschlaggebend. Bezüglich den Gebäudewertigkeiten mussten einige

Annahmen erstellt werden, da für kein Untersuchungsjahr zusätzliche verifizierende Daten verfügbar waren. So wurde zum Beispiel davon ausgegangen, dass jedes Gebäude über einen Keller verfügt. Jedoch ist nicht bekannt, ob alle Gebäude voll unterkellert sind oder nur teilweise. Dasselbe gilt für das Dachgeschoss, das entweder als Dachboden oder als Wohnfläche genutzt werden kann. (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b) Für das Jahr 2006 konnte auf aktuelles Bildmaterial von 2011 zurückgegriffen werden, da davon ausgegangen wird, dass keine großen baulichen Veränderungen an den Gebäuden selbst getätigt wurden. Für die Jahre um das Ereignis (1985, 1992 und 1999) wird angenommen, dass sich die Stockwerkszahlen nicht geändert haben. Natürlich sind Dachausbauten und andere Veränderungen nicht auszuschließen. Für 1954 wurde die Annahme erstellt, dass das Dachgeschoss nie als Wohnfläche genutzt wird, wobei es einige Ausnahmen gibt. Diese Gebäude konnten mit historischen Fotos abgeglichen und Entscheidungen hinsichtlich der Stockwerke getroffen werden. Für alle anderen Häuser bleibt die Unsicherheit bestehen. Diese Annahmen sind bei einem zeitlichen Vergleich nötig, da eine ausreichende Datengrundlage meist und auch in diesem Falle fehlt.

Durch die Verwendung eines Streuwertes der Flächen sind die ermittelten Ergebnisse durchaus plausibel. Die Unsicherheiten werden so klar dargestellt. Unter Heranziehung der Intensität zeigt sich das mögliche Schadensausmaß in den Untersuchungsjahren. Die Berechnung dessen erfolgte unter der Verwendung der Vulnerabilitätskurve und der Interpolation der Murablagerungen. Je höher die Ablagerung ist, desto höher ist der daraus resultierende Schaden, der sich wiederum auf die Gebäudewertigkeit bezieht.

Die Angabe der exakten Beträge bis in den einstelligen Eurobereich soll nicht über das Faktum hinwegtäuschen, dass dies Summationsmaße sind, die mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Bei einer Schätzung bzw. Berechnung der Schadenssummen eines real aufgetretenen Ereignisses, können oft nur ungefähre, angenäherte Beträge angegeben werden. Die ermittelten Schadenspotentiale für alle Untersuchungsjahre werden jedoch nicht gerundet, da die Ergebnisse bereits mit einem Streuwert angegeben werden. Des Weiteren soll hier angemerkt sein, dass die ökonomische Vulnerabilität für das Individuum durch Entschädigungs- bzw. Ausgleichszahlungen (FUCHS, 2009) von Seiten offizieller Einrichtungen verringert werden kann.

Die soziale Vulnerabilität muss in dieser Arbeit leider vernachlässigt werden, da statistisch erhobene Daten auf Ortsteilebene nicht vorhanden sind. Es hätte während der Feldbegehung eine Erhebung der Haushalte gemacht werden können, auf Basis derer und der durchschnittlichen Haushaltsgröße die Belegungszahl ermittelt werden kann. Aus Gründen der Datensensibilität wurde jedoch darauf verzichtet und sich auf die physikalische und ökonomische Vulnerabilität konzentriert. Zudem wäre diese Fragestellung im Kontext des zeitlichen Vergleichs nur schwer möglich gewesen, da wiederum von Annahmen hätte ausgegangen werden müssen.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Siedlungsveränderung

Die Analyse und Darstellung der Siedlungsveränderung ist ein interessantes Forschungsfeld, da es von vielen verschiedenen Disziplinen interpretiert werden kann. Die räumliche Verteilung der Risikoelemente wird zum einen stark vom historischen Siedlungswachstum geprägt, zum anderen üben Maßnahmen der Raumplanung, wie die Ausweisung von Gefahrenzonen (FUCHS et al., 2004), Einfluss. Aus siedlungstechnischer und raumplanerischer Sicht gesehen ist Gand eine eher unideale Siedlungszone, da es im Schatten der Berge gelegen ist und somit deutlich weniger Sonnenstunden zu verzeichnen hat als der Hauptort Meiern. Dieser Umstand des nicht-idealen Wohnumfeldes drückte sich zu Beginn der Besiedlung durch die Ansiedlung von der vorwiegend ärmeren Bevölkerungsschicht aus (PERKMANN-STRICKER, 1985). Im 20. Jahrhundert ist jedoch ein differenzierteres Bild zu beobachten. Die Siedlungsentwicklung im Martelltal und mit Fokus auf das Untersuchungsgebiet im Talboden ist als positiv anzusehen. Phasen intensiver Bautätigkeit gehen in Zeiten mit geringerem Wachstum über. Auch andere Studien kommen zu demselben Ergebnis, dass sich die Siedlungsfläche im Martelltal nach dem Zweiten Weltkrieg vergrößert hat (UIBK, 2008). Obwohl die Bevölkerungszahl leicht abgenommen hat, ist ein Trend zur Siedlungserweiterung zu verzeichnen. Bis vor einigen Jahrzehnten war es üblich, dass mehrere Generationen in einem Haus lebten, weshalb es trotz höherer Bevölkerungszahlen weniger Wohngebäude gab. Durch den erhöhten Platzbedarf der Familien heute ist der Wunsch nach einem Eigenheim gestiegen, weshalb auch mehr Einfamilienhäuser gebaut werden und die Belegungszahl gesunken ist. Die Haushaltszahl hat seit 1971 um 64 % zugenommen (UIBK, 2008). Parallel dazu hat sich eine Abnahme der durchschnittlichen Haushaltsgröße vollzogen, die 2001 bei 2,8 Personen lag, 1971 jedoch noch bei 4,9. Dieser Wandel zu kleineren Haushalten von nur einer oder zwei Personen drückt sich in einer verstärkten Bauaktivität aus. Zudem wurden einige Mehrfamilienhäuser gebaut. Der Besiedlungsgrad ist die Relation zwischen der besiedelten Fläche und der Grundfläche. Dieser ist in Gand tatsächlich am höchsten und liegt bei 15,5 %. Im Hauptort Meiern beträgt der Besiedlungsgrad 12 % und im gesamten Gemeindegebiet liegt er nur bei 0,5 %, was auf die geringe besiedelbare Fläche zurückzuführen ist. (AUT.PROV.BZ, 2007) Als weitere Gründe für die Ausdehnung des Siedlungsbereiches kann die Erweiterung des touristischen Angebotes und die Aufwertung der lokalen Wirtschaft genannt werden. So haben viele Familien in Gand und Ennewasser Pensionen, Urlaub am Bauernhof oder Ferienappartments eröffnet und es ist eine Handwerker- bzw. Gewerbezone zwischen den Ortsteilen entstanden.

Mithilfe der gewählten Methode können die Perioden der Siedlungsausdehnungen identifiziert werden. Bis 1954 herrschten im Untersuchungsgebiet kleinstrukturierte Siedlungsformen mit Einzelhöfen und kleineren Siedlungen vor. Der Zeitabschnitt von 1954 bis 1985 kann als der bauintensivste bezeichnet werden, da sich die Siedlungen stark erweitert haben und es somit zu einer Verdichtung gekommen ist. Seit 1985 wurden vor allem Lücken aufgefüllt und das Gewerbegebiet in Ennewasser ist entstanden. Nach dem Ereignis entstanden dort die ersten größeren Gebäude, die für Gewerbezwecke errichtet wurden. Dieser Bereich ist zwischen 1992 und 1999 beträchtlich gewachsen. Öffentliche Gebäude gibt es in Gand und Ennewasser vorwiegend nur den Gemeindebauhof, dessen Grundfläche nach der

Komplettzerstörung vergrößert wurde und deswegen die Analyse stark beeinflusst. Aufgrund der Siedlungserweiterung wurden auch die Infrastrukturen angepasst. Einige Verbindungsstraßen in Gand wurden errichtet, asphaltiert und Wege zu Einzelhöfen ausgebaut.

Ein Blick auf die Baustruktur gibt Aufschluss auf das Baualter bzw. das Alter des Risikoelements. Die ältesten Gebäude werden vorwiegend nur mehr als zusätzliche Gebäude für die Landwirtschaft verwendet. Als Wohngebäude dienen fast nur mehr neuere Häuser aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Eine Ermittlung des genaueren Baualters (evtl. in Fünf-Jahres-Schritten) würde hilfreich für weiterführende Analysen sein. Die Fragestellung fokussierte sich jedoch auf den Vergleich auf Basis von Orthofotos.

6.2.2 Flächenanalyse

Im zeitlichen Verlauf zeigt sich ein Trend zu deutlich größeren Grundflächen. Die alten Gebäude im Untersuchungsgebiet lassen sich nicht nur äußerlich klar davon abgrenzen, sondern auch bezüglich deren Fläche. Je älter das Gebäude, desto geringer ist die Grundfläche, was sich bei der Feldbegehung verifizieren ließ. Des Weiteren ist dies auch abhängig von der spezifischen Nutzung. Die Veränderung der Flächen der Objektarten zeigt, dass die landwirtschaftlichen Gebäude in etwa einen gleichen Prozentanteil während dieser Zeitspanne einnehmen. Dieses Ergebnis stimmt mit den statistisch verfügbaren Daten gut überein, da kaum landwirtschaftliche Betriebe aufgegeben wurden (UIBK, 2008). Den Großteil der Flächen der öffentlichen Einrichtungen sind dem Bauhof zuzuschreiben, der nach dem Ereignis 1987 vergrößert wurde. Auch der Anteil der gewerblichen Einrichtungen ist im Laufe der Jahre gestiegen, was auf den Ausbau der Handwerkerzone zwischen Gand und Ennewasser zurückzuführen ist.

Der Verlauf der Plima hat sich im Zeitvergleich ebenfalls stark geändert. War der Bach zu Beginn des Analysezeitraumes 1954 noch weitgehend naturbelassen, so hat er sich bis 1985 bereits ein wenig verändert, da er reguliert wurde. Nach dem Ereignis wurden die Mäander begradigt, das Bachbett verbreitert und neu ausgekleidet (PFITSCHER, 1996), was auch die flächenhafte Analyse deutlich bestätigt hat. Durch die vorgenommenen Maßnahmen soll die Plima auch höhere Abflüsse aufnehmen können und ein Übertreten auf Siedlungs- und landwirtschaftlich genutzte Bereiche verhindern.

6.2.3 Ermittlung des Schadenspotentials

Während für die flächenhafte Analyse alle digitalisierten Gebäude miteinbezogen wurden, basiert die Ermittlung des potentiellen Schadens auf den Wohngebäuden. Dadurch ist eine Vergleichbarkeit mit dem tatsächlichen Schaden von 1987 möglich. Des Weiteren werden die Ergebnisse nicht durch zusätzliche Gebäude wie Ställe, Scheunen, Gewerbehallen etc. verfälscht.

Die Hauptablagerungsgebiete des Murereignis von 1987 waren räumlich konzentriert in einigen Gebieten des Ortsteils Gand. Nachdem die Plima auf die orographisch rechte Seite ausgebrochen ist,

6. Diskussion

waren die Häuser in Meiern kaum beschädigt. Dieses Ergebnis zeigt sich in allen Untersuchungsjahren wieder, da die geringen Ablagerungshöhen die Schäden an diesen Gebäuden niedrig halten. Die Höhe der Ablagerung ist der bedeutenste Faktor für den resultierenden potentiellen Schaden, unabhängig vom Wert des Gebäudes an sich.

Die Analyse und der Vergleich der Gebäudewertigkeiten zeigt einen positiven Trend. Dies ist auf die Anzahl und die Größe der Risikoelemente zurückzuführen. Die Ermittlung des potentiellen Schadensausmaß geht von derselben Ereignisintensität wie 1987 aus. Die wenigen Gebäude von 1954 stehen eher nicht in den Bereichen mit höheren Ablagerungsintensitäten. Kombiniert mit der geringeren Fläche und Stockwerksanzahl ergibt sich insgesamt ein niedrigeres Schadensniveau. Durch die vermehrte Siedlungsaktivität zwischen 1954 und 1985 ist das Schadensausmaß stark gestiegen. Die folgenden sechs Jahre bis zum nächsten Untersuchungsjahr waren geprägt von einem raschen Wiederaufbau der Infrastruktur und der Gebäude. Die Freihaltung der Parzellen direkt neben der Plima nach 1987 haben sicher einen positiven Effekt auf das gesamte Schadensausmaß, weshalb diese Maßnahme als wirksam erachtet werden kann. Der Anstieg des Schadenswertes ist vor allem auf die Besiedelung von Bereichen mit einer ursprünglich höheren Ablagerungsintensität zurückzuführen. Entscheidungsträger müssten auf diese Risikoelemente höhere Aufmerksamkeit schenken, da sie „kritische Zonen“ darstellen (STERLACCHINI et al., 2007). Nach dem Ereignis mussten einige Gebäude komplett abgerissen und an einer anderen Stelle wieder errichtet werden (PFITSCHER, 1996). Dies traf vor allem jene, die direkt neben der Plima standen. Am südlichen Ende von Gand kam es ebenfalls zu großen Schadenssummen, jedoch zeigte sich bei den Analysen der Intensität mit dem Schadenspotential der betreffenden Jahre von 1992, 1999 und 2006, dass in deren Umgebung einige Neubauten entstanden sind. Das lässt den Rückschluss zu, dass diese Bereiche nicht explizit von Bebauung freigehalten wurden. Das Ereignis gilt natürlich als Extremfall und sollte in dieser Form weder aufgetreten sein, noch ein weiteres Mal passieren, weshalb die Auswirkungen nicht in den Flächenwidmungsplan aufgenommen wurde.

Der Großteil der Gebäude würde sich in nicht stark vermuten Gebieten befinden. Der durchschnittliche Anteil liegt zum Beginn des Analysezeitraumes noch etwas höher, da mehr Gebäude in Bereichen mit einer Ablagerungshöhe von mehr als einem halben Meter liegen würden. Danach würden jeweils etwa 50 % aller Risikoelemente des Untersuchungsgebietes weniger stark betroffen sein. 1999 und 2006 liegt dieser Anteil etwas niedriger und mehr Gebäude hätten ob der höheren Ablagerung größere Schäden zu verzeichnen. Zudem hat sich gezeigt, dass die höchsten Schäden im Bereich von 2 bis 2,5 m Ablagerungshöhe zu erwarten wären.

Anzumerken ist, dass die Intensität um ein Risikoelement natürlich variieren kann. Die Gebäudefront in Fließrichtung wird am meisten betroffen werden, während die gegenüberliegende Seite kaum Ablagerungsmaterial verzeichnen wird. Im GIS wurde der Durchschnittswert herangezogen und für die weiteren Berechnungen verwendet.

Der zeitliche Vergleich zeigt eine sehr interessante Entwicklungstendenz der Ortsteile Gand und Ennewasser. Auf kleinräumigen Fokus im Untersuchungsgebiet würde Gand intensivere Schäden zu allen Untersuchungsjahren als Ennewasser aufweisen. Es lassen sich zwei Ursachen für die

Ungleichverteilung der Schadenspotentiale ermitteln. Zum einen war die Siedlungsentwicklung in Gand positiver als im Nachbardorf Ennewasser. Es wurden sowohl mehr als auch flächenmäßig größere Gebäude errichtet. Zum anderen steht der ermittelte Schaden in Abhängigkeit zur Ablagerungsintensität, die 1987 in Gand um einiges höher war als in Ennewasser. In Gand wurden Häuser bis zu 3 m mit Murmaterial verschüttet, weshalb die Konsequenzen des Auftretens desselben Ereignisses in einem der Jahre zu wiederholten großen Schadenssummen führen würde. In Ennewasser wurden Intensitäten von maximal 1,3 m erreicht. Die Häuser, die dem Ortsteil Meiern angehören, aber am Talboden anzusiedeln sind, nehmen kaum Einfluss in die Schadenssummen, da sie 1987 kaum betroffen waren.

Zur Validierung können die real entstandenen Schäden von 1987 herangezogen werden. Diese betrugen für landwirtschaftliche Gebäude und Wohngebäude insgesamt 7 Milliarden Lire. Unter Berücksichtigung der Indexanpassung (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b) sind das umgerechnet 8.854.799 €. 1985 hätte das Schadensausmaß $6.224.105 \pm 1.194.821$ € betragen, 1992 $10.524.226 \pm 1.353.878$ €. Verglichen mit den zum Ereignis zeitlich am nächsten gelegenen Jahren 1985 und 1992 liegt der Wert von 1987 sehr gut im Mittel der beiden potentiellen Schadenssummen. Das heißt, dass die Berechnungen hochgradig valide sind.

1987 wurden 12 Häuser komplett weggespült, weitere 12 hatten große Schäden zu verzeichnen (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b). Des Weiteren wurden etwa 53 Gebäude beschädigt, wie aus der Ereignisdokumentation (PFITSCHER, 1996) hervorgeht. Wegen der verstärkten Siedlungsentwicklung zeigt sich ein Anstieg der Risikoelemente, die bei einem erneuten Auftreten beschädigt worden wären. Starke Ablagerungen hätten jedoch meist nur etwa 50 % der Gebäude zu verzeichnen, jedoch wäre ein nicht erheblicher Anteil mit bis zu einem halben Meter Murmaterial am Haus konfrontiert. Somit würde wiederum ein Großteil der Gebäude im Untersuchungsgebiet zumindest einen geringen Schaden aufweisen. Schadlos blieben etwa 16 %.

Die Zunahme der Schäden kann auch im Zusammenhang mit dem Globalen Wandel gesehen werden. Der erweiterte Siedlungsbereich kann auf den steigenden Lebensstandard zurückgeführt werden. Die Verdichtung der Siedlung im damaligen Gefahrenbereich verursacht in den Jahren 1992 bis 2006 eine höhere potentielle Schadenssumme. Bei einem hypothetisch angenommen erneuten Auftreten desselben Ereignisses würden heute erheblich mehr Gebäude zerstört bzw. stark beschädigt werden.

6.3 Diskussion der Hypothesen

Die eingangs aufgestellten Hypothesen sollen nun nach der Ermittlung der Ergebnisse auf ihre Plausibilität hin überprüft werden. Die erste aufgestellte und umfassendere Hypothese bezieht sowohl die räumliche als auch die zeitliche Perspektive der Fragestellung mit ein:

Ausgehend vom Murereignis 1987 im Südtiroler Martelltal ist eine räumliche und zeitliche Veränderung im Schadenspotential der Gebäude erkennbar.

6. Diskussion

Die zeitliche Veränderung konnte klar anhand der ermittelten Schadenszahlen belegt werden. 1954 wäre ein vergleichbar geringeres Schadensausmaß zu erwarten gewesen als 2006. Auch die durchschnittlichen Schäden pro Haus sind zu Beginn des Untersuchungszeitraumes weitaus geringer ausgefallen als in den Jahren nach dem Ereignis. Durch die Lokation der Gebäude ab 1992 im damaligen Gefahrenbereich käme es zu deutlich höheren Schäden, womit die Frage der räumlichen Veränderung beantwortet werden kann. Die Lage und Anordnung der Gebäude im Siedlungsverband ist ausschlaggebend für den potentiell zu erwartenden Schaden. Der Murstrom hat sich 1987 einen alternativen Weg abseits des ursprünglichen Bachbetts durch die Siedlungen gesucht, weshalb es entlang der Hautstraße zu den größten Schäden kam. Dies ist auf die höheren Ablagerungsintensitäten zurückzuführen. Ausgehend von der gleichen Intensität wäre somit das Schadenspotential in diesem Bereich höher als in anderen Zonen. Die Anordnung der Gebäude im Raum und deren Verteilung im Zeitverlauf wäre somit entscheidend für eine potentielle Schadenssumme.

Sind signifikante Veränderungen hinsichtlich der Siedlungsstruktur seit der Mitte des 20. Jahrhunderts erkennbar?

Die Siedlungen in Gand und Ennewasser haben sich merklich im Laufe der Zeit verändert. Der früher präkere Wohnort am Talboden ist heute das am dichtesten besiedelte Gebiet im Tal. Obwohl die Bevölkerungsentwicklung in Martell seit Untersuchungsbeginn nicht positiv verlief, ist ein klarer Trend zu einer regen Bauaktivität erkennbar. Die Siedlungsstruktur hat sich deutlich verdichtet. Die Parzellen zwischen den zuerst bestehenden Gebäuden wurden mehr und mehr verbaut und Baulücken wurden aufgefüllt. Neue Bauplätze wurden nur vereinzelt geschaffen, so zum Beispiel die Gewerbe- und Handwerkerzone in Ennewasser. Das Straßendorf Ennewasser verdichtete sich entlang der talauswärtsführenden Straßenseite. Heute zeigt sich im Untersuchungsgebiet ein Nebeneinander von sehr alten Gebäuden mit jenen des Baubooms der 1960er und 1970er Jahre und den größeren und architektonisch interessanter geschnittenen Einfamilienhäuser der letzten 20 Jahre. Rückschlüsse auf den Flächenwidmungsplan können nur erschwert gemacht werden. Klar erkennbar und vorgesehen ist die Freihaltung von einigen Parzellen neben der Plima. Die komplett zerstörten Gebäude wurden an anderen Stellen wiederaufgebaut und einige Quadratkilometer an Grünland vielen der Regulierung der Plima zum Opfer.

Inwiefern sind Mureignisse als Konsequenz des Globalen Wandels zu sehen?

In Gebirgsregionen wird die Auslösung von Muren von einigen Faktoren bestimmt. In Bezug zum Globalen Wandel können durchaus Rückschlüsse für deren Auftreten gemacht werden. Starkniederschlagsereignisse lösen oft flächenhaft Muren aus. Die Tage vor dem Ereignis 1987 waren von Dauerregen geprägt, der nicht nur den Stausee gefüllt hat, sondern auch den Abfluss der Zubringer zur Plima erhöht hat. Der Boden war wassergesättigt, weshalb der gefallene Niederschlag oberflächlich abgeflossen ist und so kleinere Hangmuren ausgelöst hat (Abbildung 45).

Abbildung 45: Hangmuren infolge von Starkniederschlägen am 24. August 1987 (MARTELL, 1987)

Der Regen war ein Faktor für das Möglichmachen des Ereignisses. Der zweite ausschlaggebende Grund betrifft den Staudamm. Flächenhafte Nutzungsveränderungen können unter Umständen zu „menschengemachten“ Naturkatastrophen führen. (BÄTZING, 2003) Ein weiterer ist beim Staudamm zu suchen. Ein solches Bauwerk hat immer Folgen für die Umwelt. Die Gründe für den Bau sind meist divers und beginnen bei einem steigenden Bevölkerungswachstum, das mit Energie versorgt werden muss, dem ökonomischen Wachstum und der einhergehenden Erhöhung des Lebensstandards und enden bei der Verwendung von regenerativen Energien um Alternativen zu fossilen Energieformen zu haben. Diese in aller Kürze zusammengefassten Veränderungen sind in Mitteleuropa nach dem Zweiten Weltkrieg sehr rasant vor sich gegangen. In den 1940er und 1950er Jahren wurden zahlreiche Staudämme bzw. Wasserkraftwerke in den Alpen gebaut, um unabhängiger von Gas und Erdöl aus der damaligen UdSSR zu sein. Diese Entwicklung kann durchaus im Kontext des Globalen Wandels gesehen werden. Die Veränderungen liefen nicht nur kleinräumig in den Gemeinden von sich, sondern sind zumindest auf regionalem Niveau zu sehen. Fakt ist, ohne den Staudamm wäre das Ereignis am 24. August 1987 nicht in diesem Ausmaß passiert. Ein weiterer Faktor war das Profitdenken der Staudammverantwortlichen. Der See sollte so viel als möglich gefüllt sein, um im Winter als Speicher zu fungieren. Diese personelle und ökonomisch geleitete Entscheidung kann nur schwer in das Konzept des Globalen Wandels eingeordnet werden. Zusammenfassend kann jedoch ein Zusammenhang zwischen dem Murereignis und dem Globalen Wandel gesehen werden.

Inwiefern kann eine GIS-Analyse zur Beantwortung der Fragestellung helfen und inwieweit ist ihr Einsatz in diesem Zusammenhang sinnvoll?

Die Aufnahme der Gebäude der einzelnen Untersuchungsjahre hätte durchaus auch mit anderen Methoden erfolgen können. Ein Beispiel wäre eine Auflistung aller Gebäude anhand der einzelnen Hausnummern. Dabei könnten auch Merkmale wie Stockwerkszahl und Baustruktur aufgenommen

6. Diskussion

werden. Die Quellen hierfür wären ausreichend vorhanden. Das Ergebnis wäre jedoch kaum statistischer Art, da eine quantitative Analyse ausbleiben würde. Die Ermittlung der Flächen ist für die Fragestellung unabdingbar, da ohne Kenntnis der Grundflächen weder Wert der Gebäude noch das Schadensausmaß ermittelt werden kann. Durch die Zuhilfenahme des GIS können die Orthofotos auf ein vergleichbares Niveau gebracht werden. Die Digitalisierung erfolgt damit schnell, einfach und mit klaren Ergebnissen. Obwohl immer Unsicherheiten bedacht werden müssen, sind die Ergebnisse aussagekräftig und der Realität entsprechend. Bei einer Anwendung der Methodik in anderen Untersuchungsgebieten ist davon auszugehen, dass ähnliche Ergebnisse erzielt werden.

Die allgemeine Forschungsfrage *„Wie würde sich das Murereignis des Jahres 1987 im Martelltal ausgehend von demselben Ausmaß und Intensität auf die Risikoelemente und deren Verteilung seit 1954 bis 2006 mit Hinblick auf das Schadensausmaß auswirken?“* kann abschließend anhand der ermittelten Ergebnisse wie folgt beantwortet werden: Durch den Anstieg der Gebäudeanzahl ist von einem ebensolchen Anstieg des potentiellen Schadensausmaßes auszugehen. Seit 1954 erfolgte ein zuerst starkes Wachstum der Siedlungen in Gand und Ennewasser, das sich erst zwischen 1999 und 2006 etwas verlangsamt hat. Zusätzlich zum Anstieg der Gebäudezahlen kam es zu einer Vergrößerung der verbauten Fläche. Die Häuser wurden größer gebaut, was in eine höhere Wertigkeit resultiert. Durch den Zusammenhang zwischen Wert eines Gebäudes und Ablagerungshöhe resultiert der angenommene Schaden für das Risikoelement. Nicht nur die allgemeinen Schadenssummen würden im Zeitverlauf deutlich ansteigen, auch der durchschnittliche Schadwert pro Haus ist einem zeitlichen Wandel unterlegen. Das heißt, je später das Ereignis (noch einmal) aufgetreten wäre, desto höher wäre der Schaden.

7. Perspektiven und Zusammenfassung

Abschließend folgen einige Ideen und Überlegungen zu möglichen weiterführenden Arbeiten in der Gemeinde Martell im Kontext der Vulnerabilitätsforschung. Viele Fragestellungen ließen sich noch bearbeiten, die zum Teil auf bereits existierenden wissenschaftlichen Publikationen basieren. Daran anschließend folgt eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit mit schlussfolgernden Bemerkungen.

7.1 Perspektiven

Das Feld der Vulnerabilitätsforschung ist breit gefächert und kann auf viele Bereiche angewendet werden. Würde mehr Zeit und Geldmittel vorhanden sein, so könnten im konkreten Fall des Martelltales viele weitere Analysen und Arbeiten folgen. Einige davon werden im Folgenden kurz dargelegt.

In Bezug auf die Vulnerabilitätsforschung wäre es zum Beispiel möglich, kürzere Zeitabstände zu analysieren oder anstatt von Zeitpunkten von Zeitscheiben auszugehen. Des Weiteren könnten detailliertere Schadensschätzungen und –prognosen gestellt werden, das Interieur könnte miteinbezogen werden. Die Vulnerabilität ändert sich stark in Abhängigkeit zu der Baustruktur (FUCHS et al., 2007), weshalb die Einbeziehung derselben und dem Alter der Gebäude ein interessanter Forschungsaspekt wäre. Im Untersuchungsgebiet finden sich neben traditionellen alpinen Stein-Holzhäusern auch Wohngebäuden neueren Baustils aus Ziegelmauerwerk und Beton. Jeder Bautyp reagiert gegebenenmaßen differenziert auf Naturgefahren wie Muren oder Lawinen, weshalb es zu einem unterschiedlichen Schadensausmaß kommen kann.

Das individuelle Risiko eines jeden Gebäudes kann aufgrund der Analysegrundlage der Orthofotos und Fotoaufnahmen nicht eruiert werden. Dies würde weitere intensive Arbeiten vor Ort mit sich bringen, da sich die Gebäudetypen stark voneinander unterscheiden. Für eine Vulnerabilitätsanalyse struktureller Einrichtungen hinsichtlich Murgefahren sind einige Parameter wichtig. Neben der generellen Größe, die durch Digitalisierung und Geländebegehung ermittelt wurde, sind dies weiters auch die Baustruktur und Öffnungen wie Türen und Fenster, durch die Murmaterial dringen kann. Die Exposition und Anordnung dieser Öffnungen ist jedenfalls von Bedeutung, was in Gefahrenbereichen häufig durch eine fensterlose Hausseite gelöst wird. Eine weitere Möglichkeit bestünde in der Heranziehung des Gebäudevolumens, da dies im Falle eines Murereignisses durchaus realistische Ergebnisse erbringt. Darüber hinaus können verschiedenen Preisklassen verwendet werden, die abhängig von der Nutzform des Gebäudes sind. (FUCHS, 2008) Da im Erdgeschoss eines Gebäudes mit den größten Schäden bei Einrichtung und Vermögen zu rechnen ist, könnte eine Unterteilung in Keller und Erdgeschoss erfolgen (SCHOLL, 2004). Im Kontext des zeitlichen Vergleichs ist diese Erhebung nur schwer möglich, jedoch haben einige wissenschaftliche Publikationen diesen Ansatz verfolgt und in ihre Auswertungen berücksichtigt. (FUCHS et al., 2004, SCHOLL, 2004, STERLACCHINI et al., 2007)

In der vorliegenden Arbeit wurde die Gefährdung von vornehmlich physischen Risikoelementen untersucht. Neben den oben genannten weiteren Aspekten hinsichtlich der beeinflussenden Faktoren von Gebäuden (Baualter, Bausubstanz etc.), könnten auch weitere betroffene Risikoelemente für eine

7. Perspektiven und Zusammenfassung

Analyse in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel waren beim Murereignis 1987 wichtige Infrastrukturen für Monate außer Betrieb, was eine Untersuchung der Straßenverbindungen, Strom-, Wasser- und Telefonnetze im Gemeindegebiet interessant machen würde. Insbesondere in alpinen Gebieten können Naturereignisse abgelegene Gehöfte von der Umwelt abschneiden.

Die Vulnerabilität hätte auch anderweitig berechnet werden können. PAPATHOMA-KÖHLE et al. (2011a) beschrieben eine Methode von MEJIA-NAVARRO (1996), die die Vulnerabilitäts Gleichung mit der Kombination von der Bevölkerungsdichte, Landnutzung und der Infrastruktur bildeten. Diese Formel hätte auch im Martelltal angewendet werden können, würde aber ob der kleinteiligen Struktur keine repräsentativen Ergebnisse liefern. Die Studie wurde zudem ursprünglich für urbane Räume entwickelt.

Wäre eine größere Sicherheit bezüglich der Zuordnung nach Objektklassen gegeben, so wäre eine Schadensanalyse in dieser Hinsicht sehr interessant gewesen. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten wurde jedoch darauf verzichtet und die Unterteilung in die Analyse der Siedlungsveränderung aufgenommen, was durchaus sehr interessante Ergebnisse brachte. Die Gefährdung von landwirtschaftlichen und gewerblichen Flächen und des Tourismus kann somit einer genaueren Analyse unterzogen werden. Hierbei sind nicht nur die direkten monetären Schäden nicht unerheblich sondern auch die indirekten, die Ernte- und Gewinnverluste sowie allfällige Arbeitslosigkeit miteinbeziehen (STERLACCHINI et al., 2007). Insbesondere landwirtschaftliche Flächen sind Muren und geschiebeartige Prozessen oft direkt ausgesetzt und die so entstandenen Flurschäden massiv. Die Regeneration des Bodens und die Rekultivierung dauern meist Jahre an. Weiters kann auch die ökologische Vulnerabilität miteinbezogen werden, die sich durch die Gefährdung von geschützten Flächen (Nationalparks, Biosphären,...), sensiblen Zonen (alpine Gebiete, Jungwald) und auch der Flora und Fauna ausdrückt.

Um eine Abschätzung der personellen Vulnerabilität machen zu können, würde die Belegungsziffer eines Wohnhauses benötigt werden (FUCHS et al., 2004). Der Zugriff auf solche Daten und die Auswertung und Analyse derselben ist jedoch etwas kritisch und mit Vorsicht zu behandeln. Insbesondere gewerblich und touristisch genutzte Gebäude können hinsichtlich der Aufenthaltsdauer von Personen analysiert werden. Dies ist abhängig von den Öffnungs- und Bürozeiten und dem Gewerbe (Tourismus, Handwerk, aber auch Schulen, Kirchen etc.) und auch der Saison, in der ein Ereignis auftritt (MICHAEL-LEIBA et al., 2003, STERLACCHINI et al., 2007). Damit kann abgeschätzt werden, wieviele Personen sich zu welcher Uhrzeit in gefährdeten Bereichen aufhalten. Ebenfalls interessant zu beobachten ist die unterschiedliche Zusammensetzung der Gesellschaft, da sich einige Bevölkerungsgruppen einer höheren Vulnerabilität konfrontiert sehen (z.B. ältere Menschen).

Die Verteilung der Gebäude im Tal sind ebenso wichtig für eine entsprechende Ablagerungsanalyse. Die Anordnung zueinander zeigt signifikante Auswirkungen auf die Ablagerungsintensitäten. Ein realeres Ergebnis würde durch eine Modellierung mit einem entsprechenden Programm (zum Beispiel FLO-2D, MassMov2D) erreicht werden (QUAN LUNA et al., 2011). Hierbei können Hindernisse miteinberechnet werden, die einen Einfluss auf die Ausbreitung der Mure haben. Einige Gebäude stehen „im Schatten“ anderer, weshalb diese dadurch geschützt sind. Mittels Simulationen können auch Parameter geändert werden und es kann anschließend untersucht werden, welche Auswirkungen

sich verändernde Fließeigenschaften (Mure oder fluvialer Geschiebeprozess, Überschwemmung, deren Geschwindigkeit, das Volumen etc.) haben (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b, QUAN LUNA et al., 2011).

Unter Einbeziehung des Risikomanagements können Aussagen zur Wirksamkeit des Frühwarnsystems und des Wiederaufbaus gemacht werden. Hierbei würde sich ein Vergleich von einem entsprechendem Ereignis einer anderen Fallstudie anbieten. Dabei könnten Fragen nach der Organisation der Bevölkerung (Selbstorganisation, Mithilfe, Grad der Eigenständigkeit), der Politik (Entscheidungsfindung, Einbeziehung von Interessensgruppen und Volksvertretern, Unterstützung,...) und auch der Gefährdung bedeutender Kulturgüter beantwortet und verglichen werden.

Im Bereich der Gefahren- und Risikoforschung sind noch weitere Arbeiten nötig, um funktionelle Konzepte und Strategien zur Implementierung von Frühwarnsystemen, Resilienzverfahren und zur Verringerung der Vulnerabilität auf physischer, sozio-ökonomischer und ökologischer Ebene zu erreichen. Die Zusammenarbeit auf den verschiedenen Ebenen der Interessensvertreter soll noch weiter intensiviert werden, um eine entsprechende Ausführung von Risikokonzepten zu erreichen.

7.2 Zusammenfassung

Die Thematik des Globalen Wandels in Zusammenhang mit Naturgefahren ist aktueller denn je. Hochwasser, Muren, Steinschlag oder Lawinen verursachen Jahr für Jahr Verluste an Menschenleben und große Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen und touristischen Einrichtungen. Ein adäquates Risikomanagement sowie Präventionsmaßnahmen sind wichtig, um zum einen die Verluste und die Vulnerabilität zu reduzieren, zum anderen um das Auftreten von Gefahren zu minimieren. Die Vulnerabilitätsanalyse in diesem Gebiet ist deswegen von großer Bedeutung.

Diese Arbeit hatte das primäre Ziel, die raum-zeitliche Veränderung der Risikoelementen im Martelltal darzustellen. Den Analysen vorausgehend, wurden eingangs Hypothesen und Forschungsfragen erstellt, die einen Leitfaden darstellen. Dabei stellt die Siedlungsveränderungen einen wichtigen Beitrag, der in Bezug zum Mureignis von 1987 Aufschluss über die Schadenspotentialveränderung geben soll. Die Thematik des Auftretens von Muren kann in Zusammenhang mit dem Globalen Wandel gesehen werden. Diverse Forschungsarbeiten sehen in den Veränderungen im Hochgebirge einen Konnex zwischen den anthropogenen Einflüssen und dem Klimawandel. Um die Aufgabenstellung adäquat beantworten zu können, beruhen die Analysen auf einen GIS-gestützten methodischen Ansatz.

Eine Analyse der Literatur hat gezeigt, dass sich der Globale Wandel durch kummulative Effekte auch intensiv im Alpenraum auswirkt. Insbesondere die vergangenen 100 Jahre verzeichneten Veränderungen auf vielen Gebieten: die Industrialisierung verursachte neue Prozessketten wie Land-Stadtflucht, Emissionen und Ressourcenverbrauch. Steigender Wohlstand und eine bessere medizinische Versorgung führten zunächst zu einem starken Bevölkerungswachstum, der zeitlich verzögert auf der ganzen Welt vonstatten geht. Technische Weiterentwicklungen in vielen Bereichen führten zu einer Intensivierung der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion. All diese Veränderungen haben sich bedingende und wechselseitig beeinflussende Auswirkungen auf die Erde. Dieser Wandel ist auf allen geographischen Ebenen zu verzeichnen, wobei es Überschneidungen gibt. So können sich lokale Veränderungen (erhöhte Emissionen eines Industriestandortes) regional (Erhöhung der Windenergie oder Temperaturveränderung) auswirken, und bei einem kumulierten Auftreten maßgeblich zum Globalen Wandel beitragen.

In den letzten Jahrzehnten bereiten die „menschengemachten“ Naturgefahren mehr Besorgnis. Durch das Eingreifen in die natürliche Umwelt des Gebirges durch Staudambau, Ausweitung der Siedlungsgebiete oder Errichtung von Tourismusinfrastruktur wird das Gleichgewicht gestört und Rückkoppelungseffekte verstärkt. Neue Bautätigkeiten schaffen neue Potentiale für Naturgefahren. Die Veränderung in den Frequenzen und Magnituden von Naturereignissen bringt viele Herausforderungen für die Umwelt und den Menschen mit sich. Die Gesellschaft wird in Zukunft mit den sich verändernden umweltlichen Bedingungen leben und Anpassungsstrategien sowie eine erhöhte Resilienz ausbilden müssen. Menschliches Handeln in alpinen Regionen beeinflusst die Vulnerabilität sehr stark, da diese wiederum die Möglichkeiten und Ausprägungen der menschlichen Tätigkeiten bestimmt. Hinsichtlich der zeitlich gesehen durchaus noch jungen Vulnerabilitätsforschung leistete insbesondere das Projekt MOVE einen Beitrag. Die Identifizierung von Lücken und fehlenden Teilen in

Theorie und Methodik trägt viel zum allgemeinen Verständnis vom Vulnerabilitätskonzept bei. Diverse Forschungsarbeiten beschäftigen sich insbesondere mit der physischen und sozialen Vulnerabilität, die unter anderem auf eine Identifizierung von Schwachstellen im Risikomanagement abzielen.

Ausgehend von der Begriffsdefinition der Prozesscharakteristik von Muren, Vulnerabilität und Globaler Wandel, wurde der Fokus auf das Ereignis von 1987 im Südtiroler Martelltal gelegt. Der praktischen Anwendung wurde mehr Gewicht zuteil, weshalb der Schwerpunkt auf der Analyse des möglichen Schadenspotentials verschiedener Zeitpunkte liegt. Diese Arbeit beschäftigte sich ausgehend von einem vergangenen Murereignis mit der raum-zeitlichen Veränderung in der Gemeinde. Eine existierende Vulnerabilitätskurve wurde als Analysegrundlage herangezogen und das jeweilige potentielle Schadensausmaß fünf ausgewählter Untersuchungsjahre ermittelt. Die Lokalisierung der Bereiche mit Ablagerungsintensitäten wurde zuerst ermittelt und in Form einer Intensitätskarte dargestellt. Durch das gewählte Interpolationsverfahren – *Kriging* – kann die Annahme des hypothetischen Auftretens desselben Ereignisses ermöglicht werden. Mit dem Fokus auf der physischen Vulnerabilität wurden die Risikoelemente in ArcGIS digitalisiert. Davon ausgehend, konnten den Gebäude jedes Zeitpunktes Intensitäten zugewiesen werden, die darauffolgend in die Berechnung des Schadensausmaßes eingingen. Durch die Heranziehung einer bereits existierenden Vulnerabilitätskurve, die den Schaden in Relation zum Wert des Gebäudes und die Ablagerungshöhen miteinander in Beziehung setzt, konnten die jeweiligen Schadenspotentiale berechnet werden. Der Schwerpunkt lag auf der Ermittlung sich erhöhender Schadenssummen im Laufe der Zeit, die auf die verstärkte Siedlungsaktivität zurückzuführen ist.

Die Entwicklung im Martelltal kann in verschiedenen Belangen als positiv gesehen werden. Der sozio-ökonomische Wandel lässt sich anhand der Änderungen in der wirtschaftlichen Zugehörigkeit ablesen. Immer weniger Personen sind in der Landwirtschaft tätig, weshalb heute der Großteil der arbeitsfähigen Bevölkerung im tertiären Sektor beschäftigt ist. Die Zahl der in der Landwirtschaft Beschäftigten ist zwar stark zurückgegangen, jedoch wurden nur wenige Betriebe ganz aufgegeben und der primäre Sektor trägt am stärksten zur wirtschaftlichen Wertschöpfung der Gemeinde bei. Die Siedlungsentwicklung war trotz dem Bevölkerungsrückgang positiv, was bedeutet, dass viele Familien in den letzten Jahrzehnten im Tal geblieben sind, hier leben und zum Teil auch wirtschaften. Die Haushaltsgößen sind gesunken, gleichzeitig ist die durchschnittliche Wohnfläche pro Person gestiegen. Der Tourismus verzeichnete seit den 1950er Jahren positive Wachstumszahlen, sowohl bei den Nächtigungen als auch bei den Ankünften. Die Gemeinde hat sich in vielen Bereichen weiterentwickelt und neue Konzepte und Strategien gesucht, die sich durch die Änderung der landwirtschaftlichen Nutzung (Obstanbau) oder des Schwerpunktes auf den Sommertourismus ausdrückt. Das Ereignis, auf dem die Arbeit basiert, ereignete sich am 24. August 1987. Auslöser waren Starkniederschläge in den Tagen davor, die den Wasserstand des Speichersees ansteigen haben lassen. Um ein Überlaufen zu verhindern, wurden – zu spät – die Grundschleusen geöffnet, wodurch der Strom ausgefallen ist und die Schleusen händisch geschlossen werden mussten. Dadurch konnten innerhalb kürzester Zeit enorme Wassermassen entweichen, die den Marteller Talboden vermurten und die Ortsteile Gand und Ennwasser verwüsteten. Der Gesamtschaden belief sich auf umgerechnet fast 26 Millionen €.

7. Perspektiven und Zusammenfassung

Unter der Annahme, dass das Ereignis zu einem anderen Zeitpunkt aufgetreten wäre, konnte eine Schadensschätzung durchgeführt werden. Das primäre Ergebnis ist die Darstellung der sozio-ökonomischen Veränderungen im Untersuchungsgebiet, die sich durch die Siedlungserweiterung und dem Anstieg der Gebäudewertigkeiten auszeichnet. Durch den zeitlichen Aspekt konnten die Risikoelemente zu einem bestimmten Zeitpunkt dargestellt werden, wodurch sich eine Ermittlung des Schadensausmaßes für die unterschiedlichen Untersuchungsjahre ergibt. Die ermittelten Änderungen und höhere potentielle Schadenssummen geben eine Aussage über die Veränderung der Vulnerabilität der Gebäude. Durch die Rekonstruktion der Ablagerungshöhen konnten Bereiche mit größeren potentiellen Schadensausmaßen identifiziert werden. Die Schadenssumme nimmt im Laufe der Zeit zu, was auf die verstärkte Siedlungsaktivität und der Neubau von Gebäuden in Zonen mit erhöhten Ablagerungsintensitäten zurückzuführen ist. Durch diese räumlichen Unterschiede kommt es zu großen Unterschieden zwischen Gand und Ennewasser, da Gand zu allen Untersuchungszeitpunkten stärker betroffen wäre. Kaum beeinträchtigt wären zum Beispiel die Gebäude direkt neben der Plima.

Die Ergebnisse zeigen den Entscheidungsträgern das wahrscheinliche Ausmaß auf, würde das Ereignis noch einmal auftreten. Die Darstellung der möglichen Konsequenzen in Raum und Zeit erscheinen jedoch als sehr sinnvoll für die Identifizierung vulnerabler Gebiete und Zonen, die mehr Aufmerksamkeit benötigen. Für die weitere Forschung in diesem Gebiet ist eine Aufnahme der Schäden unmittelbar nach einem Ereignis sehr wichtig.

Bibliographie

AKBAS, S. O., BLAHUT, J. und STERLACCHINI, S. (2009): Critical assessment of existing physical vulnerability estimation approaches for debris flows. In: J.P. Malet, A. Remaitre and T. Bogaard (Year): Proceedings of landslide processes: from geomorphologic mapping to dynamic modeling, Strasbourg

AMMANN, W. J. und STOECKLI, V. (2002): Economic Consequences of Climate Change in Alpine Regions: Impact and Mitigation. In: K. W. Steininger and H. Weck-Hannemann (2002): Global Environmental Change in Alpine Regions - Recognition, Adaptation and Mitigation. Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton

ArcGIS 9.2 (2011a): How Kriging works.

<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Kriging%20works> (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)

ArcGIS 9.3 (2011b): Understanding a semivariogram: the range, sill, and nugget.

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Understanding_a_semivariogram%3A_the_range%2C_sill%2C_and_nugget (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)

ArcGIS 9.3 (2011c): Understanding Ordinary Kriging.

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Understanding_Ordinary_Kriging (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)

ArcGIS 9.2 (2011d): Using Kriging.

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Using_kriging (letzter Zugriff am 20. September 2011)

ARL (2011): Zukünftige Ausgestaltung des Risikomanagements in der Raumplanung. ARL Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover

Aut.Prov.BZ (2001): Realnutzungskarte - Wald und weidewirtschaftliche Realnutzungskarte. Abteilung Raumordnung, Bozen

Aut.Prov.BZ (2006): Landeskartographie und Geographisches Informationssystem – Beschreibung der kartographischen Daten. Abteilung Raumordnung, Bozen

Aut.Prov.BZ (2007): Dauersiedlungsgebiet. ASTAT - Landesinstitut für Statistik, Bozen

AUT.PROV.BZ (2009): Schätzungsstudie zur Berechnung des Schadenspotentials bei Hochwasserereignissen durch die Rienz im Abschnitt Bruneck-St. Lorenzen. Abteilung Wasserschutzbauten, Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung Ost, Bozen

AUT.PROV.BZ (2010): Richtpreisverzeichnis Hochbauarbeiten 2010. Abteilung Hochbau und technischer Dienst, Ressort Bauen, Bozen

Aut.Prov.BZ (2011a): Geobrowser. Abteilung Informationstechnik.

http://gis2.provinz.bz.it/geobrowser/?project=geobrowser_pro&view=geobrowser_pro_atlas-b&lang=de&bbox=605698,%205120730,%20766006,%205220318 (letzter Zugriff am 9. Oktober 2011)

Aut.Prov.BZ (2011b): Koordinatenkonversion - Anpassung der ArcView8-Projekte im Anschluss an die Migration nach UTM WGS84-ETRS89. http://www.provinz.bz.it/informatik/download/ArcView8_d.pdf (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)

Aut.Prov.BZ (2011c): Orthofoto. Abteilung Raumentwicklung.

<http://www.provinz.bz.it/raumordnung/kartografie/458.asp> (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)

- Aut.Prov.BZ (2011d): Plima. Abteilung Landesagentur für Umwelt.
<http://www.provinz.bz.it/umweltagentur/wasser/plima.asp> (letzter Zugriff am 9. Oktober 2011)
- BÄTZING, W. (2003): Die Alpen - Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft. Verlag C.H. Beck oHG, München 1991, München
- BELL, R. und GLADE, T., (2004): Quantitative risk analysis for landslides - Examples from Búdudalur, NW-Iceland. *Natural Hazards and Earth System Science* 4. 117-131
- BELL, R., GREIVING, S., POHL, J., RÖHRS, M., GLADE, T., THIEBES, B. und MAYER, J. (2010): Untersuchungsgebiete. In: R. Bell, J. Mayer, J. Pohl, S. Greiving and T. Glade (2010): Integrative Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung. Klartext Verlag, Essen,
- BERZ, G., (2006): Klimawandel und Wetterextreme: Werden die Alpen zum Katastrophengebiet? Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, GeoRisikoForschung
- BRÜNDL, M. (2009): Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern
- CARDINALI, M., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., ANTONINI, G., GALLI, M., CACCIANO, M., CASTELLANI, M., SALVATI, P., (1999): A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Nat. Hazards Earth System Sciences NHESS* 2. 57
- COROMINAS, J., TERÁN, J. D. D., DIKAU, R., ESTEVAO, M., FARIAS, P., GONZÁLEZ, A., MOYA, J., REMONDO, J., SCHROTT, L. und ZÉZERE, J. (1996): Debris Flow. In: R. Dikau, D. Brunsden, L. Schrott and M.-I. Ibsen (1996): *Landslide Recognition - Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester
- debris-flow.at (2010): Debris Flow. <http://www.debris-flow.at/index.php/en/debris-flow> (letzter Zugriff am 1. November 2011)
- DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L. und IBSEN, M.-I. (1996): *Landslide Recognition - Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester
- DIKAU, R. und GLADE, T., (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. *Geographische Rundschau* 54. 38-45
- FUCHS, S., (2008): Vulnerability to torrent processes. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies* 39. 289-298
- FUCHS, S., (2009): Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - Paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Science* 9. 337-352
- FUCHS, S., BRÜNDL, M. und STÖTTER, J., (2004): Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the municipality of Davos, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Science* 4. 263-275
- FUCHS, S., HEISS, K. und HÜBL, J., (2007): Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Science* 7. 495-506
- GemBrowser (2010): Gemeinde Browser Martell.
http://gis.gvcc.net/bgis_01_06/brs30.jsp?cmd=INIT&service=CTWEB049&language=D (letzter Zugriff am 16. Oktober 2011)
- GLADE, T., (2003): Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Vulnerabilitätsbewertung in der Naturrisikoanalyse gravitativer Massenbewegungen* 134. 123-146

Bibliographie

- GLADE, T. und GUDE, M. (2006): Naturgefahren und Naturrisiken. In: R. Dikau, K.-M. Moldenhauer and J. Bedehäsing (2006): Die Erdoberfläche - Lebens- und Gestaltungsraum des Menschen. Zeitschrift für Geomorphologie 148. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart
- GoogleMaps (2011): <http://maps.google.at/maps?ct=reset> (letzter Zugriff am 20. Oktober 2011)
- GOUDIE, A. (1994): Mensch und Umwelt - Eine Einführung. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, Oxford, Heidelberg, Berlin, Oxford
- GOUDIE, A. und VILES, H. (1997): The Earth transformed - An introduction to Human Impacts on the Environment. Blackwell Publishers Ltd, Oxford
- HOLUB, M. und HÜBL, J., (2008): Local protection against mountain hazards - State of the art and future needs. Natural Hazards and Earth System Science 8. 81-99
- HYDROS (2010): Kraftwerk Laas-Martell. <http://www.hydros.bz.it/index.php?id=611> (letzter Zugriff am 4. November 2011)
- IM, E. S., COPPOLA, E., GIORGI, F. und BI, X., (2010): Local effects of climate change over the Alpine region: A study with a high resolution regional climate model with a surrogate climate change scenario. Geophysical Research Letters 37.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report.
- KEILER, M., (2004): Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950-2000, case study Galtür. Natural Hazards and Earth System Science 4. 249-256
- KEILER, M., KNIGHT, J. und HARRISON, S., (2010): Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 368. 2461-2479
- KIENBERGER, S., LANG, S. und ZEIL, P., (2009): Spatial vulnerability units - Expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. Natural Hazards and Earth System Science 9. 767-778
- LACHEINER (1999): Geologie der Ostalpen. <http://www.uni-graz.at/geowww/exkursion/alpenex/geologie.htm> (letzter Zugriff am 7. Oktober 2011)
- Südtiroler Landtag (1989): Wortprotokoll der 31. Sitzung vom 11. Oktober 1989. Bozen
- LIU, X. und LEI, J., (2003): A method for assessing regional debris flow risk: An application in Zhaotong of Yunnan province (SW China). Geomorphology 52. 181-191
- LUZIAN, R. (2002): Wildbäche und Muren - Eine Wildbachkunde mit einer Übersicht von Schutzmassnahmen der Ära Aulitzky. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien
- MAIR, V., NOCKER, C. und TROPPER, P., (2007): Das Ortler-Campo Kristallin in Südtirol. Mitteilungen der österreichischen mineralogischen Gesellschaft 153.
- MARSH, G. P. (1864): Man and Nature - Physical Geography as modified by human action. Charles Scribner, New York
- MARTELL (1987): Ereignisdokumentation. Gemeinde Martell
- MARTELL (1998): Gemeindedatenblatt Martell. http://www.gemeinde.martell.bz.it/gemeindeamt/download/219782890_1.pdf (letzter Zugriff am 21. März 2011)

MARTELL (2005): Das Taljournal. 4. 1-24

MARTELL (2011a): Bevölkerungsstatistik Martell.

<http://www.comune.martello.bz.it/system/web/fakten.aspx?menuonr=218865703> (letzter Zugriff am 21. März 2011)

MARTELL (2011b): Das Martelltal. <http://www.martell.it/> (letzter Zugriff am 23. März 2011)

MARTELL (o.J.): Martelltal Wissenswertes.

<http://www.gemeinde.martell.bz.it/gemeindeamt/html/MartelltalWissenswertes.pdf> (letzter Zugriff am

MESSNER, B. (2008): Ingenieurbiologische Entwässerungsmethoden zur Hangsicherung. Universität für Bodenkultur, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Wien

MICHAEL-LEIBA, M., BAYNES, F., SCOTT, G. und GRANGER, K., (2003): Regional landslide risk to the Cairns community. Natural Hazards 30. 233-249

MOVE (2011): Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe.

<http://www.move-fp7.eu/index.php?module=main> (letzter Zugriff am 4. November 2011)

NIR, D. (1983): Man, a geomorphological agent – An introduction to Anthropic Geomorphology. Keter Publishing House, Jerusalem

PAPATHOMA-KÖHLE, M., KAPPES, M., KEILER, M. und GLADE, T., (2011a): Physical vulnerability assessment for alpine hazards: State of the art and future needs. Natural Hazards 58. 645-680

PAPATHOMA-KÖHLE, M., M. KEILER, R. TOTSCHNIG und GLADE, T., (2011b): Improvement of vulnerability curves using data from extreme events: a debris flow event in South Tyrol. Natural Hazards submitted.

PEDUZZI, P., DAO, H., HEROLD, C. und MOUTON, F., (2009): Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: The Disaster Risk Index. Natural Hazards and Earth System Science 9. 1149-1159

PERKMANN-STRICKER, A. (1985): Das Martelltal - eine Chronik. Gemeinde Martell, Martell

PFITSCHER, A. (1996): Wasserkatastrophen im Martelltal - Der 24./25. August 1987. Gemeinde Martell, Martell

PHILLIPS, C. und DAVIES, T., (1991): Determining rheologic parameters of debris flow material. Geomorphology 4. 101-110

PSENNER, R. (2002): Alpine Waters in the Interplay of Global Change: Complex Links - Simple Effects? In: K. W. Steininger and H. Weck-Hannemann (2002): Global Environmental Change in Alpine Regions - Recognition, Adaptation and Mitigation. Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton

QUAN LUNA, B., BLAHUT, J., VAN WESTEN, C. J., STERLACCHINI, S., VAN ASCH, T. W. J. und AKBAS, S. O., (2011): The application of numerical debris flow modelling for the generation of physical vulnerability curves. Natural Hazards and Earth System Science 11. 2047-2060

SATTLER, K., KEILER, M., ZISCHG, A. und SCHROTT, L., (2011): On the Connection between Debris Flow Activity and Permafrost Degradation: A Case Study from the Schnalstal, South Tyrolean Alps, Italy. Permafrost and Periglacial Processes 22. 254-265

SCHOLL, C. (2004): Flussraum Agenda Alpenraum - Schätzung des Schadenspotentials bei Hochwasserereignissen durch die Ahr bei Uttenheim und St. Georgen und durch die Rienz im Bereich Bruneck bis St. Lorenzen. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Bruneck

Bibliographie

- SLAYMAKER, O., SPENCER, T. und EMBLETON-HAMANN, C. (2009): Geomorphology and Global Environmental Change. Cambridge University Press,
- STEININGER, K. W. und WECK-HANNEMANN, H. (2002): Introduction and Overview. In: K. W. Steininger and H. Weck-Hannemann (2002): Global Environmental Change in Alpine Regions - Recognition, Adaptation and Mitigation. Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton
- STERLACCHINI, S., FRIGERIO, S., GIACOMELLI, P. und BRAMBILLA, M., (2007): Landslide risk analysis: A multi-disciplinary methodological approach. Natural Hazards and Earth System Science 7. 657-675
- STINY, I. (1910): Die Muren - Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen. Verlag der Wagner'schen Universitäts-Buchhandlung in Innsbruck, Innsbruck
- TAKAHASHI, T. (2007): Debris flow - Mechanics, Prediction and Countermeasures. Taylor & Francis Group, London
- UIBK (2008): Kulturlandschaft Südtirol - Der Wandel seit 1950.
<http://www.uibk.ac.at/geographie/projects/kls/martell/ueberblick.html> (letzter Zugriff am 10. Oktober 2011)
- UIBK (2011): Tirol Atlas - Martell. <http://tirolatlas.uibk.ac.at/places/show.py/index?id=210049;lang=de> (letzter Zugriff am 10. Oktober 2011)
- UNISDR (2005): Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. UNISDR UN International Strategy for Disaster Reduction, World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Hyogo/Japan
- UNU-EHS_EWG (2011): United Nations University Institute for Environment and Human Security Expert Group on Measuring Vulnerability. <http://www.ehs.unu.edu/article/read/measuring-vulnerability> (letzter Zugriff am 4. November 2011)
- VAN STEIJN, H., (1996): Debris-flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe. Geomorphology 15. 259-273
- VAN WESTEN, C., (2009): Multi-hazard risk assesement. United Nations University - ITC School on Disaster Geoinformation Management
- VEIT, H. (2002): Die Alpen - Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- WALDER, U. (2011): Interview: Das Murereignis 1987 und die Auswirkungen auf das Martelltal. Martell, Italien
- WIFO (2008): Hochgerechnete Wertschöpfung. WIFO Wirtschaftsforschungsinstitut der Handelskammer Bozen, Bozen
- WIFO (2010): Südtirol: Anzahl der gastgewerblichen und nichtgastgewerblichen Beherbergungsbetriebe, Betten, Ankünfte und Nächtigungen. WIFO Wirtschaftsforschungsinstitut der Handelskammer Bozen, Bozen

Abbildungsverzeichnis

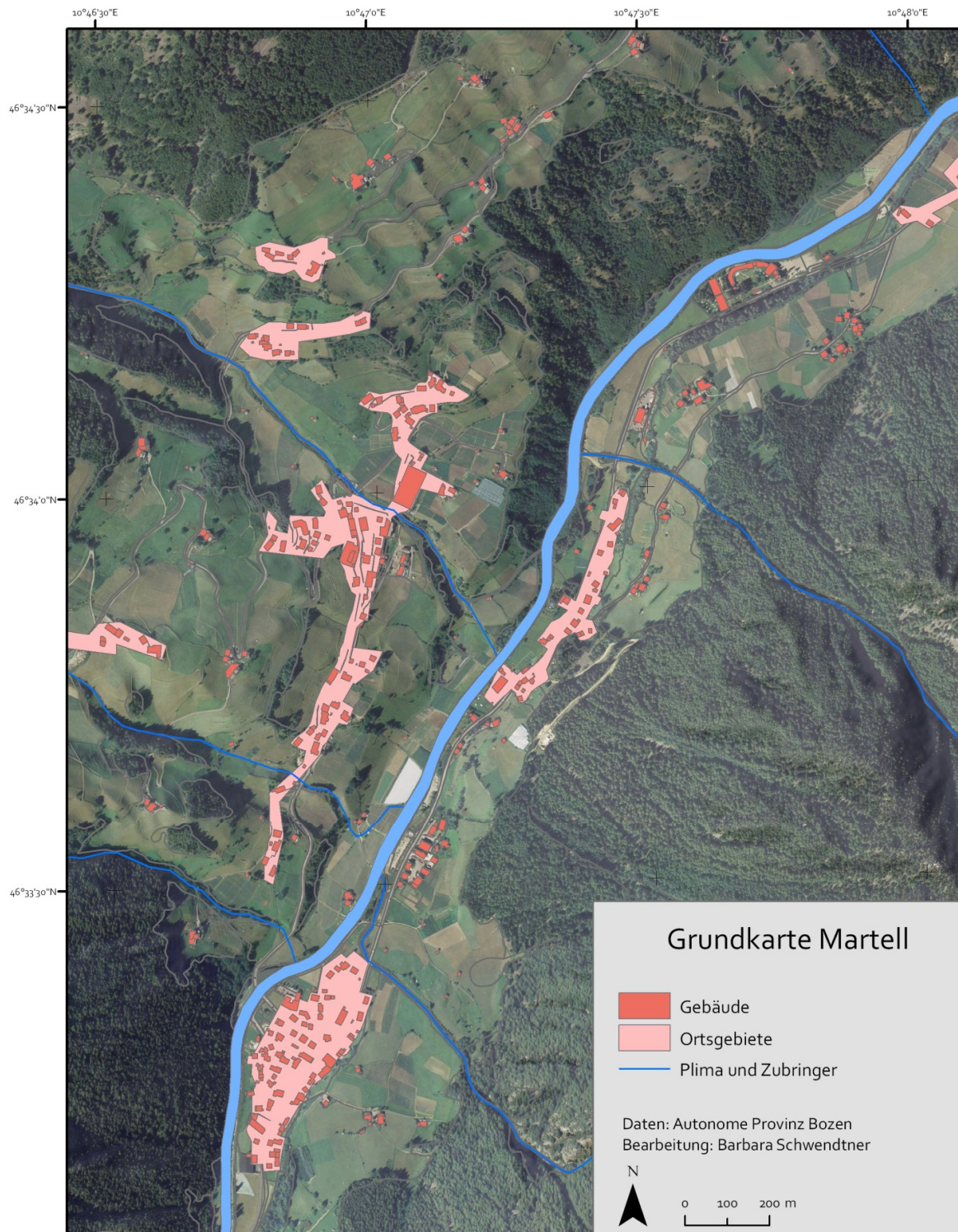
Abbildung 1: Verknüpfungen in alpinen Gebieten zwischen sozio-ökonomischen Aktivitäten, Landnutzungsänderungen und Globalem Wandel. (SLAYMAKER et al., 2009)	11
Abbildung 2: Beziehung zwischen Gefahr, Risikoelementen, Exponiertheit und Risiko für die strukturelle (physische) und soziale Vulnerabilität in Bezug zur ökonomischen und institutionellen Vulnerabilität (FUCHS, 2009)	17
Abbildung 3: Zusammenhang der Prozessintensität x und der Vulnerabilität y in einer Studie von FUCHS (2008)	20
Abbildung 4: Vulnerabilitätskurve für Muren (FUCHS, 2008)	21
Abbildung 5: Klassifikation der Massenbewegungen nach Materialanteil (DEBRIS-FLOW.AT, 2010) modifiziert nach (PHILLIPS et al., 1991)	22
Abbildung 6: Schematischer Ablauf der Methodik	26
Abbildung 7: Spährisches Semivariogramm des Geospatial Wizards mit Daten der Ablagerungshöhen	30
Abbildung 8: Histogramm vor dem Interpolationsvorgang	31
Abbildung 9: Siedlungsveränderung dargestellt an historischen und aktuellen Aufnahmen. Links oben Meiern in Richtung Zufrittspitze 1920-1933, rechts oben 2008. Links unten Ennewasser 1920-1933, rechts unten 2008. (UIBK, 2008)	34
Abbildung 10: Darstellung der Siedlungsveränderung von 1945 bis 1963 in der Boca-Ciega-Bucht am Golf von Mexiko. (GOUDIE, 1994)	35
Abbildung 11: Siedlungsausdehnung Meiern, Gand und Ennewasser in drei Zeitabschnitten (UIBK, 2008)	36
Abbildung 12: Veränderung der Risikobereiche in siedlungsnahen Zonen unter der Berücksichtigung von Verbauungsmaßnahmen (FUCHS et al., 2004)	36
Abbildung 13: Vulnerabilitätskurve Martelltal (PAPATHOMA-KÖHLE et al., 2011b)	38
Abbildung 14: Gand 27, zweistöckiges Einfamilienhaus mit zwei weiteren Gebäuden (Foto: Ekrem Canli, 2011)	40
Abbildung 15: Südtirol mit dem Martelltal (rote Markierung) (AUT.PROV.BZ, 2011a)	42
Abbildung 16: Landschaftsnutzung im Martelltal (UIBK, 2008)	43
Abbildung 17: Monatliche Niederschlagssummen im Jahresgang zwischen 1921 und 2010 in Schlanders. (Autonome Provinz Bozen Südtirol, Hydrographisches Amt)	44
Abbildung 18: Walter-Lieth-Klimadiagramm von Schlanders (Autonome Provinz Bozen Südtirol, Hydrographisches Amt)	45
Abbildung 19: Vereinfachte geologische Karte des Ortler-Campo Kristallins, Martelltal hervorgehoben (MAIR et al., 2007)	46
Abbildung 20: Einwohnerzahlen von Martell zwischen 1981 und 2009. (MARTELL, 2011a)	48
Abbildung 21: Touristische Kennzahlen im Zeitverlauf in Martell - Ankünfte und Nächtigungen von 1972 bis 2009 (WIFO, 2010)	51
Abbildung 22: Ortsteil Gand nach dem Ereignis (MARTELL, 1987)	55

Abbildung 23: Aufnahmen nach dem Ereignis. Links: Gand im Vordergrund, Ennewasser im Hintergrund. Mitte: südliches Gand und Meiern. Rechts: Ennewasser (MARTELL, 1987)	55
Abbildung 24: Ereignisdokumentation. Links: Gand 32, rechts: Gand 35.	56
Abbildung 25: Gedenkstein im ausgewiesenen baufreien Bereich in Gand (Foto: Ekrem Canli, 2011)	57
Abbildung 26: Ablagerungsintensitäten für 1987 im Detail in Gand (links) und Ennewasser (rechts)	59
Abbildung 27: Schadensempfindlichkeit der Gebäude anhand der Ablagerungsintensitäten von 1954 bis 2006 in %	60
Abbildung 28: Schadensempfindlichkeit und Intensitäten der Einfamilienhäuser von 1954 bis 2006 in Prozent	61
Abbildung 29: Gebäudetypen im Untersuchungsgebiet. Links oben: Ennewasser 157 in alter Bauweise. Rechts oben: Ennewasser 173 in typischer 1960/1970er Bauweise. Unten: Gand 256 und 257 in moderner Bauart (Fotos: Ekrem Canli, 2011)	63
Abbildung 30: Siedlungsentwicklung und Bauperioden seit 1954 bis 2006	65
Abbildung 31: Siedlungsentwicklung in zwei Perioden von 1954 bis 1985 und 1986 bis 2006	66
Abbildung 32: Legende der Objektarten	67
Abbildung 33: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1954	68
Abbildung 34: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1985	70
Abbildung 35: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1992	72
Abbildung 36: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 1999	73
Abbildung 37: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet 2006	75
Abbildung 38: Verteilung der Gebäudegrundflächen in Quadratmeter für alle Untersuchungsjahre	77
Abbildung 39: Prozentuale Verteilung der Objektarten aller Untersuchungsjahre	79
Abbildung 40: Darstellung der Flusslaufänderung der Plima im Untersuchungsgebiet von 1954 bis 1992	80
Abbildung 41: Veränderung der potentiellen Schadenssummen in € inklusive Streubereich im Zeitverlauf	83
Abbildung 42: Veränderungen der durchschnittlichen Schadenssummen (mittlere rote Linie) mit Streubereich in Gand und Ennewasser von 1954 bis 2006	84
Abbildung 43: Ablagerungsintensitäten und Schadenspotential von 1985	86
Abbildung 44: Kartiermaßstab und Vergleich der Orthofotos 1954 bis 2006	90
Abbildung 45: Hangmuren infolge von Starkniederschlägen am 24. August 1987 (MARTELL, 1987)	99

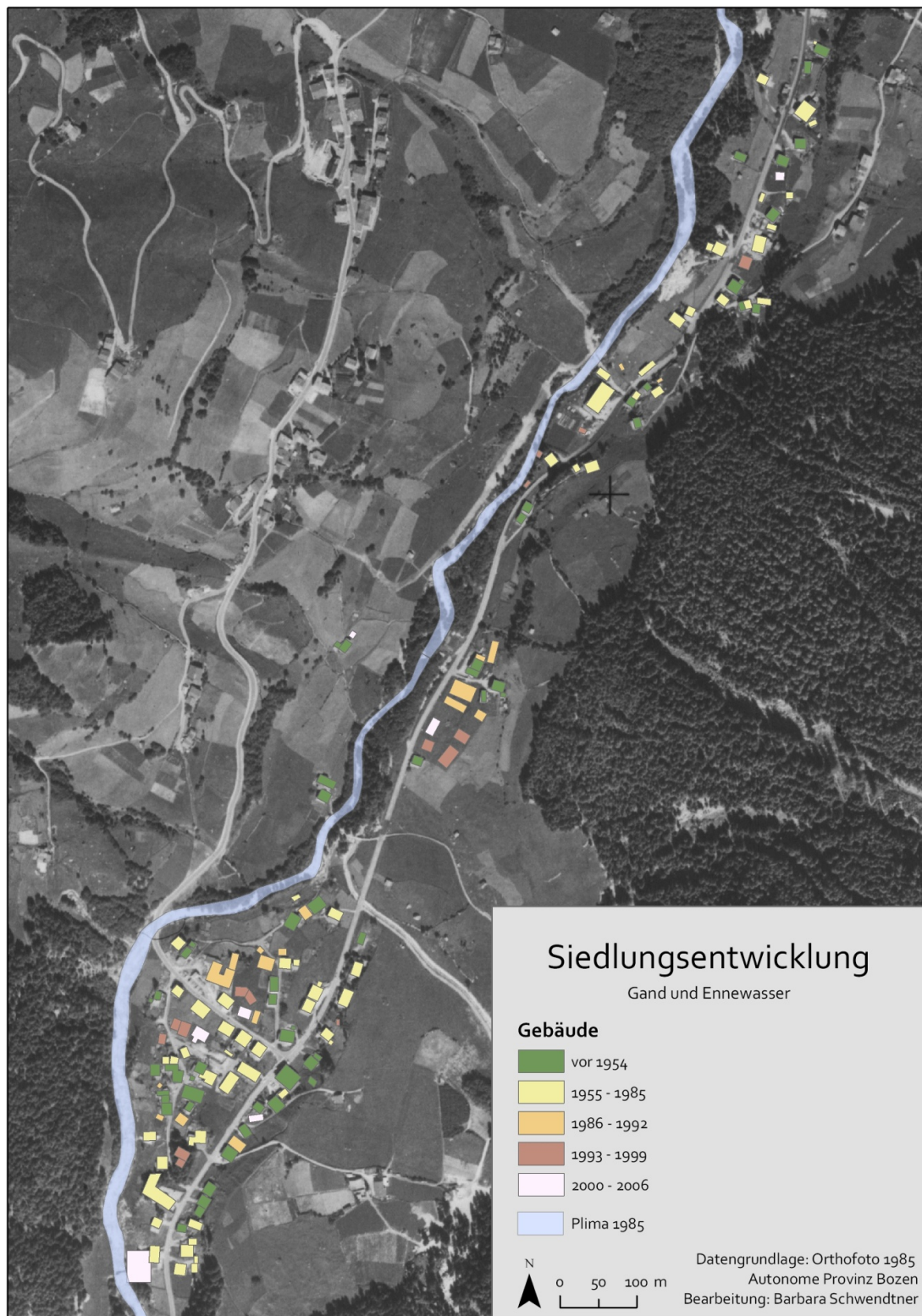
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pro- und Contraargumente für die Wasserkraft (verändert nach Goudie, 1994) _____	12
Tabelle 2: Zeitliche Entwicklung der Begriffsdefinition mit Anmerkungen (Fuchs et al., 2007) _____	13
Tabelle 3: Digitale Datengrundlage (Aut.Prov.BZ, 2006, Papathoma-Köhle et al., 2011b) _____	27
Tabelle 4: Parameter der Orthofotos (Aut.Prov.BZ, 2011c, UIBK, 2008) _____	28
Tabelle 5: Auszug der relevanten Richtwerte nach EconoMe 1.0 - Prozesstyp Murgang (Bründl, 2009) _____	32
Tabelle 6: Verwendete Objektarten (Aut.Prov.BZ, 2001) _____	33
Tabelle 7: Beispielhafte Wertberechnung für ein Gebäude in Gand (Linke Spalte selbst erhobene Daten, rechte Spalte (Aut.Prov.BZ, 2009, 2010, Keiler, 2004, Papathoma-Köhle et al., 2011b)) _____	41
Tabelle 8: Hochgerechnete Wertschöpfung 2008 für Martell, Vinschgau und Südtirol in Euro (WIFO, 2008) _____	49
Tabelle 9: Technische Daten des Zufrittstausees und der Staumauer (HYDROS, 2010) _____	53
Tabelle 10: Potentiell vermutete und nicht-vermutete Gebäude im zeitlichen Vergleich _____	62
Tabelle 11: Anzahl der Objektarten und Gesamtsummen aller Untersuchungsjahre _____	78
Tabelle 12: Änderung Gebäudewertigkeit und der Schadenssumme von 1954 bis 2006 in Euro _____	82
Tabelle 13: Schadenssummen in Gand und Ennewasser in Euro _____	84
Tabelle 14: Schadenspotentiale in € der jeweiligen Intensitätsklassen von 1954 bis 2006 _____	87
Tabelle 15: Zusammenfassende Darstellung der primären Ergebnisse _____	88

Anhang



Anhang 1 – Übersichtskarte über den Hauptsiedlungsbereich des Martelltales mit dem Untersuchungsgebiete Gand und Ennewasser

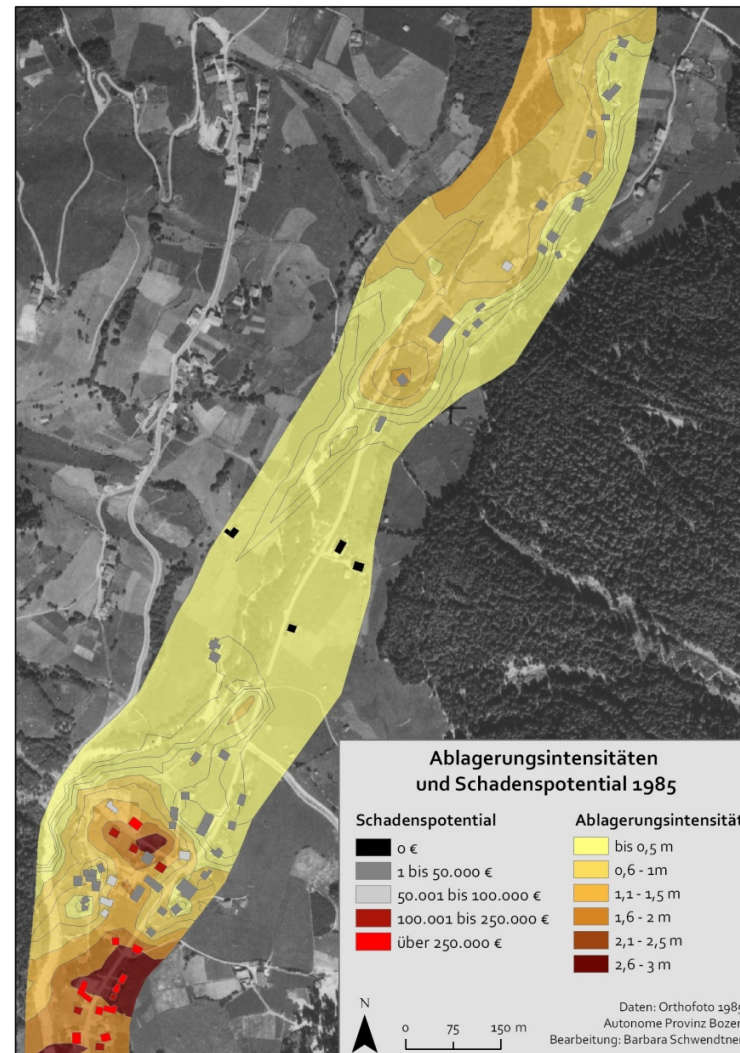
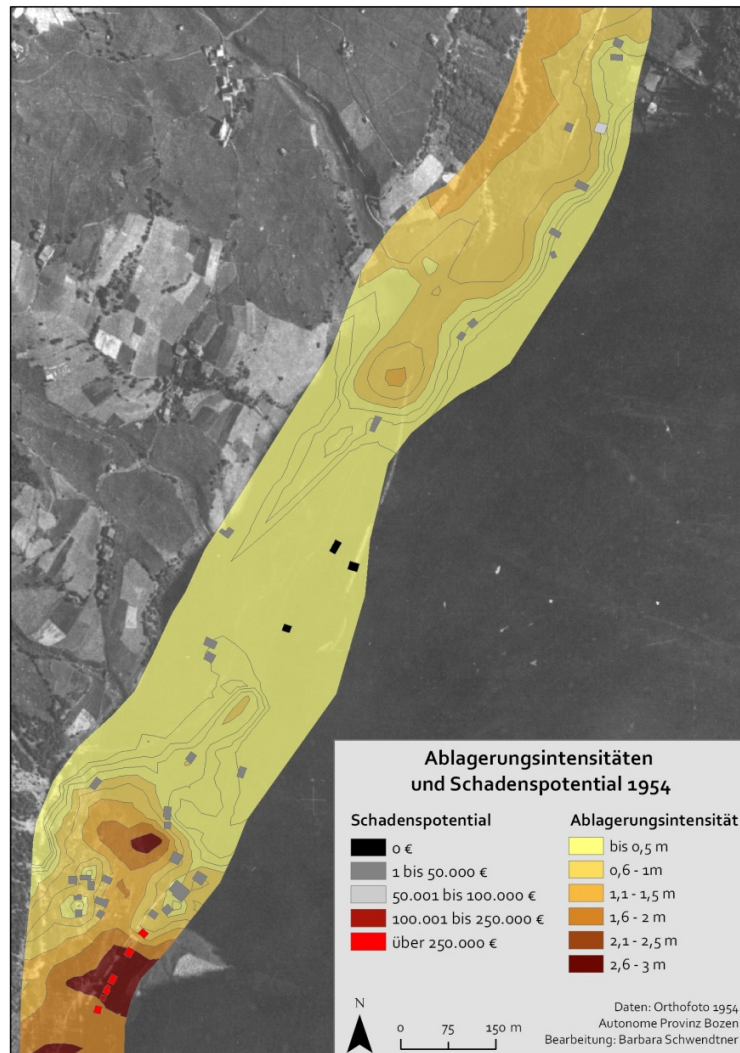


Anhang 2 – Siedlungsentwicklung im Untersuchungsgebiet nach Bauperioden

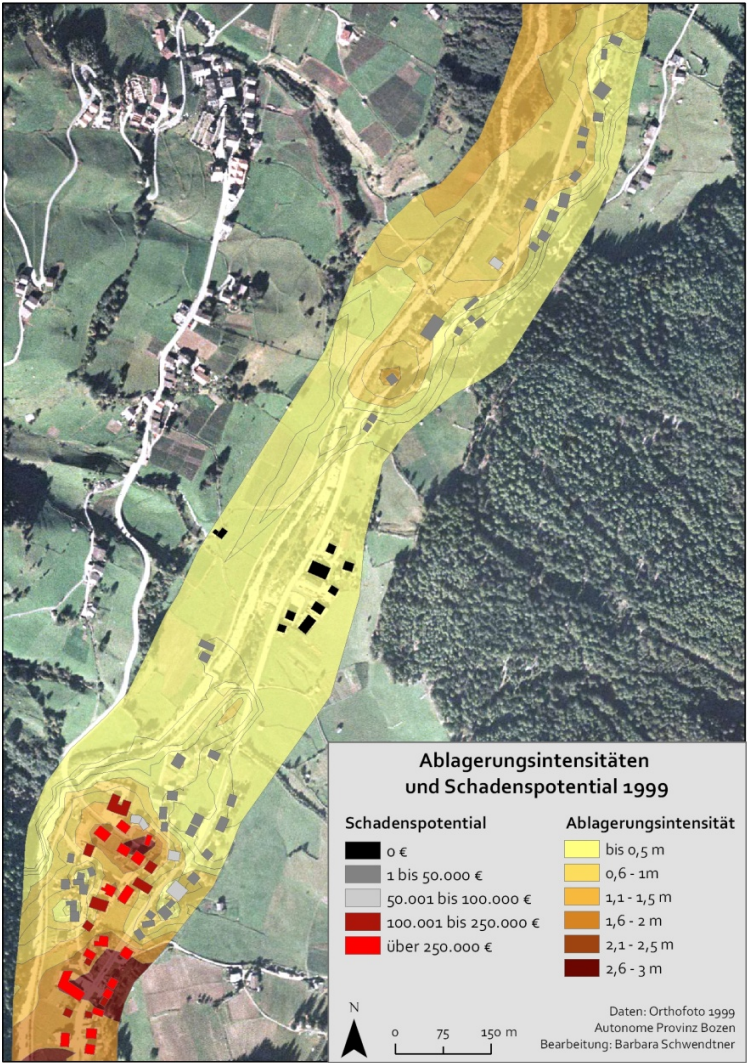
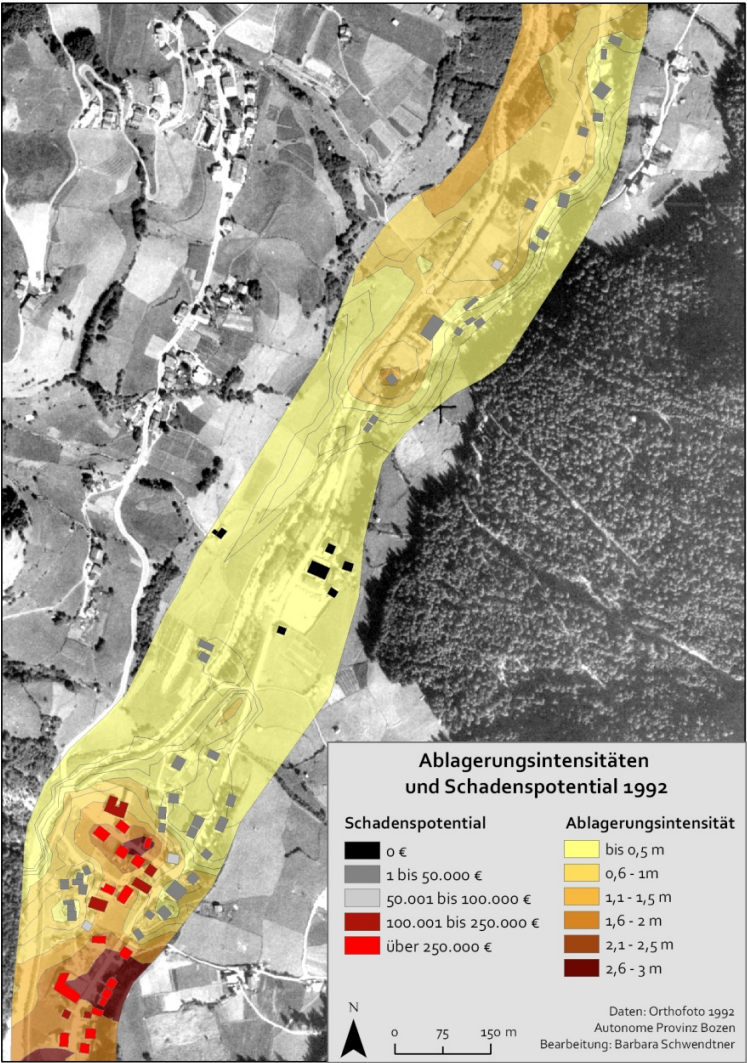


Anhang 3 – Veränderung des Flusslaufes der Plima von 1954, 1985 und 1992

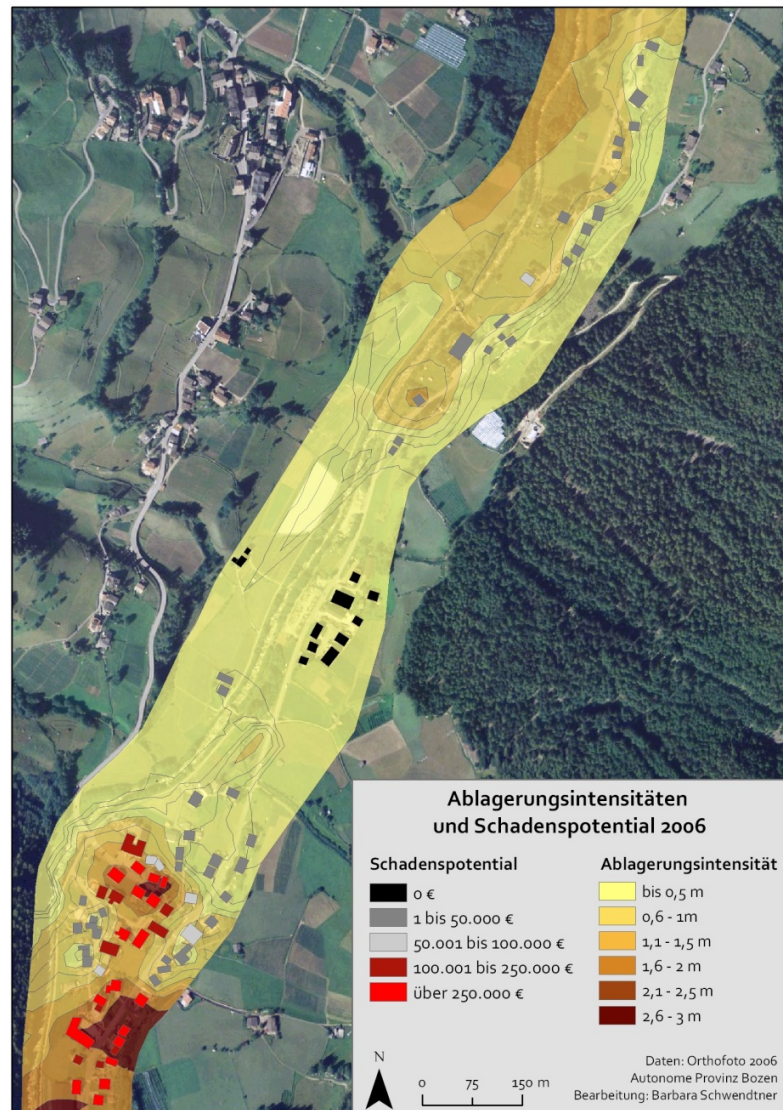
Anhang



Anhang 4a – Ablagerungsintensitäten und Schadenspotentiale für 1954 und 1985



Anhang 4b – Ablagerungsintensitäten und Schadenspotentiale für 1992 und 1999



Anhang 4c – Ablagerungsintensitäten und Schadenspotentiale für 2006



Anhang 5 – Gebäude mit Hausnummern von 2006, links Gand, rechts Ennewasser

Anhang 6 – Tabellen zur Berechnung der Gebäudewertigkeiten und Schadenspotential

Preise:

- Living Area: 1153 €/m²
- Roof not used as living area: 294,03 €/m²
- Roof used as living area: 1153 €/m²
- Basement: 575,91 €/m²

Fläche: ohne Streuwert angegeben (±36 m²)

Ergebnisse 1954

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Gand	29	152	483.185	114.484	1,81	250.857	59.437
Gand	31	77	245.462	114.484	2,52	210.369	98.117
Gand	32	124	392.537	114.484	2,52	336.417	98.117
Gand	33	147	466.490	114.484	2,52	399.797	98.117
Gand	34	167	530.702	114.484	2,52	454.829	98.117
Gand	36	144	393.606	98.976	2,52	337.333	84.825
Gand	37	140	443.544	114.484	0,57	9.453	2.440
Gand	38	190	521.526	98.976	0,57	11.115	2.109
Gand	39	626	1.716.019	98.976	0,57	36.574	2.109
Gand	40	295	1.069.116	114.484	0,57	22.786	2.440
Gand	43	182	498.346	98.976	0,57	10.621	2.109
Gand	44	284	809.921	98.976	0,57	17.262	2.109
Gand	45	115	314.804	98.976	0,57	6.709	2.109
Gand	46	224	613.460	98.976	0,57	13.075	2.109
Gand	47	120	363.099	98.976	0,57	7.739	2.109
Gand	48	92	251.741	98.976	0,57	5.365	2.109
Gand	50	163	515.702	114.484	0,57	10.991	2.440
Gand	51	280	768.147	98.976	0,57	16.372	2.109
Gand	52	232	533.112	72.850	0,57	11.362	1.553
Gand	53	171	576.576	114.484	0,57	12.289	2.440
Gand	56	201	573.246	98.976	0,57	12.218	2.109
Gand	59	133	363.257	98.976	0,71	15.684	4.273
Gand	61	185	542.894	98.976	0,57	11.571	2.109
Meiern	68	204	559.522	98.976	0,57	11.925	2.109
Meiern	69	243	665.069	98.976	0,57	14.175	2.109
Meiern	70	160	468.408	98.976	0,57	9.983	2.109
Ennewasser	148	146	400.215	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	149	229	759.862	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	152	210	642.391	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	153	103	282.984	98.976	0,09	38	13
Ennewasser	153	140	383.085	98.976	0,20	407	105
Ennewasser	157	116	317.601	98.976	0,09	43	13
Ennewasser	159	143	454.792	114.484	0,09	62	15
Ennewasser	163	82	267.965	98.976	0,09	36	13
Ennewasser	171	230	365.766	57.341	0,09	50	8
Ennewasser	172	144	456.373	114.484	0,86	34.509	8.657
Ennewasser	173	281	1.272.049	156.119	0,86	96.186	11.805
Ennewasser	176	168	266.202	57.341	0,20	283	61
Ennewasser	177	171	468.741	98.976	0,46	5.527	1.167
Ennewasser	221	181	528.188	98.976	0,10	71	13
SUMME			21.545.702	4.092.873		2.394.082	603.719

Ergebnisse 1985

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Gand	o. A.	172	585.840	98.976	0,28	2.077	351
Gand	o. A.	114	313.135	98.976	0,71	13.520	4.273
Gand	o. A.	99	315.426	114.484	1,06	43.229	15.690
Gand	o. A.	164	448.334	98.976	1,06	61.444	13.565
Gand	25	250	848.423	114.484	2,17	603.412	81.423
Gand	26	149	276.464	57.341	1,81	143.533	29.770
Gand	27	179	663.410	114.484	1,81	344.425	59.437
Gand	28	131	359.633	98.976	1,81	186.712	51.385
Gand	29	152	483.185	114.484	1,81	250.857	59.437
Gand	30	216	683.730	114.484	2,17	486.280	81.423
Gand	31	77	245.462	114.484	2,52	210.369	98.117
Gand	32	124	392.537	114.484	2,52	336.417	98.117
Gand	33	147	466.490	114.484	2,52	399.797	98.117
Gand	34	196	622.723	114.484	2,17	442.891	81.423
Gand	35	139	488.746	114.484	2,17	347.604	81.423
Gand	36	144	393.606	98.976	0,71	16.995	4.273
Gand	37	140	443.544	114.484	0,57	9.453	2.440
Gand	38	190	565.673	98.976	0,28	2.006	351
Gand	39	626	1.716.019	98.976	0,59	47.225	2.724
Gand	40	160	507.428	114.484	0,71	21.909	4.943
Gand	41	153	438.417	98.976	0,15	198	45
Gand	42	146	631.420	156.119	0,05	11	3
Gand	43	182	498.346	98.976	0,05	9	2
Gand	44	240	656.524	98.976	0,89	58.420	8.807
Gand	45	115	314.804	98.976	0,59	8.664	2.724
Gand	46	224	613.460	98.976	0,37	3.436	554
Gand	47	61	208.409	98.976	0,22	222	105
Gand	48	116	318.965	98.976	0,30	1.131	351
Gand	50	196	619.898	114.484	0,71	26.765	4.943
Gand	51	332	909.782	98.976	0,46	10.727	1.167
Gand	52	232	533.113	72.850	0,96	55.271	7.553
Gand	53	193	682.256	114.484	1,06	93.503	15.690
Gand	54	105	287.180	98.976	0,28	1.018	351
Gand	55	93	295.188	114.484	0,46	3.481	1.350
Gand	57	176	450.900	57.341	1,26	98.882	12.575
Gand	58	382	1.047.211	98.976	2,17	744.794	70.393
Gand	60	144	437.127	98.976	0,15	198	45
Gand	61	185	542.894	98.976	0,46	6.401	1.167
Gand	62	196	617.998	98.976	0,15	279	45
Gand	63	210	816.686	140.610	1,31	198.331	34.147
Gand	64	169	340.720	72.850	2,17	242.326	51.812
Gand	65	278	762.643	98.976	1,54	285.693	37.077
Gand	66	177	356.978	72.850	1,81	185.333	37.822
Meiern	68	204	559.522	98.976	0,05	10	2

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Meiern	70	160	468.409	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	148	146	400.215	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	149	229	759.859	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	152	210	642.390	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	153	103	282.984	98.976	0,09	38	13
Ennewasser	153	140	383.085	98.976	0,20	407	105
Ennewasser	154	201	319.657	57.341	1,06	43.809	7.859
Ennewasser	156	848	2.740.710	114.484	0,46	32.316	1.350
Ennewasser	157	95	304.407	98.976	0,15	138	45
Ennewasser	159	143	511.347	114.484	0,15	231	52
Ennewasser	160	116	317.113	98.976	0,28	1.124	351
Ennewasser	161	174	818.455	156.119	0,86	61.887	11.805
Ennewasser	162	157	677.583	156.119	0,37	3.796	875
Ennewasser	163	82	382.751	98.976	0,05	7	2
Ennewasser	169	293	927.819	114.484	0,16	419	52
Ennewasser	170	203	603.776	98.976	0,71	26.069	4.273
Ennewasser	171	268	527.591	57.341	0,71	22.780	2.476
Ennewasser	172	144	456.373	114.484	0,71	19.705	4.943
Ennewasser	173	104	449.416	156.119	0,46	5.299	1.841
Ennewasser	174	360	1.183.557	114.484	0,28	4.196	406
Ennewasser	176	120	190.087	57.341	0,20	202	61
Ennewasser	177	171	481.411	98.976	0,20	512	105
Gand	216	355	973.743	98.976	0,20	1.035	105
Gand	217	332	910.389	98.976	0,20	968	105
Gand	219	249	808.893	114.484	0,20	860	122
Gand	220	286	784.837	98.976	0,20	834	105
Ennewasser	221	235	665.377	98.976	0,20	707	105
Gand	225	133	363.808	98.976	0,20	387	105
Ennewasser	226	260	1.044.843	140.610	0,20	1.111	149
SUMMEN			43.752.145	7.690.671		6.224.105	1.194.821

Ergebnisse 1992

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Ennewasser	o.A.	148	235.113	57.341	0,86	17.778	4.336
Ennewasser	o.A.	164	260.628	57.341	0,86	19.707	4.336
Gand	o.A.	195	619.716	114.484	1,06	84.932	15.690
Gand	25	299	949.136	114.484	1,81	492.766	59.437
Gand	26	234	535.015	72.850	1,81	277.765	37.822
Gand	27	269	937.897	114.484	1,81	486.931	59.437
Gand	28	155	423.674	98.976	1,81	219.960	51.385
Gand	29	127	347.183	98.976	1,81	180.248	51.385
Gand	30	195	533.619	98.976	2,17	379.519	70.393
Gand	31	136	430.003	114.484	2,52	368.527	98.117
Gand	32	203	555.307	98.976	2,52	475.917	84.825
Gand	33	208	658.808	114.484	2,52	564.620	98.117
Gand	34	283	1.061.464	114.484	2,17	754.931	81.423
Gand	35	256	739.473	98.976	1,54	277.014	37.077
Gand	36	183	501.289	98.976	0,71	21.644	4.273
Gand	37	140	443.544	114.484	0,57	9.453	2.440
Gand	38	290	795.702	98.976	0,37	4.457	554
Gand	39	601	1.645.974	98.976	0,59	45.298	2.724
Gand	40	224	711.444	114.484	0,71	30.718	4.943
Gand	41	184	701.294	114.484	0,15	317	52
Gand	42	316	1.367.793	156.119	0,05	24	3
Gand	43	221	606.774	98.976	0,05	10	2
Gand	44	285	780.668	98.976	0,89	69.467	8.807
Gand	45	142	387.939	98.976	0,59	10.676	2.724
Gand	46	212	904.491	114.484	0,28	3.207	406
Gand	47	221	604.424	98.976	0,37	3.386	554
Gand	48	109	318.780	98.976	0,22	339	105
Gand	49	99	270.989	98.976	0,28	961	351
Gand	50	196	619.898	114.484	0,71	26.765	4.943
Gand	51	332	909.782	98.976	0,46	10.727	1.167
Gand	52	478	1.024.962	72.850	1,06	140.471	9.984
Gand	53	245	782.986	98.976	1,54	293.314	37.077
Gand	54	105	332.178	114.484	0,28	1.178	406
Gand	55	93	255.201	98.976	0,46	3.009	1.167
Gand	56	144	560.369	140.610	2,17	398.544	100.004
Gand	57	775	1.681.071	72.850	1,06	230.391	9.984
Gand	58	915	2.507.233	98.976	2,17	1.783.186	70.393
Gand	60	225	814.332	114.484	0,15	368	52
Gand	61	318	1.110.480	98.976	0,46	13.094	1.167
Gand	62	213	674.162	114.484	0,15	305	52
Gand	63	247	1.068.467	156.119	1,06	146.434	21.396
Gand	64	289	582.171	72.850	2,17	414.050	51.812
Gand	65	278	762.643	98.976	1,54	285.693	37.077
Gand	66	371	748.024	72.850	1,81	388.354	37.822

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Meiern	69	248	679.111	98.976	0,05	12	2
Meiern	70	160	468.409	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	148	146	462.925	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	149	182	708.281	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	152	210	625.777	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	153	115	364.549	114.484	0,09	49	15
Ennewasser	153	136	431.464	114.484	0,20	459	122
Ennewasser	154	201	319.657	57.341	1,06	43.809	7.859
Ennewasser	156	757	2.498.385	114.484	0,46	29.459	1.350
Ennewasser	157	114	364.342	98.976	0,15	165	45
Ennewasser	159	116	317.453	98.976	0,05	5	2
Ennewasser	159	159	435.761	98.976	0,05	8	2
Ennewasser	160	184	611.417	114.484	0,46	7.209	1.350
Ennewasser	161	174	752.360	140.610	0,86	56.890	10.632
Ennewasser	162	157	610.273	140.610	0,37	3.419	788
Ennewasser	163	81	280.421	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	169	337	1.069.674	114.484	0,22	1.137	122
Ennewasser	170	244	821.453	114.484	0,71	35.468	4.943
Ennewasser	171	196	493.190	72.850	0,71	21.294	3.145
Ennewasser	172	202	640.203	114.484	0,71	27.642	4.943
Ennewasser	173	192	747.662	140.610	0,46	8.816	1.658
Ennewasser	174	455	1.486.712	114.484	0,28	5.271	406
Ennewasser	176	138	219.858	57.341	0,28	779	203
Ennewasser	177	226	728.695	114.484	0,46	8.592	1.350
Gand	216	432	1.183.390	98.976	0,89	105.303	8.807
Gand	217	404	1.108.182	98.976	1,54	415.136	37.077
Gand	218	188	594.747	114.484	1,06	81.510	15.690
Gand	219	276	898.677	114.484	0,15	406	52
Gand	220	227	623.349	98.976	0,15	282	45
Ennewasser	221	231	754.517	114.484	0,22	802	122
Gand	225	133	420.813	114.484	0,46	4.962	1.350
Ennewasser	226	300	1.329.697	156.119	1,86	728.878	85.577
Ennewasser	233	629	1.900.011	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	234	160	438.639	98.976	0,01	0	0
SUMMEN			58.799.349	8.299.000		10.524.226	1.353.878

Ergebnisse 1999

Ortsteil	Haus-nummer	Fläche in m²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Ennewasser	o.A.	148	257.973	57.341	0,86	19.507	4.336
Ennewasser	o.A.	164	287.399	57.341	0,86	21.732	4.336
Gand	o.A.	195	619.716	114.484	1,06	84.932	15.690
Gand	25	299	949.136	114.484	1,81	492.766	59.437
Gand	26	234	974.059	140.610	1,81	505.705	73.001
Gand	27	269	937.898	114.484	1,81	486.931	59.437
Gand	28	155	423.674	98.976	1,81	219.960	51.385
Gand	29	127	401.584	114.484	1,81	208.491	59.437
Gand	30	195	617.233	114.484	2,17	438.986	81.423
Gand	31	136	273.624	72.850	2,52	234.505	62.435
Gand	32	203	642.319	114.484	2,52	550.488	98.117
Gand	33	208	658.808	114.484	2,52	564.620	98.117
Gand	34	283	1.061.464	114.484	2,17	754.931	81.423
Gand	35	311	1.024.047	114.484	1,81	531.657	59.437
Gand	36	183	501.289	98.976	0,71	21.644	4.273
Gand	37	140	443.544	114.484	0,57	9.453	2.440
Gand	37	174	552.438	114.484	0,57	11.774	2.440
Gand	38	390	1.068.156	98.976	0,37	5.983	554
Gand	39	601	2.338.359	140.610	0,59	64.352	3.870
Gand	40	224	970.176	156.119	0,71	41.889	6.741
Gand	41	184	523.842	98.976	0,15	237	45
Gand	42	316	1.003.023	114.484	0,05	17	2
Gand	43	221	351.532	57.341	0,05	6	1
Gand	44	285	780.668	98.976	0,89	69.467	8.807
Gand	45	142	387.939	98.976	0,50	6.244	1.593
Gand	46	212	616.083	98.976	0,28	2.184	351
Gand	47	221	604.424	98.976	0,37	3.386	554
Gand	48	109	318.779	98.976	0,22	339	105
Gand	49	99	384.981	140.610	0,28	1.365	499
Gand	50	196	619.898	114.484	0,71	26.765	4.943
Gand	51	332	909.782	98.976	0,46	10.727	1.167
Gand	52	478	1.575.845	114.484	1,06	215.970	15.690
Gand	53	284	1.011.135	114.484	1,54	378.781	42.887
Gand	54	105	287.180	98.976	0,28	1.018	351
Gand	55	130	465.396	114.484	0,86	35.191	8.657
Gand	56	144	456.250	114.484	2,17	324.493	81.423
Gand	57	775	1.348.187	57.341	1,06	184.769	7.859
Gand	58	915	2.507.233	98.976	2,17	1.783.186	70.393
Gand	60	225	717.525	98.976	0,28	2.544	351
Gand	61	318	988.019	98.976	0,46	11.650	1.167
Gand	62	213	582.837	98.976	0,15	263	45
Gand	63	247	962.327	140.610	1,31	233.700	34.147
Gand	64	278	1.201.772	156.119	2,17	854.720	111.034
Gand	65	278	762.643	98.976	1,54	285.693	37.077

Ortsteil	Haus- nummer	Fläche in m ²	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Gand	67	254	897.136	114.484	1,06	122.953	15.690
Meiern	68	204	559.522	98.976	0,05	10	2
Meiern	69	248	679.111	98.976	0,05	12	2
Meiern	70	160	653.374	140.610	0,01	0	0
Ennewasser	148	146	400.215	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	149	182	918.139	156.119	0,01	0	0
Ennewasser	152	210	868.407	140.610	0,01	0	0
Ennewasser	153	136	373.016	98.976	0,09	50	13
Ennewasser	153	115	315.166	98.976	0,20	335	105
Ennewasser	154	201	356.508	57.341	1,06	48.860	7.859
Ennewasser	156	778	3.486.119	156.119	0,37	19.528	875
Ennewasser	157	114	364.342	98.976	0,46	4.296	1.167
Ennewasser	159	159	566.411	114.484	0,10	77	15
Ennewasser	160	184	532.404	98.976	0,46	6.278	1.167
Ennewasser	161	255	879.930	114.484	0,86	66.536	8.657
Ennewasser	162	157	496.882	114.484	0,37	2.783	641
Ennewasser	163	81	350.632	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	169	337	1.069.674	114.484	0,22	1.137	122
Ennewasser	170	244	716.643	98.976	0,71	30.942	4.273
Ennewasser	171	196	639.804	98.976	0,71	27.625	4.273
Ennewasser	172	202	640.203	114.484	0,71	27.642	4.943
Ennewasser	173	192	608.743	114.484	0,46	7.178	1.350
Ennewasser	174	455	2.011.580	156.119	0,28	7.132	554
Ennewasser	176	138	219.858	57.341	0,28	779	203
Ennewasser	177	226	631.697	98.976	0,46	7.448	1.167
Gand	216	432	1.183.390	98.976	0,89	105.303	8.807
Gand	217	404	1.108.182	98.976	1,54	415.136	37.077
Gand	218	188	811.039	156.119	1,06	111.153	21.396
Gand	219	276	898.677	114.484	0,15	406	52
Gand	220	227	623.349	98.976	0,15	282	45
Ennewasser	221	231	655.277	98.976	0,22	697	105
Gand	225	133	363.808	98.976	0,59	10.012	2.724
Ennewasser	226	300	1.200.849	140.610	2,17	854.064	100.004
Ennewasser	233	629	1.174.752	57.341	0,01	0	0
Ennewasser	234	160	438.639	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	253	257	704.585	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	254	197	624.723	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	256	205	651.313	114.484	1,06	89.263	15.690
Ennewasser	257	171	344.434	72.850	1,31	83.645	17.691
Ennewasser	261	424	673.579	57.341	0,01	0	0
Ennewasser	262	237	752.560	114.484	0,22	800	122
Gand	282	232	735.893	114.484	1,81	382.055	59.437
Gand	283	101	321.765	114.484	1,81	167.052	59.437
Ennewasser	293	129	352.293	98.976	0,86	26.639	7.484
SUMMEN			68.827.853	9.580.196		13.163.381	1.721.678

Ergebnisse 2006

Ortsteil	Hausnummer	Fläche	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Ennewasser	0	148	235.113	57.341	0,86	17.778	4.336
Ennewasser	0	164	287.399	57.341	0,86	21.732	4.336
Gand	0	195	619.716	114.484	1,26	135.904	25.106
Gand	25	299	1.688.276	114.484	1,81	876.507	59.437
Gand	26	234	974.059	140.610	1,81	505.705	73.001
Gand	27	269	937.897	114.484	1,81	486.931	59.437
Gand	28	155	423.674	98.976	1,81	219.960	51.385
Gand	29	127	401.584	114.484	1,81	208.491	59.437
Gand	30	195	617.233	114.484	2,17	438.986	81.423
Gand	31	136	273.624	72.850	2,52	234.505	62.435
Gand	32	203	642.319	114.484	2,52	550.488	98.117
Gand	33	208	658.808	114.484	2,52	564.620	98.117
Gand	34	283	1.061.464	114.484	2,17	754.931	81.423
Gand	35	339	1.074.407	114.484	1,54	402.483	42.887
Gand	36	183	501.289	98.976	0,71	21.644	4.273
Gand	37	140	443.544	114.484	0,57	9.453	2.440
Gand	37	174	552.438	114.484	0,57	11.774	2.440
Gand	38	417	1.143.410	98.976	0,37	6.405	554
Gand	39	601	2.338.359	140.610	0,59	64.352	3.870
Gand	40	224	970.176	156.119	0,71	41.889	6.741
Gand	41	184	545.464	98.976	0,15	247	45
Gand	42	316	1.003.023	114.484	0,05	17	2
Gand	43	221	351.532	57.341	0,05	6	1
Gand	44	285	780.668	98.976	0,89	69.467	8.807
Gand	45	142	387.939	98.976	0,59	10.676	2.724
Gand	46	212	813.533	98.976	0,28	2.884	351
Gand	47	221	604.424	98.976	0,37	3.386	554
Gand	48	109	318.780	98.976	0,22	339	105
Gand	49	99	384.981	140.610	0,28	1.365	499
Gand	50	196	619.898	114.484	0,71	26.765	4.943
Gand	51	332	909.782	98.976	0,46	10.727	1.167
Gand	52	478	1.575.845	114.484	0,89	140.226	10.187
Gand	53	284	1.011.135	114.484	1,54	378.781	42.887
Gand	54	105	287.180	98.976	0,28	1.018	351
Gand	55	130	465.396	114.484	0,86	35.191	8.657
Gand	56	144	456.250	114.484	2,17	324.493	81.423
Gand	57	775	1.348.187	57.341	1,06	184.769	7.859
Gand	58	915	2.507.233	98.976	2,17	1.783.186	70.393
Gand	60	225	717.525	98.976	0,28	2.544	351
Gand	61	318	988.019	98.976	0,46	11.650	1.167
Gand	62	213	779.768	98.976	0,15	352	45
Gand	63	247	962.327	140.610	1,31	233.700	34.147
Gand	64	278	1.201.772	156.119	2,17	854.720	111.034
Gand	65	278	762.643	98.976	1,54	285.693	37.077

Ortsteil	Haus-nummer	Fläche	Wertigkeit	+/-	Intensität	Schaden	+/-
Gand	67	254	897.136	114.484	1,06	122.953	15.690
Meiern	68	204	559.522	98.976	0,05	10	2
Meiern	69	248	679.111	98.976	0,05	12	2
Meiern	70	160	691.903	140.610	0,01	0	0
Ennewasser	148	146	400.215	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	149	182	918.139	156.119	0,01	0	0
Ennewasser	152	210	868.407	140.610	0,01	0	0
Ennewasser	153	136	373.016	98.976	0,09	50	13
Ennewasser	153	115	315.166	98.976	0,20	335	105
Ennewasser	154	201	319.657	57.341	1,06	43.809	7.859
Ennewasser	156	751	3.382.042	156.119	0,37	18.945	875
Ennewasser	157	114	364.342	98.976	0,15	165	45
Ennewasser	159	159	566.417	114.484	0,10	77	15
Ennewasser	160	184	532.404	98.976	0,46	6.278	1.167
Ennewasser	161	255	879.930	114.484	0,86	66.536	8.657
Ennewasser	162	157	496.882	114.484	0,37	2.783	641
Ennewasser	163	81	350.632	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	169	337	1.069.674	114.484	0,22	1.137	122
Ennewasser	170	244	716.643	98.976	0,71	30.942	4.273
Ennewasser	171	196	635.072	98.976	0,71	27.420	4.273
Ennewasser	172	202	640.203	114.484	0,71	27.642	4.943
Ennewasser	173	192	608.743	114.484	0,46	7.178	1.350
Ennewasser	174	455	2.011.580	156.119	0,28	7.132	554
Ennewasser	176	138	219.858	57.341	0,28	779	203
Ennewasser	177	226	631.697	98.976	0,46	7.448	1.167
Gand	216	432	1.183.390	98.976	0,89	105.303	8.807
Gand	217	404	1.108.182	98.976	1,54	415.136	37.077
Gand	218	188	811.039	156.119	0,89	72.170	13.892
Gand	219	276	898.677	114.484	0,15	406	52
Gand	220	227	623.349	98.976	0,15	282	45
Ennewasser	221	231	655.277	98.976	0,22	697	105
Gand	225	133	363.808	98.976	0,46	4.290	1.167
Ennewasser	226	300	1.200.849	140.610	2,17	854.064	100.004
Ennewasser	233	629	1.174.752	57.341	0,01	0	0
Ennewasser	234	160	438.639	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	253	257	704.585	98.976	0,01	0	0
Ennewasser	254	197	624.723	114.484	0,01	0	0
Ennewasser	256	205	651.313	114.484	1,06	89.263	15.690
Ennewasser	257	171	344.434	72.850	1,31	83.645	17.691
Ennewasser	260	339	684.678	72.850	1,31	166.273	17.691
Ennewasser	261	424	673.579	57.341	0,01	0	0
Ennewasser	262	237	752.560	114.484	0,22	800	122
Ennewasser	263	257	705.016	98.976	0,01	0	0
Gand	282	232	735.893	114.484	1,54	275.672	42.887
Gand	283	101	321.765	114.484	1,81	167.052	59.437
Gand	285	219	694.036	114.484	2,17	493.610	81.423
Ennewasser	293	129	352.293	98.976	0,86	26.639	7.484
SUMMEN			72.062.354	9.866.506		13.895.925	1.782.553

Anhang

Anhang 7 – Impressionen aus dem Martelltal (Fotoaufnahmen: Ekrem Canli, Barbara Schwendtner)



*Links oben: Mündung der Plima in den Stausee, rechts oben: alte Fotoaufnahme von Gand,
zweite und dritte Reihe: ältere und neue Gebäude in Ennewasser und Gand*



Oben: Blick von Meiern in Richtung Gand
 Zweite Reihe links: Gand, Mitte: Warnschilder entlang der Plima, rechts: Bevölkerungsgeographie des Martelltales (1973)
 Unten: Rotmoosspitze in Richtung Cevedale (3033 m)

CURRICULUM VITAE

Barbara Schwendtner

Phone: +43 664 5317325

E-Mail: schwendtnerbarbara@gmail.com

Personal Details

Date of Birth: 06. May 1988
 Place of Birth: Linz
 Nationality: Austrian

Education

Oct 06 – Dec 11 **University of Vienna**, Department of Geography and Regional Research
 Specialisations: Geomorphology, Population Studies, South-East Asian Studies,
 Natural Hazards Management
 Degree Awarded: Magistra rerum naturalium– Master of Science

Oct 07 – Oct 10 **University of Vienna**
 Scandinavian Studies

Sep 02 - Jun 06 **Bundesoberstufenrealgymnasium**, Grammar School, Bad Leonfelden

Internships and Work Experience

Oct 10 – present **Department of Geography and Regional Research**, University of Vienna
 Tutor for Qualitative Research

Oct 08 – Jun 11 **Department of Geography and Regional Research**, University of Vienna
 Tutor for Population Geography

Jul – Aug 11 **Geoexpert Research and Planning GmbH**, Vienna

Jul – Aug 10 **Suan Dusit University Hua Hin Campus**, Hua Hin, Thailand

Additional Skills

Software Knowledge MS Office (European Computer Driving License)
 EndNote
 SPSS
 ESRI ArcGIS 9.3 and 10 (including diverse extensions)
 Natural hazards modelling with Conefall, Rockfall, ELBA+,...

Languages German mother tongue
 English fluent
 Norwegian advanced
 French advanced