



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

Können anthropogen beeinflusste Rutschungen durch
Gefahrenhinweiskarten abgedeckt werden?

Quantitative Validierung der Gefahrenhinweiskarte für
Rutschungen mittels rezenter Ereignisse in Westniederösterreich

Verfasserin

Karin Alexandra Gokesch, BSc

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Masterstudium Geographie

Betreuer:

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

Mathematical analysis and computer modelling are revealing to us that the shapes and processes we encounter in nature in their seemingly magical complexity can be described by the interaction of mathematical processes that are, if anything, even more magical in their simplicity.

(Douglas Adams, 1952-2001)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

dass die ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,

dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe

und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, 03. März 2015

Karin Gokesch

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und mir tatkräftig zu Seite gestanden haben, meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Allen voran möchte ich meinem Betreuer Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade besonderen Dank für die jahrelange Unterstützung und die Motivation in diesem Forschungsfeld zu arbeiten aussprechen.

Ein großer Dank gilt Herrn Mag. Dr. Joachim Schweigl und Herrn Dipl. Ing. Michael Bertagnoli der Abteilung Allgemeiner Baudienst – Geologischer Dienst des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung für die Bereitstellung zahlreicher Informationen zu den gemeldeten Schäden und Ereignissen. Ohne diese Auskünfte wäre die Erstellung des Ereignisinventares nicht möglich gewesen. Des Weiteren möchte ich allen Mitarbeitern des Geologischen Dienstes, der Agrarbezirksbehörde Güterwege und der Wildbach- und Lawinenverbauung des Landes Niederösterreich danken, die mir in zahlreichen Gesprächen ihre Unterstützung entgegenbrachten. Ein großer Dank gebührt auch dem Bürgermeister von Hollenstein an der Ybbs, Herrn Ing. Manfred Gruber, der mich nicht nur bei vielen Geländebegehungen begleitete sondern mich auch in allen Fragen und Anliegen tatkräftig unterstützte.

Allen derzeitigen und ehemaligen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe ENGAGE möchte ich für die Unterstützung während der Erstellung dieser Masterarbeit danken. Besonders Helene, die mir umfangreiche Informationen zum MoNOE-Projekt bereitstellte und Stefan, der mir mit zahlreichen Tipps und Gesprächen laufend bei der Erstellung dieser Arbeit half. Fr. Prof. Embleton-Hamann und Ronny, möchte ich ebenfalls für den wertvollen Input zu meiner Arbeit danken. An Catrin geht ein besonders großes Dankeschön, für die zahlreichen Anregungen und Diskussionen und die Unterstützung im Zuge meiner Arbeit.

Meinen Studienkollegen möchte ich für die aufregende und lustige Zeit danken, die wir miteinander verbringen durften. Besonders Alex, Dieter und Mira danke ich für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Geländearbeit.

Ein großes Dankeschön geht auch an alle meine Freunde, besonders Berndt, Michi G., Hansi, Kathi und Michi B., die mich in dieser spannenden aber auch anstrengenden Zeit unterstützten und mir stets beratend zur Seite standen.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie, Papi (vor allem auch für die Hilfe im Gelände), Nunu, Wolfgang, Fritzi und Andreas für die Unterstützung während der Zeit meines Studiums und besonders während der Erstellung meiner Abschlussarbeit bedanken. Ihr habt mich stets motiviert mich auch durch schwere Zeiten durchzukämpfen und seid mir immer unterstützend zur Seite gestanden, dafür danke ich euch von ganzem Herzen!

Der größte Dank gebührt meiner Schwester Angelika. Ohne dich wären mein Studium und besonders diese Arbeit nicht möglich gewesen! Du hast dich nicht nur durch meine manchmal unkonventionelle Rechtschreibung gekämpft, sondern hattest auch immer ein offenes Ohr für meine Fragen und Probleme. Ich danke dir für deine unendliche Unterstützung und Inspiration sowie die zahlreichen Gespräche, die mich immer wieder bestärkt haben meinen Weg zu verfolgen!

Zusammenfassung

Die Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen ist besonders seit Ende des 20. Jahrhunderts immer mehr in das Bewusstsein der Menschen gerückt. Die Notwendigkeit des Umgangs mit Naturgefahren, wie zum Beispiel Hangrutschungen, um eine Minimierung der Folgen und eine Gewährleistung der Sicherheit der Bevölkerung zu garantieren wird immer deutlicher. Eine Möglichkeit, mit der Gefährdung durch gravitative Ereignisse umzugehen, ist die Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten. Derartige Kartenwerke dienen der Ausweisung potenziell gefährdeter Flächen und sollen eine Hilfestellung in Fragen der Raumplanung und Katastrophenvorsorge bieten. Die Anwendbarkeit der Gefahrenhinweiskarte ist aber stark von deren Vorhersagegüte abhängig. Des Weiteren werden Gefahrenhinweiskarten häufig mittels Modellen generiert, die lediglich natürliche Einflussfaktoren in die Berechnungen einbeziehen, und anthropogene Einflüsse auf die Veränderung der Hangstabilität, wie z. B. Drainagen oder Hanganschnitte, nicht berücksichtigen. Der Mensch beeinflusst jedoch ständig sein Umfeld und damit auch die Landschaft, weshalb der anthropogene Einfluss eine mitunter bedeutende Rolle bei der Abschätzung der Gefahrensituation einer Region spielen kann.

Um die Gefahrenhinweiskarte hinsichtlich ihrer Vorhersagegüte zu überprüfen und zu untersuchen ob ein Einbezug anthropogener Einflüsse auf das Rutschungsaufreten bei der Modellierung notwendig ist, wurde in der vorliegenden Arbeit die Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen in einem Gebiet in West-Niederösterreich validiert. Die Validierung wurde mittels eines unabhängigen Testdatensatzes aus Rutschungen, die in Folge eines Starkniederschlagsereignisses im Mai 2014 ausgelöst wurden, durchgeführt. Eine vorhergehende Kartierung und Inventarisierung der Ereignisse diente hierbei nicht nur der Erfassung der Rutschungen, sondern auch der Generierung von Informationen zu den jeweiligen Prozesshintergründen um den anthropogenen Einfluss abschätzen zu können. Es wurden sowohl die Gefahrenhinweiskarte selbst, als auch die Gefährdungsmodellierungen dreier lithologischer Einheiten separat überprüft, um differenziertere Aussagen entsprechend der Modellgüte

treffen zu können. Die Ergebnisse dieser Validierung zeigten vorwiegend eine zufriedenstellende Vorhersagegüte für die unterschiedlichen Modelle. Die Analyse der Erfassbarkeit anthropogen beeinflusster Rutschungen durch eine Modellierung mittels natürlichen Einflussfaktoren zeigte, dass auch diese Rutschungen durch das Modell vorwiegend gut abgedeckt werden.

Abstract

Since the end of the 20th century the awareness of natural hazards and the potential threats they might pose to humans and the society as a whole has increased steadily. The necessity to deal with natural hazards, such as landslides, in order to minimize their consequences and ensure the security of the population, has become more apparent over the past years. Susceptibility maps can serve as a means of dealing with the threat of natural hazards, providing important information on the location of endangered areas to support decision making within spatial planning and disaster management. But the practical applicability of susceptibility maps is highly dependent on the validity of the susceptibility model. Further most susceptibility maps are generated using only natural parameters as model input, not including potential human influences on landslide occurrence, such as artificial drainage or undercutting of slopes. Still the impact of human activity on the landscape is apparent in many regions worldwide and thus can potentially play an important part in estimating the situation regarding natural hazard occurrence.

To evaluate the predictive power of the susceptibility map and to investigate if human impact on landslide occurrence needs to be considered in susceptibility modelling, a validation of the landslide susceptibility map for a region in western Lower Austria was conducted. The validation was carried out using an independent test-sample of landslides that occurred in course of a heavy rainfall event in May 2014. Detailed field-mapping was carried out to compile a landslide inventory. Within this field-investigation not only the dimensions of the processes were measured but also detailed information regarding the specific dynamics of each process were collected to estimate the potential human impact on landslide occurrence. The susceptibility map itself as well as the susceptibility model of three different lithological units were validated separately in order to provide detailed information on the quality of the model. The results of the validation were predominantly satisfactory showing a good predictive power of the susceptibility model. The validation also showed that not only natural, but also human-induced events can mostly be assessed within susceptibility modelling, even though

specific parameters on human-impact on landslide occurrence are not considered within the modelling process.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
2 Thematischer und fachlicher Hintergrund	10
2.1 Naturgefahrenforschung und Risikoanalyse – Definitionen	10
2.1.1 (Natur-)Gefahr	10
2.1.2 Gravitative Massenbewegung.....	11
2.1.3 Gefahrenanalyse und Gefahrenhinweiskarten.....	13
2.1.4 Vulnerabilität und Risikoelemente.....	14
2.1.5 Risiko und Risikoanalyse.....	15
2.2 Historische Entwicklung der Naturgefahrenforschung.....	15
2.2.1 Historischer Hintergrund von Gefahrenanalysen in Österreich.....	17
2.2.2 Anthropogener Einfluss auf Naturgefahren.....	18
2.3 Gefährdungsanalyse in Niederösterreich – das MoNOE-Projekt	19
2.3.1 Modellierung der Prozesse	20
2.3.2 Gefahrenhinweiskarten der Sturz- und Rutschprozesse.....	22
2.4 Extreme Niederschlagsereignisse im Kontext der Naturgefahren	24
3 Aktueller Forschungsstand.....	26
3.1 Kartierung und Erstellung von Rutschungsinventaren.....	26
3.2 Erstellung von Gefahrenhinweiskarten.....	28
3.3 Validierung von Gefährdungsmodellierungen.....	29
3.3.1 Berechnung der Erfolgsrate	30
3.3.2 Berechnung der Vorhersagerate.....	30
4 Forschungsfragen und Hypothesen.....	33
5 Untersuchungsgebiet.....	37
5.1 Lage und administrative Gegebenheiten.....	37
5.2 Naturräumliche Gegebenheiten.....	40
5.2.1 Geologie	40
5.2.2 Landnutzung	41
5.2.3 Klimatische Bedingungen	42
5.2.4 Niederschlagsereignis im Mai 2014	44
6 Daten	48

7 Methodik	50
7.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets.....	50
7.1.1 Vorbereitung und Aufbereitung der Eingangsinformationen	51
7.1.2 Erweiterung des Gebietes im Zuge von Geländebegehungen	52
7.1.3 Erstellung und Abgrenzung des vollständig kartierten Gebietes.....	52
7.2 Erstellung des Ereignisinventars Mai 2014	55
7.2.1 Entwicklung des Aufnahmebogens zur Kartierung der Ereignisse	56
7.2.2 Erste Inventarerstellung anhand von Informationen aus externen Quellen	59
7.2.3 Methodik der Kartierung der Ereignisse	60
7.2.4 Erstellung des Ereignisinventars und Beschreibung der Rutschungen	61
7.2.5 Digitalisierung der Kartierungsergebnisse	62
7.2.6 Abgrenzung der Rutschungen zu Muren	62
7.2.7 Auswahl der in die weitere Analyse eingehenden Ereignisse	63
7.3 Validierung der Gefahrenhinweiskarte	64
8 Ergebnisse.....	69
8.1 Darstellung des Untersuchungsgebiets.....	69
8.2 Ergebnisse der Kartierung	70
8.2.1 Evaluierung des Aufnahmebogens	71
8.2.2 Vorläufiges Ereignisinventar aus externen Datenquellen	75
8.2.3 Ergebnisse der Kartierung.....	76
8.2.4 Erstellung des Ereignisinventares und erste Datenauswertung	81
8.2.5 Digitalisierungsergebnis	91
8.2.6 Ergebnis der Abgrenzung kombinierter Ereignisse.....	92
8.2.7 Finales Rutschungsinventar zur Validierung der Gefahrenhinweiskarte.....	94
8.3 Ergebnisse der Validierung	95
9 Diskussion	102
9.1 Diskussion der Kartierung	102
9.2 Evaluierung der Ermittlung des anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsauftreten	104
9.3 Diskussion der Validierung	106
9.4 Diskussion der Hypothesen	109
10 Perspektiven und Ausblick.....	112

Literaturverzeichnis.....	115
Abbildungsverzeichnis	125
Tabellenverzeichnis	128
Anhang	131
Anhang A – Originalzitate der Definitionen (zu Kapitel 2.1).....	131
Anhang B – Erläuterungen (und Übersetzung) zu Abbildung 14 Teilbereiche einer Rutschung (nach Cruden 1993)	133
Anhang C – Ausschnitt aus der Tabelle zum Ereignisinventar Mai 2014	135
Anhang D – Karte des digitalisierten Ereignisinventars – Mai 2014	136
Anhang E – Karte Rutschungsinventars zur Validierung – Mai 2014	137

1 Einleitung

Die Analyse von Naturgefahren und speziell gravitativen Massenbewegungen hat seit Ende des 20. Jahrhunderts immer mehr an Bedeutung gewonnen. Auch im Kontext der anthropogenen Beeinflussung des Auftretens von Rutschungen und anderen gravitativen Ereignissen ist die Untersuchung entsprechender Prozesszusammenhänge immer mehr in den Fokus wissenschaftlichen Arbeitens gerückt. Seit Beginn des 21. Jahrhunderts waren ca. 1,5 Millionen Menschen weltweit von den Folgen gravitativer Massenbewegungen betroffen (STERLACCHINI ET AL. 2011: 51). Während sich einige Studien bereits mit dem direkten menschlichen Einfluss auf das Auftreten von Naturgefahren sowie den damit verbundenen Risiken beschäftigten (siehe u.a. GLADE 2003, GUTIÉRREZ ET AL. 2014, ICSU 2005, MCCOLL 2015, PREUTH ET AL. 2010, REMONDO ET AL. 2005), ist dieses Thema in vielen Regionen der Welt noch relativ unerforscht, da die direkten Einflüsse anthropogenen Wirkens und die Zusammenhänge zwischen diesem und dem Auftreten von Naturgefahren oftmals höchst komplex sind.

Naturgefahren, wie zum Beispiel Rutschungen, sind ein weltweit wirkendes Phänomen, und können nicht nur zu einem Verlust menschlichen Lebens, sondern auch zur Zerstörung von Lebensgrundlagen oder ökonomischen Gütern führen (ICSU 2005: 9). Atmosphärisch bedingte und wetterbezogene Naturgefahren wie Sturmfluten, Überschwemmungen, Stürme, Dürren, Waldbrände oder gravitative Massenbewegungen, verursachen hierbei weltweit die größten Schäden, sei es bezüglich der Anzahl der Ereignisse, der materiellen Zerstörung oder der Verluste von Menschenleben (ICSU 2005: 9f). Derartige Ereignisse können, unabhängig von deren Auslöser, demnach eine ernst zu nehmende Bedrohung für die physischen Strukturen (Gebäude, Infrastruktur etc.) oder das Leben der Menschen einer Region darstellen. Aber auch drastische Veränderungen in Bereichen wie Wirtschaft, durch Unterbrechungen und Störungen der Produktion oder Verzögerung von Lieferungen etc., oder Verkehr im Allgemeinen, durch Zerstörung wichtiger Transportrouten oder Unterbrechung des öffentlichen Nahverkehrs etc., können Folgen derartiger Ereignisse sein. Gravitative Massenbewegungen können, wie viele andere Naturgefahren, nicht nur Schäden

an Gebäuden und Straßen, sondern auch an landwirtschaftlichen Flächen eines Gebietes hinterlassen (PETSCHKO ET AL. 2013: 77) und diese maßgeblich beeinflussen. All diese und viele weitere mögliche Folgen von Naturgefahren sind jedoch keinesfalls gesondert voneinander zu betrachten, sondern stehen, wie sehr gut am Beispiel des Zusammenhangs der kritischen Infrastruktur (z. B. Krankenhäuser) und deren Zerstörung mit der Sicherstellung der (medizinischen) Versorgung und somit dem Erhalt des Wohlbefindens der Bevölkerung zu sehen ist, miteinander in Verbindung.

Die Untersuchung von gefährdenden Naturereignissen und deren Prozesshintergründen stellt einen wichtigen Teil der ganzheitlichen Betrachtung einer Region dar. Besonders im Alpenraum Österreichs mit seinen unterschiedlichen geologischen und geomorphologischen Gegebenheiten und den damit einher gehenden mitunter hohen Hangneigungen gelten Rutschungen als relevante Naturgefahren, die mitunter auch das Landschaftsbild prägen können (SCHWEIGL & HERVÁS 2009: 7). Speziell in Niederösterreich kann eine Vielzahl unterschiedlicher gravitativer Naturgefahren, wie Hangrutschungen, Muren oder Steinschläge, beobachtet werden (PETSCHKO ET AL. 2014a: 98). Bei der Analyse derartiger Naturereignisse gilt es jedoch, nicht nur die vorbereitenden Faktoren, wie zum Beispiel Lithologie, Tektonik oder Landnutzung, zu untersuchen, sondern auch mögliche auslösende Faktoren, wie besonders in Österreich langanhaltende und intensive Regenfälle (SCHWEIGL & HERVÁS 2009: 7), mit zu berücksichtigen. Des Weiteren darf der anthropogene Einfluss im Sinne der Veränderung der Landoberfläche und der damit einhergehenden eventuellen Begünstigung gravitativer Massenbewegungen nicht außer Acht gelassen werden. Beispielsweise konnte die Veränderung der Landnutzung weltweit als einer der größten Einflüsse auf niederschlagsbedingte gravitative Massenbewegungen identifiziert werden (GLADE 2003: 298). Verschiedenste Eingriffe des Menschen in das Landschaftsbild können also eine mögliche Rolle spielen. So können zum Beispiel auch Hanganschnitte zur Errichtung von Gebäuden zu einer Übersteilung des Hanges führen, der somit anfälliger für Hangbewegungen werden kann. Aber auch das Durchschneiden von Waldgebieten in Form von Forstwegen oder die Veränderung des

Oberflächenabflusses durch Drainagen können als Beispiele anthropogenen Einflusses auf gravitative Massenbewegungen genannt werden. Eine Möglichkeit in Richtung eines nachhaltigen Umgangs mit potenziellen Naturgefahren einer Region und deren möglicher Vermeidung stellt die Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte relevanter Naturgefahren für ein Gebiet dar. Um eine potenzielle Verhinderung von Schäden zu ermöglichen sowie um von der Reaktion hin zu einer Vorbereitung auf mögliche Naturgefahrensituationen zu gelangen, können Gefahrenhinweiskarten als wichtiges Hilfsmittel dienen (PETSCHKO ET AL. 2014a: 95).

Vor diesem Hintergrund sollen in folgender Arbeit die gravitativen Massenbewegungen, welche in Folge eines Starkniederschlagsereignisses im Mai 2014 in Niederösterreich auftraten, näher untersucht werden. Ziel dieser Analyse ist es, ein ausführliches Ereignisinventar der Rutschungen, Muren und Steinschläge, die mit diesem Niederschlagsereignis in Zusammenhang zu setzen sind, zu generieren, um die möglichen Folgen derartiger Ereignisse besser abschätzen zu können. Anhand dieses Inventares sollen auch die möglichen anthropogenen Einflüsse auf das Rutschungsaufreten im Untersuchungsgebiet analysiert werden. Hierzu sollen zu jedem Ereignis potenziell beeinflussende menschliche Strukturen und Bauwerke erhoben werden, die das Auslösen der Rutschungen begünstigt haben könnten. Des Weiteren soll anhand der Rutschungen, die im Kontext dieses Extremereignisses auftraten, die Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen Niederösterreichs validiert werden. Diese Validierung soll also mittels der erhobenen und möglicherweise anthropogen beeinflussten Rutschungen durchgeführt werden um eine Einschätzung über die Erfassbarkeit anthropogener Ereignisse durch eine Gefährdungsmodellierung mittels natürlichen Faktoren zu überprüfen. Da die Gefahrenhinweiskarte vorwiegend in planerischen und gefahrenpräventiven Belangen als Entscheidungshilfe herangezogen werden soll, dient diese Arbeit also zur besseren Einschätzung der Anwendbarkeit dieses Kartenwerks und soll in Ergänzung zu diesem gesehen werden.

Eine erste Einführung in die thematischen Hintergründe der vorliegenden Analyse stellt alle in dieser Arbeit herangezogenen Definitionen und Konzepte übersichtlich vor. Eine folgende kurze Betrachtung der Geschichte der Naturgefahrenforschung und des anthropogenen Einflusses auf das Auftreten von Naturgefahren präsentiert den historischen Kontext dieser Analyse. Des Weiteren wird speziell auf die Gefährdungsanalyse und die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte in Niederösterreich im Kontext des MoNOE-Projekts eingegangen. Dies dient vorwiegend dazu, die Methodik und die Ergebnisse der Erstellung der in weiterer Folge validierten Gefahrenhinweiskarte näher zu erläutern. Ein kurzer Einblick in die Rolle von extremen Niederschlagsereignissen im Kontext der Naturgefahrenforschung bietet als Abschluss des thematischen Hintergrundes einen ersten Einblick in mögliche Zusammenhänge von Starkniederschlägen mit gravitativen Massenbewegungen.

Das nächste Kapitel dieser Arbeit widmet sich der Erläuterung des aktuellen Forschungsstandes in den Bereichen Kartierung, Modellierung und Validierung von Gefährdungsanalysen gravitativer Massenbewegungen. Dies liefert den methodischen Rahmen dieser Arbeit und einen Einblick in den State of the Art der in weiterer Folge durchgeführten Untersuchungen.

Nach dieser Vorstellung der Rahmenbedingungen und Hintergründe der vorliegenden Analyse soll eine Präsentation der bearbeiteten Forschungsfragen und Hypothesen die genauen Ziele dieser Arbeit erläutern. Ein Überblick über das Untersuchungsgebiet dient im folgenden Abschnitt dazu, einen besseren Einblick in die untersuchte Region zu erhalten. Hierbei wird speziell auf die naturräumlichen Gegebenheiten, wie Geologie, Landnutzung und klimatische Bedingungen, eingegangen, aber auch eine kurze Beschreibung der administrativen und sozialen Verhältnisse soll zu dieser ausführlichen Darstellung des Untersuchungsgebietes beitragen.

Neben der Darstellung der verwendeten Daten soll in weiterer Folge die angewandte Methodik der Kartierung, Inventarerstellung und Validierung genau dargelegt werden. Die Präsentation der Ergebnisse und deren ausführliche

Diskussion bilden den Hauptteil dieser Arbeit. Abschließend sollen mögliche weitere Forschungsfelder und Perspektiven im Bereich der Validierung von Gefahrenhinweiskarten einen zusammenfassenden Ausblick auf mögliche zukünftige Analysen liefern.

2 Thematischer und fachlicher Hintergrund

Um eine ausführliche Analyse der Gefahrensituation in Bezug auf ein Starkniederschlagsereignis sowie eine Validierung der Gefahrenhinweiskarte durchzuführen, bedarf es vorab einer Erläuterung der thematischen Hintergründe derartiger Untersuchungen. Zu diesem Zwecke werden in folgendem Kapitel einige Grundlagen der Naturgefahrenforschung und Risikoanalyse sowie deren historische Entwicklung und Anwendung in Form von Gefahrenhinweiskarten beschrieben. Ein kurzer Einblick in die Entwicklung anthropogener Einflüsse auf gravitative Massenbewegungen sowie die Zusammenhänge von Extremereignissen und Naturgefahren soll zum besseren Verständnis der speziellen Thematik dieser Arbeit dienen. Des Weiteren soll eine Zusammenfassung des MoNOE-Projekts, im Zuge dessen die Gefahrenhinweiskarte für Niederösterreich erstellt wurde, besseren Einblick in die Hintergründe der Gefährdungsmodellierung in Niederösterreich liefern.

2.1 Naturgefahrenforschung und Risikoanalyse – Definitionen

Die Erforschung von Naturgefahren stellt, besonders im Kontext deren potenzieller Folgen für den Menschen, einen wichtigen Teil der Risikoanalyse in einem Gebiet dar. Um jedoch die Zusammenhänge dieser Forschungsfelder ausreichend zu erfassen, müssen vorab einige wichtige Begriffe der Naturgefahrenforschung und Risikoanalyse definiert und näher erläutert werden. Da in zahlreichen Literaturstellen unterschiedliche Definitionen der relevanten Begriffe erwähnt werden, soll im Folgenden lediglich eine Auswahl jener angeführt werden, die dem Verständnis der vorliegenden Arbeit entsprechen. Die Definitionen wurden aus englischsprachigen Publikationen in die deutsche Sprache übersetzt, der originale Wortlaut ist dem Anhang A zu entnehmen.

2.1.1 (Natur-)Gefahr

Gefahren können im Allgemeinen als gefährliche Phänomene, Substanzen, menschliche Aktivitäten oder Zustände bezeichnet werden, die einen Verlust

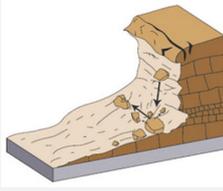
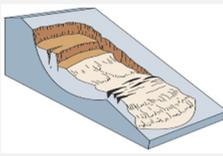
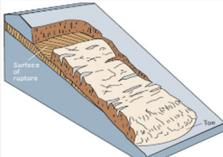
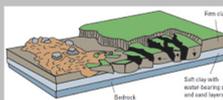
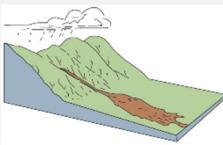
menschlichen Lebens, Verletzungen oder andere Gesundheitsfolgen, Schäden an Sachgütern, Verlust der Lebensgrundlage, soziale und ökonomische Störungen oder ökologische Zerstörung verursachen können (UN-ISDR 2009: 17). Eine Gefahr ist also ein bedrohliches Ereignis oder die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines potenziell schadenbringenden Phänomens innerhalb gewisser Zeitspannen und Gebiete (WMO 1999: 2).

Eine Naturgefahr bezeichnet im Speziellen „Vorgänge in der Natur, die zu einer Bedrohung von Menschen, Umwelt, Sach- und Vermögenswerten führen können“ (HÜBL ET AL. 2011: 2). Analog zur Definition von „Gefahr“ können darunter also natürliche Prozesse oder Phänomene, die einen Verlust menschlichen Lebens, Verletzungen oder andere Gesundheitsfolgen, Schäden an Sachgütern, Verlust der Lebensgrundlage, soziale und ökonomische Störungen oder ökologische Zerstörung verursachen können, verstanden werden (UN-ISDR 2009: 20). Naturgefahren sind demnach unerwartete und/oder unkontrollierbare Naturereignisse mit einer unüblichen Magnitude, die potenziell zu einer Bedrohung der Menschen führen können (BOKWA 2013 in BOBROWSKY 2013: 711).

2.1.2 Gravitative Massenbewegung

Gravitative Massenbewegungen können allgemein als „bruchlose und bruchhafte hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fels- und/oder Lockergestein unter Wirkung der Schwerkraft“ (DIKAU & GLADE 2002: 40) bezeichnet werden. Es handelt sich also um eine abwärts oder nach außen gerichtete Bewegung von hangformendem Material unter Einfluss der Gravitation (VARNES 1978 in PETSCHKO 2014: 4). Der Unterschied der Bewegungstypen, also die Art und Weise wie, sich das Material verlagert, gilt, neben dem Material aus dem sich der Prozess zusammensetzt, als eines der entscheidenden Kriterien der Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES 1996: 37). Entsprechend den verschiedenen Typen und Materialzusammensetzungen dieser hangabwärts gerichteten Prozesse (CRUDEN 1991) können unterschiedliche Arten gravitativer Massenbewegungen differenziert werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einteilung gravitativer Massenbewegungen nach Prozess- und Materialtypen (nach DIKAU & GLADE 2002, DIKAU ET AL. 1996, CRUDEN & VARNES 1996, Abbildungen HIGHLAND & BOBROWSKY 2008)

Prozesstyp		Material			
		Festgestein	Lockergestein		
Fallen	Fels- oder Lockergestein stürzt größtenteils frei fallend, springend oder rollend ab. Die Ablösung des Materials geschieht entlang von Flächen, an denen geringe oder keine Scherbewegungen stattfinden	Bergsturz, Felssturz, Blocksturz, Steinschlag	Erdsturz, Schuttsturz		
Kippen	Vorwärtsrotation von Fest- oder Lockergestein eines Hanges um einen Punkt oder eine Achse unterhalb ihres Schwerpunktes	Felskipfung	Erdkipfung, Schuttkipfung		
Gleiten	Fest- oder Lockergestein vollzieht eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf Gleitflächen oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung	rotationsförmig	Felsrutschung	Erdrutschung, Schuttrutschung	
		translational	Felsgleitung	Erdblockgleitung, Schuttblockgleitung	
Driften	Laterale Bewegung von Fest- oder Lockergestein mit einem Einsinken in die liegenden, weniger kompetenten Schichten ohne intensive Scherung auf Gleitflächen	Felsdriften	Erddriften, Schuttdriften		
Fließen	Kontinuierliche, irreversible Deformation von Fest- oder Lockergestein, bei der die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse der einer viskosen Flüssigkeit gleicht	Sackung, Talzus Schub	Murgang, Erdfließen, Schuttfließen		
Komplex	Liegt dann vor, wenn die Prozesse in Kombination auftreten, wobei sich der initiale Typ während der Hangabwärtsbewegung verändert				

Prozesse wie Steinschläge, Rutschungen oder Muren können je nach ihrer Bewegungsart und ihrer Materialzusammensetzung in diese Klassifikation eingeordnet werden. Entsprechend den im weiteren Verlauf dieser Arbeit betrachteten Phänomenen sollen an dieser Stelle jedoch auch gesonderte

Definitionen dieser speziellen Typen von Massenbewegungen, wie sie in Österreich Anwendung finden, angeführt werden (nach HÜBL ET AL. 2011: 10ff):

- Unter einem Steinschlag wird ein Fallen, Springen und Rollen von isolierten Steinen und Blöcken bis zu einer Gesamtmenge von 100 m³ mit Geschwindigkeiten von 20 bis zu 100 km/h verstanden.
- Rutschungen können, im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung, in spontane, die infolge plötzlichen Verlustes der Scherkräfte durch Ausbildung einer Bruchfläche relativ schnell abgleiten, und permanente (kontinuierliche) Rutschungen, die sich über lange Zeiträume auf bestehenden Gleitflächen gleichmäßig hangabwärts bewegen, unterteilt werden. Des Weiteren können Translationsrutschungen und Rotationsrutschungen unterschieden werden. Unter Translationsrutschung versteht man eine Abwärtsbewegung von oberflächennahen Fels- oder Lockergesteinsschichten durch flächenhaftes Gleiten entlang von hangparallelen Gleitflächen, während eine Rotationsrutschung eine Bewegung entlang einer konkav gekrümmten Gleitfläche zeigt, die im Augenblick des Bruches durch Scherversagen entsteht.
- Eine Hangmure ist eine anfängliche Rutschung durch Böschungsbruch, die sich aufgrund des hohen Wassergehalts zu einem Fließprozess verändert, der sich dann am Hang oder einer Böschung talwärts bewegt.
- Eine Mure ist im Vergleich dazu ein von Wasser und Feststofftransport dominierter Prozess, der sich in einem definierten Gerinne eines Wildbaches talwärts bewegt.

2.1.3 Gefahrenanalyse und Gefahrenhinweiskarten

Die Gefahrenanalyse beschäftigt sich vorwiegend mit der Untersuchung potenziell schadenbringender (Natur-)Ereignisse. Der Kern der Gefahrenidentifikation und -analyse besteht also in der „Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des zukünftigen Auftretens einer Naturgefahr, wie z. B. einer Massenbewegung, in Raum und Zeit“ (DIKAU & GLADE 2002: 40).

Diese Wahrscheinlichkeiten können in Gefahrenhinweiskarten, also Karten, die die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses, ohne einen zeitlichen Rahmen zu liefern, flächendeckend aufzeigen (PETSCHKO ET AL. 2013: 78), dargestellt werden. Das Ziel dieser Gefahrenhinweiskarten ist es, die potenziell gefährdeten Gebiete darzustellen und so die Risiken durch z. B. Rutschungen oder Steinschläge zu minimieren, wobei eine Hilfestellung zum angemessenen Umgang mit diesen gefährdeten Gebieten gegeben werden soll (AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG a. n.: 3).

2.1.4 Vulnerabilität und Risikoelemente

Unter Vulnerabilität wird im Kontext der Naturwissenschaften die „von der Magnitude des Ereignisses abhängige Wahrscheinlichkeit verstanden, dass das Risikoelement komplett zerstört wird, ausgedrückt auf einer Skala von 0 (kein Schaden) bis 1 (komplette Zerstörung)“ (VON ELVERFELDT ET AL. in FELGENTREFF & GLADE 2008: 37). Es werden hierbei also Charakteristika und Rahmenbedingungen einer Gesellschaft oder eines Systems behandelt, die dieses anfällig für Schäden bezüglich einer bestimmten Gefahr machen (UN-ISDR 2009: 30). Die spezifischen Verhältnisse innerhalb des Systems, welche von physischen, sozialen, ökonomischen und umweltbedingten Faktoren oder Prozessen geprägt sind, beeinflussen also die Anfälligkeit einer Gesellschaft gegenüber den Folgen von Gefahren (ICSU 2005: 34).

Der Begriff Vulnerabilität hinsichtlich gravitativer Massenbewegungen bezeichnet „die Empfindlichkeit der Risikoelemente gegenüber der Massenbewegung, häufig ausgedrückt als auftretende Höhe des Schadens im potenziell durch Massenbewegungen beeinflussten Gebiet“ (DIKAU & GLADE 2002: 41). Die betroffenen Risikoelemente können hierbei die „Bevölkerung, Gebäude, Bauwerke, ökonomische Aktivitäten, öffentliche Dienstleistungen und Infrastrukturen etc. im potenziell durch Massenbewegungen beeinflussten Gebiet“ (DIKAU & GLADE 2002: 41) sein. Diese Elemente sind entsprechend ihrer Lage und Beschaffenheit bestimmten Gefahren ausgesetzt. Diese Ausgesetztheit der Risikoelemente kann also als Menschen, Sachgüter, Systeme oder andere

Elemente, die sich in einer gefährdeten Zone befinden und dadurch Subjekt möglicher Verluste sein können (UN-ISDR 2009: 15), definiert werden.

2.1.5 Risiko und Risikoanalyse

Der Begriff Risiko bezeichnet allgemein „die Wahrscheinlichkeit und Heftigkeit einer nachhaltigen Einwirkung auf die Gesundheit, das Eigentum und die Umwelt“ (DIKAU & GLADE 2002: 41), also die Kombination der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses und der daraus resultierenden negativen Konsequenzen (UN-ISDR 2009: 25). Etwas ausführlicher kann unter Risiko die Wahrscheinlichkeit schadenbringender Konsequenzen oder erwarteter Verluste (Todesfälle, Verletzungen, Sachschäden, Verlust der Lebensgrundlage, Störung ökonomischer Aktivitäten oder ökologische Schäden) verstanden werden, die aus einer Interaktion natürlicher und anthropogen beeinflusster Gefahren und den spezifischen Vulnerabilitätsbedingungen entstehen (ICSU 2005: 33). Als mathematischer Zusammenhang ausgedrückt, ist Risiko also eine „Funktion von Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude und dem korrespondierenden Schadensausmaß“, die eine „Quantifizierung der Auswirkung von Naturgefahren“ ermöglicht (FUCHS ET AL. 2008: 148). Die Risikoanalyse kann hierbei als „Nutzung verfügbarer Informationen zur Abschätzung des durch die Gefahr hervorgerufenen Risikos für die Bevölkerung, das Individuum, das Eigentum, die Umwelt etc.“ (DIKAU & GLADE 2002: 41) verstanden werden.

2.2 Historische Entwicklung der Naturgefahrenforschung

Die Erforschung von Naturgefahren hat bereits eine lange Tradition. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts beschäftigten sich Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen weltweit mit den Prozesszusammenhängen von Naturgefahren hinsichtlich der physischen Prozesse, der räumlichen Verteilung und sogar teilweise der Auswirkungen der Ereignisse (MONTZ & TOBIN 2011: 1). Die ersten Untersuchungen waren vorwiegend deskriptive Erläuterungen, wobei auf natürliche Prozesse und weniger auf die Einflüsse des Menschen auf diese fokussiert wurde (MONTZ & TOBIN 2011: 1). Gegen Mitte des 20. Jahrhunderts

brachte die Dissertation von Gilbert F. White mit dem Titel „Human Adjustment to Floods“ neue Aspekte in das Feld der Naturgefahrenforschung. White diskutierte im Zuge dieser Arbeit nicht nur generelle Themenbereiche der Überschwemmungsproblematik in den USA, sondern brachte erstmals auch Aspekte beeinflussender Faktoren und möglicher Anpassungsstrategien an Überschwemmungen auf (WHITE 1945) und bildete somit einen Meilenstein der modernen Naturgefahrenforschung. Seine Arbeit führte also zu einem markanten Wandel der Naturgefahrenforschung, weg von einer alleinigen Betrachtung der natürlichen Gegebenheiten, hin zu einem Ansatz angewandter Geographie, um die komplexen Zusammenhänge sozialer Systeme mit Naturgefahren und Naturkatastrophen zu ergründen (MONTZ & TOBIN 2011: 1).

Die Naturgefahrenforschung hat seither weltweit einen großen Aufschwung erlebt, wobei die Analyse der Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen in den vergangenen Jahren, besonders durch die Anwendung statistisch basierter Techniken der Modellierung, zunehmend verbessert werden konnte (STERLACCHINI ET AL. 2011: 51). Die stetige Weiterentwicklung verschiedenster Methoden und deren Umsetzung in zahlreichen Fallstudien tragen auch weiterhin zur Verbesserung des Verständnisses von Naturgefahren und deren komplexen Zusammenhängen bei. Die heutige Naturgefahrenforschung ist also nicht als isoliertes Forschungsfeld, sondern vielmehr als interdisziplinäre Wissenschaft zu verstehen, in die sowohl Sozial- als auch Naturwissenschaften, aber auch Gesundheitsforschung und administrative Einrichtungen involviert sind (MONTZ & TOBIN 2011: 1).

Nicht nur die Entwicklung neuer Methoden der Analyse und die Modellierung von Naturgefahren stehen im Fokus der modernen Naturgefahrenforschung. Auch die Betrachtung historischer Informationen, welche besonders zum besseren Verständnis großer singulärer Ereignisse, aber auch langfristiger Veränderungen, wie z. B. Klimaänderungen, beitragen können, wird zu einem immer wichtigeren Teil der Gefahren- und Risikoanalyse der letzten Jahre (DIX & RÖHRS 2007: 216). Vor dem Hintergrund einer interdisziplinären Naturgefahrenforschung, welche nicht nur an der methodischen Weiterentwicklung interessiert ist, sondern auch

versucht, aus der Vergangenheit zu lernen, kann die Naturgefahrenforschung als sich stetig veränderndes Feld bezeichnet werden, welches einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Schäden großer Naturkatastrophen, bis hin zu deren möglicher Vermeidung durch entsprechende präventive Maßnahmen, leisten kann. Besonders der anthropogene Einfluss auf das Auftreten von Naturgefahren kann hier als zukunftsweisendes Forschungsfeld der Naturgefahrenforschung genannt werden. Daher sollen im Folgenden nicht nur speziell die Hintergründe der Naturgefahrenanalyse in Österreich, sondern auch Mechanismen anthropogenen Einflusses auf Naturgefahren kurz erläutert werden.

2.2.1 Historischer Hintergrund von Gefahrenanalysen in Österreich

Ein großer Teil des österreichischen Bundesgebiets ist in unterschiedlichem Maße von Naturkatastrophen bedroht, wobei im Laufe der Zeit umfangreiche Maßnahmen für die Sicherheit der Bevölkerung gesetzt wurden (HÜBL ET AL. 2011: 5). Die Entwicklung der Naturgefahrenforschung in Österreich erfuhr, ähnlich dem weltweiten Trend, ebenfalls seit Mitte des 20. Jahrhunderts einen großen Aufschwung. Besonders gegen Ende des 20. und Anfang des 21. Jahrhundert traten die möglichen Folgen von Naturgefahren immer mehr in das Bewusstsein der Bevölkerung, und die Notwendigkeit eines bewussten Umgangs mit diesen wurde immer deutlicher. Ein erster Schritt in Richtung eines ganzheitlichen Umganges mit Naturgefahren waren die bereits 1975 im Forstgesetz rechtlich verankerten Gefahrenzonenpläne, die flächenhafte Gutachten über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und Erosion beinhalten (BMLFUW 2014b: 2). Hinsichtlich einer genaueren Betrachtung von Sturz- und Rutschprozessen, welche nicht in alle Gefahrenzonenpläne Österreichs integriert sind, wurde Anfang des 21. Jahrhunderts eine Erstellung von Gefahrenhinweiskarten in einigen Gebieten forciert. Das erste österreichische Bundesland, das eine flächenhafte Darstellung der räumlichen Gefährdung durch Hangrutschungen basierend auf modernen Modellierungsmethoden umsetzte, war das Burgenland (LEOPOLD & ZINGGL 2013: 66), wo bereits im Jahr 2005 ein entsprechendes Forschungsprojekt mit der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten beauftragt wurde.

Kartenwerke, die die Gefahrensituation in einem bestimmten Gebiet darstellen, sollen hierbei primär der Unterstützung zur Entscheidungsfindung sowohl in planerischen als auch gefahrenpräventiven Belangen dienen und in Österreich in Fragen der Raumordnung und des Umgangs mit Naturgefahren Anwendung finden (JACHS 2011). Ein entsprechendes Beispiel einer anwendungsorientierten bundesländerweiten Gefahrenhinweiskarte soll in Kapitel 2.3 am Beispiel des MoNOE-Projekts, näher erläutert werden. Neben den verfügbaren Gefahrenzonenplänen und den in Teilgebieten Österreichs erstellten Gefahrenhinweiskarten gibt es bundesweit sechs große Organisationen, die Daten zu gravitativen Massenbewegungen sammeln und den entsprechenden Entscheidungsträgern zur Verfügung stellen: (1) die Geologische Bundesanstalt, GBA, (2) den Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinerverbauung, WLW, (3) das Joanneum Research, (4) das AlpS, Zentrum für Naturgefahrenmanagement, (5) die Österreichischen Bundesbahnen, ÖBB und (6) die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, ASFINAG (SCHWEIGL & HERVÁS 2009: 14f).

2.2.2 Anthropogener Einfluss auf Naturgefahren

Der anthropogene Einfluss auf das Landschaftsbild und somit auf natürliche Systeme hatte seine Anfänge bereits in den ersten Eingriffen des Menschen zur Nutzbarmachung der Landoberfläche. Neben ackerbaulichen und forstwirtschaftlichen Maßnahmen können hierbei auch Dammbauten und sonstige Verbauungen als Beeinflussung hydrologischer Systeme und somit der gesamten Landschaft gesehen werden. Bereits in der Antike wurden Staudämme zur Flutprävention und Bewässerungsregulierung errichtet (z. B. Marib, Yemen ca. 3000 BP, siehe WESCOAT & WHITE 2003), und auch heute noch zeigen derartige Bauten einen großen Einfluss auf die Landschaft und können so potenziell zum Auftreten von Naturgefahren beitragen. Als ein Beispiel menschlichen Einflusses auf die Vulnerabilität bezüglich Naturgefahren kann die Veränderung der Landbedeckung genannt werden, die zu einem erhöhten Risiko von Überschwemmungen und Rutschungen führen kann (ICSU 2005: 11). Seit dem späten Holozän verändert der Mensch immer größere Gebiete, besonders in

Europa, indem die Waldbedeckung zugunsten ackerbaulicher Nutzung modifiziert wird, was zu einem Anstieg geomorphologischer Prozesse (z. B. äolischer Sedimenttransport, Überschwemmungen, Erosion oder gravitative Massenbewegungen) führte (GLADE 2003: 298). Aber auch „menschliche Einflüsse wie die Unterschneidung eines Hangs im Zuge eines Wegebauwerks oder die Belastung eines sensiblen Hangs durch eine Aufschüttung oder ein Bauwerk reduzieren die Hangstabilität und können zu Rutschungen führen“ (HÜBL ET AL. 2011: 18). Des Weiteren kann die erhöhte Luftverschmutzung und Emission von Treibhausgasen zu einer Veränderung des Klimas und somit zu einer Steigerung der Frequenz extremer Wetterereignisse, wie z. B. Starkregenereignisse, führen (ICSO 2005: 11), was wiederum das Auftreten von Naturgefahren verändern kann.

Die Prozesse menschlicher Aktivität und der damit einhergehenden möglichen Beeinflussung des Auftretens von Naturgefahren können sowohl auf globaler Ebene, im Sinne klimatischer Veränderungen, als auch auf regionaler Ebene wirksam werden. Besonders Gebirgsregionen gelten aufgrund ihrer steilen Hangneigungen sowie der dort herrschenden speziellen klimatischen Bedingungen als geomorphologisch besonders aktiv während sie gleichzeitig besonders anfällig gegenüber Veränderungen der Landnutzung, des Klimas etc. sind (REMONDO ET AL. 2005: 70). Daher können diese Regionen auch als besonders empfindlich gegenüber anthropogenem Einfluss auf das System und somit das Naturgefahrenauftreten gesehen werden.

2.3 Gefährdungsanalyse in Niederösterreich – das MoNOE-Projekt

Das Forschungsprojekt „MoNOE – Methodenentwicklung für die Gefährdungsmodellierung von Massenbewegungen in Niederösterreich“ wurde vom Geologischen Dienst in Kooperation mit der Abteilung für Raumordnung und Regionalpolitik des Landes Niederösterreich ins Leben gerufen (PETSCHKO ET AL. 2013: 77), um geeignete Methoden der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten zu entwickeln (GLADE ET AL. 2012: 498). Im Zuge dieses Projekts wurden Sturz- und Rutschprozesse in Niederösterreich betrachtet, um eine flächendeckende Gefahrenhinweiskarte zu erstellen. Als Eingangsdaten für die statistische

Modellierung dienten hierbei neben einem hochauflösenden LiDAR (Light Detection And Ranging) DGM (digitales Geländemodell), geologischen Karten und Daten zum Verlauf von Störungslinien auch eine Landbedeckungsklassifikation sowie flächendeckende Bodenkarten (PETSCHKO ET AL. 2013: 79). Des Weiteren standen Rutschungsinventare des Baugrundkatasters des Geologischen Dienstes, Informationen aus der Datenbank „GEORIOS – Georisiken Österreich“, welche ebenfalls durch den Geologischen Dienst zusammengestellt wurden, sowie Rutschungsdaten der Wildbach- und Lawinenverbauung zur Verfügung (PETSCHKO 2014: 65f). Durch verschiedene Analyseschritte sollten neben der Modellierung der Gefährdung auch eine Validierung der Ergebnisse sowie eine endnutzerorientierte Präsentation der Gefahrenhinweiskarten entwickelt werden.

2.3.1 Modellierung der Prozesse

Da in der vorliegenden Arbeit besonders die Gefahrenhinweiskarte der Rutschprozesse näher betrachtet wird, soll in weiterer Folge auf die Erstellung dieser fokussiert werden. Jedoch soll an dieser Stelle auch eine kurze Erläuterung der Modellierung der Sturzprozesse angeführt werden, um einen vollständigen Überblick über das MoNOE-Projekt zu erhalten.

Die Modellierung der Prozesse erfolgte in beiden Fällen nach lithologischen Großeinheiten, wobei für die Rutschprozesse das Untersuchungsgebiet in 16 lithologische Großeinheiten unterteilt wurde, um der Heterogenität der geotechnischen und topographischen Charakteristika in dem Gebiet gerecht zu werden (PETSCHKO ET AL. 2014a: 101). Die Sturzprozesse wurden in nach acht lithologischen Einheiten unterteilten Gebieten modelliert, wobei hier die Einheiten entsprechend den jeweiligen Grenzneigungswinkeln, also jenen Minimalwinkeln ab denen es zur Auslösung von Sturzblöcken kommen kann, zusammengefasst wurden (PROSKE & BAUER 2013: 87f).

Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte der Sturzprozesse basierte auf einem zweistufigen Modellierungsansatz, welcher sowohl die Disposition für die Auslösung des Prozesses als auch die Reichweiten, also die Sturzbahnen und Ablagerungsgebiete, beinhaltet (PROSKE & BAUER 2013: 87). Die Modellierung

erfolgte hier getrennt nach vier Volumenklassen, welche für die finale Darstellung in einer Gefahrenhinweiskarte zusammengeführt und klassifiziert wurden (PROSKE & BAUER 2013: 88ff).

Für die Modellierung der Rutschprozesse wurde anfangs ein Rutschungsinventar für Gesamtniederösterreich erstellt. Die Anrisse der Rutschprozesse wurden, in Ergänzung zu den bereits vorhandenen Ereignisinformationen, mittels punktförmiger Kartierung anhand des LiDAR DGM und dessen Derivaten wie Hangneigungskarten oder Schummerungsdarstellungen ermittelt (PETSCHKO ET AL. 2013: 79). Die Rutschungen wurden hierbei anhand der klar an den Unterschieden der Geländeoberfläche erkennbaren Morphologie detektiert, wobei ältere Ereignisse, die nicht eindeutig identifizierbar waren, nicht in das Inventar aufgenommen wurden (PETSCHKO ET AL. 2014a: 100). Des Weiteren wurden ergänzend dazu in einem Teilgebiet Rutschungen auch als Polygone kartiert, wobei lediglich jene Ereignisse einbezogen wurden, die eine Mindestgröße der gesamten Rutschungsfläche von 100 m² zeigten (PETSCHKO ET AL. 2010: 278). Hierbei wurden sowohl einzelne Rutschungen und deren Typen unterschieden als auch bestimmte Regionen mit Rutschungen verschiedener Generationen als „areas of slides“, also Gebiete mit mehreren Rutschungen, kartiert (PETSCHKO ET AL. 2014b: 339). Eine Differenzierung nach natürlichen oder anthropogen beeinflussten Ereignissen wurde in dem zur Modellierung herangezogenen Ereignisinventar jedoch nicht vorgenommen.

Die Modellierung der Rutschprozesse erfolgte mittels eines generalisierten additiven Modells (GAM), welches bei Verwendung unklassifizierter Eingangsparameter eine Anpassung mittels schrittweiser Variablenauswahl zulässt (PETSCHKO ET AL. 2013: 80), um das Verhältnis zwischen den erklärenden Variablen und der abhängigen Variable zu erfassen (PETSCHKO ET AL. 2014a: 102). Als unabhängige Variablen dienten hierbei die Einzugsgebietsgrößen der Fließgewässer, vorhandene Deckengrenzen und Störungslinien, das Gesamtporenvolumen und die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Untergrundmaterials, die Hangneigung, Exposition und Wölbung des Geländes, der berechnete topographische Feuchteindex und Konvergenzindex sowie die

Waldbedeckung im Gebiet (PETSCHKO ET AL. 2013: 80). Mögliche anthropogene Einflüsse wurden, da es sich bei den erklärenden Variablen um rein natürliche Einflussfaktoren handelt, bei der Modellierung nicht beachtet. Die Berechnung wurde in einer Rasterweite von 10 x 10 m (PETSCHKO ET AL. 2013: 80) in den 16 Modellierungsgebieten, unterteilt nach lithologischen Einheiten, durchgeführt. Die Modellgüte wurde mittels räumlicher und nicht räumlicher k-facher Kreuzvalidierung ermittelt, bei der mittels wiederholter Unterteilung des Gesamtdatensatzes in Testdatensätze die Güte des Modells überprüft wurde (PETSCHKO 2014: 76). Die Auswahl der Testdatensätze erfolgte hierbei einerseits mittels räumlicher Partitionierung, andererseits durch zufällige Auswahl (PETSCHKO ET AL. 2014a: 102). Die einzelnen Gefahrenhinweiskarten dieser 16 Einheiten mussten nach der Modellierung wieder zusammengeführt werden, wobei die Unterschiede der relativen Gefährdung durch unterschiedliche Gewichtung der Modellierungseinheiten berücksichtigt wurden um die Vergleichbarkeit der Gebiete aufrechtzuerhalten (PETSCHKO ET AL. 2013: 79f).

2.3.2 Gefahrenhinweiskarten der Sturz- und Rutschprozesse

Die Ergebnisse der Modellierungen waren Gefahrenhinweiskarten für Sturzereignisse und Rutschprozesse die in drei Klassen (1 – „nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung“, 2 – „Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung“ und 3 – „genaue Erkundung unverzichtbar“), welche die Gefährdung entsprechend einer Handlungsanweisung für die Bürgermeister und Bürgermeisterinnen darstellen, präsentiert wurden (siehe PETSCHKO ET AL. 2013: 82 oder PROSKE & BAUER 2013: 90). Diese finalen Gefahrenhinweiskarten werden auf Gemeindeebene (Beispiel siehe Abbildung 1) für das gesamte Bundesland zur Verfügung gestellt und können so eine Hilfestellung in Fragen der Raumplanung und Gefahrenprävention bieten. Die Gefahrenhinweiskarten sollen also aufzeigen, wo potenziell Rutschungen oder Steinschläge auftreten können, jedoch dabei keine Aussage über die Größe oder den Zeitpunkt des Eintretens des Ereignisses treffen (PETSCHKO ET AL. 2013: 78). In weiterer Folge wird im Zuge dieser Analyse die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse näher betrachtet und validiert.

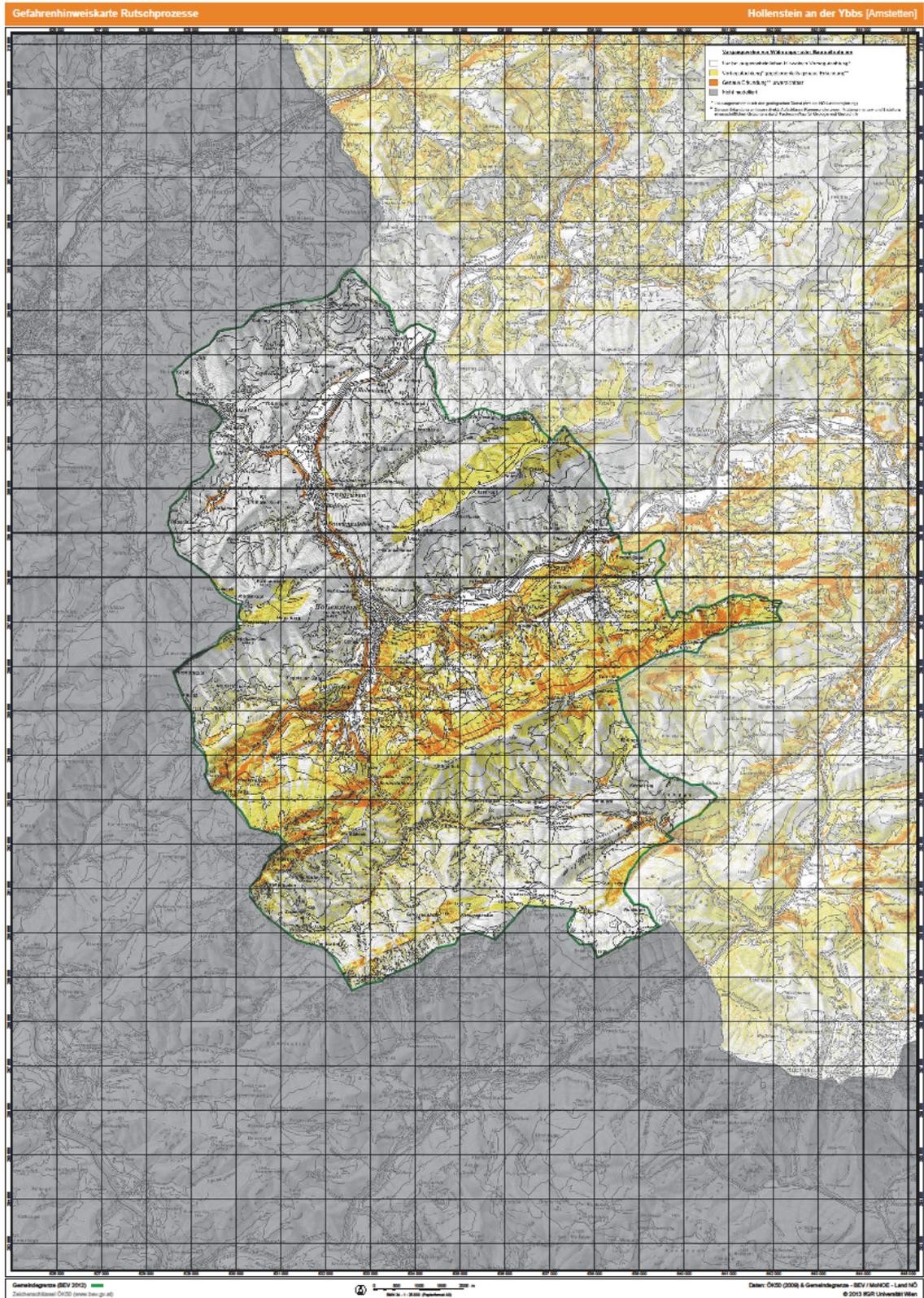


Abbildung 1: Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, Gemeinde Hollenstein an der Ybbs, Bezirk Amstetten (MoNOE – Land NÖ, Universität Wien 2013)

2.4 Extreme Niederschlagsereignisse im Kontext der Naturgefahren

Naturgefahren, wie z. B. gravitative Massenbewegungen, können durch eine Vielzahl an Prozessen ausgelöst werden. Niederschlag zählt, gefolgt von Erdbeben und Hanganschnitten, zu den häufigsten auslösenden Faktoren für Hangrutschungen (siehe u. a. CROZIER 2010, GUZZETTI ET AL. 2007, MARTELLONI ET AL. 2012). Extreme Niederschlagsereignisse, seien es Niederschläge mit extremen Intensitäten oder lang anhaltende Feuchteperioden (GLADE & STÖTTER in FELGENTREFF & GLADE 2008: 152), können daher in Hinsicht auf das Auftreten von Naturgefahren große Bedeutung haben. Im Alpenraum wird vermutet, dass besonders oberflächennahe Rutschungen „während oder kurz nach Niederschlägen kurzer Dauer und hoher Intensität“ (HÜBL ET AL. 2011: 18) ausgelöst werden. Dieser Zusammenhang zwischen Niederschlag und Prozessen wie Muren oder Rutschungen erfordert daher eine regionale und globale Betrachtung der Entwicklung extremer Niederschlagsereignisse, sowohl in der Vergangenheit als auch bezüglich vermuteter zukünftiger Veränderungen.

Über die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts konnte bereits eine Zunahme der Anzahl der Starkniederschlagsereignisse in vielen Regionen weltweit festgestellt werden (IPCC 2012: 142), wobei die Trends hier eine deutliche regionale Variabilität zeigten (IPCC 2012: 149). Betreffend zukünftige Veränderungen wird im Laufe des 21. Jahrhunderts eine weitere Zunahme extremer Niederschlagsereignisse in den meisten Gebieten weltweit erwartet, wobei hier auch Regionen betroffen sein können, in denen ein allgemeiner Rückgang der Niederschlagsmenge erwartet wird (IPCC 2012: 143ff). In den europäischen Alpen konnte beispielsweise Ende des 20. und speziell in den ersten Jahren des 21. Jahrhunderts bereits eine Zunahme großer gravitativer Ereignisse, die eventuell mit der Veränderung der Niederschlagsereignisse in Verbindung steht, beobachtet werden (IPCC 2012: 187). Für die Zukunft ist eine Beeinflussung gravitativer Massenbewegungen durch den Klimawandel zu erwarten, wobei mit einem „vermehrten Auftreten spontaner Rutschungen oder Muren durch intensivere Starkniederschläge“ zu rechnen ist (GLADE ET AL. 2014: 558). Diese Beobachtungen lassen zwar einen Zusammenhang des Klimawandels mit der

Veränderung der Hangstabilität in alpinen Bereichen vermuten (HUGGEL ET AL. 2012: 77), jedoch wird die Untersuchung dieser Trends aufgrund der starken regionalen Unterschiede der Dokumentation und Datenerfassung in Gebirgsregionen deutlich erschwert (IPCC 2012: 189). Daher gilt es, speziell für den Alpenraum, die Änderungen der Niederschlagsextreme und deren Auswirkungen auf das Auftreten von Rutschungs- oder Murereignissen genauer zu betrachten.

3 Aktueller Forschungsstand

Im Kontext der Naturgefahrenforschung bieten die folgenden Ausführungen einen Überblick über momentan angewandte Analysepraktiken und Vorgangsweisen der Inventarerstellung und Kartierung von Rutschungen, der Modellierung und Erstellung von Gefahrenhinweiskarten sowie der Validierung von Gefährdungsanalysen. Die verschiedenen Methoden zur Ereigniskartierung und Erstellung von Gefahrenhinweiskarten werden hierbei kurz zum besseren Verständnis dieser Arbeit dargestellt. Etwas ausführlichere Erläuterungen in Bezug auf die Validierung sollen einen tieferen Einblick in den State of the Art der Evaluierung von Gefährdungsmodellierungen präsentieren. Die genaue Methodik, welche im Zuge der vorliegenden Arbeit Anwendung fand, wird in Kapitel 7 im Detail beschrieben.

3.1 Kartierung und Erstellung von Rutschungsinventaren

Rutschungsinventare repräsentieren allgemein die Verortung aller Rutschungsereignisse, die erkennbare Spuren in einem Gebiet hinterlassen haben, wobei sie auch weitere Informationen wie den Zeitpunkt des Auftretens oder den Ereignistyp enthalten können (GUZZETTI ET AL. 2000: 247). Um ein ausführliches Ereignisinventar zu erstellen, können verschiedenste Methoden angewandt werden. Wichtig ist es hierbei, die bestimmte Fragestellung und das spezielle Ziel der Inventarisierung zu berücksichtigen (HERVÁS 2013: 610). Entsprechend der weiteren Verwendung des Rutschungsinventares können z. B. Feldbegehungen, Fernerkundungsmethoden oder die Analyse historischer Aufzeichnungen, kombiniert oder gesondert durchgeführt, bestimmte Vorteile bringen. Des Weiteren hängt die Auswahl der Kartierungsmethode auch stark von der entsprechenden Datenverfügbarkeit ab (HERVÁS 2013: 610). Allen Rutschungsinventaren ist jedoch gemein, dass sie lediglich eine Momentaufnahme der zu einem bestimmten Zeitpunkt, z. B. Datum der Geländearbeiten oder Aufnahmezeitpunkt der zur Kartierung verwendeten Luftbilder, erkennbaren Rutschungen darstellen und keine Informationen über deren zeitliche Veränderung enthalten (PARISE 2001: 697).

Im Allgemeinen werden ausführliche Rutschungsinventare aus verschiedenen Quellen zusammengestellt (PETSCHKO ET AL. 2010: 278). Eine mögliche Informationsquelle können hierbei Archive vergangener Ereignisse sein. Diese Archive sind eine Art Datenbasis an Informationen bekannter Ereignisse, die entweder aus Literaturquellen, Befragungen der Bevölkerung und öffentlicher Organisationen, Zusammenstellung historischer Quellen (Chroniken, Berichte etc.) oder durch Auskünfte von Experten und Expertinnen generiert wurde (GUZZETTI 2005: 39f). Eine weitere Möglichkeit der Informationsgewinnung ist die Kartierung mittels visueller Interpretation von Laserscandaten oder Luftbildern. Die Methodik der Analyse von Laserscaninformationen hat sich in den vergangenen Jahren als besonders geeignet zur ersten Erstellung neuer und Komplettierung bereits vorhandener Inventare herausgestellt (PETSCHKO ET AL. 2010: 278). Hierbei kann anhand hochaufgelöster Geländedaten, einerseits mittels visueller Analyse, andererseits mittels (semi-)automatischer Methoden, eine Kartierung gravitativer Massenbewegungen durchgeführt werden (GUZZETTI ET AL. 2012). Die (semi-)automatische Detektion basiert auf einer Verwendung von Eigenschaften wie z. B. der Oberflächenrauigkeit, der Veränderungen der Landoberfläche oder der Hangneigung (GUZZETTI ET AL. 2012: 51) zur Identifikation von Rutschungsbereichen. Die visuelle Analyse hingegen kann mittels Interpretation der Geländeoberfläche, der Veränderungen der Landbedeckung oder anderer sichtbarer Eigenschaften des Geländes durchgeführt werden (GUZZETTI ET AL. 2012: 46ff). Eine weitere Methode der Inventarisierung und Datengewinnung ist die geomorphologische Kartierung im Gelände. Hierbei wird angestrebt, alle Ereignisse in einem bestimmten Gebiet möglichst vollständig mittels Feldbegehung zu erfassen. Probleme können hierbei dadurch entstehen, dass mitunter sehr große Rutschungen im Gelände nicht direkt erkennbar oder durch eine dichte Vegetationsdecke nicht identifizierbar sind (GUZZETTI ET AL. 2012: 46).

Bei der Bearbeitung und Interpretation von Rutschungsinventaren, unabhängig von den Informationsquellen, aus denen sie erstellt wurden, muss stets beachtet werden, dass nicht von einer Vollständigkeit der erfassten Ereignisse ausgegangen werden kann. Speziell bei der Zusammenstellung aus Daten

verschiedener Archive und bekannter Inventare, aber auch bei der Kartierung im Gelände sollte immer die Möglichkeit weiterer, nicht erfasster Ereignisse in die Interpretation der Daten miteinbezogen werden. Da verschiedene Datenquellen, wie zum Beispiel der Baugrundkataster in Österreich, oftmals lediglich die gemeldeten Ereignisse und die entsprechenden dazugehörigen Schadensberichte enthalten (PETSCHKO 2014: 65), können viele nicht gemeldete Ereignisse mitunter nicht in derartigen Datenbanken enthalten sein. Daher ist es für eine ausführliche Untersuchung der Gefährdung in einem Gebiet oftmals erforderlich, die vorhandenen Datenquellen zu überarbeiten, um ein bestmögliches Modellierungs- und Analyseergebnis zu erhalten.

3.2 Erstellung von Gefahrenhinweiskarten

Die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten basiert auf der Gefährdungsmodellierung der entsprechenden Ereignisse. Die quantitative Modellierung kann hierfür mittels statistischer oder deterministischer (physikalisch-basierter) Modellierungsverfahren durchgeführt werden. An dieser Stelle soll lediglich ein kurzer Überblick über die statistischen Modellierungsmethoden präsentiert werden. Weitere Erläuterungen zu physikalisch-basierten Modellierungen können einschlägigen Fachpublikationen zum Thema entnommen werden (siehe z. B. FORMETTA ET AL. 2014, GRIFFITHS ET AL. 2011, GOETZ ET AL. 2011, TAROLLI ET AL. 2011, FRATTINI ET AL. 2008).

Die statistische Gefährdungsmodellierung basiert auf dem Konzept, dass die Vergangenheit und die Gegenwart als Schlüssel zur Zukunft gesehen werden können (VARNES 1984: 10), also dass auf Basis vergangener Ereignisse eine statistische Abschätzung möglicher zukünftiger Ereignisse angestellt werden kann (PETSCHKO ET AL. 2014a). Für diese Modellierung stehen verschiedenste Konzepte und Methoden zur Verfügung, die je nach Forschungsinteresse, Datenverfügbarkeit etc. ausgewählt werden können. Man kann hierbei generell zwischen multivariater statistischer Analyse, erfahrungsgleiteter bivariater statistischer Analyse und Modellierung mittels Wahrscheinlichkeitsfunktionen unterscheiden (VAN WESTEN 2000: 243). Zu den gängigsten Methoden zählen die

multivariaten Methoden der logistischen Regression und der Diskriminanzanalyse, wobei auch die bivariate Methode der „weights of evidence“ oder die Verwendung von „artificial neural networks“ als weitere aktuelle Ansätze genannt werden können (BRENNING 2005: 855). Statistische Methoden arbeiten generell mit der Abhängigkeit einer vorherzusagenden Variablen von einer oder mehreren unabhängigen oder erklärenden Variablen. Es wird also anhand verschiedener erklärender Variablen versucht, jene Bereiche auszuweisen, die auf Basis des statistischen Zusammenhangs der Ereignisse der Vergangenheit mit den erklärenden Variablen, in der Zukunft mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit rutschungsanfällig sind. Auf Basis dieser Modellierung der Rutschungsgefährdung kann so eine Gefahrenhinweiskarte, nach geeigneter Klassifizierung erstellt werden. Die Klassifizierung kann hierbei nach verschiedenen Kriterien durchgeführt werden: (1) Klassen gleicher Intervalle, wobei die Anzahl der Rasterzellen jeder Klasse unterschiedlich sein kann, und (2) Klassen mit gleicher Rasterzellenanzahl, wobei hier die Rasterzellen zuerst in aufsteigender Reihenfolge sortiert und dann in gleich große Klassen unterteilt werden, um so die Zellen mit den höchsten Werten in der ersten Klasse bis hin zu jenen mit den niedrigsten Werten in der letzten Klasse zu erhalten (CHUNG & FABBRI 2003: 458).

3.3 Validierung von Gefährdungsmodellierungen

Gefährdungsmodellierungen sind stets mit Unsicherheiten behaftet und müssen daher, vor Anwendung der Modellierungsergebnisse, validiert werden, um die Anwendbarkeit der resultierenden Gefahrenhinweiskarten sicherzustellen. Bei der Validierung von Gefährdungsmodellierungen wird davon ausgegangen, dass zukünftige in den gleichen Gebieten wie vergangene Ereignisse auftreten, also wird eine Gefahrenhinweiskarte als zufriedenstellend angesehen, wenn diese Voraussetzung erfüllt ist (REMONDO ET AL. 2003: 440). Die beiden Methoden der Erfolgsrate und der Vorhersagerate, welche häufig bei Gefährdungsmodellierungen von gravitativen Massenbewegungen Anwendung finden (BRENNING 2005: 854), sollen exemplarisch für eine Möglichkeit der Validierung von Gefahrenhinweiskarten im Folgenden näher vorgestellt werden.

3.3.1 Berechnung der Erfolgsrate

Die Berechnung der Erfolgsrate wird mittels Vergleichs des Vorhersageergebnisses mit den in der Modellierung verwendeten Ereignissen durchgeführt (CHUNG & FABBRI 2003: 467). Hierbei werden die gleichen Ereignisse für die Modellierung wie für die Validierung verwendet. Das Ergebnis ist eine Kurve („success rate curve“), die die Anteile der Ereignisse in den entsprechenden Gefahrenzonen darstellt. Je höher der Anteil der tatsächlichen Ereignisse in Gebieten der höchsten Gefährdung liegt, desto höher ist die Erfolgsrate der Modellierung. Bei der Ermittlung der Erfolgsrate wird davon ausgegangen, dass das Modell „korrekt“ ist, und es wird eine Güte der Modellanpassung berechnet (CHUNG & FABBRI 2003: 468).

Diese Art der Überprüfung mittels „success rate curve“ ist also keine Validierung des Vorhersagewertes der Gefahrenhinweiskarte, sondern lediglich des Erfolges der Modellierung (REMONDO ET AL. 2003: 440). Die Validierung dient generell aber nicht nur der Bestätigung der Erfolgsrate des Modellergebnisses, sondern auch der Überprüfung der Vorhersagegüte zur Kommunikation der Signifikanz der Ergebnisse, sodass Entscheidungen über Landnutzungs- und Raumplanungsmaßnahmen auf Basis der Gefahrenhinweiskarte getroffen werden können (CHUNG & FABBRI 2003: 452). Für eine ausreichende Validierung sollte also auch ein Vergleich zwischen den Vorhersageergebnissen und den unbekanntem Zielvariablen, also den zukünftig von Massenbewegungen betroffenen Flächen, durchgeführt werden (CHUNG & FABBRI 2003: 460).

3.3.2 Berechnung der Vorhersagerate

Die Validierung von Gefahrenhinweiskarten kann neben der Berechnung der Erfolgsrate auch durch Ermittlung der Vorhersagerate und deren Darstellung mittels einer Kurve („prediction rate curve“) erfolgen. Um eine Validierung mittels Vorhersagerate durchführen zu können, muss jedoch in einem ersten Schritt, ähnlich der Berechnung der Erfolgsrate, der Datensatz partitioniert werden, um einen Testdatensatz für die Validierung zu erhalten. Da die Gebiete zukünftigen Auftretens gravitativer Massenbewegungen, die für die Berechnung der

Vorhersagerate herangezogen werden sollten, allgemein nicht bekannt sind, muss der Vergleich anhand einer Teilmenge der verfügbaren Daten „nachgestellt“ werden. Zu diesem Zwecke stehen verschiedene Arten der Partitionierung der Originaldaten zur Auswahl der Testdatensätze zur Verfügung: (1) zeitliche Partitionierung, bei der Informationen zum zeitlichen Auftreten der Ereignisse vorhanden sein sollten, um die Teilung ab einem bestimmten Zeitpunkt durchzuführen, (2) räumliche Partitionierung, bei der das Untersuchungsgebiet in zwei Teilräume unterteilt wird, oder (3) zufällige Partitionierung, der eine zufällige Auswahl einer Teilmenge der Ereignisse zugrunde liegt (CHUNG & FABBRI 2003: 461ff). Wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, wurden im Zuge der Erstellung der Gefahrenhinweiskarten der Rutschprozesse in Niederösterreich eine zufällige sowie eine räumliche Auswahl der Testdatensätze zur Validierung durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit soll komplementär dazu eine Validierung mittels zeitlicher Partitionierung des Testdatensatzes durchgeführt werden (siehe Kapitel 7.3 und 8.3).

Die Berechnung der Vorhersagerate und der entsprechenden Kurve wird dann durch Ermittlung des Auftretens der „zukünftigen“ Ereignisse in den jeweiligen Gefährdungsklassen durchgeführt. Hierbei werden die Flächenanteile jeder Gefährdungsstufe auf der x-Achse kumulativ aufgetragen, und innerhalb dieser werden die darin aufgetretenen Ereignisse ermittelt. Die Anteile dieser Ereignisse in den jeweiligen Gefährdungsstufen werden wiederum relativ zur Gesamtzahl der Ereignisse auf der y-Achse kumulativ aufgetragen. Es werden also zwei Verhältnisse ermittelt: (1) das Verhältnis zwischen ausgewählten Rasterzellen (entsprechend den Flächenanteilen) zur Gesamtzahl der Rasterzellen im Untersuchungsgebiet und (2) die gezählten Anrisse innerhalb der ausgewählten Rasterzellen in Relation zu der Gesamtzahl der Anrisse des Testdatensatzes (FABBRI ET AL. 2002: 4). Die so berechnete Kurve zeigt also bei sinkender Gefährdungsstufe eine Zunahme der ausgewählten Rasterzellen und somit eine Zunahme der beiden Verhältnismerte bis zum Wert 1 (FABBRI ET AL. 2002: 4, Abbildung 2). Sollte das Ergebnis der Modellierung „reiner Zufall“ sein, so würde die Kurve einer geraden diagonalen Linie entsprechen, während eine deutlich

oberhalb der Diagonalen liegende Kurve ein signifikantes Ergebnis vermuten lässt (CHUNG & FABRI 2003: 469).

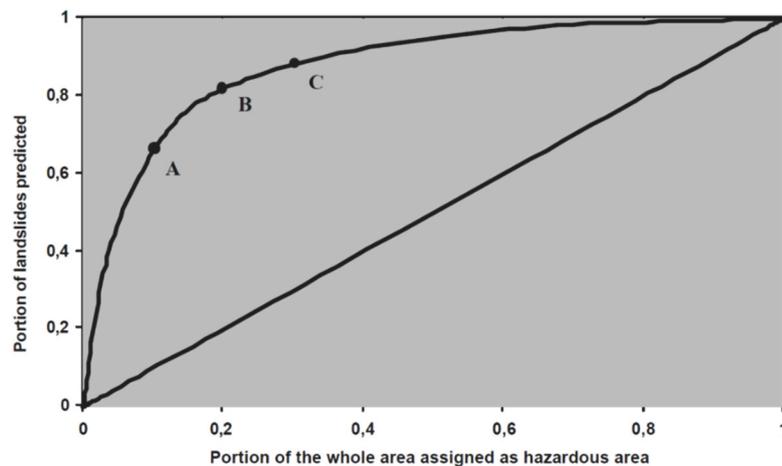


Abbildung 2: Beispiel einer „prediction rate curve“ für Rutschungen. (A) 10 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 66 %, (B) 20 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 82 %, (C) 39 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 88 % (FABBRI ET AL. 2002: 5)

Ein Vergleich der „prediction rate curve“ mit der „success rate curve“ (Abbildung 3) zeigt, dass die beiden Validierungsmethoden teilweise deutlich unterschiedliche Ergebnisse liefern können. Da die „success rate curve“ von einer „Korrektheit“ des Modells ausgeht und die Erfolgsrate dieses ermittelt, kann stets angenommen werden, dass diese Kurve ein besseres Ergebnis als die „prediction rate curve“ liefert, die eine unabhängige Validierung des Modells darstellt (CHUNG & FABRI 2003:468).

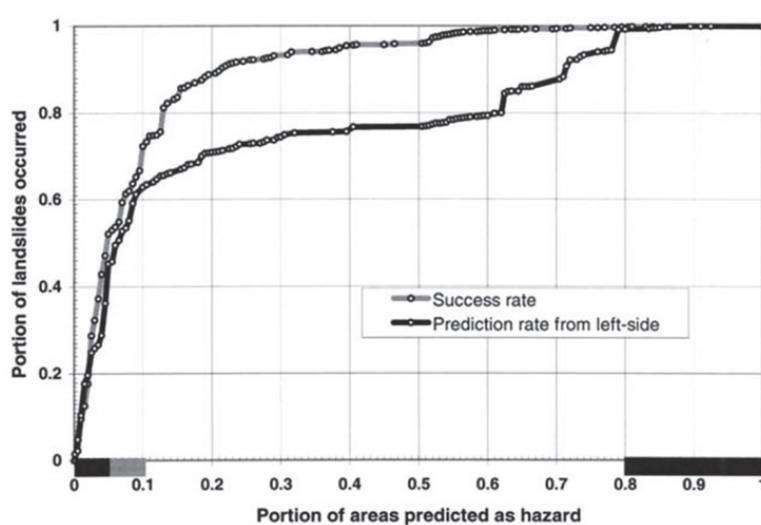


Abbildung 3: Vergleich der „success rate curve“ mit der „prediction rate curve“ einer Validierung (CHUNG & FABRI 2003: 469)

4 Forschungsfragen und Hypothesen

Vor dem Hintergrund der Kartierung und Validierung von Gefahrenhinweiskarten, werden in der vorliegenden Arbeit das Niederschlagsereignis des Mai 2014 in Westniederösterreich und die im Zuge dessen aufgetretenen gravitativen Massenbewegungen näher untersucht. Spezieller Fokus wird hier auf die möglichen anthropogenen Einflüsse auf das Rutschungsauftreten gelegt. Die Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse des Landes Niederösterreich soll dann mittels eines Rutschungsinventars, welches auch eine Dokumentation der menschlichen Einflüsse auf das Auftreten der jeweiligen Massenbewegungen enthält, erfolgen.

Ein Ziel dieser Arbeit ist also eine Validierung der Gefahrenhinweiskarte anhand von Rutschungen, die sich im Mai 2014 ereigneten. Die Arbeitshypothese, die dieser ersten Analyse zugrunde liegt, lautet wie folgt:

Arbeitshypothese I

Sowohl die Anrisse als auch die gesamten Flächen der kartierten Rutschungen des Mai 2014 liegen in den als hoch gefährdet eingestuften Bereichen der Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen im Untersuchungsgebiet. Eine Validierung mittels Rutschungen des Mai 2014 würde also eine zufriedenstellende Modellgüte der Gefährdungsmodellierung zeigen.

In diesem Zusammenhang werden folgende drei Forschungsfragen untersucht:

- Werden die Rutschungen, welche im Zuge des Niederschlagsereignisses im Mai 2014 im Untersuchungsgebiet auftraten, durch die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse im hoch gefährdeten Bereich erfasst?
- Zu welchen Anteilen liegen die Rutschungsanrisse der Ereignisse des Mai 2014 laut der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, welche mittels Rutschungsanrissen modelliert wurde, in den als hoch gefährdet ausgewiesenen Bereichen?

- Welche Flächenanteile der Rutschungen des Mai 2014 können, trotz dem die Modellierung der Gefahrenhinweiskarte lediglich mittels Rutschungsanrissen durchgeführt wurde, im Zuge der Validierung in den hoch gefährdeten Bereichen identifiziert werden?

Hier soll also eine Validierung der Gefahrenhinweiskarte mittels der Rutschungsanrisse und -flächen der Ereignisse des Mai 2014 sowie eine Ermittlung der Flächenanteile der Rutschungen in den jeweiligen Gefährdungsklassen durchgeführt werden, um eine Einschätzung der Anwendbarkeit der Gefahrenhinweiskarte zu liefern. Dabei soll auch erörtert werden, welche Probleme und Herausforderungen bei der Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse mittels Rutschungsanrissen bzw. Rutschungsflächen entstehen können und ob auch die Akkumulationsbereiche der Rutschungen, durch Ermittlung der Flächenanteile in den jeweiligen Gefährdungsklassen, in den hoch gefährdeten Bereichen liegen.

Da die Gefährdungsmodellierung im Rahmen der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte unter Einbezug natürlicher Einflussfaktoren durchgeführt wurde, soll ergänzend zu Arbeitshypothese I auch die Erfassbarkeit von Ereignissen mit anthropogenen Einflussfaktoren durch diese Gefahrenhinweiskarte untersucht werden. Hierzu soll mittels Geländebegehung und Kartierung der Ereignisse der anthropogene Einfluss auf das Rutschungsaufreten ermittelt werden. Die entsprechende Arbeitshypothese kann wie folgt formuliert werden:

Arbeitshypothese II

Der anthropogene Einfluss auf das Rutschungsaufreten kann eindeutig mittels Geländebegehung identifiziert werden. Es kann also ein ausdrücklicher Zusammenhang zwischen menschlichen Eingriffen in das Gelände und dem Auftreten von Rutschungen im Feld festgestellt werden.

Folgende Forschungsfragen sollen im Rahmen dieser Hypothese bearbeitet werden:

- Können im Gelände eindeutige Zusammenhänge zwischen anthropogener Bearbeitung der Landoberfläche und dem Auftreten von Rutschungen identifiziert werden?
- Welchen Beitrag können mittels Geländebegehung erhobene Daten gravitativer Massenbewegungen zur Einschätzung anthropogenen Einflusses auf das Auftreten der Ereignisse leisten?

Um ergänzend zu der Validierung auch die Erfassbarkeit anthropogen beeinflusster Ereignisse durch die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse zu überprüfen, soll des Weiteren folgende Arbeitshypothese untersucht werden:

Arbeitshypothese III

Zur ganzheitlichen Erfassung der Gefährdung durch Rutschungen in einem Gebiet müssen sowohl natürliche als auch anthropogene Einflussfaktoren des Rutschungsauftretens bei der Gefährdungsmodellierung berücksichtigt werden.

Zur Überprüfung dieser Hypothese soll folgende Forschungsfrage untersucht werden:

- Wurden die anthropogen beeinflussten Rutschungen des Mai 2014 auch durch die statistische Modellierung der Ereigniswahrscheinlichkeiten mit natürlichen Faktoren, die bei der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte genutzt wurde, erfasst, oder sollten anthropogene Faktoren in die Modellierung miteinbezogen werden?

Diese Forschungsfrage könnte die Grundlage zur Formulierung weiterführender Forschungsfragen sein, welche in Kapitel 10 näher diskutiert werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es also einerseits, die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse anhand von Ereignissen, die im Mai 2014 stattfanden, zu validieren. Andererseits sollen mittels Kartierung und Dokumentation die anthropogenen Einflüsse auf das Auftreten von Rutschungen abgeschätzt und diese Methodik evaluiert werden. Des Weiteren sollen die Validierungsergebnisse

der Gefahrenhinweiskarte mittels der kartierten anthropogen beeinflussten Ereignisse hinsichtlich einer Notwendigkeit, anthropogene Faktoren der Veränderung der Landoberfläche in Modellierungen der Gefährdung miteinzubeziehen, evaluiert werden.

5 Untersuchungsgebiet

Die Region, welche im Zuge der vorliegenden Arbeit näher untersucht wird, liegt im Westen des österreichischen Bundeslandes Niederösterreich. Neben der genauen Lage des untersuchten Gebiets und den relevanten administrativen Gegebenheiten, soll im Folgenden auch die dortige naturräumliche Situation vorgestellt werden. Eine kurze Beschreibung der Bezirke, über welche sich das Untersuchungsgebiet erstreckt, sowie eine allgemeine Erläuterung der geologischen und klimatischen Bedingungen wie auch der unterschiedlichen Landnutzung in der Region, sollen einen Überblick über das betrachtete Gebiet bieten.

Um eine möglichst vollständige Erfassung eines Gebiets zu gewährleisten, ist es oftmals notwendig, die Eingrenzung des Untersuchungsgebietes entsprechend der Fragestellung und der Datenverfügbarkeit anzupassen. Da in der hier vorliegenden Arbeit eine Abgrenzung nach administrativen Grenzen oder Flusseinzugsgebieten, welche oft in ähnlichen Analysen (z. B. GLADE ET AL. 2012, LEOPOLD & ZINGGL 2013, PETSCHKO ET AL. 2010, 2012, 2013, TAROLLI ET AL. 2011) angewandt wird, nicht als sinnvoll erachtet wurde (siehe Kapitel 7.1), musste eine Methode der Untersuchungsgebietsbegrenzung entwickelt werden, welche eine möglichst vollständige Erfassung der Situation und somit eine mögliche Vergleichbarkeit der in diesem Gebiet gewonnenen Daten gewährleistet. Die genaue Methodik der Abgrenzung sowie die finale Darstellung des Untersuchungsgebiets, werden in Kapitel 7.1 bzw. 8.1 ausführlich erläutert, während im Folgenden lediglich auf die allgemeinen Rahmenbedingungen und Gegebenheiten der Region sowie auf spezifische Informationen zum Niederschlagsereignis im Mai 2014 eingegangen wird.

5.1 Lage und administrative Gegebenheiten

Das im Rahmen dieser Arbeit behandelte Gebiet liegt im Westen des österreichischen Bundeslandes Niederösterreich, welches eine Gesamtgröße von 19.186 km² besitzt (PETSCHKO 2014: 47). Die genauer untersuchte Region

erstreckt sich über die Bezirke Amstetten, Lilienfeld, Scheibbs, St. Pölten-Land und Waidhofen an der Ybbs (Abbildung 4). Im Folgenden sollen diese Bezirke sowie deren soziale Strukturen kurz vorgestellt werden, um einen besseren Eindruck über die Bedingungen im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Des Weiteren werden die Gemeinden, in denen das spezifische Untersuchungsgebiet, wie es in Kapitel 8.1 vorgestellt wird, liegt, etwas näher betrachtet.



Abbildung 4: Lage der Gemeinden des Untersuchungsgebiets in Niederösterreich (Datenquelle: Land Niederösterreich, eigene Bearbeitung)

Der Vergleich der Gesamtflächen und Anteile der Waldflächen sowie Zahlen der Wohnbevölkerung und Bevölkerungsdichte der betrachteten Bezirke und Gemeinden (Tabelle 2) deutet auf mitunter starke Unterschiede innerhalb der betrachteten Region hin. Die größte Gesamtfläche zeigt hierbei die Gemeinde Gaming im Bezirk Scheibbs mit gesamt 243,87 km², während die kleinste Fläche der Gemeinde Loich im Bezirk St. Pölten-Land mit 24,58 km² zuzuschreiben ist. Die Gemeinde Gaming zeigt auch die höchste Zahl der Wohnbevölkerung mit 3.165 Personen, während die geringste Bevölkerungszahl in der Gemeinde Annaberg mit 536 Personen zu finden ist.

Die Bevölkerungsdichte beträgt im Großteil der Gemeinden zwischen zehn und 25 Einwohner pro Quadratkilometer, wobei die geringste Bevölkerungsdichte mit rund acht Einwohnern pro Quadratkilometer in Annaberg, die höchste mit 87 Einwohnern pro Quadratkilometer in Waidhofen an der Ybbs verzeichnet werden kann. Der höchste Anteil an Waldfläche ist hier in der Gemeinde Hollenstein an der Ybbs mit 86,04 % zu erkennen, der geringste Anteil in Hofstetten-Grünau mit 29,26 %. Die in Tabelle 2 genauer verzeichneten Unterschiede der Waldanteile der verschiedenen Gemeinden sollen einen ersten Eindruck der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten im Gesamtgebiet, welche in Kapitel 5.2 näher erläutert werden, liefern. Jedoch ist nicht nur der Anteil an Waldflächen, sondern auch, speziell im Hinblick auf die Untersuchung von Naturgefahren und die damit verbundenen Risiken, jener der bebauten Flächen von großer Bedeutung.

Tabelle 2: Gesamtfläche, Anteil der Waldfläche, Wohnbevölkerung und Bevölkerungsdichte der Bezirke Amstetten, Lilienfeld, Scheibbs, St. Pölten-Land und Waidhofen an der Ybbs sowie der genauer untersuchten Gemeinden (Datenquelle: Amt der NÖ Landesregierung 2013, eigene Bearbeitung)

Bezirk (Gemeinde)	Fläche (km ²)	Anteil Waldfläche (%)	Wohnbevölkerung (2013)	Bevölkerungsdichte (Einwohner/km ²)
Amstetten	1186,19	33,99	112528	94,87
Hollenstein an der Ybbs	126,50	86,04	1701	13,45
Opponitz	39,60	72,30	965	24,37
St. Georgen am Reith	40,08	77,41	576	14,37
Lilienfeld	932,15	77,07	26180	28,09
Annaberg	63,52	81,43	536	8,44
Lilienfeld	54,06	79,19	2837	52,48
Türnitz	146,02	85,18	1884	12,90
Scheibbs	1023,65	62,00	40928	39,98
Gaming	243,87	85,88	3165	12,98
Göstling an der Ybbs	143,66	84,51	2059	14,33
Lunz am See	101,66	83,00	1824	17,94
St. Anton an der Jeßnitz	69,70	71,19	1242	17,82
St. Pölten-Land	1122,57	36,74	96935	86,35
Frankenfels	56,16	57,29	2047	36,45
Hofstetten-Grünau	36,00	29,26	2593	72,03
Kirchberg an der Pielach	63,41	54,49	3125	49,28
Loich	24,58	65,13	610	24,82
Waidhofen an der Ybbs	131,18	44,15	11425	87,09

5.2 Naturräumliche Gegebenheiten

Um nun einen genaueren Überblick über die naturräumlichen Rahmenbedingungen der untersuchten Region zu erhalten, wird im folgenden Kapitel ausführlicher auf die darin herrschenden Unterschiede bezüglich Geologie, Vegetation, Landbedeckung und klimatischer Verhältnisse eingegangen. Des Weiteren wird ein spezieller Fokus auf das im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Niederschlagsereignis im Mai des Jahres 2014 gelegt.

5.2.1 Geologie

Das untersuchte Gebiet im Westen Niederösterreichs umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher lithologischer Einheiten. Neben den dominanten geologischen Einheiten der oberostalpinen Mergel und Kalke, sowie der Flyschzone finden sich auch einige Bereiche der Molassezone (Abbildung 5).

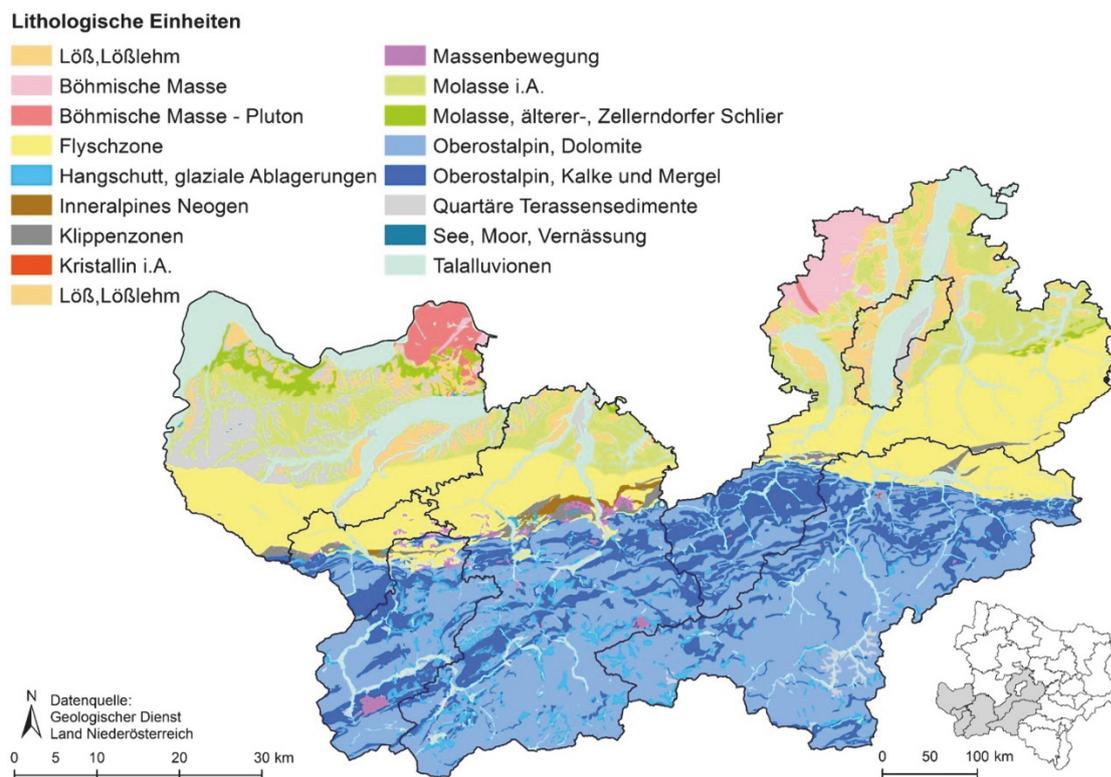


Abbildung 5: Lithologische Einheiten im Untersuchungsgebiet (Datenquelle: Geologischer Dienst, Land Niederösterreich, eigene Bearbeitung)

Die Flyschzone ist durch einen hohen Anteil an Sandsteinen, Mergeln und Tonen charakterisiert (PETSCHKO 2014: 51). Die Klippenzone setzt sich vorwiegend aus roten bis grünen Schiefen und Mergeln zusammen (PETSCHKO 2014: 51) und bildet im Süden der Flyschzone den Übergang zum Oberostalpin. Dieses setzt sich vorwiegend aus Kalksteinen, Mergeln und Dolomiten zusammen (PETSCHKO 2014: 54) und reicht bis an die Südgrenze des Untersuchungsgebiets.

5.2.2 Landnutzung

Die Landbedeckung zeigt, wie bereits in Kapitel 5.1 und Tabelle 2 erwähnt, in den einzelnen betrachteten Gemeinden des Untersuchungsgebietes Waldanteile bis zu rund 85 %. Da an dieser Stelle leider keine genaueren Informationen zu der Landnutzung der einzelnen Gemeinden vorliegen, soll hier lediglich ein Überblick über die Gesamtbezirke die Unterschiede der Landbedeckung präsentieren. Bei der Betrachtung der Landnutzung der Bezirke (Abbildung 6) zeigt zum Beispiel der Bezirk Lilienfeld einen Waldanteil von 77 %, während die Bezirke Amstetten und St. Pölten-Land bei unter 40 % Waldfläche liegen. Aber auch die Anteile landwirtschaftlicher Flächen (inklusive Flächen des Weinbaus) variieren zwischen den Bezirken sehr deutlich. Die höchsten relativen Flächenanteile sind in dieser Kategorie in den Bezirken Amstetten (56 %) und St. Pölten-Land (54 %) zu verzeichnen. Interessant ist auch, dass in allen Bezirken der Anteil des verbauten Gebiets lediglich zwischen 0 und 1 % liegt. Der hohe Waldanteil und der geringe Anteil verbauter Fläche sowie die relativ hohen Anteile landwirtschaftlicher Flächen deuten auf eine hohe agrarische und wahrscheinlich auch forstliche Nutzung des Gebiets hin.

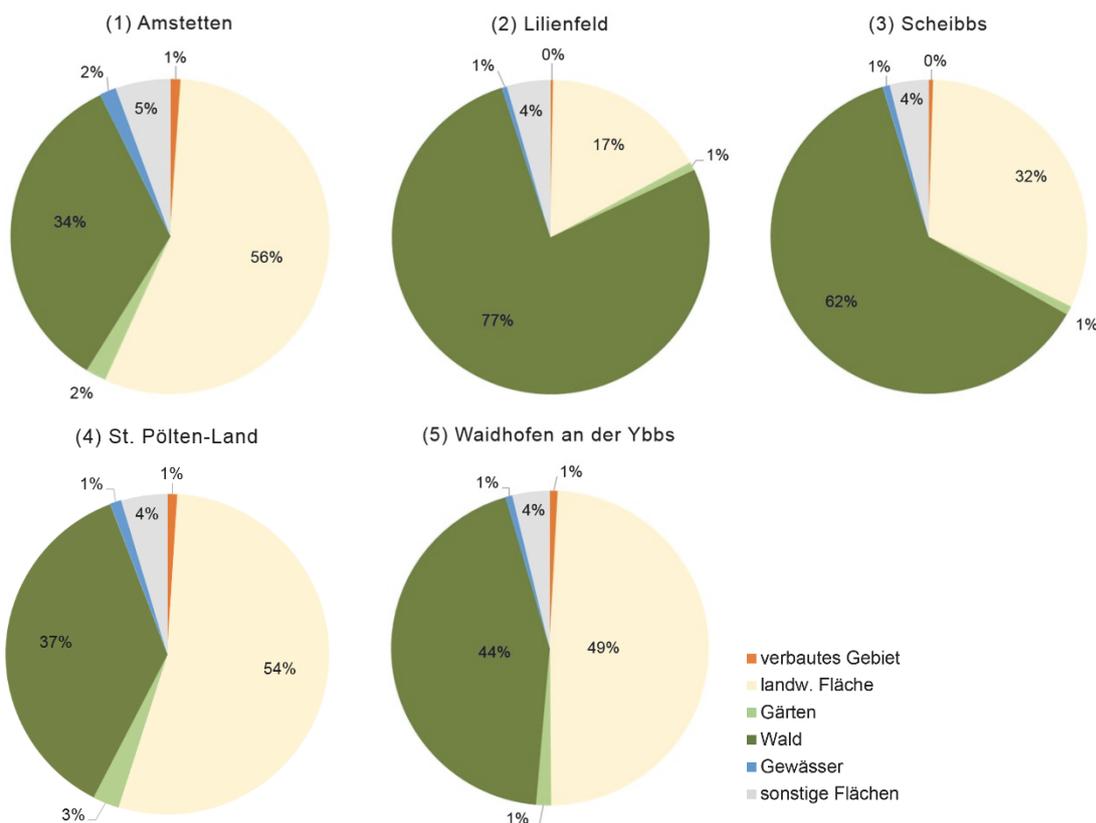


Abbildung 6: Relative Anteile der Landnutzungskategorien am Gesamtgebiet der Bezirke (1) Amstetten), (2) Lilienfeld, (3) Scheibbs, (4) St. Pölten-Land und (5) Waidhofen an der Ybbs 2012 (Datenquelle: HEMETSBERGER 2014: 29, eigene Bearbeitung)

5.2.3 Klimatische Bedingungen

Niederösterreich befindet sich allgemein in der Übergangszone zwischen marinen und kontinentalen Klimaeinflüssen, wobei marines Klima generell von gemäßigten Sommern und milden Wintern geprägt ist, während kontinentales Klima größere saisonale Temperaturvariationen mit kühlen Wintern und vergleichsweise warmen Sommern zeigt (PETSCHKO 2014: 47). Die Karte der Jahresmittel der Lufttemperatur für Niederösterreich zeigt im Südwesten des Bundeslandes, also im Bereich des Untersuchungsgebiets, Werte von 7 bis 9 °C (Abbildung 7). Die durchschnittliche Niederschlagsjahressumme beträgt in diesem Bereich zwischen 1.200 und 2.000 mm (Abbildung 8), weshalb das Untersuchungsgebiet zur allgemein niederschlagsreichsten Region des Bundeslandes gezählt werden kann.

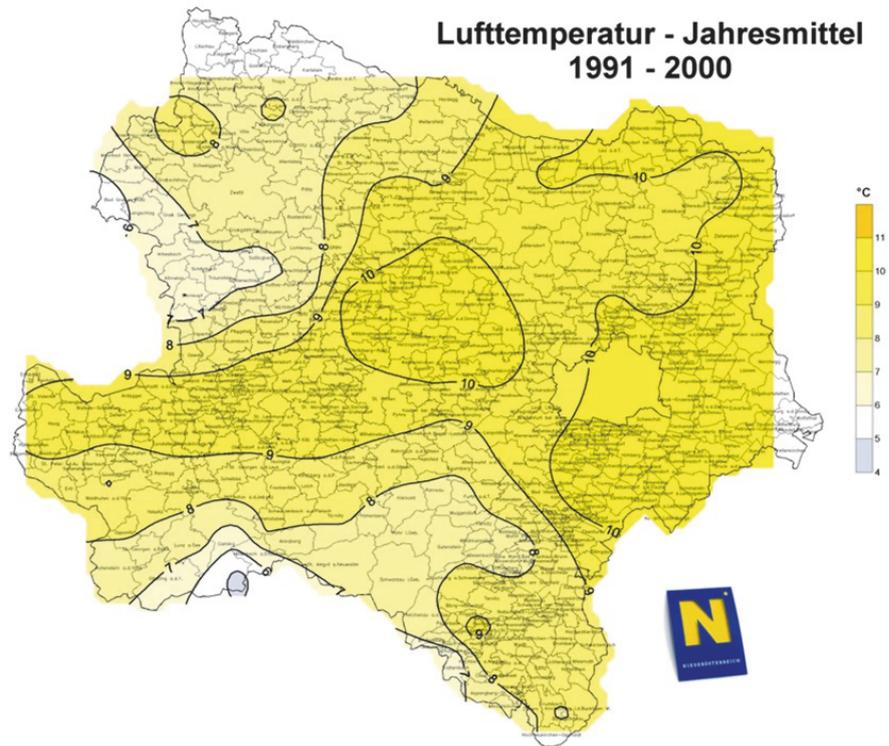


Abbildung 7: Jahresmittel der Lufttemperatur 1991-2000 für das gesamte Bundesland Niederösterreich (HYDROGRAPHISCHER DIENST DES LANDES NIEDERÖSTERREICH 2014)

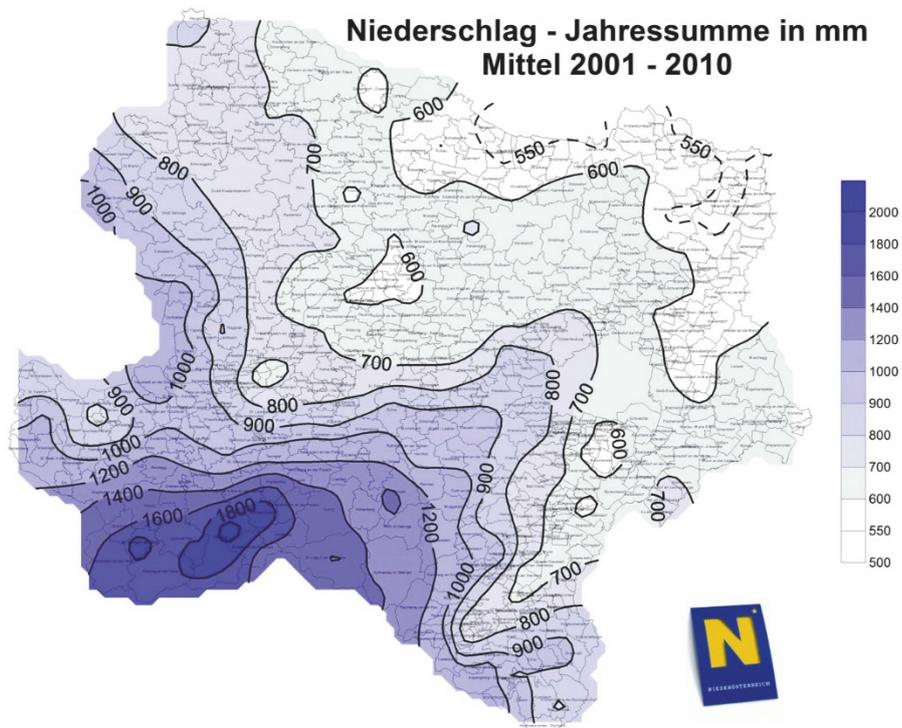


Abbildung 8: Jahresmittel des Niederschlages 2001-2010 für das gesamte Bundesland Niederösterreich (HYDROGRAPHISCHER DIENST DES LANDES NIEDERÖSTERREICH 2014)

Bei Betrachtung der Klimawerte der einzelnen Bezirke des Untersuchungsgebiets (Abbildung 9) zeigt sich durchwegs, dass sowohl die Temperatur als auch die Niederschlagsmaxima in den Sommermonaten Mai bis August erreicht werden. Die geringsten Durchschnittsniederschläge sind hierbei im Bezirk St. Pölten erkennbar, während Waidhofen an der Ybbs die durchschnittlich höchsten Niederschlagswerte zeigt.

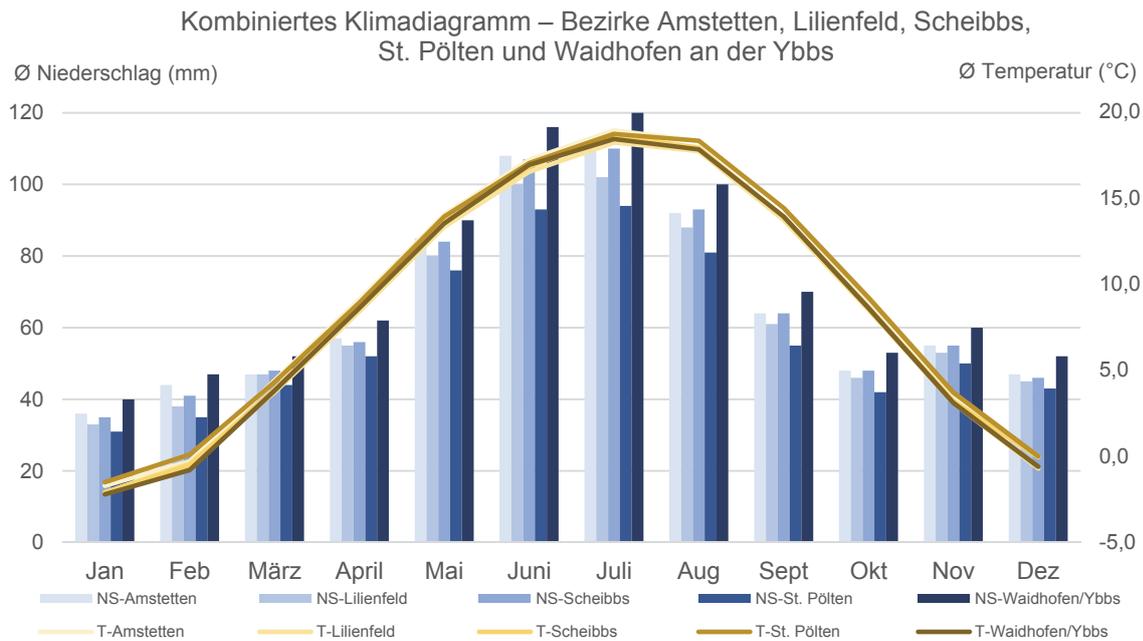


Abbildung 9: Klimawerte der Bezirke Amstetten, Lilienfeld, Scheibbs, St. Pölten und Waidhofen an der Ybbs (Datenquelle: <http://de.climate-data.org/index.html>, eigene Bearbeitung)

5.2.4 Niederschlagsereignis im Mai 2014

Das im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtete Niederschlagsereignis im Mai 2014 fand speziell im Zeitraum 15. bis 18. Mai 2014 statt, wobei folgende weitere starke Regenfälle von 23. bis 28. Mai 2014 zu einer Verschärfung der Situation führten. Das Ereignis Mitte Mai wurde vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung als außergewöhnlich im Sinne eines Katastrophenereignisses eingestuft, wobei in einzelnen Regionen mehr als 300 mm Niederschlag verzeichnet wurden (SALZER 2014: 2). Der Mai 2014 galt in Österreich als von Unwetter und Starkniederschlägen geprägter Monat. So wurden bereits Anfang Mai in Teilen Ober- und Niederösterreichs starke Regenfälle und Überflutungen

begleitet von hohen Windspitzen bis zu 100 km/h gemeldet (ZAMG 2014a: 1). Mitte Mai kam es in der Steiermark, im Burgenland und in Niederösterreich zu weiteren Starkregenfällen, wobei die ersten Überflutungen am 16. Mai 2014 in Oberösterreich aus der Stadt Steyr gemeldet wurden (ZAMG 2014a: 2).

In Niederösterreich konnten vorwiegend in den Bezirken Lilienfeld und St. Pölten die ersten Folgen dieses Starkniederschlagsereignisses (Tagesniederschlagssummen siehe Abbildung 10) bemerkt werden, wobei in weiterer Folge speziell in den Bezirken Scheibbs, Lilienfeld und Amstetten eine deutliche Gefahr von Hangrutschungen ermittelt wurde (ZAMG 2014a: 3). In der Gemeinde Frankenfels wurde im Zeitraum 15. bis 18. Mai 2014 eine Niederschlagshöhe von 319 mm gemessen, wobei die mittlere Monatssumme des Mai hier bei 119 mm liegt (SALZER 2014: 2). Des Weiteren konnten in Lunz am See (210 mm, mittlere Monatssumme 134 mm), Lackenhof (287 mm, mittlere Monatssumme 148 mm), Türnitz (278 mm, mittlere Monatssumme 115 mm) und Annaberg (237 mm, mittlere Monatssumme 145 mm) deutlich erhöhte Niederschlagswerte gemessen werden (SALZER 2014: 2). Die Niederschlagssummen des 15. und 16. Mai 2014 wurden vor allem in Südwest-Niederösterreich vorwiegend als zehn- bis 30-jähriges, in manchen Teilen von Scheibbs, Lilienfeld, Amstetten und St. Pölten-Land sogar als über 30-jähriges Ereignis eingestuft (HYDROGRAPHISCHER DIENST ÖSTERREICH 2014a&b).

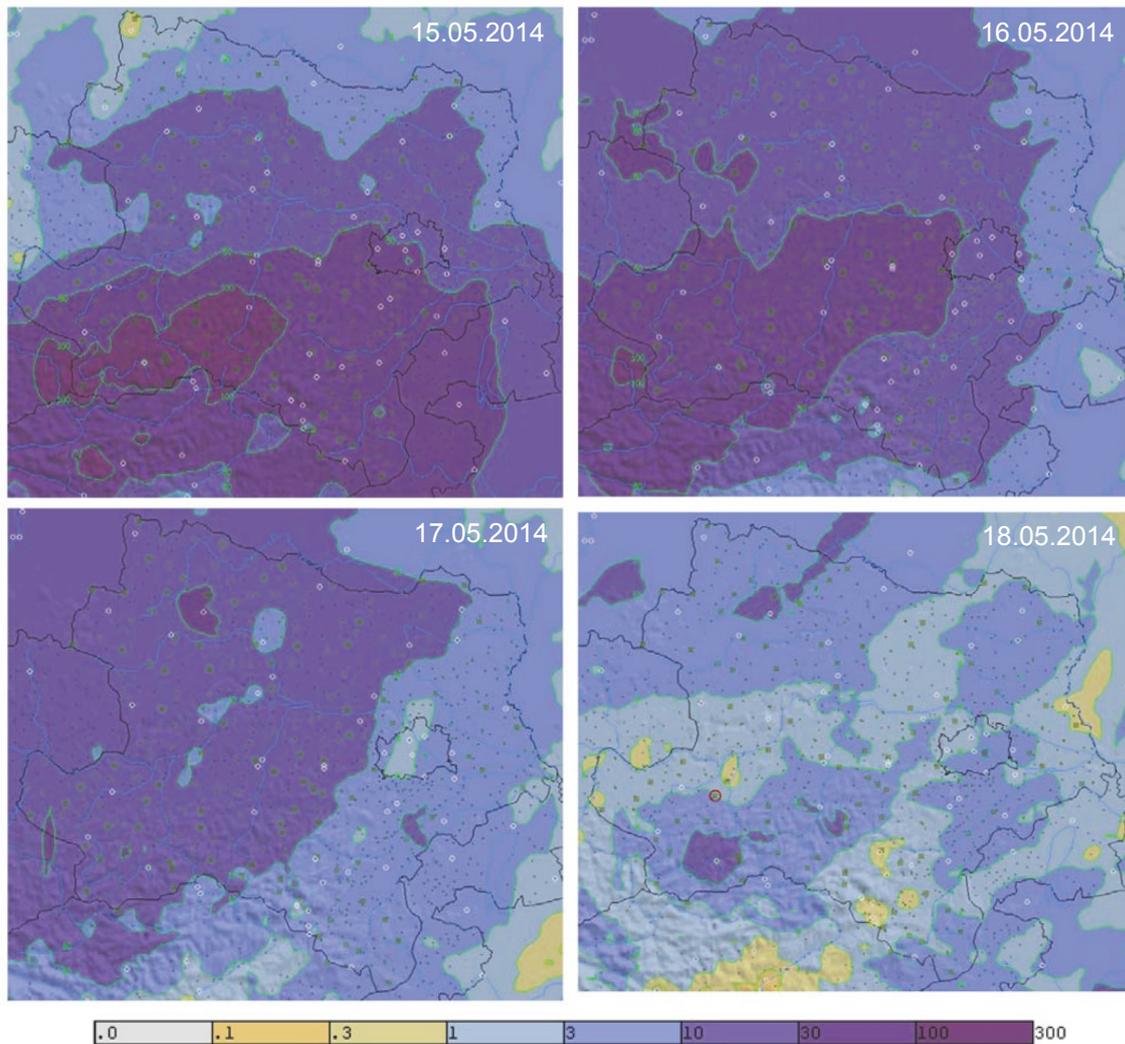


Abbildung 10: Tagesniederschlagssummen Niederösterreich 15. bis 18. Mai 2014 (in mm) (SALZER 2014: 2f)

Das Ereignis Mitte Mai 2014 hatte bereits zahlreiche Vermurungen, Hangrutschungen und Schäden in der Landwirtschaft, an Gebäuden sowie an Sachgütern ausgelöst und führte zu Hochwässern in fast allen Flüssen und Bächen im südlichen Niederösterreich (SALZER 2014: 3). Jedoch folgte auf diese Starkniederschläge am 15. bis 18. Mai 2014 Ende des Monats eine weitere Phase erhöhten Niederschlags. Hierbei wurden im Zeitraum 23. bis 28. Mai 2014 im Bezirk Amstetten weitere Unwetterschäden gemeldet, wobei hier zum Beispiel in der Gemeinde Ybbsitz ein Straßenabschnitt von der hochwasserführenden kleinen Ybbs weggespült wurde (ZAMG 2014: 4). Des Weiteren wurden auch hier wieder in einigen Gemeinden der Bezirke Amstetten und Scheibbs am 28. Mai 2014 Niederschlagswerte von über 60 mm gemessen (HYDROGRAPHISCHER DIENST ÖSTERREICH 2014c).

Die höchste Niederschlagsmenge wurde im gesamten Monat Mai 2014 mit einem Wert von 453 mm in Lunz am See ermittelt, was einem Extremwert von 208 % höher als das vieljährige Mittel entspricht (ZAMG 2014b: 2). Aber auch Waidhofen an der Ybbs zeigte mit 348 mm einen Niederschlagsrekord (ZAMG 2014b: 2). Während zahlreiche Flüsse, wie z. B. die Ybbs, einen Abflusswert entsprechend einem Wiederkehrintervall eines HQ30 zeigten, wurde an der Pielach im Oberlauf ein Hochwasserereignis größer als HQ100 ermittelt (AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG 2014), welches Abflussspitzen von 275 m³/s zeigte (BMLFUW 2014a). In den Bezirken Scheibbs, Lilienfeld, St. Pölten und Neunkirchen wurde Katastrophenalarm ausgesprochen, zahlreiche Ortschaften im Pielachtal waren von der Außenwelt abgeschnitten (BMLFUW 2014a). Infolge dieser Starkniederschläge im Mai 2014 und der damit verbundenen Katastrophensituation in den betroffenen Gemeinden konnte ein Auftreten zahlreicher Hangrutschungen und Muren vermutet werden. Dies zeigt also, dass in dem in Zuge dieser Analyse betrachteten Gebiet unterschiedliche Naturgefahren wie Hochwasser, Hangrutschungen oder Muren eine hohe Relevanz haben. In weiterer Folge sollen daher die gravitativen Massenbewegungen, die mit dem hier vorgestellten Starkniederschlagsereignis im Mai 2014 in Verbindung zu setzen sind, näher untersucht werden.

6 Daten

Für die vorliegende Analyse wurde eine Vielzahl an Basisdaten vom Land Niederösterreich (Land NÖ) sowie von der Geologischen Bundesanstalt Österreich (GBA) zur Verfügung gestellt. Neben einem hochaufgelösten digitalen Geländemodell (DGM), welches mittels flugzeuggetragenen Laserscannings (ALS) erstellt wurde (PETSCHKO ET AL. 2012: 771), und den daraus abgeleiteten Derivaten (Schummerung, Hangneigung etc.) standen auch flächendeckende Daten zu Land- bzw. Waldbedeckung, Tektonik und Geologie sowie Daten zu linienhaften Strukturen wie Gewässer und Straßennetz zur Verfügung. Dieser Datenkatalog basierte auf den bereits im Projekt „MoNOE – Methodenentwicklung für die Gefährdungsmodellierung von Massenbewegungen in Niederösterreich“ verwendeten und bearbeiteten Daten, im Zuge dessen ein Rutschungsinventar erstellt und die Gefahrenhinweiskarte (GHK) für Niederösterreich entwickelt wurde, welche ebenfalls als Datenbasis für weitere Berechnungen diente (siehe Kapitel 2.3). Die Datensätze (Tabelle 3), welche in verschiedener Auflösung über das gesamte Bundesland Niederösterreich verfügbar waren, wurden in einem ersten Schritt auf die das Untersuchungsgebiet umfassenden Bezirke reduziert, um im Folgenden weiter bearbeitet zu werden.

Neben den bereits verfügbaren Basisdaten wurden zahlreiche Schadensmeldungen, welche nach dem Niederschlagsereignis im Mai 2014 beim Geologischen Dienst Niederösterreich (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Baudirektion, Abteilung Allgemeiner Baudienst – Geologischer Dienst) gemeldet wurden, zur weiteren Analyse herangezogen. Insgesamt standen 22 Schadensmeldungen, von welchen neun bereits durch genauere Informationen zur Geologie des Gebietes ergänzt wurden, zur Verfügung. Um dieses erste Inventar weiter zu vervollständigen, wurde am 18. Juni 2014 eine Befliegung des Gebietes durch den Geologischen Dienst durchgeführt, im Zuge deren zahlreiche Luftbildaufnahmen identifizierbarer Ereignisse entstanden. Für insgesamt 40 Ereignisse waren also auch Luftbildinformationen verfügbar, die in weiterer Folge zusammen mit den

Schadensmeldungen und den anderen Basisdatensätzen für die Kartierung und Validierung herangezogen werden konnten.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Daten

	Ebene	Jahr	Format	Auflösung	Datenquelle
DGM & Derivate (Hillshade etc.)	Bezirk	2006–2009	Raster	1 m	Land NÖ – NÖGIS
Orthofoto	Bundesland	2002/ 2005/ 2007	Raster	25 cm	Land NÖ – NÖGIS
Bezirksgrenzen	Bezirk	2004	Vektor	1:50.000	Land NÖ – NÖGIS
Gemeindegrenzen	Gemeinde	2004	Vektor	1:50.000	Land NÖ – NÖGIS
Fließgewässer	Bundesland	2001	Vektor	1:10.000	Land NÖ – NÖGIS
Landbedeckung	Bundesland	2007	Raster	10 m	Joanneum Research
Waldbedeckung	Bundesland	1986	Vektor	1:50.000	MoNOE
Straßennetz	Bundesland	a.n.	Vektor	1:50.000	Land NÖ – NÖGIS
Lithologie (Basis GK200, korrigiert)	Bundesland	2011	Vektor	1:200.000	GBA (& AIT)
Rutschungsinventar MoNOE	Bundesland	2010	Punkte	-	MoNOE
Modellierung nach Lithologie	Lithologische Einheiten	2013	Raster	10 m	MoNOE
GHK Rutschungen	Bundesland	2013	Raster	10 m	MoNOE

7 Methodik

Die unterschiedlichen Methoden der im Zuge der vorliegenden Analysen durchgeführten Arbeitsschritte sollen im Folgenden näher vorgestellt werden. Hierbei werden anfangs die bereits erwähnten Herausforderungen der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes sowie die darauf basierende Kartierung der Ereignisse, welche zur Erstellung des Ereignisinventars herangezogen wurde, näher beschrieben. Des Weiteren soll die mittels dieser erhobenen Ereignisinformation durchgeführte Methodik der Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Niederösterreich im Untersuchungsgebiet näher erläutert werden.

7.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Die genaue Abgrenzung eines betrachteten Gebietes im Zuge geomorphologischer Geländearbeiten kann auf verschiedenste Art und Weise durchgeführt werden. Als mögliche Methoden (siehe auch Kapitel 5) sind hierbei die Eingrenzung nach Flusseinzugsgebieten oder administrativen Grenzen (z. B. GLADE ET AL. 2012, LEOPOLD & ZINGGL 2013, PETSCHKO ET AL. 2010, TAROLLI ET AL. 2011, PETSCHKO ET AL. 2013), oder auch die einfache Auswahl eines geometrisch abgegrenzten Gebietes (z.B. ein quadratisches oder rechteckiges Gebiet, welches zufällig als Untersuchungsgebiet ausgewählt wird) zu nennen. Folgt man diesen Methoden, so muss im Zuge einer Kartierung beachtet werden, dass das betreffende Gebiet systematisch und vollständig erfasst wird, um so die Vollständigkeit der darauf basierenden Kartierung zu gewährleisten. Als eine alternative Kartierungsmethode zur häufig durchgeführten Geländebegehung (GUZZETTI ET AL. 2000: 248) ist die Erfassung von Ereignissen mittels Fernerkundungsdaten zu nennen, welche jedoch eine Verfügbarkeit entsprechender Daten voraussetzt. Da diese in vielen Fällen nicht erhältlich sind, kann eine Kartierung im Feld als eine sinnvolle Alternative durchgeführt werden. Diese Methode erfordert ausführliche und oftmals über eine lange Zeitspanne hinweg dauernde Geländearbeiten. Sind diese aufgrund von zeitlichen oder organisatorischen Einschränkungen nicht möglich, muss eine entsprechend

adaptierte Methodik angewandt werden, welche eine möglichst vollständige Erfassung der Ereignisse im Feld gewährleistet. Die damit einhergehende Abgrenzung des Untersuchungsgebiets muss daher entsprechend der verfügbaren Informationen und Daten sowie der dem erforderlichen Zeitrahmen entsprechenden Möglichkeiten erfolgen.

Wie bereits in Kapitel 5 erwähnt, wurde im Zuge der vorliegenden Analyse eine spezielle Methodik der Untersuchungsgebietsabgrenzung entwickelt, um eine bestmögliche Vollständigkeit und somit Vergleichbarkeit der erfassten Daten zu gewährleisten. Da bei der durchgeführten Untersuchung eine rasche und vollständige Erfassung der Ereignisse für notwendig erachtet wurde, war es erforderlich, das näher betrachtete Gebiet entsprechend den verfügbaren Daten und Informationen einzugrenzen. Dabei musste eine Vergleichbarkeit mit bereits vorhandenen Datensätzen, wie z. B. zuvor erstellten Rutschungsinventaren oder Gefahrenhinweiskarten des Gebietes, gewährleistet werden. Eine der Geländearbeit vorangehende genaue Untersuchungsgebietsabgrenzung wurde somit nicht durchgeführt, sondern vielmehr wurde eine Anpassung des Gebietes entsprechend der maximalen Ausdehnung der kartierten Regionen (siehe Kapitel 7.2) als notwendig erachtet. Die genaue Abgrenzung wurde hier also in einem mehrstufigen Verfahren durchgeführt, welches in die im Folgenden beschriebenen drei Arbeitsschritte unterteilt werden kann.

7.1.1 Vorbereitung und Aufbereitung der Eingangsinformationen

Um die bereits vorhandenen Daten und Informationen zu den aufgetretenen Ereignissen zu erfassen, wurden in einem ersten Schritt die beim Geologischen Dienst des Landes Niederösterreich eingetroffenen Schadensmeldungen zusammengefasst und verortet. Dies diente vorwiegend zur Erstellung eines ersten Überblicks über das zu erfassende Gebiet und zur Zusammenstellung der Basisroute, nach welcher in weiterer Folge die Kartierung durchgeführt wurde. Dieser erste Überblick über das Untersuchungsgebiet wurde durch weitere Ereignisse, welche im Zuge einer Befliegung durch den Geologischen Dienst und durch die dabei erstellten Luftbilder der Region identifiziert wurden, erweitert. Da

im Rahmen der Befliegung auch die geographischen Koordinaten der Luftbilder aufgezeichnet wurden, konnten diese ebenfalls verortet und in das zu kartierende Gebiet integriert werden. Aus diesen beiden Informationsquellen wurde eine erste Befahrungsrouten, welche in weiterer Folge das vorläufige Untersuchungsgebiet definierte, erstellt.

7.1.2 Erweiterung des Gebietes im Zuge von Geländebegehungen

Auf Basis der ersten Befahrungsrouten wurde die Geländebegehung geplant. Im Zuge dieser wurde das Untersuchungsgebiet anhand zusätzlicher Ereignisinformationen (Erläuterungen betroffener Personen, Gespräche mit verantwortlichen Gemeindebürgerinnen und Gemeindebürgern der Regionen etc.) nochmals erweitert. Des Weiteren wurden Gebiete, welche nahe der ersten Befahrungsrouten liegen, zusätzlich begangen, um eine ausführlichere Erfassung des Gebietes zu erreichen. Die finale Route der Geländebegehungen wurde also nach der Kartierung erstellt und diente so als Basis für die endgültige Abgrenzung des Untersuchungsgebietes, welches den gesamten betrachteten Regionen entsprach.

7.1.3 Erstellung und Abgrenzung des vollständig kartierten Gebietes

Um zur endgültigen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zu gelangen, wurde die maximale Ausdehnung der kartierten Region anhand der Befahrung- und Begehungsrouten ermittelt. Die Methodik der Erstellung der endgültigen Untersuchungsgebietsabgrenzung (Abbildung 11) basierte hierbei auf der maximalen Sichtbarkeit unter Einbezug der Geländeoberfläche und eventueller Hindernisse und Abschattungen durch Waldbedeckung oder Geländekanten, die diese einschränken können.

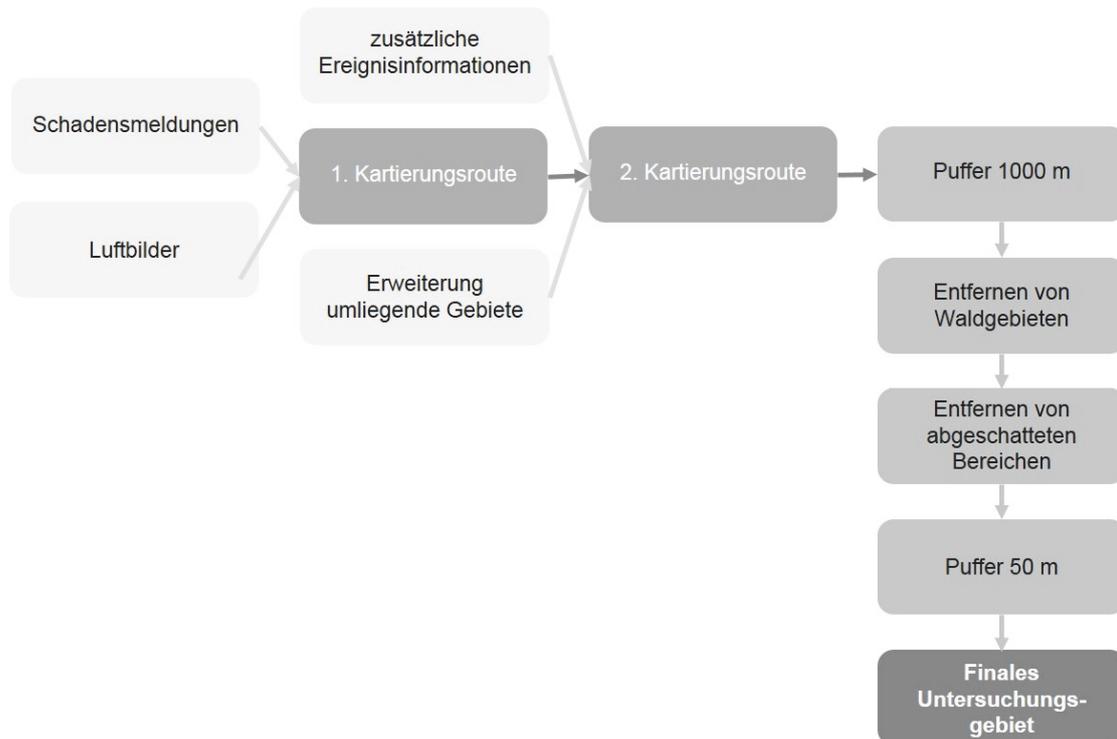


Abbildung 11: Flowchart der Methodik der Untersuchungsgebietsabgrenzung

Als maximale Sichtweite wurden hier 1000 m angenommen, da bei Rutschungen mit einer Größe von mindestens 100 m² (siehe Kapitel 7.2.7) angenommen werden kann, dass diese auch auf größere Entfernungen identifizierbar sind. Im ersten Schritt wurde also ein Puffer von 1000 m um die Kartierungsrout gelegt (Abbildung 12 b), welcher die maximale Ausdehnung des Untersuchungsgebiets kennzeichnete. Um den möglichen Einschränkungen der Sichtbarkeit gerecht zu werden, wurden in einem weiteren Schritt alle Bereiche, in denen sich der Pufferbereich mit den angrenzenden Waldflächen überschneidet, entfernt. Auch durch Waldflächen abgeschattete Zonen wurden aus dem Gebiet herausgenommen. Kleinere Waldbereiche, die innerhalb des Gebietes von verschiedenen Seiten einsehbar waren, wurden jedoch nicht entfernt, da eine Einsicht trotz Vegetationsbedeckung aus verschiedenen Winkeln angenommen wurde. Es wurde also davon ausgegangen, dass das hinter größeren Hindernissen liegende Gebiet aus mindestens einer Richtung direkt einsehbar sein muss, da kleinere Hindernisse, wie einzelne Bäume und Felsen oder aber auch Häuser, im Gelände leicht umgangen werden können, auch wenn sie nicht direkt an dem Wegenetz liegen.

Im nächsten Schritt wurden der Einfluss von Geländekanten und die Abschattung der dahinter gelegenen Bereiche berücksichtigt. Hierbei wurden mittels optischer Interpretation der Schummerungsdarstellung des Geländemodells die Geländekanten identifiziert und die von der Befahrungsrouten abgeschatteten Gebiete hinter den Geländekanten ausgeschnitten (Abbildung 12 c). Des Weiteren wurde für das gesamte Gebiet eine Mindestsichtweite von 50 m angenommen. Diese Entfernung entspricht dem sichtbaren Bereich unabhängig von der Vegetationsbedeckung und konnte somit auch unabhängig von der Landbedeckung für alle Bereiche des Untersuchungsgebiets angenommen werden. Um also sicherzustellen, dass alle eingesehenen Bereiche auch tatsächlich im Untersuchungsgebiet integriert sind, wurde in einem finalen Schritt ein Puffer von 50 m um das gesamte Wegenetz gelegt (Abbildung 12 d). Dadurch wurden auch im vorherigen Schritt entfernte Waldbereiche, die jedoch im Zuge der Geländebegehungen erfasst wurden, in das Untersuchungsgebiet aufgenommen.

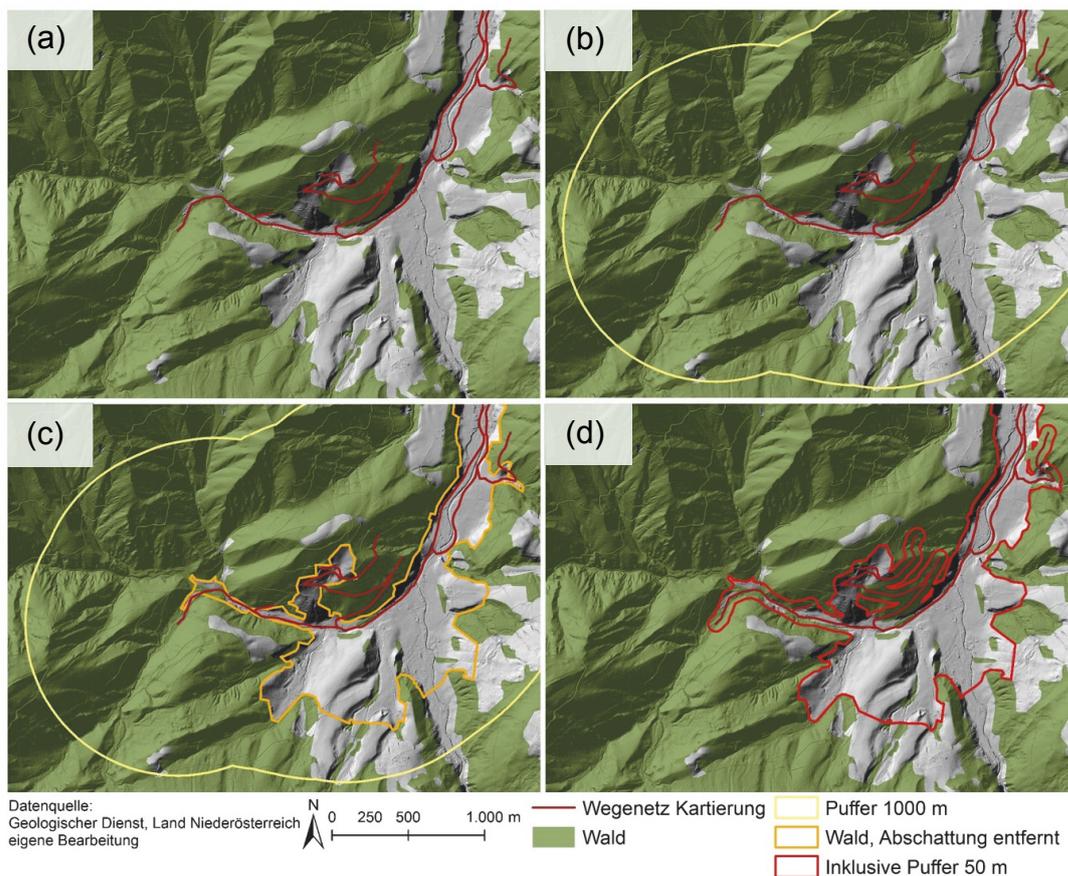


Abbildung 12: Detaillierter Ausschnitt des Wegenetzes (a), mit Puffer 1000 m (b), nach Ausschnitt der abgeschatteten Bereiche (c) und nach weiterer Pufferung der Wege mit 50 m Distanz (d)

Diese Methoden der Erfassung und Anpassung der kartierten Bereiche mittels Puffer und Polygonbearbeitung führten zu einer finalen Eingrenzung des Untersuchungsgebiets, welches das vollständig kartierte Gebiet zur Erstellung des Ereignisinventars abdeckt.

7.2 Erstellung des Ereignisinventars Mai 2014

Entsprechend der im Zuge dieser Analyse bearbeiteten Fragestellung wird in weiterer Folge die Erstellung eines ereignisbezogenen Inventars erläutert. Ereignisinventare gelten als Spezialfall, da sie sich nicht auf die Gesamtzahl aller Rutschungen in einem Gebiet beziehen, sondern lediglich jene, die einem bestimmten Ereignis, normalerweise einem Auslöser wie einem meteorologischen Ereignis oder einem Erdbeben, zuzuschreiben sind (PARISE 2001: 698), erfassen. Derartige Inventare können besonders hinsichtlich der Vorhersage möglicher zukünftiger Massenbewegungen bei ähnlichen Auslöseereignissen von großem Nutzen sein (PARISE 2001: 698).

Im Allgemeinen können Ereignisinventare mittels verschiedener Techniken (siehe Kapitel 3.1), abhängig vom Ziel der Analyse, der Größe des Untersuchungsgebiets, der Auflösung der Eingangsdaten, der Qualität und Detailliertheit der verfügbaren Informationen oder der allgemein vorhandenen Ressourcen zu Durchführung der Analyse, erstellt werden (GUZZETTI ET AL. 2000: 248). Im folgenden Abschnitt wird die methodische Herangehensweise zur Erstellung des Ereignisinventars Mai 2014 näher erläutert. Neben der Erstellung des Kartierformulars und des ersten Ereignisinventars auf Basis externer Datenquellen, soll die genaue Methodik der Kartierung bis hin zur Dokumentation des Ereignisinventars dargestellt werden. Hierbei werden die angewandten Methoden beschrieben, wobei auch auf eventuell auftretende Probleme und Herausforderungen hingewiesen wird. Des Weiteren wird die Auswahl der Rutschungen für die weitere Bearbeitung begründet. Die Methodik zur Erstellung des Ereignisinventars, welches für die weitere Validierung verwendet wird (siehe Kapitel 7.3), basiert auf einer Reihe von Zwischenschritten, welche in Abbildung 13 dargestellt werden.

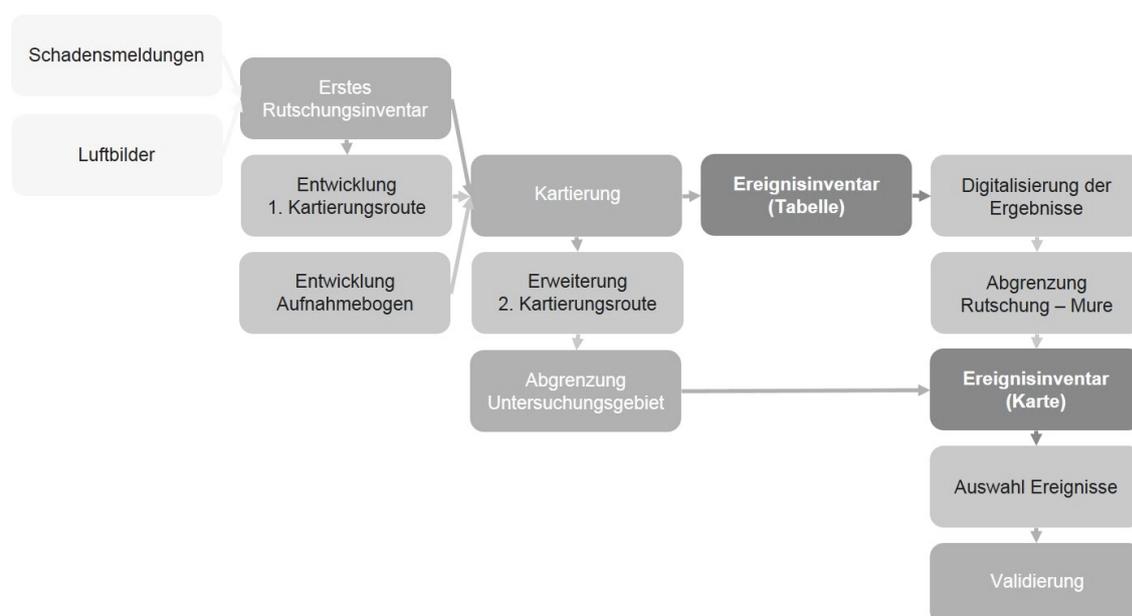


Abbildung 13: Flowchart der Erstellung des Ereignisinventars zur Validierung der Gefahrenhinweiskarte

7.2.1 Entwicklung des Aufnahmebogens zur Kartierung der Ereignisse

Die Erstellung des ausführlichen Ereignisinventars wurde im Zuge dieser Arbeit anhand eines eigens entwickelten Aufnahmebogens zur Kartierung der Ereignisse durchgeführt. Ähnliche Kartiervorlagen konnten zwar als erste Grundlage des Aufnahmebogens dienen, wurden jedoch nicht direkt übernommen, da eine Anpassung an die erforderliche Datenmenge und -genauigkeit durchgeführt werden musste. Ein Erstentwurf des Aufnahmebogens wurde in Anlehnung an CRUDEN und VARNES (1996) und TURNER und SCHUSTER (1996) erstellt und entsprechend den Anforderungen der vorliegenden Analyse angepasst. Besonderer Fokus wurde auf die genaue Dokumentation der Dimensionen des jeweiligen Ereignisses gelegt. Dabei wurden sowohl die genaue Breite und Länge als auch die Tiefe bzw. Höhe der unterschiedlichen Teilbereiche einer Rutschung (Anrissbereich, sekundäre Anrisse, Abbruchzone gesamt und Akkumulationsbereich) aufgenommen.

Eine Rutschung wurde im Zuge dieser Arbeit also (modifiziert nach CRUDEN 1993) in folgende Teilbereiche eingeteilt (Abbildung 14, detaillierte Auflistung der Teilbereiche siehe Anhang B):

- Der Anrissbereich umfasst unter anderem den Scheitel (1) sowie die obere Abbruchzone der Rutschung (4), aber auch den Hauptanriss selbst (2).
- Die Abbruchzone (14) kann als jener Bereich der Rutschung beschrieben werden, in welchem das transportierte Material unterhalb der ursprünglichen Geländekante liegt. Dieser beinhaltet den oberen Teil des Rutschungskörpers (6), also jenes Bereiches, der sich von dem Hauptanriss bis zur Untergrenze der Scherfläche (10) erstreckt, und kann unter anderem auch Zonen sekundärer Anrisse (5) aufweisen.
- Die Akkumulationszone (15) gilt als jener Bereich, in dem das transportierte Material oberhalb der ursprünglichen Geländekante liegt. In diesem Bereich zeigt sich nicht nur der Anteil der Rutschmasse, welcher sich über die Scherfläche hinaus bewegt hat (7 bzw. 18), sondern auch die unterste Spitze der Rutschung (8), also jener Punkt, der am weitesten von dem Scheitel entfernt ist.
- Die Scherfläche der Rutschung (10) erstreckt sich vom oberen Bereich bis zum Beginn der Akkumulationszone und bildet die unter der ehemaligen Geländekante liegende Grenze der Rutschmasse, anhand derer das Gesamtvolumen des transportierten Materials (16) sowie eine Rekonstruktion der ursprünglichen Geländekante (20) ermittelt werden kann.

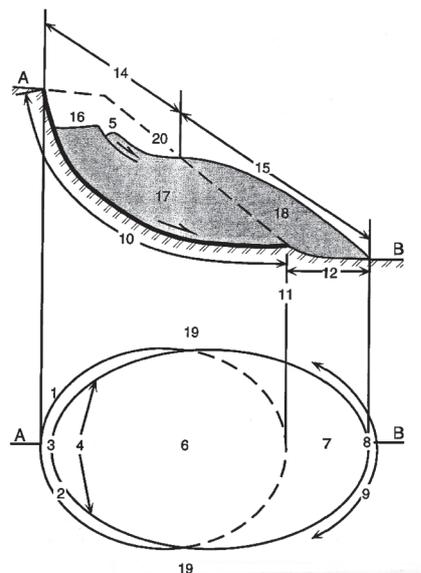


Abbildung 14: Teilbereiche einer Rutschung (CRUDEN 1993)

Diese Teilbereiche sollen zwar getrennt voneinander vermessen, jedoch auch in Relation zu den anderen Zonen gesetzt werden, um die relative Lage alle Bereiche einer Rutschung zu erfassen. Des Weiteren wurde das Kartierformular um einen zusätzlichen zu vermessenden Bereich, jenen der Nebenanrisse einer Rutschung, erweitert. Nebenanrisse wurden hierbei als jene Formen in der Geländeoberfläche, welche in unmittelbarer Umgebung der Rutschung seitlich auftreten und im Gelände durch klare Stufen und Risse in der Grasnarbe identifizierbar sind, definiert. Diese wurden ebenfalls der Vermessung hinzugefügt und in Bezug auf ihre relative Lage zur Rutschung selbst vermerkt.

Neben diesen rutschungsspezifischen Messwerten wurden dem Aufnahmebogen auch zusätzliche relevante Merkmale wie Landnutzung, geologischer Untergrund und Materialart (Lehm, Ton, Schluff, Steine, Schutt) hinzugefügt. Des Weiteren war besonders die Entfernung der Rutschung zu Straßen, Gebäuden und Gewässern von hohem Interesse. Aber auch allgemeine Parameter der Lage der Rutschung, wie Exposition und Hangneigung, sowie genaue Informationen zur besseren Verortung des Ereignisses, wie Adresse, betroffenes Grundstück oder geographische Koordinaten, wurden in den Aufnahmebogen integriert. Um eine möglichst umfassende Aufnahme der Situation zu ermöglichen, wurde dem Aufnahmebogen die Beschreibung eventuell geplanter Bau- und Sanierungsarbeiten sowie die Skizze des Hangprofils hinzugefügt.

Der so erstellte Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse diente in weiterer Folge als Grundlage der Geländearbeiten und der Aufzeichnungen der gesammelten Informationen. Obwohl als Basis der zu vermerkenden Messwerte jene zur Vermessung einer Rutschung herangezogen wurden, dient dieser Aufnahmebogen auch zur Erhebung eventueller weiterer Ereignisse, wie Muren oder Steinschläge, wobei lediglich die bei diesen Prozessen messbaren Dimensionen ermittelt werden sollen. Genaue Informationen zu z. B. Scherfläche oder anderen rutschungsspezifischen Abmessung können in diesen Fällen, aufgrund der verschiedenen Prozessdynamik, nicht vermessen werden. Da in der vorliegenden Analyse in weiterer Folge ausschließlich Rutschungen für die Validierung herangezogen werden, wurde der Fokus auch bei der Kartierung auf

diese Ereignisse gelegt. In Ergänzung zu der Dokumentation der Massenbewegungen bildete eine Skizzierung der Prozesse in einem Luftbild des Gebietes die Basis zur späteren Digitalisierung des Ereignisinventars.

7.2.2 Erste Inventarerstellung anhand von Informationen aus externen Quellen

Die Grundlage der Ereignisdokumentation bildeten, wie bereits in Kapitel 7.1 erwähnt, die beim Geologischen Dienst des Landes Niederösterreich eingegangenen Schadensmeldungen und die aus den Luftbildern der Befliegung identifizierten Ereignisse. Die Informationen dieser beiden Quellen mussten jedoch entsprechend den Anforderungen zur Erstellung des Ereignisinventars aufbereitet werden. Im vorliegenden Fall waren als Schadensmeldungen einzelne Berichte, welche neben der Verortung der Ereignisse teilweise auch bereits erste Informationen über die Dimensionen, die gefährdeten Gebäude und geplante Sanierungsmaßnahmen enthielten, verfügbar.

Die spezifischen Daten der jeweiligen Ereignisse wurden in einem ersten Schritt aus den verschiedenen Berichten extrahiert und in tabellarischer Form zusammengefasst, um einen Überblick über die bereits vorhandenen Ereignisinformationen zu erhalten. Besonders die genauen Ortsangaben der gemeldeten Schäden, aber auch Angaben der mittels GPS während der Befliegung aufgezeichneten Koordinaten nicht gemeldeter Ereignisse, waren hierbei von hoher Bedeutung. In einem zweiten Schritt wurden diese bereits bekannten Ereignisse in kartographischer Form dargestellt, um die Route für die folgende Geländearbeit zusammenzustellen. Die Planung der Geländearbeiten erfolgte auf Basis dieser Route, welche neben bekannten Schadensereignissen auch nicht klar definierte potenzielle Ereignisse, die im Zuge der Befliegung identifiziert wurden, enthielt.

7.2.3 Methodik der Kartierung der Ereignisse

Die Durchführung der Kartierung erfolgte entlang der ersten Kartierungsrouten, welche im Gelände um weitere Bereiche in deren direktem Umfeld erweitert wurde (siehe Kapitel 7.1.2). Hierbei wurden bereits bekannte Lokalitäten aufgesucht und aufgezeichnet, wobei auch versucht wurde, mit den betroffenen Grundbesitzern in Kontakt zu treten, um weitere Informationen zu dem betreffenden Ereignis zu erhalten. Des Weiteren wurden zahlreiche Gespräche mit Anrainern geführt, wodurch zusätzliche, noch nicht gemeldete Ereignisse in die Kartierung mitaufgenommen werden konnten. Speziell Informationen über genaue Ortsangaben und mögliche Auswirkungen der Ereignisse für die Bevölkerung sowie geplante Sanierungs- und Wiederaufbaumaßnahmen konnten dadurch gewonnen werden.

Die Kartierung selbst setzte sich aus mehreren Teilbereichen, welche für jedes Ereignis erfasst werden mussten, zusammen. Entsprechend dem entwickelten Kartierformular wurde zuerst der Ereignistyp (Rutschung, Mure oder Steinschlag) ermittelt und die Dimensionen der Ereignisse vermessen. Eine genauere Betrachtung des umgebenden Geländes diente zur Gewinnung relevanter Standortinformationen, wie z. B. Hangneigung und Exposition, aber auch der relativen Lage zu Gebäuden, Straßen und Gewässern. Neben diesen Vermessungen wurden ein Hangprofil sowie eine Grundrisssskizze zur besseren Beschreibung des Ereignisses erstellt. Zur Skizzierung wurden Luftbilder aus dem Niederösterreich-Atlas (<http://atlas.noel.gv.at/>) als Kartiergrundlage herangezogen. Ein wichtiger Punkt der Kartierung war auch die detaillierte Fotodokumentation jedes Ereignisses, um sowohl eine genaue Aufzeichnung der spezifischen Standort- und Prozesseigenschaften zu liefern, als auch die eventuellen Unterschiede der Prozesse und Dimensionen dieser Ereignisse herauszuarbeiten. Für eine bessere Nachvollziehbarkeit der Erhebungen wurden auch Datum und Uhrzeit der Kartierung sowie der genaue Standort der Ereignisse aufgenommen. Ein individueller Code diente abschließend dazu, die einzelnen Ereignisse eindeutig zu identifizieren.

7.2.4 Erstellung des Ereignisinventars und Beschreibung der Rutschungen

Aus den im Zuge der Kartierung erhobenen Daten wurde im nächsten Schritt ein ausführliches Ereignisinventar erstellt. Die Ereignisse wurden hierbei hinsichtlich ihrer Prozessstypen in Rutschungen, Muren, Steinschläge oder kombinierte Ereignisse aus Rutschungen und von diesen ausgelösten Muren, unterschieden. In der ersten Version dieses Inventars wurden alle bereits bekannten Informationen aus den Schadensmeldungen, die im Gelände erhobenen Daten und eventuelle zusätzliche Informationen aus Gesprächen mit Anrainern und betroffenen Personen zusammengefügt und tabellarisch aufgelistet. Etwaige Ungenauigkeiten und fehlende Informationen, welche im Gelände aufgrund von z. B. Unzugänglichkeit des Gebietes nicht erhoben werden konnten wurden in einem weiteren Schritt anhand von Foto- und Luftbildinterpretation bestmöglich korrigiert bzw. hinzugefügt.

Ein weiterer Schritt war die Aufbereitung der Informationen zum möglichen anthropogenen Einfluss auf das Rutschungsauftreten. Diese wurden ebenfalls im Gelände erhoben und in Form einer Beschreibung der Strukturen, Bauwerke und Eingriffe, die potenzielle Auslöser oder beeinflussende Faktoren der gravitativen Massenbewegungen sein könnten, für jedes Ereignis festgehalten. Die Informationen zu den möglichen anthropogenen Faktoren des Rutschungsauftretens wurden im Gelände anhand von Begehung des umliegenden Gebietes jedes Ereignisses sowie durch Gespräche mit den betroffenen Personen und Anrainern gewonnen. Hierbei wurde sowohl die Art der anthropogenen Beeinflussung (z. B. Wegebau, Hanganschnitt, Drainagen) als auch der Abstand der jeweiligen Strukturen zur Rutschung aufgezeichnet. Das so erstellte Ereignisinventar enthält nun neben den genauen Prozess- und Lageinformationen sowie den Dimensionen der Ereignisse auch zusätzliche Informationen zum Standort und eventuellen geplanten Baumaßnahmen.

7.2.5 Digitalisierung der Kartierungsergebnisse

Die auf Basis der Kartierung erfassten Ereignisse wurden mittels GIS in eine digitale Form gebracht, um weitere Berechnungen zu ermöglichen. Die Digitalisierung erfolgte mittels des Programms ArcGIS, wobei die einzelnen Geländeskizzen gescannt und mittels Georeferenzierung an den entsprechenden Standorten verortet wurden. Ergänzend dazu wurden die bei der Hubschrauberbefliegung erstellten Luftbilder ebenfalls georeferenziert, um so eine Aufsicht der Ereignisse zu erhalten, die dann zur Erstellung der Polygone der einzelnen Massenbewegungen dienen konnte.

Die Rutschungen, Muren und Steinschläge wurden in einem ersten Schritt also komplett aufgenommen und in Form von Polygonen erfasst. Um die Anrisspunkte jedes Ereignisses zu erhalten, wurde im Anrissbereich jeder Rutschung ein Punkt gesetzt. Die genaue Position des Punktes wurde hierbei zufällig gewählt, wobei auf eine schnelle und intuitive Positionierung des Punktes im Rutschungsanriss geachtet wurde, um subjektive Einflüsse der Kartierung in Form von absichtlich gesetzten Punkten an bestimmten Stellen zu vermeiden. Neben der Kartierung der Gesamtdimensionen und Anrisspunkte jeden Ereignisses wurde bei der Erfassung auch eine Unterscheidung nach Ereignistyp, also Hangrutschung, Mure, Steinschlag oder Kombination aus Hangrutschung und Mure, getroffen. Die entsprechenden Ereignistypen wurden, sowohl bei den Anrisspunkten als auch bei den Polygonen, als Kategorie hinterlegt, um eine spätere Selektion bestimmter Typen zu ermöglichen. Besonderer Fokus wurde hierbei auf die Differenzierung kombinierter Ereignisse, speziell bei Rutschungen, die Muren auslösten, gelegt. Die Problematik und mit derartigen Prozesstypen einhergehende Herausforderungen der Abgrenzung sollen im Folgenden näher erläutert werden.

7.2.6 Abgrenzung der Rutschungen zu Muren

Im Falle einer Kombination aus Hangrutschung und Mure, welche zum Beispiel in Form einer Hangrutschung nahe eines Gerinnes, die sich in diesem dann zu einer Mure entwickeln kann (HÜBL ET AL. 2011: 38), auftreten kann, wurde der Prozess im Anrissbereich als Hangrutschung und ab dem Eintritt ins Gerinne als Mure

identifiziert. Die genaue Methodik der Abgrenzung dieser Prozesskombination basierte vorwiegend auf im Gelände erhobenen Informationen. Hierbei wurden die betreffenden Ereignisse geomorphologisch hinsichtlich erkennbarer Prozessübergänge evaluiert. Da die Übergänge von Rutschungen zu Muren, also jeweils jene Stelle, an der das auslösende Ereignis der Rutschung die Mure verursacht, oftmals schwer erkennbar und nicht klar abgrenzbar sein können, wurde hier, wie bereits erwähnt, der Eintritt in ein Gerinnebett oder in eine Geländefurche als Grenze angenommen. In Fällen, bei denen solche Übergänge nicht eindeutig erkennbar waren, wurde jene Stelle als Grenze angenommen, an welcher der Rutschprozess in die Fließbewegung der Mure, erkennbar durch Änderung der Form (von ovaler bis runder Rutschungsform zu linien- oder flächenhaftem Fließen) und des vermuteten Wasseranteils des Materials (von relativ fester Rutschmasse zu deutlich flüssigerem Murmaterial), übergeht. Eine klar definierte Methodik der Abgrenzung derartiger Prozesse konnte auf Basis von Literaturquellen nicht ermittelt werden, da der Umgang mit derartigen Prozesskombinationen wahrscheinlich stark von den lokalen Gegebenheiten und den prozessspezifischen Eigenschaften abhängig ist. Nach dieser Prozessabgrenzung wurde also ein umfassendes Ereignisinventar aller bekannten, kartierten und erhobenen Ereignisse des Mai 2014 erstellt, welches in weiterer Folge für die Auswahl der in die Validierung eingehenden Ereignisse zur Verfügung stand.

7.2.7 Auswahl der in die weitere Analyse eingehenden Ereignisse

Um einen Vergleich mit der bereits erstellten Gefahrenhinweiskarte Niederösterreichs zuzulassen, konnten nicht alle aufgenommenen und dokumentierten Ereignisse in die weiteren Berechnungen eingehen, weshalb das Ereignisinventar entsprechend angepasst werden musste. Da die zu validierende Gefahrenhinweiskarte im Rahmen des MoNOE-Projekts speziell für Rutschungen erstellt wurde, mussten in einem ersten Schritt also alle Rutschungsprozesse ausgewählt und die kartierten Steinschläge und Murgänge aus dem Inventar herausgenommen werden. Des Weiteren beschränkte sich das Ereignisinventar, auf welchem die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte beruhte, auf Prozesse mit

einer Mindestgröße von 100 m² (PETSCHKO ET AL. 2010: 278). Um diesem Kriterium zu entsprechen, musste daher die Größe jeder kartierten Rutschung mittels Berechnung der durch die Polygone begrenzten Flächen ermittelt werden. Die Flächenwerte jedes Ereignisses wurden in der Folge ebenfalls den Attributen der Polygondaten hinzugefügt, wodurch eine einfache Auswahl der Rutschungen mit einer Mindestgröße von 100 m² möglich war. Das so erstellte finale Inventar der nun mit der Gefahrenhinweiskarte vergleichbaren Rutschungen konnte jetzt zu deren Validierung weiterverwendet werden.

7.3 Validierung der Gefahrenhinweiskarte

Die im Folgenden beschriebene Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen wurde mittels Berechnung der Vorhersagegüte der Gefährdungsmodellierung, die im Zuge des MoNOE-Projekts erstellt wurde, durchgeführt. Die Vorhersagegüte wurde hierbei durch Ermittlung der „prediction rate curve“, also jener Kurve, die den relativen Flächenanteil der einzelnen Gefährdungsklassen den in diesen identifizierten Anteilen der Rutschungen an der Gesamtrutschungszahl gegenüberstellt, berechnet. Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, wird die Validierung mittels Vorhersagerate durch Auswahl eines von der Modellierung unabhängigen Testdatensatzes durchgeführt. Als derartiger Testdatensatz konnte in vorliegender Analyse das Rutschungsinventar der Ereignisse des Mai 2014 herangezogen werden. Da es sich hierbei um ein ereignisbezogenes Inventar, welches nach Fertigstellung der Gefahrenhinweiskarte erhoben wurde, handelt, kann diese Art der Partitionierung als „zeitliche Partitionierung“ (CHUNG & FABBRI 2003: 461) bezeichnet werden. Die Einschränkung, dass zur Validierung normalerweise keine Daten über zukünftige Ereignisse vorhanden sind, trifft in diesem Fall also nicht zu, da es sich beim angewandten Testdatensatz um ein Inventar zukünftiger Ereignisse bezogen auf die Fertigstellung der Gefahrenhinweiskarte handelt.

Um die Ergebnisse der Validierung mittels Rutschungen des Mai 2014 mit jenen der ursprünglichen Modellierung der Gefahrenhinweiskarte zu vergleichen, wurde die Validierung auch anhand eines Testdatensatzes aus den bereits in der

Modellierung zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte im Rahmen des MoNOE-Projekts verwendeten Rutschungsdaten durchgeführt. Die so berechnete „success rate curve“ basiert auf demselben Prinzip wie die „prediction rate curve“, nur wird hier nicht die Vorhersagerate, sondern die Erfolgsrate des Modells ermittelt (siehe Kapitel 3.3).

Die „prediction rate curve“ und die „succes rate curve“ wurden sowohl für die Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen als auch für die Validierung der nach lithologischen Einheiten getrennt modellierten Rutschungsgefährdung berechnet. Letztere war hierbei eine Vorstufe der Gefahrenhinweiskarte, also das Ergebnis der Modellierung vor Gewichtung und Klassifizierung der Gefährdungsklassen (siehe Kapitel 2.3). Die Gefahrenhinweiskarte war in Form eines in drei Kategorien (1 – „Nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung“, 2 – „Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung“ und 3 – „Genaue Erkundung unverzichtbar“, Beispiel siehe Abbildung 1) klassifizierten Rasterdatensatzes über das gesamte Bundesland Niederösterreich verfügbar, welcher anfangs auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten wurde. Jede Rasterzelle enthielt somit einen Wert von 1 bis 3, welcher die Gefährdung an jedem Punkt repräsentierte. Die Gefährdung nach lithologischen Einheiten war ebenfalls als Rasterdatensatz verfügbar, welcher jedoch kontinuierlich skalierte relative Wahrscheinlichkeiten zwischen 0 (entspricht keiner Gefährdung) und 1 (entspricht höchster Gefährdung) zeigte.

Die Berechnung der Vorhersage- und Erfolgsgüte nach lithologischen Einheiten wurde ergänzend zu der Validierung der Gefahrenhinweiskarte durchgeführt, da es sich bei letzterer um einen Datensatz mit bereits klassifizierten Werten (1 bis 3, siehe auch Kapitel 2.3) handelt und somit ein möglicher Verlust an Information angenommen werden kann. Die Verwendung kontinuierlicher Werte kann daher zu mitunter deutlich differenzierteren Ergebnissen führen und somit genauere und besser interpretierbare Ergebnisse bringen. Die lithologischen Einheiten, welche aufgrund ihrer Dominanz im Untersuchungsgebiet ausgewählt wurden, waren

hierbei die Flyschzone, die Zone der oberostalpinen Kalke und Mergel sowie die Zone der oberostalpinen Dolomite (siehe auch Abbildung 5).

Diese Eingangsdaten der „prediction rate curve“ und der „success rate curve“ mussten nun, um die folgenden Berechnungen ausführen zu können, noch weiter aufbereitet werden. Da zur Validierung jene Rasterzellen ermittelt werden mussten, an denen sich die Rutschungspunkte mit der Gefahrenhinweiskarte bzw. der Gefährdungsmodellierung überschneiden, musste zuerst für alle Rasterdatensätze eine Attributtabelle erstellt werden. Die Berechnung der Überschneidungsflächen erfolgte mittels der Funktion „Flächentabellen erstellen“ des „Spatial Analyst“-Tools, welche das Vorhandensein einer Attributtabelle aller verwendeten Datensätze voraussetzt. Da die Gefahrenhinweiskarte bereits eine Attributtabelle enthielt, musste diese nicht weiter bearbeitet werden und konnte direkt in die Validierung eingehen. Die Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung nach lithologischen Einheiten hingegen enthielten anfangs keine Attributtabelle, was hier also eine weitere Bearbeitung erforderlich machte.

Die Datensätze der Gefährdung nach lithologischen Einheiten wurden demnach zuerst mittels der Funktion „Extract by Mask“ des „Spatial Analyst“ Tools, unter Verwendung der Untersuchungsgebietsabgrenzung als Maske, zugeschnitten. Sie enthielten somit nur noch jene Bereiche der unterschiedlichen Lithologie, die auch innerhalb des Untersuchungsgebiets liegen. Im nächsten Schritt musste sichergestellt werden, dass die Rasterzellen der lithologischen Einheiten sich auch mit jenen der Gefahrenhinweiskarte decken, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Dies wurde mittels Einstellen des Snap-Rasters und der Ausdehnung der Funktion „Raster berechnen“ des „Spatial Analyst“-Tools und neuerlichen Abspeicherns des Datensatzes ermöglicht. Da die Datenstruktur der Modellergebnisse keine einfache Berechnung der Attributtabelle mittels der Funktion „Raster Attributtabelle erstellen“ des „Data Management“-Tools erlaubte, mussten die Datensätze mittels „Reklassifizieren“ weiter bearbeitet werden. Die Reklassifikation wurde in diesem Fall mittels Quantilen in 100 Klassen durchgeführt, um einen weiteren Informationsverlust so gering wie möglich zu halten. Die Auswahl der Quantile als Klassifikationskriterium sowie die gewählte

Klassenzahl wurden aufgrund dessen getroffen, dass die einzelnen Klassen nun die gleiche Anzahl an Rasterzellen aufwiesen. Die Klassen entsprachen nun also jeweils einem Anteil von 1 % der Gesamtfläche und konnten, da eine genauere Differenzierung der Flächenanteile als nicht notwendig erachtet wurde, somit direkt für die Berechnung der Flächenanteile herangezogen werden. Durch die Reklassifikation wurde zu den Rasterdatensätzen der Gefährdung nach lithologischen Einheiten automatisch auch eine Attributtabelle hinzugefügt, weshalb diese nun ebenfalls zur Berechnung der „prediction rate curve“ und der „success rate curve“ verwendet werden konnten.

Neben der Gefahrenhinweiskarte und der Gefährdung nach lithologischen Einheiten wurde das Rutschungsinventar des Mai 2014 (siehe Kapitel 7.2.7), wie bereits erwähnt, als Testdatensatz zur Berechnung der Vorhersagerate herangezogen. Zur Ermittlung der Erfolgsrate wurden die Rutschungsanrisse, die im MoNOE-Projekt zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte dienten, als Testdatensatz verwendet. Alle verwendeten Rutschungsdatensätze enthielten bereits eine Attributtabelle und mussten somit nicht weiter bearbeitet werden. Da die Funktion „Flächentabelle erstellen“, welche zur Ermittlung der Rasterzellen in denen sich die Rutschungsdatensätze mit den Gefährdungsmodellen überschneiden verwendet wurde, auch Vektor- mit Rasterdaten verschneiden und somit Berechnungen aus zwei verschiedenen Datenformaten durchführen kann, konnten die Rutschungspunkte und -polygone direkt in die Validierung eingehen.

Die Berechnungen der Anzahl der Rasterzellen, die im Überschneidungsbereich der Rutschungsdaten mit den Daten der Gefahrenhinweiskarte bzw. der Gefährdungsmodellierung nach lithologischen Einheiten liegen, wurden weiter zur Ermittlung der relativen Anteile in den jeweiligen Gefährdungsklassen herangezogen. Diese Berechnungen sowie die graphische Darstellung der Kurven wurden im Programm MS Excel durchgeführt. Aus den jeweiligen Anteilen wurden die kumulierten Werte ermittelt, die dann in graphischer Form dargestellt werden konnten. Des Weiteren wurden die Flächeninhalte unter den Kurven („area under the curve“ – AUC) berechnet, um die Ergebnisse der Validierung, also jene mittels Anrispunkten und Polygonen des Rutschungsinventars Mai 2014 sowie mittels

MoNOE-Anrissen, besser vergleichen zu können. Der AUC-Wert kann bei der Validierung mittels „prediction rate curve“ oder „success rate curve“ als Maß herangezogen werden, um die Güte der Modellergebnisse aufzuzeigen. Diese Flächen können Wertebereiche von 0,5 (Zufallsmodell) bis 1 (perfekte Trennung gefährdeter zu nicht gefährdeten Bereichen) zeigen (BRENNING 2005: 854).

8 Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der in Kapitel 7 erläuterten Berechnungen und Kartierungen näher beschrieben werden. Eine Darstellung der jeweiligen Zwischenergebnisse und genauere Erläuterungen zu den einzelnen Arbeitsschritten anhand der durchgeführten Methoden, werden mithilfe von Beispielen der Berechnung und der Kartierung näher präsentiert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich also in Struktur und Inhalt auf jene des Methodenkapitels (Kapitel 7), um so die bessere Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Analysen sicherzustellen. Neben dem Ergebnis der Kartierung und der Präsentation des finalen Ereignisinventars werden im Folgenden auch die Validierungsergebnisse sowie deren graphische Aufbereitung ausgeführt und dargestellt.

8.1 Darstellung des Untersuchungsgebiets

Entsprechend der in Kapitel 7.1 erläuterten Methodik wurde im Zuge der Vorbereitungen der Geländearbeit ein Katalog der gemeldeten sowie der mittels Luftbildinterpretation identifizierten Ereignisse erstellt. Die Erweiterung dieses ersten Inventars durch im Zuge der Geländebegehungen zusätzlich erfasste Ereignisse und Regionen führte zu einem gesamten besichtigten Wegenetz von 292,76 km. Auf Basis dieses Wegenetzes wurde nun das vollständig kartierte Gebiet ausgewiesen, welches dann in weiterer Folge für die Validierung und Evaluierung der Gefahrenhinweiskarte Niederösterreichs herangezogen wurde.

Das finale Ergebnis dieser Untersuchungsgebietsabgrenzung (Abbildung 15) repräsentiert also nun alle im Zuge der Kartierung erfassten Bereiche. Es handelt sich hierbei zwar um ein optisch fragmentiert erscheinendes Gebiet, jedoch konnte nur so eine Gewährleistung der Vollständigkeit der Kartierung ermöglicht werden. Das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckt sich nun über eine Fläche von insgesamt 112,57 km² und umfasst alle kartierten Wege und eingesehenen Flächen. Das Gebiet reicht von seinem nordöstlichsten Punkt bei Wilhelmsburg (Bezirk St. Pölten – Land) bis nach Hollenstein an der Ybbs im Südwesten (Bezirk

Amstetten). Im Nordwesten wird das Gebiet durch das nahe der Stadt Waidhofen an der Ybbs gelegene Gebiet um den Sonntagberg (Bezirk Amstetten), im Südosten durch das Gebiet um Türnitz (Bezirk Lilienfeld) begrenzt. Die Gesamtausdehnung beträgt also ca. 67 km von West nach Ost und ca. 38 km von Nord nach Süd. Innerhalb dieses Gebietes konnte nun die Kartierung durchgeführt werden, welche im Folgenden näher beschrieben werden soll.

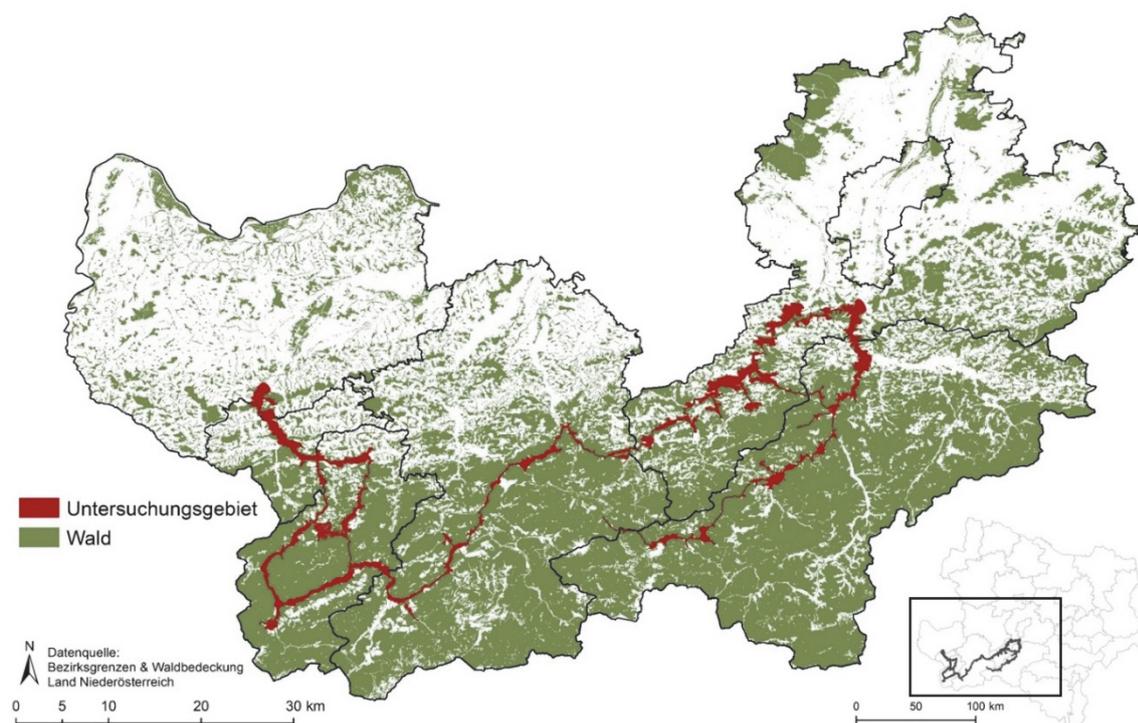


Abbildung 15: Finale Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

8.2 Ergebnisse der Kartierung

Die Kartierung der Ereignisse, welche im Mai 2014 in Folge des Starkniederschlagsereignisses auftraten, wurde im Zuge mehrerer Geländebegehungen durchgeführt. Diese Begehungen fanden im Zeitraum Mai bis September 2014 (Tabelle 4) statt und beinhalteten neben der genauen Aufnahme der Ereignisse auch einige Gespräche mit betroffenen sowie mit der Bearbeitung und Begutachtung der entsprechenden Schäden betrauten Personen wie z. B. Mitarbeiter des Geologischen Dienstes sowie Personal betroffener Gemeinden.

Tabelle 4: Durchgeführte Geländearbeiten zur Kartierung der Ereignisse

Datum	Gemeinde	Bezirk	kartierte Ereignisse	Ereignis-ID
28.05.14	Lunz am See	Scheibbs	1	20
04.06.14	Waidhofen an der Ybbs	Waidhofen an der Ybbs	1	22
19.06.14	Opponitz, Waidhofen an der Ybbs	Amstetten, Waidhofen an der Ybbs	4	24a&b, 25, 44
20.06.14	St. Georgen am Reith, Göstling an der Ybbs, Lunz am See	Amstetten, Scheibbs	4	36, 38, 42, 43
21.06.14	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	8	28a&b, 30-32, 34, 35, 41
27.06.14	Frankenfels, Waidhofen an der Ybbs, St. Georgen am Reith, St. Anton an der Jeßnitz	St. Pölten-Land, Waidhofen an der Ybbs, Scheibbs, Amstetten	7	10, 21a-c, 37, 39, 45
28.06.14	Hofstetten-Grünau, Kirchberg an der Pielach, Loich	St. Pölten-Land	15	1, 3, 4a-d, 5a-c, 7, 8, 9a-c, 11
31.07.14	Loich	St. Pölten-Land	1	7
18.09.15	Hofstetten, Lilienfeld, Türnitz, Annaberg, Gaming, Kirchberg an der Pielach, Hürm	St. Pölten-Land, Lilienfeld, Scheibbs, Melk	10	6, 12, 14a&b, 16-19, 46, 47

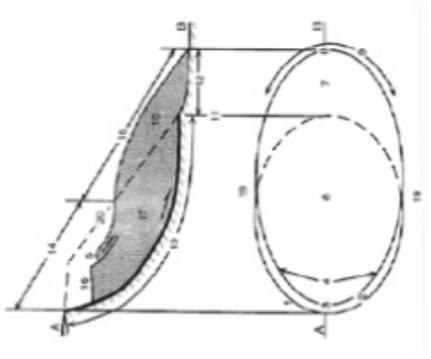
Die genaue Abfolge der Kartierung sowie deren Ergebnisse und Aufbereitung der erhobenen Daten sollen in weiterer Folge näher erläutert werden. Des Weiteren werden hier die Ergebnisse der Digitalisierung und Abgrenzung kombinierter Ereignisse aus Rutschungen und Muren beschrieben und das finale Ereignisinventar präsentiert.

8.2.1 Evaluierung des Aufnahmebogens

Der eigens zum Zwecke der vorliegenden Analyse entworfene Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse wurde, entsprechend der Methodik, welche in Kapitel 7.2.1 näher erläutert wurde, erstellt. Der Erstentwurf wurde anhand einer ausführlichen Aufnahme eines Ereignisses in Waidhofen/Ybbs am 4. Juni 2014 evaluiert. Hierbei wurde im ersten Schritt der generelle Aufbau des Bogens hinsichtlich der Verwendbarkeit bei Geländearbeiten, also die Struktur, Lesbarkeit und Benennung der Parameter, überprüft. Des Weiteren wurde die Vollständigkeit

der im Aufnahmebogen enthaltenen Informationen und zu erhebenden Parameter getestet. Diese Evaluierung zeigte eine notwendige Erweiterung des Bogens, um einen höheren Informationsgewinn zu erreichen. Somit wurde nach dieser ersten Evaluierung die Aufnahme der Nähe zu Fließgewässern und Gebäuden bzw. Straßen erweitert und eine zusätzliche Rubrik der geplanten und/oder bereits durchgeführten Bauarbeiten hinzugefügt. Des Weiteren wurde die Erhebung der Materialart nach der Evaluierung des Aufnahmebogens als „optional“ erachtet, da diese mitunter nicht klar differenzierbar war und somit nicht mehr in das finale Ereignisinventar als Information zu jedem Ereignis inkludiert werden konnte. Der endgültige zweiseitige Aufnahmebogen (Abbildung 16 und 17) konnte nun für die weitere Kartierung herangezogen werden.

Aufnahmebogen Rutschungskartierung		Rutschungs-ID: _____
Datum:		Uhrzeit (von - bis):
Gemeinde:		KG:
Adresse:		
Betroffenes Gebäude Nr.:		Betroffenes Gebäude Nr.:
Geogr. Koordinaten (Anriss - A):	L:	Seehöhe (m):
	B:	Exposition:
Geogr. Koordinaten (Ablagerung - B):	L:	Hangneigung (°):
	B:	
Rutschungstyp: _____		



Anrissbereich (A)	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Sekundärer Anriss (5)	Breite	
	Abstand (senkrecht zw. A-5)	
Abbruchzone (17)	Breite (max)	
	Länge (max)	
	Tiefe	
Akkumulationszone (18)	Breite (max)	
	Breite (bei B)	
	Länge (max)	
	Höhe (max)	
	Höhe (bei B)	
Tiefe der Scherfläche		
Rutschmasse gesamt	Volumen (m³)	
Materialart		
(Lehm, Ton, Schluff, Steine, Schutt)		

Nebenanriss 1	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 2	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 3	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 4	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 5	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	

Abbildung 16: Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse (Seite 1)

Rutschungs-ID: _____

Skizze - Hangprofil

Landnutzung	
Geolog. Untergrund	
Bodentyp (Anriss)	
Entfernung zu Straße	
Entfernung zu Gebäude	

Oberflächengewässer	
Art	
Entfernung zu Rutschung	
Art	
Entfernung zu Rutschung	
Art	
Entfernung zu Rutschung	
Erosionsspuren	

Bauarbeiten:	(geplanter Zeitraum)

Kommentare:

Abbildung 17: Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse (Seite 2)

8.2.2 Vorläufiges Ereignisinventar aus externen Datenquellen

Als erster Schritt vor Beginn der eigentlichen Geländearbeit wurde ein vorläufiges Ereignisinventar aus den bereits bekannten Schadensmeldungen und den im Zuge der Hubschrauberbefliegung erstellten Luftbildern zusammengestellt. Dieses erste Inventar enthielt bereits zahlreiche Informationen zu den entsprechenden Ereignissen, welche aus den Schadensmeldungen gewonnen werden konnten. Auch die ungefähren Dimensionen und geschätzten Entfernungen zu Gebäuden etc. waren hier teilweise bereits enthalten. Die Ereignisse dieses Inventars wurden in einem ersten Schritt mit einer individuellen Identifikationsnummer versehen, wobei sich hier zeigte, dass an einem Standort mitunter mehrere Ereignisse auftraten, welche in weiterer Folge mit einem zusätzlichen Kleinbuchstaben als Anhang der Identifikationsnummer versehen wurden.

Da die Datenbasis der Schadensmeldungen über den Zeitraum der Kartierung stetig erweitert wurde, konnten zu einem späteren Zeitpunkt noch weitere Ereignisse diesem ersten Inventar hinzugefügt werden (Ereignis-ID 45–48). Dieses erste Inventar umfasste somit insgesamt 56 Ereignisse, wobei es sich hierbei um Rutschungen, Muren, Steinschläge und Kombinationen aus Rutschungen und Muren handelte. Zur Inventarerstellung waren für 24 Ereignisse Schadensmeldungen und für 53 Massenbewegungen Luftbilder verfügbar. Jedes Ereignis wurde anhand der Luftbilder und in den Schadensmeldungen enthaltenen Ortsangaben mittels Identifikation des Gebietes im NÖ-Atlas verortet, um einen ersten Überblick über die Lage der Ereignisse zu gewinnen. Die genaue Verortung wurde dann im Zuge der Kartierung und Digitalisierung der Ereignisse korrigiert und für das finale Ereignisinventar aufbereitet. Zur Vorbereitung der Kartierung stand nun ein erstes Inventar mit Informationen zu geographischen Koordinaten, Ortsbezeichnung, Bezirk, Datengrundlage, Prozesstyp und ersten Angaben zur Geologie zur Verfügung (Ausschnitt Tabelle 5).

Tabelle 5: Ausschnitt aus dem vorläufigen Ereignisinventar aus Schadensmeldungen und Luftbildern

ID	BMN34		Ortsbezeichnung	Bezirk	Datengrundlage	Prozesstyp	Lithologie
	RW	HW					
30	631973,8	299698,6	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	Schadensmeldung & Luftbild	Steinschlag	Hauptdolomit
31	632628,5	297886,1	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	Schadensmeldung & Luftbild	Rutschung	Hauptdolomit
32	632636,1	297859,9	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	Schadensmeldung & Luftbild	Rutschung/Mure	Hauptdolomit

8.2.3 Ergebnisse der Kartierung

Ergänzend zu dem bereits erstellten vorläufigen Ereignisinventar wurde im nächsten Schritt die Kartierung der Ereignisse durchgeführt. An mehreren Tagen (siehe Tabelle 4) wurde hierbei das Untersuchungsgebiet befahren und begangen und an den bereits bekannten Standorten wurden die Ereignisse aufgenommen. Im Zuge der Geländearbeiten wurde das Inventar durch im Gelände erkennbare und anhand von Gesprächen mit Ortskundigen identifizierbare Ereignisse ergänzt. Hierbei wurde speziell darauf geachtet, dass es sich um Ereignisse, welche infolge der Starkniederschläge im Mai 2014 auftraten, handelte. Sowohl ältere als auch im Zeitraum nach Mai 2014 aufgetretene Ereignisse wurden nicht in das Inventar aufgenommen. Rutschungen, die zwar anhand der Luftbilder und der Begehung im Gelände identifizierbar waren, aber nicht eindeutig diesem Zeitraum zugewiesen werden konnten, wurden außer Acht gelassen, was zu einer leichten Reduktion des Inventars führte. Des Weiteren waren einige Ereignisse nicht für eine Kartierung zugänglich oder es waren im Gelände keine Spuren einer möglichen Rutschung mehr erkennbar, weshalb diese somit ebenfalls nicht vermessen und aufgenommen werden konnten. Diese Ereignisse sind zwar generell zum Ereignisinventar hinzuzuzählen, können aber aufgrund des Datenmangels nicht in der ausführlichen Ereignisdokumentation und der folgenden Validierung der Gefahrenhinweiskarte berücksichtigt werden. So wurden also insgesamt bereits neun Ereignisse vor der Geländebegehung aus dem vorläufigen Inventar entfernt. Bei diesen Ereignissen handelte es sich

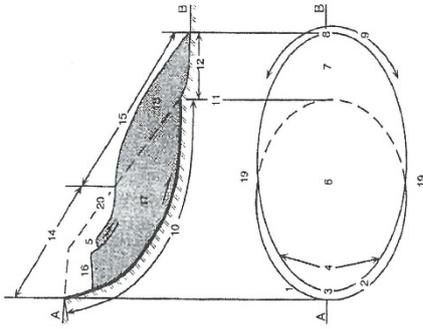
entweder um bereits bekannte alte Rutschungen oder solche, die in gesperrten Gebieten und somit unzugänglich für eine Kartierung waren. Im Gelände selbst wurden noch weitere neun Ereignisse identifiziert, die ebenfalls entweder aufgrund von Unzugänglichkeit des Geländes nicht kartierbar waren oder im Gelände nicht eindeutig identifiziert und somit nicht in die weiteren Kartierungen und Berechnungen integriert werden konnten.

Die Kartierung jedes Ereignisses beinhaltete, entsprechend der in Kapitel 7.2 erläuterten Methodik, die Messung, Skizzierung und Beschreibung jedes Ereignisses. Eine genaue Fotodokumentation vervollständigte diese Aufnahmen und ermöglichte eine genauere Beschreibung der einzelnen Rutschungen, Steinschläge oder Muren. Des Weiteren wurde zur besseren Interpretation und Darstellung der Dynamik derartiger Ereignisse, eine Auswahl an Rutschungen im Zuge der Geländearbeiten mehrmals besucht und eventuelle Veränderungen wurden aufgezeichnet. Anhand eines Beispiels im Gebiet Hollenstein werden in den folgenden Abbildungen ein ausgefülltes Kartierformular (Abbildungen 18 und 19) sowie die dazugehörige Geländeskizze (Abbildung 20) und Fotodokumentation (Abbildung 21) präsentiert.

Rutschungs-ID: 35

Aufnahmebogen Rutschungskartierung

Datum:	<u>21.6.2014</u>	Uhrzeit (von - bis):	<u>16.00h</u>
Gemeinde:	<u>Hollenstein / Ybbs</u>	KG:	
Adresse:	<u>Gallener Kogel - Forststr. Gallenzen</u>	Betroffenes Gebäude Nr.:	
Betroffenes Gebäude Nr.:	<u>Forststr.</u>	Seenhöhe (m):	<u>100</u>
Geogr. Koordinaten (Anriss - A):	L: <u>47,786585</u>	Exposition:	
Geogr. Koordinaten (Ablagerung - B):	B: <u>14,762583</u>	Hangneigung (°):	



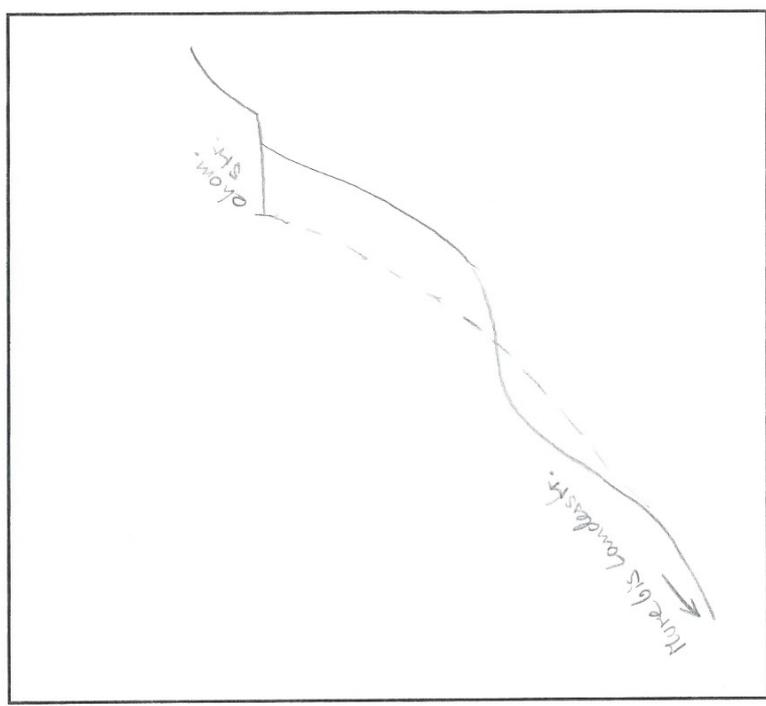
Rutschungstyp: Rutschung → Mure

Anrissbereich (A)	Breite	<u>22 m</u>
	Tiefe (zw. 1-3)	<u>10 m</u>
Sekundärer Anriss (5)	Breite	<u>/</u>
	Abstand (senkrecht zw. A-5)	<u>/</u>
Abbruchzone (17)	Breite (max)	<u>32 m</u>
	Länge (max)	<u>32 m</u>
	Tiefe	<u>5-8 m</u>
Akkumulationszone (18)	Breite (max)	<u>15</u>
	Breite (bei B)	<u>n.m.</u>
	Länge (max)	<u>20 m (bis Mure)</u>
	Höhe (max)	
	Höhe (bei B)	<u>4 m</u>
Teile der Scherfläche	Volumen (m³)	<u>13-15 m</u>
Rutschmasse gesamt	Materialart	<u>Schutt, Steine</u>
(Lehm, Ton, Schluff, Steine, Schutt)		<u>Felsblöcke bis 2m Kl</u>
		<u>sandig, lehmig,</u>
		<u>tonig</u>

Nebenanriss 1	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 2	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 3	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 4	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	
Nebenanriss 5	Lage (zu A)	
	Breite	
	Tiefe (zw. 1-3)	

Abbildung 18: Ausgefülltes Kartierformular, Seite 1 (Beispiel Rutschung-ID 35 in der Gemeinde Hollenstein an der Ybbs)

Rutschungs-ID: 35



Skizze - Hangprofil

Landnutzung	Wald
Geolog. Untergrund	oberostalp. Kalk & Tonsteine
Bodentyp (Anriss)	
Entfernung zu Straße	Anriss am Forststr., ~330m Landesstr.
Entfernung zu Gebäude	~340m (bei Landesstr.)

Oberflächengewässer

Art	Quellaustritt
Entfernung zu Rutschung	1-2m oberh. v. Anr. o.ogr. L
Art	Quellaustritt
Entfernung zu Rutschung	1-2m oberh. v. Anr. o.ogr. R
Art	
Entfernung zu Rutschung	
Erosionsspuren	

Bauarbeiten:

	(geplanter Zeitraum)
Marmorale abtransport	erb. teilw.
Wasserumleitung	Sumi - Aug. 2014
Sattlich d. Fehlbau	
Abflöschung/Sicherung/Bösung	Sumi - Aug. 2014

Kommentare:

Bei Ereignis Landesstr. gespart, Material größtenteils abtransportiert
 Schadensmeldung vorhanden

Abbildung 19: Ausgefülltes Kartierformular, Seite 2 (Beispiel Rutschung-ID 35 in der Gemeinde Hollenstein an der Ybbs)

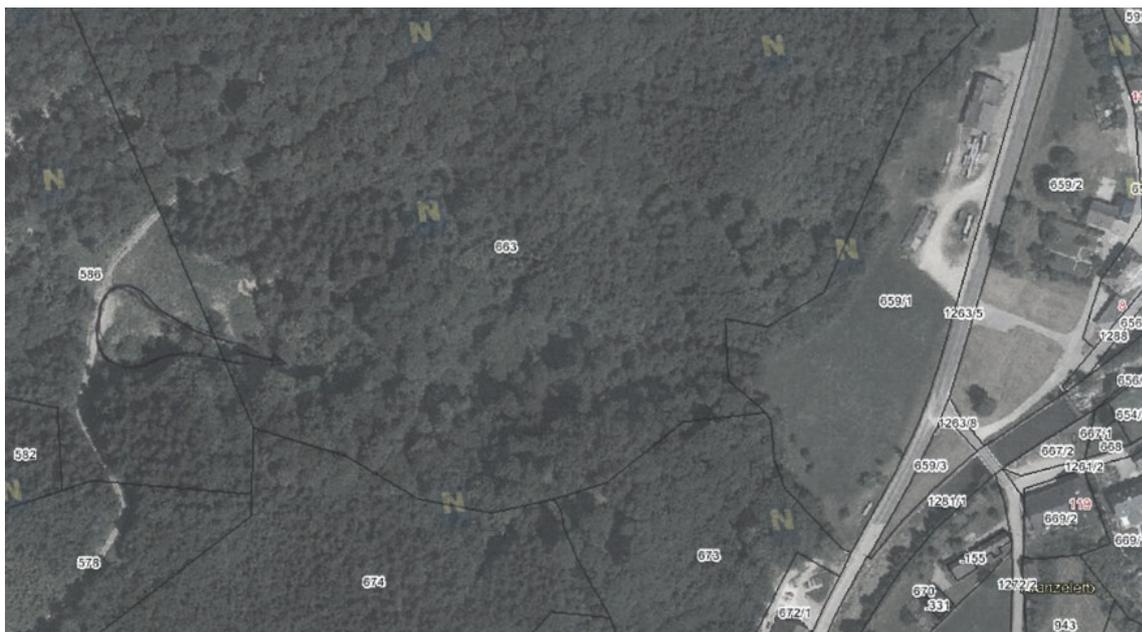


Abbildung 20: Geländeskizze der Rutschung-ID 35 in Hollenstein an der Ybbs (Kartiergrundlage: NÖ-Atlas [<http://atlas.noel.gv.at/>])

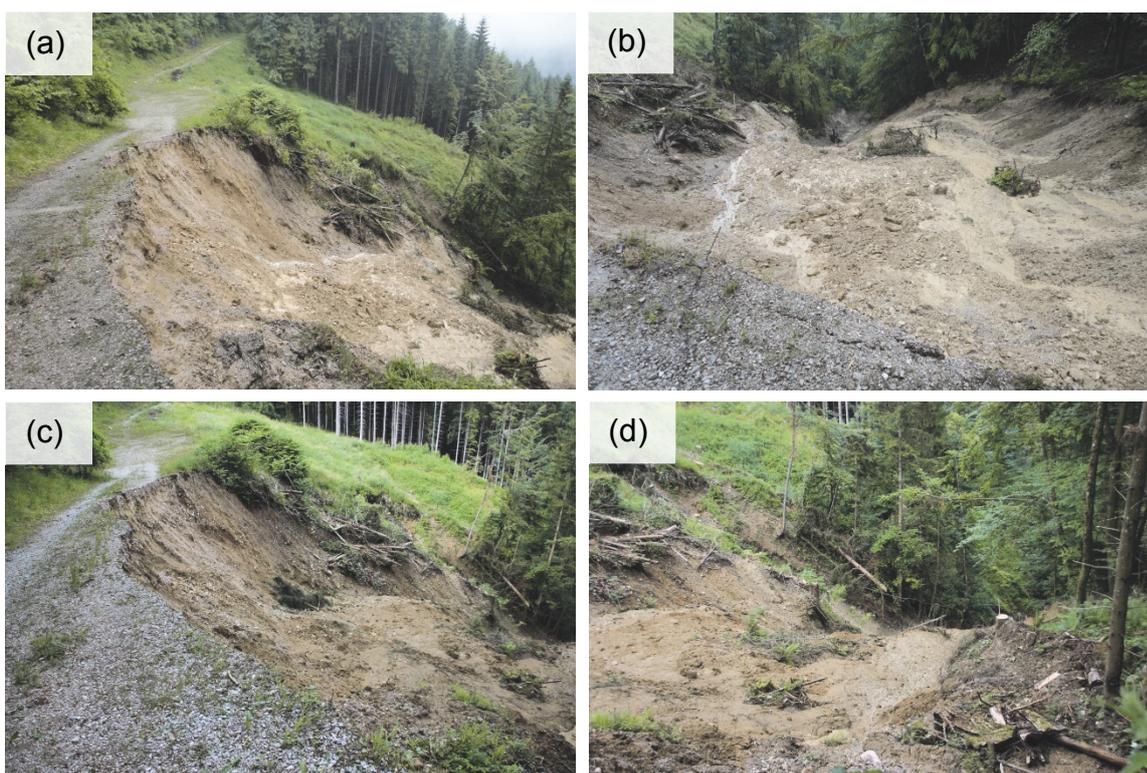


Abbildung 21: Fotodokumentation der Rutschung-ID 35 in Hollenstein an der Ybbs, Fotos erstellt bei der ersten Begehung am 28.05.2014 (a & b) sowie bei der Kartierung am 21.06.2014 (c & d) (Fotos: Gokesch 2014)

Zu den 56 bekannten Ereignissen aus Schadensmeldungen und Luftbildinformationen wurden insgesamt noch vier Ereignisse im Zuge der Kartierung hinzugefügt. Abzüglich jener, die bereits vor oder im Zuge der Kartierung entfernt wurden, enthielt das kartierte Ereignisinventar nun also insgesamt 42 Ereignisse, von denen eines zwar nicht im Gelände kartiert werden konnte, das verfügbare Luftbild aber ausreichend war, eine genaue Erfassung in GIS zu ermöglichen. Insgesamt konnten 28 Rutschungen, eine Mure (von der jedoch lediglich das Akkumulationsgebiet kartiert werden konnte), zwei Steinschläge und elf kombinierte Ereignisse verschiedener Massenbewegungen identifiziert werden. In weiterer Folge wurde nun die Erstellung und Zusammenfassung der Detailinformationen zu jedem aufgenommenen Ereignis durchgeführt, welche das finale Ereignisinventar des Mai 2014 bildete.

8.2.4 Erstellung des Ereignisinventares und erste Datenauswertung

Aus den im Zuge der Kartierung erfassten Ereignissen konnte nun das ausführliche Ereignisinventar erstellt werden, welches zu jeder kartierten Massenbewegung die entsprechenden im Aufnahmebogen auszufüllenden Informationen (siehe Kapitel 7.2.1 und 8.2.1) enthielt. Die Daten wurden in tabellarischer Form zu jedem Ereignis erfasst und konnten so übersichtlich dargestellt werden. Im Anhang C ist ein Ausschnitt dieses tabellarischen Ereignisinventars anhand einiger ausgewählter Beispiele dargestellt (gesamte Tabelle des Ereignisinventars siehe beiliegende CD-ROM). Aufgrund der zahlreichen Informationen, die im Zuge der Geländearbeiten erhoben wurden, stehen so detaillierte Maße und lagebezogene Daten für jedes Ereignis zur Verfügung.

Der Großteil der gravitativen Massenbewegungen wurde in den Bezirken Amstetten und St. Pölten-Land (jeweils 14) kartiert (Tabelle 6). Es waren hier vorwiegend Rutschungen (in Amstetten sieben und St. Pölten-Land elf) und kombinierte Ereignisse aus Rutschungen, die zum Auslösen von Muren führten (in Amstetten fünf und St. Pölten-Land drei), die aufgezeichnet werden konnten. Des Weiteren wurden in Amstetten noch eine Mure und ein Steinschlagereignis

detektiert. Im Bezirk Waidhofen an der Ybbs wurden insgesamt fünf Rutschungen und ein kombiniertes Ereignis und in Scheibbs zwei Rutschungen, zwei kombinierte Ereignisse sowie ein Steinschlag aufgenommen. Die geringste Zahl an kartierten Ereignissen zeigte Lilienfeld mit drei Rutschungen, die in diesem Bezirk aufgezeichnet werden konnten.

Tabelle 6: Lage der kartierten Ereignisse nach Bezirk und Ereignistyp

Prozesstyp	Bezirk					Σ
	Amstetten	Lilienfeld	Scheibbs	St. Pölten-Land	Waidhofen/Ybbs	
Rutschung	7	3	2	11	5	28
Mure	1	–	–	–	–	1
Steinschlag	1	–	1	–	–	2
kombinierte Ereignisse	5	–	2	3	1	11
Σ	14	3	5	14	6	42

- *Gemessene Dimensionen der Massenbewegungen*

Die Auswertung der im Ereignisinventar festgehaltenen Abmessungen der Prozesse (Tabelle 7) soll im Folgenden einen näheren Einblick in die unterschiedlichen Dimensionen der Ereignisse im Untersuchungsgebiet geben. Die Maße der kartierten Rutschungsprozesse zeigen Ereignisse mit Breiten von 4 m bis 59 m und Längen von 5 m bis 127 m. Die durchschnittliche Breite der Rutschungen beträgt hierbei 20 m, die durchschnittliche Länge 39 m. Die Gesamtflächen der kartierten Rutschungen bewegen sich zwischen einem Minimum von 31 m² und einem Maximum von 4.154 m² bei einer Durchschnittsfläche von 608 m². Diese mitunter relativ großen Spannweiten der Rutschungsausmaße deuten auf einen großen Unterschied der Prozessdimensionen im kartierten Bereich hin. Vor allem der Vergleich der durchschnittlichen Fläche der Rutschungen mit den Minimal- und Maximalwerten lässt eine hohe Variabilität der betroffenen Flächen und Prozessdimensionen vermuten. Als größtes Ereignis dieses Prozesstyps, sowohl hinsichtlich der maximalen Länge und Breite als auch der Gesamtfläche, kann hier die Rutschung-ID 22 im Bezirk Waidhofen an der Ybbs festgehalten werden.

Die Dimensionen der kombinierten Ereignisse entsprechen hier noch den Gesamtmessungen, also jenen Maßen vor Abgrenzung der Rutschungs- und Mureprozesse. Diese Ereignisse zeigen eine durchschnittliche Breite von 18 m bei einem Minimalwert von 9 m und einem Maximalwert von 39 m. Die Längen der kombinierten Ereignisse sind deutlich höher als jene der alleinigen Rutschungsprozesse, was dadurch erklärt werden kann, dass die Rutschungen hier Muren auslösten, die mitunter weite Strecken talabwärts zurücklegten. Somit können Gesamtlängen von 34 m bis 773 m, bei einer durchschnittlichen Länge von 263 m, verzeichnet werden. Die Gesamtflächen dieser kombinierten Ereignisse bewegen sich in einem Bereich von 463 m² bis 3.865 m², wobei der Durchschnittswert der Fläche 1.804 m² beträgt. Um die Maße dieser Prozesskombinationen jedoch entsprechend den beteiligten Massenbewegungen zuteilen zu können, wurde eine Trennung der Rutschungen und Muren durchgeführt und die korrigierten Maße gesondert ermittelt (Siehe Kapitel 8.2.6). Die beiden kartierten Steinschlagsbereiche zeigen Breiten zwischen 10 m und 12 m und Längen, welche in dem Fall den Höhen der Abbruchfläche entsprechen, zwischen 7 m und 8 m. Die eine kartierte Mure konnte in die Analyse der Prozessdimensionen nicht einbezogen werden, da eine gesamte Abmessung des Ereignisses im Gelände aufgrund unwegsamen Terrains nicht möglich war.

Tabelle 7: Dimensionen der Ereignisse nach Ereignistyp (inklusive entsprechender Ereignis-ID)

Prozesstyp	Dimensionen (in m bzw. m ²) [Rutschung-ID]								
	Breite (min.)	Breite (max.)	Breite (Ø)	Länge (min.)	Länge (max.)	Länge (Ø)	Fläche (min.)	Fläche (max.)	Fläche (Ø)
Rutschung	4 [4d]	59 [22]	20	5 [14a]	127 [22]	39	31 [21c]	4154 [22]	608
Steinschlag	10 [30]	12 [38]	11	7 [30]	10 [38]	8	–	–	–
kombinierte Ereignisse	9 [9c]	39 [43]	18	34 [28b]	773 [28a]	263	463 [28b]	3865 [5a]	1804

- *Exposition*

Die Rolle der Exposition als möglichen vorbereitenden Faktor des Auftretens gravitativer Massenbewegungen ist zwar mit einigen Unklarheiten behaftet (CAPITANI ET AL. 2013: 428), jedoch wird die Exposition in zahlreichen Studien zur

Modellierung dieser Naturgefahren als höchst relevant angesehen, da die Hangrichtung Hinweise auf Unterschiede der Bodenfeuchte und Vegetationsbedeckung liefern kann (VAN WESTEN ET AL. 2008: 120). Daher soll zur genaueren Beschreibung der kartierten Ereignisse die Verteilung deren Exposition kurz erläutert werden. Die Mehrheit der Ereignisse (29 %) zeigte eine Nord-Ost-Exposition, während die weiteren Himmelsrichtungen relativ gleichmäßig vertreten waren (Abbildung 22 und Tabelle 8). Speziell die kartierten Rutschungen und kombinierten Prozesse zeigten einen hohen Anteil der Ereignisse mit Nordost-Exposition. Die beiden Steinschläge sowie die eine Mure zeigten eine Südwest- bzw. Nordwest-Ausrichtung.

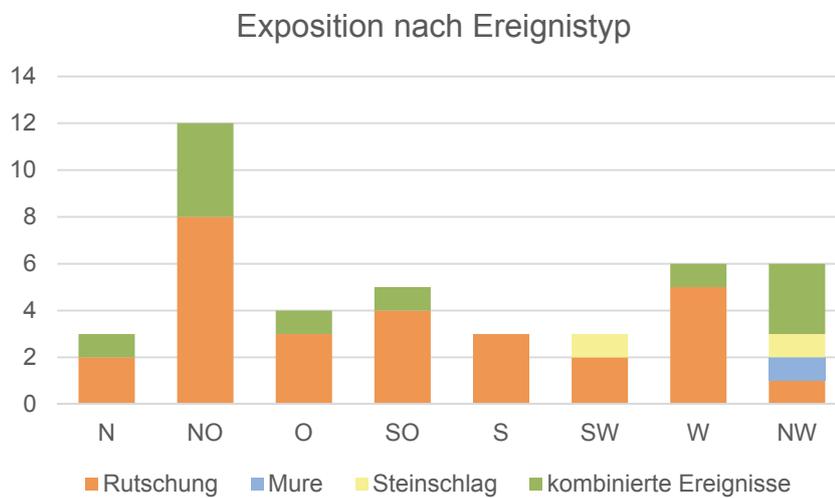


Abbildung 22: Exposition nach Ereignistypen

Tabelle 8: Verteilung der Exposition der einzelnen Prozesstypen

Prozesstyp	Exposition															
	N	%	NO	%	O	%	SO	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%
Rutschung	2	7	8	29	3	11	4	14	3	11	2	7	5	18	1	4
Mure	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	100
Steinschlag	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	50	–	–	1	50
kombinierte Ereignisse	1	9	4	36	1	9	1	9	–	–	–	–	1	9	3	27
Summe	3	7	12	29	4	10	5	12	3	7	3	7	6	14	6	14

- *Geologie*

Neben der Exposition gilt auch der geologische Untergrund als wichtiger naturräumlicher Faktor zur Modellierung gravitativer Massenbewegungen (VAN WESTEN ET AL. 2008: 120). Die kartierten Ereignisse liegen vorwiegend in der lithologischen Einheit der oberostalpinen Kalke und Mergel (15 Ereignisse) sowie in den oberostalpinen Dolomiten (zwölf Ereignisse). In der Flyschzone konnten acht Rutschungen kartiert werden. Einzelne Ereignisse wurden des Weiteren in den lithologischen Einheiten der Talalluvionen, der quartären Terrassensedimente sowie jener des Hangschutts bzw. der glazialen Ablagerungen aufgenommen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Verteilung der Ereignisse in den lithologischen Einheiten nach Prozesstyp und gesamt

Prozesstyp	Lithologie					
	Flyschzone	Oberostalpin, Kalke & Mergel	Oberostalpin, Dolomit	Talalluvionen	Hangschutt, glaziale Ablagerungen	quartäre Terrassensedimente
Rutschung	8	8	8	3	–	1
Mure	–	1	–	–	–	–
Steinschlag	–	–	1	1	–	–
Kombinierte Ereignisse	–	6	3	1	1	–
Summe	8	15	12	5	1	1

- *Landnutzung*

Als weiterer wichtiger Aspekt zur Beschreibung gravitativer Massenbewegungen soll im Folgenden die Verteilung der kartierten Ereignisse in unterschiedlichen Landnutzungskategorien erläutert werden. Im Zuge der Kartierung wurde eine eigene Bezeichnung der Landnutzungskategorien gewählt, welche zwar nicht den in Kapitel 5.2.2 erwähnten Klassen entspricht, jedoch eine etwas detailliertere Darstellung des Gebietes, in dem gravitative Massenbewegungen erfasst wurden, zulässt. So wurde hier die Klasse der landwirtschaftlichen Flächen in die Kategorien Viehweide und Acker unterteilt sowie eine eigene Kategorie von nicht

augenscheinlich landwirtschaftlich genutzten Wiesen hinzugefügt. Des Weiteren entspricht in der hier angewandten Klassifikation die Kategorie „Felswand bei Straße“ einem Teil jener Gebiete, die in der allgemeinen Klassifikation den „sonstigen Bereichen“ zuzuordnen sind. Diese Benennung wurde aus dem Grund gewählt, die Situation der beiden kartierten Steinschläge besser zu erfassen. Die Landnutzung der Grundstücke auf denen die Ereignisse auftraten (Abbildung 23 und Tabelle 10) war vorwiegend Wald oder Forst (19 Ereignisse, 45 %) mit weiteren hohen Anteilen in den Landnutzungskategorien Wiese (zehn Ereignisse, 24 %) oder Viehweide (neun Ereignisse, 21 %). Zwei Rutschungen traten in privaten Gärten auf, während sich die beiden kartierten Steinschläge an Felswänden nahe einer Bundesstraße und eines im Bau befindlichen Radweges ereigneten, welche durch die abstürzenden Felsen beschädigt wurden.

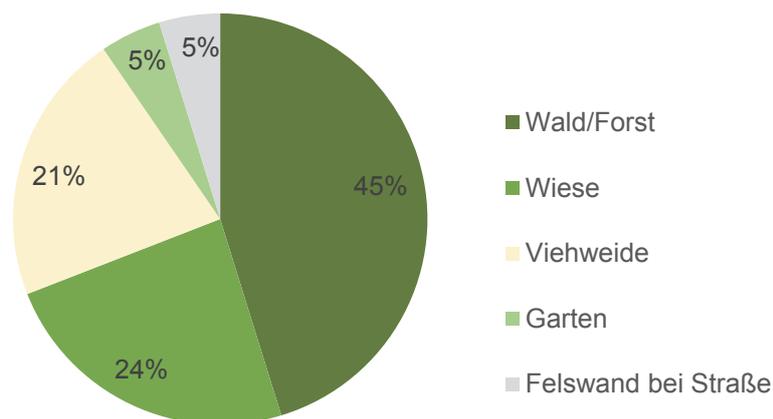


Abbildung 23: Anteile der kartierten Ereignisse in den Landnutzungskategorien

Tabelle 10: Verteilung der Ereignisse in den Landnutzungskategorien nach Prozesstyp und gesamt

Prozesstyp	Landnutzung				
	Wald/Forst	Wiese	Viehweide	Garten	Felswand bei Straße
Rutschung	10	9	7	2	–
Mure	1	–	–	–	–
Steinschlag	–	–	–	–	2
kombinierte Ereignisse	8	1	2	–	–
Summe	19	10	9	2	2

- *Anthropogener Einfluss*

Bei der Auswertung des möglichen anthropogenen Einflusses auf das Auslösen gravitativer Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet (Tabelle 11) wurden speziell die Anrissbereiche betrachtet, also wurden im Falle kombinierter Ereignisse aus Rutschungen, die Muren auslösten, im Folgenden lediglich die Rutschungen zur Analyse herangezogen. Die beiden kartierten Steinschläge sowie zwei weitere Ereignisse, bei denen das umliegende Gelände nicht begehbar war und auch keine zusätzlichen Informationen aus Gesprächen mit Anrainern oder den zuständigen Sachbearbeitern vorhanden waren, wurden aus dieser Auswertung herausgenommen.

Tabelle 11: Mögliche anthropogene Einflüsse auf das Auslösen der kartierten Rutschungen

	Forstweg / Straße	gerodeter Wald	Brunnen	Drainagenauslass / Ableitungsrinne	Hanganschnitt
Wald/Forst	13	1	1	1	1
Wiese	4	–	2	2	3
Viehweide	5	–	1	4	–
Garten	1	–	–	–	1
gesamt	23	1	4	7	5

Die Mehrheit (23 Ereignisse) der im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Hangrutschungen und speziell deren Anrisse lagen direkt an Forstwegen oder Straßen. Hiervon waren 13 Rutschungen im Waldgebiet zu finden, wo die betroffenen Forstwege den Wald durchschneiden. Weitere neun Rutschungen konnten auf Wiesen oder Viehweiden, die von Wirtschaftswegen durchquert werden, gefunden werden. Ein Anriss lag an einem Forstweg, der einen Garten hangaufwärts begrenzte, wobei die Rutschmasse von dem Weg aus in den Garten transportiert wurde.

Eine weitere erkennbare mögliche Beeinflussung waren Drainagenauslässe oder künstliche Abflussrinnen, die oberhalb oder in direkter Umgebung der Anrissbereiche identifiziert werden konnten. Insgesamt sieben Rutschungen zeigten derartige Eingriffe, wobei aus Gesprächen mit Anrainern die Vermutung

eines Einflusses auf die Hangstabilität ausgesprochen wurde, da sie von „sichtbaren Wasserstrahlen, die während des Starkreges wie ein Bach aus den Auslässen herausliefen“ berichteten. Zwei Ereignisse zeigten sowohl einen Anriss am Forstweg als auch Drainagenauslässe oder künstliche Ableitungsrinnen von Oberflächenwasser in direkter Umgebung des Anrisses. Eine Rutschung fand direkt in einem frisch gerodeten Waldstück statt, und in vier weiteren Fällen wurden Brunnen nahe der Anrissstelle detektiert.

Neben der möglichen anthropogenen Beeinflussung durch Veränderung des Abflussverhaltens des Wassers durch künstliche Drainagen etc. konnte bei fünf Rutschungen ein Anschneiden des Hanges, welches zu einer Übersteilung des Geländes führte, als möglicher beeinflussender Faktor erkannt werden. Die Hanganschnitte wurden hier in zwei Fällen zur Raumgewinnung für den Bau von Gebäuden, in einem Fall für die Errichtung einer Bundesstraße und in zwei Fällen im Zuge der Regulierung und Sanierung von Bächen durchgeführt.

- *Sanierungs- und Schutzmaßnahmen*

Zusätzlich zu den Dimensionen der Ereignisse sowie der Lage, Geologie und Landnutzung des Gebietes, in dem diese auftraten, wurden auch die geplanten und bereits durchgeführten Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen zur Stabilisierung der betroffenen Bereiche aufgezeichnet. Hierbei zeigte sich im Zuge der Kartierung, dass eine Vielzahl an Maßnahmen, gemäß den morphologischen und der Landnutzung entsprechenden Gegebenheiten am betreffenden Standort, möglich ist. Während zum Zeitpunkt der Kartierung bei sieben der insgesamt 42 kartierten Ereignisse keine Informationen zu geplanten Sanierungsmaßnahmen bekannt und auch im Gelände keine Spuren von Aufräumarbeiten sichtbar waren, konnten die direkt nach dem Ereignis geplanten Arbeiten in 19 Fällen bereits als komplett und in sechs Fällen als teilweise abgeschlossen vermerkt werden. In weiteren sechs Fällen war eine Sanierung und Stabilisierung für den Sommer 2014 geplant und in vier weiteren Fällen wurde im Zuge der Kartierung und der geführten Gespräche zwar ermittelt, dass durchaus Sanierungsmaßnahmen notwendig und auch geplant seien, es aber noch abzuwarten gelte wie sich die

Rutschung in weiterer Folge bei nochmaligem Niederschlag verhält, um die entsprechende Sanierungsmethode auswählen zu können.

Die geplanten und durchgeführten Tätigkeiten zu Sanierung, Stabilisierung und Schutz des Gebietes wurden nach der Erhebung der Maßnahmen zum besseren Vergleich der Daten in fünf Kategorien eingeteilt: (1) Sofortmaßnahmen, die direkt nach dem Ereignis zur Stabilisierung des Hanges durchgeführt wurden, (2) Maßnahmen zu Sanierung und Aufräumarbeiten im betroffenen Gebiet, (3) Maßnahmen zur Ableitung des Wassers zur weiteren Stabilisierung des Hanges, (4) Sicherungsmaßnahmen, die ein neuerliches Abrutschen verhindern sollen, und (5) Monitoringmaßnahmen zur Beobachtung eventueller weiterer Hangbewegungen. Die erhobenen durchgeführten und geplanten Bauarbeiten wurden entsprechend ihrem Zweck den jeweiligen Kategorien zugeordnet, wobei für ein Ereignis auch eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen geplant oder durchgeführt werden konnte (Tabelle 12). Der Abtransport des Materials im Zuge der Aufräumarbeiten spielte hier in den meisten Fällen eine zentrale Rolle. Auch der Wiederaufbau der Straßen und Forstwege war von großer Bedeutung. Bei den geplanten Baumaßnahmen können vor allem der Einbau von Drainagen und die Ableitung des Oberflächenwassers sowie verschiedene Sicherungsbauwerke (Rückankerung des Hanges, Einbau von Betonleitwänden oder Wurfsteinmauern) genannt werden. Bei drei Rutschungen wurden auch, um die Bewegung des Materials zur besseren Planung der Schutzmaßnahmen zu überprüfen, Messpflocke eingebaut, die in regelmäßigen Abständen hinsichtlich ihrer Ortsverlagerung kontrolliert werden müssen.

Als durchgeführte Sofortmaßnahmen zur Vermeidung weiteren Abrutschens der Hänge konnten, neben dem teilweise notwendigen sofortigen Abtransport des Materials, auch eine Rodung instabiler und somit abrutschgefährdeter Bäume sowie eine Abdeckung des Anrissbereichs mit Planen (z. B. in Hollenstein, Rutschung-ID 34, Abbildung 24) festgestellt werden.



Abbildung 24: Abdeckung des Anrissbereichs mit einer Plane am Beispiel der Rutschung-ID 34 in Hollenstein an der Ybbs (Foto: Gokesch 2014)

Tabelle 12: Durchgeführte und geplante Bauarbeiten, Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen der kartierten Ereignisse

	Maßnahme	geplant	durchgeführt
Sofortmaßnahmen	Abdeckung von Anriss mit Plane	–	2
	Rodung instabiler Bäume an Anriss	–	5
Sanierung & Aufräumarbeiten	Sanierung von Straße / Forstweg	5	7
	Sanierung Wasserdurchlass	–	5
	Materialabtransport	6	15
Wasserableitung	Drainage	10	4
	Ableitung Oberflächenwasser	6	2
Sicherungsmaßnahmen	Aufforstung	2	–
	Zuschüttung von Anriss	2	2
	Sicherung mit Wurfsteinmauer	1	2
	Sicherung mit Betonleitwand	4	–
	Vernetzung des Hanges mit Gewebematten	4	–
	Rückankern des Hanges	4	–
	Terrassierung der Rutschung	1	–
	Rückhaltebecken, Geschieberückhalt	–	1
Monitoring	Einbau von Messpflöcken	–	3

8.2.5 Digitalisierungsergebnis

Um die im Ereignisinventar erfassten Massenbewegungen darzustellen, wurden alle Ereignisse digital erfasst und verortet. Über das gesamte Untersuchungsgebiet waren somit Polygone und Anrisspunkte jedes Ereignisses verfügbar. Die verschiedenen Ereignistypen wurden hierbei farblich unterschiedlich dargestellt um eine rasche Identifikation des jeweiligen Ereignistyps zu gewährleisten. Das Ergebnis dieser Digitalisierung war eine Karte aller Rutschungen, Muren Steinschläge und kombinierten Ereignisse aus Rutschungen und durch diese ausgelösten Muren, welche im Mai 2014 im Untersuchungsgebiet auftraten und im Zuge der Kartierung erfasst wurden (siehe Detailausschnitt Abbildung 25, gesamte Karte des digitalisierten Ereignisinventars – Mai 2014 siehe Anhang D bzw. auf beiliegender CD-ROM).



Abbildung 25: Detailausschnitt des Digitalisierungsergebnisses (Bereich Hollenstein an der Ybbs)

8.2.6 Ergebnis der Abgrenzung kombinierter Ereignisse

Wie bereits in Kapitel 8.2.3 erwähnt, wurden im Zuge der Kartierung elf Ereignisse erfasst, welche eine Kombination einer Rutschung als Auslöser und einer Mure zeigten. Diese kombinierten Ereignisse wurden im nächsten Schritt getrennt um beide Prozesse gesondert darzustellen und in weiterer Folge für die Berechnungen der Validierung lediglich die Rutschungen einbeziehen zu können. Die Trennung dieser Ereignisse erfolgte, entsprechend der in Kapitel 7.2.6 erläuterten Methodik, im Gelände sowie anhand erkennbarer Abflusswege. Somit konnten für alle elf kombinierten Ereignisse die Rutschungen von den Muren getrennt dargestellt werden (Beispiel siehe Abbildung 26). Die Grenze zwischen Rutschungsende und Beginn der Mure der kombinierten Ereignisse konnte mittels Schummerungsdarstellung Anhand des Eintritts des Materials in ein Gerinne klar identifiziert werden. Auch anhand des Luftbildes konnte der Punkt der Veränderung des Prozesses erkannt werden, welcher auch im Gelände kontrolliert wurde.

Die Abgrenzung der Muren und Rutschungen der kombinierten Ereignisse konnte nun in die Analyse der Dimensionen der einzelnen Ereignisse einbezogen werden. Hierbei wurden wiederum lediglich die Rutschungen genauer betrachtet, da diese in weiterer Folge für die Validierung der Gefahrenhinweiskarte der Rutschprozesse herangezogen wurden. Die Gesamtzahl der Rutschungen im Untersuchungsgebiet erhöhte sich somit nach dieser Trennung um elf auf insgesamt 39 Ereignisse, wobei der Großteil davon im Bezirk Amstetten hinzugefügt wurde. Die Maximal- und Minimal- sowie auch die Durchschnittswerte der Längen und Breiten der Rutschungen zeigten durch die Erhöhung der Rutschungszahlen keine Veränderung. Auch die Minima und Maxima der Rutschungsflächen blieben unverändert, jedoch konnte eine Erhöhung der durchschnittlichen Fläche von 608 m² auf 668 m² ermittelt werden.

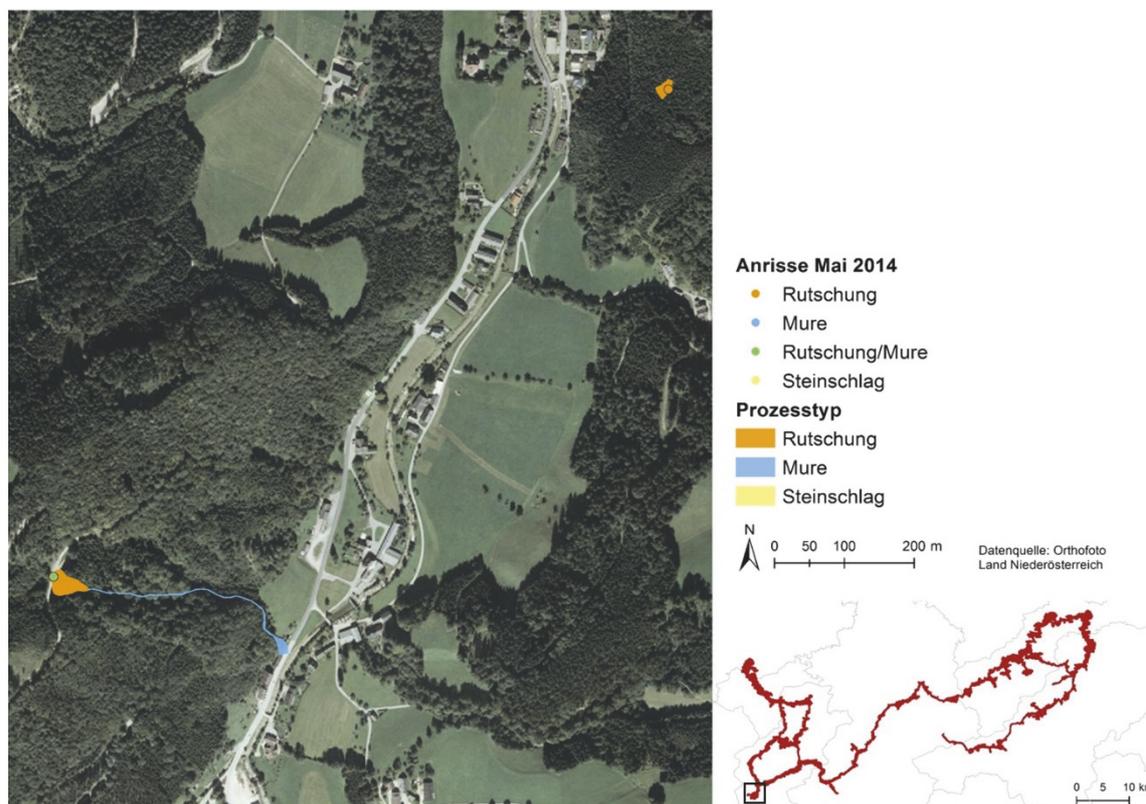


Abbildung 26: Detailausschnitt der Trennung von Muren und Rutschungen (Bereich Hollenstein an der Ybbs)

Bei genauerer Betrachtung der Veränderungen der Rutschungszahlen in den jeweiligen Kategorien der Landnutzung, Lithologie und Exposition (Tabelle 13), kann festgestellt werden, dass durch diese Bearbeitung besonders in der Kategorie Wald/Forst ein Anstieg der Ereignisse um acht Rutschungen entstanden ist. Bezüglich Lithologie wurden vorwiegend der Einheit der oberostalpinen Kalke und Mergel Rutschungen hinzugefügt (sechs Ereignisse) sowie auch der oberostalpinen Dolomite (drei Ereignisse). Die Verteilung der Exposition veränderte sich nicht maßgeblich, jedoch konnten noch vier weitere Ereignisse der Hangrichtung Nordost zugewiesen werden.

Tabelle 13: Veränderung der Verteilung der Rutschungen in den Bezirken sowie nach Landnutzung, Lithologie und Exposition nach Trennung der kombinierten Ereignisse

Merkmal		Rutschungen (vor Trennung)	Rutschungen (nach Trennung)	Differenz
Bezirke	Amstetten	7	12	5
	Lilienfeld	3	3	0
	Scheibbs	2	4	2
	St. Pölten-Land	11	14	3
	Waidhofen an der Ybbs	5	6	1
Landnutzung	Wald/Forst	10	18	8
	Wiese	9	10	1
	Viehweide	7	9	2
	Garten	2	2	0
Lithologie	Flyschzone	8	8	0
	Oberostalpin, Kalke & Mergel	8	14	6
	Oberostalpin, Dolomit	8	11	3
	Talalluvionen	3	4	1
	Hangschutt, glaz. Ablagerung	0	1	1
	Quart. Terrassensedimente	1	1	0
Exposition	N	2	3	1
	NO	8	12	4
	O	3	4	1
	SO	4	5	1
	S	3	3	0
	SW	2	2	0
	W	5	6	1
	NW	1	4	3

8.2.7 Finales Rutschungsinventar zur Validierung der Gefahrenhinweiskarte

Das Rutschungsinventar musste, wie bereits in Kapitel 7.2.7 erwähnt, um für die Validierung der Gefahrenhinweiskarte herangezogen werden zu können, noch weiter aufbereitet werden. Da eine Mindestgröße der Rutschungen von 100 m² als Voraussetzung galt, mussten alle jene Ereignisse, die dieses Kriterium nicht erfüllten, aus dem Inventar entfernt werden. Somit wurde das finale Rutschungsinventar zur Validierung der Gefahrenhinweiskarte auf 35 Ereignisse reduziert, die in weiterer Folge als Testdatensatz für die Berechnungen verwendet werden konnten. Bei diesen Rutschungen handelte es sich durchwegs um Ereignisse, deren Auslösen eventuell durch anthropogene Eingriffe (siehe Kapitel 8.4.2) beeinflusst wurde. Die durchschnittliche Breite dieser Rutschungen lag bei 21 m und die durchschnittliche Länge bei 42 m, bei einer mittleren Fläche

von 720 m². Die Abbildung 27 zeigt einen Detailausschnitt dieses finalen Rutschungsinventars im Gebiet nahe Hollenstein an der Ybbs, die komplette Karte ist dem Anhang E oder der beiliegenden CD-Rom zu entnehmen.

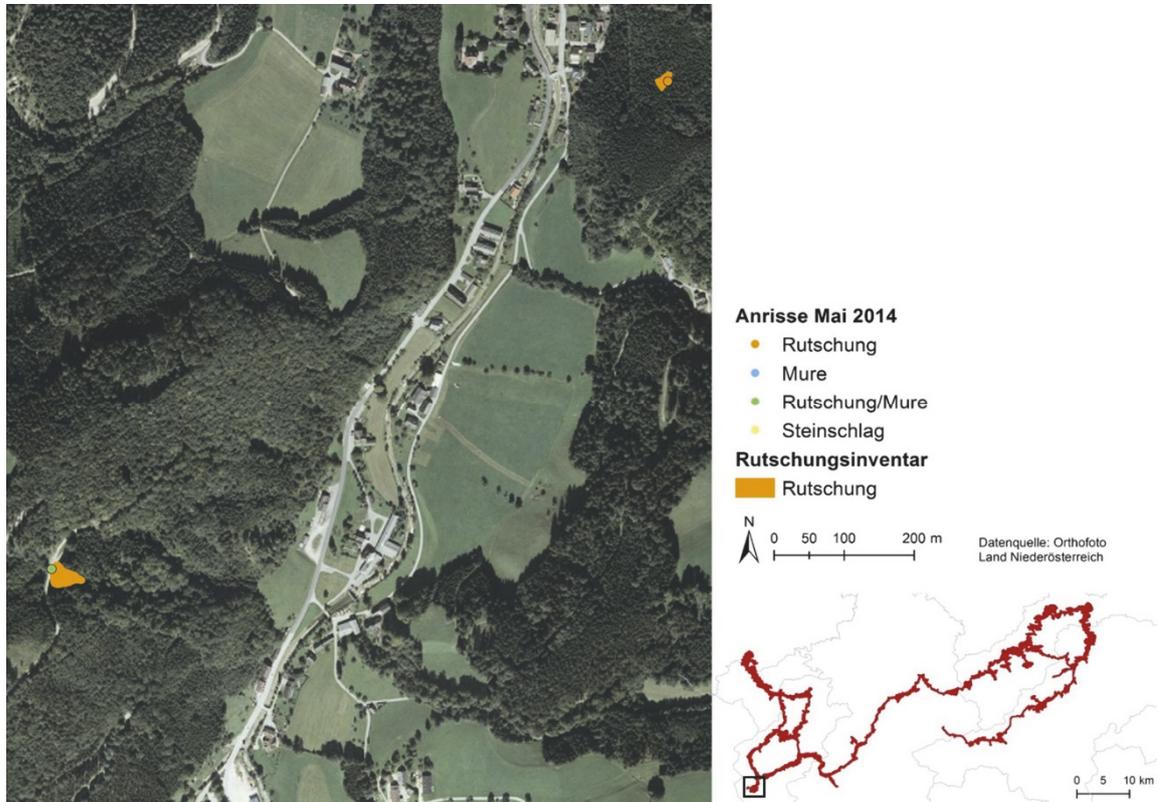


Abbildung 27: Detailausschnitt des finalen Rutschungsinventars (Bereich Hollenstein an der Ybbs)

8.3 Ergebnisse der Validierung

Um die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, welche im Zuge des MoNOE-Projekts erstellt wurde (siehe Kapitel 2.3), hinsichtlich der Vorhersagegüte zu überprüfen, wurde entsprechend der in Kapitel 7.3 erläuterten Methodik eine Validierung mittels Berechnung der Vorhersagerate durchgeführt. Als Testvariablen dienten, wie bereits erwähnt, die 35 ausgewählten kartierten Rutschungen des Mai 2014. Zur Validierung wurden sowohl die Rutschungsanrisse als auch die Rutschungspolygone der Kartierung zur Berechnung der Vorhersagerate mittels „prediction rate curve“ herangezogen. Für einen besseren Vergleich wurde auch eine Berechnung der Erfolgsrate mittels „success rate curve“ unter Einbeziehung der Rutschungsanrisse, die im MoNOE-Projekt zur Berechnung der Gefahrenhinweiskarte verwendet wurden,

durchgeführt. Wie bereits in Kapitel 3.3 erwähnt, kann unter Umständen erwartet werden, dass die „success rate curve“ mitunter bessere Ergebnisse liefert als die „prediction rate curve“, da sie einen Testdatensatz heranzieht, der bereits bei der Modellierung integriert wurde, und von einer „Korrektheit“ des Modells ausgeht, während der Testdatensatz zur Berechnung der „prediction rate curve“ unabhängig von der Modellierung generiert wurde. Um die im Zuge der Validierung generierten Kurven besser zu vergleichen, wurde auch eine Berechnung der Fläche unter den Kurven (AUC) durchgeführt, die Wertebereiche zwischen 0,5 (reines Zufallsmodell) und 1 (perfektes Validierungsergebnis) zeigen kann (siehe auch Kapitel 3.3).

In einem ersten Schritt wurde die gesamte, in drei Stufen klassifizierte Gefahrenhinweiskarte validiert. Hierbei wurde jeweils eine Berechnung der „prediction rate curve“ mit den Rutschungsanrissen des Mai 2014 und mit den Rutschungspolygonen des Mai 2014 sowie der „success rate curve“ mit den Rutschungsanrissen des MoNOE-Projekts im Untersuchungsgebiet angestellt. Die Ergebnisse dieser Validierung (Abbildung 28) zeigen für jede der drei Validierungsberechnungen eine dreistufige Kurve entsprechend den drei Klassen der Gefahrenhinweiskarte. Die Kurven der Validierung mittels Rutschungsanrissen des Mai 2014 sowie jener des MoNOE-Projekts zeigen den jeweiligen Anteil der kartierten Anrisse in den drei Gefährdungsklassen. Entsprechend dazu zeigt die Kurve der Validierung mittels Rutschungspolygonen des Mai 2014 den Anteil der Rutschungspixel, also jener Rasterzellen, die von einer Rutschung betroffen sind, in den jeweiligen Gefährdungsklassen. Die „success rate curve“, die mittels MoNOE-Rutschungsanrissen berechnet wurde, liegt, wie in Abbildung 28 ersichtlich, oberhalb der beiden „prediction rate curves“ der Rutschungsanrisse und Rutschungspolygone des Mai 2014 und zeigt somit einen höheren Anteil der Rutschungen in der höchsten Gefährdungsklasse. Die Berechnung der AUC-Werte der drei Kurven zeigt für die „success rate curve“ der mittels MoNOE-Rutschungsanrissen berechneten Kurve einen Wert von 0,97. Die beiden anderen Kurven zeigen Werte von 0,9 (Anrisse des Mai 2014) bzw. 0,89 (Rutschungsflächen des Mai 2014). Alle drei Flächenwerte können, da sie nahe

dem „perfekten“ Validierungsergebnis von 1 liegen, als sehr gut angesehen werden.

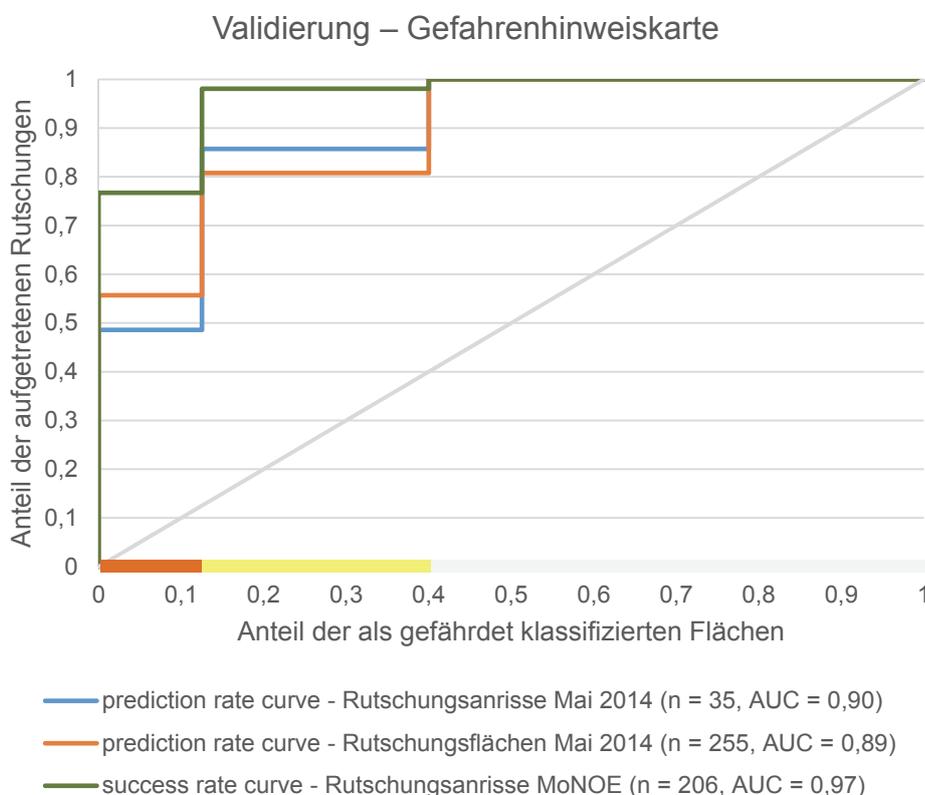


Abbildung 28: Ergebnisse der Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse. Die Balken an der x-Achse entsprechen den drei Klassen der Gefahrenhinweiskarte (Orange – genaue Erkundung unverzichtbar, Gelb – Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung, Weiß – nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung)

Zusätzlich zu der Validierung der Gefahrenhinweiskarte wurde auch eine Validierung nach lithologischen Einheiten durchgeführt. Die drei Einheiten, die hier genauer betrachtet wurden, waren die Flyschzone, die Zone der oberostalpinen Kalke und Mergel sowie die Zone der oberostalpinen Dolomite, da in diesen die größte Anzahl an Rutschungen im Rahmen der Inventarerstellung der Ereignisse des Mai 2014 kartiert wurde (siehe Kapitel 8.2.4). Durch diese separate Betrachtung war eine Validierung des Modellierungsergebnisses, welches im Rahmen des MoNOE-Projekts zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte generiert wurde, möglich. Dieses Modellierungsergebnis war also das Resultat der

berechneten Gefährdung vor der Klassifikation in die drei Gefährdungsklassen der Gefahrenhinweiskarte.

Das Validierungsergebnis für die Flyschzone (Abbildung 29) zeigt, dass die „prediction rate curve“, welche mittels der kartierten Anrisse des Mai 2014 generiert wurde, einen sehr ähnlichen Verlauf zur Kurve der Erfolgsrate, die mittels der MoNOE-Anrisse berechnet wurde, aufweist. Allgemein zeigen alle drei Validierungsergebnisse den höchsten Anteil an Rutschungen bzw. Rutschungsflächen in den Bereichen hoher Gefährdung, welcher sich mit abnehmendem Anteil der Gefährdungswerte der Flächen stetig verringert. Die Fläche unter der „success rate curve“ der Validierung mittels MoNOE-Daten zeigt einen Wert von 0,83 und die beiden Flächen der „prediction rate curves“ sowohl für die Validierung mittels der Anrisse als auch mittels Rutschungsflächen des Mai 2014 weisen einen Wert von 0,82 auf.

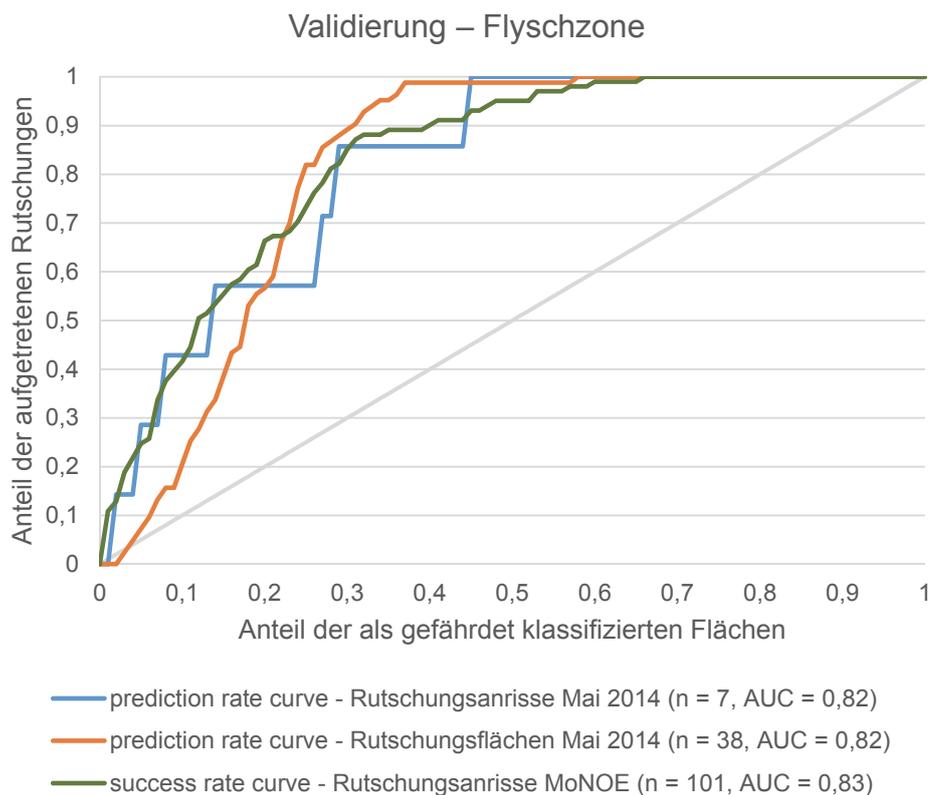


Abbildung 29: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Flyschzone: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.

Die Validierung des Gefährdungsmodells der oberostalpinen Kalke und Mergel, welches ebenfalls als Grundlage für die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte diente, zeigt ein etwas anderes Ergebnis (Abbildung 30). Hier kann ein klarer Unterschied des Verlaufs der „prediction rate curve“ mittels Rutschungsanrissen und Rutschungsflächen des Mai 2014 zu der „success rate curve“ mittels MoNOE-Rutschungsanrissen festgestellt werden. Die Kurve der Erfolgsrate (MoNOE-Rutschungsanrisse) zeigt eine deutlich höhere Anzahl an Rutschungen in den höchsten Gefährdungsbereichen, als jene der Vorhersagerate (Rutschungen des Mai 2014). Die Berechnung der Flächen unter den drei Kurven zeigt für die „success rate curve“ (erstellt mittels Testdatensatz aus MoNOE-Rutschungsanrissen) mit einem Wert von 0,86 im Vergleich zu den Werten der „prediction rate curve“ der Validierung mittels Anrissen des Mai 2014 (0,76) und Rutschungsflächen des Mai 2014 (0,74) einen wesentlich höheren Wert.

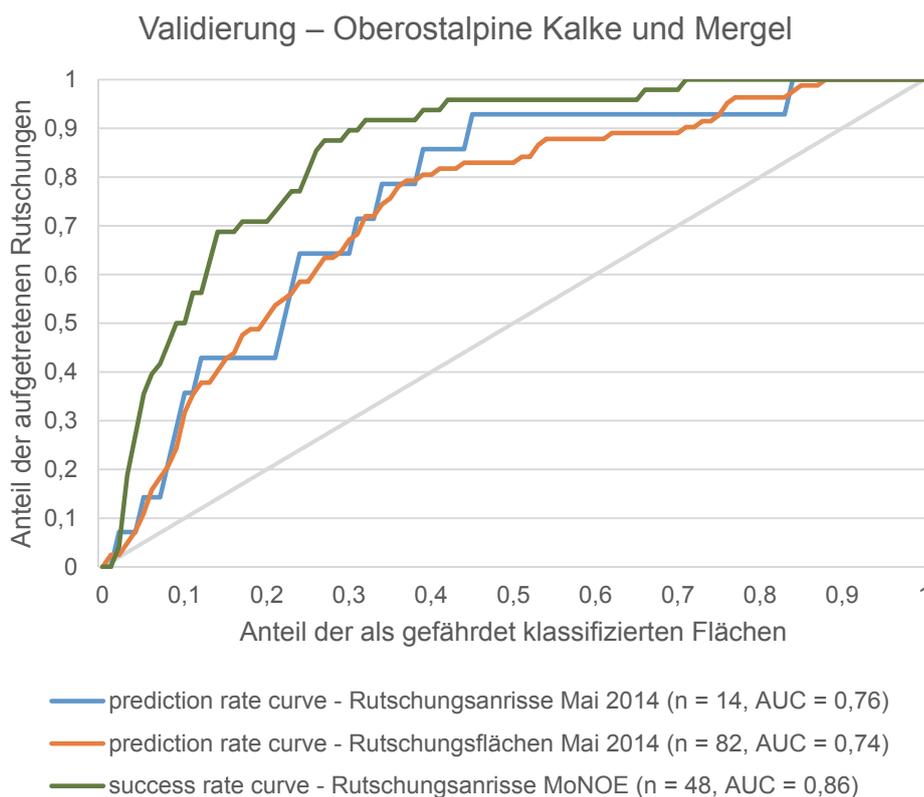


Abbildung 30: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Zone der oberostalpinen Kalke und Mergel: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.

Die dritte lithologische Einheit, die im Zuge dieser Analyse genauer betrachtet wurde, war jene der oberostalpinen Dolomite. Die Ergebnisse dieser Validierung (Abbildung 31) zeigen sowohl hinsichtlich der Erfolgsrate, die mittels Testdatensatz aus den MoNOE-Rutschungsanrissen erstellt wurde, als auch der Vorhersagerate mittels Testdatensatz aus den Rutschungen des Mai 2014 eine deutlich unterschiedliche Modellgüte im Vergleich zu den vorherigen Validierungsergebnissen. Die „success rate curve“ der MoNOE-Anrisse deutet hier auf eine niedrigere Erfolgsrate der Modellierung hin, da der Anteil der Rutschungen in der höchsten Gefährdungsklasse geringer ist als bei den anderen beiden lithologischen Einheiten. Auch die Validierungsergebnisse, die mittels Testdatensatz der kartierten Rutschungen des Mai 2014 generiert wurden, zeigten hier einen deutlich geringeren Anteil an Rutschungen in der hohen Gefährdungsklasse. Auch bei der Berechnung der Flächen unter den jeweiligen Kurven werden diese Unterschiede der Modellgüte deutlich. Während die Fläche unter der „success rate curve“ der MoNOE-Anrisse einen Wert von 0,79 zeigt, so liegen die Werte für die „prediction rate curves“ der Rutschungen des Mai mit 0,61 bei der Validierung mittels Rutschungsanrissen und 0,45 bei jener mittels Rutschungsflächen doch deutlich darunter. Letzterer Flächenwert liegt mit $< 0,5$ sogar im Bereich eines schlechten Validierungsergebnisses entsprechend einer zufälligen Vorhersage.

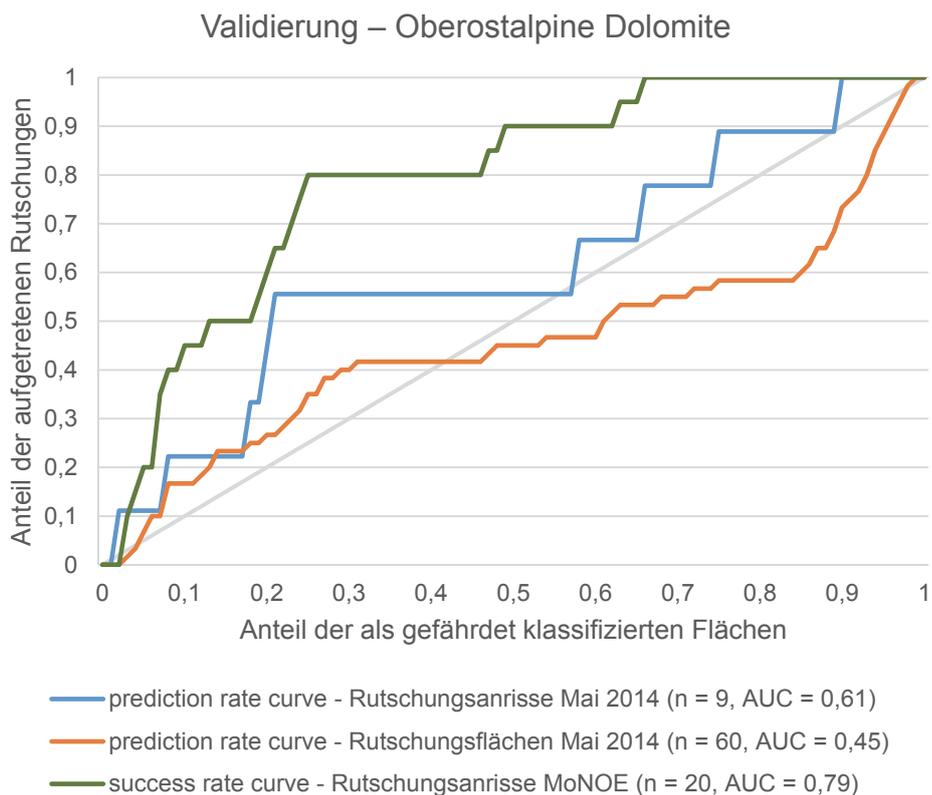


Abbildung 31: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Zone der oberostalpinen Dolomite: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.

9 Diskussion

Im folgenden Teil dieser Arbeit werden die in Kapitel 8 präsentierten Ergebnisse der unterschiedlichen Analyseschritte kritisch diskutiert und interpretiert. Eine Darstellung der Herausforderungen der durchgeführten Untersuchungen dient hierbei der genaueren Erläuterung möglicher Schwierigkeiten bei der Anwendung derartiger Methoden. Zum einen werden hier also die aufgetretenen Fragen und möglichen Diskussionspunkte der Abgrenzung des Untersuchungsgebiets und der Kartierung besprochen. Zum anderen werden die Anforderungen einer Validierung von Gefährdungsanalysen mittels Berechnung der Vorhersage- und Erfolgsrate diskutiert und die innerhalb dieser Arbeit gewählte Herangehensweise an diese erläutert.

9.1 Diskussion der Kartierung

Die Eingrenzung des Untersuchungsgebiets wurde in dieser Arbeit mittels Analyse der Sichtbarkeit, ausgehend von der Route der Kartierung durchgeführt. Dies führt dazu, dass keine naturräumlichen oder administrativen Grenzen, wie Flusseinzugsgebiete oder Bezirksgrenzen, berücksichtigt wurden, sondern der Weg der Kartierung ausschlaggebend für das finale Untersuchungsgebiet war. Die getroffenen Annahmen bezüglich der Sichtbarkeit, welche die Gesamtausdehnung des Untersuchungsgebiets festlegte, basierten auf der Größe der zu kartierenden Ereignisse von rund 100 m². Als alternative Methode, die Sichtbarkeit in die Gebietsabgrenzung einzubeziehen, kann eine Sichtbarkeitsanalyse in GIS durchgeführt werden. Diese Methode setzt jedoch ein Vorhandensein von Punktdaten, von denen aus die Sichtbarkeit berechnet wird voraus. Des Weiteren kann von diesen Punkten aus lediglich ein gewisser Bereich in eine Richtung definiert werden. Da hier jedoch eine Sichtbarkeit in einem Umkreis von 360° von jeder Stelle der Kartierungsrouten aus ermittelt werden musste, konnte diese Methode nicht angewendet werden. Darüber hinaus würde eine automatische Sichtbarkeitsanalyse die Waldbedeckung nicht miteinbeziehen. Dies würde zu einer Überschätzung innerhalb der Waldgebiete und somit einer Verfälschung des Ergebnisses führen. Die Vollständigkeit der Kartierung könnte somit nicht

gewährleistet werden. Daher war es nötig die angewandte Methode der Untersuchungsabgrenzung zu entwickeln, um dem Kriterium der Vollständigkeit gerecht zu werden.

Die Erstellung des Ereignisinventars wurde mittels Geländekartierung durchgeführt. Diese Methode wurde gewählt, da direkt nach dem Niederschlagsereignis keine aktuellen Geländedaten verfügbar waren. Eine Kartierung mittels Fernerkundungsmethoden wäre, falls diese ALS-Daten verfügbar sind, eine sinnvolle Alternative. Die Durchführung der Kartierung basierte zum Teil auf Informationen aus Schadensmeldungen. Ein wichtiger Aspekt, welcher bei der Verarbeitung und Interpretation derartiger Ereignisdaten beachtet werden muss, ist die nicht vollständige Erfassung eines Gebietes. Ereignisinventare, die auf Basis von Schadensmeldungen erstellt werden, enthalten mitunter nicht alle tatsächlich aufgetretenen Ereignisse in einem Gebiet, da es eventuell weitere Ereignisse gibt, die nicht gemeldet wurden. Dies könnte zwar durch Ergänzung des Inventars mittels Fernerkundungsdaten vermieden werden, jedoch stehen oftmals, wie bereits erwähnt, direkt nach einem Starkniederschlagsereignis, von dem mehrere Rutschungen, Muren etc. ausgelöst wurden, keine aktuellen Luftbilder und Geländedaten zur Verfügung, welche für eine entsprechende Inventarisierung herangezogen werden könnten. Für eine vollständige Geländekartierung eines größeren Gebietes müsste eine systematische Begehung durchgeführt werden, um alle Ereignisse aufzunehmen. Diesem Problem der Vollständigkeit der Kartierung wurde zwar mittels der Anpassung des Untersuchungsgebiets entgegengewirkt, jedoch sollten für eine umfassende Kartierung der Massenbewegungen nach einem Starkniederschlag auch nicht gemeldete Ereignisse möglichst vollständig erfasst werden.

Eine weitere Herausforderung der Kartierung war, dass viele der Rutschungen und Muren bereits kurz nach deren Auftreten bearbeitet und Sanierungsmaßnahmen gesetzt wurden. Oftmals wurde bereits schon wenige Tage nach Eintreten des Ereignisses mit Wiederaufbauarbeiten begonnen und so waren die ursprünglichen Dimensionen bereits nicht mehr klar erkennbar. Die Kartierung gravitativer Massenbewegungen ist also umso schwerer und unpräziser, je weiter das Ereignis

zurückliegt. Allgemein kann hier also von einem mitunter desto höheren Informationsverlust bei der Kartierung derartiger Ereignisse gesprochen werden, je größer der Zeitraum zwischen Ereignisaufreten und dessen Kartierung ist. Jedoch konnten durch die Betrachtung der Verbauungen und Sofortmaßnahmen auch wichtige ereignisspezifische Informationen zu dem Umgang mit gravitativen Naturgefahren gesammelt werden.

In Bezug auf die digitale Aufbereitung des Ereignisinventars muss erwähnt werden, dass vor allem für die Abgrenzung der kombinierten Prozesse aus Rutschungen, die Muren auslösten, zahlreiche zusätzliche Prozessinformationen notwendig sind um diese eindeutig durchführen zu können. Informationen wie der Wasseranteil des Materials, welcher oft als Identifikationskriterium dieser Prozesse benutzt wird (HÜBL ET AL. 2009), sind oft nur direkt nach dem Ereignis ermittelbar. Daher mussten Kriterien wie der Eintritt in ein Gerinnebett zur Differenzierung der Prozesse herangezogen werden.

Des Weiteren musste bei der Erstellung des finalen Ereignisinventars die Vollständigkeit der Informationen überprüft werden. Eventuell fehlende Daten, die mittels GIS ergänzt werden konnten, wurden hinzugefügt. Etwaige verbleibende fehlende Informationen, welche nicht eindeutig und korrekt ergänzt werden konnten, mussten unbeachtet bleiben, da es sonst zu einer zu starken Verfälschung des Inventares hätte kommen können.

9.2 Evaluierung der Ermittlung des anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsaufreten

Neben der Kartierung selbst dienten zahlreiche Gespräche mit Anrainern, wie bereits erwähnt, zur Ermittlung des genaueren Prozesshergangs und des möglichen anthropogenen Einflusses auf das Auslösen der Ereignisse. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Subjektivität der mittels Gesprächen mit der betroffenen Bevölkerung gewonnenen Informationen. Da es sich hier um die den Schäden ausgesetzten Personen handelt, kann es oftmals zu einer Überschätzung und negativeren Darstellung der Situation kommen, und

eventuelle „Nachbarschaftsstreitigkeiten“ können die Aussagen deutlich beeinflussen. Diese qualitativen Informationen müssen daher bei der Interpretation stets mit Vorsicht behandelt und, wenn möglich, durch Geländebegehungen verifiziert werden. Eine Überprüfung der im Zuge dieser Gespräche erwähnten Einflussfaktoren, wie z. B. das Vorhandensein von Drainagen oberhalb des Anrisses einer Rutschung, im Gelände war daher unumgänglich. Diese Kontrolle ermöglichte zwar die Verifizierung der vermuteten menschlichen Strukturen, die zu einer Verringerung der Hangstabilität beitragen können, jedoch kann ein direkter Zusammenhang der Rutschungen mit diesen anthropogenen Einflüssen nicht unbedingt daraus abgeleitet werden. Es ist zwar anzunehmen, dass ein Drainageauslass oder ein Hanganschnitt das Rutschungsaufreten begünstigen können (RUDOLF-MIKLAU ET AL. 2012: 58), jedoch müssten genauere und kontinuierliche Messungen an betroffenen oder gefährdeten Hängen durchgeführt werden, um den Einfluss auf die Hangstabilität und das Rutschungsaufreten nachzuweisen. Im Zuge dieser Analyse wurde also lediglich eine Vermutung anthropogener Beeinflussung auf das Auftreten von Rutschungen angestellt und aus einem Häufigkeitsverhältnis des Auftretens der Massenbewegungen bei vorheriger anthropogener Bearbeitung des Geländes eine Beeinflussung deduziert. Neben diesem im Gelände ermittelten Zusammenhang zwischen anthropogenen Strukturen und dem Rutschungsaufreten konnten im Gelände auch an einigen Standorten alte Rutschungen in unmittelbarer Nähe zu jenen des Mai 2014 erkannt werden, die bei dem Niederschlagsereignis nicht reaktiviert wurden (Abbildung 32). Die Nähe zueinander lässt eine Ähnlichkeit der vorbereitenden Faktoren des Gebietes vermuten, und auch die Niederschlagsmenge wurde hier innerhalb eines Hanges als ähnlich angenommen. Neue niederschlagsbedingte Rutschungen treten in vielen Fällen durch Reaktivierung existierender Rutschungskörper auf (FLORIS & BOZZANO 2008: 40), was die Annahme des anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsaufreten im Falle der Ereignisse des Mai 2014 untermauert. Jedoch wären, um diese Zusammenhänge zu beweisen, weitere Studien unter Einbezug menschlicher Bearbeitung eines Gebietes nötig.

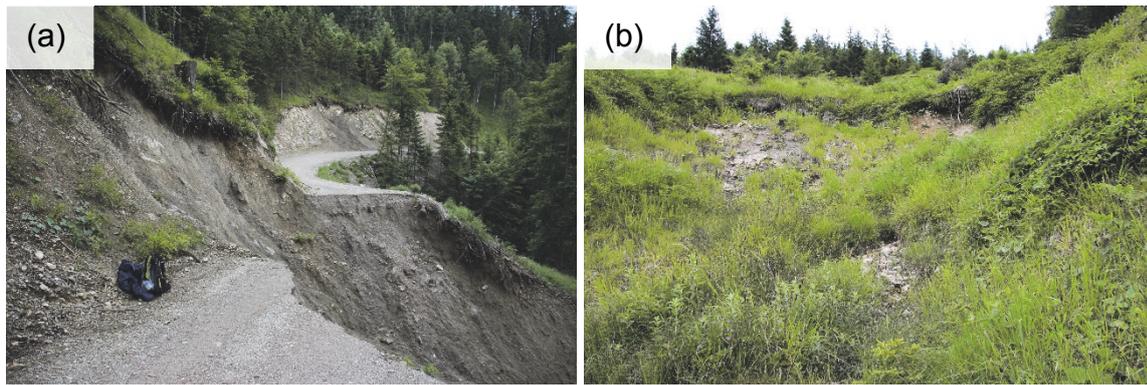


Abbildung 32: Rutschung ID-28 (a) und in ca. 100 m Entfernung gelegene alte Rutschung (b) im Gebiet Hollenstein an der Ybbs (Fotos: Gokesch 2014)

9.3 Diskussion der Validierung

Die Berechnung der Erfolgsrate und der Vorhersagerate diente im Zuge dieser Arbeit der Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, die im Rahmen des MoNOE-Projekts erstellt wurde. Die Validierung wurde mittels unabhängigen Testdatensatzes der kartierten Rutschungen durchgeführt um die „prediction rate curve“ zu ermitteln. Der Vergleich dieser Kurve mit der „success rate curve“ der Rutschungsanrisse, die zur Berechnung der Gefahrenhinweiskarte verwendet wurden, zeigt jedoch auch einige Herausforderungen derartiger Analysen. Bei der Gegenüberstellung dieser beiden Kurven muss beachtet werden, dass die „success rate curve“ stets bessere Validierungsergebnisse liefert als die „prediction rate curve“ (CHUNG & FABBRI 2003: 468). Daher können sowohl die Form der Kurven als auch die Werte der Flächen unter den Kurven (AUC-Werte) nicht direkt verglichen werden, sondern lediglich einen Eindruck über die allgemeine Güte des Modells geben.

In der vorliegenden Analyse zeigt der Vergleich dieser beiden Gütemaße bezogen auf die Rutschungsanrisse des Mai 2014 und jene des MoNOE-Datensatzes ein als zufriedenstellend zu bewertendes Ergebnis in Bezug auf die Validität sowohl der Gefahrenhinweiskarte gesamt als auch der Modelle der lithologischen Einheiten der Flyschzone und der oberostalpinen Kalke und Mergel. Im Zuge dieser Berechnungen konnte also ermittelt werden, dass der Großteil der Rutschungen innerhalb der hoch gefährdeten Bereiche zu finden ist. Bei

genauerer Betrachtung der Validierung mittels Rutschungsflächen des Mai 2014 zeigt sich hier eine leichte Abweichung des Validierungsergebnisses zu jenen mittels Anrisspunkten.

Besonders in der Flyschzone kann eine leichte Versetzung der „prediction rate curve“ mittels Rutschungsflächen des Mai 2014 in Richtung geringerer Gefährdung erkannt werden. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass bei Betrachtung der Gesamtflächen der Rutschungen, also auch der Akkumulationsbereiche, die Ausläufer der Prozesse bis in die als weniger gefährdet eingestuft Gebiete reichen und so den Anteil der Rutschungszellen in diesen Bereichen erhöhen. Da die Gefährdungsmodellierung zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte lediglich mit Anrisspunkten durchgeführt wurde, kann es hier zu einer Unterrepräsentation der Gesamtflächen, die von Rutschungen betroffen sein können, kommen. Es wurden also im Zuge der Gefährdungsmodellierung lediglich die Anrissbereiche, nicht aber die Akkumulationsbereiche berücksichtigt. Dies ist besonders bei der Interpretation der Gefahrenhinweiskarte und bei zukünftigen Planungen von Bauvorhaben oder anderen raumplanerischen Fragen zu berücksichtigen.

Bei der Validierung der lithologischen Einheit der oberostalpinen Kalke und Mergel zeigte die Kurve der Erfolgsrate (MoNOE-Rutschungsanrisse) ein deutlich besseres Validierungsergebnis als jene der Vorhersagerate (Rutschungen des Mai 2014). Dies kann einerseits zwar bedeuten, dass die Vorhersagegüte des Modells in dieser lithologischen Einheit schlechter ist als jene der Flyschzone, andererseits jedoch kann der Unterschied der Validierungsergebnisse auch durch die methodischen Hintergründe der Erstellung der „success rate curve“ und der „prediction rate curve“ (siehe oben, oder Kapitel 3.3) und der damit einhergehenden Erwartung besserer Ergebnisse der Erfolgsrate begründet sein. Da alle drei Kurven hier jedoch auch einen relativ hohen Anteil an Rutschungen und Rutschungsflächen in den höchsten Gefährdungskategorien zeigen, kann letztere Erklärungsvariante in diesem Fall als wahrscheinlicher angesehen werden. Es kann also auch nach der Validierung des Gefährdungsmodelles der lithologischen Einheit der oberostalpinen Kalke und Mergel eine

zufriedenstellende Erfassung der kartierten Rutschungen des Mai 2014 festgestellt werden.

Die Validierung des Gefährdungsmodells der oberostalpinen Dolomite lässt, im Gegensatz zu den anderen Validierungsergebnissen, die Vermutung eines Zufallsmodells zu. Die beiden „prediction rate curves“ mittels Rutschungsanrissen und Rutschungsflächen des Mai 2014 zeigen AUC-Werte von 0,61 (Anrisse) und 0,45 (Flächen), welche einer beinahe zufälligen Verteilung entsprechen. Letzterer Wert liegt sogar unterhalb der Zufallsgrenze von 0,5. Hier muss jedoch auch der AUC-Wert der „success rate curve“, welche mittels MoNOE-Anrissen berechnet wurde, betrachtet werden. Dieser liegt mit 0,79 ebenfalls weit unter jenem der anderen Validierungskurven und deutet somit auch auf ein mögliches Zufallsmodell hin. Gründe für diese Abweichung können einerseits in der Modellierung selbst liegen, oder andererseits durch die geringe Fallzahl der Berechnungen erklärt werden. Der Einfluss der Fallzahl auf die Modellgüte wurde bereits bei der ersten Validierung der Modellierung zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte im Zuge des MoNOE-Projekts vermutet (PETSCHKO ET AL. 2014a: 113). Jedoch kann der Unterschied der Validierungsergebnisse auch eine geringere Vorhersagegüte des Modells für die Einheit der oberostalpinen Dolomite bedeuten. Eine neuerliche Validierung mit einer höheren Zahl an Rutschungen in den unabhängigen Testdatensätzen und/oder einer Betrachtung eines größeren Untersuchungsgebiets könnte hier Klarheit bringen. Da jedoch im Rahmen der vorliegenden Analyse keine weiteren Rutschungen bekannt waren, können an dieser Stelle lediglich Vermutungen zur Begründung dieses nicht zufriedenstellenden Validierungsergebnisses angestellt werden.

Als abschließender Diskussionspunkt der Validierung muss an dieser Stelle noch der Aspekt des anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsauftreten im Untersuchungsgebiet und dessen Rolle bei der Validierung der Gefahrenhinweiskarte angesprochen werden. Da im Zuge der Erstellung des Ereignisinventars ermittelt wurde, dass es sich bei allen kartierten Rutschungen um Prozesse handelt, deren Auftreten möglicherweise anthropogen beeinflusst wurde, kann hier nicht mehr von natürlichen Rutschungen gesprochen werden.

Unter natürlichen Rutschungen sind hierbei jene zu verstehen, deren Auftreten lediglich durch natürliche Faktoren, wie z. B. Hangneigung, Waldbedeckung, Wasserleitfähigkeit des Untergrundes etc., beeinflusst ist. Diese Einflussfaktoren entsprechen auch jenen, die in der Gefährdungsmodellierung im Zuge des MoNOE-Projekts berücksichtigt wurden (siehe Kapitel 2.3.1). Bei der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte wurden also anthropogene Einflüsse nicht in die erklärenden Variablen integriert, als Datensätze der abhängigen Variablen wurden jedoch alle sichtbaren Rutschungen integriert, unabhängig von möglichen nicht natürlichen Einflüssen auf deren Auslösen. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Validierung wurde somit anhand eines Modells, das lediglich natürliche Einflussfaktoren von Rutschungsaufreten bei den erklärenden Variablen berücksichtigt, und eines unabhängigen Testdatensatzes, der die kartierten Rutschungen mit anthropogenen Einflüssen des Auftretens enthält, durchgeführt.

9.4 Diskussion der Hypothesen

In Anbetracht der in Kapitel 8 präsentierten Ergebnisse und der in den obigen Ausführungen diskutierten Einschränkungen werden abschließend die anfangs formulierten Arbeitshypothesen besprochen und deren resultierende Bearbeitung erläutert.

Arbeitshypothese I

Sowohl die Anrisse als auch die gesamten Flächen der kartierten Rutschungen des Mai 2014 liegen in den als hoch gefährdet eingestuftten Bereichen der Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen im Untersuchungsgebiet. Eine Validierung mittels Rutschungen des Mai 2014 würde also eine zufriedenstellende Modellgüte der Gefährdungsmodellierung zeigen.

Die Validierung zeigte, dass sowohl bei der Gefahrenhinweiskarte als auch bei den Modellergebnissen der lithologischen Einheiten der Flyschzone und der oberostalpinen Kalke und Mergel der Großteil der kartierten Rutschungen des Mai 2014 in den hoch gefährdeten Bereichen liegt. Zwar zeigen sich leichte

Abweichungen bei getrennter Betrachtung der Anrisse und der Gesamtflächen der Rutschungen des Mai 2014, jedoch kann allgemein bei diesen drei Validierungen von einem zufriedenstellenden Ergebnis im Sinne einer hohen Modellgüte gesprochen werden. Hingegen ergab die Validierung der lithologischen Einheit der oberostalpinen Dolomite keine zufriedenstellende Modellgüte. Daher kann die erste Arbeitshypothese nur teilweise bestätigt werden.

Arbeitshypothese II

Der anthropogene Einfluss auf das Rutschungsaufreten kann eindeutig mittels Geländebegehung identifiziert werden. Es kann also ein ausdrücklicher Zusammenhang zwischen menschlichen Eingriffen in das Gelände und dem Auftreten von Rutschungen im Feld festgestellt werden.

Die Kartierung und ausführliche Dokumentation der Ereignisse im Zuge dieser Arbeit erlaubte zwar eine Einschätzung des anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsaufreten, jedoch konnten keine eindeutigen Beweise für diesen Zusammenhang geliefert werden. Die Informationen, die mittels Geländebegehung generiert werden können, sind nicht ausreichend, um einen zweifelsfreien Zusammenhang anthropogener Bearbeitung der Landoberfläche mit dem Auftreten von Rutschungsereignissen festzustellen. Die zweite Arbeitshypothese muss also verworfen werden, da für eine Bestätigung eines eindeutigen anthropogenen Einflusses auf das Auslösen von Rutschungen weitere Untersuchungen notwendig wären.

Arbeitshypothese III

Zur ganzheitlichen Erfassung der Gefährdung durch Rutschungen in einem Gebiet müssen sowohl natürliche als auch anthropogene Einflussfaktoren des Rutschungsaufretens bei der Gefährdungsmodellierung berücksichtigt werden.

Die Validierung der Gefahrenhinweiskarte wurde hier mittels der kartierten Rutschungen, deren Auslösen wahrscheinlich anthropogen beeinflusst ist, durchgeführt. Da hier im Vergleich zur Validierung mittels Anrissen, die im

MoNOE-Projekt ermittelt wurden, ein nur sehr geringer Unterschied der Modellgüte festzustellen ist, kann diese Hypothese im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls verworfen werden. Die Validierungsergebnisse zeigen, dass eine Modellierung mittels natürlicher Einflussfaktoren als ausreichend zur ganzheitlichen Erfassung der Rutschungsgefährdung in einem Gebiet zu bezeichnen ist. Lediglich die abweichenden Validierungsergebnisse der lithologischen Einheit der oberostalpinen Dolomite lassen anderes vermuten. Jedoch muss auch das bereits angesprochene ebenfalls schlechte Validierungsergebnis mittels MoNOE-Rutschungen in dieser lithologischen Einheit beachtet werden, weshalb ein Vergleich mit den anderen Validierungsergebnissen, entsprechend der Bearbeitung der dritten Arbeitshypothese, hier nicht zulässig ist.

10 Perspektiven und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigte, dass die Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen des Landes Niederösterreich das nach deren Erstellung stattgefundenere Ereignis im Mai 2014 vorwiegend zufriedenstellend erfasst. Die Validierung mittels Berechnung der Vorhersagerate und Erfolgsrate kann als geeignete Methode der Untersuchung dieser Thematik bezeichnet werden. Die in Ergänzung dazu durchgeführte Kartierung ermöglichte eine Erstellung eines ausführlichen Ereignisinventars, das die notwendigen Daten zur Abschätzung des anthropogenen Einflusses beinhaltet.

Die Untersuchung menschlicher Beeinflussung des Rutschungsaufretens ist jedoch ein hochkomplexes Thema, welches in zukünftigen Analysen einer detaillierteren Betrachtung bedarf. Die genaue Ermittlung der Folgen menschlichen Handelns auf das Auftreten von Naturgefahren erfordert nicht nur eine umfassende Analyse der damit einhergehenden Veränderung des Landschaftsbildes, sondern auch eine Berücksichtigung sozialer, administrativer und persönlicher Hintergründe. Die Fähigkeit der Anpassung und die Bereitschaft der Menschen, auf potenziell gefährliche Situationen zu reagieren, sind hierbei wichtige Aspekte, um einen nachhaltigen Umgang mit Naturgefahren zu ermöglichen. Für ausführlichere Studien dieser Thematik sollten also auch gesellschaftliche und kulturelle Hintergründe des Umgangs mit Gefahrensituationen betrachtet werden. Als Beispiele können hierbei die Beeinflussung der Kooperationsbereitschaft aufgrund gegensätzlicher Ansprüche konkurrierender Grundstücksbesitzer, die Bereitschaft der Bevölkerung, kooperative (Präventions-)Maßnahmen umzusetzen, oder eventuelle bereits verfolgte Anpassungs- und Präventionsstrategien in einer Region genannt werden.

Um die prozessbezogenen Mechanismen hinter der anthropogenen Beeinflussung durch Geländeänderung und dem Auftreten von Rutschungen ausreichend zu ergründen, müssen des Weiteren die genauen Vorgänge des Auslösens von Massenbewegungen an sich betrachtet werden. Dies beinhaltet

sowohl Aspekte der vorbereitenden Faktoren des Rutschungsaufretens, wie z. B. Hangexposition und -höhe, Landnutzungs- und Vegetationsänderungen, Schneeschmelze oder lang anhaltende Regenfälle, als auch der auslösenden Faktoren, wie z. B. Erdbeben, Niederschlag oder Hanganschnitte (DIKAU & GLADE 2002: 39). Aber auch bewegungskontrollierende Faktoren wie die Hangneigung und -wölbung, die Niederschlagsmenge und Intensität oder künstliche Verbauungen (DIKAU & GLADE 2002: 39) müssen bei einer genaueren Betrachtung der Prozessmechanismen untersucht werden. Es sollten also für eine ausführliche Analyse anthropogener Beeinflussung des Rutschungsaufretens sowohl natürliche als auch menschliche Aspekte einbezogen werden, um dieses komplexe Forschungsfeld näher zu ergründen. Eine Betrachtung anthropogenen Einflusses auf das Rutschungsaufreten könnte mittels Bearbeitung weiterer Forschungsfragen ergründet werden, wie zum Beispiel:

- Welche Aspekte anthropogenen Eingriffs in die Landoberfläche zeigen in welchem Ausmaß einen Einfluss auf das Auftreten von Rutschungen?
- Wie können dynamische Prozesse menschlicher Beeinflussung auf das Rutschungsaufreten, wie z. B. Landnutzungswandel, in statistische Modellierungen miteinbezogen werden?

Weiterführende Analysen könnten in diesem Forschungsfeld also mehr Klarheit über die Zusammenhänge von Rutschungsaufreten und anthropogener Beeinflussung der Landoberfläche bieten.

Hinsichtlich möglicher zukünftiger Herausforderungen der Methode der Validierung von Gefahrenhinweiskarten muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass eine Validierung anhand von nach der Gefährdungsmodellierung eingetretenen Ereignissen in der Praxis selten durchgeführt wird. Da bei der Gefährdungsmodellierung zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte normalerweise keine Informationen zukünftiger Ereignisse vorliegen, können derartige Analysen nur eine gewisse Zeit nach Fertigstellung der Gefahrenhinweiskarte, also nach Auftreten neuer Ereignisse, durchgeführt werden. Weitere Analysen in diesem Bereich müssten sich daher einerseits mit

der Verfügbarkeit aktueller Ereignisinventare mit genauen Informationen des zeitlichen Auftretens der Massenbewegungen auseinandersetzen. Andererseits müsste die Validierung nicht mittels bereits klassifizierter Daten, wie hier im Falle der Gefahrenhinweiskarte, erfolgen, sondern anhand kontinuierlich skaliertes Werte durchgeführt werden, um detailliertere Validierungsergebnisse zu erhalten. Eine Berechnung mittels klassifizierter Werte zeigt lediglich die Anteile der Rutschungen in den jeweiligen Klassen, während eine Berechnung anhand kontinuierlich skaliertes Werte eine wesentlich ausführlichere Interpretation der Veränderungen der Anteile der Rutschungen in Bereichen hoher bis hin zu Bereichen niedriger Gefährdung zulässt.

Zusammenfassend konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eine Möglichkeit der quantitativen Evaluierung vorhandener Gefahrenhinweiskarten anhand aktueller Ereignisse vorgestellt werden. Jedoch kann auch angemerkt werden, dass die Validierung der Gefahrenhinweiskarte entsprechend der im Zuge dieser Arbeit angewendeten Methodik noch einige Herausforderungen für zukünftige Analysen offen lässt. Die hier präsentierten Inhalte können nicht nur einen Ausgangspunkt für weitere ähnliche Analysen bilden, sondern auch wertvolle Informationen für potenzielle Anwender der Gefahrenhinweiskarte Niederösterreichs liefern. Besonders in Fragen der Raumplanung oder der Ausweisung von Prioritätsgebieten im Kontext von Katastrophenvorsorge und -management sind zusätzliche Informationen der Güte der Vorhersage der Gefahrenhinweiskarte von großem Nutzen. Ein umfangreiches Katastrophen- und Naturgefahrenmanagement kann nur zu den erhofften Erfolgen und zu einer Reduktion des Risikos in einer Region führen, wenn die Abschätzung der Gefährdung auch den tatsächlichen Gegebenheiten im betroffenen Gebiet entspricht.

Literaturverzeichnis¹

- BMLFUW (2014a): Hochwasser im Mai 2014 in Österreich – die hydrologischen Fakten. Abteilung IV/4 – Wasserhaushalt
[<http://www.bmlfuw.gv.at/wasser>]
- BMLFUW (2014b): Der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV 5, Wildbach- und Lawinenverbauung.
- Bobrowsky P. T. (Hrsg.) (2013): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer-Verlag, Dordrecht.
- Bokwa A. (2013): Natural Hazard. – In: Bobrowsky P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer-Verlag, Dordrecht: 711-718.
- Brenning A. (2005): Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. Natural Hazards and Earth System Sciences 5: 853-862.
- Capitani M., Ribolini A. & Bini M. (2013): The slope aspect: A predisposing factor for landsliding? Comptes Rendus Geoscience 345: 427-438.
- Chung C. F. & Fabbri A. G. (2003): Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. Natural Hazards 30: 451-472.
- Crozier M. J. (2010): Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. Geomorphology 124: 260-267.

¹ Ich habe mich bemüht, sämtliche in dieser Arbeit verwendete Literatur korrekt zu zitieren und die Inhaber der Bildrechte, sofern diese nicht bei mir liegen, ausfindig zu machen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

- Cruden D. M. (1993): Multilingual Landslide Glossary. BiTech Publishers, Richmond., British Columbia, for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory in 1993.
- Cruden D. M. (1991): A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 43: 27-28.
- Cruden D. M. & Varnes D. J. (1996): Landslide types and processes. TRB Special Report. National Academy Press, Washington: 36-75.
- Dikau R. & Glade T. (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. Geographische Rundschau 54 (1): 38-45.
- Dikau R., Brunsten D., Schrott L. & Ibsen M.-L. (Hrsg.) (1996): Landslide Recognition – Identification, Movement and Causes. John Wiley & Sons, Chichester.
- Dix A. & Röhrs M. (2007): Vergangenheit versus Gegenwart? : Anmerkungen zu Potentialen, Risiken und Nebenwirkungen einer Kombination historischer und aktueller Ansätze der Naturgefahrenforschung. Historical Social Research 32 (3): 215-234.
- Fabbri A. G., Chung C. F. Napolitano P., Remondo J. & Zêzere J. L. (2002): Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula. – In: Brebbia C. A. (Hrsg.): Risk Analysis III. WIT Press, Southampton: 703-718.
- Felgentreff C. & Glade T. (Hrsg.) (2008): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Spektrum Akademischer Verlag – Springer, Berlin, Heidelberg.
- Floris M. & Bozzano F. (2008): Evaluation of landslide reactivation: A modified rainfall threshold model based on historical records of rainfall and landslides. Geomorphology 94: 40-57.

- Formetta G., Rago V., Capparelli G., Rigon R., Muto F. & Versace P. (2014):
Integrated Physically based system for modeling landslide susceptibility.
Procedia Earth and Planetary Science 9: 74-82.
- Frattini P., Crosta G., Carrara A. & Agliardi F. (2008): Assessment of rockfall
susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches.
Geomorphology 94: 419-437.
- Fuchs S., Keiler M. & Zischg A. (2008): Multitemporale skalenabhängige
Schadenspotenzialanalyse. Wildbach- und Lawinenverbau, Beiträge zu
verschiedenen Themenbereichen, Heft 158: 146-156.
- Glade T. (2003): Landslide occurrence as a response to land use change: a
review of evidence from New Zealand. Catena 51: 297-314.
- Glade T. & Stötter J. (2008): Gravitative Massenbewegungen und
Schneelawinen. – In: Felgentreff C. & Glade T. (Hrsg.): Naturrisiken und
Sozialkatastrophen. Spektrum Akademischer Verlag – Springer, Berlin,
Heidelberg:151-163.
- Glade, T., Bell R., Dobesberger P., Embleton-Hamann C., Fromm R., Fuchs S.,
Hagen K., Hübl J., Lieb G., Otto J. C., Perzl F., Peticzka R., Prager C.,
Samimi C., Sass O., Schöner W., Schröter D., Schrott L., Zangerl C. &
Zeidler A. (2014): Der Einfluss des Klimawandels auf die Reliefsphäre. –
In: Austrian Panel on Climate Change (APCC): Österreichischer
Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), Verlag der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien: 557-600.
- Glade T., Petschko H., Bell R., Bauer C., Granica K., Heiss G., Leopold P.,
Pomaroli G., Proske H. & Schweigl J. (2012): Landslide susceptibility
maps for Lower Austria – Methods and challenges. – In: Kobltschnig G.,
Hübl J. & Braun J. (Hrsg.): Interpraevent Conference Proceedings,
International Research Society INTERPRAEVENT, Grenoble,
Frankreich: 497–508.

- Goetz J. N., Guthrie R. H. & Brenning A. (2011): Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology* 129: 376-386.
- Griffiths D. V., Huang J. & Fenton G. A. (2011): Probabilistic infinite slope analysis. *Computers and Geotechnics* 38: 577-584.
- Gutiérrez F., Parise M., De Waele J. & Jourde H. (2014): A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews* 138: 61-88.
- Guzzetti F. (2005): *Landslide hazard and risk assessment*. Dissertation, Rheinisch Friedrich-Wilhelms Universität, Bonn.
- Guzzetti F., Mondini A. C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M. & Chang K.-T. (2012): Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews* 112: 42-66.
- Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M. & Stark C. P. (2007): Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics* 98: 239-267.
- Guzzetti F., Cardinali M., Reichnebach P. & Carrara A. (2000): Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management* 25 (3): 247-263.
- Hemetsberger M. (2014): *Statistisches Handbuch des Landes Niederösterreich*. NÖ Schriften 208, 38. Jahrgang 2014, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung.
- Hervás J. (2013): Landslide Inventory. – In: Bobrowsky P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer-Verlag, Dordrecht: 610-611.

- Highland L. M. & Bobrowsky P. (2008): The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides. U.S. Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia.
- Hübl J., Hochschwarzer M., Sereinig N. & Wöhler-Alge M. (Hrsg.) (2011): Alpine Naturgefahren – Ein Handbuch für Praktiker. Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Vorarlberg.
- Hübl J., Kociu A., Kriszl H., Lang E., Länger E., Moser A., Pichler A., Rachoy C., Rudolf-Miklau F., Schnetzer I., Sitter F., Skolaut C., Tilch N. & Totschnig R. (2009): Alpine Naturkatastrophen. Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart.
- Huggel C., Clague J. J. & Korup O. (2012): Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? *Earth Surface Processes and Landforms* 37: 77-91.
- Hydrographischer Dienst Österreich (2014a): N2-Auswertung – Niederschlag 15. Mai 2014.
- Hydrographischer Dienst Österreich (2014b): N2-Auswertung – Niederschlag 16. Mai 2014.
- Hydrographischer Dienst Österreich (2014c): N2-Auswertung – Niederschlag 28. Mai 2014.
- ICSU (2005): Natural and human-induced environmental hazards. Report to the ICSU 28th General Assembly, Suzhou, China.
- IPCC (2012): Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special report of The Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge & New York.

- Jachs S. (2011): Einführung in das Katastrophenmanagement. Tredition-Verlag, Hamburg.
- Leopold P. & Zinggl P. (2013): Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, Beispiele aus Österreich: Burgenland. NÖ Geotage „Geogene Gefahren und Raumordnung“, Berichte der Geologischen Bundesanstalt 100: 66-69.
- Martelloni G., Segoni S., Fanti R. & Catani F. (2012): Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides* 9:485-495.
- McCull S. T. (2015): Landslide Causes and Triggers. – In: Shroder J. F. & Davies T. (Hrsg.): *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*. Academic Press, Boston: 17-42.
- Montz B. E. & Tobin G. A. (2011): Natural hazards: An evolving tradition in applied geography. *Applied Geography* 31: 1-4.
- Parise M. (2001): Landslide Mapping Techniques and Their Use in the Assessment of the Landslide Hazard. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science* 26 (9): 697-703.
- Petschko H. (2014): Challenges and solutions of modelling landslide susceptibility in heterogeneous regions – preparing maps for spatial planning in Lower Austria. Dissertation, Universität Wien.
- Petschko H., Brenning A., Bell R., Goetz J. & Glade T. (2014a): Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14: 95-118.
- Petschko H., Bell R. & Glade T. (2014b): Relative Age Estimation at Landslide Mapping on LiDAR Derivatives: Revealing the Applicability of Land Cover Data in Statistical Susceptibility Modelling. – In: Sassa K., Canuti P. & Yin Y. (Hrsg.): *Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Vol 2: Methods of Landslide Studies*, Springer, Dordrecht: 337-343.

- Petschko H., Bell R., Glade T., Goetz J., Heiss G. & Leopold P. (2013): MoNOE – Modellierung der Rutschprozesse. NÖ Geotage „Geogene Gefahren und Raumordnung“, Berichte der Geologischen Bundesanstalt 100: 77-86.
- Petschko, H., Bell, R., Glade T. & Brenning A. (2012): Landslide susceptibility modeling with generalized additive models – facing the heterogeneity of large regions. – In: Eberhardt E., Froese C., Turner A. K. & Leroueil S. (Hrsg.): Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding, Taylor & Francis, Banff, Canada: 769-777.
- Petschko H., Glade T., Bell R., Schweigl J. & Pomaroli G. (2010): Landslide inventories for regional early warning systems. – In: Malet J. P., Glade T. & Casagli N. (Hrsg.): Proceedings of the International Conference “Mountain Risks: Bringing Science to Society”, CERG Editions, Strasbourg: 277-282.
- Preuth T., Glade T. & Demoulin A. (2010): Stability analysis of a human-influenced landslide in eastern Belgium. *Geomorphology* 120: 38-47.
- Proske F. & Bauer C. (2013): MoNOE – Modellierung der Struzprozesse. NÖ Geotage „Geogene Gefahren und Raumordnung“, Berichte der Geologischen Bundesanstalt 100: 87-92.
- Remondo J., Soto J., González-Díez A., Díaz de Terán J. R. & Cendrero A. (2005): Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain. *Geomorphology* 66: 69-84.
- Remondo J., González-Díez A., Díaz de Terán J. R., Cendrero A., Fabbri A. & Chung C. F. (2003): Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain. *Natural Hazards* 30: 437-449.
- Rudolf-Miklau F., Hübl J., Fiebig M., Formayer H., Jaritz W., Molk M. & Kleemayr K. (2012): Naturgefahrenprozesse und –szenarien. – In: Suda J. &

- Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): Bauen und Naturgefahren. Springer, Wien, New York: 9-69.
- Salzer F. (2014): Gutachten: 15. - 18. Mai 2014, Katastrophenschaden, Most- und Industrieviertel. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Baudirektion.
- Schweigl J. & Hervás J. (2009): Landslide Mapping in Austria. JRC Scientific and Technical Reports, European Commission, Luxemburg.
- Sterlacchini S., Ballabio C., Blahut J., Masetti M. & Sorichetta A. (2011): Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps. *Geomorphology* 125: 51-61.
- Tarolli P., Borga M., Chang K.-T. & Chiang S.-H. (2011): Modeling shallow landsliding susceptibility by incorporating heavy rainfall statistical properties. *Geomorphology* 133: 199-211.
- Turner A. K. & Schuster R. L. (Hrsg.) (1996): Landslides – Investigation and Mitigation. Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy of Sciences.
- UN-ISDR (2009): Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Genf.
- Van Westen C. J. (2000): The modelling of landslide hazards using GIS. *Surveys in Geophysics* 21: 241-255.
- Van Westen C. J., Castellanos E. & Kuriakose S. L. (2008): Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102: 112-131.
- Varnes D. J. (1978): Slope movement types and processes. – In: Schuster R. L. & Krizek R. J. (Hrsg.): *Landslides: Analysis and Control*. Transportation

and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C.: 11–33.

Varnes D. J. (1984) Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

Von Elverfeldt K., Glade T. & Dikau R. (2008): Naturwissenschaftliche Gefahren- und Risikoanalyse. – In: Felgentreff C. & Glade T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Spektrum Akademischer Verlag – Springer, Berlin, Heidelberg: 31-46.

Wescoat J. L. Jr. & White G. F. (2003): Water for Life – Water Management and Environmental Policy. Cambridge University Press, Cambridge.

White G. F. (1945): Human adjustment to floods. Dissertation, University of Chicago.

WMO (1999): Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. WMO/TD No. 955.

ZAMG (2014a): Meldungen zu Unwetter und witterungsbedingten Schäden in der Wirtschaft / Mai 2014 [online verfügbar unter: <http://www.zamg.ac.at/zamgWeb/klima/klimarueckblick/archive/2014/05/unwetter05-14.pdf>, Zugriff 26.02.2015, 12.45 Uhr)

ZAMG (2014b): Witterungsübersicht Mai 2014 [online verfügbar unter: <http://www.zamg.ac.at/zamgWeb/klima/klimarueckblick/archive/2014/05/wiewars05-14.pdf>, Zugriff 26.02.2015, 12.45 Uhr]

Online Ressourcen & Datenquellen:

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (2014): 16.05.2014

Katastrophenhochwasser in NÖ.

[<http://www.noel.gv.at/Gemeindeservice/Gemeindeservice/Katastrophenschutz-und-hilfe-Feuerwehrwesen>, Zugriff 02.02.2015, 12.14 Uhr]

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (a. n.): Anleitung für die Verwendung der Gefahrenhinweiskarte „Rutschprozesse“ und der Gefahrenhinweiskarte „Sturzprozesse“.

[http://www.netteam.at/gemeinden/user/31516/dokumente/Anleitung_lan_g.pdf, Zugriff 15.02.2015, 17.30 Uhr]

Amt der NÖ Landesregierung (2013) [<https://www.noel.gv.at/>, Zugriff 14.02.2015, 10.30 Uhr]

Hydrographischer Dienst des Landes Niederösterreich 2014

[<http://www.noel.gv.at/Externeseiten/wasserstand/htm/wndcms.htm>, Zugriff 18.02.2015, 16 Uhr]

Klimadiagramm [<http://de.climate-data.org/index.html>, Zugriff 18.02.2015, 15.30 Uhr]

NÖ-Atlas [<http://atlas.noel.gv.at/>, Zugriff 26.02.2015, 17.30 Uhr]

Gefahrenhinweiskarte - Daten: ÖK50 (2009) & Gemeindegrenze - BEV / MoNOE
- Land NÖ © 2013 IfGR Universität Wien

GIS-Daten: MoNOE, NÖ-GIS, BEV, GBA, AIT, Joanneum Research

Verwendete Programme:

ArcGIS – ArcMap 10.2 [<http://www.esri.com>]

MS Excel 2013 – Microsoft Office Professional Plus 2013

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, Gemeinde Hollenstein an der Ybbs, Bezirk Amstetten (MoNOE – Land NÖ, Universität Wien 2013) ...23
- Abbildung 2: Beispiel einer „prediction rate curve“ für Rutschungen. (A) 10 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 66 %, (B) 20 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 82 %, (C) 39 % der Fläche mit einer Vorhersagerate von 88 % (FABBRI ET AL. 2002: 5).....32
- Abbildung 3: Vergleich der „success rate curve“ mit der „prediction rate curve“ einer Validierung (CHUNG & FABBRI 2003: 469)32
- Abbildung 4: Lage der Gemeinden des Untersuchungsgebiets in Niederösterreich (Datenquelle: Land Niederösterreich, eigene Bearbeitung).....38
- Abbildung 5: Lithologische Einheiten im Untersuchungsgebiet (Datenquelle: Geologischer Dienst, Land Niederösterreich, eigene Bearbeitung).....40
- Abbildung 6: Relative Anteile der Landnutzungskategorien am Gesamtgebiet der Bezirke (1) Amstetten), (2) Lilienfeld, (3) Scheibbs, (4) St. Pölten-Land und (5) Waidhofen an der Ybbs 2012 (Datenquelle: HEMETSBERGER 2014: 29, eigene Bearbeitung).....42
- Abbildung 7: Jahresmittel der Lufttemperatur 1991-2000 für das gesamte Bundesland Niederösterreich (HYDROGRAPHISCHER DIENST DES LANDES NIEDERÖSTERREICH 2014).....43
- Abbildung 8: Jahresmittel des Niederschlages 2001-2010 für das gesamte Bundesland Niederösterreich (HYDROGRAPHISCHER DIENST DES LANDES NIEDERÖSTERREICH 2014).....43
- Abbildung 9: Klimawerte der Bezirke Amstetten, Lilienfeld, Scheibbs, St. Pölten und Waidhofen an der Ybbs (Datenquelle: <http://de.climate-data.org/index.html>, eigene Bearbeitung).....44

Abbildung 10: Tagesniederschlagssummen Niederösterreich 15. bis 18. Mai 2014 (in mm) (SALZER 2014: 2f).....	46
Abbildung 11: Flowchart der Methodik der Untersuchungsgebietsabgrenzung	53
Abbildung 12: Detailausschnitt des Wegenetzes (a), mit Puffer 1000 m (b), nach Ausschneiden der abgeschatteten Bereiche (c) und nach weiterer Pufferung der Wege mit 50 m Distanz (d)	54
Abbildung 13: Flowchart der Erstellung des Ereignisinventars zur Validierung der Gefahrenhinweiskarte	56
Abbildung 14: Teilbereiche einer Rutschung (CRUDEN 1993).....	57
Abbildung 15: Finale Abgrenzung des Untersuchungsgebiets.....	70
Abbildung 16: Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse (Seite 1).....	73
Abbildung 17: Aufnahmebogen zur Kartierung der Ereignisse (Seite 2).....	74
Abbildung 18: Ausgefülltes Kartierformular, Seite 1 (Beispiel Rutschung-ID 35 in der Gemeinde Hollenstein an der Ybbs)	78
Abbildung 19: Ausgefülltes Kartierformular, Seite 2 (Beispiel Rutschung-ID 35 in der Gemeinde Hollenstein an der Ybbs)	79
Abbildung 20: Geländeskizze der Rutschung-ID 35 in Hollenstein an der Ybbs (Kartiergrundlage: NÖ-Atlas [http://atlas.noel.gv.at/]).....	80
Abbildung 21: Fotodokumentation der Rutschung-ID 35 in Hollenstein an der Ybbs, Fotos erstellt bei der ersten Begehung am 28.05.2014 (a & b) sowie bei der Kartierung am 21.06.2014 (c & d) (Fotos: Gokesch 2014)	80
Abbildung 22: Exposition nach Ereignistypen	84
Abbildung 23: Anteile der kartierten Ereignisse in den Landnutzungskategorien	86
Abbildung 24: Abdeckung des Anrissbereichs mit einer Plane am Beispiel der Rutschung-ID 34 in Hollenstein an der Ybbs (Foto: Gokesch 2014).....	90

Abbildung 25: Detailausschnitt des Digitalisierungsergebnisses (Bereich Hollenstein an der Ybbs)	91
Abbildung 26: Detailausschnitt der Trennung von Muren und Rutschungen (Bereich Hollenstein an der Ybbs).....	93
Abbildung 27: Detailausschnitt des finalen Rutschungsinventars (Bereich Hollenstein an der Ybbs)	95
Abbildung 28: Ergebnisse der Validierung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse. Die Balken an der x-Achse entsprechen den drei Klassen der Gefahrenhinweiskarte (Orange – genaue Erkundung unverzichtbar, Gelb – Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung, Weiß – nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung).....	97
Abbildung 29: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Flyschzone: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.	98
Abbildung 30: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Zone der oberostalpinen Kalke und Mergel: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.....	99
Abbildung 31: Ergebnisse der Validierung des Gefährdungsmodells der Zone der oberostalpinen Dolomite: „prediction rate curve“ der Rutschungsanrisse und der Rutschungsflächen des Mai 2014 sowie „success rate curve“ der MoNOE-Rutschungsanrisse.	101
Abbildung 32: Rutschung ID-28 (a) und in ca. 100 m Entfernung gelegene alte Rutschung (b) im Gebiet Hollenstein an der Ybbs (Fotos: Gokesch 2014)	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung gravitativer Massenbewegungen nach Prozess- und Materialtypen (nach DIKAU & GLADE 2002, DIKAU ET AL. 1996, CRUDEN & VARNES 1996, Abbildungen HIGHLAND & BOBROWSKY 2008).....	12
Tabelle 2: Gesamtfläche, Anteil der Waldfläche, Wohnbevölkerung und Bevölkerungsdichte der Bezirke Amstetten, Lilienfeld, Scheibbs, St. Pölten-Land und Waidhofen an der Ybbs sowie der genauer untersuchten Gemeinden (Datenquelle: Amt der NÖ Landesregierung 2013, eigene Bearbeitung)	39
Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Daten	49
Tabelle 4: Durchgeführte Geländearbeiten zur Kartierung der Ereignisse	71
Tabelle 5: Ausschnitt aus dem vorläufigen Ereignisinventar aus Schadensmeldungen und Luftbildern	76
Tabelle 6: Lage der kartierten Ereignisse nach Bezirk und Ereignistyp	82
Tabelle 7: Dimensionen der Ereignisse nach Ereignistyp (inklusive entsprechender Ereignis-ID).....	83
Tabelle 8: Verteilung der Exposition der einzelnen Prozesstypen.....	84
Tabelle 9: Verteilung der Ereignisse in den lithologischen Einheiten nach Prozesstyp und gesamt.....	85
Tabelle 10: Verteilung der Ereignisse in den Landnutzungskategorien nach Prozesstyp und gesamt.....	86
Tabelle 11: Mögliche anthropogene Einflüsse auf das Auslösen der kartierten Rutschungen	87

Tabelle 12: Durchgeführte und geplante Bauarbeiten, Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen der kartierten Ereignisse.....	90
Tabelle 13: Veränderung der Verteilung der Rutschungen in den Bezirken sowie nach Landnutzung, Lithologie und Exposition nach Trennung der kombinierten Ereignisse	94

Anhang

Anhang A – Originalzitate der Definitionen (zu Kapitel 2.1)

Hazard

A dangerous phenomenon, substance, human activity or condition that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, loss of livelihoods and services, social and economic disruption, or environmental damage. (UN-ISDR 2009: 17)

A threatening event, or the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a given time period and area. (WMO 1999: 2)

Natural hazard

Natural process or phenomenon that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, loss of livelihoods and services, social and economic disruption, or environmental damage. (UN-ISDR 2009: 20)

Landslide

The movement of a mass of rock, debris or earth down a slope (Cruden 1991: 28)

A downward and outward movement of slope forming materials under the influence of gravity. (Varnes 1978 in Petschko 2014: 4)

Vulnerability

Degree of loss (from 0 to 100 per cent) resulting from a potentially damaging phenomenon. (WMO 199: 2)

The characteristics and circumstances of a community, system or asset that make it susceptible to the damaging effects of a hazard. (UN-ISDR 2009: 30)

The conditions determined by physical, social, economic, and environmental factors or processes, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards. (ICSU 2005: 34)

Exposure

People, property, systems, or other elements present in hazard zones that are thereby subject to potential losses. (UN-ISDR 2009: 15)

Risk

The combination of the probability of an event and its negative consequences. (UN-ISDR 2009: 25)

The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions. (ICSU 2005: 33)

Expected losses (of lives, persons injured, property damaged and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability. (WMO 1999: 2)

Anhang B – Erläuterungen (und Übersetzung) zu Abbildung 14 Teilbereiche einer Rutschung (nach Cruden 1993)

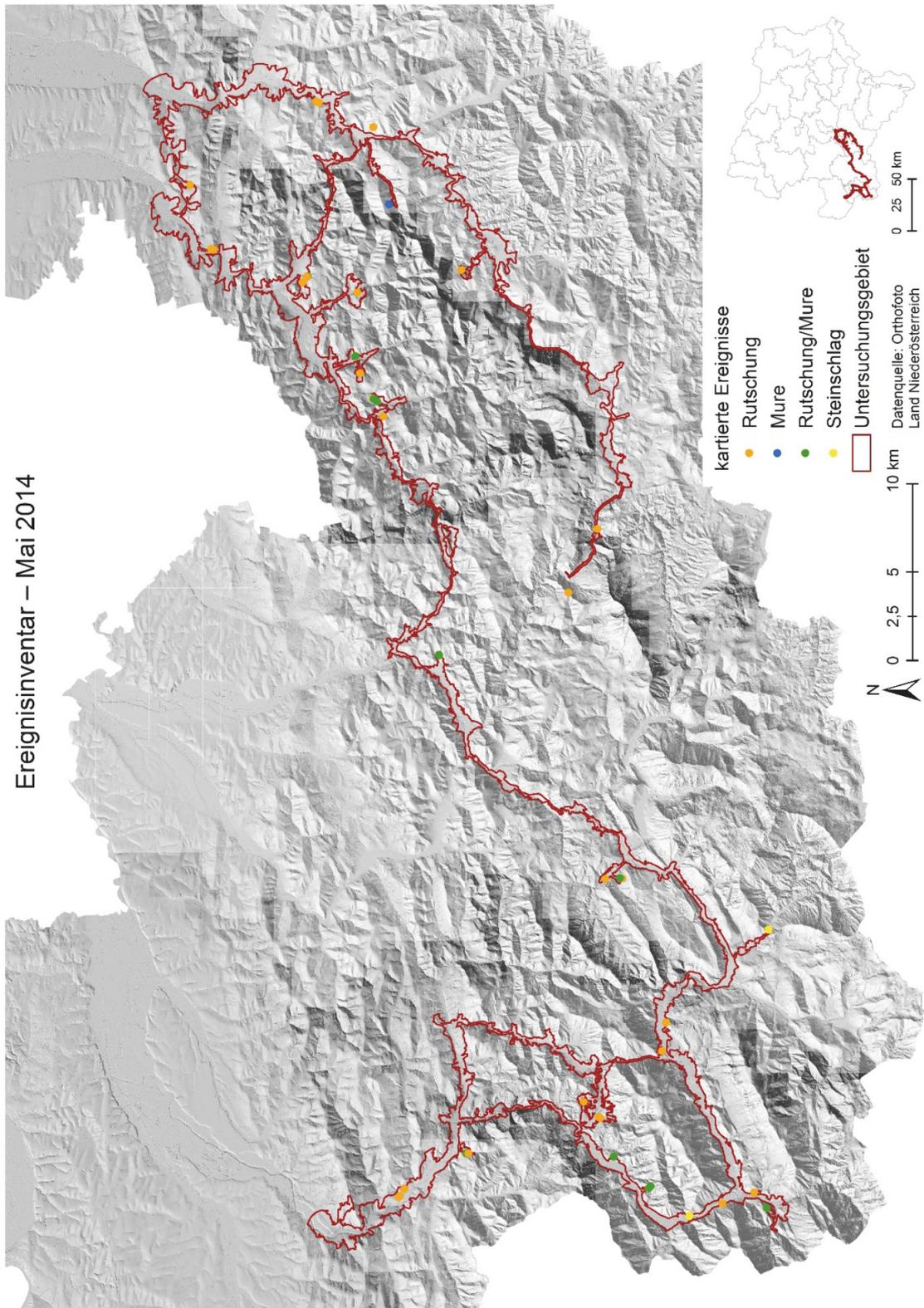
Bezeichnung		Beschreibung	
Original	Übersetzung	Original	Übersetzung
(1) Crown	Scheitel	The practically undisplaced material still in place and adjacent to the highest parts of the main scarp (2).	Der Scheitel der Rutschung, mehr oder weniger nicht bewegtes Material, in unmittelbarer Nähe zum Hauptanriss.
(2) Main scarp	Hauptanriss	A steep surface on the undisturbed ground at the upper edge of the landslide, caused by movement of the displaced material (13) away from the undisturbed ground. It is the visible part of the surface of rupture (10).	Ein steiler Abschnitt an der Geländeoberfläche an der Oberkante der Rutschung, welcher durch die Bewegung des Materials entsteht und an welchem die Scherfläche zu Tage tritt.
(3) Top	Kopfende	The highest point of contact between the displaced material (13) and the main scarp (2).	Der höchste Bereich der Rutschmasse an dem diese mit dem Hauptanriss zusammentrifft.
(4) Head	obere Abbruchzone	The upper parts of the landslide along the contact between the displaced material and the main scarp (2).	Obere Zone der Rutschung im Bereich in dem die Rutschmasse mit dem Hauptanriss zusammentrifft.
(5) Minor scarp	sekundärer Anriss	A steep surface on the displaced material of the landslide produced by differential movements within the displaced material.	Steiler Bereich auf der bewegten Masse, der durch Bewegungen innerhalb der transportierten Rutschmasse entsteht.
(6) Main body	Rutschungskörper	The part of the displaced material of the landslide that overlies the surface of rupture (10) between the main scarp (2) and the toe of the surface of rupture (11)	Jener Bereich der Rutschmasse, der über der Scherfläche zwischen Hauptanriss und Untergrenze der Scherfläche gelegen ist.
(7) Foot	Anteil der sich über die Scherfläche hinaus bewegt hat	The portion of the landslide that has moved beyond the toe of the surface of rupture (11) and overlies the original ground surface (20)	Der Anteil der Rutschung, der sich über das Ende der Scherfläche hinaus hangabwärts bewegt hat und auf der ursprünglichen Geländeoberfläche zu liegen kommt.
(8) Tip	unterste Spitze der Rutschung	The point of the toe (9) farthest from the top (3) of the landslide.	Jener Punkt an der Untergrenze der Ablagerung, welcher am weitesten vom Kopfende der Rutschung entfernt ist.
(9) Toe	Untergrenze des Ablagerungsbereiches	The lower, usually curved margin of the displaced material of a landslide, it is most distant from the main scarp (2)	Unterste, meist gerundete Grenze des bewegten Materials, der am weitesten von der Anrisskante entfernt ist.

Bezeichnung		Beschreibung	
Original	Übersetzung	Original	Übersetzung
(10) Surface of rupture	Scherfläche	The surface which forms (or which has formed) the lower boundary of the displaced material (13) below the original ground surface (20)	Oberfläche, die die Geländeuntergrenze unterhalb der ursprünglichen Geländeoberfläche bildet, entlang derer die Rutschung transportiert wird.
(11) Toe of surface of rupture	Untergrenze der Scherfläche	The intersection (usually buried) between the lower part of the surface of rupture (10) of a landslide and the original ground surface (20)	Der Überschneidungsbereich zwischen dem unteren Teil der der Scherfläche der Rutschung und der ursprünglichen Geländeoberfläche.
(12) Surface of separation	Trennungsbereich zwischen Rutschung und Landoberfläche	The part of the original ground surface (20) overlain by the foot (7) of the landslide.	Bereich der ursprünglichen Geländeoberfläche, welcher vom Fuß der Rutschung überlagert wird.
(13) Displaced material	transportiertes Material	Material displaced from its original position on the slope by movement in the landslide. It forms both the depleted mass (17) and the accumulation (18)	Gesamtes Material, welches im Zuge der Rutschung von seiner ursprünglichen Position weg transportiert wurde.
(14) Zone of depletion	Abbruchzone	The area of the landslide within which the displaced material lies below the original ground surface (20).	Jener Bereich in dem das transportierte Material unterhalb der Geländeoberfläche liegt.
(15) Zone of accumulation	Akkumulationszone	The area of the landslide within which the displaced material lies above the original ground surface (20).	Jener Bereich in dem das transportierte Material oberhalb der Geländeoberfläche liegt.
(16) Depletion	Gesamtvolumen des transportierten Materials	The volume bounded by the main scarp (2), the depleted mass (17) and the original ground surface (20).	Volumen des Bereiches zwischen Hauptanriss, ursprünglicher Geländekante und Scherfläche.
(17) Depleted mass	transportierte Masse	The volume of the displaced material which overlies the rupture surface (10) but underlies the original ground surface (20).	Volumen des transportierten Materials, welches oberhalb der Scherfläche aber unterhalb der ursprünglichen Geländeoberfläche zum liegen kommt
(18) Accumulation	Anteil der sich über die Scherfläche hinaus bewegt hat	The volume of the displaced material (13) which lies above the original ground surface (20).	Volumen des transportierten Materials, welches oberhalb der ursprünglichen Geländekante zum Liegen kommt.
(19) Flank	Flanke	The undisplaced material adjacent to the sides of the rupture surface. Compass directions are preferable in describing the flanks but if left and right are used, they refer to the flanks as viewed from the crown (1).	Unbewegtes Material an den Seiten der Rutschung.
(20) Original ground surface	ursprüngliche Geländeoberfläche	The surface of the slope that existed before the landslide took place.	Geländeoberfläche, die vor Eintreten der Rutschung existierte.

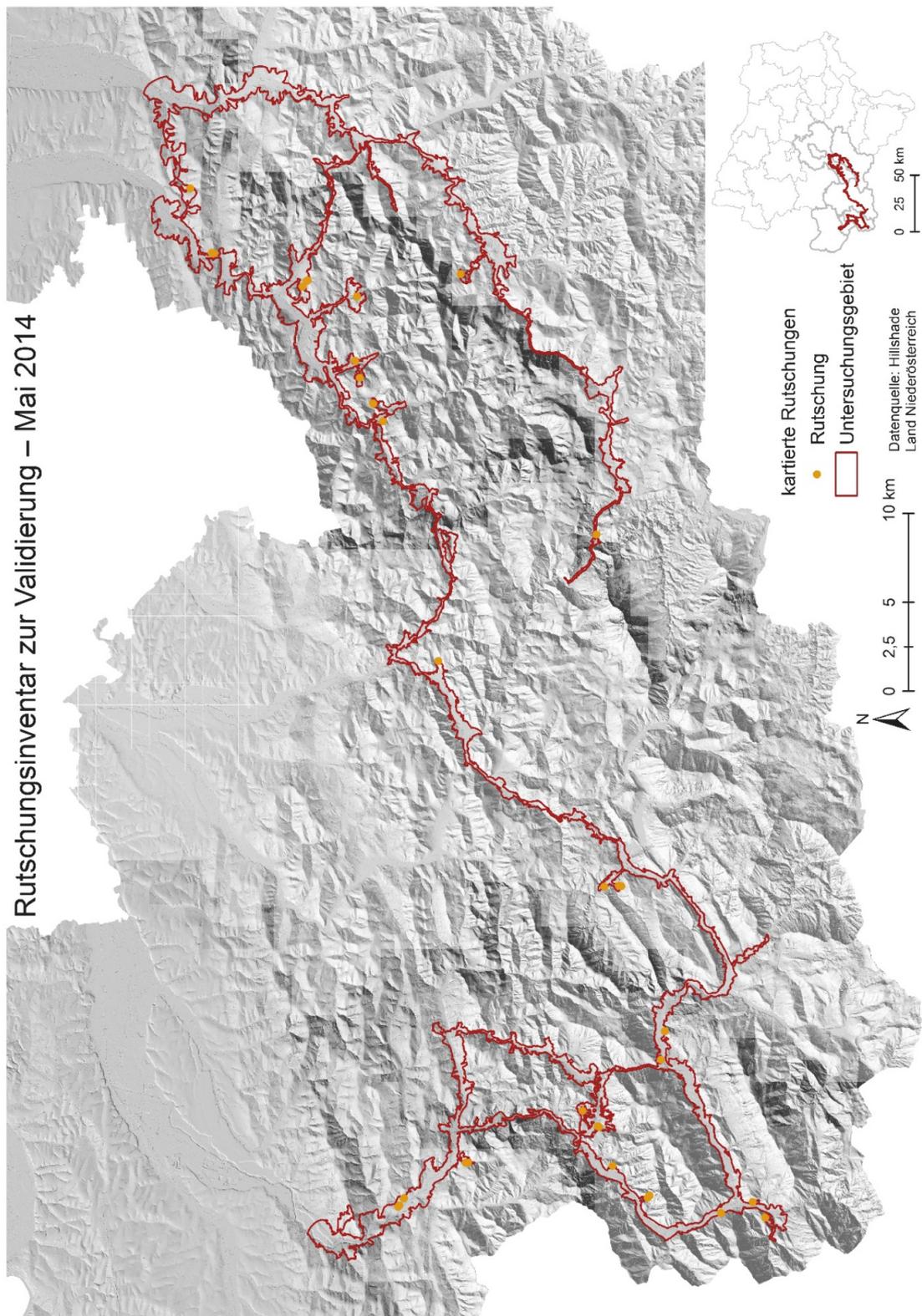
Anhang C – Ausschnitt aus der Tabelle zum Ereignisinventar Mai 2014

ID	Koordinaten BMN M34		Ortsbezeichnung	Bezirk	Grundstück Nr.	Grundstück Eigentümer/ Bezeichnung	Bearbeitung Landesgeolog. Dienst	vorhandene Daten	Datum Kartierung	Prozesstyp
	RW	HW								
34	633252,6	296127,4	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	484/1, 471/21, 471/23, 471/17, 471/16, 471/15		Schweigl	Luftbild	21.06.14	Rutschung
35	632368,8	295425,9	Hollenstein an der Ybbs	Amstetten	588, 663, 673, 659/1, 672/1, 1262/5	Gallener Kogel L6180, km 2,42	Schweigl	Schadensmeldung Luftbild	21.06.14	Rutschung/ Mure
36	641263,6	301289,4	St. Georgen am Retih	Amstetten	722, 503/7	Fam. Keferböck	Schweigl	Schadensmeldung Luftbild	20.06.14	Rutschung
37	642882,1	301043,3	St. Georgen am Retih	Amstetten	26/1, 39	Gutenfurth	-	Luftbild	27.06.14	Rutschung
38	648152,8	295321,4	Göstling an der Ybbs Scheibbs		371/7 Steinbachstr.	Steinbach Noth/ Ybbssteinbach	Schweigl	Schadensmeldung Luftbild	20.06.14	Steinschlag
ID	Exposition	Lithologie	Landnutzung	Entfernung zu					Möglicher anthrop. Einfluss	
				Fließgewässer (m)	Straße (m)	Gebäude (m)				
34	W	Oberostalpin, Kalke & Mergel	Wald/Forst	-	Anriss an Forststraße	-			Anriss an Forstweg	
35	NO	Oberostalpin, Kalke & Mergel	Wald/Forst	1-2 (Quellaustritte hangaufwärts, Anriss an beiden Seiten)	Forststr. Mitgerissen 350 (Landesstraße hangabwärts, v. Mure verschüttet)	340 (Wohnhaus bei Landesstraße)			Anriss an Forstweg	
36	S	Oberostalpin, Dolomit	Garten	8 (Bach v. Ablagerung)	Anriss an Forstweg 15 (Straße hinter Bach nach Ablagerung)	7 (Wohnhaus orogr. L v. Anriss v. Ablagerung) 3 (Haus hangaufw. v. Anriss)			Anriss an Forstweg	
37	N	Talalluvionen	Wald/Forst	period. wasserführender Abfluss direkt zu Anriss hangaufw.	14 (Forststr. orogr. R v. Anriss)	-			Wasserableitung oberh. v. Anriss	
38	NW	Oberostalpin, Dolomit	Felswand bei Straße	5 (Böschung zu Ybssteinbach)	5 (v. Anriss Ablagerung auf Straße)	-			-	
ID	Anriss		Sekundärer Anriss			Abbruchzone				
	Breite (m)	Tiefe (m)	Breite (m)	Tiefe (m)	Distanz zu Anriss (m)	Breite (m)	Länge (m)	Tiefe (m)		
34	n.m.	n.m.	-	-	-	27 (Rutschung) 3-5 (Murkanal)	19	n.m.		
35	22	10	-	-	-	32	32	5-8		
36	8	2,3	-	-	-	11	4	1,2		
37	10	n.m.	-	-	-	24	10	n.m.		
38	5	n.m.	-	-	-	5	n.m.	n.m.		
ID	Akkumulationszone			Gesamt				Nebenabriss		
	Breite max. (m)	Länge max. (m)	Höhe max. (m)	Breite max. (m)	Länge (m)	Fläche (m²)	Scherfläche (ca. m)	rel. Lage	Breite (m)	Tiefe (m)
34	27	n.m.	n.m.	27	31 (Rutschung)	384	8	-	-	-
35	15	20 (bis Mure)	4 (erodierter Graben/ Murkanal)	32	52 (Rutschung) 335 (Mure)	1204 (Rutschung) 983 (Mure)	13-15	-	-	-
36	9	8	1,7-2	11	12	101	2,5	-	-	-
37	13	58	n.m.	24	68	759	n.m.	-	-	-
38	Felsblock gelöst 2,5x1,5x0,5	n.m.	n.m.	12	geht von 5 auf 10 (Höhe)	101	n.m.	-	-	-
ID	Bauarbeiten / Sanierungsmaßnahmen						Kommentare			
	Sofortmaßnahmen	Sanierung & Aufräumarbeiten	Wasserableitung	Sanierungsmaßnahmen	Monitoring	Zeitraum				
34	Abdeckung von Anriss mit Plane	Sanierung Straße/ Forstweg Materialabtransport	Ableitung Oberflächenwasser	-	-	erledigt bei Kartierung	Straße ca. 2 m angerissen, Rutschung löste Mure aus in Richtung 3 Wohnhäuser, nicht mehr genau kartierbar da verbaut, Ev. Wasserableitung an Hang geplant			
35	-	Materialabtransport	Ableitung Oberflächenwasser	Rückhaltebecken, Geschieberückhalt - Holzpfähle	-	geplant Sommer 2014	Rutschung hat halbe Forststraße mitgerissen und Mure gebildet, bis 400 m Graben hinunter bis zu Landesstr. L6180 ca. 2000 m³ Material			
36	Abdeckung von Anriss mit Plane	Materialabtransport (geplant)	-	Sicherung mit Wurfsteinmauer (geplant)	-	erledigt bei Kartierung	Rutschung ging in Hochbeet d. Fam. Keferböck, nach Ereign. weiterer Fels losgelöst (Ende Mai) und in Garten gestürzt, Rutschung noch nicht bearbeitet bei Kartierung.			
37	-	Materialabtransport	-	-	-	erledigt bei Kartierung	alle Rutschung (Abrisskante) reaktiviert!			
38	-	Materialabtransport Sanierung Straße/ Forstweg (geplant)	-	-	-	erledigt bei Kartierung	Felssturz (Fläche 3x4 m, Tiefe 0,5 m insges. 5m³) hat Sperre zu Fluss auf ca. 20 m durchbrochen, Material auf Straße und bis in Bach gestürzt, Bankette ca. 1 m mitgerissen, Straße an Bachseite ca. 10 m Länge und 1,5 m Breite beschädigt/weggebrochen			

Anhang D – Karte des digitalisierten Ereignisinventars – Mai 2014



Anhang E – Karte Rutschungsinventars zur Validierung – Mai 2014



Karin Alexandra Gokesch, BSc

Adresse: Neulinggasse 12/8
1030 Wien

Email: karin.gokesch@univie.ac.at

Geburtsdatum: 19. September 1983

Nationalität: Österreich

Sprachen:

Deutsch: Muttersprache

Englisch: Fließend in Wort und Schrift

Französisch: Basiskenntnisse

Italienisch: Basiskenntnisse

Ausbildung:

- Seit März 2013 **Masterstudium an der Universität Wien**
 Institut für Geographie und Regionalforschung
 Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie
 Studienschwerpunkt: Geomorphologie, Naturgefahren- und Risikoforschung
 Titel der Masterarbeit:
Können anthropogen beeinflusste Rutschungen durch Gefahrenhinweiskarten abgedeckt werden? – Quantitative Validierung der Gefahrenhinweiskarte mittels rezenter Ereignisse in Westniederösterreich
- März 2005 – Feb. 2013 **Bachelorstudium an der Universität Wien**
 Institut für Geographie und Regionalforschung
 Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie
 Titel der Bachelorarbeit:
Multi-Hazard Risk: Theory, Applications and Challenges
- Sept. 2001 – Juni 2004 **Moderschule der Stadt Wien, Schloss Hetzendorf**
 Speziallehrgang für Modedesign
 Diplomabschluss im Juni 2004
- Sept. 1993 – Juni 2001 **Höhere Internatsschule des Bundes Wien, Realgymnasium mit musikischem Schwerpunkt (bildnerischer Zweig)**
 Maturaabschluss im Juni 2001

Berufserfahrung:

- Mai – Sept.
2014 **Ereignisdokumentation – Mai 2014**
Dokumentation der Ereignisse in Folge der Starkniederschläge im Mai 2014 im Gebiet Niederösterreich West
Erstellt im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung Allgemeiner Baudienst – Geologischer Dienst
- März – Juli
2014 **Universität Wien**
Institut für Geographie und Regionalforschung
Tutorin für die Auslandsexkursion Westkanada unter der
Leitung von: Christine Embleton-Hamann & Olav Slaymaker
- Seit Dez.
2012 **Facharztzentrum Votivpark - Wien**
Ordinationsassistentin und Office-Management
- Seit Mai
2011 **Universität Wien**
Institut für Geographie und Regionalforschung
Studienassistentin – Physische Geographie
Arbeitsgruppe ENGAGE – Geomorphologische Systeme und
Risikoforschung unter der Leitung von Univ.-Prof. Dipl.-Geogr.
Dr. Thomas Glade
- Okt. – Nov.
2013 **SEERisk – Joint Disaster Management Risk Assessment
and Preparedness in the Danube Macro-Region** (South East
Europe Transnational Cooperation Programme, www.southeast-europe.net)
Projektassistentin
- März 2004
– April 2012 **SPIGO – Etiketten Erzeugungs- und Vertriebsges. m. b. H.**
Assistentin der Geschäftsleitung

Computerkenntnisse:

- ArcGIS 9 & 10
- ILWIS
- CloudCompare
- R & R-Studio
- Adobe Photoshop
- InDesign
- MS Office
- EndNote
- E-Learning Plattformen: Moodle und Fronter

Zusatzqualifikationen und -tätigkeiten:

Juli 2011, Juli 2012, Juli 2013

Organisation und Lehre an der Kinderuniversität, Wien

Vorbereitung, Unterstützung und Lehrtätigkeit im Rahmen eines Kurses der Arbeitsgruppe ENGAGE bei der jährlichen Kinderuniversität veranstaltet von der Universität Wien

Schwerpunkt des Kurses: Klimawandel, anthropogene Einflüsse und Gletscherdynamik

Dezember 2009

Projektmanagement Basic Zertifikat

Projekt Management Austria – Österreichische Computer Gesellschaft

Publikationen:

Gokesch K., Promper C., Papathoma-Köhle M & Glade T. (2014): Assessing human vulnerability: Daytime residential distribution as a vulnerability indicator. EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16. (Poster: Session NH9.7 – Resilience and vulnerability assessments in natural hazards and risk analysis)

Gokesch K., Promper Cc, van Westen C. J. & Glade T. (2014): Spatiotemporal patterns of population distribution as crucial element for risk management. EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16. (Poster: Session NH9.10 – Incorporating spatio-temporal variability into risk management)

Gokesch K., von Elverfeldt K., Glade T., Bründl M., de Oliveira F. D., Frigerio S., Kappes M. S, Keiler M., Malet J.-P., Marzocchi W., Paulik R., Reese S., Smart G., van Westen C. J., Greiving S. & Berman E. (in Vorbereitung): Multi-hazard risk concepts: A review of theory, applications and challenges. Progress in Physical Geography.

Konferenzbesuche:

Interpraevent: Protection of living spaces from natural hazards. 12. Kongress, Grenoble, Frankreich, 23. – 26. April 2012

EGU – European Geoscience Union General Assembly 2014. Wien, 27. April – 2. Mai 2014.

