



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Räumlich-statistische Clusteranalyse – ein Beitrag zur  
Quantifizierung physischer Vulnerabilität durch alpine  
Naturgefahren (Wildbachprozesse)“

Verfasserin

Carmen Heidger

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Theoretische und Angewandte Geographie

Betreuerin:

Ao. Univ. -Prof. Dr. Christine Embleton-Hamann



## DANKSAGUNG

Ich bedanke mich sehr herzlich bei Christine Embleton-Hamann für die Betreuung dieser Diplomarbeit und dafür, dass sie in zahlreichen Lehrveranstaltungen mein Interesse für die Geomorphologie geweckt und gefördert hat.

Mein besonderer Dank gilt meinem Zweitbetreuer Sven Fuchs, der meinen Arbeitsprozess von erster Minute an begleitete und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Ihm habe ich es zu verdanken, dass meine Diplomarbeit in der vorliegenden Form zustande kam, was nicht nur daran lag, dass er mir Daten und das nötige Arbeitsumfeld zur Verfügung stellte, sondern besonders daran, dass er mich stets mit fachlichem Wissen zu unterstützen und fördern wusste.

Stine und Reini gebührt mein aufrichtiger Dank dafür, dass sie immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatten und mir stets durch wertvolle Ratschlägen zu helfen wussten.

Weiters danke ich Ruth und Christine, die mir auf den letzten Metern beistanden und meine Diplomarbeit lektorierten.

Mein Dank geht außerdem an alle (wenn auch nur peripher) an meiner Diplomarbeit Beteiligten, die mich mit Essen und warmen Socken versorgten, ihre IT-Kenntnisse mit mir teilten, mir beim Radl reparieren halfen sowie gemeinsam mit mir die Höhen und Tiefen des Arbeitsprozesses durchlebten: Johannes, Monika, Fritz, Stefan B., Konstantions, Nicoletta, Julia E., Klaus, Michi C., Roland, Michi B., Julia B., Martin sowie Judy und Martina.

Nicht zuletzt bedanke ich mich sehr bei meinen Eltern Claudia und Clemens, meinen Brüdern Felix, Anselm und Wanja sowie meinem Freund Stefan! Ohne eure Unterstützung und euer Vertrauen in mich und meine (aus Familiensicht manchmal schwierig nachzuvollziehenden) Entscheidungen wäre ich nicht so weit gekommen!



# INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG .....	I
INHALTSVERZEICHNIS .....	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	VI
TABELLENVERZEICHNIS .....	VIII
ABKÜRZUNGEN .....	IX
KURZFASSUNG .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Problemstellung der Diplomarbeit.....	1
1.2 Arbeitshypothesen.....	2
1.3 Aufbau der Diplomarbeit.....	4
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN .....	5
2.1 Alpine Naturgefahren in Österreich.....	5
2.2 Wildbäche.....	6
2.3 Konzepte der Vulnerabilität und des Risikos in der Naturgefahrenforschung.....	8
2.3.1 Risikokonzept.....	9
2.3.2 Konzept der Vulnerabilität.....	11
3 UNTERSUCHUNGSGEBIETE .....	15
3.1 Stubenbach.....	16

3.2 Vorderbergerbach.....	18
<b>4 DATEN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Schadenlast.....	21
4.2 Prozessintensität.....	22
<b>5 METHODIK .....</b>	<b>23</b>
5.1 Räumliche Clusteranalysen.....	23
5.1.1 Räumliche Punktmuster und -prozesse.....	24
5.1.2 Typen von Tests zur Clusterdetektion.....	25
5.2 Spatial Scan Statistic – SaTScan.....	27
5.2.1 Normales Modell in SaTScan.....	28
5.2.1.1 Null- und Alternativhypothese für das Normale Modell.....	29
5.2.1.2 Maximum Likelihood Methode.....	29
5.2.1.3 Monte Carlo Hypothesen Test.....	31
5.3 Aufbereitung der Daten für die Verwendung in SaTScan.....	32
5.3.1 Aufbereitung der Rohdaten.....	33
5.3.2 Punkterhöhung.....	33
5.3.3 Punktreduktion.....	38
5.3.4 Verhältnisänderung von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden.....	39
5.4 Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert.....	40
<b>6 ERGEBNISSE .....</b>	<b>43</b>
6.1 Erläuterungen zur SaTScan Ausgabedatei.....	43
6.2 Clusteranalyse der Originaldatensätze.....	44
6.3 Punkterhöhung.....	47
6.3.1 Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante A und B.....	47
6.3.2 Clusteranalyse für Variante A und B.....	50
6.4 Punktreduktion.....	58
6.4.1 Ergebnisse der in ArcGIS durchgeführten Punktreduktion.....	58

6.4.2 Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten.....	59
6.4.3 Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A.....	60
6.5 Verhältnisänderung zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden.....	61
6.5.1 Ergebnisse der in ArcGIS durchgeführten Verhältnisänderung.....	61
6.5.2 Clusteranalyse der Originaldaten (Verhältnisänderung).....	62
6.5.3 Clusteranalyse der Variante A (Verhältnisänderung).....	63
6.6 Statistische Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert.....	63
6.6.1 Power, Sensitivität und PPV für die punktreduzierten Originaldatensätze.....	65
6.6.2 Power, Sensitivität und PPV für die Originaldatensätze mit Verhältnisänderung.....	66
6.6.3 Power, Sensitivität und PPV für die punktreduzierte Variante A.....	68
6.6.4 Power, Sensitivität und PPV für die Variante A mit Verhältnisänderung.....	69
6.7 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	71
7 DISKUSSION.....	73
8 RESÜMEE UND PERSPEKTIVEN.....	81
9 LITERATURVERZEICHNIS.....	85
ANHANG A.....	XCI
ANHANG B.....	XCVII
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	
CURRICULUM VITAE	

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: Wildbachereignisse und Schäden (Zeitraum 1972-2004).....	6
Abbildung 2.2: Verlagerungsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten.....	7
Abbildung 2.3: Risikokreislauf in der Naturgefahrenforschung.....	10
Abbildung 3.1: Übersicht über die Lage der Untersuchungsgebiete.....	15
Abbildung 3.2: Luftaufnahme Pfunds, Ortsteil Stuben.....	17
Abbildung 3.3: Schäden im Ortsteil Stuben.....	18
Abbildung 3.4: Geschiebeablagerungen im Ortsteil Stuben.....	18
Abbildung 3.5: Luftbild des Ortes Vorderberg.....	20
Abbildung 3.6: Anschlaghöhen an der Kirche in Vorderberg.....	20
Abbildung 3.7: Abgelagertes Material im Bereich der Kirche in Vorderberg.....	20
Abbildung 5.1: Räumliche Punktmuster.....	25
Abbildung 5.2: Prinzip des Scanfensters.....	29
Abbildung 5.3: GIS-Arbeitsschritte zur Erstellung der Punktdatensätze.....	35
Abbildung 5.4: Modifizierte Weibullfunktion mit Konfidenzbändern.....	38
Abbildung 6.1: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Originaldaten für das UG Stubenbach.....	46
Abbildung 6.2: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Originaldaten für das UG Vorderbergerbach.....	46
Abbildung 6.3: Verteilung der Schadenlastwerte für Variante A & B (UG: Stubenbach).....	49
Abbildung 6.4: Verteilung der Schadenlastwerte für Variante A & B (UG: Vorderbergerbach).....	50
Abbildung 6.5: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante A für das UG Stubenbach.....	54



Abbildung 6.6: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante B für das UG Stubenbach.....	54
Abbildung 6.7: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des oberen 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das UG Stubenbach.....	55
Abbildung 6.8: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des unteren 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das UG Stubenbach.....	55
Abbildung 6.9: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante A für das UG Vorderbergerbach.....	56
Abbildung 6.10: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante B für das UG Vorderbergerbach.....	56
Abbildung 6.11: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des oberen 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das UG Vorderbergerbach.....	57
Abbildung 6.12: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des unteren 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das UG Vorderbergerbach.....	57
Abbildung 6.13: Interpretationsmöglichkeiten für die Sensitivität und den PPV.....	64

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 6.1: Übersicht über die Punktverteilung in den beiden Untersuchungsgebieten.....	48
Tabelle 6.2: Überblick über die statistischen Parameter der Originaldaten, sowie der Varianten A und B (mit Konfidenzintervallen für Variante B).....	48
Tabelle 6.3: Überblick über die statistischen Parameter der Originaldaten, sowie der Varianten A und B (inklusive Konfidenzintervalle für Variante B).....	47
Tabelle 6.4: Zusammenfassung der Analysen mit dem Normalen Modell, nach Untersuchungsgebieten und Varianten.....	52
Tabelle 6.5: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der punktreduzierten Originaldatensätze...	66
Tabelle 6.6: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der Originaldatensätze mit geändertem Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden.....	67
Tabelle 6.7: Power, Sensitivität und PPV der punktreduzierten Datensätze ausgehend von Variante A.....	69
Tabelle 6.8: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der Datensätze mit geändertem Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden ausgehend von Variante A.....	70

## ABKÜRZUNGEN

GBA	Geologische Bundesanstalt
GIS	Geographisches Informationssystem
$H_0$	Nullhypothese
$H_A$	Alternativhypothese
LLR	Log Likelihood Ratio
max LLR	Maximum Log Likelihood Ratio
PPV	Positiver Vorhersagewert
UG	Untersuchungsbiet
UNDRO	United Nations Disaster Relief Organization (dt.: Organisation der Vereinten Nationen für Katastrophenhilfe)
WGS 84	World Geodetic System 1984
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung



## KURZFASSUNG

Die Erfassung und Beurteilung der physischen Vulnerabilität gegenüber Wildbachprozessen ist ein integraler Bestandteil eines holistischen Konzepts zum Management von Risiko. In der Naturgefahrenforschung wird Risiko als Funktion von Frequenz und Magnitude multipliziert mit den Auswirkungen eines Prozesses definiert. Die Auswirkungen eines Prozesses auf die physisch-materielle Umwelt werden zumeist durch die Quantifizierung von Vulnerabilität erfasst. Vulnerabilität wird in diesem Kontext als Schadenausmaß verstanden, das durch das Einwirken einer Naturgefahr auf ein Risikoelementes verursacht wird. Über die räumlichen Ausprägungen von Vulnerabilität ist sehr wenig bekannt (Fuchs et al. 2012), obwohl jedoch das Verständnis räumlicher Muster der Vulnerabilität viel dazu beitragen könnte die Bewertung von Risiken zu verbessern (Papathoma-Köhle et al. 2011).

Aufbauend auf den Daten für zwei sehr gut dokumentierte Wildbachereignisse in Österreich wird in der vorliegenden Arbeit das räumliche Muster der Vulnerabilität untersucht. Mit Hilfe eines räumlich-statistischen Ansatzes – implementiert in das Programm SaTScan nach Kulldorff (1997) – wird untersucht, ob die Siedlungsstruktur eine Auswirkung auf die Clusterung von hohen Schadenlastwerten hat. Weiters wird über eine Erhöhung und Verringerung der räumlichen Dichte der Datenpunkte und eine schrittweise Veränderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden eruiert, ob erstens die Weibullfunktion (vorgestellt in Totschnig et al. 2011) geeignet ist, um Schadenlastwerte zu schätzen und zweitens, ob es Schwellenwerte für die Anzahl und Zusammensetzung der Datenpunkte gibt, ab denen eine räumlich-statistische Datenanalyse keine plausiblen Ergebnisse mehr liefert. Die Plausibilität der Ergebnisse wird durch die Berechnung der Indizes Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert beurteilt. Weiters werden die Ergebnisse anhand von Karten, die die räumliche Lage der Cluster auf dem jeweiligen Schwemmkegel verorten, dargestellt.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Weibullfunktion nur eingeschränkt anwendbar ist, um Werte für die Schadenlast abzuschätzen. Weiters zeigen die Ergebnisse der Punkterhöhung und -verringern sowie die Veränderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-

beschädigten Gebäuden, dass keine klare Aussage über Schwellenwerte getroffen werden kann. Es lässt sich vielmehr sagen, dass die Signifikanz und räumliche Lage der Cluster innerhalb gewisser Datenbereiche relativ stabil bleibt.

Die Ergebnisse der Diplomarbeit ergänzen das Verständnis der räumlichen Verteilung von Vulnerabilität auf einer lokalen Maßstabsebene und können damit einen Beitrag zur integrativen Risikoforschung leisten.

## ABSTRACT

The acquisition and assessment of physical vulnerability to torrential hazards is an integral component of a holistic risk management concept. In natural hazard science risk is defined as the function of frequency and magnitude multiplied by the impact of the process. The impact of a process on its physical environment is often assessed by quantifying vulnerability. In this context vulnerability is defined as the degree of damage to a given element at risk due to the impact of a natural hazard. However less is known about the spatial patterns of vulnerability (Fuchs et al. 2012), although a better understanding of spatial patterns of vulnerability could improve the assessment of risk (Papathoma-Köhle et al. 2011).

Based on data of two well documented torrent events in Austria this diploma thesis deals with the analysis of spatial patterns of vulnerability. By means of a spatial scan statistic – implemented in the software SaTScan by Kulldorff (1997) – it will be examined, if settlement structures have effects on the clustering of high damage values. Moreover there will be investigations on the applicability of the Weibullfunction (introduced by Totschnig et al. 2011) in terms of estimating damage values. Furthermore the question will be addressed if there are threshold values concerning the amount and the composition of the data points, above which the spatial scan statistics can not provide plausible results. These issues will be dealt with by increasing and decreasing spatial density of the data points and stepwise altering the proportion of damaged and non-damaged building points. The plausibility of the results will be evaluated by the calculation of the power, sensitivity and positive predictive value. At last the results will be presented in maps, that show the spatial positions of the clusters on the particular alluvial cone.

The results lead to the conclusion, that the utilisation of the Weibullfunction for estimating damage values is limited. Furthermore the results of the increase and decrease of data points, as well as the altering of the proportion of damaged and non-damaged building points show, that no clear conclusion about threshold values can be drawn. It rather can be said, that within a certain data range the significance and spatial position of the clusters seem to be relatively stable.

The results of this diploma thesis add to the understanding of spatial patterns of vulnerability on a local scale and as such contribute to an integrative approach of risk research.



# 1 EINLEITUNG

Das aktuelle Ereignis in der Steiermark, bei dem in den frühen Morgenstunden des 21. Juli 2012 der Ort Sankt Lorenzen im Paltental durch ein Wildbachereignis schwer getroffen wurde, erlangte nicht nur große mediale Aufmerksamkeit, sondern zeigt auch die Wichtigkeit der Integration von technischen sowie natur- und sozialwissenschaftlichen Ansätzen in dem Umgang mit alpinen Naturgefahren. Es zeigt sich an diesem aktuellen Beispiel, dass das Risiko für die Bewohner, von einem Wildbachereignis betroffen zu sein, nicht allein von ingenieurtechnischen Verbauungsmaßnahmen abhängt – diese waren am Lorenzerbach vorhanden – sondern von sehr vielen anderen zusätzlichen Faktoren. Es spielen einerseits Aspekte der naturwissenschaftlichen Forschung bei der Beurteilung des Risikos eine Rolle: beispielsweise die Frage nach der Frequenz und Magnitude von Wildbachprozessen, die häufig in Verbindung zum globalen Klima- und Umweltwandel gestellt wird. Andererseits beziehen sich zentrale Punkte zur Abschätzung des Risikos auch auf die Vulnerabilität einer Gesellschaft und ihrer materiellen Güter (Infrastruktur, Gebäude etc.) gegenüber Naturgefahren. Die Quantifizierung der Vulnerabilität von Risikoelementen gegenüber alpinen Naturgefahren stellt einen wichtigen Beitrag zur Ermittlung des Risikos dar und ist ein Teil des integralen Risikomanagements. Die vorliegende Diplomarbeit setzt an diesem Punkt an und greift Überlegungen zur quantitativen und räumlichen Erfassung der physischen Vulnerabilität auf, die erstmals in einer Studie zur räumlichen Clusterung von Schäden durch Wildbachereignisse von Fuchs et al. (2012) veröffentlicht wurden.

## 1.1 Problemstellung der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit befasst sich mit der Analyse räumlicher Muster von Schadendaten, die durch Wildbachprozesse hervorgerufen wurden. Bei den betrachteten Wildbächen handelt es sich um den Vorderbergerbach (Kärnten) und den Stubenbach (Tirol), von denen Daten zu Ereignissen aus dem

Jahr 2003 bzw. 2005 vorliegen. Ausgehend von der Veröffentlichung von Fuchs et al. (2012) werden offene Fragen bearbeitet und weiterführende räumlich-statistische Analysen zur Clusterung von Schadendaten durchgeführt. Mit Hilfe der Software SaTScan (Kulldorff 1997) werden Clusteranalysen zur Verteilung von Schadenwerten in den zwei Untersuchungsgebieten durchgeführt. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Frage, ob es möglich ist, unterschiedlichen Siedlungsstrukturen in unterschiedlichen Untersuchungsgebieten Rechnung zu tragen. Die Anwendbarkeit der Weibullfunktion für absolute Werte der Vulnerabilität (vorgestellt in Totschnig et al. 2011) im Rahmen der räumlich-statistischen Analysen mit dem Programm SaTScan ist eine weitere Kernfrage der Diplomarbeit. Adressiert wird ebenso die Frage nach bestimmten Schwellenwerten zur Anwendbarkeit der Methodik. Schließlich werden die Ergebnisse der Analysen über die Kennwerte statistische Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert (PPV) auf ihre Vergleichbarkeit überprüft.

## 1.2 Arbeitshypothesen

Die zentralen Arbeitshypothesen, die sich aus der Problemstellung ableiten, werden im Folgenden vorgestellt. Anhand der Ergebnisse der Analysen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt werden, werden die Arbeitshypothesen überprüft und anschließend diskutiert.

*1. Die spatial scan statistic von Kulldorff (1997), implementiert in der Freeware SaTScan, ist geeignet, um unter Einbeziehung der Siedlungsstruktur räumliche Cluster hoher Schadenlastwerte zu erkennen und zu lokalisieren. Unter Verwendung des Normalen Modells kann gezeigt werden, dass die Siedlungsstruktur einen Einfluss auf das Auftreten von Clustern hoher Werte auf einem besiedelten Schwemmfächer hat.*

- Kann die Siedlungsstruktur, definiert als die räumliche Anordnung der Gebäude zueinander, einen Einfluss auf eine Clusteranalyse in SaTScan haben?
- Zeigen sich Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Cluster und deren Signifikanz wenn die Anzahl der Gebäudepunkte variiert wird?

2. Die zur Verfügung stehenden Daten sind (ob ihrer Qualität und ihres Informationsgehaltes) für die Durchführung der Analysen in SaTScan geeignet.

- Weisen die Daten die entsprechende Güte auf, um plausible Ergebnisse einer räumlichen Clusteranalyse in SaTScan hervorzubringen?
- Welche Auswirkungen hat eine Erhöhung/Verringerung der Punktzahl, oder die Veränderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden auf die Analyseergebnisse in SaTScan?

3. Die Verwendung der Weibullkurve für absolute Werte (nach Totschnig et al. 2011) ist für die Durchführung einer Clusteranalyse in SaTScan zulässig. Die Miteinbeziehung der Unsicherheiten in der Berechnung der Kurve (Konfidenzintervalle) zeigt plausible Ergebnisse.

- Kann die Weibullkurve angewendet werden, um Schadenlastwerte auf Grundlage der Beziehung zwischen Prozessintensität und räumlicher Lage des Risikoelements zu berechnen?
- Ergeben sich plausible Ergebnisse einer räumlichen Clusteranalyse in SaTScan, bei der Schadenlastwerte, die über die Weibullkurve berechnet wurden, die Basis für die Analysen bilden?

4. Es lassen sich Schwellenwerte bei bestimmten Aspekten der Datenbeschaffenheit (absolute Punktzahl, relatives Verhältnis der beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden) feststellen, ab denen eine Clusteranalyse mit SaTScan zulässig bzw. nicht mehr zulässig ist.

- Gibt es Schwellenwerte in der Anzahl der Datenpunkte oder im Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden, bei denen eine Clusteranalyse mit SaTScan noch realistische Ergebnisse liefert?

5. Die Indizes Power, Positiver Vorhersagewert und Sensitivität sind geeignet, um die Güte der einzelnen Cluster im Vergleich zu einem Referenzcluster zu beurteilen.

- Lässt sich über diese Indizes eine Aussage treffen, ob ein Cluster in seiner räumlichen Lage und der Ausprägung der Signifikanz mit einem zuvor definierten Referenzcluster vergleichbar ist?

### 1.3 Aufbau der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit beginnt mit einem Überblick über alpine Naturgefahren in Österreich, leitet dann über zu einer Betrachtung des Risikokonzepts und insbesondere zu den Aspekten der Vulnerabilität. In weiterer Folge werden die Untersuchungsgebiete vorgestellt und die Daten, die für die Analysen verwendet werden, beschrieben. Das vierte Kapitel widmet sich der Darlegung der angewendeten Methodik und gibt wichtige Hintergrundinformationen zur räumlichen Clusteranalyse. Das Ergebniskapitel gliedert sich in vier wesentliche Unterkapitel, die den im Methodikkapitel vorgestellten Analysen entsprechen und die Ergebnisse für beide Untersuchungsgebiete vergleichend präsentieren. In weiterer Folge werden die Ergebnisse im Kontext der Hypothesen diskutiert sowie mögliche Perspektiven aufgezeigt.

## 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Das Kapitel theoretische Grundlagen umfasst eine Einführung zum Thema alpine Naturgefahren und gibt einen Einblick in die Situation in Österreich. Da sich die Diplomarbeit mit der Räumlichkeit von Vulnerabilität im Zusammenhang mit Wildbachereignissen beschäftigt, wird zudem zum Thema Wildbäche, sowie Vulnerabilität und Risiko eine Einführung gegeben.

### 2.1 Alpine Naturgefahren in Österreich

Etwa 60% der Fläche Österreichs entfallen auf das Gebiet der Alpen (Embleton-Hamann 1997) und sind somit potentiell durch die Auswirkungen alpiner geomorphologischer Prozesse betroffen. Aus einem solchen Prozess wird jedoch erst eine potentielle Gefahr für den Menschen und den von ihm besiedelten und bewirtschafteten Raum, wenn der Lebens- und Wirtschaftsraum des Menschen mit dem Bereich alpiner Prozesse zusammentrifft (Mileti 1999).

Durch den sozioökonomischen Gesellschaftswandel zu Beginn des 20. Jahrhunderts hin zu einer dienstleistungs- und freizeitorientierten Gesellschaft nahm die Bedeutung des Alpenraumes im Hinblick auf Tourismus und Erholung zu. Dies hatte nicht nur eine intensivere und veränderte Raumnutzung zur Folge, sondern bedeutete auch eine Erhöhung des Wertes von Immobilien, Infrastruktur und mobilen Gütern (Fuchs 2008; Hübl et al. 2009).

Auf der anderen Seite reagieren aber gerade die Geo- und Ökosysteme der Bergregionen sehr sensibel auf Veränderungen von Klimafaktoren und Landnutzung (Keiler et al. 2010). Die Veränderung des Klimas wird von der Mehrheit der wissenschaftlichen Gemeinschaft als gesichert angenommen (IPCC 2012). Man geht davon aus, dass in den Gebirgsräumen vor allem die Hydro- und Kryosphäre von den Folgen des Klimawandels betroffen sein werden und es deswegen zu einer Verstärkung von Verlagerungsprozessen, die durch den Einfluss von Wasser getriggert werden, kommen wird (Hübl et al. 2009). Hierunter fallen Naturgefahren wie Hochwasser und gravitative

Massenbewegungen, aber auch Murgänge und fluvialer Feststofftransport. Es wird angenommen, dass durch den Rückzug der Gletscher und das Abtauen des Permafrostes in Zukunft weitere Feststoffquellen für Verlagerungsprozesse zur Verfügung stehen, die in Verbindung mit einem sich ändernden Witterungsprofil (höhere Intensität von sommerlichen Niederschlagsereignissen) zu einer Zunahme der Intensität und Frequenz von Wildbachprozessen, aber auch gravitativen Massenbewegungen führen könnten (Fuchs 2008; Hübl et al. 2009; Keiler et al. 2010).

## 2.2 Wildbäche

Wie zuvor dargelegt, wird durch den Klimawandel eine Zunahme der Prozesse prognostiziert, die durch den Einfluss von Wasser verursacht werden (Fuchs 2008, Hübl et al. 2009, Keiler et al. 2010). Hierzu gehören auch Wildbachprozesse, für die jedoch bislang kein gesicherter Trend in der Zunahme von Ereignissen im österreichischen Alpenraum festgestellt werden konnte (Fuchs 2008; Hübl et al. 2011).

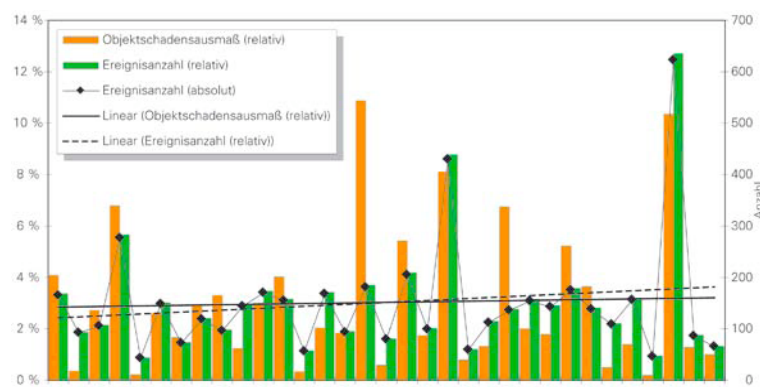


Abbildung 2.1: Anzahl der Wildbachereignisse und der von ihnen verursachten Schäden in Österreich im Zeitraum 1972-2004.  $N = 4894$  (aus: Fuchs 2008)

Abbildung 2.1 zeigt eine Zusammenstellung der Wildbachereignisse im Zeitraum zwischen 1972 und 2004 und die von diesen Ereignissen verursachten Schäden. Es ist kein klarer Trend in der Zunahme von Wildbachereignissen zu erkennen. Auf der anderen Seite hat sich aber innerhalb der letzten 50 Jahre das Schadenpotenzial (definiert als potenziell durch ein Wildbachereignis betroffene Gebäude, Infrastruktur, mobile Güter etc.) deutlich erhöht, was der Grund dafür ist, dass die großen Schadenssummen im Bereich der Europäischen Alpen mit Wildbachereignissen in Verbindung stehen (Fuchs et al. 2012).

Ein Wildbach wird durch das österreichische Forstgesetz definiert als „dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefahrdrohendem Ausmaße entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes ablagert oder einem anderen Gewässer zuführt“ (Forstgesetz 1975). Embleton-Hamann (1997) merkt an, dass die gesetzlich festgelegte Definition einer gewissen Interpretationsspannweite unterliegt. Durch die ONR 24800 (2009) wird die Definition des Forstgesetzes 1975 aufgegriffen und um die Definition und Klassifikation von Wildbachprozessen erweitert. „Zu den charakteristischen Wildbachprozessen zählen rasch anschwellende Abflüsse, der Abtrag (Mobilisierung) und Transport (die Verlagerung) von Feststoffen sowie deren Ablagerung (Sedimentation). Charakteristisch für Wildbachprozesse sind die kurze Anlaufzeit und kurze Gesamtdauer der Prozesse und deren unmittelbarer Zusammenhang mit vorangehenden exzessiven meteorologischen Ereignissen (Starkregen, Dauerregen)“ (ONR 2009). Die wichtigsten Verlagerungsprozesse in einem Wildbacheinzugsgebiet sind: Hochwasser, fluviatiler (sic!) Feststofftransport, murartiger Feststofftransport und Murgang. Der Volumenanteil der Feststoffkonzentration liegt bei einem Hochwasser im Promillebereich, beim fluviatilen Feststofftransport zwischen 0 bis 20%, beim murartigen Feststofftransport zwischen 20 und 40% und bei einer Mure > 40%. Auch die transportierten Korngrößen variieren und können bei einer Mure im Meterbereich liegen, bei einem Hochwasser im Normalfall im Millimeter- bis Zentimeterbereich (ONR 2009).

Abbildung 2.2. zeigt eine Übersicht über die in einem Wildbacheinzugsgebiet relevanten Verlagerungsprozesse. Auch wenn rutschende und stürzende Formen der Verlagerung nicht

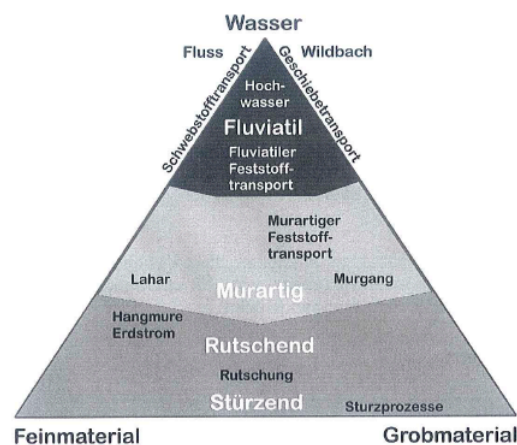


Abbildung 2.2: Verlagerungsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten (aus ONR 2009)

unmittelbar zu den Wildbachprozessen gezählt werden, so spielen sie dennoch eine wichtige Rolle für die Menge des verfügbaren Lockermaterials (ONR 2009).

Wie schon angedeutet, sind Wildbachprozesse primär gesehen natürliche Prozesse, die erst zu einer Gefahr für den Menschen werden, wenn sich potentielle Einflussbereiche eines Wildbbaches mit dem Lebens- und Wirtschaftsraum des Menschen überschneiden (Alexander 2004). Ein integatives Risikokzept (siehe Kapitel 2.3.1) bietet einen Ansatz, um sowohl den Änderungen in natürlichen Systemen, als auch in sozio-ökonomischen Systemen Rechnung zu tragen.

## 2.3 Konzepte der Vulnerabilität und des Risikos in der Naturgefahrenforschung

Die Kombination aus Klima- und Umweltveränderungen als Einflussgrößen für das Auftreten von alpinen Naturgefahren auf der einen Seite und stetig steigenden Lebensstandards, sowie hoher Bevölkerungsdichten im Bereich der Haupttälern der Alpen auf der anderen Seite, führen zu einer Erhöhung des Schadenpotenzials sowie zum Anstieg des Risikos (Fuchs 2008; Keiler et al. 2010). Eine zunehmende Bedeutung spielt in diesem Kontext die Analyse der Vulnerabilität der durch den Menschen errichteten physisch-materiellen Umwelt gegenüber alpinen Naturgefahren (Papathoma-Köhle et al. 2011) Papathoma-Köhle et al. (2011) konstatieren, dass ein gutes Verständnis der (räumlichen) Vulnerabilität dazu führen wird, die Bewertung des Risikos effektiver durchführen zu können und in weiterer Folge Schäden durch alpine Naturgefahren zu minimieren.

### 2.3.1 Risikokzept

Der Begriff des Risikos ist Forschungsgegenstand unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen, was eine einheitliche Konzeptualisierung des Risikobegriffs schwierig macht. Alle Risikokzepten haben jedoch einen gemeinsamen Nenner: die Kontingenz menschlichen Handelns, die im Bezug auf den Begriff Risiko die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines unerwünschten Realitätszustandes bezeichnet, der das Resultat menschlichen Handelns ist (Renn 2008a). In der sozialwissenschaftlichen Forschung beispielsweise ist der Begriff Risiko oft eng mit Entscheidungen verbunden, die eine bewusst gewordene Gefahr zum Risiko transformieren (Egner und Pott 2010).



In den Natur- und Ingenieurwissenschaften sind die Begriffe Naturgefahr, Vulnerabilität und Risiko eng mit ein und dem selben Phänomen verknüpft: der Interaktion des Naturraums und seiner physikalischen Gesetze mit dem Lebens- und Wirtschaftsraum des Menschen (Alexander 2002). Ebenso wie eine Naturgefahr erst dann zur Naturgefahr wird, wenn sie jemanden, oder etwas bedroht, existiert der Begriff Vulnerabilität erst, wenn Risikoelemente (Menschen, Gebäude, Infrastruktur etc.) durch etwas bedroht werden (Alexander 2004). Risiko wird in den Natur- und Ingenieurwissenschaften oft als Funktion definiert, die das Risiko in Bezug zu Naturgefahr, Exposition und Vulnerabilität setzt (vgl. Formel 2.1). Die UNDRP (1980) definiert das Risiko wie folgt:

$$R = H * E * V \quad (2.1)$$

Das Risiko ( $R$ ) wird hierin definiert als erwartetes Ausmaß von Verlusten (Tote, Verletzte, Schäden an Gebäuden, ökonomische Verluste etc.), hervorgerufen durch eine Naturgefahr ( $H$ ), die wiederum definiert wird durch ihre Auftretenswahrscheinlichkeit innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums und einer gegebenen Fläche. Risikoelemente ( $E$ ) bezeichnen die Bevölkerung, Gebäude, Infrastruktur etc., für die ein gewisses Risiko besteht, von einer Naturgefahr betroffen zu sein. Die letzte Variable in der Risikogleichung ist die Vulnerabilität ( $V$ ), die sich auf die potenziellen Schäden als Folge einer Naturgefahr bezieht (Glade 2003).

Fuchs et al. (2007a) veröffentlichten eine erweiterte Form der Risikogleichung (vgl. Formel 2.2), die Risiko ( $R_{i,j}$ ) als eine Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit eines bestimmten Szenarios ( $p_{si}$ ) und von diesem Szenario betroffenen Risikoelementes ( $A_{oj}$ ), sowie als Funktion der Vulnerabilität eines Objekts  $j$  in Abhängigkeit eines Szenarios  $i$  ( $v_{oj, si}$ ) definiert. Als letzte Variable kommt die Präsenzwahrscheinlichkeit eines Objekts  $j$  unter einem bestimmten Szenario  $i$  hinzu ( $p_{oj, si}$ ). Die Risikofunktion nach Fuchs et al. (2007a) lautet wie folgt:

$$R_{i,j} = f(p_{si}, A_{oj}, v_{oj, si}, p_{oj, si}) \quad (2.2)$$

Das Herstellen von funktionalen Zusammenhängen zwischen den Einzelkomponenten des Risikos (vgl. Formel 2.1 und 2.2) liefert einen wichtigen Beitrag zur quantitativen Risikobewertung, welche wiederum einen wichtigen Teil des Risikomanagements darstellt. Unter Risikomanagement wird im klassischen Sinn der Prozess verstanden, in dem Risiko evaluiert wird, um in weiterer Folge Strategien zum Umgang mit Naturgefahren zu entwickeln (Smith und Petley 2009). In den letzten Jahren hat sich das klassische Konzept des Risikomanagements von

Naturgefahren jedoch um die Aspekte der Nachhaltigkeit und Partizipation erweitert. Kienholz et al. (2004) postulieren einen Wandel im Umgang mit Naturgefahren, weg vom Schutz vor einer Gefahr, hin zum Bewusstsein eines Risikos. Dies bedeutet, dass das klassische Risikomanagement erweitert werden muss um Aspekte wie beispielsweise soziale, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit (Kienholz et al. 2004). Aus diesen Überlegungen lässt sich ein integrativer Ansatz zum Umgang mit Naturgefahren ableiten, wie er im Risikokreislauf (auch „Risikomanagementspirale“) manifestiert ist (Hübl et al. 2009; Kienholz et al. 2004; Renn 2008b) Abbildung 2.3 skizziert den Risikokreislauf, wie er in der Naturgefahrenforschung zur Anwendung kommt: neben einer naturwissenschaftlich-ökonomischen Risikoanalyse steht die sozialwissenschaftlich-politische Risikobewertung und das interdisziplinäre Risikomanagement (Hübl et al. 2009).



Abbildung 2.3: Skizze des Risikokreislaufs in der Naturgefahrenforschung (aus Hübl et al. 2009)

Die EU-Hochwasserrichtlinie, die 2007 in Kraft trat und von den Mitgliedstaaten der Europäischen Union bis 2009 ratifiziert werden musste, ist ein wichtiger Schritt hin zur gesetzlichen Implementierung eines integralen (auch länderübergreifenden) Risikomanagements für Hochwasser- und Wildbachereignisse (Habersack et al. 2009). Dies bedeutet auch, dass die Analyse der Vulnerabilität, gerade im Hinblick auf Veränderungen im Natur- und Sozialraum, sowie eines stetig ansteigenden Schadenpotenzials, im Zuge einer integralen Risikoanalyse an Bedeutung gewinnen wird (Fuchs 2008, Keiler et al. 2010, Papatoma-Köhle et al. 2011).

### 2.3.2 Konzept der Vulnerabilität

Wie schon angedeutet ist das Risikokzept eng mit dem Begriff der Vulnerabilität verbunden, welchem im Rahmen der quantitativen Erfassung von Risiko eine zentrale Bedeutung zugemessen wird. Neben der Gefahrenanalyse und der Analyse der exponierten Werte, ist die Analyse der Vulnerabilität integraler Bestandteil der Risikoanalyse in der Naturgefahrenforschung (siehe Abbildung 2.3).

Aufgrund der Tatsache, dass sich Wissenschaftler der verschiedensten Disziplinen mit Fragen zur Vulnerabilität im Bezug auf Naturgefahren auseinandersetzen, besteht eine relative Vielfalt von Definitionen für den Begriff Vulnerabilität. Um die theoretische und methodologische Vielfalt des Begriffs fassbar zu machen schlägt Cutter (1996) eine Typologie vor, die zwischen der biophysikalischen (physischen) Vulnerabilität, der sozialen Vulnerabilität, sowie der Verbindung beider Forschungsstränge zu einem integrativen Ansatz, der „Vulnerability of places“, unterscheidet.

Die *sozialwissenschaftliche Sichtweise* des Begriffs Vulnerabilität bezieht sich sehr stark auf die Fähigkeiten einer Person oder eine Gruppe, die Auswirkungen einer Naturgefahr zu antizipieren, diese bewältigen und sich von ihnen erholen zu können (Wisner et al. 2004). Cutter et al. (2008) definieren die soziale Vulnerabilität als präexistente und inhärente Eigenschaften oder Fähigkeiten eines sozialen Systems, die das Potential für Schaden bestimmen. Die Vulnerabilität ist also eine Funktion der Exposition und der Sensitivität eines Systems gegenüber Naturgefahren. Der Begriff der Resilienz steht in engem Zusammenhang mit der Vulnerabilität und wird im Kontext der sozialwissenschaftlichen Forschung als Fähigkeit eines sozialen Systems definiert, auf den Einfluss von Naturgefahren reagieren und sich von ihnen erholen zu können (Cutter et al. 2008).

Aus *naturwissenschaftlicher Sicht* wird der Begriff Vulnerabilität als Schadenausmaß an einem oder mehreren Risikoelementen verstanden, das durch das Auftreten eines natürlichen Prozesses einer bestimmten Magnitude, zu einem definierten Zeitpunkt und an einem bestimmten Ort verursacht wird (Fuchs 2009). Die Spannweite der Vulnerabilität reicht von 0 (kein Schaden) bis 1 (Totalschaden) (Fell et al. 2008; Varnes 1984) und repräsentiert den erwarteten Schaden, der durch ein Ereignis mit einer bestimmten Auftretenswahrscheinlichkeit verursacht werden kann (Akbas et al. 2009). Die physische Vulnerabilität steht in engem Zusammenhang mit den verwendeten Konstruktionsmaterialien und -techniken, dem Grad der Instandhaltung von Gebäuden und Infrastruktur, dem Vorhandensein von Frühwarnsystemen und Schutzmaßnahmen und zu guter Letzt der Intensität (Fell 1994) sowie der Frequenz und Dauer eines Ereignisses (Fuchs 2009).

Obwohl die physische Vulnerabilität in den letzten Jahrzehnten Gegenstand vieler theoretischer und praktischer Untersuchungen war, so finden sich erst wenige Versuche, einen standardisierten funktionalen Zusammenhang zwischen der Intensität eines Ereignisses und den strukturellen (physischen) Schäden herzustellen (Fuchs 2009). Eine wichtige Arbeit zur Entwicklung einer quantitativen Vulnerabilitätsfunktion wurde von Fuchs et al. (2007a) veröffentlicht, die das Schadenausmaß durch Wildbachereignisse in Bezug zur Prozessintensität setzten. In Folgearbeiten von Totschnig et al. (2011) wurden weitere Vulnerabilitätsfunktionen entwickelt, von denen eine im Rahmen dieser Diplomarbeit zur Anwendung kommt.

Während also Sozialwissenschaftler den Begriff der Vulnerabilität im Kontext von sozio-ökonomischen Faktoren sehen, die die Fähigkeit einer Person oder einer Gemeinschaft bestimmen, mit dem Einfluss von Naturgefahren umzugehen, sehen Naturwissenschaftler den Begriff der Vulnerabilität oft im Zusammenhang von Eintretenswahrscheinlichkeiten eines bestimmten Prozessszenarios mit dem Einfluss auf die physisch-materielle Umwelt. Seit einigen Jahren kommt eine relativ neue Betrachtungsweise in Verbindung mit Naturgefahren zu den beiden schon besprochenen Konzepten von Vulnerabilität hinzu. Diese Betrachtungsweise basiert auf einem *integrativen Ansatz*, der Vulnerabilitätstheorien und -konzepte der Natur- und Sozialwissenschaften sowie der Politik, des Naturgefahrenmanagements und der Ökonomie (u.a.) zu einem holistischen Konzept vereint und der Vulnerabilität einen starken räumlich-geographischen Bezug zugesteht (Cutter 1996; Fuchs 2009). Die Herausforderung des integrativen Ansatzes zur Vulnerabilitätsforschung besteht nach Fuchs et al. (2011) aus drei Aspekten: zum einen aus der Integration der verschiedenen Komponenten von Vulnerabilität (Exposition, Suszeptibilität/Sensitivität, adaptive Kapazitäten, Resilienz), zum anderen aus dem Zusammenführen verschiedener Methoden zur Vulnerabilitätsanalyse, sowie aus der Definition des Betrachtungswinkels der Vulnerabilität (stehen eher ökonomische, soziale, oder gar naturwissenschaftliche Aspekte des Vulnerabilitätsbegriffes im Vordergrund?) (Fuchs et al. 2011).

Aufgrund des integrativen Charakters bestehen auch innerhalb der Geographie Differenzen in der Definition des Begriffs: einerseits wird er in der *Naturgefahren- und Risikoforschungsgruppe* mit einem Schwerpunkt auf Schutzmaßnahmen und Notfallmanagement definiert. Andererseits legt die Forschungsgruppe zur *Mensch-Umwelt-Interaktion* den Fokus ihrer Forschung auf die Untersuchung von globalen Umwelt- und Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf globaler und lokaler Ebene. Übereinkunft herrscht jedoch darin, dass der Begriff Vulnerabilität in engem Zusammenhang mit der Exposition, der Sensitivität und der Resilienz gegenüber einer Naturgefahr zu sehen ist (Fuchs 2009).

Die Vulnerabilität eines bestimmten Orts wird durch die physische Vulnerabilität der gefährdeten Risikoelemente bestimmt. Im Hinblick auf die Quantifizierung des Risikos muss also die physische Vulnerabilität so genau wie möglich untersucht werden (Fuchs et al. 2007b). In diesem Sinne befasst sich die vorliegende Diplomarbeit mit Daten zur physischen Vulnerabilität von Gebäuden gegenüber Wildbachereignissen und versteht sich als Teil einer integrativen Risikoanalyse.



### 3 UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Im Folgenden werden die Untersuchungsgebiete vorgestellt und ein Einblick in den Hergang der Wildbachereignisse gegeben, die zum Teil erhebliche Schäden an Häusern und Infrastruktur verursachten. Diese Untersuchungsgebiete wurden ausgewählt, da hier sehr detaillierte Daten von Wildbachereignissen vorliegen, bei denen sowohl das Schadenausmaß als auch die Prozessintensität quantitativ erfasst wurde. Bei den beiden Untersuchungsgebieten handelt es sich um das Einzugsgebiet des Stubenbaches und des Vorderbergerbaches (siehe Abbildung 3.1).

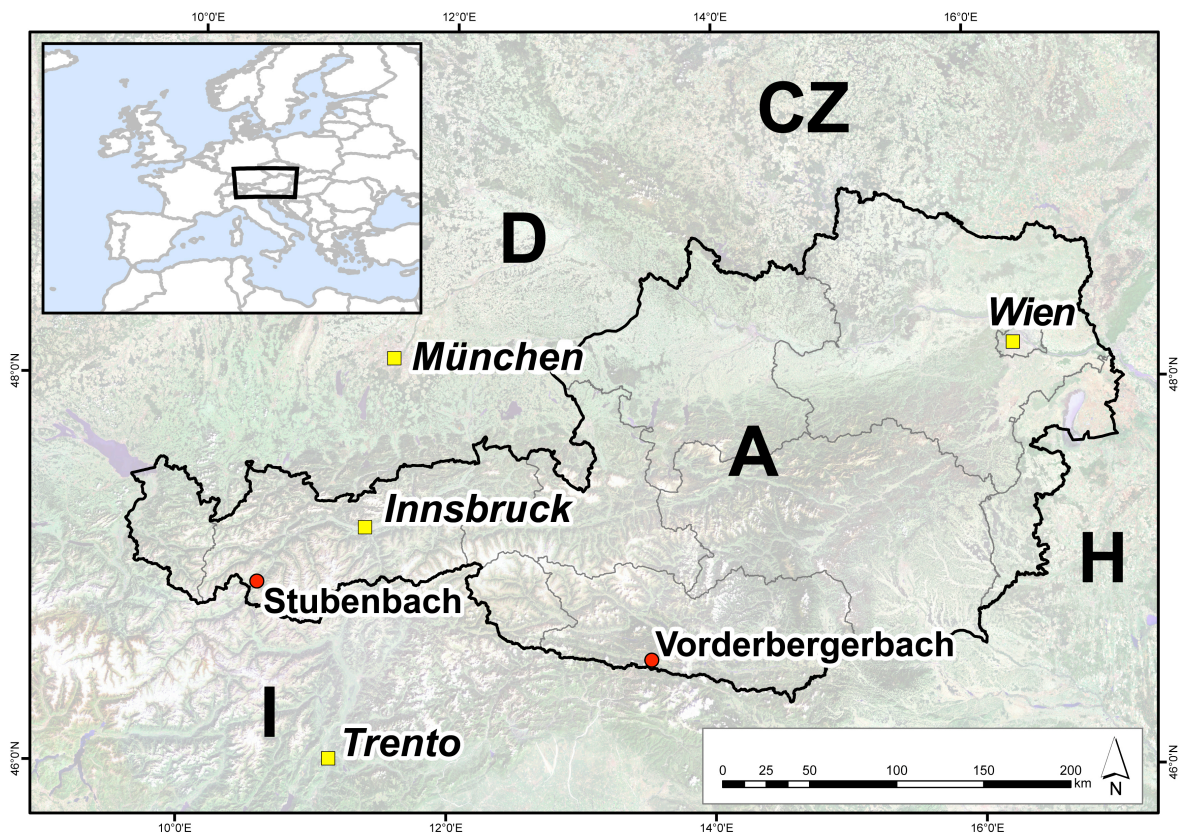


Abbildung 3.1: Übersicht über die Lage der Untersuchungsgebiete

### 3.1 Stubenbach

Der Stubenbach befindet sich im Bundesland Tirol nahe der Grenze zur Schweiz. Sein Einzugsgebiet umfasst ca. 30 km<sup>2</sup> und erstreckt sich zwischen 1011 und 3035 Meter ü. NN. Das Einzugsgebiet ist Teil der Samnaun-Gruppe, welche geologisch zum Engadiner Fenster gehört. Das Engadiner Fenster ist ein ehemaliges Meeresbecken, das im Mesozoikum entstand und später angehoben und von der älteren Silvretta- und Ötztaldecke überschoben wurde. Die Geologie des Einzugsgebietes wird dominiert durch Graue Bündner Schiefer und Wechsellagerungen von Quarziten mit Bunten Bündner Schiefen (BMLFUW 2006). Der Stubenbach ist ein Zubringer des Inns, der von Norden kommend in der Gemeinde Pfunds in den Inn mündet. Der Ortsteil Stuben wurde auf dem Schwemmfächer des Stubenbaches errichtet und in der Vergangenheit wiederholt von Wildbachereignissen betroffen. Am 22. August 2005 kam es in Folge eines Starkniederschlags zu einem Wildbachereignis, das hohe Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursachte.

Das Ereignis am Stubenbach steht in einer Reihe mit weiteren Hochwasser- und Wildbachereignissen sowie gravitativen Massenbewegungen, die sich zwischen dem 22. und 23. August 2005 in den westlichen Bundesländern zutrug. Aufgrund eines Tiefdruckgebietes über dem Golf von Genua, das sich nach Norden hin verlagerte, kam es nördlich des Alpenhauptkammes ab dem 20. August zu intensiven Niederschlägen, die am Abend des 22. Augustes ihren Höhepunkt erreichten und bis zum 23. August andauerten. Die Wiederkehrwahrscheinlichkeiten der Niederschlagsereignisse und der daraus folgenden Oberflächenabflüsse waren sehr inhomogen und lagen entlang des Inns bei einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von bis zu 200 Jahren, wobei die Extremwerte in kleineren Einzugsgebieten (beispielsweise im Einzugsgebiet der Trisanna) bei ca. 5000 Jahren Wiederkehrwahrscheinlichkeit lagen (Keiler et al. 2010; Stötter et al. 2007). Weitere Faktoren, die sich auf das Prozessgeschehen auswirkten, waren die hohe Wassersättigung der Böden, die zu einem schnellen und hohen Oberflächenabfluss führten, sowie die hohen Temperaturen, die dazu führten, dass der Niederschlag bis in hohe Lagen als Regen und nicht als Schnee niederging (die Schneefallgrenze lag zwischen 2900 - 3200 Metern ü. NN) (Keiler et al. 2010).

Für das Ereignis am Stubenbach ist zu betonen, dass nicht allein die Intensität der Niederschläge als außergewöhnlich zu beurteilen ist, sondern vielmehr die Kombination aus der Dauer (ca. 30 Stunden) und Intensität der Niederschläge. Für das Einzugsgebiet des Stubenbaches ergab sich ein gemittelter Gebietsniederschlag<sup>1</sup> von ca. 66 mm im Zeitraum zwischen 22. August 2005, 07:00 und

---

<sup>1</sup>Der gemittelter Gebietsniederschlag wurde in der Publikation des BMLFUW (2006) durch die Verschneidung von Niederschlagsinterpolation mit der Flächen des Einzugsgebietes berechnet.



23. August 2005, 07:00 MEZ, wobei ca. 85% des Niederschlags (56 mm) innerhalb von 6 Stunden niederging (BMLFUW 2006).

Die hohe Intensität und Dauer der Niederschläge führte zur Mobilisierung von Geschiebe, das fast ausschließlich durch Seiten- und Tiefenerosion in den teils runsenförmig ausgebildeten Zubringern des Stubenbaches bereitgestellt wurde. Ein Teil des transportierten Geschiebes stammte zudem aus den Abschnitten des Stubenbachs, die als Zwischenlagerung für Hangschutt fungierten und im Zuge des Ereignisses größtenteils bis auf das anstehende Festgestein ausgeräumt wurden. Eine untergeordnete Rolle beim Eintrag von Geschiebe spielten geringmächtige oberflächliche Rutschungen, die im Zusammenhang mit der erhöhten Wassersättigung des Bodens entstanden und zumeist nur die oberen Bodenschichten umfassten (BMLFUW 2006). In weiterer Folge kam es am Stubenbach zu einem Murereignis, von dem über 50.000 m<sup>2</sup> des Schwemmfächers von Geschiebeablagerungen betroffen waren (die schlammigen Ablagerungen eingerechnet umfasste die Schadenfläche rund 120.000 m<sup>2</sup>). Durch das Ereignis wurden ca. 70.000 m<sup>3</sup> Material verlagert, wobei die maximale Ablagerungshöhe des Geschiebes 5,90 m erreichte (BMLFUW 2006). Die Schäden, die bei diesem Ereignis entstanden beliefen sich auf über 11 Mio. €, die zu einem erheblichen Teil aus dem Katastrophenfonds beglichen wurden (Stötter et al. 2007).

Nachfolgende Abbildungen (siehe Abbildungen 3.2 bis 3.4) zeigen den Ortsteil Stuben unmittelbar nach dem Ereignis und vermitteln einen Eindruck des entstandenen Schadensausmaßes.



*Abbildung 3.2: Luftaufnahme Pfunds, Ortsteil Stuben, Di. 23.8.2005 (Foto: ASI-Tirol, Alpines Sicherheits- und Informationszentrum)*



*Abbildung 3.3: Eines der beiden komplett zerstörten Wohnhäuser im Ortsteil Stuben (Foto: Ereignisdokumentation BOKU, IAN)*



*Abbildung 3.4: Geschiebeablagerungen mit Stubenbach im linken Bildrand (Foto: Ereignisdokumentation BOKU, IAN)*

## 3.2 Vorderbergerbach

Beim zweiten Untersuchungsgebiet handelt es sich um das Einzugsgebiet des Vorderbergerbaches, das sich im Bundesland Kärnten befindet. Der Vorderbergerbach ist ein Zubringer der Gail, der von Süden kommend in der Gemeinde Sankt Stefan in die Gail mündet. Sein Einzugsgebiet gehört zu den nördlichen Karnischen Alpen und nimmt eine Fläche von ca. 25 km<sup>2</sup> ein, die sich zwischen einer Höhe von 588 und 2052 Meter ü. NN aufspannt.

Geologisch finden sich im Bereich des Vorderbergerbaches vor allem graue Bänderkalke (Ederkalke) und Ordovizische Schiefer, die im Ober- und Mittellauf die Basis für überlagernde quartäre Sedimente bilden. Nachdem das gesamte Gailtal und seine Seitentäler während der Würmeiszeit vergletschert waren, finden sich heute im Ober- und Mittellauf des Vorderbergerbaches mächtige glaziale Ablagerungen, sowie quartäre Lockersedimentablagerungen. Diese quartären Lockersedimente – bestehend aus Tonen, Schluffen und Sanden – wurden im Staubereich am Eisrand des Gailtalgletschers abgelagert und bilden heute Stauhorizonte, die von teilweise mächtigen Hangschuttlagen überdeckt sind. Bei Unterschneidung dieser quartären Lockersedimentlagen durch den Vorderbergerbach (und dessen Zubringer) kommt es immer wieder zu Massenbewegungen, die dem Bach eine bedeutende Quelle für Lockermaterial bieten (Hübl et al. 2004).

Zwischen dem 29. und 30. August 2003 kam es im Drau- und Gailtal im Zusammenhang mit einer Südwest-Wetterlage zu Starkniederschlagsereignissen, von bis zu 228% der Normalniederschlagssummen (gemessen in Klagenfurt) für den Monat August. Infolge der Starkniederschlagsereignisse kam es durch erhöhten Oberflächenabfluss und Massenbewegungen zu massivem Eintrag von Lockermaterial in den Vorderbergerbach, der in weiterer Folge den Ortsteil Vorderberg der Gemeinde Sankt Stefan überflutete. Eine Fläche von ca. 424.000 m<sup>2</sup> und 2/3 der Gebäude auf dem Schwemmfächer waren von den Ablagerungen betroffen, die in manchen Bereichen eine Höhe von maximal 2,8 m erreichten. Schätzungen aus dem Jahr 2004 wiesen eine Gesamtschadenhöhe von 7 Mio. Euro aus (Hübl et al. 2004). Die Wiederkehrwahrscheinlichkeit des Abflussereignisses vom 29. August 2003 wurde von Hübl et al. (2004) aufgrund rekonstruierter Abflussmengen auf ca. 100 Jahre geschätzt.

Nachfolgende Abbildungen (siehe Abbildungen 3.5 bis 3.7) zeigen den Ortsteil Vorderberg nach dem Ereignis.



*Abbildung 3.5: Luftbild des Ortes Vorderberg mit Ablagerungsflächen (Foto: o.A.)*



*Abbildung 3.6: durch den Vorderbergerbach transportiertes und abgelagertes Material im Bereich der Kirche (Foto: Ereignisdokumentation BOKU, IAN)*



*Abbildung 3.7: deutlich zur erkennende Anschlagshöhe an der Kirche (Foto: Ereignisdokumentation BOKU, IAN)*

## 4 DATEN

Im Folgenden werden die Daten vorgestellt, die die Grundlage für alle weiteren Analysen bilden. Es handelt sich um Daten zur Schadenlast auf Gebäudeebene, die für beide Untersuchungsgebiete vorlagen. Die im Rahmen der Ereignisdokumentation erhobenen Ablagerungshöhen, dienen als Proxy für die Prozessintensität und sind der zweite Datensatz, der im Folgenden vorgestellt wird.

### 4.1 Schadenlast

Bei den, in dieser Diplomarbeit zur Anwendung kommenden Daten zur physischen Vulnerabilität, handelt es sich um Werte der Schadenlast, die für alle betroffenen Gebäude berechnet wurde. Es gibt nur wenige Vorschläge und Ansätze zur Quantifizierung der Schadenlast. Die Ansätze nach Kranewitter (2002) und Keiler (2004) sind zwei verschiedene, die auf  $m^2$  bzw.  $m^3$  beruhen. Wurde bis dahin lediglich die Verwendung von Versicherungswerten, oder eine Abschätzung des Gebäudewerts mittels Indikatorenansatz empfohlen, so geht der Ansatz nach Keiler (2004) einen Schritt weiter und schlägt die Quantifizierung des Schadenpotenzials über eine ökonomische, GIS-basierte Methode vor. Die Schadenlast wird in diesem Ansatz definiert als Quotient aus dem Schaden, der durch ein bestimmtes Ereignis verursacht wurde und dem Wiederherstellungswertes für das jeweilige Gebäude (Fuchs et al. 2012).

Die Berechnung des Wiederherstellungswertes auf Gebäudeebene basiert auf der Größe des jeweils betrachteten Gebäudes, die aus der digitalen Katastermappe (Maßstab 1:1000) abgeleitet wurde. Ein durchschnittlicher Quadratmeterpreis von 1.670 Euro, der auch den österreichischen Gebäudeversicherungen als Grundlage dient, wurde als Wiederherstellungswert angenommen. Für Hotels und Ferienhäuser wurde ein etwas höherer Quadratmeterpreis zwischen 1.837 und 2.506 Euro veranschlagt (Fuchs et al. 2012; Totschnig et al. 2011). Bei den Schadendaten, welche neben dem Wiederherstellungswert zur Berechnung der Schadenlast nötig sind, handelt es sich um

monetär quantifizierte Schadenhöhen, die nach dem Ereignis durch einen Gutachter der jeweiligen Landesregierungen festgelegt wurden. Der Wert für die Schadenlast wurde schließlich als Quotient aus Schaden und Wiederherstellungswert für jedes betroffene Gebäude berechnet (Totschnig et al. 2011).

## 4.2 Prozessintensität

Die Prozessintensität, die neben dem Wert für die Schadenlast als Datengrundlage für die weiteren Analysen im Rahmen der Diplomarbeit vorlag, wurde auf Grundlage der Daten aus den Ereignisdokumentationen abgeleitet. Da die Magnitude eines Wildbachereignisses im Normalfall nicht direkt gemessen werden kann, bedient man sich einer indirekten Methode zur Abschätzung der Prozessintensität. Hierbei spielen die Daten der Ereignisdokumentation (welche üblicherweise von der WLW durchgeführt wird) eine wichtige Rolle, da verortete und punktuelle Messungen der Ablagerungs- und Fließhöhen als Proxy für die Prozessintensität herangezogen werden können. Um flächendeckende Ablagerungshöhen zu erhalten wurde im GIS eine *Nearest Neighbour Interpolation* der punktuell gemessenen Ablagerungshöhen durchgeführt. In weiterer Folge konnte für jedes Gebäude die Ablagerungshöhe, respektive die Prozessintensität abgeleitet werden (Totschnig et al. 2011).

## 5 METHODIK

Im vorliegenden Kapitel werden alle für die räumlichen Clusteranalysen wichtigen Hintergrundinformationen gegeben. Neben einer Hinführung zum Thema mit der Definition von Begriffen beinhaltet das Kapitel auch die Beschreibung der Datenaufbereitung. Für über 100 Clusteranalysen mussten die Ausgangsdaten in verschiedenen Schritten bearbeitet werden, um sie schließlich für eine Analyse im Programm SaTScan verwenden zu können. Abschließend wird die Berechnung der Werte für die Power, die Sensitivität und den positiven Vorhersagewert dargelegt.

### 5.1 Räumliche Clusteranalysen

Räumliche Clusteranalysen spielen eine wichtige Rolle bei der Quantifizierung geographischer Variationsmuster. Wissenschaftliche Disziplinen wie beispielsweise die Biologie und Ökologie, die Archäologie, die medizinische Epidemiologie und Gesundheitsforschung sowie die Geographie und auch die Kriminologie greifen auf Methoden zur Quantifizierung von räumlichen und raumzeitlichen Mustern zurück (Diggle 1983; Jacquez 2008).

Seit den 1960er Jahren und im Zuge der Quantitativen Revolution in der Geographie nimmt die Bedeutung der räumlich-statistischen Methoden immer weiter zu (Abler et al. 1971). Insbesondere seit in den 1990er Jahren die Rechenkapazität sowie die Quantität und Qualität der räumlichen Daten deutlich zunahm, schreitet auch die Entwicklung der Geographischen Informationssysteme schnell voran (Cowen 2008) und öffnet neue Türen für die Anwendung von räumlich-statistischen Methoden, so auch für räumliche Clusteranalysen.

### 5.1.1 Räumliche Punktmuster und -prozesse

Punktdaten mit einem Raumbezug sind oft Ausgangspunkt räumlich-statistischer Analysen in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen. Punktdatensätze bestehen per definitionem aus Punkten und Fällen, die einen eindeutigen Raumbezug in Form von X- und Y-Koordinaten aufweisen. Ein Punkt ist definiert als Ort im Untersuchungsgebiet an dem potentiell ein Fall auftreten kann. Ein Fall hingegen ist definiert als Punkt, an dem ein Ereignis eingetreten ist (Diggle 1983). Solche Datensätze werden auch Punktmuster genannt, die je nach zugrunde liegendem Punktprozess unterschiedliche räumliche Verteilungsmuster ausbilden. Ein Punktprozess ist definiert als mathematisch-statistisches oder auch deterministisches Modell, mit dem die räumliche Verteilung der Punkte und Fälle in einem Punktmuster nachgebildet werden kann (O’Sullivan and Unwin 2010; Shekhar et al. 2009). Räumliche Punktprozesse können sehr grob in zufällige und nicht-zufällige Prozesse unterteilt werden, nach denen jedes natürliche Punktmuster klassifiziert werden kann. Beispiele für natürliche Punktmuster wären: einzelne Gräber auf einem Gräberfeld (Waller und Gotway 2004), Vogelnester auf einer Insel (Diggle 1983), Individuen einer Schimpansenherde in einem Nationalpark (Shekhar et al. 2009), oder Zellkerne in einem histologischen Schnitt (Diggle 1983). Manche dieser Punktmuster liegen in Clustern vor, andere wiederum in sehr regelmäßigen Mustern, wohingegen manche auch einer Zufallsverteilung folgen. Eine völlige räumliche Zufallsverteilung (engl.: complete spatial randomness – CSR) kann mit dem homogenen Poisson Prozess modelliert werden und dient sehr häufig als Vergleichsmuster für reale Punktmuster. Die Hypothese der CSR ist ein Abgrenzungskriterium für räumliche Punktmuster, die stärker geclustert, als zufallsverteilt vorliegen, oder eine größere Regelmäßigkeit, im Vergleich zu einer Zufallsverteilung aufweisen (Waller und Gotway 2004). Abbildung 5.1 zeigt Beispiele für verschiedene Punktmuster.

Neben dem homogenen Poisson Modell bestehen aber eine Vielzahl anderer statistischer Modelle, mit deren Hilfe sich räumliche Punktmuster modellieren lassen. An dieser Stelle seien das inhomogene Poisson Modell, sowie das Bernoulli Modell genannt, da sie – gemeinsam mit dem homogenen Poisson Modell – zu den am häufigsten verwendeten Wahrscheinlichkeitsmodellen zur Modellierung von Punktmustern zählen (Kulldorff 2006). Das Normale Modell, auf dem die in dieser Diplomarbeit verwendete Scan Statistic nach Kulldorff et al. (2009) basiert, zählt ebenso zu den Wahrscheinlichkeitsmodellen, mit denen räumliche Punktmuster modelliert werden können.



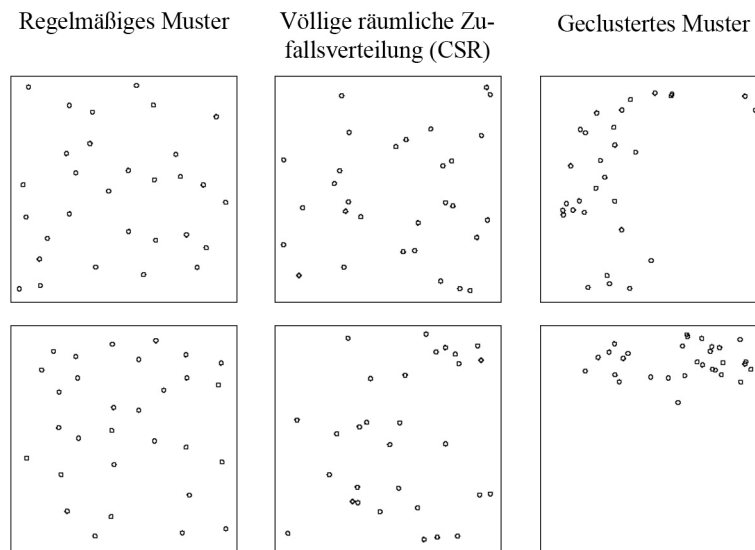


Abbildung 5.1: Räumliche Punktmuster; jeweils zwei unterschiedliche Ausprägungen des selben zugrunde liegenden Punktprozesses (eigene Bearbeitung, nach Waller und Gotway 2004)

### 5.1.2 Typen von Tests zur Clusterdetektion

Die Methoden zur Quantifizierung von räumlichen und raum-zeitlichen Mustern lassen sich nicht eindeutig unter einem Schlagwort zusammenfassen, vielmehr besteht eine Vielzahl von Terminologien, die einer näheren Erläuterung bedürfen: Waller (2009) unterscheidet zwischen analytischen Klassifikationsmethoden und Methoden zur Detektion von räumlichen Clustern. Die *Analytischen Klassifikationsmethoden* können rein formal zu den Data Mining Techniken gezählt werden und dienen somit der Wissenserschließung über räumliche Daten. Da die meisten Data Mining Techniken heuristische Ansätze verfolgen, gibt es keine eindeutigen Algorithmen zur Erschließung von Mustern eines bestimmten Typs. Vielmehr lassen sich über die verschiedenen Methoden verschiedene, den Daten inhärente Aspekte beschreiben und extrahieren. Unter den Data Mining Techniken werden in der nicht-räumlichen Statistik das Klassifizieren von Daten sowie das Eruiere von Regeln und funktionalen Zusammenhängen und auch Methoden zur Analyse von Ausreißern und Clustern zusammengefasst (Miller 2008). Angewendet auf räumliche Daten und im Sinne der Data Mining Methoden verfolgt eine Clusteranalyse den vornehmlichen Zweck der

Gruppierung von Variablen in Clustern, so dass die Variablen innerhalb des Clusters größere Ähnlichkeiten aufweisen als die Variablen, die sich außerhalb der Grenzen eines Clusters befinden (Miller 2008; Shekhar et al. 2009). Zu den klassischen Data Mining Methoden für räumliche Daten gehören beispielsweise hierarchische Methoden und Optimierungsansätze, oder auch Erwartungswertmaximierungsmethoden (Fotheringham und Zhan 1996; Miller 2008).

Im Sinne der *Methoden zur Detektion von räumlichen Clustern* muss nach Waller (2009) ein Cluster als eine ungewöhnliche Ansammlung von Fällen, oder als Anomalie verstanden werden. Ein Cluster wird nach Besag und Newell (1991) auch definiert als Sammlung von Fällen, deren Verteilung im Raum augenscheinlich nicht dem zugrunde liegenden konzeptionellen Erklärungsmodell für das Eintreten von Fällen entspricht. Der Terminologie von Besag und Newell (1991) sowie Waller (2009) folgend, beschreibt eine Clusterung eine generelle Tendenz von Fällen, nahe bei anderen Fällen aufzutreten. Dementsprechend lassen sich Tests zur Detektion von Clustern und zur Untersuchung von Clusterung unterscheiden. *Tests zur Untersuchung von Clusterung* lassen sich in globale und fokussierte Tests untergliedern. Im Fokus der *globalen Tests zur Untersuchung von Clusterung* liegt das generelle räumliche Muster von Objekten/Variablen in einer großen Region (Besag und Newell 1991). *Fokussierte Tests* kommen zur Anwendung, wenn eine vordefinierte Hypothese zur räumlichen Lage der Cluster besteht. Ein Beispiel für eine vordefinierte Hypothese wäre, dass das Risiko, an einer bestimmten Krankheit zu erkranken, bei einem Wohnort im Nahebereich einer Giftmüllhalde erhöht ist (Kulldorff 2005).

*Tests zur Detektion von Clustern* beziehen sich auf lokale Cluster, deren räumliche Lage und Signifikanz im Mittelpunkt des Interesses steht (Kulldorff 2005). Die räumliche und raum-zeitliche Scan Statistik nach Kulldorff, die in der vorliegenden Diplomarbeit zu Anwendung kam, gehört zur Gruppe der Tests zur Detektion von lokalen Clustern.

Einer der ersten Ansätze zur vollautomatischen Quantifizierung lokaler Anomalien in Punktmustern war die Geographical Analysis Machine (GAM) von Openshaw et al. (1987). Das Konzept der GAM basiert auf einer einfachen aber sehr rechenintensiven räumlich-statistischen Analyse von Punktdaten, die zu ihrem Zeitpunkt die fortschrittlichste hypothetisch deduktive Inferenzmaschine darstellte. Mit ihr war es möglich, räumliche Hypothesen zu generieren und zugleich die Signifikanz der gefundenen Ergebnisse statistisch zu überprüfen. Weiters brachte die Verbindung der GAM mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) den deutlichen Vorteil, räumliche Daten bestmöglich verarbeiten und Ergebnisse visualisieren zu können (Openshaw et al. 1987). Weiterentwicklungen der GAM erfolgten Anfang bis Mitte der 1990er Jahre durch Besag und Newell (1991) und Fotheringham und Zhan (1996). Zu den in jüngster Zeit entwickelten und vor allem ständig erweiterten und überarbeiteten Softwarepaketen, die eine Weiterentwicklung der Idee

von Openshaw et al. (1987) darstellen, gehören zum Beispiel die Software CrimeStat (Levine 2010) und SaTScan (Kulldorff 1997).

## 5.2 Spatial Scan Statistic – SaTScan

Das in dieser Diplomarbeit verwendete Statistikprogramm zur Detektion von lokalen Clustern ist die Spatial Scan Statistic nach Kulldorff, die in der Software SaTScan implementiert ist (Kulldorff 1997). SaTScan ist eine Freeware, die für die Analyse von räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Daten geeignet ist. Hauptsächlich findet die Software im Bereich der Medizinischen Geographie, Epidemiologie und der Gesundheitsvorsorge und bei der Überwachung der räumlichen Ausbreitung von Krankheiten, mit Hilfe der Detektion räumlicher, oder auch raumzeitlicher Cluster (Kulldorff 2010). Zahlreiche Beispiele finden sich hierzu in der Literatur: Huillard d'Aignaux et al. (2002) untersuchten beispielsweise die raum-zeitliche Variation der geographischen Ausbreitung der Creuzfeldt-Jakob-Krankheit und Hjalmars et al. (1996) veröffentlichten eine Studie, die sich mit Clustern von Leukämiefällen bei Kindern in Schweden befasst. Aber auch in anderen Wissenschaftsdisziplinen findet die Spatial Scan Statistic von Kulldorff Anwendung: so untersuchten Tonini et al. (2009) raum-zeitliche Cluster im Auftreten von Waldbränden und Fuchs et al. (2012) wendeten die Software SaTScan im Rahmen einer Vulnerabilitätsanalyse für Wildbachereignisse an.

Die Software SaTScan bietet die Möglichkeit, Cluster in einem multidimensionalen Punktprozess zu identifizieren, womit sie sich konzeptionell an die GAM nach Openshaw et al. (1987) anschließt. Die Analysen basieren auf einer Maximierung der Log Likelihood Ratio, die für eine Vielzahl in ihrer Größe variabler Scanfenster berechnet wird. Datengrundlage für die Clusteranalysen kann irgendein inhomogener Punktprozess (Poisson, Bernoulli) sein, wobei das Hauptaugenmerk nicht auf der Erklärung des zugrunde liegenden Punktprozesses liegt, sondern vielmehr auf der Lokalisation von Clustern (Kulldorff 1997).

### 5.2.1 Normales Modell in SaTScan

Das Normale Modell in SaTScan ist konzipiert für kontinuierliche Daten (im Falle der Untersuchungen für die Diplomarbeit handelt es sich bei den kontinuierlichen Daten um die Werte der Schadenlast) und basiert auf einer Likelihood-Funktion für Normalverteilungen. Auch wenn beobachtete Werte nicht normalverteilt sind, bleibt die statistische Inferenz (p-Value) korrekt, da über den Monte Carlo-Hypothesentest das korrekte  $\alpha$ -Level beibehalten werden kann. Der Grund hierfür ist, dass die Zufallsverteilung des Monte Carlo-Tests nicht auf einer Normalverteilung der Werte beruht, sondern vielmehr darauf, dass die kontinuierlichen Wertausprägungen der Attribute der Gesamtmenge und die Beobachtungsorte permutiert werden (Kulldorff 2010).

Die Daten, die mit dem Normalen Modell in SaTScan analysiert werden können, müssen folgende Merkmale aufweisen: ein zu untersuchender Datensatz enthält die kontinuierlichen Wertausprägungen  $x_i, i=1, \dots, N$  einer bestimmten Anzahl an Beobachtungen. Im Falle der für die Diplomarbeit vorliegenden Daten handelt es sich um die Schadenlast auf Gebäudeebene, die Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Für jede Beobachtung an einem Ort  $s, s = 1, \dots, S$  müssen zudem räumliche Koordinaten in Form von geographischer Länge und Breite vorliegen. Für den Fall, dass an einem Ort mehrere kontinuierliche Werte vorliegen gilt:  $S \leq N$  (Im Falle der Daten für die Diplomarbeit lag nur jeweils eine Beobachtung pro Ort vor). Die Summe der beobachteten Werte wird für jeden Ort  $s$  wie folgt definiert:  $x_s = \sum_{i \in s} x_i$ . Die Anzahl der Beobachtungen an einem Ort  $s$  sei  $n_s$ . Die Summe aller beobachteten Werte entspricht dann:  $X = \sum_i x_i$  (Kulldorff et al. 2009).

Die Scan Statistic nach Kulldorff – so auch das Normale Modell – basiert auf dem Prinzip der Maximierung der Log Likelihood Ratio (LLR) für eine Vielzahl von überlappenden Kreisen (siehe auch Kapitel: 5.2.1.2). Der Maximaldurchmesser dieser Kreise wird durch den Nutzer der Software festgelegt, indem dieser das Scanfenster definiert. Die Standardeinstellung der Software definiert ein Scanfenster, das maximal 50% aller Punkte beinhalten darf. Dies bedeutet, dass der Kreisdurchmesser kontinuierlich variiert (zwischen 0 und der festgesetzten Obergrenze), während der Mittelpunkt des Scanfensters von einem Beobachtungspunkt zum nächsten wandert (Kulldorff et al. 2009) (siehe Abbildung 5.2).

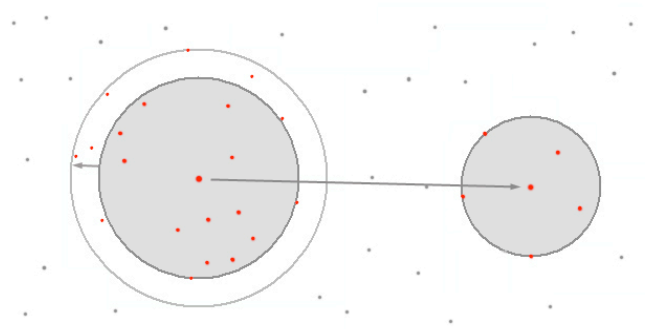


Abbildung 5.2: Prinzip des Scanfensters. Links: variable Größe des Scanfensters. Rechts: variabler Mittelpunkt des Scanfensters (eigene Bearbeitung)

### 5.2.1.1 Null- und Alternativhypothese für das Normale Modell

Die allgemeine Formulierung der *Nullhypothese* ( $H_0$ ) für das Normale Modell lautet: alle Beobachtungen entsprechen einer Normalverteilung, in der die Werteausprägung jedes Falls dieselbe Varianz aufweist (Kulldorff 2010).

Die allgemeine Formulierung der *Alternativhypothese* ( $H_A$ ) für das Normale Modell lautet: es existiert ein oder mehrere Cluster, in dem die beobachteten Werte entweder einen größeren oder einen kleineren Mittelwert/Varianz aufweisen (Kulldorff 2010; Kulldorff et al. 2009).

### 5.2.1.2 Maximum Likelihood Methode

Das Prinzip der Maximum Likelihood Methode besteht darin, anhand einer bekannten Verteilung von Merkmalsausprägungen in einer Stichprobe (in diesem Fall einer Normalverteilung) diejenigen Werte für den Mittelwert  $\mu$  und die Varianz  $\sigma^2$  zu schätzen, die für diese Verteilung am wahrscheinlichsten sind (Eliason 2006).

In einer Normalverteilung gelten für die Schätzung des Mittelwerts  $\mu$  (Formel 5.1) und der Varianz  $\sigma^2$  (Formel 5.2) folgende Ausdrücke:

$$\mu = X / N \quad (5.1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i (\mu - x_i)^2}{N} \quad (5.2)$$

Die Likelihood Funktion für eine Normalverteilung (Formel 5.3) lautet demnach:

$$L_0 = \prod_i \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad [-\infty; +\infty] \quad (5.3)$$

Da die Likelihood Funktion im letzten Schritt der Maximum Likelihood Methode maximiert werden muss und dies mit einer logarithmierten Likelihood Funktion ( $\ln L_0$  Funktion) wesentlich einfacher zu berechnen ist (Eliason 2006), wird der Logarithmus der Likelihood Funktion der Normalverteilung (Formel 5.4) gebildet:

$$\ln L_0 = -N \ln(\sqrt{2\pi}) - N \ln(\sigma) - \sum_i \frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \quad (5.4)$$

Unter der Alternativhypothese werden zunächst für jeden Kreis  $z$  die Maximum Likelihood-Schätzer berechnet, wobei Kreise mit nur einer Beobachtung ignoriert werden. Die Anzahl der Beobachtungen  $n_z$  in Kreis  $z$  ist definiert als:  $n_z = \sum n_s$ , die Summe der beobachteten Werte in Kreis  $z$  als:  $x_z = \sum x_s$ . Für den Mittelwert  $\mu_z$  innerhalb eines Kreises ergibt sich folgende Formel:  $\mu_z = x_z / n_z$ . Für den Mittelwert  $\lambda_z$  außerhalb des Kreises gilt folgendes:  $\lambda_z = (X - x_z) / (N - n_z)$ . Die gemeinsame Varianz (Formel 5.5) errechnet sich wie folgt:

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{N} \left( \sum_{i \in z} x_i^2 - 2x_z \mu_z + n_z \mu_z^2 + \sum_{i \notin z} x_i^2 - 2(X - x_z) \lambda_z + (N - n_z) \lambda_z^2 \right) \quad (5.5)$$

Die Log Likelihood Funktion für den Kreis  $z$  (Formel 5.6) entspricht dann:

$$\ln L_z = -N \ln(\sqrt{2\pi}) - N \ln(\sqrt{\sigma_z^2}) - \frac{1}{2\sigma_z^2} \left( \sum_{i \in z} x_i^2 - 2x_z \mu_z + n_z \mu_z^2 + \sum_{i \notin z} x_i^2 - 2(X - x_z) \lambda_z + (N - n_z) \lambda_z^2 \right) \quad (5.6)$$

Vereinfacht ausgedrückt:

$$\ln L_z = -N \ln(\sqrt{2\pi}) - N \ln(\sqrt{\sigma_z^2}) - N/2 \quad (5.7)$$

Als statistische Kenngröße wird schließlich im letzten Schritt die Log Likelihood Ratio (der Quotient aus Gleichung (Formel 5.4) und (Formel 5.7)) maximiert:

$$\begin{aligned} \max_z (\ln L_z / \ln L_0) &= \\ \max_z \left( -N \ln(\sqrt{2\pi}) - N \ln(\sqrt{\sigma_z^2}) - N/2 + N \ln(\sqrt{2\pi}) + N \ln(\sigma) + \sum_i \frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) &= \\ \max_z \left( N \ln(\sigma) + \sum \frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} - \frac{N}{2} - N \ln(\sqrt{\sigma_z^2}) \right) & \quad (5.8) \end{aligned}$$

(Für alle Formeln dieses Abschnitts vgl.: Kulldorff et al. 2009)

Da nur der letzte Term von  $z$  abhängt, ist aus der Gleichung (Formel 5.8) zu erkennen, dass der Cluster, der als Most Likely Cluster ausgewählt wird, derjenige ist, der die Varianz unter der Alternativhypothese minimiert (Kulldorff et al. 2009).

### 5.2.1.3 Monte Carlo Hypothesen Test

Um die statistische Signifikanz der detektierten Cluster zu quantifizieren, bietet das Programm SaTScan mehrere Möglichkeiten. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde mit der Standard Monte Carlo-Methode gearbeitet, die in den 1950er Jahren von Meyer (1957) eingeführt wurde. Sie beruht auf der Annahme, eine statistisch signifikante Abweichung von einer Normalverteilung (Nullhypothese) über die Generierung von  $n$  randomisierten Datensets überprüfen zu können

(Meyer 1957; Waller und Gotway 2004). Ausgehend vom Originaldatensatz werden über eine Permutation der Koordinaten der Datenpunkte  $n$  neue Datensets erstellt und für jedes Datenset die Maximum Log Likelihood Ratio berechnet (Kulldorff et al. 2009) (siehe Kapitel: 5.2.1.2).

Unter Annahme der Nullhypothese müssten alle Datensets (die Originaldaten und die randomisierten Daten) auf genau die gleiche, zufällige Weise erstellt worden sein. Dies bedeutet auch, dass die Rangreihenfolge  $r$  der Ergebnisse aufgrund der Ergebnisse für die Maximum Log Likelihood Ratio (max LLR) rein zufällig erfolgt und die Wahrscheinlichkeit für den Cluster des Originaldatensatzes, an erster Stelle gereiht zu werden, die selbe ist, wie für jeden anderen Cluster der randomisierten Datensätze. Sind die Wahrscheinlichkeiten für die Reihung jedoch nicht gleich verteilt, so muss die Nullhypothese, aufgrund des über die Monte Carlo-Methode ermittelten p-Values, verworfen werden. Falls also der Cluster des Originaldatensatzes den höchsten Prüfwert (max LLR) aufweist und demnach an erster Stelle gereiht wird, wird der p-Value wie folgt berechnet:  $p = r/(1+n)$  (Abrams et al. 2010). Die p-Values, die durch die Monte Carlo-Methode ermittelt werden, verhalten sich asymptotisch äquivalent zu p-Values, die mit exakten Permutationstests errechnet werden (Abrams et al. 2010; Meyer 1957). Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die korrekten  $\alpha$ -Level beibehalten werden können, solange die Anzahl der Replikationen plus eins ein Vielfaches von  $1/\alpha$  ist (Abrams et al. 2010; Kulldorff 1997). Dies bedeutet: wenn  $\alpha = 0,05$  gilt, muss die Anzahl der Replikationen entweder 19, 99, 999, oder 9999 (etc.) sein, damit die Nullhypothese mit der exakten Wahrscheinlichkeit von 0,05 verworfen werden kann (Beispiel:  $p = r/(1+n) = 1/(1+19) = 0,05$ ) (Abrams et al. 2010). Im Falle der vorliegenden Diplomarbeit basiert die Berechnung der p-Values mit der Monte Carlo-Methode auf 999 Permutationen des Ausgangsdatensatzes.

### 5.3 Aufbereitung der Daten für die Verwendung in SaTScan

Die Daten, die für die Analysen in SaTScan verwendet wurden, sind Punktdaten, die zum einen die Lage der Gebäude auf dem Schwemmfächer repräsentieren und zum anderen eine räumliche Verortung der Schadenlast auf Gebäudeniveau ermöglichen.

In weiterer Folge wird gezeigt, in welchen Schritten die Ausgangsdaten aufbereitet wurden, um sie schließlich für die Clusteranalyse mit dem Normalen Modell in SaTScan nutzen zu können. Die Aufbereitung der Daten erfolgte mit der Software Microsoft Office Excel 2003, sowie der Software ArcGIS 9.3 der Firma Esri.



### 5.3.1 Aufbereitung der Rohdaten

Um die digitalen Gebäudekataster der Gemeinden Pfunds und Vorderberg auf den Stand präexpositionem zu bringen, wurden die Katasterpläne zum einen mit den Orthofotos und den Fotos der Ereignisdokumentation als auch mit den Online-Kartendiensten der Länder (Tiris<sup>1</sup> und Kagis<sup>2</sup>) abgeglichen. Daraufhin wurden die in den digitalen Katasterplänen fehlenden Gebäude im ArcGIS nachdigitalisiert, um eine möglichst genaue Wiedergabe der Siedlungsstruktur des Untersuchungsgebietes vor dem Ereignis gewährleisten zu können. Weiters wurden beschädigte Gebäude mit ihren dazugehörigen Nebengebäuden zusammengefasst, da die Schadenlastdaten adressbasiert und nicht gebäudebasiert vorlagen. Es war also aus den Daten nicht ersichtlich, an welchem Gebäudeteil der Schaden durch das Wildbachereignis entstanden war. Die Daten zur Schadenlast lagen in Tabellenformat vor und mussten zur Verknüpfung mit dem Gebäudelayer von einem \*.xls Format in eine \*.dbf Datei umgewandelt und ins GIS importiert werden. Über den Befehl *Join Field* wurde die Tabelle mit den Schadenlastwerten mit den räumlichen Informationen des Gebäudelayers (digitaler Gebäudekataster) verbunden.

Um die Daten in weiterer Folge in SaTScan verwenden zu können, mussten noch zwei Transformationen im ArcGIS vorgenommen werden: die Gebäude mit den Informationen zu Schadenlast wurden mit dem Befehl *Feature to Point* in Punktdaten umgewandelt, wobei jeder Punkt dem Zentroid des jeweiligen Gebäudes entsprach. In einem weiteren Schritt wurde das räumliche Bezugssystem auf das World Geodetic System 1984 (WGS 84) festgelegt und die X- und Y-Koordinaten zu jedem Gebäudepunkt hinzugefügt. In einem letzten Arbeitsschritt im ArcGIS wurden die Tabellen des Gebäudelayers (Punktdaten mit individuellen IDs sowie Informationen zur Schadenlast und den dazugehörigen X- und Y-Koordinaten) als \*.dbf exportiert.

Um die Arbeit mit den Tabellen im SaTScan zu vereinfachen, wurden diese nach ihrem Export als \*.dbf in Excel zu einer \*.csv Datei umgewandelt.

### 5.3.2 Punkterhöhung

Für weitere Analysen in SaTScan wurde die Punktdichte in den Untersuchungsgebieten erhöht, um eventuell vorhandene Schwellenwerte für die Ausprägung der Signifikanz zu eruieren. Hierzu

---

<sup>1</sup> <http://www.tirol.gv.at/themen/zahlen-und-fakten/statistik-tiris/tiris-kartendienste/> (Zugriff: 17.04.2012)

<sup>2</sup> [http://www.kagis.ktn.gv.at/19948\\_DE](http://www.kagis.ktn.gv.at/19948_DE) (Zugriff: 17.04.2012)

mussten einige Vorarbeiten in ArcGIS geleistet werden: zum einen wurde der potentiell betroffene Siedlungsbereich abgegrenzt, um in weiterer Folge die zufallsgenerierten Punkte darin verteilen zu können. Zum anderen wurden der Bach und die Straßen aus dem Grundstückskataster digitalisiert. Basierend auf einigen Restriktionen/Grundannahmen konnte dann im ArcGIS über den Befehl *create random points* die Punktdichte in den Untersuchungsgebieten verdoppelt werden.

Die Restriktionen für die Erhöhung der Punktdichte betrafen die Lage- und Nähebeziehung der Zufallspunkte zu anderen vorhandenen Siedlungsstrukturen und naturräumlichen Gegebenheiten. So durfte ein Zufallspunkt nicht auf einer Straße, einem Gebäude oder im Bach zu liegen kommen. Der Straßen-, Gebäude- und Bachlayer wurden dafür mit 3 Metern gebuffert (Befehl: *buffer*), um zu vermeiden, dass ein Zufallspunkt zu nahe an einer dieser Strukturen platziert wurde, da in der Bauverordnung der Bundesländer Tirol und Kärnten ein Mindestabstand baulicher Anlagen von 3 Metern gesetzlich festgelegt ist (Landesregierung Kärnten 2008; Landesregierung Tirol 2001). Weiters wurde festgelegt, dass alle über den Befehl *create random points* erstellten Zufallspunkte einen Mindestabstand von 6 Metern einhalten. Abbildung 5.3 zeigt eine Übersicht über die Arbeitsschritte, die mit Hilfe eines ArcGIS Modells durchgeführt wurden, um die Restriktionen für die Generierung der Zufallspunkte berücksichtigen zu können.

Den mit diesen Restriktionen generierten Zufallspunkten wurde in weiterer Folge über zwei Methoden (Variante A & B) ein Wert für die Schadenlast zugewiesen. Um die Verteilung der Schadenlastwerte möglichst nahe an der realen Situation zu orientieren, wurde nur denjenigen Zufallspunkten ein Wert zugewiesen, die auch potentiell von einem Schaden hätten betroffen sein können. Hierzu wurde der kartierte Ablagerungsbereich der Wildbachereignisse mit der Lage der Zufallspunkte verschnitten, um die potentiell betroffenen Punkte herauszufiltern. Dieser Teilmenge der Zufallspunkte wurden dann Werte für die Schadenlast zugewiesen.

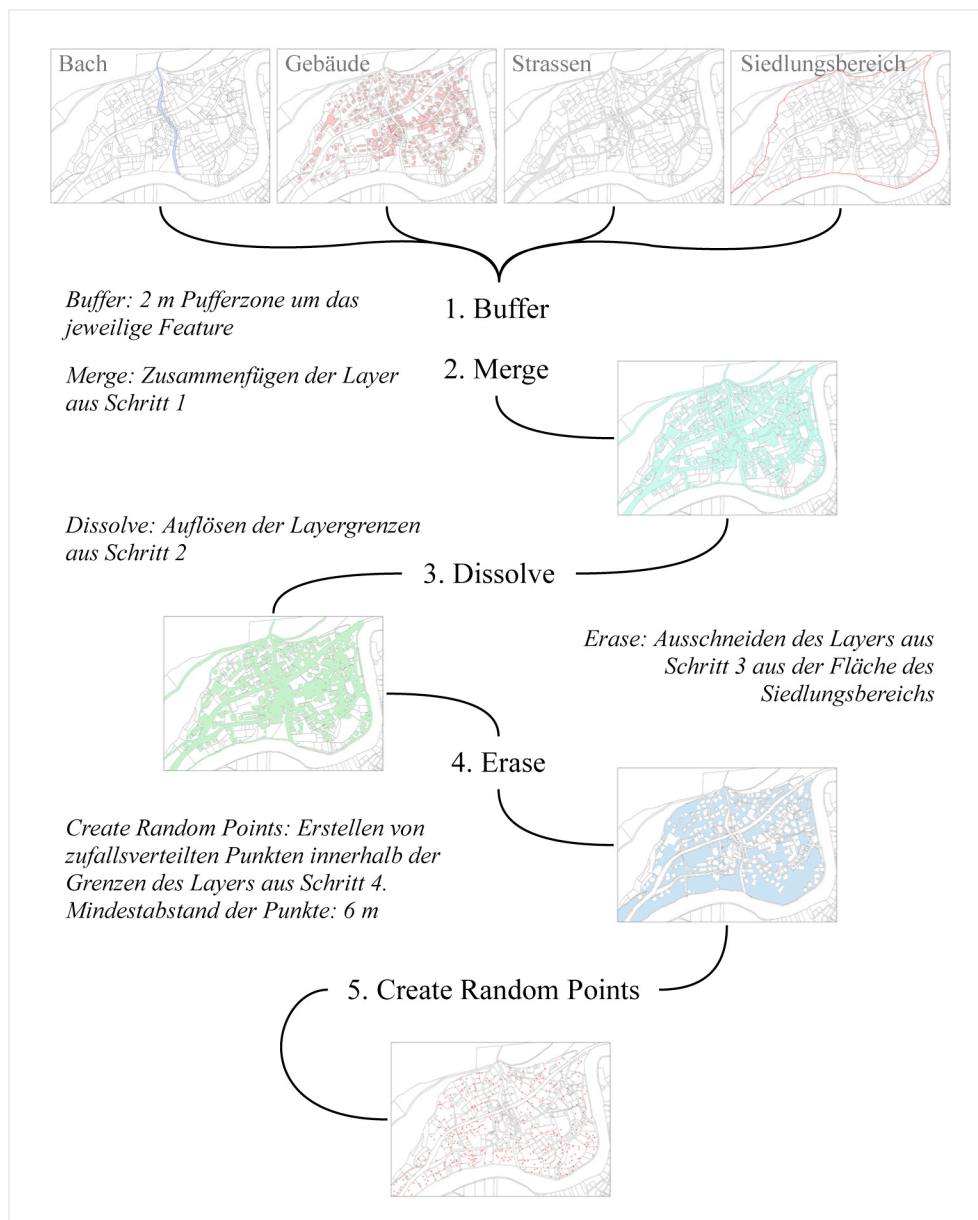


Abbildung 5.3: Übersicht über die im GIS durchgeführten Arbeitsschritte zur Erstellung der Punktdatensätze

Bei **Variante A** wurden die Schadenlastwerte im ArcGIS über den Befehl *Spatial Join* zugewiesen. Hierbei wurde über einen Suchradius festgelegt, welche Originalschadenlastwerte überhaupt für die Wertezuweisung in Betracht kommen. Es wurde innerhalb eines definierten Suchradius nach einem Originalwert für die Schadenlast gesucht und dieser Wert dem Zufallspunkt zugewiesen. Bei mehreren Originalschadenlastwerten innerhalb des Suchradius, wurde dem Zufallspunkt der Wert des am nächsten liegenden Originalpunktes gegeben. Der Radius wurde über den mittleren Abstand der im Hauptprozessbereich liegenden Originalgebäude zum Gerinne

definiert. Da die Situation, aufgrund der in Kapitel 3 dargestellten Prozessdynamiken, in den beiden Untersuchungsgebieten sehr unterschiedlich ist, wurde im Tiroler Untersuchungsgebiet ein Suchradius von 40 Metern, im Kärntner Untersuchungsgebiet ein Suchradius von 80 Metern definiert. Die Argumentation für die Anwendung dieser Methode zur Wertezuweisung stützt sich auf die Theorie der räumlichen Autokorrelation. Diese besagt, dass Daten, die in räumlicher Nähe zueinander erhoben wurden, eher Ähnlichkeiten aufweisen, als Daten, die weiter voneinander entfernt aufgenommen wurden. Wenn diese Tatsache nicht zutreffen würde und alle Phänomene ubiquitär und gleichverteilt im Raum vorkommen würden, dann wäre die Geographie irrelevant (O'Sullivan and Unwin 2010). Dass dem nicht so ist und die räumliche Verteilung der Schadenlastwerte stark räumlich autokorreliert, zeigen die Ergebnisse des *Global Moran's I Tests*, der mit der Software ArcGIS durchgeführt wurde. In beiden Untersuchungsgebieten zeigt sich eine starke räumliche Autokorrelation der Schadenlastwerte. Diesen Erkenntnissen folgend, wurde die Wertezuweisung über einen definierten Suchradius durchgeführt, um der inhärenten räumlichen Struktur der Daten Rechnung zu tragen.

Für die Wertezuweisung über **Variante B** wurden die Zufallspunkte mit den interpolierten Ablagerungshöhen verschnitten und in weiterer Folge anhand einer Vulnerabilitätsfunktion für Wildbachereignisse (Totschnig et al. 2011) die Schadenlast für jeden Zufallspunkt ermittelt. Die Interpolation der Ablagerungshöhen (Punktdaten) erfolgte mit der *Natural Neighbours-Methode* im ArcGIS und hatte eine Rasterdatei zum Ergebnis, deren Zellen mit 1 Meter Auflösung einen Wert für die Ablagerungshöhe beinhalten. Über die Lageverschnidung der Zufallspunkte mit dem Raster der Ablagerungshöhen konnte jedem Punkt die Prozessintensität (mit der Ablagerungshöhe als Proxy) über die Funktion *Extract values to points* zugewiesen werden. Der Wert der Prozessintensität diente in weiterer Folge als Grundlage für die Berechnung der Schadenlastwerte über eine Vulnerabilitätsfunktion, die von Totschnig et al. (2011) für Wildbachereignisse publiziert wurde um die Beziehung zwischen Schadenausmaß und Prozessintensität quantifizieren zu können. Datengrundlage für die Berechnung von Funktionen zur Quantifizierung der physischen Vulnerabilität waren die Schadenlastwerte und Ablagerungshöhen (Proxy für die Prozessintensität) von drei gut dokumentierten österreichischen Wildbächen: dem Schnannerbach und Stubenbach in Tirol, sowie dem Vorderbergerbach in Kärnten. Als *best fitting function* für absolute Schadenlastwerte wurde im Rahmen der Studie die modifizierte Weibullfunktion befunden, die auch in der vorliegenden Diplomarbeit zur Anwendung kam, um den zufallsgenerierten Punkten Werte für die Schadenlast zuzuweisen.

Der mathematische Ausdruck für die modifizierte Weibullfunktion für absolute Werte (Formel 5.9) lautet:

$$f_{(x)} = 1 - e^{-a\left(\frac{x+b}{b}-1\right)^c} \quad [0;+\infty] \quad (5.9)$$

Auch die Abschätzung der Unsicherheiten in der Berechnung der Weibullfunktion floss in einer Analyse der 99% Konfidenzintervalle in die Diplomarbeit mit ein. Hierfür war es nötig, mit Hilfe einer linearen Transformation der Weibullfunktion die Konfidenzbänder zu schätzen, die eine Aussage über die Unsicherheiten bei der Berechnung der Funktion zulassen. Die lineare Transformation erfolgt nach der allgemeinen Formel (Formel 5.10):

$$y_{trans} = a_{trans}x + b_{trans} \quad (5.10)$$

Parameter  $a_{trans}$  und  $b_{trans}$  wurden auf Grundlage des Exponenten und des Faktors der originalen Weibullfunktion berechnet. Die transformierten Werte wurden weiters dafür verwendet, Werte, die für die Berechnung der linearen Konfidenzbänder ( $Q_x, s_{xy}$ ) benötigt wurden, zu berechnen. In weiterer Folge konnten die Konfidenzbänder für unterschiedliche Konfidenzintervalle (90%, 95% und 99%), basierend auf den Werten der Quantile der  $t$ -Verteilung, berechnet werden. Die Berechnung der linearen Konfidenzbänder erfolgte nach folgender allgemeiner Formel (Formel 5.11):

$$y_{trans}^{u,l}(x) = a_{trans} \cdot x + b_{trans} \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-2} s_{xy} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x}_{trans})^2}{Q_x}} \quad (5.11)$$

$y_{trans}^{u,l}$  = oberes ( $u$ ) und unteres ( $l$ ) Konfidenzintervall der linearen Funktion am Ort  $x$

$t$  =  $t$ -Verteilungswert mit  $\alpha$ -Level der Signifikanz und  $n$  Freiheitsgraden

$\bar{x}_{trans}$  = arithmetisches Mittel des transformierten Intensitätswertes.

In einem letzten Schritt erfolgte die Rücktransformation der linearen Konfidenzbänder, damit sie mit der Weibullfunktion für absolute Werte zusammenpasst (Formel 5.12):

$$y_{u,l}^\alpha(x) = 1 - e^{-e^{y_{trans}^{u,l}(\ln x)}} \quad (5.12)$$

(Für alle Formeln dieses Abschnitts vgl.: Totschnig et al. 2011)

Abbildung 5.4 zeigt die modifizierte Weibullfunktion für absolute Werte und deren Konfidenzbänder (oberes und unteres 99% Konfidenzintervall) für die Untersuchungsgebiete Stubenbach und Vorderbergerbach.

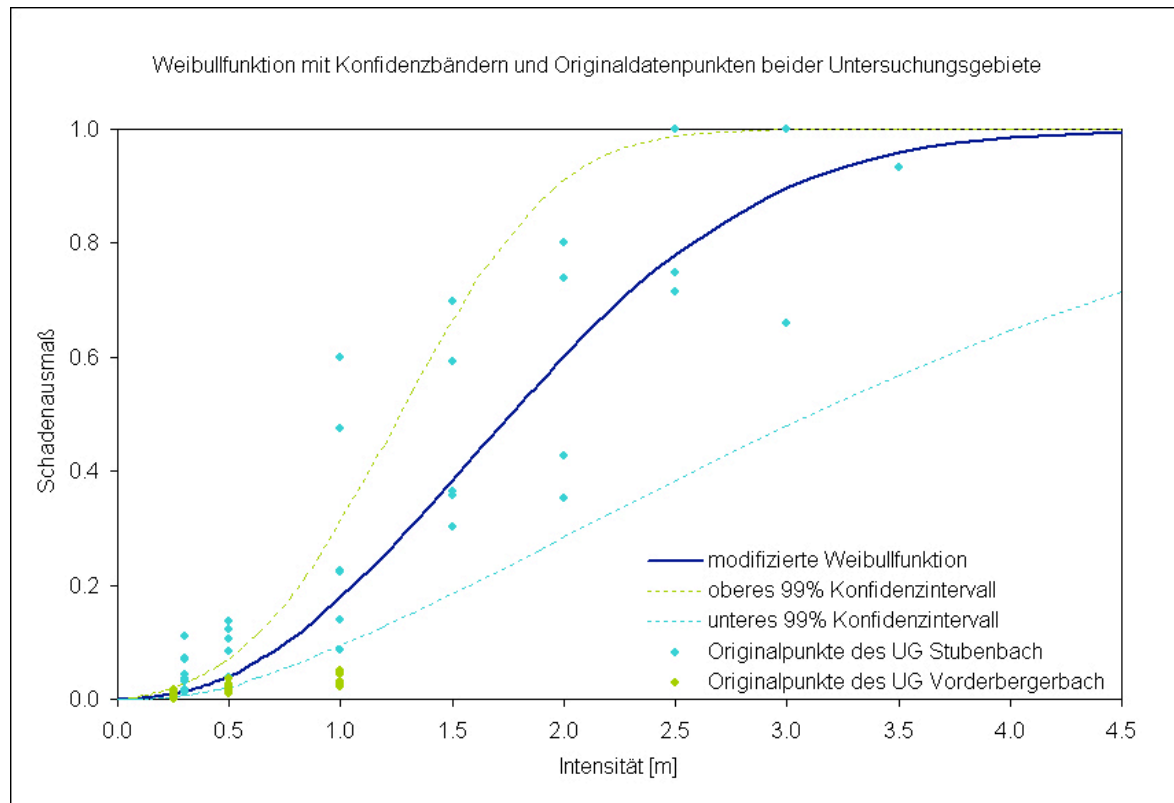


Abbildung 5.4: modifizierte Weibullfunktion mit Konfidenzbändern (oberes und unteres 99% Konfidenzintervall) und den Originaldatenpunkten beider Untersuchungsgebiete

### 5.3.3 Punktreduktion

Wie die Ergebnisse der Clusteranalysen von Variante A und B zeigen, sind nicht beide Varianten gleichermaßen geeignet, die reale Situation nachzubilden. Variante A liefert, verglichen mit den Originaldaten, die stimmigeren Ergebnisse, wohingegen Variante B die Schadenlastwerte (vor allem im Kärntner Untersuchungsgebiet) stark überschätzt und in der räumlichen Ausbreitung der Schadenlastwerte dazu tendiert, die Interpolation der Ablagerungshöhen nachzubilden. Aus diesen Gründen wurde in weiterer Folge die Wertezuweisung über Variante A gegenüber Variante B

bevorzugt. Für die Analysen zur Punktreduktion dienten die Originaldatensätze sowie die Datensätze der Variante A als Ausgangsbasis.

Ausgehend von diesen beiden Datensätzen wurden je Untersuchungsgebiet 18 neue Datensätze erzeugt, deren Punktzahl im Vergleich zum Ausgangsdatsatz in 10%-Schritten verringert wurde. Hierbei wurde nicht selektiv vorgegangen, d.h. jeder Gebäudepunkt, egal ob aus dem Originaldatensatz stammend oder zufallsgeneriert und egal ob mit einem Schadenlastwert = 0 oder einem Schadenlastwert > 0 wurden zufallsbasiert aus dem Ausgangsdatsatz gelöscht. Da zwischen den einzelnen Schritten immer wieder zum Ausgangsdatsatz zurück gekehrt wurde, bauen die punktreduzierten Datensätze nicht aufeinander auf, sondern beinhalten eine immer neue Konstellation von Gebäudepunkten je reduziertem Datensatz. Die Tabellen A.1 und A.2 zeigen eine Übersicht über die neu erstellten Datensätze für beide Untersuchungsgebiete, deren Punktzahl in 10%-Schritten verringert wurde. Zur Erstellung der punktreduzierten Datensätze wurden mit dem ArcGIS Tool *Create Random Points* die jeweilige Anzahl von zu löschenden Punkten zufallsbasiert aus dem Ausgangsdatsatz ausgewählt und entfernt.

#### 5.3.4 Verhältnisänderung von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden

Ausgehend von der Frage nach dem Einfluss des Verhältnisses von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden in einem Datensatz auf die Ergebnisse der räumlichen Clusteranalysen in SaTScan, wurden Datensätze erzeugt, in denen das Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden verändert wurde. Ziel war es, Datensätze zu generieren, deren Verhältnis zwischen 1 und 100% beschädigte Gebäude liegt. Im unteren Prozentbereich (zwischen 1% und 10% beschädigte Gebäuden) wurde eine Verhältnisänderung in 2%-Schritten als sinnvoll erachtet, da in diesem Bereich größere Auswirkungen auf die räumliche Clusteranalyse zu erwarten waren. Im oberen Prozentbereich (zwischen 10% bis 100% beschädigte Gebäude) wurde das Verhältnis in 10%-Schritten geändert.

Als Ausgangsdatsätze für die Verhältnisänderung dienten die Originaldaten und der Datensatz der Variante A. Zur Generierung der neuen Datensätze wurde ähnlich wie bei der Punktreduktion (siehe Kapitel: 5.3.3) vorgegangen: zunächst wurde aus der Gesamtheit der Punkte der Ausgangsdatsätze jene Teilmenge ausgewählt, aus der im Anschluss einzelne Punkte zufallsbasiert gelöscht werden sollten. Um die Datensätze im Bereich von 1 bis 10% beschädigte Gebäude zu generieren, musste die absolute Zahl der beschädigten Gebäude reduziert werden. Im

Bereich von 10 bis 100% beschädigte Gebäude wurde die Anzahl der nicht-beschädigten Gebäude kontinuierlich verringert. Die Tabellen A.3 und A.4 zeigen eine Übersicht über die neu generierten Datensätze. Für das Tiroler Untersuchungsgebiet wurden je Ausgangsdatsatz 15 neue Datensätze erstellt, für das Vorderberger Untersuchungsgebiet 14, da der Punktdatsatz der Variante A genau 10% beschädigte Gebäude beinhaltetete.

#### 5.4 Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert

Im Zuge der Erstellung verschiedener Punkteszenarien (Punkterhöhung und -reduktion, sowie Verhältnisänderung) wurden 108 neue Datensätze generiert und mit dem Normalen Modell in SaTScan analysiert. Ein Weg, die Ergebnisse mit einem Referenzergebnis hinsichtlich ihrer Signifikanz und der räumlichen Lage und Größe der Cluster zu vergleichen, ist die Berechnung des Wertes für die Power, die Sensitivität und den positiven Vorhersagewert. Die Berechnung und Interpretation der Werte wurden zuerst von Huang et al. (2007) beschrieben, der sie anwendete, um die Effizienz einer neu entwickelten Methode zur Clusterdetektion zu untersuchen. Weitere Autoren, z.B. Jung et al. (2007), Takahashi et al. (2008) und Kulldorff et al. (2009) verwendeten die Werte für die Power, Sensitivität und den Positiven Vorhersagewert (PPV) speziell in Verbindung mit Clusteranalysen in SaTScan, um die Ergebnisse unterschiedlicher Szenarien miteinander vergleichbar zu machen.

Für die Berechnung der Power, der Sensitivität und des PPVs wurde im Rahmen der Diplomarbeit der Most Likely Cluster (A-Cluster) des Originaldatsatzes als Referenzcluster definiert, mit dem die A-Cluster der verschiedenen Punktszenarien verglichen wurden. In Anlehnung an Huang et al. (2007) lässt sich über den Wert der Power aussagen, inwieweit das Signifikanzniveau des neuen Clusters mit dem Signifikanzniveau des Referenzclusters übereinstimmt. Die Power ( $P$ ) ist definiert als (Formel 5.13):

$$P = Nn \cdot 100 \tag{5.13}$$

$N$  entspricht hier der Anzahl der Cluster, bei denen die  $H_A$  auf demselben Signifikanzniveau wie beim Referenzcluster angenommen werden konnte.  $n$  entspricht der Anzahl der Wiederholungen je Punktszenario. Da der Wert für die Power keinerlei Aussagen über die geographische Lage der Cluster zulässt, wurden in weiterer Folge auch die Werte für die Sensitivität und den Positiven



Vorhersagewert berechnet. Die Berechnung dieser beiden Werte basiert auf dem Vergleich verschiedener Punktmengen. Die Sensitivität ( $S$ ) wird nach folgender Formel (Formel 5.14) berechnet:

$$S = \frac{N_{A \cap B}}{N_A} \quad (5.14)$$

Die Sensitivität entspricht also der Anzahl der Punkte des Referenzclusters, die sich im neuen Cluster befinden ( $N_{A \cap B}$ ), dividiert durch die Anzahl der Punkte im Referenzcluster ( $N_A$ ). Der PPV ist definiert als Quotient aus der Anzahl der Punkte des Referenzclusters, die sich im neuen Cluster befinden ( $N_{A \cap B}$ ), dividiert durch die Anzahl der Punkte im neuen Cluster ( $N_B$ ). Der PPV berechnet sich nach folgender Formel (Formel 5.15):

$$PPV = \frac{N_{A \cap B}}{N_B} \quad (5.15)$$

Die Sensitivität und der PPV müssen als indirekte Lagemaße interpretiert werden, da über die Verschneidung von Punktmengen Aussagen über die Lage der Cluster zueinander getroffen werden. Da sich die Clusteranalysen der Punktszenarien in ihrer absoluten Punktzahl sowohl untereinander, als auch zum Referenzcluster unterscheiden, wurden bei der Berechnung der Werte ( $P$ ,  $S$ ,  $PPV$ ) zwar die Cluster Grenzen der jeweiligen Punktszenarien verwendet, jedoch unabhängig von der dem Szenario unterliegenden Punktmenge. Vielmehr wurde jedes Punktszenario mit der Punktmenge des Referenzdatensatzes (Originaldaten) hinterlegt und festgestellt, welche Punkte des Referenzdatensatzes innerhalb der Grenzen des Clusters des jeweiligen Szenarios lagen. Diese Punktmengen wurden in weiterer Folge mit der Punktzahl innerhalb des Referenzcluster verglichen. Wie die Werte für die Sensitivität, den positiven Vorhersagewert und die Power zu interpretieren sind, wird in Kapitel 6.6 eingehend beschrieben.



## 6 ERGEBNISSE

Das Kapitel beinhaltet die Beschreibung der Ergebnisse der Clusteranalysen für den Stubenbach und den Vorderbergerbach sowie die Auswertung der drei Kennwerte (Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert). Die Ergebnisse werden nach Themen geordnet und die beiden Untersuchungsgebiete vergleichend präsentiert.

Zu Beginn gibt die Analyse der Originaldatensätze eine Einführung in die Ergebnisthematik. Darauf folgen die Ergebnisse verschiedener Szenarien, in denen die Punktezahl sowie das relative Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden modifiziert wurden. Abschließend erfolgt eine Einschätzung der Güte der Ergebnisse anhand der Kennwerte Power, Sensitivität und Positiven Vorhersagewert.

### 6.1 Erläuterungen zur SaTScan Ausgabedatei

Vom Programm SaTScan wird ein Standardausgabefile erstellt, das einerseits eine Zusammenfassung der Informationen zum Eingabedatensatz beinhaltet (es wird beispielsweise angegeben, wie groß der Mittelwert, die Varianz und die Standardabweichung des Eingabedatensatzes sind), andererseits werden die statistischen Parameter der gefundenen Cluster dargelegt. Die zusammengefassten Informationen zum Most Likely Cluster (A-Cluster), welcher definiert ist als der Cluster, für den die Wahrscheinlichkeit, durch Zufall entstanden zu sein, am geringsten ist, beinhalten Angaben zu den Punkten innerhalb des Clusters, den Koordinaten des Mittelpunktes, sowie dem Radius des Clusters. Der Mittelwert innerhalb und außerhalb des Clusters wird angegeben, sowie die Varianz und Standardabweichung innerhalb des Clusters. Die Log Likelihood Ratio (siehe auch Kapitel 5.2.1.2) wird ebenso aufgeführt, wie der Monte Carlo Rang (siehe auch Kapitel 5.2.1.3) und der resultierende p-Value. Für einen oder mehrere Secondary Cluster (B-

Cluster) werden die selben Informationen wie für den A-Cluster im SaTScan Ausgabefile dargelegt (Kulldorff 2010). Alle Ausgabefiles sind im \*.txt Format auf der beiliegenden DVD zu finden.

## 6.2 Clusteranalyse der Originaldatensätze

Die Originaldatensätze der beiden Untersuchungsgebiete beinhalten Punktdaten, die zum einen die Lage aller Gebäude auf dem Schwemmfächer abbilden und zum anderen die Werte der Schadenlast auf Gebäudeniveau räumlich verorten. Mit dem Normalen Modell wurde eine Clusteranalyse in SaTScan durchgeführt, die aufgrund der Miteinbeziehung aller Gebäude – auch der nicht-beschädigten – der spezifischen Siedlungsstruktur der Untersuchungsgebiete Rechnung trägt.

Für das Tiroler Untersuchungsgebiet in der Gemeinde Pfunds ergab die Clusteranalyse des Originaldatensatzes zwei Cluster: einen hochsignifikanten Most Likely Cluster (A-Cluster) mit einem p-Value von 0,001 und einen Secondary Cluster (B-Cluster) mit einem p-Value von 0,164, der unter dem 0,05 Signifikanzniveau liegt (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.3, Tabelle B.1 und B.2). Das Verhältnis von Gebäuden im Cluster zur Gesamtgebäudezahl ist beim A-Cluster 4,2%, beim B-Cluster 0,9%. Die Mittelpunkte beider Cluster liegen auf der orographisch linken Seite des Stubenbaches, wobei der A-Cluster einen Radius von 60 Metern aufweist und 14 Gebäudepunkte beinhaltet. Der B-Cluster ist mit einem Radius von 28 Metern halb so groß und beinhaltet drei Gebäudepunkte.

Der Datensatz, der der Analyse zugrunde liegt, umfasst 336 Punkte, deren Mittelwert der Schadenlast bei 0,037 liegt, mit einer Varianz der Schadenlastwerte von 0,022 und einer Standardabweichung von 0,15. Aufgrund des Algorithmus zur Berechnung der Cluster mit dem Normalen Modell ist der Mittelwert innerhalb eines Clusters immer höher, als dies für den Gesamtdatensatz und außerhalb des Clusters der Fall ist. Die Differenz der Mittelwerte zwischen innerhalb und außerhalb des Clusters variiert je nach Datensatz, wobei der B-Cluster (im Vergleich zum A-Cluster) auch höhere Differenzwerte annehmen kann. Im Falle der Clusteranalyse der Originaldaten für das Untersuchungsgebiet Stubenbach ergab sich für den A-Cluster eine Differenz der Mittelwerte von 0,462, für den B-Cluster eine Differenz von 0,588. Die Werte für die Varianz und die Standardabweichung innerhalb der Cluster sind immer geringer als für den Gesamtdatensatz. Als logische Folge weist der A-Cluster (im Vergleich zum B-Cluster) immer den niedrigeren (oder gleichen) Wert für die Varianz und die Standardabweichung auf. Varianz und

Standardabweichungen sind Kennzahlen für die Streuung der Werte und lassen Aussagen über die Homogenität der Werteausprägungen zu. Je niedriger die Werte für Varianz und Standardabweichung sind, desto homogener ist ein Cluster in der Ausprägung der Werte für die Schadenlast. Das Verhältnis zwischen der Varianz des Gesamtdatensatzes ( $V_{ges}$ ) und der Varianz der Werte innerhalb eines Clusters ( $V_{Cl}$ ) wird als erklärende Varianz bezeichnet, wenn das Verhältnis wie folgt vorliegt:  $(V_{ges}-V_{Cl})/V_{ges} * 100$ . Der A-Cluster des Tiroler Untersuchungsgebietes erklärt 41% der Varianz des Gesamtdatensatzes, wohingegen der A-Cluster des Kärntner Untersuchungsgebietes nur knapp 25% der Varianz erklären kann.

Für das zweite Untersuchungsgebiet, dem Vorderbergerbach in Kärnten, ergab die Clusteranalyse mit dem Normalen Modell einen A-Cluster, der auf dem 5%-Niveau signifikant ist (p-Value: 0,022) und einen B-Cluster, der nicht signifikant ist (p-Value: 0,330). Das Verhältnis von Gebäuden im Cluster zur Gesamtgebäudezahl ist beim A-Cluster 5,3%, beim B-Cluster 1,4% und ähnelt hierin den Ergebnissen des Tiroler Untersuchungsgebietes. Der A-Cluster des Vorderberger Untersuchungsgebietes weist mit 110 Metern einen größeren Radius auf als der B-Cluster mit 34 Metern. Die Lage des A-Clusters befindet sich über dem alten Ortskern von Vorderberg, wohingegen der Mittelpunkt des B-Clusters nordöstlich vom A-Cluster auf der orographisch rechten Seite des Vorderbergerbaches zu liegen kommt.

Für die Interpretation der Ergebnisse der Clusteranalysen ist es wichtig zu wissen, dass ein B-Cluster, auf Grund seines Monte Carlo Ranges genauso wie ein A-Cluster dazu in der Lage sein kann, die Nullhypothese zu verwerfen. Für den Fall, dass ein A- und ein B-Cluster mit dem selben p-Value annähernd die selbe Punktzahl beinhalteten, müsste man die beiden Cluster als gleichwertig ansehen (Kulldorff 2005). Da dies aber in beiden Untersuchungsgebieten nicht der Fall ist, sondern im Gegenteil der B-Cluster meist nur aus sehr wenigen Punkten besteht und in den meisten Fällen das Signifikanzniveau von 0,05 nicht erreicht, wird in weiterer Folge nur bei Ausnahmen auf eine Interpretation der B-Cluster eingegangen.

Die Ergebnisse der Analysen wurden für beide Untersuchungsgebiete in Karten visualisiert (siehe Abbildungen 6.1 und 6.2). Sie zeigen sowohl die Größe und Lage der Cluster (A- und B-Cluster) als auch die Gebäudepunkte, auf denen die Analysen in SaTScan beruhen. Die Gebäudepunkte sind, je nach Schadenausmaß, durch farbige Punktsignaturen gekennzeichnet. Die Werte für das Schadenausmaß wurden mit Hilfe der *Natural Breaks Methode* im ArcGIS in drei Klassen eingeteilt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um der Struktur der vorliegenden Daten Rechnung zu tragen und die Klasseneinteilung möglichst objektiv zu gestalten. Klasse [1] beinhaltet die Gebäude mit den höchsten Schadenlastwerten, Klasse [3] die mit den niedrigsten.

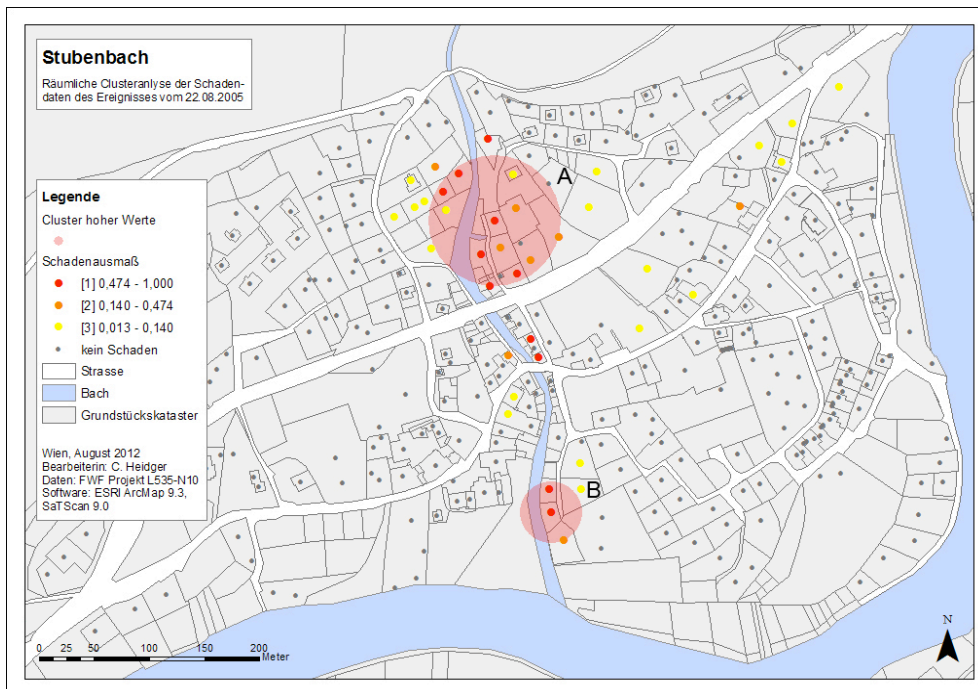


Abbildung 6.1: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Originaldaten für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

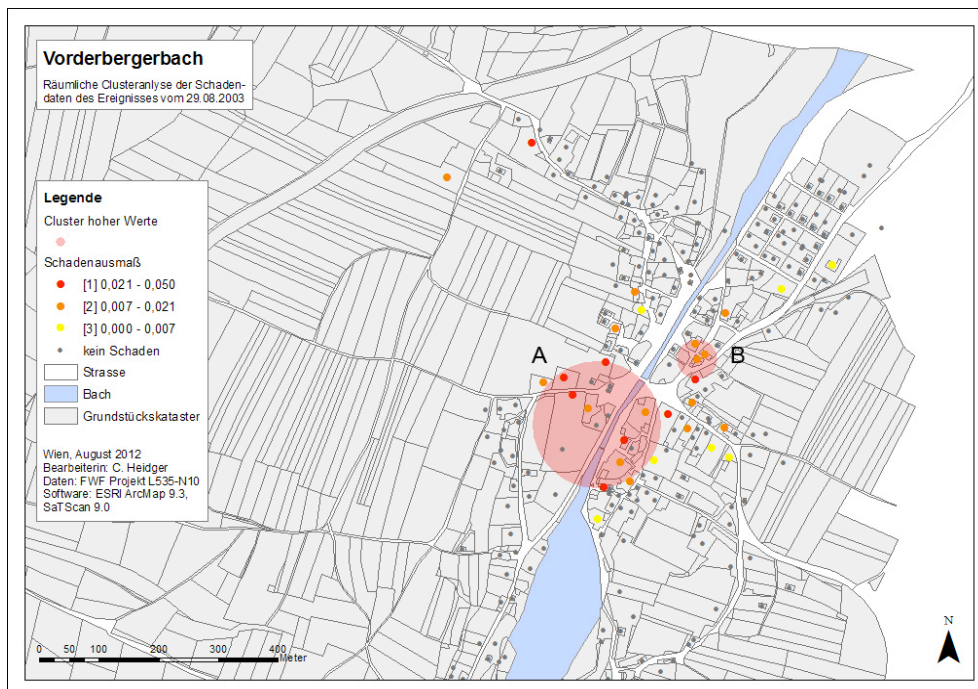


Abbildung 6.2: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Originaldaten für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

### 6.3 Punkterhöhung

Ausgehend vom Originaldatensatz wurden für beide Untersuchungsgebiete Szenarien mit verdoppelter Punktdichte entworfen und anschließend mit dem Normalen Modell in SaTScan analysiert. Die künstlich generierten Punkte wurden nach dem Zufallsprinzip räumlich verteilt, wohingegen die Zuweisung der Schadenlastwerte nach festgelegten Regeln erfolgte. Die regelhafte Zuteilung der Schadenlastwerte erfolgte über zwei Varianten: Variante A und B. Variante A gründete auf der Annahme der räumlichen Autokorrelation der Schadenlastwerte und wies jenen zufallsgenerierten Punkten, die sich in einem zuvor definierten Radius um einen Originalpunkt befanden, den Schadenlastwert des Originalpunktes zu. Variante B arbeitete mit der Verschneidung der Lage der zufallsgenerierten Punkte mit den interpolierten Prozessintensitäten. Anschließend wurde jedem zufallsgenerierten Punkt über die modifizierte Weibullfunktion ein Schadenlastwert zugewiesen (siehe Kapitel 5.3.2).

#### 6.3.1 Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante A und B

Im Untersuchungsgebiet Stubenbach lagen 60 (18%) von insgesamt 336 zufallsverteilten Punkten innerhalb des kartierten Ablagerungsbereichs und waren somit potentiell für die Zuweisung eines Schadenlastwertes zugänglich. Über Variante A konnten 46 (77%), über Variante B 38 (63%) der Zufallspunkte innerhalb der Ablagerungsfläche je ein Wert für die Schadenlast zugewiesen werden (vgl.: Tabelle 6.1). Im Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach lagen 112 Zufallspunkte innerhalb des – für das Ereignis kartierten – Ablagerungsbereichs. Durch Variante A wurden 27 (24%) aller Zufallspunkte je ein Wert für die Schadenlast zugewiesen, durch Variante B 68 (61%) (vgl. Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Übersicht über die Punktverteilung in den beiden Untersuchungsgebieten (GEB\_org... Originaldatensatz, RP... Zufallspunkte, EH... Einfamilienhaus, MH... Mehrfamilienhaus, HOT... Hotel, FW... Ferienwohnung, PEN... Pension)

Untersuchungsgebiet		Stubenbach	Vorderbergerbach	
Ereignisdatum		22/08/2005	29/08/2003	
beschädigte Gebäude (Fälle)	GEB_org	EH	26	24
		MH	2	5
		HOT	5	-
		FW	2	-
		PEN	4	1
	<b>gesamt</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	
	RP	Variante A	46	27
		Variante B	38	68
Gebäude gesamt (Punkte)	GEB_org	336	281	
	Variante A	672	562	
	Variante B	672	562	
Anteil Fälle an Punkten [%]	GEB_org	11.6	10.7	
	GEB_org + Variante A	12.6	10.1	
	GEB_org + Variante B	11.5	17.4	

Tabelle 6.2 gibt einen Überblick über die statistischen Kennzahlen (Mittelwert, Median, Maximum und Minimum, sowie Spannweite und Varianz der Schadenlast) der Punktdatensätze, denen zuvor über Variante A und B Werte für die Schadenlast zugewiesen wurden.

Tabelle 6.2: Überblick über die statistischen Parameter der Originaldaten, sowie der Varianten A und B (inklusive Konfidenzintervalle für Variante B)

Stubenbach	Variante	Punkte insg.	Fälle	in %	Mittelwert	Spannweite			STD
						Max	Min	Dif.	
Originaldaten	ST_alle_GEB	336	39	12	0.0370	1.000	0.013	0.987	0.150
	Variante A	672	85	13	0.0370	1.000	0.013	0.987	0.140
Punkterhöhung	Variante B	672	77	11	0.0230	1.000	0.000	1.000	0.110
	Variante B CL+99%	672	77	11	0.0260	1.000	0.000	1.000	0.130
	Variante B CL-99%	672	77	11	0.0210	1.000	0.000	1.000	0.110
Vorderbergerbach	Variante	Punkte insg.	Fälle	in %	Mittelwert	Spannweite			STD
						Max	Min	Dif.	
Originaldaten	VO_alle_GEB	281	30	11	0.00190	0.050	0.001	0.049	0.007
	Variante A	562	57	10	0.00190	0.050	0.001	0.049	0.007
Punkterhöhung	Variante B	562	98	17	0.00820	0.554	0.000	0.554	0.044
	Variante B CL+99%	562	98	17	0.01400	0.872	0.000	0.872	0.007
	Variante B CL-99%	562	98	17	0.00560	0.262	0.000	0.262	0.029

Es ist zu beobachten, dass die statistischen Kennzahlen der Variante A besser mit denen der Originaldaten übereinstimmen als die der Variante B. Vor allem die Spannweite der Schadenlastwerte wird bei Variante A mit einer sehr hohen Präzision (gemessen an den Originaldaten) wiedergegeben. Variante B unterschätzt im Falle des Untersuchungsgebiets Stubenbach die



Spannweite der Schadenlast und überschätzt im Falle des Kärntner Untersuchungsgebietes um den Faktor 10. Für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach sind die über Variante A zugewiesenen Werte für die Schadenlast im Mittel um 0,12 niedriger als bei Variante B. Beim Untersuchungsgebiet Stubenbach zeigt sich ein umgekehrtes Verhältnis: hier sind die über Variante A zugewiesenen Werte um 0,26 höher als bei Variante B.

In der graphischen Darstellung der Wertezuweisung über Variante A und B zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgebieten: Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4 zeigen die Verteilung der Schadenlastwerte (Schadenausmaß) im Bezug auf die Prozessintensität (Ablagerungshöhe in Meter) für beide Untersuchungsgebiete. Blaue Rauten symbolisieren die Punkte der zufallsgenerierten Daten mit Schadenlastzuweisung über Variante A, grüne Rauten, diejenigen Punkte mit Schadenlastzuweisung über Variante B. Die Kurve zeigt die modifizierte Weibullfunktion für absolute Werte. Die graphische Darstellung der Datenpunkte zeigt eine deutlich größere Streuung der Werte beim Stubenbach als beim Vorderbergerbach. Zudem liegt das Intensitätsmaximum der Originalwerte des Vorderbergerbaches mit 1 Meter sehr niedrig im Vergleich zum Stubenbach mit 3,5 Metern. Jedoch liegen die über die Interpolation ermittelten Maxima der Ablagerungshöhen in beiden Untersuchungsgebieten bei ca. 2 Metern. Dies hat zur Folge, dass die zufallsgenerierten Datenpunkte im Vorderberger Untersuchungsgebiet die Originalsituation der Ausprägung der Schadenlastwerte deutlich überschätzen.

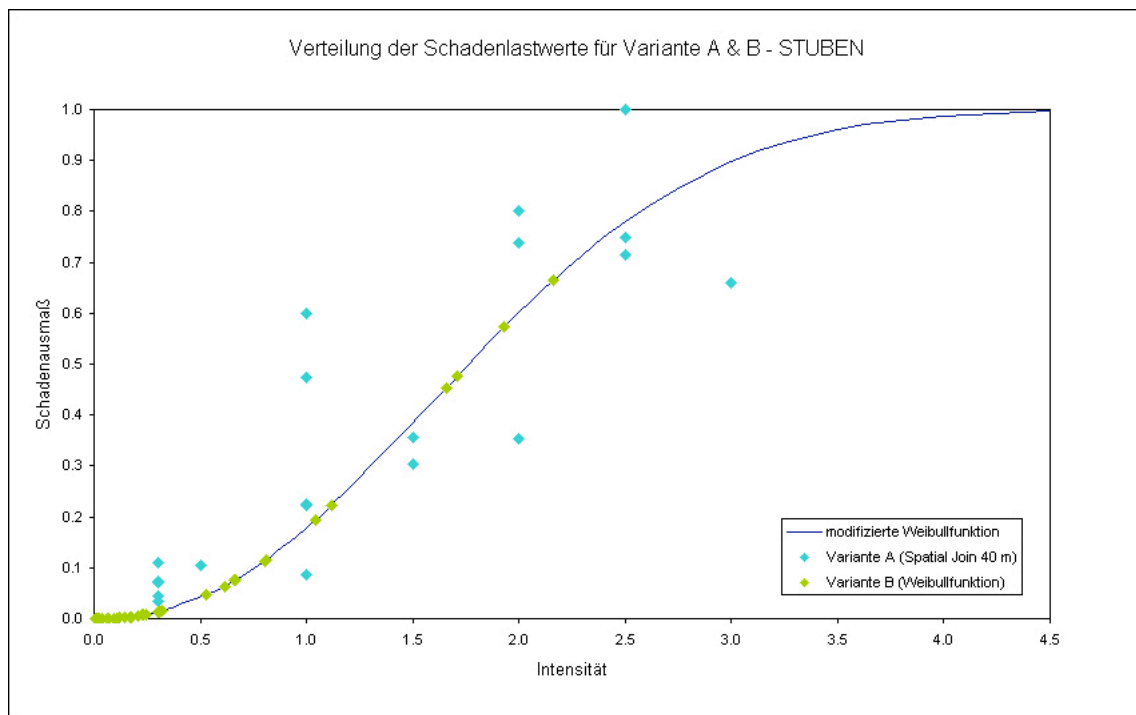


Abbildung 6.3: Verteilung der Schadenlastwerte für Variante A und B (UG: Stubenbach)

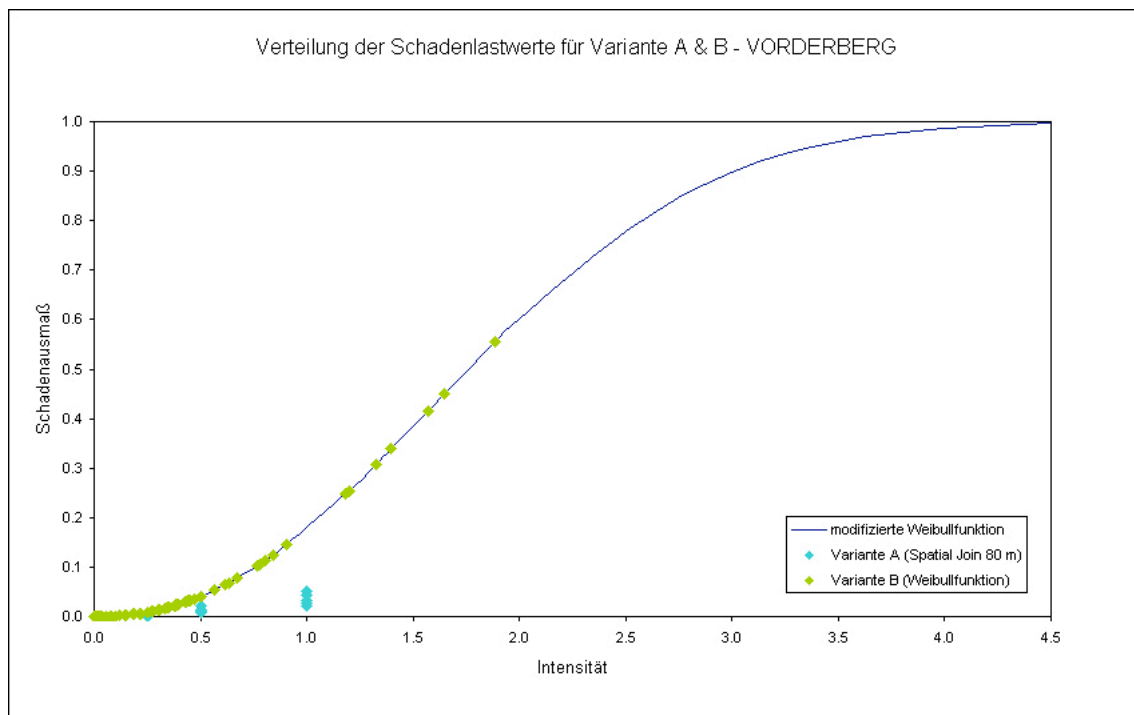


Abbildung 6.4: Verteilung der Schadenlastwerte für Variante A und B (UG: Vorderbergerbach)

### 6.3.2 Clusteranalyse für Variante A und B

Mit den neu generierten Datensätzen, denen über die Varianten A und B Werte für die Schadenlast zugewiesen wurden, wurde eine Clusteranalyse mit dem Normalen Modell in SaTScan durchgeführt. Hierbei wurden neben den Datensätzen für Varianten A und B auch die Datensätze der oberen und unteren 99% Konfidenzintervalle der Variante B analysiert.

Die Clusteranalysen für das Untersuchungsgebiet Stubenbach zeigen für alle Datensätze einen hochsignifikanten A-Cluster und einen oder mehrere nicht signifikante B-Cluster. Variante B (CL = -99%) ist die einzige Variante, für die zwei B-Cluster ausgegeben wurden. Diese sind jedoch beide – wie bei fast allen anderen Varianten – nicht signifikant. Allein die Analysen der Variante A ergaben einen auf dem 5%-Niveau signifikanten B-Cluster. Die p-Values liegen bei allen Varianten auf einem konstant hohen Niveau und nehmen für alle A-Cluster den Wert 0,001 an.

Die Ergebnisse des Vorderberger Untersuchungsgebietes sind weniger eindeutig, jedoch lässt sich auch hier über alle Varianten hinweg ein auf dem 5%-Niveau (oder hoch-) signifikanter A-Cluster

feststellen. Ein jeweils hochsignifikanter A-Cluster findet sich bei der Variante A (p-Value: 0,001) und bei der Variante B (CL = +99%) (p-Value: 0,007). Variante A ist die einzige Variante, bei der kein B-Cluster gefunden wurde.

Es zeigt sich, dass sowohl im Kärntner als auch im Tiroler Untersuchungsgebiet der A-Cluster der Variante A verglichen mit allen anderen Varianten die meisten Gebäudepunkte beinhaltet. Mit diesem Ergebnis geht auch ein größerer Clusterradius einher als bei allen anderen Varianten. Im Untersuchungsgebiet Vorderberg stellt die Variante A zugleich den in seinen Wertausprägungen homogensten A-Cluster, was an den niedrigen Werten für die Varianz und Standardabweichungen abzulesen ist. Im Untersuchungsgebiet Stubenbach zeigt der A-Cluster der Variante B die homogensten Werte innerhalb der Cluster Grenzen. Die Differenz der Mittelwerte zwischen Innen und Außen ist in beiden Untersuchungsgebieten beim A-Cluster der Variante A am geringsten. Alle in diesem Abschnitt besprochenen Werte sind in Tabelle 6.3 zusammengefasst.

Nicht allein die statistischen Parameter der Cluster sind wichtige Indikatoren für die relative Stabilität der Varianten A und B gegenüber den Originaldaten. Auch die räumliche Lage der Cluster zu ihrem Referenzcluster ist eine wichtige Größe zur Beurteilung der Güte der Ergebnisse. Als Referenzcluster wurde der Cluster der Originaldaten definiert. Tabelle 6.4 fasst die Ergebnisse der semiquantitativen Analyse der Lagerrelationen der Cluster zum Referenzcluster zusammen. Es fällt auf, dass für das Untersuchungsgebiet Stubenbach die Mittelpunkte aller Cluster sehr gut mit dem Clustermittelpunkt des Referenzclusters übereinstimmen. Alle Mittelpunkte der signifikanten Cluster (alle A- und ein B-Cluster der Variante A) stimmen zu 100% mit dem Mittelpunkt des Referenzclusters überein. Allein durch die Größenänderung des Radius ergeben sich in diesem Untersuchungsgebiet unterschiedliche Punktmengen innerhalb der Cluster Grenzen. Die Clusterfläche des A-Clusters von Variante A nimmt, verglichen mit der Referenzfläche, um 60%, beim A-Cluster der Variante B (inklusive Konfidenzintervalle) um 3% zu. Eine sehr gute räumliche Übereinstimmung mit dem Referenzcluster ergibt sich bei Variante B und deren Konfidenzintervallen des Tiroler Untersuchungsgebietes. Sowohl der Clusterradius als auch die Lage der Mittelpunkte bleibt bei diesen Varianten identisch.

Im Kärntner Untersuchungsgebiet ist die Ergebnislage nicht so eindeutig wie im Tiroler Untersuchungsgebiet: bei allen Varianten verschiebt sich der Clustermittelpunkt im Vergleich zum Referenzcluster. Eine mit 31 Metern relativ geringe Lageverschiebung zeigt der Mittelpunkt des A-Clusters von Variante A. Die Fläche des A-Clusters von Variante A vergrößert sich um 62%. Die Clustermittelpunkte der Variante B (inklusive Konfidenzintervalle) verschieben sich um 560 Meter nach Nordwesten und entfernen sich damit räumlich so weit vom Referenzmittlepunkt, dass sie nicht mehr mit dem Referenzcluster vergleichbar sind.

*Tabelle 5. 3: Zusammenfassung der Analysen mit dem Normalen Model, nach Untersuchungsgebieten und Varianten (alle\_GEB... Originaldatensatz mit allen Gebäuden des Untersuchungsgebietes, Variante A... Punkterhöhung mit Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante A, Variante B... Punkterhöhung mit Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante B (CL 0 +99%)... Punkterhöhung mit Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante B mit oberem 99% Konfidenzintervall, Variante B (CL 0 +99%)... Punkterhöhung mit Zuweisung der Schadenlastwerte über Variante B mit unterem 99% Konfidenzintervall*

Untersuchungsgebiet	Punkte ges.	Spannweite der Schadenlast		STD	Cluster	Punkte pro Cluster	Radius [km]	Mittelwert		STD	Varianz	p-Value	Signifikanz		
		Max.	Min.					innen	außen					Dif.	
alle_GEB	336	1.000	0.013	0.987	A	14	0.060	0.480	0.018	0.462	0.120	0.013	0.001	hoch	
					B	3	0.028	0.620	0.032	0.588	0.140	0.019	0.164	-	
	Variante A	672	1.000	0.013	0.987	A	31	0.076	0.420	0.019	0.401	0.120	0.013	0.001	hoch
						B	10	0.042	0.460	0.031	0.429	0.130	0.018	0.013	✓
	Variante B (Weibull)	672	1.000	0.000	1.000	A	18	0.061	0.490	0.010	0.480	0.084	0.007	0.001	hoch
						B	2	0.028	0.590	0.022	0.568	0.110	0.012	0.402	-
Variante B (CL = +99%)	672	1.000	0.000	1.000	A	18	0.061	0.570	0.012	0.558	0.090	0.008	0.001	hoch	
					B	4	0.021	0.430	0.024	0.406	0.120	0.015	0.588	-	
Variante B (CL = -99%)	672	1.000	0.000	1.000	A	18	0.061	0.430	0.010	0.420	0.084	0.007	0.001	hoch	
					B	2	0.028	0.590	0.019	0.571	0.100	0.011	0.334	-	
					C	3	0.001	0.450	0.019	0.431	0.100	0.011	0.477	-	
alle_GEB	281	0.050	0.001	0.049	A	15	0.110	0.017	0.001	0.016	0.006	0.000	0.022	✓	
					B	4	0.034	0.022	0.002	0.020	0.007	0.000	0.330	-	
	Variante A	562	0.050	0.001	0.049	A	38	0.140	0.016	0.001	0.015	0.006	0.000	0.001	hoch
						B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Variante B (Weibull)	562	0.554	0.000	0.554	A	6	0.092	0.250	0.006	0.245	0.036	0.001	0.013	✓
						B	2	0.039	0.430	0.007	0.423	0.036	0.001	0.021	0.021
Variante B (CL = +99%)	562	0.872	0.000	0.872	A	6	0.092	0.440	0.009	0.431	0.060	0.004	0.007	hoch	
					B	2	0.039	0.710	0.011	0.699	0.062	0.004	0.021	0.021	✓
Variante B (CL = -99%)	562	0.262	0.000	0.262	A	6	0.092	0.160	0.004	0.156	0.024	0.001	0.013	✓	
					B	2	0.039	0.270	0.005	0.265	0.024	0.001	0.021	0.021	✓

signifikant auf dem 0.01 Niveau...  
 signifikant auf dem 0.05 Niveau...  
 nicht signifikant...

Tabelle 5. 4: Vergleich der Lage- und Größenänderung der Cluster aller Varianten mit dem Referenzcluster (entspricht dem Cluster für alle Gebäude)

Untersuchungsgebiet	Cluster	Punkte pro Cluster	Radius [km]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Verschiebung des Clustermittelpunkts [km]	Mittelpunkt des Clusters innerhalb des Referenzclusters		Flächenänderung des Clusters zur Fläche des Referenzclusters in %		Richtung der Lageverschiebung
						Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster	
Stutenbach	alle_GEB	A	14	0.060	0.011	Referenzmittelpunkt	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster
		B	3	0.028	0.002	Referenzmittelpunkt	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster
	Variante A	A	31	0.076	0.018	0.000	ja	ja	60	-
		B	10	0.042	0.006	0.000	ja	ja	125	-
	Variante B (Weibull)	A	18	0.061	0.012	0.000	ja	ja	3	-
		B	2	0.028	0.002	0.028	ja	ja	0	S
	Variante B (CL = +99%)	A	18	0.061	0.012	0.000	ja	ja	3	-
		B	4	0.021	0.001	0.021	ja	ja	-44	N
	Variante B (CL = -99%)	A	18	0.061	0.012	0.000	ja	ja	3	-
		B	2	0.028	0.002	0.028	ja	ja	0	S
		C	3	0.001	0.000	kein Referenzcluster	-	-	-	-
	Vorderbergerbach	alle_GEB	A	15	0.110	0.038	Referenzmittelpunkt	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster
		B	4	0.034	0.004	Referenzmittelpunkt	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster	Referenzcluster
Variante A		A	38	0.140	0.062	0.031	ja	ja	62	NW
		B	-	-	-	-	-	-	-	-
Variante B (Weibull)		A	6	0.092	0.027	0.560	nein	nein	nicht vergleichbar	NW
		B	2	0.039	0.005	0.48	nein	nein	nicht vergleichbar	NW
Variante B (CL = +99%)		A	6	0.092	0.027	0.560	nein	nein	nicht vergleichbar	NW
		B	2	0.039	0.005	0.48	nein	nein	nicht vergleichbar	NW
Variante B (CL = -99%)		A	6	0.092	0.027	0.560	nein	nein	nicht vergleichbar	NW
		B	2	0.039	0.005	0.48	nein	nein	nicht vergleichbar	NW

Die Ergebnisse der Analysen wurden für beide Untersuchungsgebiete in Karten visualisiert (siehe Abbildungen 6.5 bis 6.12). Sie zeigen die Cluster der Varianten A und B sowie des oberen und unteren 99% Konfidenzintervalls der Variante B.

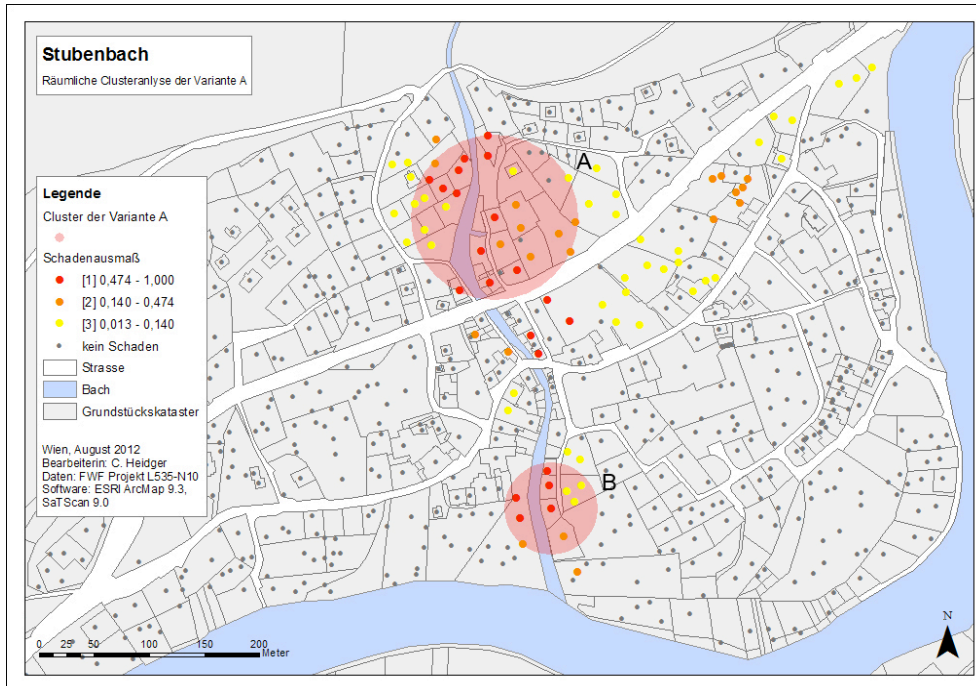


Abbildung 6.5: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante A für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

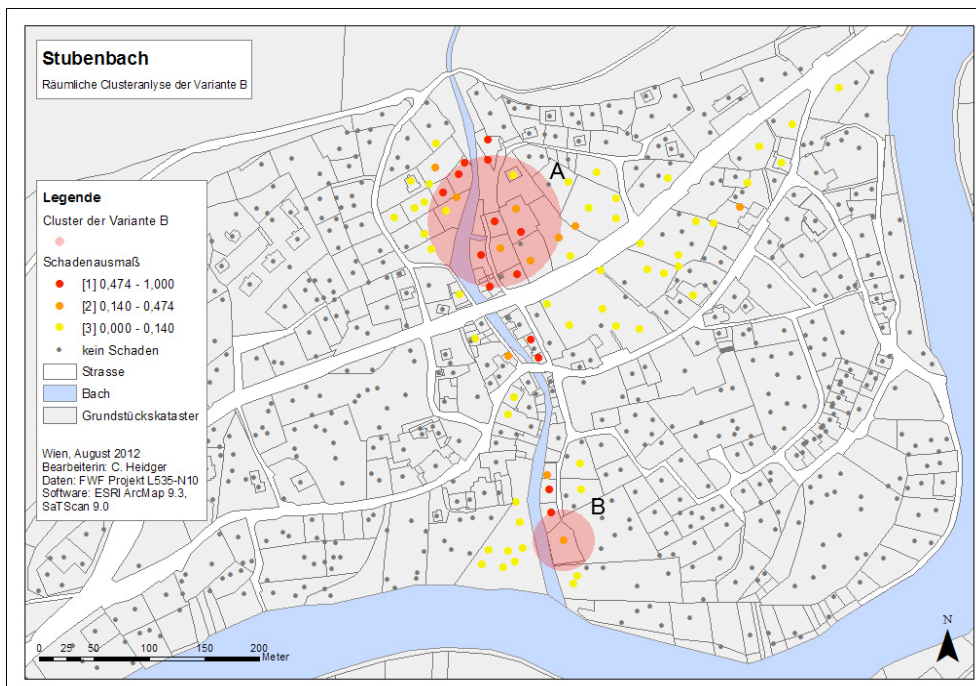


Abbildung 6.6: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante B für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

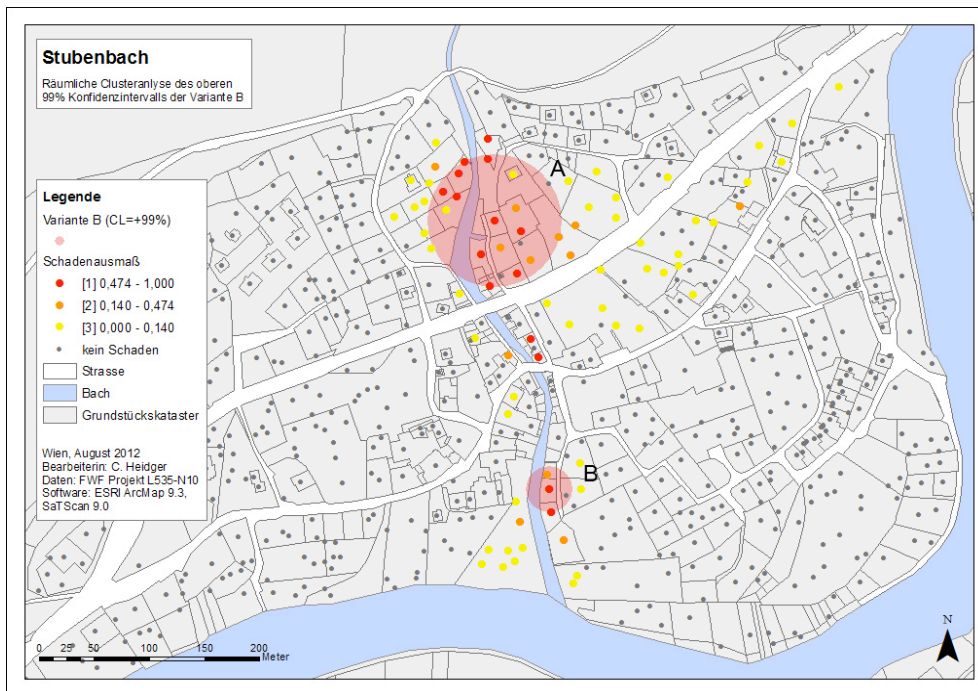


Abbildung 6.7: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des oberen 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

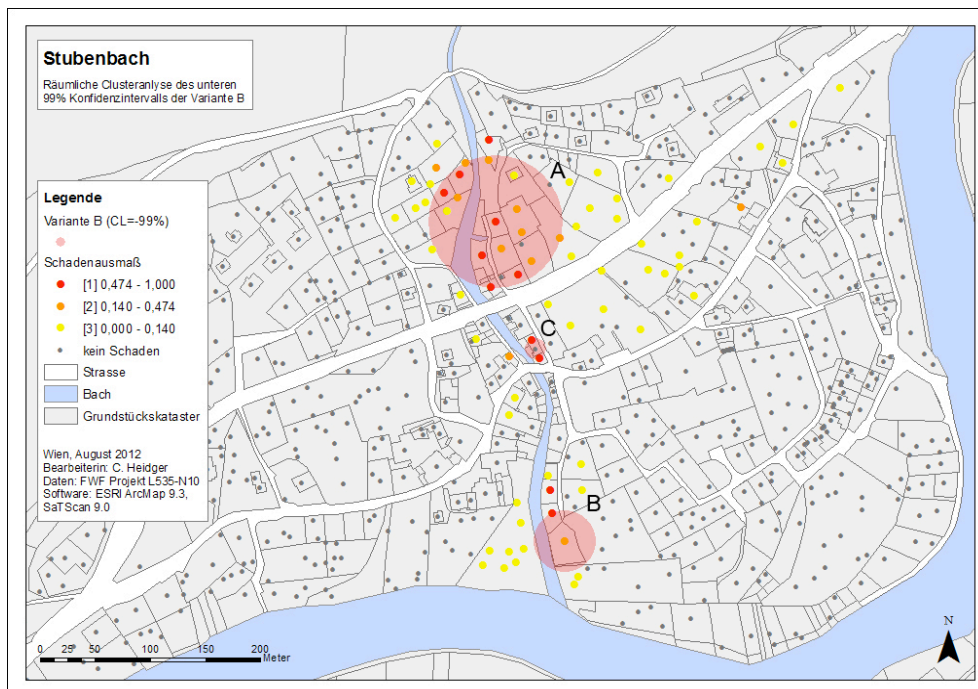


Abbildung 6.8: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des oberen 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

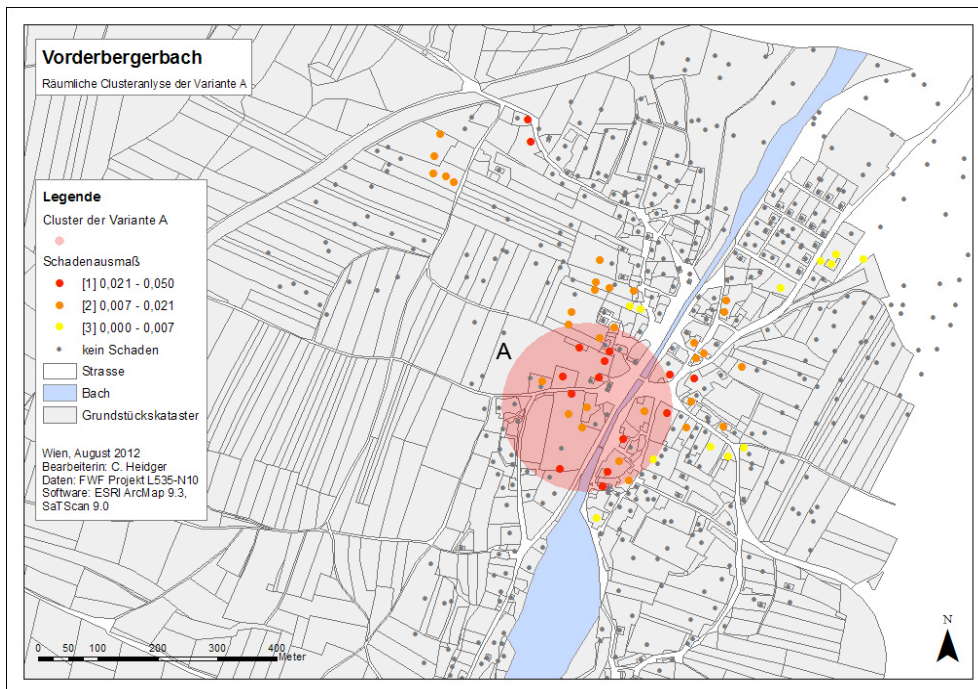


Abbildung 6.9: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante A für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

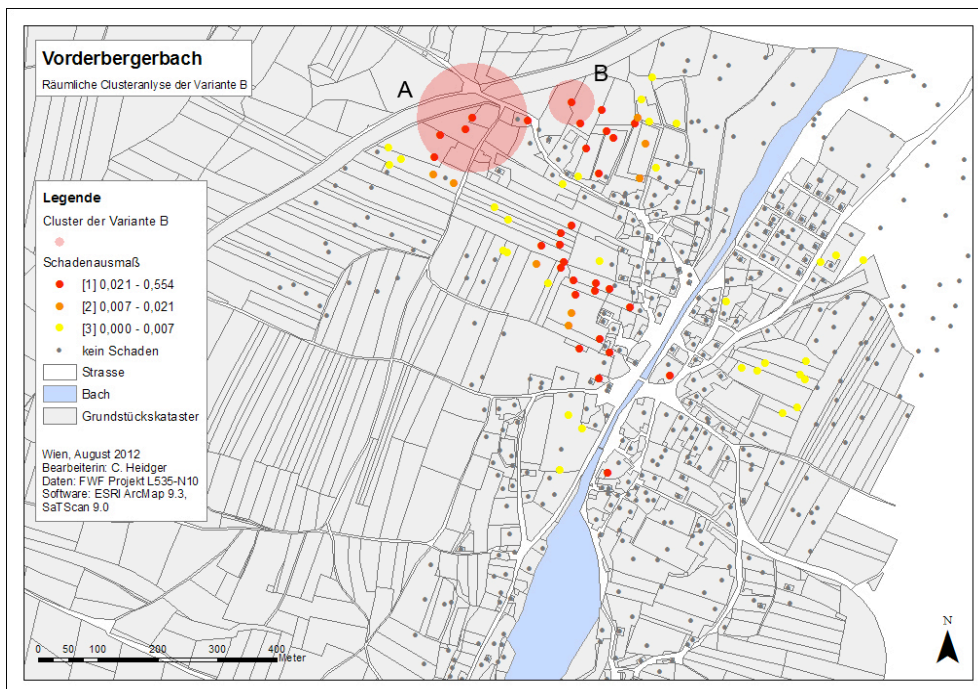


Abbildung 6.10: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse der Variante B für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach



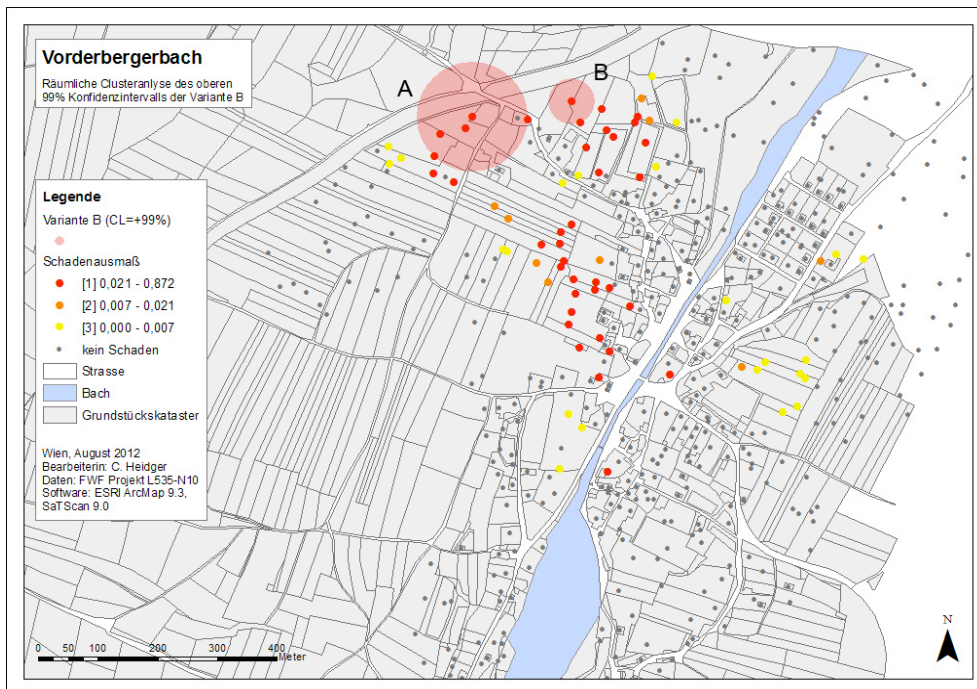


Abbildung 6.11: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des oberen 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

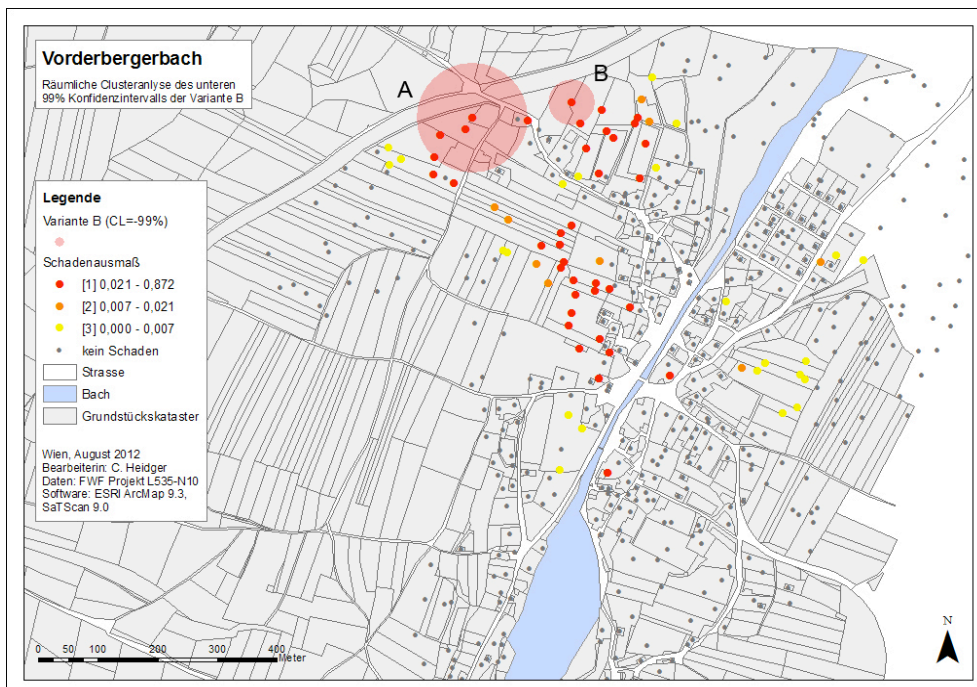


Abbildung 6.12: Visualisierung der Ergebnisse der Clusteranalyse des unteren 99% Konfidenzintervalls der Variante B für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

## 6.4 Punktreduktion

Im nun folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Punktreduktion vorgestellt. Ausgehend von den Originaldaten und der Variante A wurden für jedes Untersuchungsgebiet die Punktdaten in 10%-Schritten reduziert: durch eine zufallsbasierte Methode wurde die absolute Punktezahl, ohne Beeinflussung des relativen Verhältnisses von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden, verringert, bis der Datensatz nur noch 10% der Gebäudepunkte des Originaldatensatzes beinhaltete.

### 6.4.1 Ergebnisse der in ArcGIS durchgeführten Punktreduktion

Für beide Untersuchungsgebiete wurden durch Punktreduktion neun Datensätze (zehn Datensätze mit dem jeweiligen Ausgangsdatsatz) erstellt. Im Untersuchungsgebiet Stubenbach liegen die absoluten Punktezahlen der neu generierten Datensätze zwischen 336 und 34 Punkten bei den Originaldaten als Ausgangsdatsatz, und zwischen 672 und 70 Punkten bei Variante A als Ausgangsdatsatz. Im Kärntner Untersuchungsgebiet umfasst der Originaldatensatz 281 Punkte, von dem ausgehend die Punkte bis auf 10% (absolut 28) reduziert wurden. Die Variante A umfasst 562 Punkte und wurde bis auf 56 verringert.

Da aus der Gesamtzahl aller Punkte nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wurde, weisen die Datensätze um den Ursprungswert pendelnde Anteile an beschädigten Gebäuden auf (siehe Tabelle B.3 und B.4). Es zeigen sich für die Datensätze beider Untersuchungsgebiete abnehmende Trends im Mittelwert, in der Spannweite und der Standardabweichung. Sind diese Trends in den Datensätzen basierend auf den Originaldaten noch recht deutlich ausgeprägt, so verwaschen sie bei den Datensätzen basierend auf Variante A und sind hier nur mehr wenig bis gar nicht vorhanden. Ein Grund hierfür könnte die erhöhte absolute Punktezahl bei Variante A im Vergleich zu den Originaldaten sein.

## 6.4.2 Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten

Die punktreduzierten Datensätze, basierend auf den Originaldaten des Tiroler Untersuchungsgebietes, wurden mit dem Normalen Modell in SaTScan auf Cluster hoher Werte untersucht. In jeder der neun Analysen wurden Cluster gefunden, jedoch von unterschiedlicher Signifikanz und damit von unterschiedlicher Güte für die Interpretation (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.7). Die Datensätze der Varianten die zwischen 100-60% der Ausgangspunkte weisen jeweils einen hochsignifikanten A-Cluster (p-Value: 0,001) und bis zu zwei B-Cluster auf, die jedoch nicht signifikant sind. In den Datensätzen der Varianten mit 50% und 40% der Originalpunkte findet sich jeweils ein auf dem 5%-Niveau signifikanter A-Cluster. Datensätze mit weniger als 40% der Originalpunkte weisen keine signifikanten Cluster mehr auf. Eine Besonderheit stellt die Analyse des auf 20% reduzierten Datensatzes dar: in ihm zeigt sich ein nicht signifikanter A-Cluster mit einem p-Value von 1, für den die Nullhypothese angenommen werden muss. In absoluten Zahlen ausgedrückt liegt die Grenze, ab der sich die Signifikanz der A-Cluster von hochsignifikant auf signifikant ändert, im Tiroler Untersuchungsgebiet bei 202 Punkten. Ab 134 Punkten ändert sich die Signifikanz der A-Cluster von signifikant auf nicht signifikant. Die Radien der hochsignifikanten Cluster liegen zwischen 60 und 69 Metern, die der signifikanten Cluster zwischen 28 und 54 Metern. Der hochsignifikante Cluster, der gemessen an der Gesamtpunktezahl die meisten Gebäudepunkte beinhaltet, ist der A-Cluster des auf 60% reduzierten Datensatzes: er beinhaltet 6% aller Punkte und hat mit 44% den höchsten Anteil erklärender Varianz an allen punktreduzierten Datensätzen ausgehend von den Originaldaten des Untersuchungsgebietes Stubenbach.

Bei der Analyse der Vorderberger Datensätze mit dem Normalen Modell in SaTScan fällt auf, dass in den Datensätzen aller punktreduzierter Varianten nur A-Cluster und keine B-Cluster gefunden werden, was für eine sehr klare räumliche Begrenzung der hohen Schadenlastwerte spricht. Die A-Cluster der auf 90, 80, 30 und 20% reduzierten Originaldatensätze zeigen auf dem 0,05-Niveau signifikante Ergebnisse (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.8). Das Ergebnis mit dem höchsten p-Value erzielt der Datensatz der auf 80% reduzierten Variante (p-Value: 0,018), welcher auch gleichzeitig mit 6% den höchsten Anteil an Gebäudepunkten innerhalb des Clusters gemessen an der Gesamtzahl der Punkte aufweist. Alle anderen Cluster sind nicht signifikant, wobei der Cluster der 40% umfassenden Variante einen p-Value von 1 aufweist und somit für ihn die Nullhypothese angenommen werden muss. Da die A-Cluster der 30 und 20% Variante nur drei bzw. zwei Punkte (entspricht 3 bzw. 2% der Gesamtzahl der Punkte dieser Variante) enthalten, wird ihre Aussagekraft als gering eingeschätzt, auch wenn der Cluster der auf

30% reduzierten Originaldaten mit 61% den höchsten Wert für die erklärende Varianz aufweist. Der Radius der beiden auf 90% und 80% reduzierten Datensätze ist identisch mit dem Radius des A-Clusters der Originaldaten und beträgt 110 Meter. Die Radien aller weiteren punktreduzierten Varianten weisen eine größere Spannweite auf und liegen zwischen 200 Meter und 53 Meter.

### 6.4.3 Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A

In allen auf der Variante A basierenden punktreduzierten Datensätzen konnten mit dem Normalen Modell in SaTScan Cluster gefunden werden.

Im Tiroler Untersuchungsgebiet sind alle A-Cluster zwischen der 90% Variante und der 30% Variante mit einem p-Value von 0,001 hochsignifikant (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.9). Der A-Cluster der auf 20% reduzierten Punktezahl ist mit einem p-Value von 0,014 auf dem 5%-Niveau signifikant, der A-Cluster des auf 10% reduzierten Datensatzes ist nicht signifikant. In absoluten Punktezahlen ausgedrückt befindet sich der Sprung zwischen hochsignifikanten und signifikanten A-Clustern zwischen 202 und 134 Punkten, der zwischen signifikanten und nicht signifikanten A-Clustern zwischen 134 und 67 Punkten. Auch die punktreduzierten Originaldaten verzeichneten bei dieser Punktzahlen die Sprünge in den Signifikanzniveaus. Die Radien liegen bei den hochsignifikanten Clustern zwischen 52 und 90 Metern, wobei bis zur Reduktion der Variante A auf 70% die Radien mit 76 Metern konstant bleiben. Der hochsignifikante Cluster, der gemessen an der Gesamtpunktezahl die meisten Gebäudepunkte beinhaltet, ist der A-Cluster des auf 30% reduzierten Datensatzes (dieser beinhaltet 6% aller Punkte). Dieser Cluster ist es auch, der mit 59% den höchsten Wert für die erklärende Varianz aufweist.

Die Clusteranalyse der punktreduzierten Datensätze der Variante A des Vorderberger Untersuchungsgebietes zeigt für alle Datensätze einen A-Cluster und keinen B-Cluster, womit sich dieses Muster aus den Originaldaten durchpaust (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.10). Hochsignifikante Cluster wurden für alle Datensätze, die zwischen 90% und 30% der Ausgangspunkte beinhalteten, gefunden. Der p-Value für diese Cluster liegt durchgehend bei 0,001, nur bei der Variante mit 30% der Ausgangspunkte nimmt er auf 0,005 ab. Es gibt also im Vorderberger Untersuchungsgebiet keinen Sprung zwischen hochsignifikant und signifikant, sondern nur zwischen hochsignifikant und nicht signifikant. Dieser Sprung liegt zwischen der absoluten Punktezahl von 169 und 112. Die Radien der hochsignifikanten Cluster liegen zwischen

26 und 140 Metern. Der hochsignifikante Cluster, der gemessen an der Gesamtpunktezahl die meisten Gebäudepunkte beinhaltet, ist der A-Cluster des auf 50% reduzierten Datensatzes (dieser beinhaltet 9% aller Punkte). Der Cluster mit der höchsten erklärenden Varianz ist der Cluster der auf 30% reduzierten Variante A; über ihn können 59% der Varianz im Datensatz erklärt werden.

## 6.5 Verhältnisänderung zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden

Die Ergebnisse der Änderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden sind Inhalt der folgenden Unterkapitel. Zur Generierung der Datensätze mit geändertem Verhältnis von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden, wurden zufallsverteilt Punkte aus den Ausgangsdatsätzen entnommen.

### 6.5.1 Ergebnisse der in ArcGIS durchgeführten Verhältnisänderung

Die für diese Analysen durch zufallsverteilte Punktreduktion generierten Datensätze, weisen jeweils unterschiedliche Verhältnisse zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden auf. Für das Tiroler Untersuchungsgebiet wurden, ausgehend von den Originaldaten, sowie von Variante A jeweils 15 neue Datensätze mit einem fixierten Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden generiert. Im Kärntner Untersuchungsgebiet entsprach Variante A der Reduktion auf 10% beschädigte Gebäude, weshalb für dieses Untersuchungsgebiet nur 14 neue Datensätze erstellt wurden (für eine Zusammenfassung siehe Tabelle B.5 und B.6). Es lässt sich beobachten, dass je höher der Anteil beschädigter Gebäude ist, desto größer ist der Mittelwert der Schadenlast für den jeweiligen Datensatz. Ebenso weisen die Spannweite und die Standardabweichung eine steigende Tendenz auf. Diese Beobachtung trifft für beide Untersuchungsgebiete zu.

## 6.5.2 Clusteranalyse der Originaldaten (Verhältnisänderung)

Die Clusteranalyse mit dem Normalen Modell ergab für das Untersuchungsgebiet Stubenbach signifikante A-Cluster für die Varianten mit einem Anteil zwischen 6-100% beschädigten Gebäuden (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.11). Zwischen 8-70% beschädigter Gebäuden sind die A-Cluster hochsignifikant. Der Cluster des Datensatzes mit 1% beschädigten Gebäuden weist ebenfalls einen hochsignifikanten A-Cluster auf, der zwar mit 82% den höchsten Wert für die erklärende Varianz zieht, aber nur zwei Punkte innerhalb des Clusters beinhaltet. Dieser hohe Wert für die erklärende Varianz kommt begründet sich dadurch, dass sich zwei von insgesamt drei beschädigten Gebäudepunkten innerhalb des Clusters befinden. Somit ist die Aussagekraft des Clusters, trotz hoher Signifikanz stark eingeschränkt. Mit 44% erklärender Varianz und zwölf Punkten innerhalb der Clustergrenzen, liefert der Cluster der Variante mit 30% beschädigten Gebäuden ein gutes Ergebnis. Die beiden nicht signifikanten A-Cluster der Varianten mit 2 und 4% beschädigten Gebäuden haben einen p-Value von 1,000, womit für sie die Nullhypothese angenommen werden muss. Die Radien der signifikanten/hochsignifikanten A-Cluster haben eine große Spannweite und liegen zwischen 19 und 110 Metern.

Im Kärntner Untersuchungsgebiet lassen sich auf den ersten Blick keine Muster in der Signifikanzausprägung feststellen. Es werden für alle Datensätze zumindest ein A-Cluster (für manche auch ein oder mehrere B-Cluster) gefunden (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.12). Die Varianten mit 1, 6 und 20 bis 50% beschädigter Gebäude zeigen hochsignifikante A-Cluster, deren p-Value allerdings nur im Fall der Variante mit 6% beschädigten Gebäuden den Wert 0,001 erreicht. Die Varianten mit 10, 60 und 90% beschädigten Gebäuden weisen A-Cluster auf, die auf dem 5%-Niveau signifikant sind. In den Datensätzen aller übrigen Varianten konnten keine signifikanten Cluster gefunden werden. Derjenige hochsignifikante A-Cluster mit der höchsten erklärenden Varianz ist der Cluster der Variante mit 1% beschädigten Gebäuden – er erklärt 59% der Varianz des Datensatzes. Da er jedoch nur zwei Punkte innerhalb des Clusters aufweist ist seine Aussagekraft herabgesetzt. Mit 45 bzw. 41% erklärende Varianz zeigen die A-Cluster der Varianten mit 40 bzw. 50% beschädigten Gebäuden ein gutes Ergebnis. Die Radien dieser beiden Cluster liegen bei 160 bzw. 140 Metern.

### 6.5.3 Clusteranalyse der Variante A (Verhältnisänderung)

Die Clusteranalyse mit dem Normalen Modell ergab für das Tiroler Untersuchungsgebiet signifikante A-Cluster für die Varianten mit einem Anteil zwischen 2 und 100% beschädigten Gebäuden (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.13). Die Varianten mit 6 bis 100% beschädigten Gebäuden zeigen hochsignifikante A-Cluster sowie einen oder mehrere B-Cluster, deren Signifikanz keinem Muster zu folgen scheint. Für die Variante mit 1% beschädigten Gebäuden konnte ein A-Cluster gefunden werden, dessen p-Value 1,000 beträgt, weshalb für diesen Cluster die Nullhypothese angenommen werden muss. Der Sprung zwischen nicht signifikant und signifikant auf dem 5%-Niveau liegt zwischen der Variante mit 1 und 2% beschädigten Gebäuden. Der Sprung zwischen Signifikanz auf dem 5%-Niveau und hoher Signifikanz liegt zwischen der Variante mit 4 und 6% beschädigten Gebäuden. Die Cluster der Varianten zwischen 20-50% beschädigten Gebäuden weisen die höchsten Werte für die erklärende Varianz auf – sie liegen zwischen 36-39%.

Für die Datensätze des Vorderberger Untersuchungsgebietes konnten hochsignifikante A-Cluster für die Varianten zwischen 8-100% beschädigten Gebäuden gefunden werden (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle B.14). Für die Varianten zwischen 2-6% beschädigten Gebäuden wurden A- und B-Cluster gefunden, jedoch sind diese statistisch nicht signifikant. Wie im Tiroler Untersuchungsgebiet auch, weist die Variante mit 1% beschädigten Gebäuden einen nichtsignifikanten A-Cluster auf, dessen p-Value bei 1,000 liegt. Der Sprung zwischen nicht signifikant und hochsignifikant liegt im Kärntner Untersuchungsgebiet zwischen der Variante mit 6-8% beschädigten Gebäuden. Die Cluster der Varianten zwischen 30-70% beschädigten Gebäuden weisen die höchsten Werte für die erklärende Varianz auf – sie liegen zwischen 45 und 52%.

## 6.6 Statistische Power, Sensitivität und Positiver Vorhersagewert

In weiterer Folge werden die Ergebnisse für die Kennzahlen der statistischen Power, der Sensitivität und des Positiven Vorhersagewertes (PPV) vorgestellt. In Kapitel 6.3.2 wurde versucht die Lageverschiebung der Clustermittelpunkte der verschiedenen Varianten anhand einer semiquantitativen Methode zu erklären. Die Berechnung der Power, der Sensitivität und des PPV zielen auf dieselbe Frage der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datensätze und deren Cluster ab.

Als Referenzcluster, auf den alle anderen Cluster bezogen werden, wurde für jedes Untersuchungsgebiet der A-Cluster der Originaldaten definiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kennwertberechnung dargelegt (für eine Beschreibung der Berechnung siehe Kapitel 5.4).

Aus den Werten für die statistische Power, die Sensitivität und den PPV ist abzulesen, inwieweit die Punkte des neuen Clusters mit denen des Referenzclusters übereinstimmen. Ziel ist es also nicht, eine Aussage über die Güte der neuen Cluster zu treffen, sondern vielmehr ein indirektes Maß für die Lage der Cluster zueinander zu finden. Die Grafik (Abbildung 6.13) veranschaulicht die Möglichkeiten der Interpretation der Sensitivität (S) und des PPV, die in weiterer Folge kurz besprochen werden:

a)  $S=1$  und  $PPV=1$

Sowohl die Punktzahl des neuen, als auch des Referenzclusters entsprechen der Schnittmenge d.h. die Cluster überlagern sich soweit, dass ihre Punktmengen identisch sind (bei identischem Radius liegen die Cluster deckungsgleich).

b)  $S=1$  und  $PPV < 1$

Die Punkte des Referenzclusters entsprechen der Schnittmenge des Referenzclusters mit dem neuen Cluster, d.h. der Referenzcluster liegt räumlich innerhalb der Grenzen des neuen Clusters.

c)  $S < 1$  und  $PPV=1$

Die Punkte des neuen Clusters entsprechen der Schnittmenge des neuen Clusters mit dem Referenzcluster, d.h. der neue Cluster liegt räumlich innerhalb der Grenzen des Referenzclusters.

d)  $S < 1$  und  $PPV < 1$

Der neue Cluster beinhaltet eine Punktmenge, die einem Teil der Schnittmenge entspricht. Ebenso enthält der Referenzcluster eine Punktmenge, die

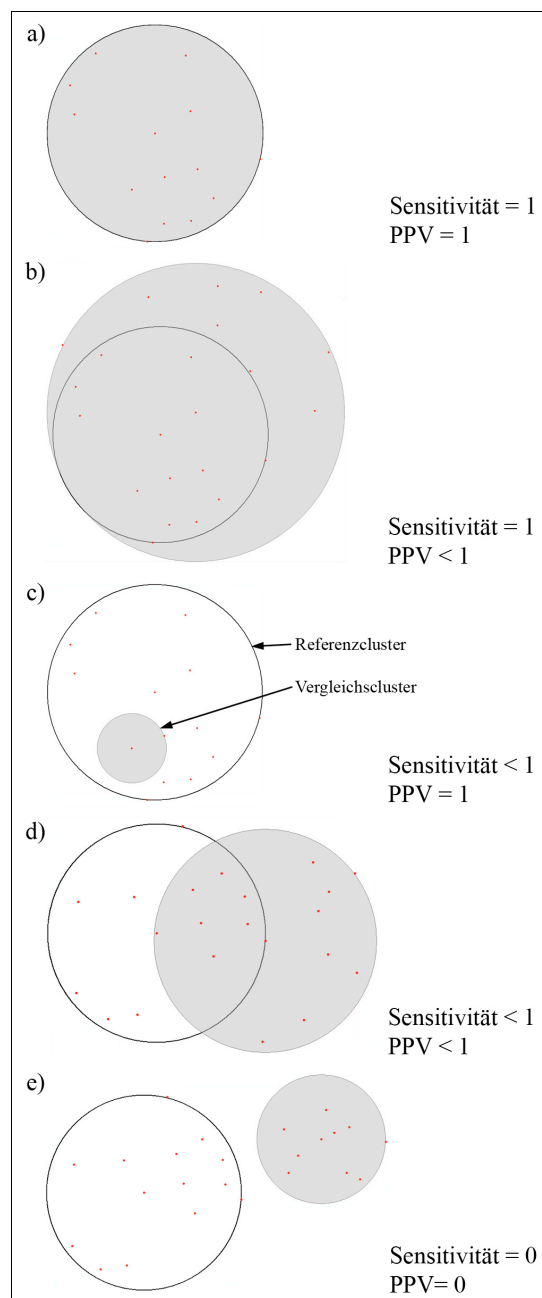


Abbildung 6.13: Interpretationsmöglichkeiten für die Sensitivität und den PPV



einem Teil der Schnittmenge entspricht, d.h. die Cluster überlappen sich räumlich bis zu einem gewissen Grad. Je höher die Werte für S und PPV, desto größer ist die Überlappung.

e)  $S = 0$  und  $PPV = 0$

Die Punktmengen der Cluster überschneiden sich nicht, d.h. die räumliche Lage der Cluster zueinander ist soweit verschoben, dass keine Überlappung stattfindet.

### 6.6.1 Power, Sensitivität und PPV für die punktreduzierten Originaldatensätze

Die Werte für die statistische Power, die Sensitivität und den PPV sind für die Cluster der Datensätze des Tiroler Untersuchungsgebietes durchgehend sehr hoch: bis zur Punktreduktion auf 70% der Ausgangspunkte zeigen sich für die Cluster Sensitivitäts- und PPV-Werte von 1. In Kombination mit einem im Vergleich zum Referenzcluster identischen Radius, lassen diese Ergebnisse die Interpretation zu, dass die Cluster dieser punktreduzierten Varianten deckungsgleich zum Referenzcluster sind. Die auf 60% reduzierte Variante weist sowohl für die Sensitivität, als auch den PPV Werte  $< 1$  auf. Varianten mit unter 60% der Originalpunkte haben keine statistische Power mehr und sind somit nicht zu interpretieren. (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.5).

Im Vorderberger Untersuchungsgebiet zeigt sich ein etwas anderes Muster der Wertausprägung für die statistische Power, die Sensitivität und den PPV: die Varianten mit 90, 80, 30 und 20% der Originalpunkte haben einen Wert für die statistische Power, der die Interpretation der Sensitivität und des PPV zulässt. Sind bei den auf 90 und 80% reduzierten Varianten die Werte für die Sensitivität und den PPV noch bei 1, so rutschen sie bei den auf 30 und 20% reduzierten Varianten unter diese Marke. Den jeweils kleinsten Wert für die Sensitivität und den PPV weist die auf 20% reduzierte Variante auf, was für eine relativ große Lageverschiebung gegenüber dem Referenzcluster spricht (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.5).

Tabelle 6.5: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der punktreduzierten Originaldatensätze. Die durchgestrichenen Werte sind aufgrund ihres 0-Wertes für die Power nicht zu interpretieren.

Stubenbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>ST_alle_GEB</b>	<b>0.060</b>	<b>336</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>0.462</b>	<b>0.12</b>			
<i>Punktreduzierte Datensätze</i>									
ST_aGEBabs_90	0.060	302	37	12	0.440	0.12	100	1.00	1.00
ST_aGEBabs_80	0.060	266	33	12	0.529	0.12	100	1.00	1.00
ST_aGEBabs_70	0.060	235	27	11	0.511	0.13	100	1.00	1.00
ST_aGEBabs_60	0.069	202	27	13	0.478	0.13	100	0.93	0.76
ST_aGEBabs_50	0.028	168	17	10	0.594	0.12	0	<del>1.00</del>	<del>0.37</del>
ST_aGEBabs_40	0.054	134	17	13	0.770	0.10	0	<del>1.00</del>	<del>0.88</del>
ST_aGEBabs_30	0.048	101	15	15	0.541	0.11	0	<del>0.07</del>	<del>0.11</del>
ST_aGEBabs_20	0.039	67	4	6	0.356	0.11	0	<del>0.00</del>	<del>0.00</del>
ST_aGEBabs_10	0.100	34	5	15	0.334	0.09	0	<del>0.00</del>	<del>0.00</del>

Vorderbergerbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>VO_alle_GEB</b>	<b>0.110</b>	<b>281</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>0.016</b>	<b>0.01</b>			
<i>Punktreduzierte Datensätze</i>									
VO_aGEBabs_90	0.110	253	28	11	0.110	0.01	100	1.00	1.00
VO_aGEBabs_80	0.110	225	23	10	0.110	0.01	100	1.00	1.00
VO_aGEBabs_70	0.140	197	17	9	0.140	0.01	0	<del>1.00</del>	<del>0.58</del>
VO_aGEBabs_60	0.160	169	20	12	0.160	0.01	0	<del>0.93</del>	<del>0.37</del>
VO_aGEBabs_50	0.110	141	12	9	0.110	0.01	0	<del>1.00</del>	<del>1.00</del>
VO_aGEBabs_40	0.053	112	10	9	0.053	0.01	0	<del>0.27</del>	<del>1.00</del>
VO_aGEBabs_30	0.073	84	10	12	0.073	0.00	100	0.33	0.83
VO_aGEBabs_20	0.059	56	9	16	0.059	0.01	100	0.13	0.50
VO_aGEBabs_10	0.200	28	2	7	0.200	0.00	0	<del>0.60</del>	<del>0.13</del>

### 6.6.2 Power, Sensitivität und PPV für die Originaldatensätze mit Verhältnisänderung

Im Untersuchungsgebiet Stubenbach zeigt sich ein verhältnismäßig homogenes Bild: alle Datensätze zwischen 8 und 70% beschädigten Gebäuden weisen eine hohe statistische Power auf. Die Cluster dieser Datensätze zeigen durchgehend Sensitivitätswerte von 1 und einen PPV < 1. Dies bedeutet, dass alle Cluster dieser Datensätze den Referenzcluster räumlich überlagern, was auch an ihren Radien abzulesen ist, die alle größer sind, als der des Referenzclusters. Eine Ausnahme stellt der Cluster der Variante mit 30% beschädigten Gebäuden dar: er weist sowohl einen Sensitivitäts- als auch einen PPV-Wert von 1 auf, was – in Kombination mit einem, dem Referenzradius identischen Radius – die Schlussfolgerung zulässt, dass der Referenzcluster und der

Cluster dieser Variante deckungsgleich sind. Eine weitere Ausnahme stellt der Cluster der Variante mit 1% beschädigten Gebäuden dar. Er weist eine statistische Power von 100 auf und zeigt einen sehr kleinen Sensitivitätswert und einen PPV-Wert von 1. Diese Konstellation der Werte lässt den Schluss zu, dass der untersuchte Cluster sehr klein ist und räumlich innerhalb der Abgrenzung des Referenzclusters zu liegen kommt. Der im Verhältnis zum Referenzradius geringe Radius von 19 Metern untermauert dieses Ergebnis (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.6).

*Tabelle 6.6: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der Originaldatensätze mit geändertem Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden. Die durchgestrichenen Werte sind aufgrund ihres 0-Wertes für die Power nicht zu interpretieren.*

Stubenbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>ST_alle_GEB</b>	<b>0.060</b>	<b>336</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>0.462</b>	<b>0.12</b>			
<i>Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden</i>									
ST_aGEBrel_1	0.019	300	3	1	0.709	0.03	100	0.14	1.00
ST_aGEBrel_2	0.025	303	6	2	0.396	0.06	0	<del>0.00</del>	<del>0.00</del>
ST_aGEBrel_4	0.046	309	12	4	0.355	0.04	0	<del>0.00</del>	<del>0.00</del>
ST_aGEBrel_6	0.060	316	19	6	0.311	0.08	0	<del>1.00</del>	<del>1.00</del>
ST_aGEBrel_8	0.076	323	26	8	0.350	0.10	100	1.00	0.67
ST_aGEBrel_10	0.082	330	33	10	0.377	0.11	100	1.00	0.64
ST_aGEBrel_20	0.075	200	39	20	0.454	0.14	100	1.00	0.70
ST_aGEBrel_30	0.060	130	39	30	0.511	0.17	100	1.00	1.00
ST_aGEBrel_40	0.075	98	39	40	0.421	0.20	100	1.00	0.70
ST_aGEBrel_50	0.110	78	39	50	0.436	0.21	100	1.00	0.33
ST_aGEBrel_60	0.110	65	39	60	0.418	0.22	100	1.00	0.33
ST_aGEBrel_70	0.075	56	39	70	0.420	0.24	100	1.00	0.70
ST_aGEBrel_80	0.110	49	39	80	0.350	0.26	0	<del>1.00</del>	<del>0.33</del>
ST_aGEBrel_90	0.075	44	39	89	0.380	0.26	0	<del>1.00</del>	<del>0.70</del>
ST_aGEBrel_100	0.061	39	39	100	0.460	0.26	0	<del>0.57</del>	<del>0.50</del>
<b>Vorderbergerbach</b>									
Vorderbergerbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>VO_alle_GEB</b>	<b>0.110</b>	<b>281</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>0.016</b>	<b>0.01</b>			
<i>Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden</i>									
VO_aGEBrel_1	0.036	254	3	1	0.022	0.00	100	0.07	0.50
VO_aGEBrel_2	0.089	256	5	2	0.011	0.00	0	<del>0.00</del>	<del>1.00</del>
VO_aGEBrel_4	0.059	261	10	4	0.017	0.00	0	<del>0.13</del>	<del>0.50</del>
VO_aGEBrel_6	0.027	266	15	6	0.019	0.00	100	0.00	0.00
VO_aGEBrel_8	0.120	273	22	8	0.010	0.01	0	<del>1.00</del>	<del>0.68</del>
VO_aGEBrel_10	0.110	279	28	10	0.016	0.01	100	1.00	1.00
VO_aGEBrel_20	0.170	150	30	20	0.013	0.01	100	1.00	0.30
VO_aGEBrel_30	0.110	100	30	30	0.022	0.01	100	1.00	1.00
VO_aGEBrel_40	0.160	75	30	40	0.026	0.01	100	1.00	0.45
VO_aGEBrel_50	0.140	60	30	50	0.021	0.01	100	1.00	0.68
VO_aGEBrel_60	0.140	50	30	60	0.020	0.01	100	1.00	0.68
VO_aGEBrel_70	0.160	43	30	70	0.017	0.01	0	<del>1.00</del>	<del>0.45</del>
VO_aGEBrel_80	0.083	38	30	79	0.024	0.01	0	<del>0.73</del>	<del>1.00</del>
VO_aGEBrel_90	0.160	33	30	91	0.018	0.01	100	1.00	0.45
VO_aGEBrel_100	0.160	30	30	100	0.017	0.01	0	<del>1.00</del>	<del>0.45</del>

Im Kärntner Untersuchungsgebiet zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie im Tiroler Untersuchungsgebiet: Die Cluster der Datensätze zwischen 10 und 60% und der Cluster des Datensatzes mit 90% beschädigten Gebäuden weisen eine statistische Power von 100 auf sowie einen Sensitivitätswert von 1 und einen PPV-Wert  $< 1$ . Ebenso wie im Tiroler Untersuchungsgebiet weist die Variante mit 30% beschädigten Gebäuden sowohl einen Sensitivitäts- als auch einen PPV-Wert von 1 auf. (In beiden Untersuchungsgebieten ist die 30% Variante deckungsgleich mit der Originalvariante.) Auch die Variante mit 1% beschädigten Gebäuden zeigt einen Cluster der einen Sensitivitäts- und PPV-Wert  $< 1$  hat. Wie im Tiroler Untersuchungsgebiet lässt die Ausprägung der Werte für diesen Cluster den Schluss zu, dass er in seiner räumlichen Ausprägung sehr viel kleiner als der Referenzcluster ist und innerhalb des Referenzclusters zu liegen kommt. Der Cluster der Variante mit 6% beschädigten Gebäuden zeigt Lehrwerte für die Sensitivität und den PPV, was die Aussage zulässt, dass sich dieser Cluster in seiner Lage soweit vom Referenzcluster entfernt, dass keine gemeinsame Punktmenge mit dem Referenzcluster vorhanden ist (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.6).

### 6.6.3 Power, Sensitivität und PPV für die punktreduzierte Variante A

Die Cluster der Punktreduzierten Datensätze der Variante A des Tiroler Untersuchungsgebietes haben einen durchgängig hohen Wert (100) für die statistische Power bis zur Reduktion der Originalpunkte auf 30%. Bei den Clustern der Datensätze von 20-10% der Originalpunkte nimmt die statistische Power den Wert 0 an. Die Sensitivitäts- und PPV-Werte der Varianten zwischen 90-70% der Originalpunkte und der Variante mit 30% der Originalpunkte sind stabil und lassen den Schluss zu, dass die neuen Cluster eine größere Punktmenge beinhalten als der Referenzcluster und diesen räumlich überlagern.

Die Varianten zwischen 60-40% der Originalpunkte weisen sowohl Sensitivitäts- als auch PPV-Werte  $< 1$  auf und lassen schließen, dass die neuen Cluster gegenüber dem Referenzcluster räumlich verschoben sind und sich mit ihm überlappen (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.7).

Die Ergebnisse des Vorderberger Untersuchungsgebietes zeigen für die Varianten zwischen 90-30% der Originaldatenpunkte einen Wert von 100 für die statistische Power. Für die Varianten zwischen 80-40% der Originalpunkte nimmt die Sensitivität den Wert 1 an, wohingegen der PPV-Wert zwischen 0,56 und 1 schwankt. Die Variante mit 40% der Originalpunkte zeigt einen

Sensitivitäts- und PPV-Wert von 1 und ist somit als lageidentisch zum Referenzcluster zu interpretieren (für eine Zusammenfassung der Ergebnisse siehe Tabelle 6.7).

Tabelle 6.7: Power, Sensitivität und PPV der punktreduzierten Datensätze ausgehend von Variante A. Die durchgestrichenen Werte sind aufgrund ihres 0-Wertes für die Power nicht zu interpretieren.

Stubenbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>ST_alle_GEB</b>	<b>0.060</b>	<b>336</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>0.462</b>	<b>0.12</b>			
ST_Variante_A	0.076	672	85	13	0.401	0.12	100	1.00	0.67
<i>Punktreduzierte Datensätze</i>									
ST_VarAabs_90	0.076	605	81	13	0.380	0.12	100	1.00	0.67
ST_VarAabs_80	0.076	538	65	12	0.401	0.12	100	1.00	0.67
ST_VarAabs_70	0.076	470	54	11	0.373	0.11	100	1.00	0.67
ST_VarAabs_60	0.090	403	51	13	0.360	0.12	100	0.86	0.48
ST_VarAabs_50	0.067	336	38	11	0.446	0.08	100	0.71	0.67
ST_VarAabs_40	0.052	269	37	14	0.520	0.10	100	0.71	0.91
ST_VarAabs_30	0.088	202	20	10	0.445	0.09	100	1.00	0.52
ST_VarAabs_20	0.062	134	12	9	0.479	0.06	0	<del>0.50</del>	<del>0.78</del>
ST_VarAabs_10	0.079	67	9	13	0.281	0.10	0	<del>0.00</del>	<del>0.00</del>
<i>Vorderbergerbach</i>									
Vorderbergerbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<b>VO_alle_GEB</b>	<b>0.110</b>	<b>281</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>0.016</b>	<b>0.01</b>			
VO_Variante_A	0.140	562	57	10	0.015	0.01	100	1.00	0.58
<i>Punktreduzierte Datensätze</i>									
VO_VarAabs_90	0.060	506	53	10	0.030	0.01	100	0.20	0.75
VO_VarAabs_80	0.140	450	42	9	0.014	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarAabs_70	0.130	393	44	11	0.016	0.01	100	1.00	0.56
VO_VarAabs_60	0.140	337	33	10	0.021	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarAabs_50	0.120	281	35	12	0.019	0.01	100	1.00	0.56
VO_VarAabs_40	0.110	225	33	15	0.031	0.01	100	1.00	1.00
VO_VarAabs_30	0.026	169	16	9	0.049	0.01	100	0.07	0.33
VO_VarAabs_20	0.040	112	11	10	0.031	0.00	0	<del>0.13</del>	<del>0.40</del>
VO_VarAabs_10	0.070	56	6	11	0.029	0.01	0	<del>0.40</del>	<del>0.67</del>

### 6.6.4 Power, Sensitivität und PPV für die Variante A mit Verhältnisänderung

Die Datensätze des Tiroler Untersuchungsgebietes und deren Cluster zeigen ab der Variante mit 8% beschädigten Gebäuden bis zur Variante mit 100% beschädigten Gebäuden den Wert 100 für die statistische Power. Bei all diesen Varianten liegt der Wert für die Sensitivität bei 1, wohingegen der Wert für den PPV zwischen 0,36 (20, 30, 50, 70, 80% beschädigte Gebäude) und 0,93 (90,

100% beschädigte Gebäude) schwankt. Im Endeffekt bedeutet dies für das Untersuchungsgebiet Stubenbach, dass alle Varianten mit über 6% beschädigten Gebäuden hochsignifikante A-Cluster aufweisen, die den Referenzcluster räumlich überdecken und in ihren Radien zwischen 61 und 110 Metern schwanken (für eine Ergebnisübersicht siehe Tabelle 6.8).

*Tabelle 6.8: Power, Sensitivität und PPV für die Cluster der Datensätze mit geändertem Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden ausgehend von Variante A. Die durchgestrichenen Werte sind aufgrund ihres 0-Wertes für die Power nicht zu interpretieren.*

Stubenbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<i>Ausgangsdatensatz: ST_Varainte_A</i>									
<b>ST_alle_GEB</b>	<b>0.060</b>	<b>336</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>0.462</b>	<b>0.12</b>			
ST_Variante_A	0.076	672	85	13	0.401	0.12	100	1.00	0.67
<i>Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden</i>									
ST_VarArel_1	0.009	593	6	1	0.369	0.03	0	0-00	0-00
ST_VarArel_2	0.025	599	12	2	0.218	0.03	0	0-00	0-00
ST_VarArel_4	0.028	612	25	4	0.788	0.08	0	0-24	0-50
ST_VarArel_6	0.088	625	38	6	0.315	0.08	100	1.00	0.52
ST_VarArel_8	0.088	638	51	8	0.309	0.10	100	1.00	0.52
ST_VarArel_10	0.076	652	65	10	0.404	0.11	100	1.00	0.67
ST_VarArel_20	0.110	425	85	20	0.369	0.14	100	1.00	0.36
ST_VarArel_30	0.110	283	85	30	0.346	0.17	100	1.00	0.36
ST_VarArel_40	0.100	212	85	40	0.385	0.19	100	1.00	0.39
ST_VarArel_50	0.110	170	85	50	0.379	0.20	100	1.00	0.36
ST_VarArel_60	0.100	141	85	60	0.366	0.22	100	1.00	0.39
ST_VarArel_70	0.110	121	85	70	0.353	0.23	100	1.00	0.36
ST_VarArel_80	0.110	106	85	80	0.330	0.24	100	1.00	0.36
ST_VarArel_90	0.061	94	85	90	0.390	0.25	100	1.00	0.93
ST_VarArel_100	0.061	85	85	100	0.370	0.26	100	1.00	0.93
<i>Vorderbergerbach</i>									
Vorderbergerbach	Clusterradius [km]	Punkteanzahl			Mittelwertdif.	STD Cluster	Power [%]	Sensitivität	PPV
		Punkte	Fälle	in %					
<i>VO_alle_GEB</i>									
<b>VO_alle_GEB</b>	<b>0.110</b>	<b>281</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>0.016</b>	<b>0.01</b>			
VO_Variante_A	0.140	562	57	10	0.015	0.01	100	1.00	0.58
<i>Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden</i>									
VO_VarArel_1	0.018	510	5	1	0.023	0.00	0	0-00	0-00
VO_VarArel_2	0.061	515	10	2	0.017	0.00	0	0-47	1-00
VO_VarArel_4	0.068	526	21	4	0.012	0.00	0	0-00	0-00
VO_VarArel_6	0.110	537	32	6	0.009	0.00	0	0-73	0-65
VO_VarArel_8	0.110	549	44	8	0.016	0.01	100	0.80	0.71
VO_Variante_A	0.140	562	57	10	0.015	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarArel_20	0.140	285	57	20	0.021	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarArel_30	0.170	190	57	30	0.023	0.01	100	1.00	0.45
VO_VarArel_40	0.140	143	57	40	0.027	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarArel_50	0.150	114	57	50	0.023	0.01	100	1.00	0.45
VO_VarArel_60	0.170	95	57	60	0.022	0.01	100	1.00	0.45
VO_VarArel_70	0.140	82	57	70	0.024	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarArel_80	0.140	71	57	80	0.022	0.01	100	1.00	0.58
VO_VarArel_90	0.170	63	57	90	0.021	0.01	100	1.00	0.45
VO_VarArel_100	0.170	57	57	100	0.019	0.01	100	1.00	0.45

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Vorderberger Untersuchungsgebiet: alle Varianten zwischen 8-100% beschädigten Gebäuden weisen eine statistische Power von 100 auf. Zwischen 10-100% beschädigten Gebäuden nimmt auch die Sensitivität einen Wert von 1 an. Die Werte für den PPV weisen kein Muster auf und schwanken zwischen 0,71 und 0,45 (für eine Ergebnisübersicht siehe Tabelle 6.8).

## 6.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Um abschließend die Essenz der vorangegangenen sehr detaillierten Beschreibung der Ergebnisse zu extrahieren, werden in weiterer Folge die Hauptergebnisse noch einmal in kurzer Form wiedergegeben.

Die **Clusteranalyse der Originaldatensätze** beider Untersuchungsgebiete (UG) ergab für das UG Stubenbach zwei Cluster, von denen der A-Cluster mit einem p-Value von 0,001 hochsignifikant ist. In seiner räumlichen Lage befindet sich dieser Cluster nordöstlich des alten Ortskerns auf der orographisch linken Seite des Stubenbaches und beinhaltet 14 von insgesamt 336 Gebäudepunkten. Für das UG Vorderbergerbach konnten ebenfalls zwei Cluster identifiziert werden von denen der A-Cluster einen p-Value von 0,022 aufweist und damit auf dem 0,05-Niveau signifikant ist. Innerhalb der Grenzen dieses A-Clusters liegen 15 von insgesamt 281 Gebäudepunkten. Die Cluster der Originaldatensätze wurden für beide Untersuchungsgebiete als Referenzcluster definiert, mit denen die Cluster aller weiteren Varianten verglichen wurden.

Bei der **Punkterhöhung** und Schadenlastwertzuweisung über Variante A zeigt sich eine höhere Signifikanz der Cluster, bei vergleichbarer Lage in beiden Untersuchungsgebieten. Bei der Wertzuweisung über die Weibullfunktion und die 99% Konfidenzbänder (Variante B) zeigt sich im UG Stubenbach ein sehr gut mit dem Ausgangsdatensatz übereinstimmendes Bild der Signifikanz und der räumlichen Clusterverteilung. Im Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach finden sich bei Variante B zwar signifikante A- und B-Cluster, jedoch sind diese in ihrer räumlichen Lage nicht mehr mit der Originalsituation vergleichbar. Über die Punkterhöhung konnte also gezeigt werden, dass sich zum einen die Signifikanz der Ergebnisse erhöht und dass zum anderen die Zuweisung der Schadenlastwerte über die Weibullfunktion nicht für beide Untersuchungsgebiete gleichermaßen geeignet ist.

Bei der **Punktreduktion** (mit annähernd gleichbleibendem Verhältnis zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden) des Originaldatensatzes, sowie der Variante A lassen sich im UG

Stubenbach bis zu einer absoluten Punktzahl von 202 Gebäudepunkten hochsignifikante A-Cluster finden. Im UG Vorderbergerbach lässt sich ein solcher gemeinsamer Schwellenwert von Variante A und den Originaldaten auch feststellen: die Datensätze der punktreduzierten Originaldaten zwischen 100-80% der Punkte (absolut zwischen 281-225 Punkten) zeigen stabile Cluster, d.h. sie sind aufgrund ihrer Power, sowie der hohen Sensitivität und des PPVs gut mit dem Referenzcluster vergleichbar. Die Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A ergab über den Bereich zwischen 80-40% der Punkte (absolut zwischen 450-225 Punkten) relativ lagestabile und signifikante Cluster. Obwohl auch der Datensatz, der auf 30% reduzierten Variante A einen hochsignifikanten Cluster aufweist, wurde dies Ergebnis aufgrund der sehr niedrigen Werte für die Sensitivität und den PPV und der geringen Punktzahl innerhalb des Clusters, nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in beiden Untersuchungsgebieten Schwellenwerte für die absolute Punktzahl gefunden werden konnten, ab denen sich entweder die Signifikanz der Cluster ändert, oder die Güte (im Sinne von erklärender Varianz und Anzahl der Gebäudepunkte innerhalb des Clusters).

Bei der Änderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden lassen sich im UG Stubenbach sowohl bei den Originaldaten, als auch bei Variante A im Bereich zwischen 20-50% beschädigte Gebäude gute Cluster finden, die einen relativ hohen Anteil der Varianz erklären können und eine plausible Anzahl an Gebäudepunkten beinhalten. Betrachtet man nur die indirekten Lageparameter (Sensitivität und PPV), so ergeben sich für die Originaldaten zwischen 8-70% beschädigte Gebäude und für Variante A zwischen 6-100% beschädigte Gebäude relativ lagestabile Cluster. Auch im UG Vorderbergerbach zeigt sich ein ähnliches Bild was den Schluss zulässt, dass der Prozentbereich (beschädigte zu nicht-beschädigten Gebäuden), in dem relativ gute Cluster gefunden werden, bei größerer absoluter Punktzahl größer ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Punktdatensätze sensibler auf Schwankungen im Anteil von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden reagieren, je geringer ihre absolute Punktzahl ist.



## 7 DISKUSSION

In diesem Kapitel wird die Methodik diskutiert um Schlüsse für die Aussagekraft der Ergebnisse und künftige Anwendungen ziehen zu können. Ziel ist es, die Arbeitsschritte und Ergebnisse noch einmal verständlich zu machen, indem sie im Rahmen der ihnen zu Grunde liegenden Annahmen und Überlegungen dargelegt werden. Die Hauptergebnisse werden noch einmal zusammenfassend wiedergegeben, wobei auch immer wieder der Konnex zu den Arbeitshypothesen hergestellt wird, um sie in weiterer Folge im Lichte der Ergebnisse überprüfen zu können.

Die **Punkterhöhung** erfolgte zufallsbasiert über ein Tool im ArcGIS. Praktisch gesehen würde eine Verdoppelung der Punktzahl einer Verdoppelung der Bebauungsdichte entsprechen, da jeder Punkt für ein zusätzliches Gebäude steht. Um eine möglichst realitätsnahe Situation nachzubilden, wurde den zufallsverteilten Punkten über zwei Varianten (A und B) Werte für die Schadenlast zugewiesen. Die Überlegung, die hinter dieser Vorgehensweise der Punkterhöhung steht war folgende: lässt sich bei einer räumlichen Clusteranalyse mit SaTScan ein Unterschied in der Signifikanz und in der räumlichen Lage sowie Größe der Cluster feststellen wenn die Punktdichte erhöht ist? Ist weiters die modifizierte Weibullkurve für absolute Werte nach Totschnig et al. (2011) dazu geeignet, Schadenlastwerte auf Grundlage der Ablagerungshöhen zu schätzen? Zeigen sich Auswirkungen der Unsicherheiten in der Berechnung der Weibullkurve bei einer räumlichen Clusteranalyse? Um diese Fragen beantworten zu können, müssen zunächst beide **Varianten der Wertezuweisung** diskutiert werden: Die Zufallsverteilung der Punkte erfolgte über das Tool *Create Random Points* im ArcGIS. Dieses Tool basiert auf einem einfachen Algorithmus, der eine Liste von Zufallskordinaten innerhalb einer Fläche generiert. Um keine Überschneidungen mit vorhandenen Siedlungselementen zu verursachen, wurde die Fläche, auf der die Zufallspunkte erstellt werden sollten, genau definiert. Die Verteilung der künstlichen Gebäudepunkte basiert rein auf Zufälligkeit, wohingegen die Zuteilung von Schadenlastwerten regelbasiert erfolgte. Hierbei wurde versucht die Werte möglichst ohne subjektive Einflussnahme zuzuweisen. Die räumliche Autokorrelation der Schadenlastwerte in den Originaldaten war das Argument für die Anwendung der Variante A (Zuweisung der Schadenlastwerte über einen Suchradius). Der Suchradius wurde

über den mittleren Abstand der beschädigten Gebäude zur Hauptprozessachse definiert, weshalb sich für die beiden Untersuchungsgebiete sehr unterschiedliche Radien ergaben.

Die Wertezuweisung über **Variante A** trägt den Unterschieden der beiden Untersuchungsgebiete Rechnung, indem sie indirekt über den Suchradius die jeweilige Siedlungsstruktur und eventuell vorhandenen Verbauungsmaßnahmen sowie die Topographie und den Prozesscharakter mit einbezieht: der Ort Vorderberg liegt in der flachen und weitläufigen Überschwemmungsfläche der Gail. Durch ihn fließt der Vorderbergerbach, der aufgrund seines Einzugsgebietes zu einer Prozesscharakteristik neigt, die vor allem durch den Transport von Feinmaterial dominiert ist. Durch die Tatsache, dass das Gailtal genügend Raum bietet um großflächig zu siedeln ist die Siedlungsstruktur von Vorderberg weniger dicht, als die des Tiroler Untersuchungsgebiets. Auch die Tatsache, dass der Ort Vorderberg durch ein Retentionsbecken im südlichen Siedlungsbereich in seiner flächigen Ausbreitung auseinander gezogen wird, trägt dazu bei, dass sich der mittlere Abstand der Gebäude zum Hauptprozessbereich gegenüber dem Untersuchungsgebiet Stubenbach vergrößert. Ebenso hat die Prozesscharakteristik des Vorderbergerbaches eine großflächigere Verteilung der betroffenen und beschädigten Gebäude zur Folge, da sich der Prozess viel flächenhafter ausbreiten kann, als es für das Tiroler Untersuchungsgebiet der Fall ist. Ein weiterer Vorteil der Variante A ist die realitätsnahe Abbildung der Schadenlastwerte. Bei Variante A werden nur tatsächlich beobachtete Werte für die Schadenlast zugewiesen, bei Variante B handelt es sich um berechnete Werte.

**Variante B** liegt die Berechnung der Schadenlast auf Basis der interpolierten Ablagerungshöhen und der Weibullfunktion zugrunde. Die Hauptfrage war, ob die Weibullfunktion angewendet werden kann, um Schadenlastwerte auf Grundlage der Beziehung zwischen Prozessintensität und räumlicher Lage der Risikoelemente zu berechnen. Eine weitere Frage im Bezug auf die Anwendbarkeit der Weibullfunktion war, ob sich die Streuung der Werte, die schon bei einer rein visuellen Beurteilung der Kurve offensichtlich wird, auf die räumliche Clusteranalyse auswirkt. Hierzu wurden die Schadenlastwerte über die 99% Konfidenzbänder der Weibullfunktion berechnet und räumlich analysiert. Die Vorgehensweise der Wertezuweisung über die Weibullfunktion hat zur Folge, dass die errechneten Schadenlastwerte sehr stark von der Interpolation der Ablagerungshöhen abhängen und mit ihr korrelieren. Wie jedoch Fuchs et al. (2012) feststellten, besteht bei einer, um die räumliche Dimension erweiterten Analyse der physischen Vulnerabilität nicht zwingend ein positiv korrelierender Zusammenhang zwischen Ablagerungshöhe und Schadenlast. Die Wertezuweisung über Variante B tendiert also zum einen dazu die Interpolation der Ablagerungshöhen räumlich nachzubilden und zum anderen überschätzt sie, im Falle des Vorderberger Untersuchungsgebietes, die tatsächlich aufgetretenen Schadenwerte. Die Überschätzung ist

in absoluten Zahlen zwar recht gering (das Schadenausmaß erhöht sich im Maximalfall um 0,15 Punkte), relativ gesehen ist die Überschätzung jedoch mit bis zu 200% recht groß. Eine Erklärung für diese Beobachtung ist, dass im Kärntner Untersuchungsgebiet die Verteilung der Schadenlastwerte – weniger als im Tiroler Untersuchungsgebiet – von der Intensität des Ereignisses abhängt, als von anderen Faktoren. Beispielsweise zeigen die beiden Untersuchungsgebiete Unterschiede in der Bauweise der Gebäude: in Vorderberg ist eine Vielzahl der Häuser ohne Keller angelegt, was dazu führte, dass hohe Schäden, die durch Materialeintritt in den Keller entstehen, vermieden wurden. Zum Teil kam es auch zu einer alternativen (d.h. nicht über den Katastrophenfonds abgedeckten) Kompensierung der entstandenen Schäden, was dazu führte, dass für einige Gebäude kein Schaden ausgewiesen wurde, obwohl sie betroffen waren. Diese Unvollständigkeit in den Schadendaten macht es schwieriger die räumliche Korrelation zwischen Schadenausmaß und Prozessintensität herzustellen und hat folglich Auswirkungen auf die Berechnung der Weibullfunktion. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach, aufgrund eines anderen rheologischen Prozessverhaltens (im Vergleich zu den anderen, die Kurve konstituierenden Untersuchungsgebieten) nicht dazu geeignet ist, in die Berechnung der Weibullfunktion mit einbezogen zu werden.

Durch die Anwendung der Weibullfunktion ist Variante B zwar unabhängiger, aber nur mit Expertenwissen anwendbar. Dies hat mehrere Gründe: zum einen ist die Funktion sehr stark von den gemessenen Ablagerungshöhen abhängig und zum anderen reagiert sie sehr sensitiv gegenüber der Prozesscharakteristik. Je murartiger ein Prozess ist, desto stimmiger sind die Ergebnisse der Wertezuweisung über Variante B.

Die Ergebnisse der **Clusteranalysen der Varianten A und B** bestätigen die zuvor diskutierten Punkte: für das Tiroler Untersuchungsgebiet liefern beide Varianten (inklusive der Analyse der Konfidenzintervalle der Variante B) plausible Ergebnisse hinsichtlich der Signifikanz der gefundenen Cluster sowie der Lage der Clustermittelpunkte. Die A-Cluster aller Varianten sind hochsignifikant und die Lageverschiebung des Clustermittelpunktes gegenüber ihrem Referenzcluster aus dem Originaldatensatz beträgt für alle A-Cluster 0 Meter. Dies bedeutet, dass im Falle des Tiroler Untersuchungsgebietes beide Varianten der Zuweisung der Schadenlastwerte sehr stabile Ergebnisse liefern. Im Kärntner Untersuchungsgebiet zeigt sich bei beiden Varianten eine Erhöhung der Signifikanz der Ergebnisse gegenüber den Originaldaten. Es sind zwar nicht alle A-Cluster hochsignifikant, aber alle vorhandenen B-Cluster erreichen das Signifikanzniveau von 0,05. Die zuvor angeführten Diskussionspunkte spiegeln sich auch in den Ergebnissen der beiden Varianten wider: die Ergebnisse der Variante A zeigen eine erhöhte Signifikanz des A-Clusters, bei geringfügiger Lageverschiebung des Mittelpunktes. Die Zuweisung der Schadenlastwerte über

Variante B verzerrt das tatsächliche Bild der Schäden so stark, dass die Cluster in allen Datensätzen der Variante B (inklusive der Analyse der Konfidenzintervalle) nichts mehr mit den Clustern der Originaldaten zu tun haben. Dies ist zum einen ein Artefakt der Zufallsverteilung der Punkte, die im gesamten potentiell betroffenen Raum Punkte ausgibt und damit die vorhandene Siedlungsstruktur zum einen bis zu einem gewissen Grad relativiert und verdichtet. Zum anderen ist dies ein Artefakt der Wertzuweisung über die interpolierten Ablagerungshöhen und die Weibullfunktion, die die Schadenlast im Vorderberger Untersuchungsgebiet sehr stark überschätzt. Letztendlich zeigen diese Ergebnisse auch den Einfluss eines Damms, der zum Schutz gegen die Hochwasser der Gail errichtet wurde. Hinter diesem Damm wurden im Zuge der Ereignisdokumentation am Vorderbergerbach die höchsten Ablagerungshöhen gemessen, da sich das vom Vorderbergerbach mitgeführte Material hinter dem Damm ablagerte.

Die **Punktreduktion** wurde neben den Originaldatensätzen nur mit Variante A durchgeführt, da sie neben der stimmigeren Abbildung der Schadenlastwerte indirekt auch die Topographie, die Verbauungen und die Siedlungsstruktur berücksichtigt. Die Punktreduktion wurde in 10%-Schritten durchgeführt, wobei immer zum Ausgangsdatsatz (entspricht dem Originaldatensatz, respektive dem Datensatz der Variante A) zurückgekehrt wurde. Dies hat zur Folge, dass die Datensätze nicht aufeinander aufbauen sondern sich immer aus einer unterschiedlichen Konstellation von Punkten zusammensetzen. Über das ArcGIS Tool *Create Random Points* wurden Punkte nichtselektiv aus den Ausgangsdatsätzen gelöscht, mit dem Ergebnis, dass das Verhältnis der beschädigten zu den nichtbeschädigten Gebäuden stabil und mit dem Ausgangsdatsatz vergleichbar blieb.

Die Analysen der Datensätze in SaTScan zeigen, dass bis auf einzelne Ausnahmen immer Cluster gefunden werden können. Basierend auf der Punktreduktion der Originaldaten werden im Untersuchungsgebiet Stubenbach über einen recht weiten Bereich lagestabile Cluster gefunden, die ihre Signifikanz erst ab dem auf 50% reduzierten Datensatz ändern. In absoluten Zahlen entspricht das einem Datensatz von 202 Punkten, was insofern bemerkenswert ist, da sich auch bei der auf 202 Punkte reduzierten Variante A des Tiroler Untersuchungsgebietes die Signifikanz ändert. Im Kärntner Untersuchungsgebiet lässt sich ein ähnliches Muster beobachten. Auch hier konnte ein Schwellenwert von absolut 225 Punkten festgestellt werden, ab dem sich die Signifikanz der Cluster ändert. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Programm SaTScan nahezu immer Cluster findet, wobei jedoch die Ergebnisse sehr stark davon abhängig sind, welche Punkte zufällig aus dem Ausgangsdatsatz ausgewählt und gelöscht werden. Bei einer relativ großen Punktzahl sind die Auswirkungen auf die Ergebnisse der Clusteranalysen geringer einzuschätzen.

Auch die **Änderung des Verhältnisses** zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden erfolgte mit dem ArcGIS Tool *Create Random Points*. Diese Datensätze (ebenso die Datensätze der

Punktreduktion) bauen nicht aufeinander auf und bestehen aus einer immer neuen Konstellation von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden. Bei einer Clusteranalyse in SaTScan zeigt sich, dass die Daten relativ robust gegenüber Änderungen des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäuden sind. Sowohl im Tiroler, als auch im Kärntner Untersuchungsgebiet verhalten sich die Datensätze mit 8% bis 70% (bzw. 10% bis 60% im UG Vorderbergerbach) beschädigten Gebäuden sehr stabil im Vergleich zum Referenzcluster sowohl was ihre Lage, als auch ihre Signifikanz betrifft.

Zu den Analysen der Punkterhöhung, Punktreduktion und Verhältnisänderung ist zusammenfassend festzuhalten, dass es schwierig ist definitive Schwellenwerte festzulegen. Dies liegt zum einen daran, dass das Programm SaTScan nahezu immer Cluster finden kann, sobald der Unterschied in der Ausprägung der Schadenlastwerte ausreichend groß wird. Wie sich zeigte, ist der Unterschied zwischen dem Wert „0“ und dem Wert „ $\neq 0$ “ ausreichend groß, um mit dem Normalen Modell in SaTScan einen Cluster hoher Werte zu finden. Zum anderen ist die räumliche Lage der Datenpunkte mit dem Wert „0“ und „ $\neq 0$ “ zueinander der limitierende Faktor für das Auffinden von Clustern. Diese Tatsache mag trivial klingen (ist doch die Definition eines Clusters in SaTScan die, dass sich Werte innerhalb signifikant von den Werten ausserhalb unterscheiden), jedoch betont sie eindeutig die Wichtigkeit der räumlichen Lagebeziehung der Schadenpunkte zueinander.

Die Ergebnisse der Clusteranalysen zeigen, dass die Cluster trotz Variation der Ausgangsdatensätze (Punkterhöhung und -reduktion, sowie Verhältnisänderung) über einen relativ großen Datenbereich lagestabil und signifikant bleiben. In beiden Untersuchungsgebieten sind die Ergebnisse stabil, solange die Ausgangsdaten ein Verhältnis zwischen ca. 20% bis ca. 50% beschädigten Gebäuden und eine Punktezahl von weniger als 200 Punkten aufweisen. Hieraus lässt sich jedoch kein eindeutiger Schwellenwert, sowohl in der mindestens nötigen Punktezahl, als auch im Verhältnis von beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden ableiten.

Der Berechnung der Werte für die **Power, die Sensitivität und den PPV** liegt die Suche nach geeigneten Parametern zugrunde, die einen Vergleich verschiedener Cluster ermöglichen. Verglichen wird hierbei immer ein zuvor festgelegter Referenzcluster mit dem Cluster eines anderen Datensatzes (beispielsweise eines punktreduzierten Datensatzes). Der Vergleich erfolgt über die Punktmengen innerhalb der beiden Cluster sowie über deren Schnittmengen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass sich die Punktmengen, auf der die Clusteranalysen beruhen, mit jedem Punktszenario ändern. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde für beide Untersuchungsgebiete der jeweilige originale Punktdatensatz als Referenzdatensatz definiert, obwohl die zu vergleichenden Cluster auf sich unterscheidenden Datensätzen beruhen. Dies hat zur

Folge, dass die Parameter Sensitivität und PPV definitiv nur als indirekte Lagemaße zu interpretieren sind, die immer nur in Kombination mit der Information zum Radius betrachtet werden können. In der Literatur basiert die Berechnung der Parameter immer auf dem Mittelwert mehrmaliger Wiederholungen der selben Szenarien. Derartige iterative Analysen konnten jedoch im Rahmen der Diplomarbeit leider nicht durchgeführt werden. Außer Frage steht, dass eine mehrmalige Generierung des gleichen Punktszenarios die Aussagekraft der Parameter erhöhen würde.

Die Berechnung der Power, Sensitivität und des PPV ergänzen die Analysen in SaTScan um den Aspekt der Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Datensätze. Die Parameter geben indirekt Auskunft über die Lage der Cluster zueinander und über ihre Signifikanz, verglichen mit der des Referenzclusters. Damit bieten sie eine gute Übersicht über die Ergebnisse der Clusteranalysen.

Als **Fazit aus der vorhergegangenen Diskussion** werden in weiterer Folge die Arbeitshypothesen überprüft:

*1. Die spatial scan statistic von Kulldorff (1997) implementiert in der Freeware SaTScan ist geeignet, um unter Einbeziehung der Siedlungsstruktur räumliche Cluster hoher Schadenlastwerte zu erkennen und zu lokalisieren. Unter Verwendung des Normalen Modells kann gezeigt werden, dass die Siedlungsstruktur einen Einfluss auf das Auftreten von Clustern hoher Werte auf einem besiedelten Schwemmfächer hat.*

Diese Hypothese kann angenommen werden

*2. Die zur Verfügung stehenden Daten sind (ob ihrer Qualität und ihres Informationsgehaltes) für die Durchführung der Analysen in SaTScan geeignet.*

Diese Hypothese kann angenommen werden

*3. Die Verwendung der Weibull-Kurve für absolute Werte (nach Totschnig 2010) ist für die Durchführung einer Clusteranalyse in SaTScan zulässig. Die Miteinbeziehung der Unsicherheiten in der Berechnung der Kurve (Konfidenzintervalle) zeigt plausible Ergebnisse.*

Diese Hypothese muss verworfen werden

*4. Es lassen sich Schwellenwerte bei bestimmten Aspekten der Datenbeschaffenheit (absolute Punktzahl, relatives Verhältnis der beschädigten zu nicht-beschädigten Gebäuden) feststellen, ab denen eine Clusteranalyse mit SaTScan zulässig bzw. nicht mehr zulässig ist.*

Diese Hypothese muss verworfen werden

*5. Die Indizes Power, Positiver Vorhersagewert und Sensitivität sind geeignet, um die Güte der einzelnen Cluster im Vergleich zu einem Referenzcluster zu beurteilen.*

Diese Hypothese kann angenommen werden





## 8 RESÜMEE UND PERSPEKTIVEN

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigte sich mit Daten zur physischen Vulnerabilität, die von zwei sehr gut dokumentierten Wildbachereignissen am Stubenbach 2005 und am Vorderbergerbach 2003 vorlagen. Bei den Vulnerabilitätsdaten handelte es sich um Werte für die Schadenlast, die für jedes Gebäude, bei dem ein Schaden gemeldet wurde, mit Hilfe eines ökonomischen Ansatzes berechnet wurde. Die Daten lagen auf Gebäudeebene vor und boten somit eine sehr hohe räumliche Auflösung, die es erlaubte räumlich statistische Analysen auf einer sehr großen Maßstabsebene durchzuführen. Mit dem Programm SaTScan und dem darin implementierten Normalen Modell wurden die Daten auf räumliche Cluster hoher Werte untersucht und die Ergebnisse anschließend in Karten visualisiert. Die Abänderung der Datengrundlage (Erhöhung und Reduktion der absoluten Punktzahl und Änderung des Verhältnisses zwischen beschädigten und nicht-beschädigten Gebäudepunkten) hatte zum Ziel, die Grenzen der Anwendbarkeit der räumlichen Clusteranalyse abzustecken. Um ein Maß für die Plausibilität der erzielten Ergebnisse zu erhalten, wurde jede räumliche Clusteranalyse mit dem Ergebnis der Clusteranalyse der originalen Vulnerabilitätsdaten verglichen. Zu diesem Zweck wurden die Indizes Power, Sensitivität und PPV berechnet. All diese Analyseschritte hatten zum Ziel ein möglichst genaues Bild der räumlichen Clusterung von Daten der physischen Vulnerabilität gegenüber Wildbachereignissen zu erhalten.

Für weiterführende Analysen wäre es interessant, über noch detaillierte Daten zur physischen Vulnerabilität zu verfügen, die nicht nur Schadendaten aus dem Katastrophenfonds enthalten, sondern im Idealfall auf einer unabhängigen Berechnung des Schadens für jedes betroffene Gebäude basieren. Um andere Faktoren der physischen Vulnerabilität, wie beispielsweise das Gebäudealter, die verwendeten Materialien und die Bauart sowie die Anzahl und Ausstattung der einzelnen Stockwerke, oder auch eventuell vorhandenen Objektschutzmaßnahmen mit einbeziehen zu können, wäre eine Aufnahme dieser Faktoren in die verwendeten Daten sinnvoll. Wünschenswert wäre es auch, wenn bei der Ereignisdokumentation die Aufnahme der Ablagerungshöhen so detailliert wie möglich erfolgen würde, um den statistischen Fehler bei der Interpolation der Höhen möglichst gering zu halten. Mit hochauflösenden Laserscanner Aufnahmen (prä- und post

expositionem), liessen sich die Daten zur Ablagerungshöhe noch genauer bestimmen. Weiters wäre es von großem Interesse multitemporäre räumliche Analysen durchzuführen, für die Daten mehrerer Ereignisse im selben Untersuchungsgebiet benötigt würden.

Auf Basis einer detaillierteren Datengrundlage liesse sich die in der Diplomarbeit angewendeten Methodik und deren Ergebnisse um einige interessante Aspekte erweitern: die Software SaTScan bietet über die Anwendung des Normalen Modells hinaus die Möglichkeit, Daten auf zeitliche und raum-zeitliche Cluster zu untersuchen. Mit einer solchen Untersuchung ließe sich die zeitliche und raum-zeitliche Veränderung der Vulnerabilität untersuchen und in Karten visualisieren. Ebenso wäre es mit SaTScan möglich Kovariatenanalysen durchzuführen, mit der man den Einfluss von Faktoren wie beispielsweise des Gebäudealters auf die Vulnerabilität quantifizieren und darstellen könnte.

Auch die Tatsache, dass ein kreisrunder Cluster je nach zugrunde liegendem Prozess nicht die optimale geometrische Form ist, liesse sich in SaTScan durch die Anwendung eines elliptischen Scanfensers relativieren. Mit anderen Softwarepaketen, wie beispielsweise der Software CrimeStat (Levine 2010), wäre es möglich, Cluster mit einer Polygon-Form zu finden, oder auch Clusterungen entlang von Linien zu analysieren. Die Berechnung der Cluster in CrimeStat basiert zwar auf einem anderen Algorithmus, als dem, den das Programm SaTScan verwendet, jedoch wäre sie eine wertvolle Ergänzung zu den Ergebnissen, die bis jetzt mit SaTScan erzielt werden konnten.

Nicht zuletzt wäre es von großem Interesse die Frage nach Schwellenwerten in den Daten voranzutreiben, um eine Antwort darauf zu erhalten, wie die Daten beschaffen sein müssen, um eine Analyse in SaTScan bestmöglich durchführen zu können. Die Lösung dieser Fragen wäre auch im Hinblick auf Empfehlungen für die Aufnahme der Daten bei der Ereignisdokumentation interessant. Im Rahmen der in dieser Diplomarbeit entwickelten Methodik wäre es sinnvoll, die Analysen zur Punkterhöhung und Verringerung sowie zur Verhältnisänderung in einem iterativen Verfahren sehr oft zu wiederholen, um statistisch stabile Ergebnisse zu erzeugen. Eine sehr hohe Anzahl von Wiederholungen würde auch dazu beitragen, die Aussagekraft der Parameter Power, Sensitivität und PPV zu erhöhen.

Die Analysen zur räumlichen (und raum-zeitlichen) Clusterung von physischer Vulnerabilität könnten in weiterer Folge für die Risikoanalyse im Rahmen eines integralen Risikomanagements genutzt werden. Da bis jetzt noch nicht viele Konzepte und Untersuchungen zur Räumlichkeit (und Raum-Zeitlichkeit) von Vulnerabilität vorliegen, wäre eine raum-zeitliche Clusteranalyse ein wichtiger Beitrag zur Vulnerabilitätsanalyse. Die Ergebnisse der Clusteranalysen könnten weiters dazu verwendet werden Karten zu erstellen, die die Hotspots der Vulnerabilität zeigen. So wäre es möglich gezielte raumplanerische Maßnahmen in diesen Hotspots der Vulnerabilität zu initiieren,

sowie den Bau von Objektschutzmaßnahmen zu lancieren. Die Visualisierung der Ergebnisse von raum-zeitlichen Clusteranalysen könnten auch dazu beitragen, das Bewusstsein der Bevölkerung für den Einfluss von Naturgefahren zu stärken, um einen Beitrag zum nachhaltigeren Umgang mit Naturgefahren zu leisten.



## 9 LITERATURVERZEICHNIS

- ABLER, R., ADAMS, J.S. & GOULD, P. (1971) Spatial organization - the geographer's view of the world. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 587 Seiten.
- ABRAMS, A., KLEINMAN, K. & KULLDORFF, M. (2010) Gumbel based p-value approximations for spatial scan statistics. *International Journal of Health Geographics*, 9:61, 1-12.
- AKBAS, S.O., BLAHUT, J. & STERLACCHINI, S. (2009) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. In Malet, J.P., Remaitre, A. & Bogaard, T., (Hrsg.) *Proceedings of landslide processes: from geomorphic mapping to dynamic modelling*. Strasburg; Frankreich, 229–233.
- ALEXANDER, D.E. (2004) Natural Hazards on an Unquiet Earth. In Matthews, J.A. & Herbert, D.T., (Hrsg.) *Unifying Geography - Common heritage, shared future*. Abingdon, New York: Routledge, 266-282.
- ALEXANDER, D.E. (2002) *Principles of Emergency Planning and Managemet*. Harpenden: Terra Publishing, 340 Seiten.
- BESAG, J. & NEWELL, J. (1991) The detection of clusters in rare diseases. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)*, 154, 143–155.
- BMLFUW (2006) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Forst Abteilung Wildbach- und Lawinenverbauung: Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation, Teilbericht der Wildbach- und Lawinenverbauung. Wien, 126 Seiten.
- COWEN, D.J. (2008) The Availability of Geographic data: The Current Technical and Institutional Environment. In Wilson, J.P. & Fotheringham, S.A., (Hrsg.) *The Handbook of Geographic Information Science*. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, 11-34.
- CUTTER, S.L. (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20, 529–539.
- CUTTER, S.L., BARNES, L., BERRY, M., BURTON, C., EVANS, E., TATE, E. & WEBB, J. (2008) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 598–606.
- DIGGLE, P.J. (1983) *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. Sibson, R. & Cohen, J.E., (Hrsg.) London: Academic Press Inc., 148 Seiten.

- EGNER, H. & POTT, A. (2010) Risiko und Raum. In Egner, H. & Pott, A., (Hrsg.) Geographische Risikoforschung - Zur Konstruktion verräumlichter Risiken und Sicherheiten. Erdkundliches Wissen - Schriftenreihe für Forschung und Praxis. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 9-34.
- ELIASON, S.R. (2006) Maximum Likelihood Estimation: Logic and Practice (Quantitative Applications in the Social Sciences). 9. ed. Newbury Park: Sage Publications, 87 Seiten.
- EMBLETON-HAMANN, C. (1997) Naturgefahren in Österreich - Ursachen, Verbreitung, Schäden und Schutzmaßnahmen. Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. 139. Jahrgang (Jahresband). Wien, 197-230.
- FELL, R. (1994) Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal/Revue Canadienne de Geotechnique, 31, 261–272.
- FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E. & SAVAGE, W.Z. (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology, 102, 85–98.
- FORSTGESETZ (1975) Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird. 440/1975. Absatz VII, § 99. (1).
- FOTHERINGHAM, S.A. & ZHAN, B.F. (1996) A Comparison of Three Exploratory Methods for Cluster Detection in Spatial Point Patterns. Geographical Analysis, 28, 200-218.
- FUCHS, S. (2008) Klimawandel und sozioökonomische Veränderungen - Herausforderungen des Umgangs mit Naturgefahren in Berggebieten. In BMLFUW & ÖWAV, (Hrsg.) Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft. Wien, 117–128.
- FUCHS, S. (2009) Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 337–352.
- FUCHS, S., HEISS, K. & HÜBL, J. (2007a) Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, 495–506.
- FUCHS, S., HEISS, K. & HÜBL, J. (2007b) Vulnerability due to torrent events - a case study from Austria. In Kellerer-Pirklbauer, A., Keiler, M., Embleton-Hamann, C. & Stötter, J., (Hrsg.) Geomorphology for the Future. Innsbruck: Innsbruck University Press, 97–104.
- FUCHS, S., KUHLCHE, C. & MEYER, V. (2011) Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards - the challenge of integration. Natural Hazards, 58, 609–619.
- FUCHS, S., ORNETSMÜLLER, C. & TOTSCHNIG, R. (2012) Spatial scan statistics in risk assessment - an application on vulnerability to mountain hazards. Natural Hazards (online first).
- GLADE, T. (2003) Vulnerability Assessment in Landslide Risk Analysis - Vulnerabilitätsbewertung in der Naturrisikoanalyse gravitativer Massenbewegungen. Die Erde, 134, 123-146.
- HABERSACK, H., BÜRCEL, J. & KANONIER, A. (2009) FloodRisk II, Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement -

- Synthesebericht. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 259 Seiten.
- HJALMARS, U., KULLDORFF, M., GUSTAFSSON, G. & NAGARWALLA, N. (1996) Childhood leukemia in Sweden: Using GIS and a spatial scan statistic for cluster detection. *Statistics in Medicine*, 15, 707-715.
- HUANG, L., KULLDORFF, M. & GREGORIO, D. (2007) A Spatial Scan Statistic for Survival Data. *Biometrics*, 63, 109-118.
- HÜBL, J., FUCHS, S., SITTER, F. & TOTSCHNIG, R. (2011) Towards a Frequency-Magnitude Relationship for Torrent Events in Austria. In Genevois, R., Hamilton, D. & A. Prestininzi (Hrg.): 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Rom.
- HÜBL, J., KEILER, M. & FUCHS, S. (2009) Risikomanagement für alpine Naturgefahren. *Wildbach- und Lawinenverbauung* 163, 60-74.
- HÜBL, J., LEBER, D., BRAUNER, M., JANU, S., VOLK, G., HOLZINGER, H. & GRUBER, H. (2004) WLS Report 99: Dokumentation der Unwetterereignisse in den Gemeinden St. Stefan/Vorderberg und Feistritz an der Gail, Kärnten, vom 29. August 2003. Wien, 111 Seiten.
- HUILLARD D'AIGNAUX, J., COUSENS, S.N., DELASNERIE-LAUPRÊTRE, N., BRANDEL, J.-P., SALOMON, D. & LAPLANCHE, J.-L. (2002) Analysis of the geographical distribution of sporadic Creutzfeldt-Jakob disease in France between 1992 and 1998. *International Journal of Epidemiology*, 31, 490-495.
- IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 582 Seiten.
- JACQUEZ, G.M. (2008) Spatial Cluster Analysis. In Wilson, J.P. & Fotheringham, S.A., (Hrsg.) *The Handbook of Geographic Information Science*. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, 395-416.
- JUNG, I., KULLDORFF, M. & KLASSEN, A.C. (2007) A spatial scan statistic for ordinal data. *Statistics in Medicine*, 26, 1594-1607.
- KEILER, M. 2004. Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950–2000, case study Galtür. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 249–256.
- KEILER, M., KNIGHT, J. & HARRISON, S. (2010) Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 368, 2461–2479.
- KEILER, M., ZISCHG, A. & FUCHS, S. (2006) Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken. In: Strobl, J. & Roth, C., (Hrsg.) *GIS und Sicherheitsmanagement*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 118-128.

- KIENHOLZ, H., KRUMMENACHER, B., KIP, A. & PERRET, S. (2004) Aspects of Integral Risk Management in Practice - Considerations with Respect to Mountain Hazards in Switzerland Integrales Risiko Management in der Praxis - Bemerkungen zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 3-4, 43–50.
- KRANEWITTER, H. (2002) Liegenschaftsbewertung. Wien: Gesco, 327 Seiten.
- KULLDORFF, M. (1997) A Spatial Scan Statistic. Communications in Statistics - Theory and Methods, 26(6), 1481–1496.
- KULLDORFF, M. (2010) SaTScan™ User Guide for version 9.0, 109 Seiten.
- KULLDORFF, M. (2005) Scan Statistics for Geographical Disease Surveillance: An Overview. In Lawson, A.B. & Kleinman, K., (Hrsg.) Spatial and syndromic surveillance for public health. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 115-131.
- KULLDORFF, M. (2006) Tests of Spatial Randomness Adjusted for an Inhomogeneity: A General framework. Journal of the American Statistical Association, 101(475), 1289-1305.
- KULLDORFF, M., HUANG, L. & KONTY, K. (2009) A scan statistic for continuous data based on the normal probability model. International Journal of Health Geographics, 8(59).
- LANDESREGIERUNG KÄRNTEN (2008) Kärntner Bauvorschriften, Download unter: [http://www.bauordnung.at/oesterreich/kaernten/kaernten\\_bauvorschriften\\_paragraph\\_4.php](http://www.bauordnung.at/oesterreich/kaernten/kaernten_bauvorschriften_paragraph_4.php) [Zugriff: 15.03.2012].
- LANDESREGIERUNG TIROL (2001) Kundmachung der Landesregierung vom 23. Oktober 2001 über die Wiederverlautbarung der Tiroler Bauordnung 1998, Download unter: <http://www.ovi.at/de/verband/Recht/Energieausweis/TirolerBauordnung.pdf> [Zugriff: 15.03.2012].
- LEVINE, N. (2010) CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (v 3.3), Download unter: [http://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/workbook/CrimeStat\\_Workbook.pdf](http://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/workbook/CrimeStat_Workbook.pdf) [Zugriff: 10.01.2012].
- MEYER, D. (1957) Modified randomization tests for nonparametric hypotheses. The Annals of Mathematical Statistics, 28(1), 181-187.
- MILETI, D. (1999) Disasters by Design - A Reassessment of Natural Hazards in the United States. Washington: Joseph Henry Press.
- MILLER, H.J. (2008) Geographic Data Mining and Knowledge Discovery. In Wilson, J.P. & Fotheringham, S.A., (Hrsg.) The Handbook of Geographic Information Science. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, 352-366.
- O’SULLIVAN, D. & UNWIN, D.J. (2010) Geographic Information Analysis. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 436 Seiten.
- ONR (2009) Österreichisches Normungsinstitut, ONR 24 800: Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffsbestimmungen und Klassifizierungen.



- OPENSHAW, S., CHARLTON, M., WYMER, C. & CRAFT, A. (1987) A Mark 1 Geographical Analysis Machine for the automated analysis of point data sets. *International journal of geographical information systems*, 1(4), 335-358.
- PAPATHOMA-KÖHLE, M., KAPPES, M., KEILER, M. & GLADE, T. (2011) Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards*, 58, 645–680.
- RENN, O. (2008a) Concepts of Risk: An Interdisciplinary Review, Part 1: Disciplinary Risk Concepts. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 17, 50–66.
- RENN, O. (2008b) Concepts of Risk: An Interdisciplinary Review, Part 2: Integrative Approaches. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 17, 196–204.
- SHEKHAR, S., GANDHI, V., ZHANG, P. & VATSAVAI, R.R. (2009) Availability of Spatial Data Mining Techniques. In Fotheringham, S.A. & Rogerson, P.A., (Hrsg.) *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*. London, Thousand Oaks, New Delhi, Singapore: SAGE Publications Ltd, 63-88.
- SMITH, K. & PETLEY, D.N. (2009) *Environmental Hazards - Assessing Risk and Reducing Disasters*. 5. Auflage. London, New York: Routledge, 383 Seiten.
- STÖTTER, J., PRAGER, C., ZANGERL, C. & WASTL, M. (2007) Unstable Slopes in Western Tyrol: Excursion to the Upper Inn Valley (Tschirgant Rockslide, Pfunds Debris Flows). *Geomorphology for the Future, Innsbruck Univ. Press Conf. Series*, 23-32.
- TAKAHASHI, K., KULLDORFF, M., TANGO, T. & YIH, K. (2008) A flexibly shaped space-timescan statistic for disease outbreak detection and monitoring. *International Journal of Health Geographics*, 7(14).
- TONINI, M., TUIA, D. & RATLE, F. (2009) Detection of clusters using space-time scan statistics. *International Journal of Wildland Fires*, 18, 830-836.
- TOTSCHNIG, R., SEDLACEK, W. & FUCHS, S. (2011) A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. *Natural Hazards*, 58, 681–703.
- UNDRO (1980) *Natural disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*, 49 Seiten.
- VARNES, D. (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 63 Seiten.
- WALLER, L.A. (2009) Detection of Clustering in Spatial Data. In Fotheringham, S.A. & Rogerson, P.A., (Hrsg.) *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*. London, Thousand Oaks, New Delhi, Singapore: SAGE Publications Ltd, 299-320.
- WALLER, L.A. & GOTWAY, C.A. (2004) *Applied Spatial Statistics for Public Health Data*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 494 Seiten.
- WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T. & DAVIS, I. (2004) *At Risk - Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2. Auflage. London, New York: Routledge, 471 Seiten.



## ANHANG A

Tabelle A.1: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Punktreduktion (UG: Stubenbach).....	XCI
Tabelle A.2: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Punktreduktion (UG: Vorderbergerbach).....	XCII
Tabelle A.3: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Verhältnisänderung (UG: Stubenbach).....	XCIII
Tabelle A.4: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Verhältnisänderung (UG: Vorderbergerbach).....	XCIV

Tabelle A.1: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Punktreduktion (UG: Stubenbach)

Untersuchungsgebiet: Stubenbach					
	Bezeichnung des Datensatzes	Punkte gesamt	Fälle	in % der Punkte gesamt	Reduktion auf ...% des Ausgangs- datensatzes
Ausgangsdatensatz: Variante A	<i>ST_Variante_A</i>	672	85	12.6	-
	ST_VarAabs_90	605	81	13.4	90
	ST_VarAabs_80	538	65	12.1	80
	ST_VarAabs_70	470	54	11.5	70
	ST_VarAabs_60	403	51	12.7	60
	ST_VarAabs_50	336	38	11.3	50
	ST_VarAabs_40	269	37	13.8	40
	ST_VarAabs_30	202	20	9.9	30
	ST_VarAabs_20	134	12	9.0	20
	ST_VarAabs_10	67	9	13.4	10
Ausgangsdatensatz: Originaldaten	<i>ST_alle_GEB</i>	336	39	11.6	-
	ST_aGEBabs_90	302	37	12.3	90
	ST_aGEBabs_80	269	33	12.3	80
	ST_aGEBabs_70	235	27	11.5	70
	ST_aGEBabs_60	202	27	13.4	60
	ST_aGEBabs_50	168	17	10.1	50
	ST_aGEBabs_40	134	17	12.7	40
	ST_aGEBabs_30	101	15	14.9	30
	ST_aGEBabs_20	67	4	6.0	20
	ST_aGEBabs_10	34	5	14.7	10

Tabelle A.2: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Punktreduktion (UG: Vorderbergerbach)

Untersuchungsgebiet: Vorderbergerbach					
	Bezeichnung des Datensatzes	Punkte gesamt	Fälle	in % der Punkte gesamt	Reduktion auf ...% des Ausgangsdatensatzes
Ausgangsdatensatz: Variante A	<i>VO_Variante_A</i>	562	57	10.1	-
	VO_VarAabs_90	506	53	10.5	90
	VO_VarAabs_80	450	42	9.3	80
	VO_VarAabs_70	393	44	11.2	70
	VO_VarAabs_60	337	33	9.8	60
	VO_VarAabs_50	281	35	12.5	50
	VO_VarAabs_40	225	33	14.7	40
	VO_VarAabs_30	169	16	9.5	30
	VO_VarAabs_20	112	11	9.8	20
	VO_VarAabs_10	56	6	10.7	10
Ausgangsdatensatz: Originaldaten	<i>VO_alle_GEB</i>	281	30	10.7	-
	VO_aGEBabs_90	253	28	11.1	90
	VO_aGEBabs_80	225	23	10.2	80
	VO_aGEBabs_70	197	17	8.6	70
	VO_aGEBabs_60	169	20	11.8	60
	VO_aGEBabs_50	141	12	8.5	50
	VO_aGEBabs_40	112	10	8.9	40
	VO_aGEBabs_30	84	10	11.9	30
	VO_aGEBabs_20	56	9	16.1	20
	VO_aGEBabs_10	28	2	7.1	10

Tabelle A.3: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Verhältnisänderung (UG: Stubenbach)

Untersuchungsgebiet: Stubenbach				
	Bezeichnung des Datensatzes	Punkte gesamt	Fälle	% der beschädigten zu den nicht beschädigten Gebäuden
Ausgangsdatensatz: Variante A	ST_VarArel_1	593	6	1
	ST_VarArel_2	599	12	2
	ST_VarArel_4	612	25	4
	ST_VarArel_6	625	38	6
	ST_VarArel_8	638	51	8
	ST_VarArel_10	652	65	10
	<i>ST_Variante_A</i>	<i>672</i>	<i>85</i>	<i>13</i>
	ST_VarArel_20	425	85	20
	ST_VarArel_30	283	85	30
	ST_VarArel_40	212	85	40
	ST_VarArel_50	170	85	50
	ST_VarArel_60	141	85	60
	ST_VarArel_70	121	85	70
	ST_VarArel_80	106	85	80
	ST_VarArel_90	94	85	90
ST_VarArel_100	85	85	100	
Ausgangsdatensatz: Originaldaten	ST_aGEBrel_1	300	3	1
	ST_aGEBrel_2	303	6	2
	ST_aGEBrel_4	309	12	4
	ST_aGEBrel_6	316	19	6
	ST_aGEBrel_8	323	26	8
	ST_aGEBrel_10	330	33	10
	<i>ST_alle_GEB</i>	<i>336</i>	<i>39</i>	<i>12</i>
	ST_aGEBrel_20	200	39	20
	ST_aGEBrel_30	130	39	30
	ST_aGEBrel_40	98	39	40
	ST_aGEBrel_50	78	39	50
	ST_aGEBrel_60	65	39	60
	ST_aGEBrel_70	56	39	70
	ST_aGEBrel_80	49	39	80
	ST_aGEBrel_90	44	39	89
ST_aGEBrel_100	39	39	100	

Tabelle A.4: Übersicht über die neu generierten Datensätze der Verhältnisänderung (UG: Vorderbergerbach)

Untersuchungsgebiet: Vorderbergerbach				
	Bezeichnung des Datensatzes	Punkte gesamt	Fälle	% der beschädigten zu den nicht beschädigten Gebäuden
Ausgangsdatensatz: Variante A	VO_VarArel_1	510	5	1
	VO_VarArel_2	515	10	2
	VO_VarArel_4	526	21	4
	VO_VarArel_6	537	32	6
	VO_VarArel_8	549	44	8
	<i>VO_Variante_A</i>	<i>562</i>	<i>57</i>	<i>10</i>
	VO_VarArel_20	285	57	20
	VO_VarArel_30	190	57	30
	VO_VarArel_40	143	57	40
	VO_VarArel_50	114	57	50
	VO_VarArel_60	95	57	60
	VO_VarArel_70	82	57	70
	VO_VarArel_80	71	57	80
	VO_VarArel_90	63	57	90
VO_VarArel_100	57	57	100	
Ausgangsdatensatz: Originaldaten	VO_aGEBrel_1	254	3	1
	VO_aGEBrel_2	256	5	2
	VO_aGEBrel_4	261	10	4
	VO_aGEBrel_6	266	15	6
	VO_aGEBrel_8	273	22	8
	VO_aGEBrel_10	279	28	10
	<i>VO_alle_GEB</i>	<i>281</i>	<i>30</i>	<i>11</i>
	VO_aGEBrel_20	150	30	20
	VO_aGEBrel_30	100	30	30
	VO_aGEBrel_40	75	30	40
	VO_aGEBrel_50	60	30	50
	VO_aGEBrel_60	50	30	60
	VO_aGEBrel_70	43	30	70
	VO_aGEBrel_80	38	30	79
	VO_aGEBrel_90	33	30	91
	VO_aGEBrel_100	30	30	100





## ANHANG B

Tabelle B.1: Zusammenfassung der Ergebnisse für alle 5 Varianten (Stubenbach).....	xcviii
Tabelle B.2: Übersicht über die Ergebnisse der Clusteranalysen für Vorderberg.....	xcix
Tabelle B.3: Übersicht über die Datensätze der Punktreduktion für das UG Stubenbach.....	c
Tabelle B.4: Übersicht über die Datensätze der Punktreduktion für das UG Vorderbergerbach.....	c
Tabelle B.5: Übersicht über die Datensätze der Verhältnisänderung für das UG Stubenbach.....	ci
Tabelle B.6: Übersicht über die Datensätze der Verhältnisänderung für das UG Vorderbergerbach.....	cii
Tabelle B.7: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten für das UG Stuben- bach.....	ciii
Tabelle B.8: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten für das UG Vorder- bergerbach.....	civ
Tabelle B.9: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A für das UG Stubenbach .....	cv
Tabelle B.10: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A für das UG Vorder- bergerbach.....	cvi
Tabelle B.11: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf den Original- daten, UG Stubenbach.....	cvii
Tabelle B.12: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf den Original- daten, UG: Vorderbergerbach.....	cviii
Tabelle B.13: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf den Original- daten, UG Stubenbach.....	cix
Tabelle B.14: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf Variante A, UG Vorderbergerbach.....	cx

Tabelle B.1: Zusammenfassung der Ergebnisse für alle 5 Varianten (Stubenbach)

Variante	ST_alle_GEB	ST_Variante_A	ST_Variante_B	ST_Variante_B_+99	ST_Variante_B_-99
n	336	672	672	672	672
Mittelwert	0.037	0.037	0.023	0.026	0.021
Varianz	0.022	0.020	0.013	0.016	0.012
Standardabweichung	0.150	0.140	0.110	0.130	0.110
<b>MOST LIKELY CLUSTER</b>					
Radius	0.060 km	0.076 km	0.061 km	0.061 km	0.061 km
Mittelpunkt	GEB_org_3	GEB_org_3	GEB_org_3	GEB_org_3	GEB_org_3
Punkte	14	31	18	18	18
Mittelwert Innen	0.480	0.420	0.490	0.570	0.430
Mittelwert Außen	0.018	0.019	0.010	0.012	0.010
Varianz	0.013	0.013	0.007	0.008	0.007
Standardabweichung	0.120	0.120	0.084	0.090	0.084
LLR	82.812	143.030	210.370	231.465	169.267
Monte Carlo Rang	1/1000	1/1000	1/1000	1/1000	1/1001
p-Value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>SECONDARY CLUSTER 1</b>					
Radius	0.028 km	0.042 km	0.028 km	0.021 km	0.028 km
Mittelpunkt	GEB_org_7	GEB_org_7	GEB_org_12	GEB_org_9	GEB_org_12
Punkte	3	10	2	4	2
Mittelwert Innen	0.620	0.460	0.590	0.430	0.590
Mittelwert Außen	0.032	0.031	0.022	0.024	0.019
Varianz	0.019	0.018	0.012	0.015	0.011
Standardabweichung	0.140	0.130	0.110	0.120	0.100
LLR	24.774	46.925	25.816	20.895	29.351
Monte Carlo Rang	164/1000	13/1000	402/1000	588/1000	334/1000
p-Value	0.164	0.013	0.402	0.588	0.334
<b>SECONDARY CLUSTER 2</b>					
Radius					0.0097 km
Mittelpunkt					GEB_org_98
Punkte					3
Mittelwert Innen					0.450
Mittelwert Außen					0.019
Varianz					0.011
Standardabweichung					0.100
LLR					24.151
Monte Carlo Rang					477/1000
p-Value					0.477
<b>SIGNIFIKANZ LEVEL</b>					
... 0.01:	40.309	48.998	64.606	60.220	73.830
... 0.05:	33.234	36.338	53.406	49.014	58.903

Tabelle B.2: Übersicht über die Ergebnisse der Clusteranalysen für Vorderberg

Variante	VO_alle_GEB	VO_Variante_A	VO_Variante_B	VO_Variante_B_+99	VO_Variante_B_-99
n	281	562	562	562	562
Mittelwert	0.002	0.002	0.008	0.014	0.006
Varianz	0.000	0.000	0.002	0.006	0.001
Standardabweichung	0.007	0.007	0.044	0.075	0.029
MOST LIKELY CLUSTER					
Radius	0.110 km	0.140 km	0.092 km	0.092 km	0.092 km
Mittelpunkt	GEB_org_133	GEB_org_16	RP_VARB_4	RP_VARB_4	RP_VARB_4
Punkte	15	38	6	6	6
Mittelwert Innen	0.017	0.016	0.250	0.440	0.160
Mittelwert Außen	0.001	0.001	0.006	0.009	0.004
Varianz	0.000	0.000	0.001	0.004	0.001
Standardabweichung	0.006	0.006	0.036	0.060	0.024
LLR	41.707	100.875	112.052	119.151	108.902
Monte Carlo Rang	22/1000	1/1000	13/1000	7/1000	13/1000
p-Value	0.022	0.001	0.013	0.007	0.013
SECONDARY CLUSTER 1					
Radius	0.034 km		0.039 km	0.039 km	0.039 km
Mittelpunkt	GEB_org_13		RP_VARB_1	RP_VARB_1	RP_VARB_2
Punkte	4		2	2	2
Mittelwert Innen	0.022		0.430	0.710	0.270
Mittelwert Außen	0.002		0.007	0.011	0.005
Varianz	0.000		0.001	0.004	0.001
Standardabweichung	0.007		0.036	0.062	0.024
LLR	17.725		110.161	103.839	106.248
Monte Carlo Rang	330/1000		21/1000	21/1000	21/1000
p-Value	0.33		0.021	0.021	0.021
SIGNIFIKANZ LEVEL					
... 0.01:	49.505	46.875	120.696	113.751	115.822
... 0.05:	34.054	40.893	67.925	65.070	64.820

Tabelle B.3: Übersicht über die Datensätze der Punktreduktion für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

Stubenbach	Variante	Punkte ges.	Fälle		Mittel- wert	Spannweite			STD	Varianz
			ges.	in %		Max.	Min.	Dif.		
Originaldaten	ST_alle_GEB	336	39	12	0.037	1.000	0.013	0.987	0.150	0.0220
	ST_aGEBabs_90	302	37	12	0.039	1.000	0.013	0.987	0.150	0.0230
	ST_aGEBabs_80	269	33	12	0.039	1.000	0.013	0.987	0.160	0.0270
	ST_aGEBabs_70	235	27	11	0.043	1.000	0.014	0.986	0.160	0.0270
	ST_aGEBabs_60	202	27	13	0.052	1.000	0.031	0.969	0.180	0.0320
	ST_aGEBabs_50	168	17	10	0.036	0.802	0.014	0.788	0.140	0.0200
	ST_aGEBabs_40	134	17	13	0.038	1.000	0.013	0.987	0.150	0.0240
	ST_aGEBabs_30	101	15	15	0.040	0.748	0.017	0.731	0.140	0.0190
	ST_aGEBabs_20	67	4	6	0.025	0.748	0.106	0.642	0.120	0.0150
	ST_aGEBabs_10	34	5	15	0.035	0.714	0.110	0.604	0.130	0.0170
Punktreduktion Ausgangsdatensatz: ST_alle_GEB	ST_VarAabs_90	605	81	13	0.039	1.000	0.013	0.987	0.140	0.0210
	ST_VarAabs_80	538	65	12	0.036	1.000	0.013	0.987	0.140	0.0210
	ST_VarAabs_70	470	54	11	0.033	1.000	0.013	0.987	0.130	0.0170
	ST_VarAabs_60	403	51	13	0.038	0.932	0.013	0.919	0.140	0.0200
	ST_VarAabs_50	336	38	11	0.026	0.748	0.013	0.735	0.110	0.0120
	ST_VarAabs_40	269	37	14	0.037	0.932	0.013	0.919	0.140	0.0190
	ST_VarAabs_30	202	20	10	0.034	1.000	0.017	0.983	0.140	0.0200
	ST_VarAabs_20	134	12	9	0.021	0.748	0.034	0.714	0.093	0.0086
	ST_VarAabs_10	67	9	13	0.030	0.748	0.014	0.734	0.130	0.0160

Tabelle B.4: Übersicht über die Datensätze der Punktreduktion für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

Vorderberger- bach	Variante	Punkte ges.	Fälle		Mittel- wert	Spannweite			STD	Varianz
			ges.	in %		Max.	Min.	Dif.		
Originaldaten	VO_alle_GEB	281	30	11	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
	VO_aGEBabs_90	253	28	11	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0001
	VO_aGEBabs_80	225	23	10	0.002	0.050	0.002	0.048	0.007	0.0001
	VO_aGEBabs_70	197	17	9	0.002	0.027	0.002	0.024	0.007	0.0001
	VO_aGEBabs_60	169	20	12	0.002	0.047	0.002	0.045	0.006	0.0000
	VO_aGEBabs_50	141	12	9	0.002	0.050	0.003	0.048	0.008	0.0001
	VO_aGEBabs_40	112	10	9	0.002	0.047	0.005	0.042	0.006	0.0000
	VO_aGEBabs_30	84	10	12	0.002	0.044	0.002	0.041	0.007	0.0001
	VO_aGEBabs_20	56	9	16	0.003	0.047	0.003	0.044	0.008	0.0001
	VO_aGEBabs_10	28	2	7	0.001	0.018	0.013	0.005	0.004	0.0000
Punktreduktion Ausgangsdatensatz: VO_Variante_A	VO_VarAabs_90	506	53	10	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
	VO_VarAabs_80	450	42	9	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
	VO_VarAabs_70	393	44	11	0.002	0.050	0.001	0.049	0.008	0.0001
	VO_VarAabs_60	337	33	10	0.002	0.050	0.002	0.048	0.008	0.0001
	VO_VarAabs_50	281	35	12	0.003	0.050	0.003	0.048	0.009	0.0001
	VO_VarAabs_40	225	33	15	0.003	0.050	0.001	0.049	0.009	0.0001
	VO_VarAabs_30	169	16	9	0.002	0.050	0.001	0.049	0.008	0.0001
	VO_VarAabs_20	112	11	10	0.002	0.050	0.005	0.046	0.006	0.0000
	VO_VarAabs_10	56	6	11	0.002	0.047	0.005	0.042	0.008	0.0001

Tabelle B.5: Übersicht über die Datensätze der Verhältnisänderung für das Untersuchungsgebiet Stubenbach

Stubenbach	Variante	Punkte ges.	Fälle		Mittel- wert	Spannweite			STD	Varianz
			ges.	in %		Max.	Min.	Dif.		
Originaldaten	ST_alle_GEB	336	39	12	0.037	1.000	0.013	0.987	0.150	0.0220
	ST_aGEBrel_1	300	3	1	0.006	1.000	0.226	0.774	0.064	0.0041
	ST_aGEBrel_2	303	6	2	0.007	0.802	0.017	0.785	0.066	0.0043
	ST_aGEBrel_4	309	12	4	0.007	0.714	0.014	0.700	0.053	0.0028
	ST_aGEBrel_6	316	19	6	0.017	0.932	0.014	0.918	0.095	0.0091
	ST_aGEBrel_8	323	26	8	0.026	1.000	0.013	0.987	0.130	0.0160
	ST_aGEBrel_10	330	33	10	0.032	1.000	0.013	0.987	0.140	0.0190
Änderung des Verhältnisses von beschädigten zu nicht beschädigten Gebäuden Ausgangsdatensatz: ST_alle_GEB	ST_aGEBrel_20	200	39	20	0.062	1.000	0.013	0.987	0.190	0.0360
	ST_aGEBrel_30	130	39	30	0.096	1.000	0.013	0.987	0.230	0.0520
	ST_aGEBrel_40	98	39	40	0.130	1.000	0.013	0.987	0.250	0.0650
	ST_aGEBrel_50	78	39	50	0.160	1.000	0.013	0.987	0.280	0.0760
	ST_aGEBrel_60	65	39	60	0.190	1.000	0.013	0.987	0.290	0.0850
	ST_aGEBrel_70	56	39	70	0.220	1.000	0.013	0.987	0.300	0.0920
	ST_aGEBrel_80	49	39	80	0.250	1.000	0.013	0.987	0.310	0.0980
	ST_aGEBrel_90	44	39	89	0.280	1.000	0.013	0.987	0.320	0.1000
	ST_aGEBrel_100	39	39	100	0.320	1.000	0.013	0.987	0.320	0.1000
		ST_VarArel_1	593	6	1	0.003	0.748	0.035	0.713	0.036
	ST_VarArel_2	599	12	2	0.003	0.592	0.014	0.578	0.035	0.0012
	ST_VarArel_4	612	25	4	0.014	1.000	0.014	0.986	0.090	0.0082
	ST_VarArel_6	625	38	6	0.017	1.000	0.013	0.987	0.097	0.0095
	ST_VarArel_8	638	51	8	0.025	1.000	0.013	0.987	0.120	0.0140
	ST_VarArel_10	652	65	10	0.032	1.000	0.014	0.986	0.130	0.0180
Änderung des Verhältnisses von beschädigten zu nicht beschädigten Gebäuden Ausgangsdatensatz: ST_Variante_Ac	ST_VarArel_20	425	85	20	0.059	1.000	0.013	0.987	0.180	0.0310
	ST_VarArel_30	283	85	30	0.088	1.000	0.013	0.987	0.210	0.0440
	ST_VarArel_40	212	85	40	0.120	1.000	0.013	0.987	0.240	0.0550
	ST_VarArel_50	170	85	50	0.150	1.000	0.013	0.987	0.250	0.0650
	ST_VarArel_60	141	85	60	0.180	1.000	0.013	0.987	0.270	0.0730
	ST_VarArel_70	121	85	70	0.210	1.000	0.013	0.987	0.280	0.0790
	ST_VarArel_80	106	85	80	0.230	1.000	0.013	0.987	0.290	0.0840
	ST_VarArel_90	94	85	90	0.260	1.000	0.013	0.987	0.290	0.0860
	ST_VarArel_100	85	85	100	0.290	1.000	0.013	0.987	0.300	0.0870

Tabelle B.6: Übersicht über die Datensätze der Verhältnisänderung für das Untersuchungsgebiet Vorderbergerbach

Vorderberger- bach	Variante	Punkte ges.	Fälle		Mittel- wert	Spannweite			STD	Varianz
			ges.	in %		Max.	Min.	Dif.		
Originaldaten	VO_alle_GEB	281	30	11	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
Änderung des Verhältnisses von beschädigten zu nicht beschädigten Gebäuden Ausgangsdatensatz: VO_alle_GEB	VO_aGEBrel_1	254	3	1	0.000	0.035	0.009	0.027	0.003	0.0000
	VO_aGEBrel_2	256	5	2	0.000	0.047	0.005	0.042	0.004	0.0000
	VO_aGEBrel_4	266	15	6	0.001	0.022	0.001	0.021	0.003	0.0000
	VO_aGEBrel_6	273	22	8	0.001	0.050	0.001	0.049	0.006	0.0000
	VO_aGEBrel_8	279	28	10	0.001	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
	VO_aGEBrel_10	281	30	11	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0000
	VO_aGEBrel_20	150	30	20	0.004	0.050	0.001	0.049	0.009	0.0001
	VO_aGEBrel_30	100	30	30	0.005	0.055	0.001	0.054	0.011	0.0001
	VO_aGEBrel_40	75	30	40	0.007	0.055	0.001	0.054	0.012	0.0002
	VO_aGEBrel_50	60	30	50	0.009	0.055	0.001	0.054	0.013	0.0002
	VO_aGEBrel_60	50	30	60	0.011	0.055	0.001	0.054	0.014	0.0002
	VO_aGEBrel_70	43	30	70	0.012	0.055	0.001	0.054	0.014	0.0002
	VO_aGEBrel_80	38	30	79	0.014	0.055	0.001	0.054	0.014	0.0002
	VO_aGEBrel_90	33	30	91	0.016	0.055	0.001	0.054	0.014	0.0002
VO_aGEBrel_100	30	30	100	0.018	0.055	0.001	0.054	0.014	0.0002	
Änderung des Verhältnisses von beschädigten zu nicht beschädigten Gebäuden Ausgangsdatensatz: VO_Variante_A	VO_VarArel_1	510	5	1	0.000	0.047	0.003	0.044	0.002	0.0000
	VO_VarArel_2	515	10	2	0.000	0.050	0.001	0.049	0.004	0.0000
	VO_VarArel_4	526	21	4	0.001	0.050	0.001	0.049	0.004	0.0000
	VO_VarArel_6	537	32	6	0.001	0.047	0.001	0.046	0.004	0.0000
	VO_VarArel_8	549	44	8	0.001	0.050	0.001	0.049	0.006	0.0000
	VO_VarArel_10	562	57	10	0.002	0.050	0.001	0.049	0.007	0.0001
	VO_VarArel_20	285	57	20	0.004	0.050	0.001	0.049	0.010	0.0001
	VO_VarArel_30	190	57	30	0.006	0.050	0.001	0.049	0.011	0.0001
	VO_VarArel_40	143	57	40	0.007	0.050	0.001	0.049	0.013	0.0002
	VO_VarArel_50	114	57	50	0.009	0.050	0.001	0.049	0.014	0.0002
	VO_VarArel_60	95	57	60	0.011	0.050	0.001	0.049	0.014	0.0002
	VO_VarArel_70	82	57	70	0.013	0.050	0.001	0.049	0.015	0.0002
	VO_VarArel_80	71	57	80	0.015	0.050	0.001	0.049	0.015	0.0002
	VO_VarArel_90	63	57	90	0.017	0.050	0.001	0.049	0.015	0.0002
VO_VarArel_100	57	57	100	0.018	0.050	0.001	0.049	0.014	0.0002	

Tabelle B.7: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten für das UG Stubenbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast		STD ges.	Varianz	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		STD CL	Varianz	erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz
				Max.	Min.							Dif.	Innen					
ST_alle_GEB	336	39	12	1.00	0.01	0.99	0.022	A	14	4.2	0.060	0.48	0.02	0.120	0.013	40.9	0.001	hoch
								B	3	0.9	0.028	0.62	0.03	0.59	0.140	0.019	13.6	0.182
ST_aGEBabs_90	302	37	12	1.00	0.01	0.99	0.023	B	3	4.3	0.060	0.46	0.02	0.120	0.015	34.8	0.001	hoch
								C	3	1.0	0.010	0.45	0.04	0.42	0.150	0.021	8.7	0.732
ST_aGEBabs_80	269	33	12	1.00	0.01	0.99	0.027	A	12	4.5	0.060	0.55	0.02	0.120	0.015	44.4	0.001	hoch
								B	3	1.1	0.028	0.62	0.04	0.58	0.150	0.023	14.8	0.214
ST_aGEBabs_70	235	27	11	1.00	0.01	0.99	0.027	A	11	4.7	0.060	0.53	0.02	0.130	0.016	40.7	0.001	hoch
								B	2	0.9	0.028	0.59	0.04	0.55	0.160	0.025	7.4	0.586
ST_aGEBabs_60	202	27	13	1.00	0.03	0.97	0.032	A	13	6.4	0.069	0.50	0.02	0.130	0.018	43.8	0.001	hoch
								B	2	1.0	0.021	0.69	0.05	0.64	0.170	0.028	12.5	0.361
ST_aGEBabs_50	168	17	10	0.80	0.01	0.79	0.020	A	3	1.8	0.028	0.62	0.03	0.120	0.014	30.0	0.030	√
								B	16	9.5	0.110	0.25	0.01	0.24	0.120	0.015	25.0	0.091
ST_aGEBabs_40	134	17	13	1.00	0.01	0.99	0.024	A	3	2.2	0.054	0.79	0.02	0.100	0.011	54.2	0.013	√
ST_aGEBabs_30	101	15	15	0.75	0.02	0.73	0.019	A	2	2.0	0.048	0.57	0.03	0.110	0.013	31.6	0.126	-
								B	5	5.0	0.046	0.35	0.02	0.33	0.120	0.014	26.3	0.165
ST_aGEBabs_20	67	4	6	0.75	0.11	0.64	0.015	A	2	3.0	0.039	0.37	0.01	0.110	0.011	26.7	1.000	-
ST_aGEBabs_10	34	5	15	0.71	0.11	0.60	0.017	A	3	8.8	0.100	0.34	0.01	0.091	0.008	51.8	0.093	-

Stubenbach - punktreduzierter Datensatz ausgehend von ST\_alle\_GEB

Tabelle B.8: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Originaldaten für das UG Vorderbergerbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast			STG ges.	Varianz ges.	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		Dif.	STD CL	Varianz erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz
				Max.	Min.	Dif.							Innen	Außen					
VO_alle_GEB	281	30	11	0.05	0.00	0.05	0.007	A	15	5.3	0.110	0.02	0.00	0.02	0.0061	0.000	0.026	✓	
VO_aGEBabs_80	253	28	11	0.05	0.00	0.05	0.007	A	4	1.4	0.034	0.02	0.00	0.02	0.0066	0.000	0.338	-	
VO_aGEBabs_70	225	23	10	0.05	0.00	0.05	0.007	A	13	5.1	0.110	0.02	0.00	0.02	0.0060	0.000	0.021	✓	
VO_aGEBabs_60	197	17	9	0.03	0.00	0.02	0.007	A	13	5.8	0.110	0.02	0.00	0.02	0.0062	0.000	0.018	✓	
VO_aGEBabs_50	169	20	12	0.05	0.00	0.04	0.006	A	19	9.6	0.140	0.01	0.00	0.01	0.0063	0.000	0.054	-	
VO_aGEBabs_40	141	12	9	0.05	0.00	0.05	0.008	A	24	14.2	0.160	0.01	0.00	0.01	0.0056	0.000	0.221	-	
VO_aGEBabs_30	112	10	9	0.05	0.00	0.04	0.006	A	10	7.1	0.110	0.02	0.00	0.02	0.0066	0.000	0.064	-	
VO_aGEBabs_20	84	10	12	0.04	0.00	0.04	0.007	A	2	1.8	0.053	0.02	0.00	0.02	0.0054	0.000	1.000	-	
VO_aGEBabs_10	56	9	16	0.05	0.00	0.04	0.008	A	3	3.6	0.073	0.03	0.00	0.03	0.0045	0.000	0.027	✓	
VO_aGEBabs_0	28	2	7	0.02	0.01	0.00	0.004	A	2	3.6	0.059	0.03	0.00	0.03	0.0050	0.000	0.059	✓	
								A	5	17.9	0.200	0.01	0.00	0.01	0.0033	0.000	0.256	-	

Vorderbergerbach - punktreduzierter Datensatz ausgehend von VO\_alle\_GEB



Tabelle B.9: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A für das UG Stubenbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle ges.	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast		STD ges.	Varianz ges.	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert Außen		Dif.	STD CL	Varianz	erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz	
				Max.	Min.							Innen	Außen							
ST_alle_GEB	336	39	12	1.00	0.01	0.99	0.15	0.022	A	14	4.2	0.060	0.48	0.02	0.46	0.120	0.013	41	0.001	hoch
ST_Variante_A	672	85	13	1.00	0.01	0.99	0.14	0.020	B	31	4.6	0.076	0.62	0.03	0.59	0.140	0.019	14	0.164	-
ST_VarAabs_90	605	81	13	1.00	0.01	0.99	0.14	0.021	A	30	5.0	0.076	0.40	0.02	0.38	0.120	0.014	33	0.001	hoch
ST_VarAabs_80	538	65	12	1.00	0.01	0.99	0.14	0.021	B	10	1.7	0.042	0.46	0.03	0.43	0.130	0.018	33	0.007	hoch
ST_VarAabs_70	470	54	11	1.00	0.01	0.99	0.13	0.017	A	23	4.3	0.076	0.42	0.02	0.40	0.120	0.014	33	0.001	hoch
ST_VarAabs_60	403	51	13	0.93	0.01	0.92	0.14	0.020	B	9	1.7	0.034	0.45	0.03	0.42	0.130	0.018	29	0.016	√
ST_VarAabs_50	336	38	11	0.75	0.01	0.74	0.11	0.012	A	20	4.3	0.076	0.39	0.02	0.37	0.110	0.012	29	0.001	hoch
ST_VarAabs_40	269	37	14	0.93	0.01	0.92	0.14	0.019	B	7	1.7	0.042	0.54	0.03	0.51	0.120	0.015	30	0.001	hoch
ST_VarAabs_30	202	20	10	1.00	0.02	0.98	0.14	0.020	A	9	2.7	0.067	0.46	0.01	0.45	0.084	0.007	41	0.001	hoch
ST_VarAabs_20	134	12	9	0.75	0.03	0.71	0.09	0.009	B	3	0.9	0.048	0.39	0.02	0.37	0.100	0.011	41	0.451	-
ST_VarAabs_10	67	9	13	0.75	0.01	0.73	0.13	0.016	A	9	3.3	0.052	0.54	0.02	0.52	0.099	0.010	48	0.001	hoch
									B	2	0.7	0.052	0.71	0.03	0.68	0.120	0.015	48	0.091	-
									A	13	6.4	0.088	0.45	0.01	0.44	0.091	0.008	59	0.001	hoch
									A	3	2.2	0.062	0.49	0.01	0.48	0.060	0.004	58	0.014	√
									A	5	7.5	0.079	0.29	0.01	0.28	0.100	0.010	38	0.129	-

Stubenbach - punktreduzierter Datensatz ausgehend von ST\_Variante\_A

Tabelle B.10: Ergebnisse der Clusteranalyse der punktreduzierten Variante A für das UG Vorderbergerbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle ges.	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast			Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		Dif.	STD CL	Varianz erklärende Varianz	P-Value	Signifikanz	
				Max.	Min.	Dif.				Innen	Außen						
VO_alle_GEB	281	30	11	0.05	0.00	0.05	A 15	5.3	0.110	0.02	0.00	0.02	0.00610	0.000	24	0.026	√
							B 4	1.4	0.034	0.02	0.00	0.02	0.00660	0.000		0.338	-
VO_Variante_A	562	57	10	0.05	0.00	0.05	A 38	6.8	0.140	0.02	0.00	0.02	0.00600	0.000	29	0.001	hoch
VO_VarAabs_90	506	53	10	0.05	0.00	0.05	A 8	1.6	0.060	0.03	0.00	0.03	0.00580	0.000	30	0.001	hoch
VO_VarAabs_80	450	42	9	0.05	0.00	0.05	A 29	6.4	0.140	0.02	0.00	0.01	0.00580	0.000	28	0.001	hoch
VO_VarAabs_70	393	44	11	0.05	0.00	0.05	A 33	8.4	0.130	0.02	0.00	0.02	0.00670	0.000	0	0.001	hoch
VO_VarAabs_60	337	33	10	0.05	0.00	0.05	A 20	5.9	0.140	0.02	0.00	0.02	0.00640	0.000	39	0.001	hoch
VO_VarAabs_50	281	35	12	0.05	0.00	0.05	A 25	8.9	0.120	0.02	0.00	0.02	0.00700	0.000	37	0.001	hoch
VO_VarAabs_40	225	33	15	0.05	0.00	0.05	A 10	4.4	0.110	0.03	0.00	0.03	0.00660	0.000	50	0.001	hoch
VO_VarAabs_30	169	16	9	0.05	0.00	0.05	A 2	1.2	0.026	0.05	0.00	0.05	0.00540	0.000	50	0.005	hoch
VO_VarAabs_20	112	11	10	0.05	0.00	0.05	A 2	1.8	0.040	0.03	0.00	0.03	0.00460	0.000	45	0.062	-
VO_VarAabs_10	56	6	11	0.05	0.00	0.04	A 2	3.6	0.070	0.03	0.00	0.03	0.00590	0.000	45	0.121	-

Vorderbergerbach - punktreduzierter Datensatz ausgehend von VO\_Variante\_A

Tabelle B.11: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf den Originaldaten, UG Stubenbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle ges.	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast		STD ges.	Varianz ges.	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		STD CL	Varianz	erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz
				Max.	Min.							Innen	Außen					
ST_aGEBrel_1	300	3	1	1.00	0.23	0.77	0.064	A	2	0.7	0.019	0.71	0.00	0.027	0.001	82.4	0.010	hoch
ST_aGEBrel_2	303	6	2	0.80	0.02	0.79	0.066	A	2	0.7	0.025	0.40	0.00	0.057	0.003	23.3	1.000	-
ST_aGEBrel_4	309	12	4	0.71	0.01	0.70	0.053	A	2	0.6	0.046	0.36	0.01	0.044	0.002	28.6	1.000	-
ST_aGEBrel_6	316	19	6	0.93	0.01	0.92	0.095	A	9	2.8	0.060	0.32	0.01	0.080	0.006	29.7	0.040	√
ST_aGEBrel_8	323	26	8	1.00	0.01	0.99	0.130	A B	15 3	4.6 0.9	0.076 0.010	0.36 0.45	0.01 0.02	0.100 0.120	0.010 0.014	37.5 0.430	0.002 0.430	hoch -
ST_aGEBrel_10	330	33	10	1.00	0.01	0.99	0.140	A B C	17 2 3	5.2 0.6 0.9	0.082 0.021 0.010	0.39 0.69 0.45	0.01 0.03 0.03	0.110 0.130 0.130	0.013 0.017 0.018	31.6 0.214 0.637	0.001 0.214 0.637	hoch - -
ST_alle_GEB	336	39	12	1.00	0.01	0.99	0.150	A B	14 3	4.2 0.9	0.060 0.028	0.48 0.62	0.02 0.03	0.120 0.140	0.013 0.019	40.9 0.182	0.001 0.182	hoch -
ST_aGEBrel_20	200	39	20	1.00	0.01	0.99	0.190	A B C	16 3 2	8.0 1.5 1.0	0.075 0.028 0.019	0.48 0.62 0.67	0.03 0.05 0.06	0.140 0.180 0.180	0.021 0.032 0.032	41.7 0.280 0.512	0.001 0.280 0.512	hoch - -
ST_aGEBrel_30	130	39	30	1.00	0.01	0.99	0.230	A B	12 3	9.2 2.3	0.060 0.048	0.56 0.62	0.05 0.08	0.170 0.210	0.029 0.045	44.2 0.503	0.001 0.503	hoch -
ST_aGEBrel_40	98	39	40	1.00	0.01	0.99	0.250	A B	16 3	16.3 3.1	0.075 0.048	0.48 0.62	0.06 0.11	0.200 0.240	0.041 0.057	36.9 0.642	0.001 0.642	hoch -
ST_aGEBrel_50	78	39	50	1.00	0.01	0.99	0.280	A B	17 3	21.8 3.8	0.110 0.048	0.50 0.62	0.06 0.14	0.210 0.260	0.043 0.068	43.4 0.752	0.001 0.752	hoch -
ST_aGEBrel_60	65	39	60	1.00	0.01	0.99	0.290	A B	17 3	26.2 4.6	0.110 0.048	0.50 0.62	0.08 0.17	0.220 0.280	0.050 0.077	41.2 0.867	0.002 0.867	hoch -
ST_aGEBrel_70	56	39	70	1.00	0.01	0.99	0.300	A B	14 3	25.0 5.4	0.075 0.048	0.54 0.62	0.12 0.20	0.240 0.290	0.057 0.083	38.0 0.921	0.003 0.921	hoch -
ST_aGEBrel_80	49	39	80	1.00	0.01	0.99	0.310	A B	18 3	36.7 6.1	0.110 0.048	0.48 0.62	0.13 0.23	0.260 0.300	0.068 0.089	30.6 0.962	0.043 0.962	√ -
ST_aGEBrel_90	44	39	89	1.00	0.01	0.99	0.320	A B	14 3	31.8 6.8	0.075 0.048	0.54 0.62	0.16 0.26	0.260 0.300	0.068 0.092	32.0 0.981	0.037 0.981	√ -
ST_aGEBrel_100	39	39	100	1.00	0.01	0.99	0.320	A B	7 3	17.9 7.7	0.061 0.048	0.70 0.62	0.24 0.30	0.260 0.310	0.069 0.094	31.0 0.987	0.036 0.987	√ -

Stubenbach - Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden (Ausgangsdatensatz: ST\_alle\_GEB)

Tabelle B.12: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisisänderung basierend auf den Originaldaten, UG: VO

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast			STG ges.	Varianz	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		STG CL	Varianz erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz	
				Max.	Min.	Dif.							Innen	Außen					Dif.
VO_aGEBrel_1	254	3	1	0.04	0.01	0.03	0.003	0.000	A	2	0.8	0.036	0.02	0.00	0.0016	0.000	58	0.009	hoch
VO_aGEBrel_2	256	5	2	0.05	0.00	0.04	0.004	0.000	A	10	3.9	0.089	0.01	0.00	0.0035	0.000	29	0.057	-
VO_aGEBrel_4	261	10	4	0.05	0.00	0.05	0.004	0.000	A	3	1.1	0.059	0.02	0.00	0.0037	0.000	28	0.082	-
VO_aGEBrel_6	266	15	6	0.02	0.00	0.02	0.003	0.000	A	3	1.1	0.027	0.02	0.00	0.0020	0.000	47	0.001	hoch
VO_aGEBrel_8	273	22	8	0.05	0.00	0.05	0.006	0.000	A B	19	7.0	0.120	0.01	0.00	0.0052	0.000	23	0.081	-
VO_aGEBrel_10	279	28	10	0.05	0.00	0.05	0.007	0.000	A B	15	5.4	0.110	0.02	0.00	0.0060	0.000	24	0.016	✓
VO_alle_GEB	281	30	11	0.05	0.00	0.05	0.007	0.000	A B	15	5.3	0.110	0.02	0.00	0.0061	0.000	24	0.026	✓
VO_aGEBrel_20	150	30	20	0.05	0.00	0.05	0.009	0.000	A	33	22.0	0.170	0.01	0.00	0.0076	0.000	32	0.005	hoch
VO_aGEBrel_30	100	30	30	0.05	0.00	0.05	0.011	0.000	A B	10	10.0	0.110	0.03	0.00	0.0088	0.000	36	0.003	hoch
VO_aGEBrel_40	75	30	40	0.05	0.00	0.05	0.012	0.000	A	12	16.0	0.160	0.03	0.00	0.0091	0.000	45	0.001	hoch
VO_aGEBrel_50	60	30	50	0.05	0.00	0.05	0.013	0.000	A B	11	18.3	0.140	0.03	0.00	0.0100	0.000	41	0.010	hoch
VO_aGEBrel_60	50	30	60	0.05	0.00	0.05	0.014	0.000	A B	11	22.0	0.140	0.03	0.01	0.0130	0.000	37	0.017	✓
VO_aGEBrel_70	43	30	70	0.05	0.00	0.05	0.014	0.000	A	13	30.2	0.160	0.02	0.01	0.0130	0.000	30	0.995	-
VO_aGEBrel_80	38	30	79	0.05	0.00	0.05	0.014	0.000	A	5	13.2	0.083	0.04	0.01	0.0120	0.000	35	0.057	-
VO_aGEBrel_90	33	30	91	0.05	0.00	0.05	0.014	0.000	A	11	33.3	0.160	0.03	0.01	0.0110	0.000	40	0.041	✓
VO_aGEBrel_100	30	30	100	0.05	0.00	0.05	0.014	0.000	A	11	36.7	0.160	0.03	0.01	0.0110	0.000	32	0.156	-

Vorderbergbach - Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden (Ausgangsdatensatz: VO\_alle\_GEB)

Tabelle B.13: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf den Originaldaten, UG Stubenbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle ges.	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast		STD ges.	Varianz ges.	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		STD CL	Varianz	erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz		
				Max.	Min.							Innen	Außen						Dif.	
ST_VarArel_1	593	6	1	0.75	0.04	0.71	0.036	0.001	A	2	0.3	0.009	0.37	0.00	0.37	0.028	0.001	37.7	1.000	-
ST_VarArel_2	599	12	2	0.59	0.01	0.58	0.035	0.001	A	4	0.7	0.025	0.22	0.00	0.22	0.030	0.001	25.0	0.047	√
ST_VarArel_4	612	25	4	1.00	0.01	0.99	0.090	0.008	A	2	0.3	0.028	0.80	0.01	0.79	0.078	0.008	0.0	0.021	√
ST_VarArel_6	625	38	6	1.00	0.01	0.99	0.097	0.010	B	2	0.3	0.024	0.59	0.01	0.58	0.084	0.007	0.146	0.146	-
ST_VarArel_8	638	51	8	1.00	0.01	0.99	0.120	0.014	A	24	3.8	0.088	0.32	0.01	0.31	0.077	0.006	37.9	0.001	hoch
ST_VarArel_10	652	65	10	1.00	0.01	0.99	0.130	0.018	A	28	4.4	0.088	0.32	0.01	0.31	0.100	0.010	28.6	0.001	hoch
ST_alle_GEB	336	39	12	1.00	0.01	0.99	0.15	0.022	B	6	0.9	0.034	0.47	0.02	0.45	0.110	0.012	0.064	0.064	√
ST_Variante_A	672	85	13	1.00	0.01	0.99	0.14	0.020	A	25	3.8	0.076	0.42	0.02	0.40	0.110	0.012	33.3	0.001	hoch
ST_VarArel_20	425	85	20	1.00	0.01	0.99	0.180	0.031	B	9	1.4	0.042	0.50	0.03	0.48	0.120	0.015	0.002	0.002	hoch
ST_VarArel_30	283	85	30	1.00	0.01	0.99	0.210	0.044	A	14	4.2	0.060	0.48	0.02	0.46	0.120	0.013	40.9	0.001	hoch
ST_VarArel_40	212	85	40	1.00	0.01	0.99	0.240	0.055	B	3	0.9	0.028	0.62	0.03	0.59	0.140	0.019	0.164	0.164	-
ST_VarArel_50	170	85	50	1.00	0.01	0.99	0.250	0.065	A	31	4.6	0.076	0.42	0.02	0.40	0.120	0.013	35.0	0.001	hoch
ST_VarArel_60	141	85	60	1.00	0.01	0.99	0.270	0.073	B	10	1.5	0.042	0.46	0.03	0.43	0.130	0.018	0.013	0.013	√
ST_VarArel_70	121	85	70	1.00	0.01	0.99	0.280	0.079	A	43	10.1	0.110	0.39	0.02	0.37	0.140	0.019	38.7	0.001	hoch
ST_VarArel_80	106	85	80	1.00	0.01	0.99	0.290	0.084	B	10	2.4	0.042	0.46	0.05	0.41	0.170	0.027	0.032	0.032	√
ST_VarArel_90	94	85	90	1.00	0.01	0.99	0.290	0.086	A	44	15.5	0.110	0.38	0.03	0.35	0.170	0.028	36.4	0.001	hoch
ST_VarArel_100	85	85	100	1.00	0.01	0.99	0.300	0.087	B	10	3.5	0.042	0.46	0.08	0.39	0.200	0.039	0.090	0.090	-

Stubenbach - Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden (Ausgangsdatensatz: ST\_Variante\_A)

Tabelle B.14: Ergebnisse der Clusteranalyse der Verhältnisänderung basierend auf Variante A, UG Vorderbergerbach

Untersuchungsgebiet	Pkt. ges.	Fälle	in% Pkt. ges.	Spannweite der Schadenlast		STD ges.	Varianz ges.	CL	Punkte pro CL	in % Pkt. ges.	Radius [km]	Mittelwert		STD CL	Varianz erklärende Varianz	p-Value	Signifikanz	
				Max.	Min.							Innen	Außen					Dif.
VO_VarArel_1	510	5	1	0.05	0.00	0.004	0.000	A	2	0.4	0.018	0.02	0.00	0.0016	0.000	45	1.000	-
VO_VarArel_2	515	10	2	0.05	0.00	0.005	0.000	A	6	1.2	0.061	0.02	0.00	0.0030	0.000	23	0.054	-
VO_VarArel_4	526	21	4	0.05	0.00	0.005	0.000	A	11	2.1	0.068	0.01	0.00	0.0036	0.000	19	0.109	-
VO_VarArel_6	537	32	6	0.05	0.00	0.005	0.000	A	19	3.5	0.110	0.01	0.00	0.0040	0.000	16	0.082	-
VO_VarArel_8	549	44	8	0.05	0.00	0.005	0.000	A	22	4.0	0.110	0.02	0.00	0.0041	0.000	27	0.319	-
VO_Variante_A	562	57	10	0.05	0.00	0.005	0.000	A	38	6.8	0.140	0.02	0.00	0.0060	0.000	29	0.001	hoch
VO_alle_GEB	281	30	11	0.05	0.00	0.005	0.000	A	15	5.3	0.110	0.02	0.00	0.0061	0.000	24	0.026	√
VO_VarArel_20	285	57	20	0.05	0.00	0.005	0.010	A	27	9.5	0.140	0.02	0.00	0.0066	0.000	10	0.338	-
VO_VarArel_30	190	57	30	0.05	0.00	0.005	0.011	A	26	13.7	0.170	0.03	0.00	0.0082	0.000	48	0.001	hoch
VO_VarArel_40	143	57	40	0.05	0.00	0.005	0.013	A	18	12.6	0.140	0.03	0.00	0.0087	0.000	52	0.001	hoch
VO_VarArel_50	114	57	50	0.05	0.00	0.005	0.014	A	24	21.1	0.150	0.03	0.00	0.0098	0.000	49	0.001	hoch
VO_VarArel_60	95	57	60	0.05	0.00	0.005	0.014	A	24	25.3	0.170	0.03	0.01	0.0100	0.000	45	0.001	hoch
VO_VarArel_70	82	57	70	0.05	0.00	0.005	0.015	A	18	22.0	0.140	0.03	0.01	0.0110	0.000	48	0.001	hoch
VO_VarArel_80	71	57	80	0.05	0.00	0.005	0.015	A	18	25.4	0.140	0.03	0.01	0.0110	0.000	45	0.001	hoch
VO_VarArel_90	63	57	90	0.05	0.00	0.005	0.015	A	22	34.9	0.170	0.03	0.01	0.0110	0.000	43	0.001	hoch
VO_VarArel_100	57	57	100	0.05	0.00	0.005	0.014	A	22	38.6	0.170	0.03	0.01	0.0110	0.000	40	0.001	hoch

Vorderbergerbach - Änderung des Verhältnisses zw. beschädigten und nicht beschädigten Gebäuden (Ausgangsdatensatz: VO\_Variante\_A)







## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen, als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Ich habe mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient und versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe. Diese Arbeit stimmt mit der von der Begutachterin beurteilten Arbeit vollständig überein.

Wien, August 2012

Carmen Heidger



CURRICULUM VITAE  
CARMEN HEIDGER

Geboren 1983 in München  
Deutsche Staatsbürgerschaft

Studium und Schulbildung

Seit 2008	Medizinische Universität Wien, Studium der Humanmedizin
Seit 2006	Universität Wien, Studium der Theoretischen und Angewandten Geographie, Hauptfach: Angewandte Geomorphologie, Nebenfächer: Globaler Umweltwandel und Geographische Informationssysteme
1994-2004	Städtisches Luisengymnasium, München (Abschluss: Abitur)
1990-1994	Grundschule an der Farinellstraße, München



