

MASTERARBEIT



TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

DIETER NIEDERBICHLER

2014

Foto der Titelseite:

Anriss der Rutschung Lichtpold auf der B83 Kärntner Straße in der Gemeinde Wernberg vom 10.11.2013 (AMLACHER, 14.11.2013).

MASTERARBEIT

CHARAKTERISIERUNG VON RUTSCHUNGEN MIT SCHWERPUNKT DER REICHWEITENSIMULATION ANHAND VON PRAXISBEISPIELEN

durchgeführt am

Institut für Bodenmechanik und Grundbau
an der Technischen Universität Graz

zur Erlangung des Titels

“Master of Science” (MSc)

Betreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. ROMAN MARTE

Technische Universität Graz
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. QIAN LIU

Technische Universität Graz
Institut für angewandte Geowissenschaften

Außeruniversitäre Partner:

Dr. RICHARD BÄK

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 – Kompetenzzentrum für Umwelt, Wasser und Naturschutz

Dr. WALTER POLTNIG

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH
Resources – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit

Eingereicht von

DIETER NIEDERBICHLER, BSc

Graz, Februar 2014

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, Februar 2014



.....

DIETER NIEDERBICHLER

VORWORT

Wir müssen die Natur nicht als unseren Feind betrachten, den es zu beherrschen und überwinden gilt, sondern wieder lernen, mit der Natur zu kooperieren. Sie hat eine viereinhalb Milliarden lange Erfahrung. Unsere ist wesentlich kürzer.

*Hans-Peter Dürr (*1929), deutscher Physiker*

Die grundlegende Idee zu dieser Masterarbeit entstand im Zuge meiner Praktika beim Amt der Kärntner Landesregierung, Unterabteilung Geologie und Bodenschutz. Schon während meines gesamten Studiums faszinierten mich die Prozesse und Ursachen von gravitativen Massenbewegungen.

Nach mehreren Vorlesungen und Gesprächen mit Professoren, Kollegen und Freunden formte sich aus der Idee ein strukturiertes Thema. Die richtigen Betreuer für diese Arbeit fanden sich von selbst.

Während der ganzen Vorbereitungsphase und Literatursuche reifte die Idee, dank meiner genialen Betreuer und Partner, zu dieser für mich sehr interessanten und herausfordernden Masterarbeit heran.

Daher möchte ich mich vor allem bei meinem Hauptbetreuer, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman MARTE, für die hervorragende und kritische, sowie fachliche und praktische Führung während der gesamten Arbeit, bedanken.

Ein großer Dank gebührt auch meinem zweiten Betreuer, Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Qian LIU, der mir ebenfalls eine große Hilfe war.

Ein weiter großer Dank gilt auch meinem außeruniversitären Partner, Dr. Richard BÄK, der mich auf die Idee dieser Arbeit brachte, mich fachlich und praktisch lenkte und mir diese Arbeit ermöglichte.

Außerdem möchte ich mich bei Dr. Walter POLTNIG für die interessanten Fachgespräche und die Unterstützung, sowie für die Bereitstellung der Daten recht herzlich bedanken.

Nicht zu vergessen sind die Mitarbeiter des Instituts für angewandte Geowissenschaften, insbesondere Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Dietmar KLAMMER und die gute Fee des Instituts, Anni PENDL, sowie Klaus SCHRAML, vom Institut für Alpine Naturgefahren an der BOKU Wien, Marc CHRISTEN, von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in der Schweiz, die GDP ZT GmbH, die ibg GmbH, die WLV Villach, die Gemeinde Feld am See und das Straßenbauamt Villach. Für die Unterstützung und Ermöglichung dieser Masterarbeit herzlichen Dank.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich noch bei meiner gesamten Familie, die immer hinter mir stand, mir mein Studium in Graz ermöglichte und mich tatkräftig unterstützte.

Der größte Dank gebührt einer Person, die mich bereits das gesamte Studium begleitet, immer hinter mir steht und mich in allen Lebenslagen unterstützt:

Danke Christina!

KURZFASSUNG

Der Lebensraum ist speziell in den Alpen regelmäßig von Naturgefahren, wie Rutschungen oder Hangmuren, betroffen.

Die Ziele dieser Masterarbeit sind die Charakterisierung von Rutschungen und die Simulation der Reichweite von spontanen, seichten Rutschungen bzw. Hangmuren anhand zweier ausgewählter Beispiele.

Einleitend wird eine allgemeine Charakterisierung von gravitativen Massenbewegungen und deren Auslösemechanismen, sowie eine Begriffserklärung zur Thematik gegeben.

Im Speziellen werden rutschende Prozesse (Rutschungen im weiteren Sinne) bezüglich ihrer Nomenklatur und deren Wirkungsraum charakterisiert. Der Wirkungsraum spielt vor allem in Bezug auf das davon ausgehende Gefahrenpotential eine wichtige Rolle.

Der Gefährdungsbereich wird unter anderem durch die Reichweiten solcher Prozesse definiert. Die Simulation der Reichweite kann mit verschiedenen Methoden und Modellen erfolgen.

Im Zuge der Arbeit werden anhand zweier ausgewählter Rutschungen in Kärnten (Gemeinde Feld am See – Hinterrauth und Gemeinde Wernberg – B83) das Programm „RAMMS::Hillslope“ und ein neu entwickeltes regionales Modell zur Reichweitensimulation angewendet.

Dabei wird versucht die tatsächlichen Ablagerungen (Reichweiten) der Rutschungen mit den beiden Programmen durch Rückrechnung möglichst realitätsnah abzubilden.

Aus den Ergebnissen und deren Vergleich werden Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit und die Anwendbarkeit der Programme gezogen. Vor allem wird auf Schwierigkeiten und Einflussgrößen bei der Simulation, sowie auf die Wichtigkeit der prozessrelevanten Auflösung und Aktualität der Daten eingegangen.

Die Erkenntnisse sollen einen Beitrag für die Forschung und Weiterentwicklung der Programme und der Prozesserforschung von spontanen Rutschungen und Hangmuren liefern.

ABSTRACT

The living space in the Alps is regularly affected by natural disasters such as landslides or slope debris flows.

The aims of this thesis are the characterization of landslides and the simulation of the range of spontaneous, shallow landslides and slope debris flows based on two specific examples.

Preliminary a general characterization of gravitational mass movements and their trigger mechanisms, as well a term explanation will be given.

In particular, sliding processes are characterized (landslides in the broader sense) with respect to their nomenclature and their sphere of impact. The sphere of impact is of high significance in relation to the risk potential.

The danger area is defined primarily by the range (runout) of such processes. The simulation of the range can be done using various methods and models.

In the wake of this thesis the software RAMMS::Hillslope and a newly developed regional model for range simulation for ESRI ArcGIS are applied to simulate the range of two selected landslides in Carinthia (Gemeinde Feld am See – Hinterrauth und Gemeinde Wernberg – B83).

With the two programs used it is attempted to simulate the actual deposits (ranges) of the landslides by backcalculation as realistic as possible.

The comparison of the programs results is used to evaluate the reliability and applicability of the programs. Especially the occurring difficulties and influence quantities during the simulation process as well as the importance of process related resolution and actuality of data is addressed and highlighted.

The findings should make a contribution to the research and development of such programs and the analysis of the processes of spontaneous landslides and slope debris flows.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	III
Vorwort	V
Kurzfassung.....	VII
Abstract	VIII
Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVIII
1. Einleitung	1
1.1. Hintergrund und Veranlassung	1
1.2. Fragestellung, Zielsetzung und Struktur	4
2. Grundlagen	7
2.1. Gravitative Massenbewegungen und Mechanismen	7
2.1.1. Klassifikation gravitativer Massenbewegungen.....	8
2.1.1.1. Klassifikation nach Art der Bewegung	11
2.1.1.1.1. Fallen	11
2.1.1.1.2. Kippen	12
2.1.1.1.3. Rutschen/Gleiten.....	12
2.1.1.1.3.1. Rotationsrutschung	13
2.1.1.1.3.2. Translationsrutschung.....	14
2.1.1.1.4. Driften.....	15
2.1.1.1.5. Fließen	16
2.1.1.1.5.1. Murgang im weiteren Sinne	17
2.1.1.1.5.2. Schutt-/Schlamm-/Erdgang im weiteren Sinne.....	18
2.1.1.1.5.3. Kriechen.....	19
2.1.1.1.6. Komplexe Massenbewegungen	19
2.1.1.2. Klassifikation nach der Aktivität	21
2.1.1.3. Klassifikation nach Art des Materials	24
2.1.1.4. Klassifikation nach der Bewegungsrate.....	26

2.1.2.	Entstehung und Auslösemechanismen von gravitativen Massenbewegungen	28
2.1.2.1.	Geologie und Hangmorphologie als Ursachen	32
2.1.2.1.1.	Geologie und Verwitterung	32
2.1.2.1.2.	Hangneigung und Morphologie	33
2.1.2.2.	Klima und Hydrologie als Ursachen	34
2.1.2.3.	Boden und Vegetation als Ursachen	36
2.1.2.4.	Anthropogene Ursachen.....	37
2.2.	Begriffserklärung	40
2.2.1.	Gefahr und Risiko	40
2.2.2.	Suszeptibilität.....	44
2.2.3.	Vulnerabilität	45
2.2.4.	Risikoanalyse, -bewertung und -management	46
2.2.4.1.	Risikoanalyse	48
2.2.4.1.1.	Risikoeinschätzung	48
2.2.4.2.	Risikobewertung	49
2.2.4.3.	Risikomanagement.....	49
2.2.5.	Maßstab.....	50
2.2.6.	Gefahrenzonenpläne und Gefahrenhinweiskarten.....	52
2.2.6.1.	Grundlagen und Aussagekraft von Gefahrenhinweiskarten	52
2.2.6.2.	Gefahrenzonen, Vorbehalts- und Hinweisbereiche	53
2.2.6.3.	Relevanz für die Verwaltung und unseren Lebensraum	53
2.2.7.	Öffentliche Verwaltung und Gemeindesteckbrief	54
2.2.7.1.	Aufgaben der öffentlichen Verwaltung.....	54
2.2.7.1.1.	Abteilung 8 des Amtes der Kärntner Landesregierung.....	55
2.2.7.2.	Der Gemeindesteckbrief und die örtliche Raumplanung	55
3.	Rutschungen.....	57
3.1.	Charakterisierung von Rutschungen	57
3.1.1.	Klassifikation und Terminologie	57
3.1.1.1.	Merkmale und Dimensionen von Rutschungen	58

3.1.2.	Definitionen und Abgrenzungen.....	60
3.1.2.1.	Definitionen Murgang und Rutschungen	60
3.1.2.1.1.	Murgang	61
3.1.2.1.2.	Permanente Rutschungen.....	62
3.1.2.1.3.	Spontane Rutschungen.....	62
3.1.2.1.4.	Hangmuren.....	62
3.1.2.2.	Abgrenzungen zu benachbarten Prozessen.....	63
3.2.	Entstehung und Wirkungsraum von Rutschungen.....	64
3.2.1.	Begriffe und Definition.....	64
3.2.1.1.	Wirkungsraum von Rutschungen	64
3.2.1.2.	Geometrische Ansätze	65
3.2.2.	Gefährdungsbereiche und Gefahrenpotential	66
3.3.	Simulation der Reichweite von spontanen Rutschungen bzw. Hangmuren.	68
3.3.1.	Voraussetzungen für die Simulation der Reichweite.....	68
3.3.2.	Methoden zur Bestimmung der Reichweite.....	69
3.3.2.1.	Modelle und Modelltypen.....	69
3.3.3.	Modellansätze und Praxiseinsatz.....	71
3.3.3.1.	RAMMS	71
3.3.3.1.1.	Einführung	71
3.3.3.1.2.	Parameter, Module und Output	71
3.3.3.1.3.	Mathematisches Modell.....	73
3.3.3.1.4.	Parameter und Erstellung einer Simulation	75
3.3.3.2.	GIS-gestützte Erstellung von Naturgefahrenkarten	78
3.3.3.2.1.	Einführung	78
3.3.3.2.2.	Parameter und Output.....	78
3.3.3.2.3.	Mathematisches Modell.....	79
3.3.3.2.4.	Parameter und Erstellung einer Simulation	81
4.	Projektgebiete und Daten.....	83
4.1.	Einführung	83
4.1.1.	Geografische Lage und Geomorphologie	83

4.1.1.1. Rutschung Hinterrauth.....	85
4.1.1.2. Rutschung Lichtpold.....	86
4.1.2. Regionale Geologie	87
4.1.2.1. Lokale Geologie der Rutschung Hinterrauth.....	88
4.1.2.2. Lokale Geologie der Rutschung Lichtpold	89
4.2. Daten und Geländeaufnahme	90
4.2.1. Rutschung Hinterrauth	90
4.2.1.1. Geländeaufnahme und Charakterisierung.....	91
4.2.2. Rutschung Lichtpold	96
4.2.2.1. Charakterisierung der Rutschung.....	97
4.3. Datengrundlagen für die Simulation	100
4.3.1. Rutschung Hinterrauth	100
4.3.2. Rutschung Lichtpold	100
5. Ergebnisse und Diskussion.....	101
5.1. Rutschung Hinterrauth.....	101
5.1.1. Ergebnisse der Reichweitensimulation mit RAMMS	101
5.1.2. Ergebnisse der Reichweitensimulation mit dem GIS-AddIn.....	107
5.2. Rutschung Lichtpold	110
5.2.1. Ergebnisse der Reichweitensimulation mit RAMMS	110
5.2.2. Ergebnisse der Reichweitensimulation mit dem GIS-AddIn.....	114
5.3. Vergleich der Ergebnisse und Diskussion	116
6. Zusammenfassung und Ausblick	123
Literaturverzeichnis	129
Anhang	134
A1.....	135
A2.....	136
A3.....	139

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Grundtypen von Gleit- und raschen Fließbewegungen im alpinen Raum (MEYER, 2010)	10
Abbildung 2-2: Schematisches Blockbild eines Felssturzes (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	11
Abbildung 2-3: Schematisches Blockbild von Kippversagen (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	12
Abbildung 2-4: Schematisches Blockbild einer Rotationsrutschung (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	13
Abbildung 2-5: Schematisches Blockbild einer Translationsrutschung (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	14
Abbildung 2-6: Schematisches Blockbild für laterales Driften (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	15
Abbildung 2-7: Driften von Sandsteinblöcken (a) auf Mergel (b) im Elbsandsteingebirge auf liegendem Sandstein (c) und plastifiziertem Mergel (d) (JOHNSEN, 1984).....	15
Abbildung 2-8: Typisierung von Massenbewegungen (ZEPP, 2008).....	16
Abbildung 2-9: Schematisches Blockbild eines Murgangs (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	17
Abbildung 2-10: Schematisches Blockbild einer Schuttlawine (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	18
Abbildung 2-11: Schematisches Blockbild eines Kriechanges (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	19
Abbildung 2-12: Rutschung vom Gschlifgraben 2008 (PÜHRINGER, 2013).....	20
Abbildung 2-13: Unterschiedliche Stadien der Aktivität (CRUDEN & VARNES, 1996)	22
Abbildung 2-14: Unterschiedliche Aktivitätsverteilungen von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996).....	22

Abbildung 2-15: Unterschiedliche Aktivitätsarten von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996)	23
Abbildung 2-16: Auszug der Bodenklassifikation (DIN EN ISO 14688-1, 2013)	24
Abbildung 2-17: Einteilung der Bewegungsrate eine Massenbewegung (CRUDEN & VARNES, 1996).....	26
Abbildung 2-18: schematische Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsraten von verschiedenen Massenbewegungstypen (GLADE & CROZIER, 2005)	27
Abbildung 2-19: Grenzbedingung nach Mohr-Coulomb (WITT, 2008).....	29
Abbildung 2-20: Hangsegment unter Einfluss hangparalleler Durchströmung (MEYER, 2010)	30
Abbildung 2-21: Gebirgsrutschung von Goldau (WITT, 2008).....	32
Abbildung 2-22: Verteilung der Hangneigung von 1052 potentiellen Anrisszonen für Hangmuren (MEYER, 2010).....	33
Abbildung 2-23: Hangmorphologieklassen mit häufigsten (rot) Anrisszonen (MEYER, 2010)	34
Abbildung 2-24: Sättigung des Bodens (MONTRASIO & VALENTINO, 2008).....	35
Abbildung 2-25: Beispiele für Massenbewegungen durch Schüttungen (CORNFORTH, 2005)	37
Abbildung 2-26: Beispiele für Massenbewegungen durch Hanganschnitte (CORNFORTH, 2005)	38
Abbildung 2-27: Suszeptibilität für Rutschungen im Auental (Kärnten) (verändert nach (BÄK, et al., 2011))	44
Abbildung 2-28: Segmente der Risikobetrachtung (MARKAU, 2003).....	46
Abbildung 2-29: Flow-Chart des Risikomanagementprozesses für Massenbewegungen (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000)	47
Abbildung 2-30: Schematisches Diagramm des räumlichen und zeitlichen Auftreten von Massenbewegungen (GLADE & CROZIER, 2005).....	50

Abbildung 2-31: Abhängigkeit des Maßstabs von Aufwand und Genauigkeit der Analyse.....	51
Abbildung 3-1: Klassifikation von Massenbewegungen als Funktion des Feststoffgehaltes und der Materialeigenschaften (COUSSOT & MEUNIER, 1996) .	58
Abbildung 3-2: Dimensionen und Merkmale von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993).....	59
Abbildung 3-3: Systematik von Verlagerungsprozessen (ONR 24800, 2009)	60
Abbildung 3-4: Raum-zeitliches Bewegungsverhalten von Rutschungen (ROMANG, 2008)	63
Abbildung 3-5: Geometrische Ansätze einer Rutschung	65
Abbildung 3-6: Gefahreneinstufung für kontinuierliche und spontane Prozesse (BWG, 2004)	67
Abbildung 3-7: RAMMS Workflow mit Modulen, sowie Input- und Output-Funktionen (CHRISTEN, et al., 2012)	72
Abbildung 3-8: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für generelle Einstellungen und Parameter.....	76
Abbildung 3-9: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für Xi- und My-Werte und Informationen des Anrissgebietes	77
Abbildung 3-10: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für das Abbruchkriterium der Berechnung.....	77
Abbildung 3-11: Modellierung von Fließ- und Modellpfaden mit gepufferten Rutschungsgebieten (POLTNIG & BERG, 2013)	81
Abbildung 3-12: Eingabefenster des GIS-AddIns für die Runout-Berechnung (POLTNIG, 2014)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 3-13: Ergebnis der Runout-Berechnung mit drei verschiedenen Parametereinstellungen (POLTNIG, 2014).....	82
Abbildung 4-1: Übersicht der bearbeiteten Rutschungen R1 und R2 (BEV, 2010)...	84
Abbildung 4-2: Lage der Rutschung Hinterrauth (KAGIS, 2014)	85

Abbildung 4-3: Lage der Rutschung Lichtpold (KAGIS, 2014)..... 86

Abbildung 4-4: Geologische Übersicht der Rutschung Hinterrauth (KAGIS, 2014) .. 88

Abbildung 4-5: Geologische Übersicht der Rutschung Lichtpold (KAGIS, 2014)..... 89

Abbildung 4-6: Fotos der Hangmuren im Gegendtal im April 1975 (aus HAFNER, 1978)
..... 90

Abbildung 4-7: Lage und Ausmaß der Rutschung Hinterrauth 91

Abbildung 4-8: Karte des geologischen Geländebefunds der Rutschung Hinterrauth
(STEINER, 2012)..... 92

Abbildung 4-9: Anriss der aktuellen Rutschung mit verlagertem Material (rot) und
Abrisskanten (weiß) des größeren Rutschkörpers..... 93

Abbildung 4-10: Merkmale und Dimensionen der Rutschung Hinterrauth 94

Abbildung 4-11: Anriss und verlagerte Masse der Rutschung Lichtpold (AMLACHER,
14.11.2013) 96

Abbildung 4-12: Rutschung Lichtpold nach der Sanierung 96

Abbildung 4-13: Lage und Ausmaß der Rutschung Lichtpold..... 97

Abbildung 4-14: Merkmale und Dimensionen der Rutschung Lichtpold 98

Abbildung 5-1: RAMMS Simulationsergebnisse der Rutschung Hinterrauth
(Ablagerung + 3D) 103

Abbildung 5-2: RAMMS Simulationsergebnisse (Ablagerung, Fließhöhe und
Fließgeschwindigkeit) 104

Abbildung 5-3: RAMMS Simulationsergebnisse für unterschiedliche Volumina
(Hinterrauth) 105

Abbildung 5-4: Berechnung der Fließpfade und Reichweiten der Rutschung
Hinterrauth nach Variante 1 (POLTNIG, 2014)..... 107

Abbildung 5-5: Berechnung der Fließpfade und Reichweiten der Rutschung Hinterrauth
nach Variante 3 (POLTNIG, 2014) 107

Abbildung 5-6: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 1 (POLTNIG, 2014)
..... 108

Abbildung 5-7: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 3 (POLTNIG, 2014)	108
Abbildung 5-8: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 1 und verkleinertem Anriss (POLTNIG, 2014).....	109
Abbildung 5-9: RAMMS Simulationsergebnisse der Rutschung Lichtpold (Ablagerung + 3D).....	111
Abbildung 5-10: RAMMS Simulationsergebnisse (Ablagerung, Fließhöhe und Fließgeschwindigkeit)	112
Abbildung 5-11: RAMMS Simulationsergebnisse für unterschiedliche Volumen (Lichtpold).....	113
Abbildung 5-12: Parametereinstellungen der Rutschung Lichtpold nach Variante 3 (POLTNIG, 2014)	114
Abbildung 5-13: Generierte Fließpfade der Rutschung Lichtpold (POLTNIG, 2014)	115
Abbildung 5-14: Ergebnisse Runout-Modellierung (links Variante 1, rechts Variante3) (POLTNIG, 2014)	115
Abbildung 5-15: Simulierte Ablagerungen mit RAMMS der Rutschungen Hinterrauth und Lichtpold	116
Abbildung 5-16: Simulationsergebnisse der Rutschung Hinterrauth mit RAMMS und dem GIS-AddIn.....	117
Abbildung 5-17: Simulationsergebnisse der Rutschung Lichtpold mit RAMMS und dem GIS-AddIn.....	119
Abbildung 6-1: Simulationen eines Hangbereichs zur Gefahrenabschätzung mit RAMMS	127

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Klassifikation von Massenbewegungen (VARNES, 1978)	8
Tabelle 2-2: Glossar für die Benennung von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996).....	9
Tabelle 2-3: Klassifikation von Massenbewegungen nach Aktivitätsstatus (CRUDEN & VARNES, 1996).....	21
Tabelle 2-4: Unterschiedliche Korngrößen-Klassifikationen für klastische Sedimente (MARKL, 2008).....	25
Tabelle 2-5: Vorbereitende, auslösende und kontrollierende Faktoren bei Massenbewegungen (DIKAU & GLADE, 2002).....	28
Tabelle 2-6: Empfohlene Maßstäbe für unterschiedliche räumliche Analysen von Massenbewegungen (GLADE & CROZIER, 2005).....	51
Tabelle 3-1: Dimensionen von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993 und PRINZ & STRAUSS, 2006)	58
Tabelle 3-2: Merkmale von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993 und PRINZ & STRAUSS, 2006)	59
Tabelle 3-3: Kriterien für die Beurteilung der Intensitätsklassen von Rutschprozessen (nach BWG, 2004).....	66
Tabelle 3-4: Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Betrachtungszeitraum von fünfzig Jahren (HEINIMANN, et al., 1998)	67
Tabelle 3-5: Beispiele von Modelltypen für unterschiedliche Systemkomponenten (HÜBL, 2012).....	70
Tabelle 3-6: Empfohlene Werte für die μ - und ξ -Koeffizienten (BARTELT, et al., 2011)	75
Tabelle 3-7: Parameter für 3 Varianten der Runout-Berechnungen (POLTNIG, 2014)	82
Tabelle 4-1: Datengrundlagen für die Simulation der Rutschung Hinterrauth.....	100
Tabelle 4-2: Datengrundlagen für die Simulation der Rutschung Lichtpold	100
Tabelle 5-1: RAMMS Simulationsparameter der Rutschung Hinterrauth.....	102
Tabelle 5-2: RAMMS Simulationsparameter der Rutschung Lichtpold	110

1. EINLEITUNG

1.1. HINTERGRUND UND VERANLASSUNG

Unser Lebensraum wird speziell in den Alpen regelmäßig von Naturgefahren, wie Steinschläge, Rutschungen, Muren, Lawinen oder Hochwässer, heimgesucht und aufgrund der davon ausgehenden Gefahr werden immer wieder Menschenleben bedroht. Lebensräume, Siedlungen, Industriegebiete, Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen, etc. liegen oftmals im Gefährdungsbereich solcher Naturgefahren. Treten solche Ereignisse in größerer Form auf, so verzeichnen betroffene Gebiete oftmals enorme Schäden und sind für alle Beteiligten mit großen sozialen und finanziellen Folgen verbunden.

Die Zivilisation drängt immer mehr in Gebiete, die durch solche Gefahren bedroht werden. Auch der Tourismus bildet für einen Standort wie Österreich einen wichtigen Wirtschaftsfaktor und gerade dieser spielt sich in Regionen mit erhöhtem Gefährdungspotential ab. Wichtige Aspekte in unserer Gesellschaft sind Sicherheit und Schutz. Doch es gibt zahlreiche Gebiete im Alpenraum, die durch Naturgefahren erheblich gefährdet und somit keinesfalls als sicher anzusehen sind.

Um für die heutige Gesellschaft eine möglichst hohe Sicherheit für ihren Lebens- und Wirkungsraum zu gewährleisten, ist die Kenntnis von den unterschiedlichen Prozessen und deren Gefährdung unumgänglich. Für die Beurteilung der Gefahren sind unterschiedliche Hilfsmittel notwendig. Dabei muss im Allgemeinen für jede Naturgefährdung ein eigener Apparat zur Verfügung stehen. Die unterschiedlichen Ereignisse wie Hochwasser, Murgang, Rutschung, Lawine oder Steinschlag unterscheiden sich in ihrer Entstehung, ihrem Prozess, ihrer Ausbreitung und ihrer Reichweite und somit der Gefährdung erheblich.

Jeder dieser Prozesse hat einen anderen Wirkungsraum und im Allgemeinen ein sehr unterschiedliches Gefährdungspotential. Es ist wesentlich wo und wie der jeweilige Prozess wirkt. Von einer Lawine oder einem Steinschlag im hochalpinen, unbesiedelten Raum geht nur selten eine Gefährdung für den Menschen aus. Ist jedoch ein Wohngebiet, ein Industriegebiet, ein Kraftwerk, ein Schulgebäude oder eine wichtige Verkehrsverbindung betroffen, umfasst das Gefährdungspotential eine ganz

andere Dimension. Für jeden Prozess und für jedes Gebiet muss die Gefährdung daher separat betrachtet und bewertet werden.

Ein wichtiges Instrument dafür sind Gefahrenhinweiskarten. Dabei handelt es sich um eine grafische Darstellung, in der die Gefährdung, für den jeweiligen Prozess und das jeweilige Gebiet bewertet wird. Eine Bewertung basiert dabei für jeden Prozess auf unterschiedlichen Berechnungen und Modellen. Das Ergebnis ist aber immer eine Karte, in der die Gefährdung in jeweiligen Farbabstufungen grafisch dargestellt werden kann. Eine Gefahrenhinweiskarte ist somit ein wichtiges Instrument, um die Gefährdung in bestimmten Gebieten klar und einfach darzustellen. Sie soll beispielsweise der Raumplanung oder bei der Errichtung von Schutzmaßnahmen helfen.

Für einige Prozesse, wie Lawinen, Hochwässer oder Murgänge gibt es bereits gut funktionierende Modelle und/oder Berechnungsmethoden um Gefahrenhinweiskarten zu erstellen. Dies liegt einerseits an der jahrelangen Forschung und Erfahrung mit diesen Naturgefahren und andererseits an vorhandenen Messreihen, die eine Abschätzung der Wiederholbarkeit und Intensität zulassen.

Für den Prozess der Rutschung und des Steinschlages sind solche Gefahrenhinweiskarten meist nur lokal bzw. für Einzelereignisse verfügbar. Ein Grund dafür ist einerseits das nur lokale Auftreten solcher Gefahren und andererseits sind es die verhältnismäßig geringen Schäden im Einzelfall, welche dadurch verursacht werden.

Beachtet man aber die Häufigkeit dieser Ereignisse, so ist dessen Schadenpotential enorm. Dr. Richard Bäk, vom Amt der Kärntner Landesregierung, schätzt sogar, wenn man die gesamten Schäden, die von Rutschungen und Steinschlägen verursacht werden, betrachtet, dass davon in Summe ein höheres Schadenspotential ausgeht.

Für das Nichtvorhandensein von Gefahrenhinweiskarten für Steinschläge und Rutschungen gibt es mehrere Gründe. Einerseits sind die Prozesse, vor allem die der Rutschung, komplexer und bei weitem nicht so gut verstanden wie beispielsweise der Prozess einer Lawine oder einer Mure. Außerdem lässt sich das Auftreten einer Rutschung oder eines Steinschlages viel schwieriger vorhersehen, als beispielsweise das eines Murgangs, welcher oft an Gerinne gebunden ist.

Andererseits sind die Auswahl bzw. die Verfügbarkeit der Parameter und die Erstellung eines Modells für die Simulation um einiges aufwändiger. Vor allem der Prozess der Rutschung hängt von zahlreichen Parametern ab und ist schwierig zu interpretieren. Um die Gefährdung eines bestimmten Objektes oder Bereiches zu verifizieren, sind fachliches Knowhow und meist detaillierte Untersuchungen notwendig. Für Einzelereignisse bzw. -objekte gibt es bereits einige international etablierte Methoden um die Gefährdung zu bewerten und dagegen Maßnahmen einzuleiten. Aber diese liefern meist nur Punktinformationen, welche für eine flächendeckende Gefährdungskarte nur bedingt hilfreich sind.

Das Ziel in naher Zukunft sollte jedoch sein, dass auch für den Prozess der Rutschung und des Steinschlages eine Gefahrenhinweiskarte zur Verfügung steht. Dazu sind aber, für bestehende Methoden, Daten und Informationen notwendig, deren Verfügbarkeit begrenzt ist bzw. deren Aufnahme Zeit und Budget des Auftraggebers ausschöpfen würden. Es sollen daher Instrumente geschaffen werden, mit denen Gefahrenhinweiskarten flächendeckend einfach und mit vertretbarem Kostenaufwand erstellt werden können. Einfachere Instrumente bedingen natürlich einen Abschlag der erzielbaren Prognoseschärfe, aber weniger Informationen, die auf eine Gefährdung hinweisen, sind besser als gar keine Informationen.

Wie wichtig aber ein Werkzeug zur Beurteilung solcher Naturgefahren ist, zeigen die zahlreichen Ereignisse, welche in ihrer Häufigkeit und Intensität in den vergangenen Jahren augenscheinlich stark zugenommen haben (FERCHER, et al., 2007; HÜBL, et al., 2009). Die Folgen sind unter anderem die drastisch steigenden ökonomischen, sozialen und ökologischen Schäden, die unsere Volkswirtschaft zu tragen hat.

Unsere Gesellschaft benötigt daher Instrumente um den Lebensraum ausreichend vor den Gefahren der Naturkatastrophen zu schützen und um die Schäden zu vermeiden bzw. zu minimieren.

1.2. FRAGESTELLUNG, ZIELSETZUNG UND STRUKTUR

In einer Kooperation der Regionen Kärnten, Friaul-Julisch Venetien und Veneto wurde im Rahmen des INTERREG IV Programms (Italien-Österreich) das Projekt Nr. 1381 („MassMove - Mindeststandard zur Erstellung von Gefahrenkarten zu Rutschungen und Steinschlägen als Werkzeug für vorbeugende Katastrophenvermeidung“) durchgeführt. In diesem Projekt wurden Mindestanforderungen für die Erstellung von Suszeptibilitätskarten (siehe 2.2.2.) für Rutschungen und Steinschläge in einem Leitfaden festgelegt. Im Zuge des Projekts wurde ein Modell für die Software ESRI® ArcGIS entwickelt, das eine semi-automatische, transparente und kostengünstige Datenverarbeitung für die Erstellung von Suszeptibilitätskarten im regionalen Maßstab ermöglicht.

Auf Grundlage dieses Modells wurde als neues Ziel die Erstellung eines Simulationsmodells für die Abschätzung des Wirkungsraumes von rutschenden und stürzenden Ereignissen im regionalen Maßstab, für die GIS-gestützte Erstellung von Naturgefahrenkarten, formuliert. Durch die unterschiedlichen Prozesse ist eine Reichweitenabschätzung getrennt zu betrachten und in diesem Zusammenhang wird im Zuge dieser Arbeit daher nur der Prozess der Rutschung behandelt.

In diesem Kontext stellt sich die Frage, wie sich Massenbewegungen allgemein klassifizieren lassen und welche Rahmenbedingungen für den Prozess einer Rutschung gelten.

Vor allem die Komplexität der Entstehung und des Ablagerungsverhaltens von Rutschungen erschwert eine allgemeine Abschätzung des Wirkungsraumes und daher ist eine genaue Definition des simulierten Prozesses notwendig. Als zweite Frage gilt es daher zu klären, wie sich der simulierte Prozess von anderen unterscheidet und welchen Wirkungsraum dieser einnimmt.

Vor allem der Wirkungsraum (siehe 3.2.) ist als Zielschwerpunkt zu sehen und daher stellt sich die Frage, ob die Methoden, die für die Abschätzung der Reichweite von lokalen Rutschungen zur Verfügung stehen, zuverlässig sind und ob das neue Modell für den regionalen Maßstab ähnlich zuverlässige und aussagekräftige Ergebnisse liefert, die in weiterer Folge für das Erstellen von Gefahrenhinweiskarten herangezogen werden können.

Zur Beantwortung der Fragen wurden folgende Struktur und Methodik für die vorliegende Arbeit gewählt:

- Zunächst werden in einer intensiven Literaturlerbeit Erkenntnisse über die Thematik gesammelt. Grundlagen dazu, die für die vorliegende Arbeit von Relevanz sind, werden strukturiert erklärt. Dabei wird ein Überblick über Naturgefahren und dessen Gefährdungspotential gegeben. Vor allem gravitative Massenbewegungen werden im Detail behandelt. Es wird auf die Klassifikation eingegangen und die Prozesse erklärt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Charakterisierung der Auslösemechanismen. Außerdem werden Begriffe und Instrumente, die in diesem Zusammenhang wichtig sind, erklärt und definiert.
- Im zweiten Teil der Arbeit wird vor allem auf den Prozess der Rutschung genauer eingegangen. Der Schwerpunkt der Arbeit behandelt den Prozess der seichten Rutschung bzw. Hangmure. Als seichte Rutschungen sind in diesem Zusammenhang Rutschungen zu sehen, die ca. die oberen zwei Meter der Erdkruste betreffen und mit Wasser gesättigt sind bzw. im Zusammenhang mit Starkniederschlägen, Schneeschmelze, etc. auftreten.
Seichte Rutschungen haben in Summe ein hohes Schadenspotential. Ihre Gefahrenbeurteilung ist schwierig und diese Arbeit soll somit eine Hilfe für mögliche weiterführende Arbeiten, mit Bezug auf seichte Rutschungen, darstellen. Dabei werden vor allem Prozesse und Mechanismen, die zu seichten Rutschungen führen, zusammengefasst und die Abgrenzung zu anderen Prozessen definiert.
Weitere wichtige Punkte sind der Entstehungsraum und die Reichweite einer Rutschung und die davon ausgehende Gefährdung. In diesem Zusammenhang wird die Nomenklatur vorgestellt und die Reichweite einer Rutschung definiert.
Voraussetzung einer Rutschung ist ein Anrissgebiet. Es wird auf die Modellierung von Anrisszonen eingegangen.
Ein Hauptaugenmerk liegt auf den Reichweiten und Wirkungsräumen von Rutschungen. Dabei wird auf Simulationsmodelle eingegangen und es werden wichtige Parameter, welche man für die Simulation benötigt, näher gebracht.

- Die vorgestellten Ansätze und Programme werden anhand von zwei ausgewählten Rutschungen (Hinterrauth, Gemeinde Feld am See und B83, Gemeinde Wernberg) im dritten Teil der Arbeit angewandt. Dazu wird eine Geländekartierung durchgeführt bzw. werden vorhandene Daten verwendet.
Anhand der Daten wird eine Simulation mit der Software RAMMS::Hillslope durchgeführt. Die Simulation wird dabei an die Dokumentation der Rutschung angepasst (durch Rückrechnung), um ein „best-fit“-Ergebnis zu erhalten. Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit Ergebnissen einer neuen GIS-Applikation (GIS-Add-In: JrBwgFlowEngine), welche für die Gefahrenbeurteilung im regionalen Maßstab entwickelt wurde, verglichen. Dies soll Erkenntnisse über die Aussagekraft beider Applikationen liefern.
- Im Letzten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert, sowie ein Ausblick auf weiterführende Arbeiten gegeben.

Diese Masterarbeit wird in Zusammenarbeit mit dem Amt der Kärntner Landesregierung – Abteilung 8 (Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz), Unterabteilung Geologie und Bodenschutz – Ansprechpartner Dr. Richard Bäk und dem Joanneum Research, Bereich Resources – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit – Ansprechpartner Dr. Walter Poltnig, durchgeführt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen einen wissenschaftlichen Beitrag zur Verbesserung des dargestellten Problems und eine Grundlage für weiterführende Arbeiten und Modellansätze für die Berechnung der Reichweite und somit dem Gefährdungspotential seichter Rutschungen bieten.

Vor allem soll diese Arbeit der öffentlichen Verwaltung eine Hilfe sein, um Instrumente zu schaffen, mit denen die diversen Aufgabenbereiche leichter bewältigt werden können. Dies bedeutet, dass beispielsweise Gemeinden ein Instrument zur Verfügung steht, um Raumplanungsfragen an das gegebene Risiko im Gemeindegebiet anpassen zu können oder bei Gefährdung einer baulichen Einrichtung in der Gemeinde, unter Zuhilfenahme von Expertenwissen, bedarfsgerecht zu handeln, um das Risiko zu minimieren.

2. GRUNDLAGEN

In diesem Kapitel werden Grundlagen, die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit wichtig erscheinen, erklärt und definiert. Es wird eine Einführung über gravitative Massenbewegungen und deren Auslösemechanismen gegeben.

Weitere wichtige Grundlagen sind Begriffsdefinitionen im Umgang mit Risiko, Gefahr und deren Management.

Außerdem wird auf die Wichtigkeit der Gefahrenzonenpläne und Gefahrenhinweiskarten, sowie deren Aussagekraft und Erstellung eingegangen.

Auch die Aufgaben der öffentlichen Verwaltung werden kurz erläutert, da diese Arbeit einen wichtigen Beitrag für deren Aufgabengebiete liefern soll.

2.1. GRAVITATIVE MASSENBEWEGUNGEN UND MECHANISMEN

Das folgende Kapitel soll einen Überblick über gravitative Massenbewegungen und deren Auslösemechanismen geben.

Gravitative Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete, der Schwerkraft folgende Verlagerungen von Fels, Schutt und Feinsubstrat (VARNES, 1978, CRUDEN & VARNES, 1996 und DIKAU, et al., 1996).

Die Klassifikation von Massenbewegungen basiert auf verschiedenen Faktoren wie Genese, Bewegungsraten, Zusammensetzung, etc. und ist international nicht standardisiert.

Auslösemechanismen können grundsätzlich als natürliche oder durch den Menschen hervorgerufene (anthropogene) unterteilt werden (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Vor allem soll hier auch auf die Problematik der Verwendung unterschiedlicher Klassifikationen und auf die Diskrepanz zwischen englisch- und deutschsprachigem Raum hingewiesen werden.

2.1.1. KLASSIFIKATION GRAVITATIVER MASSENBEWEGUNGEN

Weltweit existieren zahlreiche unterschiedliche Klassifikationssysteme. Auch im deutschsprachigen Raum gibt es keine einheitliche Klassifikation, die Verwendung findet.

Weit verbreitete und etablierte Klassifikationen stammen von VARNES (1978), CRUDEN & VARNES (1996) sowie DIKAU et al. (1996). Die UNESCO WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY (1993) hat eine Standardisierung der Nomenklatur durchgeführt, auf welche die Klassifikationen von CRUDEN & VARNES (1996) sowie DIKAU et al. (1996) aufbauen.

VARNES (1978) klassifiziert gravitative Massenbewegungen einfach nach der Art der Bewegung und nach der Art des Materials (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Klassifikation von Massenbewegungen (VARNES, 1978)

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Nach der Art der Bewegung wird die Kinematik der Massenbewegung in *Fallen*, *Kippen*, *Rutschen/Gleiten* (*rotationsförmig/translationsförmig*), *Driften*, *Fließen*, sowie *kombinierte, komplexe Prozesse* unterteilt. Dabei wird Material (Boden und/oder Gestein, teils in Verbindung mit Wasser) unter Berücksichtigung der Bewegungsrate bewegt.

CRUDEN & VARNES (1996) klassifizieren gravitative Massenbewegungen nach einer taxonomischen Ordnung. Die Klassifizierung einer Massenbewegung beruht auf dem Zustand, der Ausbreitung, dem Typ, der Bewegungsrate, dem Wassergehalt, sowie der Art des Materials und der Bewegung (siehe Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Glossar für die Benennung von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996)

Glossary for Forming Names of Landslides			
ACTIVITY			
STATE	DISTRIBUTION	STYLE	
Active	Advancing	Complex	
Reactivated	Retrogressive	Composite	
Suspended	Widening	Multiple	
Inactive	Enlarging	Successive	
Dormant	Confined	Single	
Abandoned	Diminishing		
Stabilized	Moving		
Relict			
DESCRIPTION OF FIRST MOVEMENT			
RATE	WATER CONTENT	MATERIAL	TYPE
Extremely rapid	Dry	Rock	Fall
Very rapid	Moist	Soil	Topple
Rapid	Wet	Earth	Slide
Moderate	Very wet	Debris	Spread
Slow			Flow
Very slow			
Extremely slow			
DESCRIPTION OF SECOND MOVEMENT			
RATE	WATER CONTENT	MATERIAL	TYPE
Extremely rapid	Dry	Rock	Fall
Very rapid	Moist	Soil	Topple
Rapid	Wet	Earth	Slide
Moderate	Very wet	Debris	Spread
Slow			Flow
Very slow			
Extremely slow			

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem Fließ- und Gleitprozesse wesentlich. MEYER (2010) klassifiziert Grundtypen von Gleit- und raschen Fließprozessen im alpinen Raum nach einer Klassifikation von MOSER & ÜBLAGGER (1984) mit der Erweiterung der „spontanen Rutschungen“ mit graduellen Übergängen innerhalb der Bewegungsvorgänge Gleiten und Fließen (siehe Abbildung 2-1).

BEWEGUNGSVORGANG	I. FESTGESTEINE	II. FESTGESTEINE DER FELS-GÜTEKLASSE E	III. LOCKERGESTEINE	
1. GLEITEN 1.1 rotationsförmig	1.1.1 Felsgleitung ohne vorgezeichnete Gleitfläche Anbruchsform: NISCHENANBRUCH	1.1.2 Rotations-Rutschung in Fels-Güteklasse E Anbruchsform: MUSCHELANBRUCH	1.1.3 Rotations-Rutschung in Lockergesteinen Anbruchsform: MUSCHELANBRUCH (tiefgreifend, flach)	
1.2 translationsförmig	1.2.1 Felsgleitung mit vorgezeichneter Gleitfläche Anbruchsform: NISCHENANBRUCH		1.2.2 Translations-Rutschung in Lockergesteinen Anbruchsform: BLATTANBRUCH (tiefgreifend/ flach)	
2. FLIESSEN 2.1 schnell (m/Jahr)		2.1.1 Schuttstromfließen		
2.2 sehr schnell (5-20 m/sec)		2.2.1 Mure Anbruchsform: RINNENANBRUCH		

Abbildung 2-1: Grundtypen von Gleit- und raschen Fließbewegungen im alpinen Raum (MEYER, 2010)

Spontane Rutschungen gelten als eher kleinräumige Phänomene, die durch Stark- oder Dauerregenereignisse und/oder in Kombination mit Schneeschmelze ausgelöst werden. Unter Zunahme des Wassergehalts und plötzlicher Reduktion der Scherfestigkeit können daraus Schuttströme und Hangmuren entstehen (MEYER, 2010).

2.1.1.1. KLASSIFIKATION NACH ART DER BEWEGUNG

Nach der grundlegenden Klassifikation von VARNES (1978) werden gravitative Massenbewegungen nach der Art der Bewegung in *Fallen, Kippen, Rutschen/Gleiten (rotationsförmig/translationsförmig), Driften, Fließen*, sowie *kombinierte, komplexe Prozesse* unterschieden (siehe Tabelle 2-1).

Die folgenden Beschreibungen und Definitionen der unterschiedlichen Prozesse stützen sich auf die Klassifikation nach VARNES (1978) und stammen aus HIGHLAND & BOBROWSKY (2008).

Am Beginn des Kapitels wurde auf die Diskrepanz der Nomenklatur hingewiesen. Dazu wird in der Folge zu jedem Prozess auf die deutsch- und englischsprachigen Fachbegriffe eingegangen, wobei die Aufzählung nur ein Auszug ist und nicht vollständig sein muss.

2.1.1.1.1. FALLEN

Engl. Nomenklatur: Falls (Rock fall, Debris fall, Earth fall)

Dt. Nomenklatur: Fall, Sturz (Steinschlag, Felssturz, Bergsturz, Erdfall)

Fallbewegungen sind abrupte Bewegungen von Fels oder Lockergestein, welche sich von Steilböschungen oder Klippen loslösen und sich vor allem durch freien Fall, Springen und Rollen auszeichnen. Eine Materialverlagerung muss sich nicht durch freien Fall auszeichnen, um als Fallbewegung verstanden zu werden. Die Ablösung des Materials erfolgt entlang von Flächen, an denen geringe oder keine Scherbewegungen stattfinden (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

In Bezug auf das Volumen kann ebenfalls eine Unterteilung aufgrund der Blockgröße (siehe 2.1.1.2.) erfolgen (Steinschlag – Felssturz – Bergsturz).

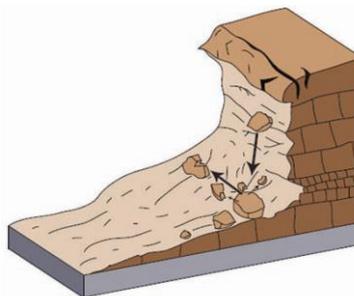


Abbildung 2-2: Schematisches Blockbild eines Felssturzes (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

2.1.1.1.2. KIPPEN

Engl. Nomenklatur: Topple (Rock topple, Debris topple, Earth topple)

Dt. Nomenklatur: Kippen (in der dt. Nomenklatur wird Kippen nicht von Fallen differenziert)

Kippen bezeichnet eine Vorwärtsrotation von Fest- oder Lockergestein eines Hanges um einen Punkt bzw. eine Achse unterhalb des Schwerpunktes des sich lösenden Materials unter Einwirkung der Schwerkraft, sowie Kräfte angrenzender Gesteinseinheiten oder Flüssigkeiten in Rissen und Poren. Kippbewegungen können in Abhängigkeit von der Geometrie des Hanges und der sich bewegenden Massen mit Fall- und Rutschbewegungen zusammenfallen (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Kippbewegungen treten vor allem bei steil in den Hang einfallenden Haupttrennflächen auf. Nach dem Initialstadium kann ein Kippen in Fallen übergehen. Im deutschsprachigen Raum wird Kippen daher meist in Verbindung mit Fallen verstanden.

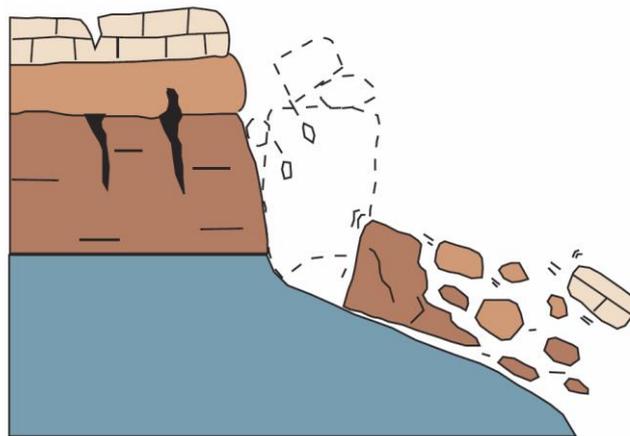


Abbildung 2-3: Schematisches Blockbild von Kippversagen (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

2.1.1.1.3. RUTSCHEN/GLEITEN

Engl. Nomenklatur: Slides (rotational, translational)

Dt. Nomenklatur: Gleitbewegungen, Rutschungen (rotationsförmig, translationsförmig)

Rutschen oder Gleiten beschreibt einen Vorgang, bei dem Fest- oder Lockergestein eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf Gleitflächen oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung vollzieht. Rutschen oder Gleiten kann in der Bewegung noch weiter in rotationsförmige und translationsförmige Bewegung unterteilt werden (siehe Abbildung 2-1) (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

2.1.1.1.3.1. ROTATIONSRUTSCHUNG

Engl. Nomenklatur: Slump, Rotational slip/slide, rock slide, debris slide, earth slide

Dt. Nomenklatur: Rotationsrutschung, Rotationserdrutsch

Bei einer Rotationsrutschung handelt es sich um eine Rutschung bei der sich die verdrängte Masse entlang einer kreis- oder löffelförmigen (engl. spoon-shaped) Scherfläche über eine rotationsförmige Gleitfläche bewegt. Aufgrund der Geometrie der bewegten Masse finden am Kopf (engl. head) kaum Rotationsbewegungen statt und die Masse bewegt sich bis zur Rotationsachse nahezu linear hangabwärts. An der Rotationsachse schreitet die Rotationsbewegung bis an den Fuß der bewegten Masse fort (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Innerhalb des Rutschkörpers kann es aufgrund der Rotationsbewegung zu zusätzlichen Kippversagen kommen. Am Kopf und im Bereich der Hauptmasse der Rutschung kann es dabei zu einem hangabwärts und im Bereich des Fußes zu einem hangaufwärts gerichteten Kippversagen kommen, da dort die Rotationsbewegung am stärksten wirkt (VARNES, 1978).

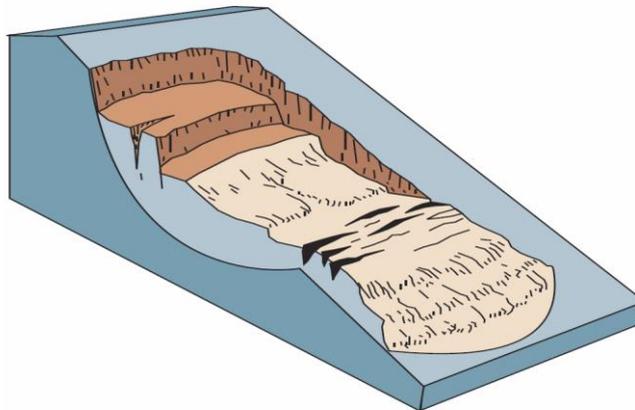


Abbildung 2-4: Schematisches Blockbild einer Rotationsrutschung (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

Eine annähernd kreisförmige Gleitfläche ist vor allem in homogenem Material anzutreffen und die Rutschmassen in sich sind bei ausgeprägter Rotationsbewegung meist wenig gestört. Eine flachschalige bzw. unter Ausnutzung vorhandener Trennflächen auch blockartige oder treppenförmige Gleitfläche, ist bei Rutschungen in der Verwitterungszone und bei in die Tiefe fester werdendem Untergrund zu finden. Dies kann zu kombinierten teils komplexen Formen führen. Bei Anwesenheit von Wasser kann sich der Fuß bzw. die Zunge der Rutschung zu einer komplexen Geröll- oder Schuttstromrutschung entwickeln (PRINZ & STRAUSS, 2006).

2.1.1.1.3.2. TRANSLATIONSRUTSCHUNG

Engl. Nomenklatur: Slide, translational slip, rock slide, debris slide, earth slide, slab slide, sheet slide

Dt. Nomenklatur: Gleitung, Felsgleitungen (Bergrutsch), Blockgleitungen, Schollenrutschungen, Schuttrutschungen, Oberflächenrutschungen, Abgleitungen, Erdrutsch

In einer Translationsrutschung wird die Masse, entlang einer relativ ebenen Gleitfläche mit gar keiner oder nur wenig Rotation und nach hinten Kippen, nach unten bewegt. Bei diesem Prozess können die Massen, im Gegensatz zur Rotationsrutschung, beträchtliche Entfernungen erreichen (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Sie treten häufig an der Grenze von kompetenten und inkompetenten Gesteinen auf, sowie in Schichtgesteinen und Gesteinen mit wechselnder Festigkeit. Bewegungen können auf einer oder mehreren Flächen stattfinden (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Wenn die Hangneigung steil genug und der Scherwiderstand deutlich geringer als die Schubkraft ist, können Translationsrutschungen zeitlich und räumlich „unbegrenzt“ sein. Translationsrutschungen können abhängig von dem Gefüge der abgehenden Massenbewegung in zwei Subtypen unterteilt werden. Von einer „Blockrutschung“ oder Block slide spricht man, wenn die Rutschung aus einer einheitlichen und zusammenhängenden Masse, die kaum bis wenig verformt ist, besteht. Zerfällt die bewegte Masse während der Rutschung in einzelne Blöcke, so spricht man auch von einer „gestörten Rutschung“ oder „Disrupted Slide“ (VARNES, 1978).

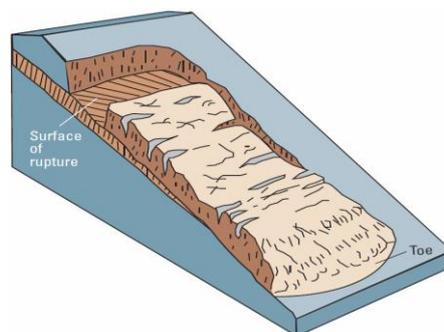


Abbildung 2-5: Schematisches Blockbild einer Translationsrutschung (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

Nach MEYER (2010) sind als potentielle Gleitflächen von Translationsrutschungen hangparallele Grenzhorizonte zwischen humosem Boden bzw. unverfestigtem Sediment und Gestein, Stauhohizonte aus wasserstauenden bzw. schwach durchlässigen Gleitschichten und Inhomogenitäten in Form von Auswaschungen, Übergängen mit wechselnden Bodenhorizonten und an Wurzelhorizonten, zu nennen.

2.1.1.1.4. DRIFTEN

Engl. Nomenklatur: Lateral Spreads (Rock, Debris, Earth), lateral Flow

Dt. Nomenklatur: Gleitbewegungen, laterales Driften/Gleiten

Driften bezeichnet eine laterale Bewegung von Fest- oder Lockergesteinen durch oder bei Einsinken in die liegenden, weniger kompetenten Schichten ohne intensive Scherung auf den Gleitflächen. Driften findet vorrangig auf sehr flachen Hängen bzw. generell im flachen Gelände statt (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Dem lateralen Driften geht meist eine Kippbewegung, bei der sich Fest- oder Lockergesteine an Trennflächen lösen und auf einer inkompetenten, beispielsweise tonigen, Unterlage abdriften (siehe Abbildung 2-7), voraus. Vor allem für das Pleistozän sind solche Hangbewegungen für Auftauperioden charakteristisch (PRINZ & STRAUSS, 2006).

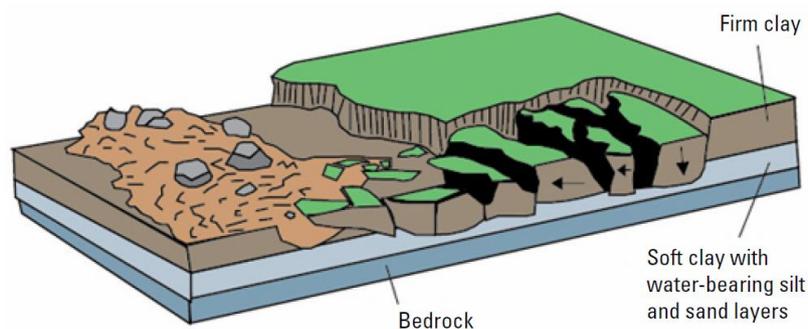


Abbildung 2-6: Schematisches Blockbild für laterales Driften (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

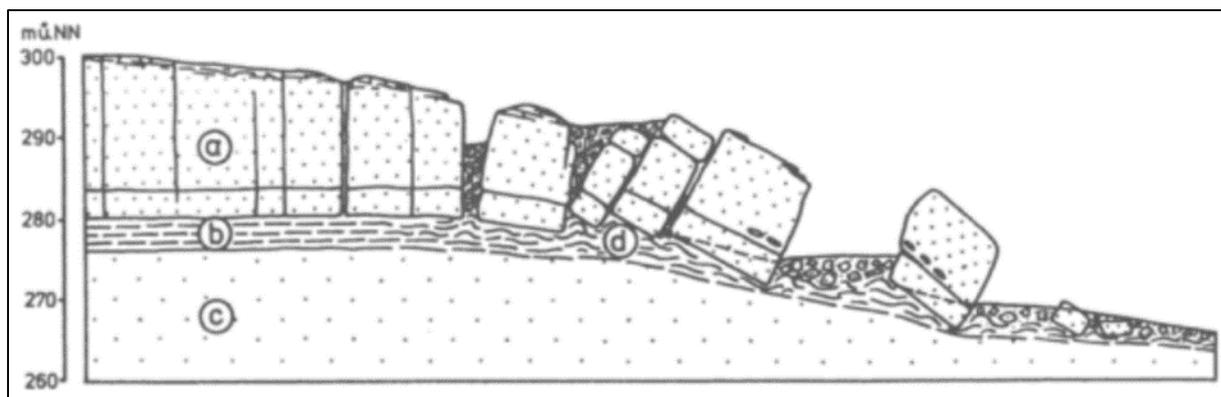


Abbildung 2-7: Driften von Sandsteinblöcken (a) auf Mergel (b) im Elbsandsteingebirge auf liegendem Sandstein (c) und plastifiziertem Mergel (d) (JOHNSEN, 1984)

2.1.1.1.5.1. MURGANG IM WEITEREN SINNE

Engl. Nomenklatur: Debris flow, gully debris flow, slope debris flow, mudslide, shallow landslide

Dt. Nomenklatur: Murgang, Talmure, Hangmure, Fließrutschung

Als Murgang im weiteren Sinn werden Massenbewegungen gesehen, welche Fest- und Lockergesteine und teils organische Substanz in Verbindung mit Wasser beinhalten und sich relativ rasch hangabwärts bewegen. Weiter unterteilt werden können sie aufgrund des beteiligten Materials (Korngröße) und der Bewegungsrate (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

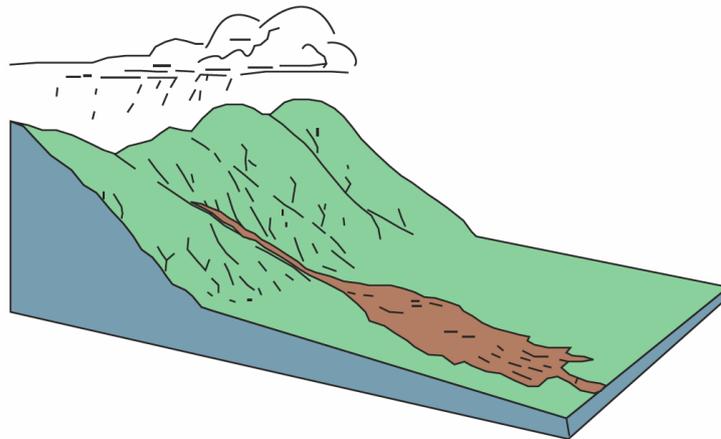


Abbildung 2-9: Schematisches Blockbild eines Murgangs (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

Die Form solcher Massenbewegungen ist meist zungenförmig und durch den hohen Wassergehalt bilden sie am Fuß Schwemmfächer (VARNES, 1978).

Nach BWG (2004) werden Rutschungen im weiteren Sinne in permanente und spontane Rutschungen, sowie Hangmuren unterteilt. Hangmuren sind demnach dem Prozess des Fließens zuzuordnen und als relativ rasch abfließendes Gemisch aus Lockergestein (oft nur der Boden und die Vegetationsbedeckung) und Wasser anzusehen, welches als Ursprung steile Hänge hat.

Als Murgang ist ein schnell fließendes Gemisch aus Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil von ca. 30% bis 60%, der oft schubartig in Gerinnen erfolgt, zu sehen. Typisch sind große Dichten und umgesetzte Feststoffvolumina, zum Teil hohe Fließgeschwindigkeiten und Transportkapazitäten. Der klassische, an Gerinne gebundene Murgang wird auch als Talmure bezeichnet (WSL, 2006).

Genauer wird auf den Prozess des Murgangs im weiteren Sinne in Kapitel 3 eingegangen.

2.1.1.1.5.2. *SCHUTT-/SCHLAMM-/ERDGANG IM WEITEREN SINNE*

Engl. Nomenklatur: Debris avalanche, debris landslide, mudflow, mud-rock-flow, mud stream, rapid earth flow

Dt. Nomenklatur: Sturzstrom, Schuttlawine, Schlammlawine, Schlammstrom, Schuttstrom, Erdfließen, Fließrutschung

Der Unterschied dieser Prozesse zu einem Murgang liegt hauptsächlich an der Bewegungsrate und der Zusammensetzung (VARNES, 1978).

Schutt- oder Schlammlawinen zeichnen sich durch extrem hohe Bewegungsraten aus. Sie werden meist durch Wassersättigung eines instabilen, steilen Hanges hervorgerufen. Dabei kommt es zum teils explosionsartigen Versagen und einer schnellen Hangabwärtsbewegung der Masse (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Ein Erdfließen entwickelt sich eher an flacheren bis mittelsteilen Hängen, mit eher feinkörnigem Gefüge, beispielsweise Ton oder Silt oder stark verwittertem, tonhaltigem Fels. Die Masse in einem Erdfluss bewegt sich als plastisches oder viskoses Medium mit starker interner Deformation. Erdfließen kann Bewegungsraten von extrem langsam bis extrem schnell umfassen und Ausdehnungen von mehreren Kilometern erreichen. Rutschungen oder laterale Driftereignisse können sich am Hangfuß zu Erdfließprozessen entwickeln (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Je nach dem welches Material in der bewegten Masse dominiert, kommt es zu der jeweiligen Nomenklatur. Dominiert feinkörniges Material, so spricht man von Erdgang oder Schlammlawine. Dominiert hingegen grobkörniges Material wird von einem Schuttgang oder einer Schuttlawine gesprochen (VARNES, 1978).

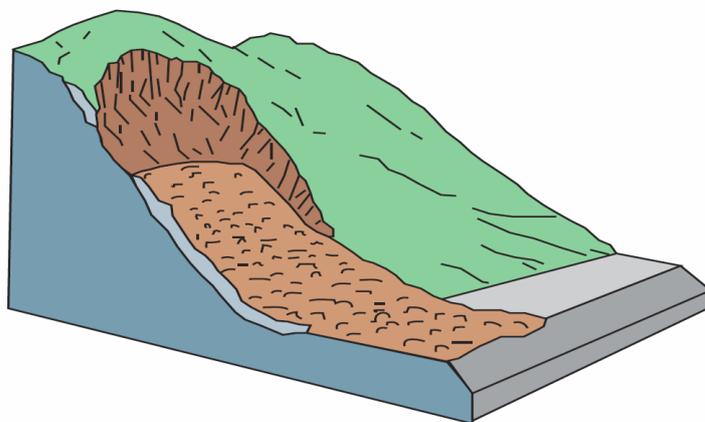


Abbildung 2-10: Schematisches Blockbild einer Schuttlawine (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

2.1.1.1.5.3. KRIECHEN

Engl. Nomenklatur: Creep, soil creep, deep creep, slow earthflow

Dt. Nomenklatur: Bodenkriechen, Kriechhang

Kriechen bezeichnet eine sehr langsame Fließbewegung und kennzeichnet einen instabilen Hang, der sich mehr oder weniger konstant hangabwärts bewegt. Es kann zwischen saisonalem, wo sich die Bewegung an saisonale Ereignisse z.B. Schneeschmelze, hält, kontinuierlichem, das von konstanten Bewegungsraten gekennzeichnet ist, und progressivem Kriechen, in dem Hänge den Versagenspunkt erreichen und andere Prozesse induzieren können, unterschieden werden (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

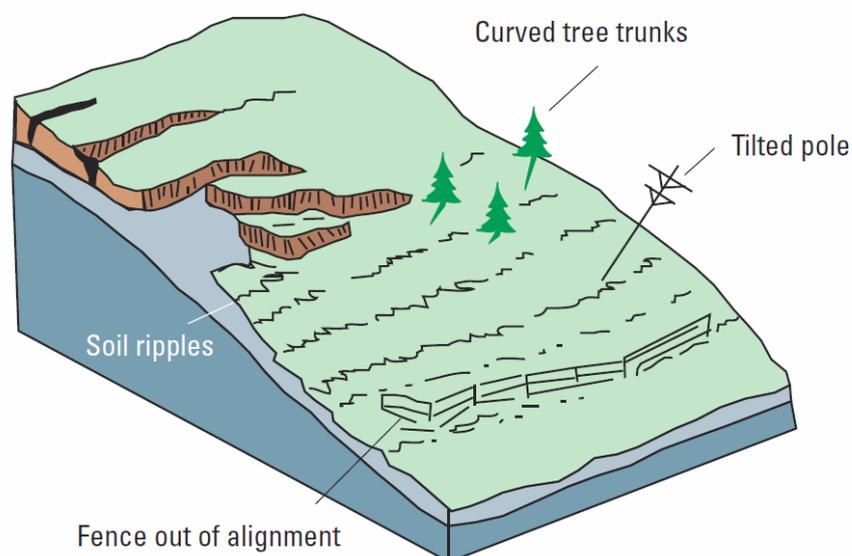


Abbildung 2-11: Schematisches Blockbild eines Kriechhanges (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

2.1.1.1.6. KOMPLEXE MASSENBEWEGUNGEN

Komplexe Massenbewegungen zeichnen sich durch eine Kombination definierter Prozesse aus, welche auch aufeinander folgend in der zeitlichen Entwicklung und in unterschiedlichen Stadien der Bewegung auftreten. Während der Hangabwärtsbewegung verändert sich der initiale Typ in der Regel (VARNES, 1978).

Komplexe Rutschungen werden nach der internationalen Nomenklatur (THE INTERNATIONAL GEOTECHNICAL SOCIETIES' UNESCO WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY, 1993) noch weiter unterteilt:

- Eine Mehrfachrutschung ist durch wiederholte Entwicklung desselben Bewegungstypus gekennzeichnet.
- Als sukzessive Rutschung werden zwei unmittelbar benachbarte Rutschungen desselben Typs bezeichnet
- Eine zusammengesetzte Rutschung zeichnet sich durch zwei oder mehr Bewegungstypen gleichzeitig, in verschiedenen Teilen der Rutschung aus.

In der Praxis können fast alle gravitativen Massenbewegungen als komplex angesprochen werden. Auf Abbildung 2-12 ist die komplexe Rutschung vom Gschlifgraben, in Gmunden, in Oberösterreich, welche sich 2007 zu bewegen begann, abgebildet.



Abbildung 2-12: Rutschung vom Gschlifgraben 2008 (PÜHRINGER, 2013)

2.1.1.2. KLASSIFIKATION NACH DER AKTIVITÄT

Die Aktivität von Massenbewegungen ist ein wichtiger Aspekt bei der Beschreibung. Die Nomenklatur und Stadien der Aktivität wurden von VARNES (1978) definiert. Er unterscheidet zwischen Status (siehe Tabelle 2-3), Verteilung und Art der Aktivität innerhalb einer Massenbewegung.

Tabelle 2-3: Klassifikation von Massenbewegungen nach Aktivitätsstatus (CRUDEN & VARNES, 1996)

	Aktivitätsstatus	Definition
aktiv	aktiv	aktuell in Bewegung
	reaktiviert	Reaktivierung (von Teilen) einer früheren gravitativen Massenbewegung, aktuell in Bewegung
	latent	gravitative Massenbewegung, die innerhalb der letzten 12 Monate in Bewegung war, aktuell aber nicht
	ruhend	gravitative Massenbewegung, die innerhalb der letzten 12 Monate nicht in Bewegung war, aber deren Ursachen noch zu erkennen sind (z.B. ein Fluss, der den Hang unterschritten hat)
inaktiv	abgeschlossen	gravitative Massenbewegung, die innerhalb der letzten 12 Monate nicht in Bewegung war, und deren Ursachen beseitigt sind (z.B. ein Fluss, der den Hang unterschritten hat, hat seinen Lauf verändert)
	stabilisiert	gravitative Massenbewegung, die innerhalb der letzten 12 Monate nicht in Bewegung war, und die durch natürliche Prozesse (z.B. Akkumulation von fluvialen Sedimenten im Auslaufbereich) oder anthropogene Maßnahmen stabilisiert wurde
	relikt	gravitative Massenbewegung, die eindeutig unter anderen geomorphologischen oder klimatischen Bedingungen stattgefunden hat

Bezüglich des Status der Aktivität wird zwischen aktiv und inaktiv unterschieden. Aktive Rutschungen werden in aktiv, reaktiviert, latent, sowie ruhend und inaktive Rutschungen werden in abgeschlossen, stabilisiert und reliktisch unterteilt (VARNES, 1978; CRUDEN & VARNES, 1996).

In Abbildung 2-13 sind unterschiedliche Stadien der Aktivität abgebildet. Schema 1 zeigt ein aktives Kippversagen. In Schema 2 ist eine latente Kippung zu sehen. In Schema 3 wurde die Kippung reaktiviert. In 4, 5 und 6 sind inaktive Stadien zu sehen. Schema 4 zeigt eine abgeschlossene Kippung in der sich die Vegetation beginnt auf der Massenbewegung wieder auszubreiten. In Schema 5 ist ein stabiler Hangbereich und in 6 ein vollkommen regeneriertes Gelände mit einem Relikt, zu sehen.

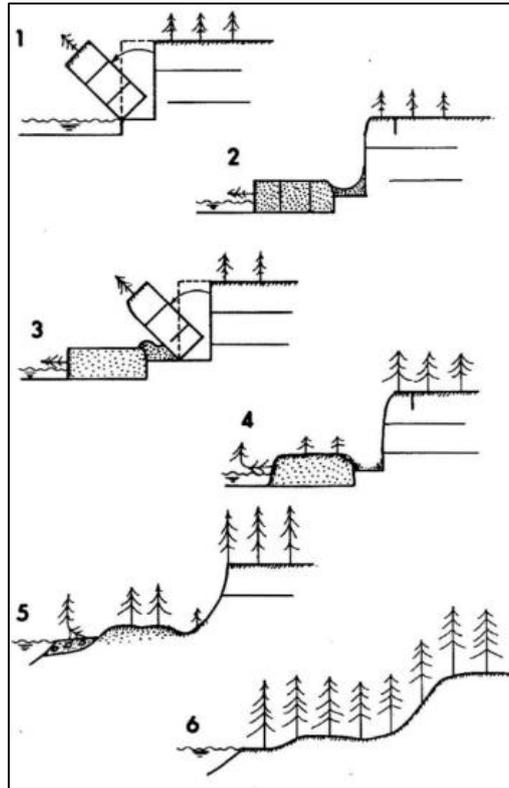


Abbildung 2-13: Unterschiedliche Stadien der Aktivität (CRUDEN & VARNES, 1996)

Bezüglich der Aktivitätsverteilung unterscheidet VARNES (1978) zwischen fortschreitender, rückschreitender, erweiternder, vergrößernder, beschränkter, vermindernder (Volumen) und bewegender Massenbewegung.

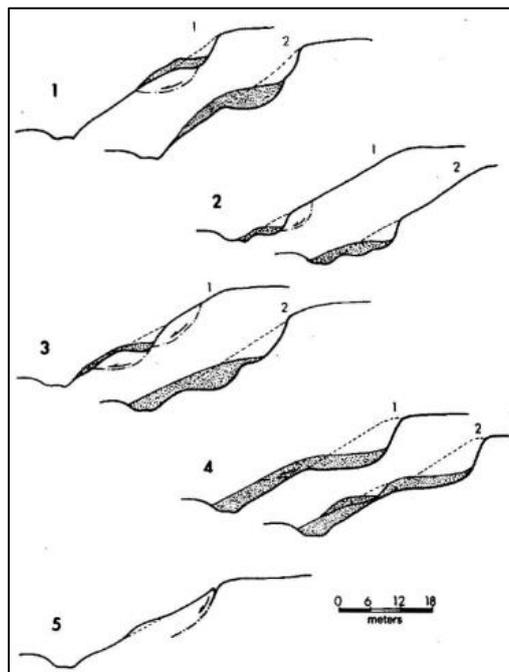


Abbildung 2-14: Unterschiedliche Aktivitätsverteilungen von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996)

Abbildung 2-14 zeigt bezüglich der Aktivitätsverteilung eine fortschreitende (1), eine rückschreitende (2), eine vergrößernde (3), eine vermindernde (4) und eine am Fuß beschränkte (5) Massenbewegung.

Bezüglich der Art der Aktivität unterscheidet VARNES (1978) zwischen komplexen, zusammengesetzten, multiplen, sukzessiven und einzelnen Massenbewegungen. In Abbildung 2-15 ist eine komplexe (1), zusammengesetzte (2), sukzessive (3) und einzelne (4) Massenbewegung abgebildet.

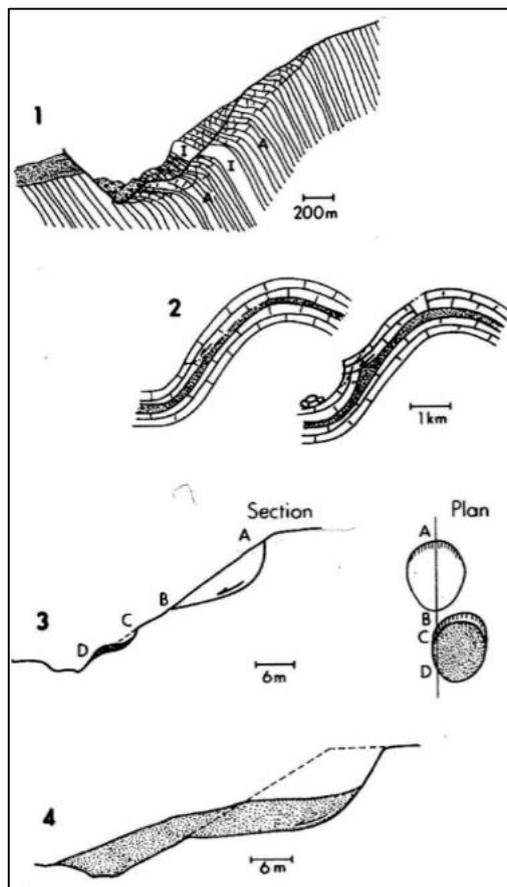


Abbildung 2-15: Unterschiedliche Aktivitätsarten von Massenbewegungen (CRUDEN & VARNES, 1996)

2.1.1.3. KLASSIFIKATION NACH ART DES MATERIALS

Wie vorher bereits erwähnt, lehnt sich die Klassifikation von Massenbewegungen in vielen Fällen an die Zusammensetzung der bewegten Masse.

Massenbewegungen werden großteils aus Fest- und Lockergesteinen, Wasser, Luft und organischem Material zusammengesetzt. Fest- und Lockergesteine können hinsichtlich ihrer Korngröße unterschiedlich klassifiziert werden. Aus der Klassifikation ergibt sich weiters die unterschiedliche Nomenklatur beispielsweise nach VARNES (1978).

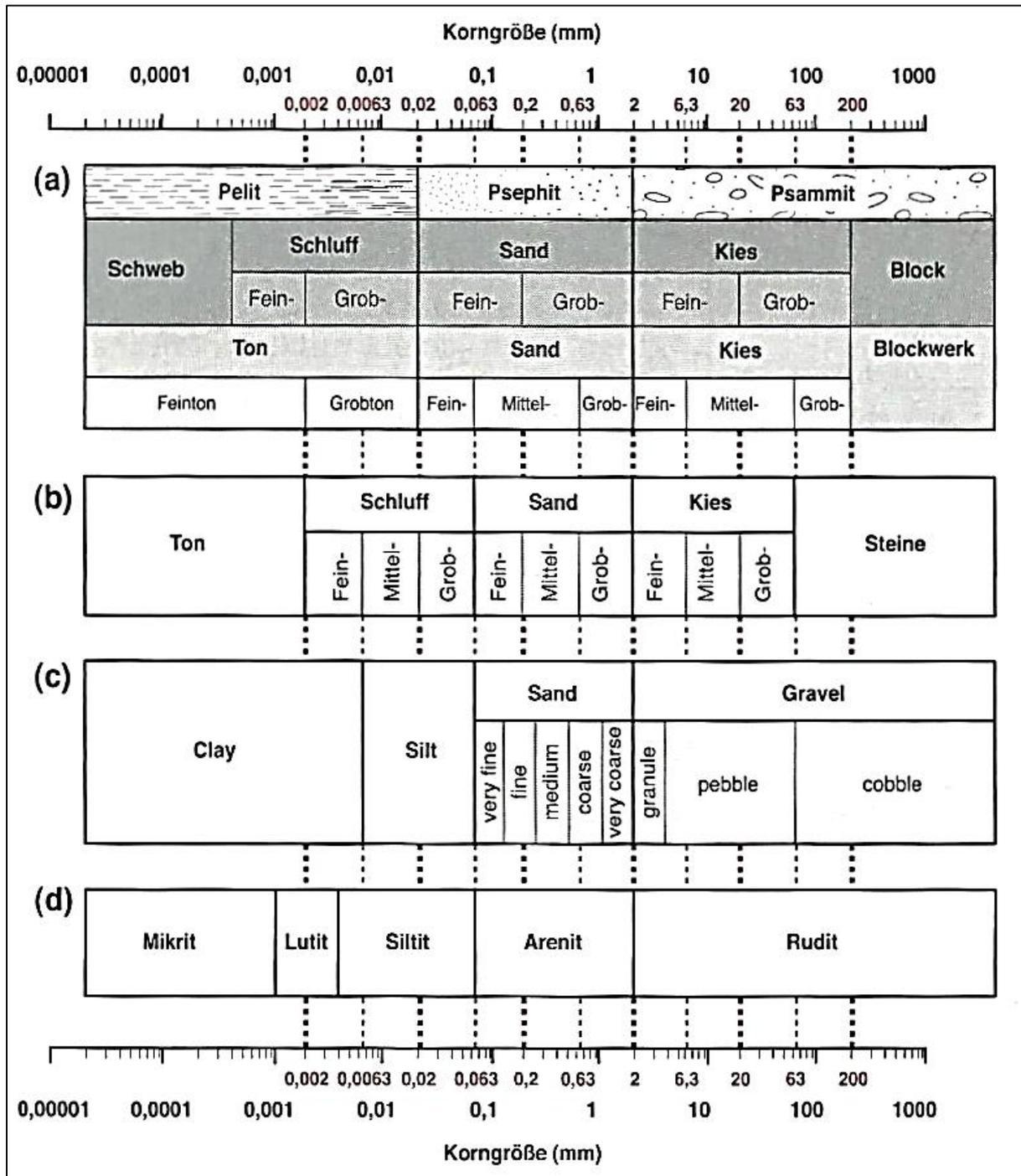
Für die Klassifikation von Boden gibt es unter anderem Normwerke wie ÖNORM B4400-1 (2009) oder die abgelöste, aber noch in Verwendung befindliche DIN 4022-1 (1969) oder die DIN EN ISO 14688 (2013; siehe Abbildung 2-16), die hier als Auszug genannt werden.

Bereich	Benennung	Korngrößenbereich [mm]
sehr grobkörniger Boden	großer Block	> 630
	Block	> 200 - 630
	Stein	> 63 - 200
grobkörniger Boden	Kies	> 2 - 63
	Grobkies	> 20 - 63
	Mittelkies	> 6,3 - 20
	Feinkies	> 2,0 - 6,3
	Sand	> 0,063 - 2,0
	Grobsand	> 0,63 - 2,0
	Mittelsand	> 0,2 - 0,63
Feinsand	> 0,063 - 0,2	
feinkörniger Boden	Schluff	> 0,002 - 0,063
	Grobschluff	> 0,02 - 0,063
	Mittelschluff	> 0,0063 - 0,02
	Feinschluff	> 0,002 - 0,0063
	Ton	< 0,002

Abbildung 2-16: Auszug der Bodenklassifikation (DIN EN ISO 14688-1, 2013)

Für die Korngrößen-Klassifikation klastischer Sedimentgesteinen gibt es neben oben genannter Normen auch noch weitere international in Verwendung befindliche Methoden. Die Tabelle 2-4 aus MARKL (2008) zeigt verschiedene Klassifikationen für klastische Sedimentgesteine. In der Tabelle sind die Klassifikationen nach Engelhardt, 1953 (a), nach DIN 4022, 1969 (b), nach Wentworth, 1922 (c) und nach Folk, 1957 (d), wobei diese ausschließlich für Karbonate gilt, aufgelistet.

Tabelle 2-4: Unterschiedliche Korngrößen-Klassifikationen für klastische Sedimente (MARKL, 2008)



2.1.1.4. KLASSIFIKATION NACH DER BEWEGUNGSRATE

Eine Klassifikation nach der Bewegungsrate ist unumgänglich, vergleicht man beispielsweise einen Murgang mit einem Kriechhang.

CRUDEN & VARNES (1996) unterscheiden Massenbewegungen auch nach ihrer Bewegungsrate und teilen diese in unterschiedliche Geschwindigkeitsklassen ein (siehe Abbildung 2-17). Die Geschwindigkeit ist ein wichtiger Indikator für die Gefährdung, die von einer Massenbewegung ausgeht, da es wesentlich ist, ob sich eine Masse mit wenigen Millimetern pro Jahr oder mehreren Metern pro Sekunde bewegt.

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity
7	Extremely Rapid	5×10^3	5 m/sec
6	Very Rapid	5×10^1	3 m/min
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/hr
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year
2	Very Slow	5×10^{-7}	16 mm/year
1	Extremely Slow		

Abbildung 2-17: Einteilung der Bewegungsrate eine Massenbewegung (CRUDEN & VARNES, 1996)

Nach CRUDEN & VARNES (1996) sind kleine, schnelle Schuttlawinen für totale Verwüstung und Verlust von Menschenleben bekannt. Große Hangbewegungen, mit moderater Bewegungsrate hingegen weisen ein bei Weitem nicht so hohes Gefahrenpotential auf.

Es wird vorgeschlagen, dass bei der Bewertung des Risikos, die betroffene Fläche und die Bewegungsrate mit einbezogen werden. Eine wichtige Grenze in der Bewegungsrate liegt zwischen sehr schnell und extrem schnell, was annähernd der Geschwindigkeit einer rennenden Person gleicht und zwischen langsam und sehr langsam, da bei dieser Bewegungsrate einige Strukturen bereits nicht mehr beeinflusst bzw. beschädigt werden (CRUDEN & VARNES, 1996).

In der Abbildung 2-18 sind schematische Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsraten von verschiedenen Massenbewegungstypen abgebildet. In Schema a) ist die Auswirkung einer Rutschung von einer kriechenden Bewegung bis zu einem plötzlichen Versagen abgebildet. Schema b) zeigt unterschiedliche Geschwindigkeiten eines Murgangs (debris flow) und dessen Auswirkung auf die Ablagerungshöhe. Und Schema c) zeigt einen Felssturz, wobei das Volumen des Impacts sowie die Entfernung zum Versagensort wesentlich für das Schadenspotential sind.

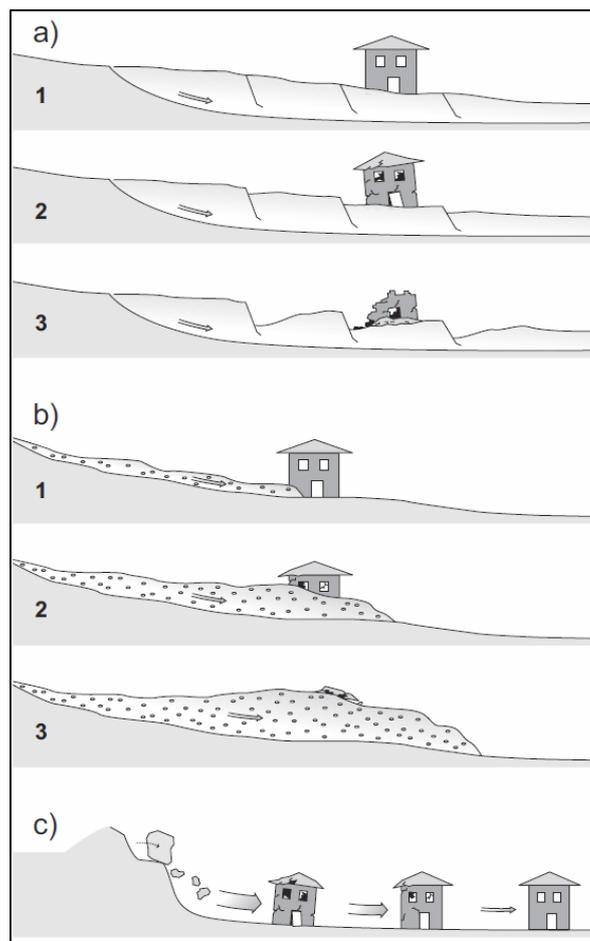


Abbildung 2-18: schematische Auswirkungen unterschiedlicher Bewegungsraten von verschiedenen Massenbewegungstypen (GLADE & CROZIER, 2005)

2.1.2. ENTSTEHUNG UND AUSLÖSEMCHANISMEN VON GRAVITATIVEN MASSENBEWEGUNGEN

Im folgenden Kapitel werden mögliche Auslösemechanismen für gravitative Massenbewegungen vorgestellt. Für die Auslösung von Massenbewegungen ist meist das Zusammenspiel mehrerer Faktoren ausschlaggebend. Um einen Massenbewegungsprozess zu starten sind einerseits gewisse Grundvoraussetzungen, wie beispielsweise Geologie, Hangneigung oder Landnutzung und andererseits auslösende Faktoren nötig.

Tabelle 2-5: Vorbereitende, auslösende und kontrollierende Faktoren bei Massenbewegungen (DIKAU & GLADE, 2002)

Ursache	Vorbereitende Faktoren (Disposition)	auslösende Faktoren (Trigger)	bewegungskontrollierende Faktoren
Geologie	Diskontinuität ¹ (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität ¹ (z. B. streichen/fallen, tektonische Störungen) Verwitterung Isostasie	Erdbeben Vulkanausbrüche	Gesteinstypen Diskontinuität ¹ (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität ¹ (z.B. streichen/fallen, tektonische Störungen)
Klima	lang anhaltender Vorregen Schneeschnmelze Frost-Tau Zyklen	Niederschlag ¹ (Intensität, Menge) schnelle Schneeschnmelze	Niederschlag (Intensität, Menge)
Boden	Verwitterung geotechnische Materialeigenschaften Bodenart und -typ Schrumpf-Schwell Zyklen subterrane Erosion (z. B. Tunnelerosion)	nicht zutreffend	Wassersättigung Mächtigkeit des Bodens
Vegetation	natürliche Vegetationsänderung ¹ (z. B. Waldbrand, Trockenheit)	nicht zutreffend	Vegetation
Hydrologie	schmelzender Permafrost	schnelle Schwankungen des Grundwasserspiegels, Porenwasserdrucks	Gerinnerauhgigkeit Weitertransport bewegter Massen
Topographie	Hangexposition ¹ Hanghöhe ¹	nicht zutreffend	Hangneigung ¹ Hangwölbung ¹ Tiefenlinien ¹
anthropogen	Entwaldung Staudammbau Entfernung des Hangfußes Belastung des Oberhangs Bewässerung Bergbau künstliche Bewegung (z. B. Sprengung) undichte Wasserversorgung	Hanganschnitte ¹ Hangunterschneidung ¹ Auflast ¹	künstliche Verbauungen Dämme Gerinnebegradigung, -verkleinerung, -vergrößerung

¹ diese Faktoren können, je nach Stabilitätszustand des Hanges, sowohl vorbereitend, auslösend als auch kontrollierend wirken

Nach Tabelle 2-5 können Faktoren in vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende gegliedert werden. Wirksame Ursachen für genannte Faktoren sind die Geologie, das Klima, der Boden, die Vegetation, die Hydrogeologie, die Topographie sowie anthropogene Ursachen, wofür jeweils Faktoren natürlichen und anthropogen Ursprungs zugeteilt werden können. Nach allgemeinen mechanischen Grundsätzen hängt die Standsicherheit eines Hanges von dessen haltenden und treibenden Kräften ab (DIKAU & GLADE, 2002).

Nach der ÖNORM EN 1997-1 (2009) gilt, dass eine ausreichende Sicherheit gegeben ist, wenn das Verhältnis der charakteristischen Widerstände und der charakteristischen Einwirkungen einen ausreichend großen Wert (≥ 1) erreicht.

Grundsatz dafür ist die Grenzbedingung nach Mohr-Coulomb. Diese besagt, dass die maximale Scherspannung τ_{max} linear von der Normalspannung σ , unter Abhängigkeit der inneren Reibung φ und der Kohäsion c , abhängt (WITT, 2008):

$$\tau_{max} = \sigma * \tan(\varphi) + c$$

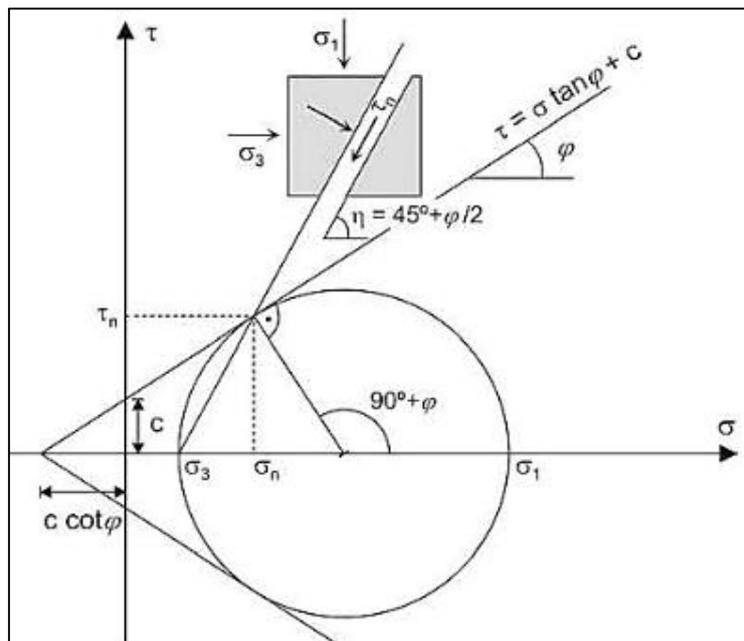


Abbildung 2-19: Grenzbedingung nach Mohr-Coulomb (WITT, 2008)

Demnach kann der Sicherheitsfaktor (engl. factor of safety) wie folgend beschrieben werden:

$$\text{Sicherheitsfaktor } (\eta) = \frac{\text{Rückhaltende Kräfte}}{\text{Treibende Kräfte}}$$

Demzufolge gibt es nach KOLYMBAS (2011) theoretisch drei Stadien für die Standsicherheit eines Hanges:

- $\eta \geq 1$ rückhaltende Kräfte größer als treibende Hang stabil
- $\eta = 1$ rückhaltende Kräfte gleich treibenden Grenzbedingung
- $\eta \leq 1$ rückhaltende Kräfte kleiner als treibende Hang instabil, Versagen

Nachfolgende Standsicherheitsbetrachtungen sollen den Kontext zwischen Theorie und Praxis vermitteln.

Die Betrachtungen stammen aus MEYER (2010) und basieren auf der Annahme, dass der Hang bis zur Geländeoberfläche mit Wasser voll gesättigt ist:

- γ Wichte¹ des adhäsiv feuchten Bodens 20 kN/m^3
- γ' Wichte des Bodens unter Auftrieb $\gamma' = \gamma - (1 - n_{eff}) * \gamma_w \text{ [kN/m}^3]$
- γ_w Wichte des Wassers 10 kN/m^3
- ρ_w Dichte² des Wassers 1000 kg/m^3
- g Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$

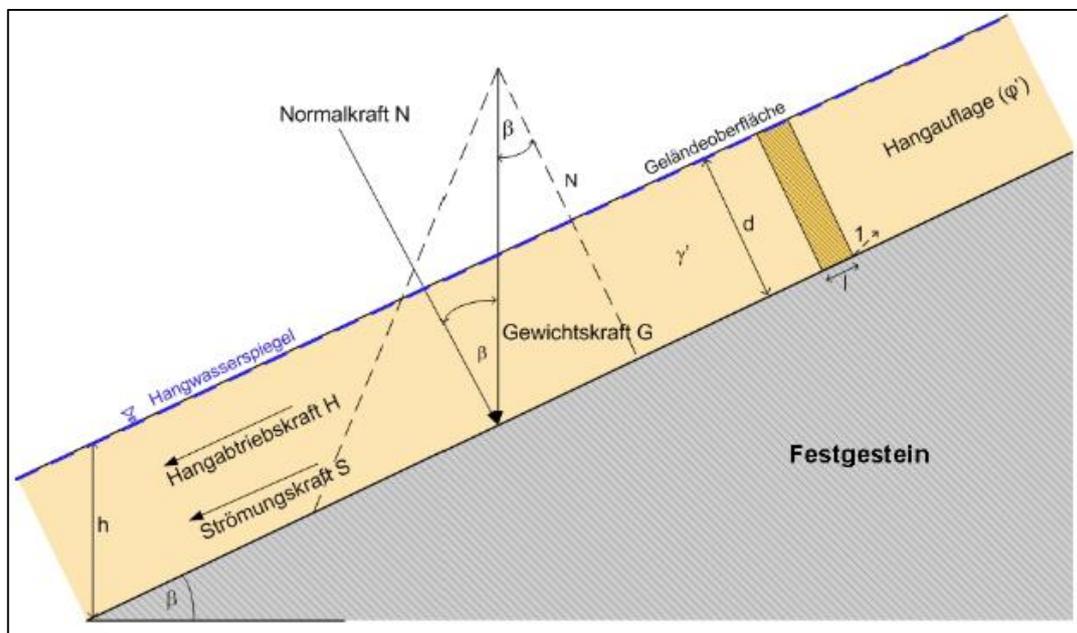


Abbildung 2-20: Hangsegment unter Einfluss hangparalleler Durchströmung (MEYER, 2010)

¹ ist das spezifische Gewicht G eines Körpers bezogen auf das Volumen V ($\gamma = \frac{G}{V}$)

² die Dichte ρ und die Wichte können über die Erdbeschleunigung g ineinander überführt werden ($\gamma = g * \rho$)

Treibende Kräfte:

$$T = H + S = \gamma * d * l * \sin(\beta) + d * l * \rho_w * g * \sin(\beta)$$

$$T = H + S = \gamma * d * l * \sin(\beta) + d * l * \gamma_w * \sin(\beta)$$

Rückhaltende Kräfte:

$$R = N * \tan(\phi) = \gamma * d * l * \cos(\beta) * \tan(\phi)$$

Stand sicherheitsnachweis:

$$\eta = \frac{R}{T} \geq 1$$

$$\eta = \frac{\gamma * d * l * \cos(\beta) * \tan(\phi)}{\gamma * d * l * \sin(\beta) + d * l * \gamma_w * \sin(\beta)} = \frac{\tan(\phi)}{\left(1 + \frac{\gamma_w}{\gamma}\right) * \tan(\beta)} \quad [-]$$

Die Sicherheit eines Hanges, unter Annahme einer Wichte des Bodens unter Auftrieb von $\gamma = 14,5 \text{ kN/m}^3$, würde, unter vorheriger Stand sicherheitsbetrachtung, auf 60% reduziert werden (MEYER, 2010).

2.1.2.1. GEOLOGIE UND HANGMORPHOLOGIE ALS URSACHEN

2.1.2.1.1. GEOLOGIE UND VERWITTERUNG

Geologische Ursachen für Massenbewegungen können sehr vielfältig sein. Vor allem bei Rutschungen großen Ausmaßes spielen geologische Strukturen, wie Diskontinuitäten, Trennflächen, etc. eine wichtige Rolle (siehe Abbildung 2-21). Vor allem Schicht- und Schieferungsflächen, Diskontinuitäten, Verwitterungshorizonte und sonstige geologische Grenzflächen sind als vorbereitende Faktoren wesentlich und können als Gleitbahnen bzw. Abrissflächen auftreten (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die natürliche Änderung der Geometrie eines Hanges. Eine Änderung der Geometrie, beispielsweise eine Versteilung eines Hanges, führt zu einer Veränderung des Kräftegleichgewichts und führt zur Abnahme der Standsicherheit. Dies kann natürlich durch Verwitterung, beispielsweise durch die Erosion eines Hangfußes durch einen Fluss, geschehen (WITT, 2008).

Als auslösende Faktoren sind hinsichtlich der Geologie einerseits die geologischen Strukturen selbst zu nennen und andererseits vulkanische und seismische Aktivität, sowie für fast alle Faktoren, hydrologische Prozesse (DIKAU & GLADE, 2002).

Erdbeben erhöhen die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Massenbewegung erheblich. Geologische vorbereitende Faktoren können, durch von einem Erdbeben hervorgerufene dynamische Belastungen, zum Versagen „verleitet“ werden und Massenbewegungen induzieren. Vulkanische Aktivität kann beispielsweise durch den Effekt der Abschmelzung von Gletschern Massenbewegungen hervorrufen. Aber auch die Eruption selbst kann unter Umständen Massenbewegungen wie Murgänge (Lahars) hervorrufen (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Im Jahre 1806 ereignete sich die Gebirgsrutschung von Goldau. Dabei rutschten etwa 40 Mio. m³ an Material auf den ins Tal geneigten Schichtflächen auf die Ortschaft Goldau und zerstörten sie komplett. Langanhaltende Regenfälle in Kombination mit der Schneeschmelze waren Auslöser (WITT, 2008).

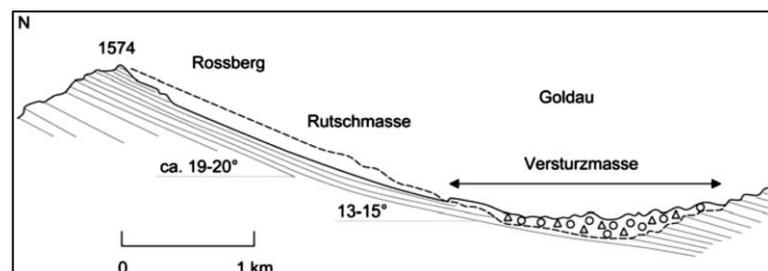


Abbildung 2-21: Gebirgsrutschung von Goldau (WITT, 2008)

2.1.2.1.2. HANGNEIGUNG UND MORPHOLOGIE

Die Hangneigung hat einen wesentlichen Einfluss als vorbereitender Faktor. Morphologische Ursachen können unter anderem tektonisch (gebirgsbildende Hebungen) oder Talvertiefungen und Übersteilungen von Hängen sein, die durch Erosion hervorgerufen werden (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Besonders eiszeitliche Gletscher hinterließen typische Trog- oder U-Täler, deren ursprüngliche Böschungen durch den Gletscher teils ausgeräumt und als Moränen abgelagert wurden. Nach dem Gletscherrückzug blieben übersteilte Hangbereiche zurück, die bis heute anfällig für Massenbewegungen sind (WITT, 2008).

Bezugnehmend auf diese Arbeit ist festzuhalten, dass Anrisszonen von Hangmuren (siehe 3.1.2.1.4.) in einem bestimmten Hangneigungsbereich auftreten. In MEYER (2010) wurden 1052 Einzelereignisse statistisch ausgewertet (siehe Abbildung 2-22). Dazu wurden Gefährdungsbereiche (G1 und G2) aus dem Verhältnis der relativen Häufigkeit zur Klassenbreite empirisch bestimmt. Das arithmetische Mittel liegt bei einer Hangneigung von $35,3^\circ$ mit einer Standardabweichung von $5,5^\circ$. Der primäre Gefährdungsbereich liegt zwischen $29,8^\circ$ und $40,8^\circ$ und die sekundären Bereiche zwischen $24,3^\circ$ bis $29,8^\circ$ bzw. $40,8^\circ$ bis $46,3^\circ$.

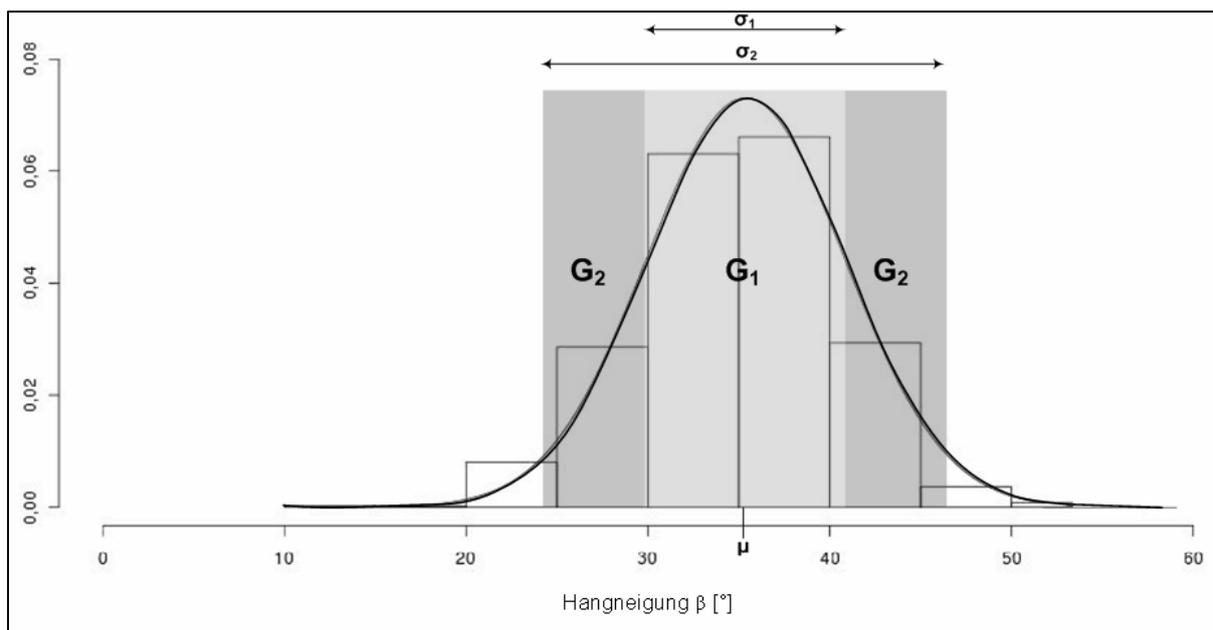


Abbildung 2-22: Verteilung der Hangneigung von 1052 potentiellen Anrisszonen für Hangmuren (MEYER, 2010)

Aus MEYER (2010) ist auch eine statistische Auswertung bezüglich der Hangmorphologie zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass das Auftreten von Anrisszonen sowohl entlang planarer Längs- und Querprofile, als auch entlang planarer Längsprofile mit konkaven Querprofilen, sowie an (Terrassen-) Kanten ein Maximum zeigt (siehe Abbildung 2-23).

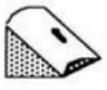
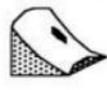
	In Hangfalllinie nach aussen gewölbt (konvex)	In Hangfalllinie ohne Wölbung (planar)	In Hangfalllinie nach innen gewölbt (konkav)
Im Querprofil nach aussen gewölbt (konvex)	 1	 4	 7
Im Querprofil ohne Wölbung (planar)	 2	 5	 8
Im Querprofil nach innen gewölbt (konkav)	 3	 6	 9

Abbildung 2-23: Hangmorphologieklassen mit häufigsten (rot) Anrisszonen (MEYER, 2010)

Besonders der Bereich von Hangkanten bzw. -stufen bei konvexen Hangprofilen gilt als besonders gefährdungsrelevant. Konkave Längsprofile hingegen gelten als kaum gefährdungsrelevant. Eine hohe Anrisshäufigkeit zeigen auch planare Formen unter den Querprofilen wobei die Morphologieklassen 5 und 2 als besonders gefährdet gelten (MEYER, 2010).

2.1.2.2. KLIMA UND HYDROLOGIE ALS URSACHEN

Klima und Hydrologie als Ursachen für Massenbewegungen spielen vor allem im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit eine wesentliche Rolle.

Wasser im Allgemeinen ist häufig der auslösende Faktor für Rutschungen und steuert den Prozess (vergleiche Tabelle 2-5 und 2.1.1.). Vor allem die Hanghydrologie ist einer der wichtigsten Faktoren für die Auslösung von Massenbewegungen (SAFELAND, 2012). Als wichtige hydrologische Einflussgrößen sind Grundwasserverhältnisse, Niederschläge, insbesondere Starkregenereignisse, die regionale und zeitliche Verteilung, Einsickerungsraten, Wasserführung einzelner Horizonte oder Bereiche (Stauhorizonte), Nassstellen und Quellen, Überschwemmungen, Permafrost, Schneeschmelze, Frost-Tau-Zyklen, etc. zu nennen (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Die Bewegung von Wasser in den Untergrund kann allgemein durch die Stadien Infiltration, Verteilung, Drainage und Tiefenversickerung beschrieben werden (SAFELAND, 2012). Das eindringende Wasser verändert die Bergwasserverhältnisse und führt zu einer Erhöhung des Porenwasserdruckes und in der Folge zu einer Verringerung der Scherfestigkeit. Die Durchströmung des Hanges induziert eine zusätzliche Strömungskraft (WITT, 2008).

Die Wirkung des Wassers im Untergrund kann sehr vielfältig sein und von verschiedenen Faktoren abhängen. Übersteile Hänge ($> 35^\circ$) können beispielsweise allein durch den Lastzuwachs infolge von Wassersättigung und den Strömungsdruck von Sickerwasser instabil werden und ins Rutschen kommen. Feinkörnige Böden sind beispielsweise durch einen starken Anstieg des Porenwasser- oder Strömungsdrucks gekennzeichnet, welche die Scherfestigkeit vermindern und so die treibenden Kräfte erhöhen (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Durchsickerung und Quellen als vorbereitende Faktoren sind durchaus für die Induktion von Massenbewegungen möglich. Quellaustritte oder Vernässungszonen weisen einen hohen Sättigungsgrad auf. Solche Bereiche sind von einer geringeren Standsicherheit betroffen. Starkregenfälle können in Folge als auslösende Faktoren auftreten (CORNFORTH, 2005).

MONTRASIO & VALENTINO (2008) haben ein Modell für die Sättigung des Untergrunds und darauffolgende Auslösung von seichten Rutschungen entwickelt. Der Boden wird über Makroporen von Grund auf gesättigt. Anhaltender Regen führt auch zu einer vollständigen Sättigung der Mikroporen. Die Sättigung bildet ein kontinuierliches Stratum und dies kann in Folge zum Rutschprozess führen, da die Scherfestigkeit durch die Sättigung zu weit verringert wurde. Das Ausmaß der Rutschung hängt vom Stratum des Bodens ab. Dünne Bodenschichten führen eher zu kleinen, ungefährlichen Ereignissen. Mächtige Schichten können hingegen durch die große Menge von Wasser zu katastrophalen Ereignissen führen (siehe Abbildung 2-24).

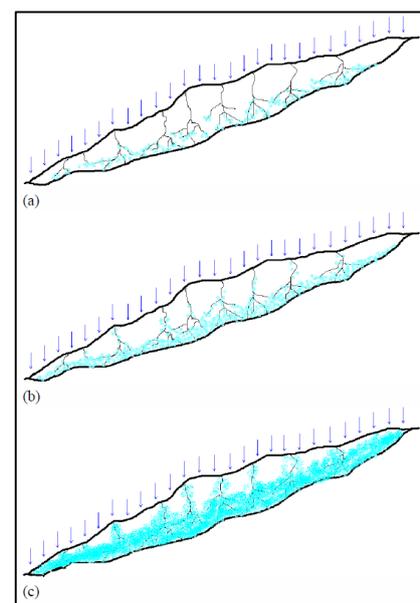


Abbildung 2-24: Sättigung des Bodens (MONTRASIO & VALENTINO, 2008)

2.1.2.3. **BODEN UND VEGETATION ALS URSACHEN**

Nach TOBLER, et al. (2006) ist dem Boden, in Bezug auf Massenbewegungen, eine hohe Relevanz anzurechnen. Böden oder Bodenschichten, die verdichtet oder nur gering durchlässig sind, können einen Rückstau des Bodenwassers verursachen und so rückhaltende Kräfte minimieren. Durch Wechseln des Bodengefüges, der Porenraumverteilung, der Korngrößenverteilung und des Skelettgehaltes entstehen Flächen, die auch durch Horizontübergänge sichtbar sind. Diese Horizontübergänge können als Gleitflächen für Rutschungen und Hangmuren dienen.

Aus pedologischen Untersuchungen konnten TOBLER, et al. (2006) drei wichtige Faktoren in Bezug auf die Bildung von Rutschungen und Hangmuren definieren. Der Boden übt 1. einen Schwammeffekt aus, der dazu führt, dass infiltriertes Wasser schwammartig aufgesaugt wird und durch die Sättigung das Eigengewicht um ein vielfaches erhöht wird. 2. destabilisiert ein Interflow von Bodenwasser die Bodenstruktur zusätzlich. Durch geringe Änderungen der Wassersättigung können sich an Gefüge- und Strukturübergängen 3. Gleitflächeneffekte ausbilden, welche eine Ablösung des oberen Bodenmaterials provozieren können.

Nach MEYER (2010) ist generell von einer rutschungshemmenden Wirkung der Vegetation, vor allem einer Bewaldung, auszugehen.

In Bezug auf Massenbewegungen sind vor allem die Vegetationsarten und der Deckungsgrad zu berücksichtigen. Bezugnehmend auf die Vegetation ist festzuhalten, dass der Verlust der Vegetation, durch beispielsweise Waldbrände, Überweidung, etc. zur Verminderung der Hangstabilität beitragen kann (PRINZ & STRAUSS, 2006).

Wurzelwerke können eine „bioamierende“ Wirkung erzeugen. Das führt zu Stabilisierung und hemmt Anrisse für Rutschungen und Hangmuren (TOBLER, et al., 2006).

Von einer Scherfestigkeitszunahme durch die Vegetation kann nicht grundsätzlich ausgegangen werden, da diese von Art und Alter der Pflanzen, den Wurzeldurchmessern und der Wachstums Umgebung abhängt. Einen deutlich höheren Stabilitätseffekt, als die Scherfestigkeit des Wurzelwerks selbst, zeigen Wurzeltiefe und Drainwirkung (MEYER, 2010).

2.1.2.4. ANTHROPOGENE URSACHEN

Als anthropogene Faktoren im Allgemeinen sind Faktoren zu sehen, die grundsätzlich vom Menschen hervorgerufen werden. Der Mensch hat durch sein Wirken einen erheblichen Einfluss auf die Natur. Durch die Tätigkeit, sei es durch Land- und Forstwirtschaft, Bebauung, Bergbau, etc. erzeugt der Mensch stabilisierende und destabilisierende Faktoren.

Der Mensch destabilisiert Hänge, indem die Hanggeometrie geändert wird (WITT, 2008). Vor allem die Entfernung des Hangfußes und Belastung des Oberhanges sind wesentliche vorbereitende Faktoren für Massenbewegungen (DIKAU & GLADE, 2002). Auch Baumaßnahmen können Massenbewegungen hervorrufen (WITT, 2008).

Schüttungen führen zu einer Erhöhung der Last auf den Untergrund oder zu einer Übersteilung der Hangflanken. Abbildung 2-25 zeigt einige Beispiele und Ursachen von Schüttungen. In a) wird ein aufgeschütteter Damm auf tonigen Lagen dargestellt und es kommt in der Folge zu lateralem Driften bzw. einem Böschungs-Grundbruch. In b) ist eine typische Schüttung abgebildet, um Baugrund zu schaffen. Die Erhöhung der Last führt zum Versagen des Hanges. In c) ist eine Schüttung in Folge des Straßenbaus durchgeführt worden. Die Erhöhung der Last führt ebenfalls zum Versagen des Hanges (CORNFORTH, 2005).

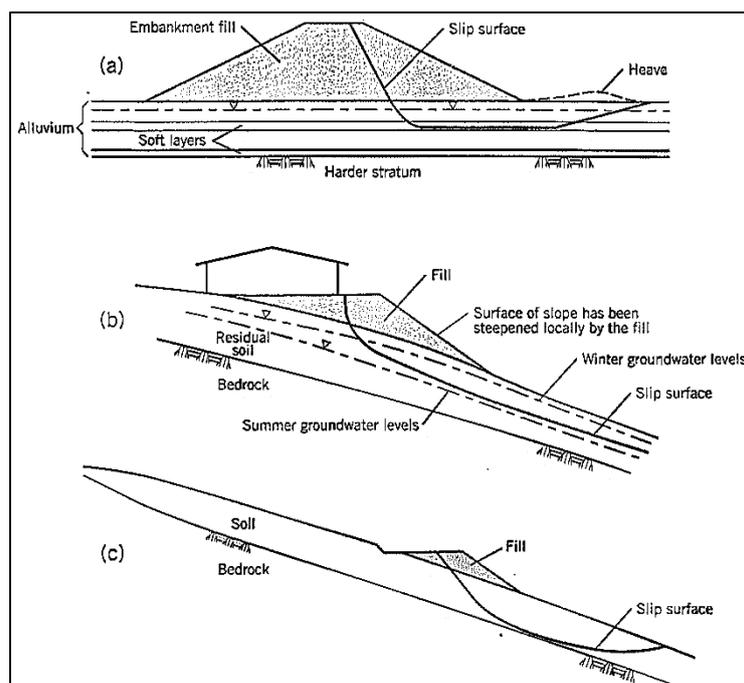


Abbildung 2-25: Beispiele für Massenbewegungen durch Schüttungen (CORNFORTH, 2005)

Ein weitere wichtige Ursache für Massenbewegungen ist das „Anschneiden“ eines Hanges. Durch das „Anschneiden“ wird der Fuß des Hanges entfernt und dies kann zu einer Destabilisierung führen. Abbildung 2-26 zeigt Beispiele von Massenbewegungen die durch das „Anschneiden“ eines Hanges hervorgerufen werden. In a) ist die Übersteilung eines Schuttfächers durch die Entfernung des Hangfußes abgebildet. Schma b) zeigt einen Anschnitt eines Hanges, in dem artesische Bedingungen herrschen. In c) wird ein Anschnitt eines Hanges dargestellt, der mit dem Grundwasser interagiert und in Schema d) ist eine Rotationsrutschung, die durch einen Hanganschnitt hervorgerufen wird, abgebildet (CORNFORTH, 2005).

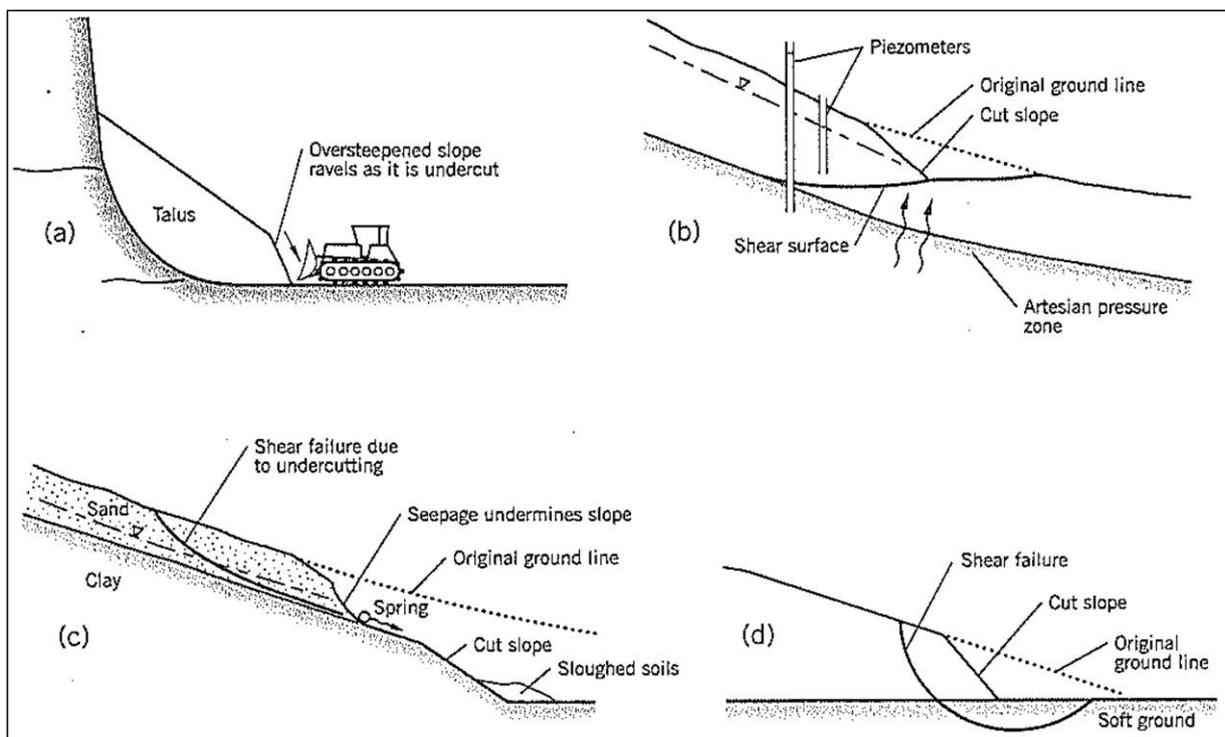


Abbildung 2-26: Beispiele für Massenbewegungen durch Hanganschnitte (CORNFORTH, 2005)

Weitere vorbereitende Faktoren sind unter anderem die Entfernung der Vegetation (Entwaldung, Rodung, etc.), Bergbau, Landwirtschaft (Beweidung, Bewässerung, etc.), Bau von Infrastruktur (Straßennetz, Energieversorgung, etc.), künstliche Bewegung (Sprengung, etc.), defekte Be- bzw. Entwässerung (DIKAU & GLADE, 2002).

Bezüglich Vegetation ist die Bewirtschaftung von Flächen zu beachten. Intensiv genutzte Flächen weisen ein höheres Gefährdungspotential auf. Vor allem dadurch hervorgerufene Bodenverdichtungen sind in Bezug auf Massenbewegungen negativ zu sehen. Es führt zu Verdichtungshorizonten, die als Gleitfläche dienen und zu einer Erhöhung der Oberflächenabflüsse führen können (MEYER, 2010).

Die Versickerung wird eingeschränkt und es können durch die Verdichtungshorizonte höhere Strömungskräfte, wie sie WITT (2008) beschrieben hat, entstehen. Nach MEYER (2010) werden solche Bodenverdichtungen im Alpenraum hauptsächlich durch Beweidung, landwirtschaftliche Geräte und alpinen Sporttourismus hervorgerufen.

Nach TOBLER, et al. (2006) und MEYER (2010) ist auch dem Straßennetz ein erhebliches Gefährdungspotential zuzurechnen. Die Schaffung künstlicher, unbefestigter Böschungen mit übersteilten Hangflanken (zwischen 30° und 40°), die Ablagerung von Bodenmaterial auf hang- oder talseitigen Böschungen und das unkontrollierte, unsorgfältige Ableiten oberflächiger Straßenwässer in Böschungen (TOBLER, et al., 2006) führen nach MEYER (2010) zu einer erhöhten Anrissdichte. TOBLER, et al. (2006) sieht in der Entwässerung einen auslösenden Faktor. Der hangabwärts gerichtete Wirkungsbereich ist jedoch ungewiss.

MEYER (2010) sieht auch im Bereich von planierten Skipisten ein erhöhtes Gefährdungspotential. Bezüglich Entwaldung sind Kahlschlagwirtschaft und Rodung als Förderfaktoren für die Anrisshäufigkeit zu sehen. Eine Entnahme von 40% der Holzmasse führt zu einer Verdoppelung des Feststoffaustrages und Rodungsgebiete sind mit einer zum Teil 5-fach höheren Erosionsrate als ungestörte Vegetationsbereiche zu bewerten. Die Belassung der Wurzelstöcke gilt als stabilitätsfördernd.

2.2. BEGRIFFSERKLÄRUNG

Im folgenden Kapitel werden Begriffe erklärt und definiert, die im Zusammenhang mit dieser und weiterführenden Arbeiten als wichtig anzusehen sind. Ein Schwerpunkt wird hierbei auf das Gefährdungspotential von Massenbewegungen und die damit zusammenhängenden Begriffe gelegt. Auf die Wichtigkeit von Gefahrenhinweiskarten wurde bereits anfangs hingewiesen und darauf soll in diesem Kapitel genauer eingegangen werden. Außerdem werden die Aufgaben der öffentlichen Verwaltung erläutert, da diese Arbeit in Zusammenarbeit mit dem Amt der Kärntner Landesregierung erstellt wurde und auch der Verwaltung zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt wird.

2.2.1. GEFAHR UND RISIKO

Im Folgenden werden die Begriffe Gefahr und Risiko und deren Ableitungen definiert. Das Technical Committee on Risk Assessment and Management (TC32) der ISSMGE (International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) hat ein Glossar von Begriffen für die Risikobewertung herausgegeben. Weitere wichtige Werke sind unter anderem nationale und internationale Normen. Die ONR 24800 (Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definition sowie Klassifizierung) wird in diesem Zusammenhang ebenfalls genannt. Die folgenden Begriffe beziehen sich auf diese Publikationen.

Die Begriffe Gefahr und Risiko werden im Allgemeinen oft als Synonym verwendet, haben aber, wie weiter unten gezeigt, unterschiedliche Bedeutung.

- **Ereignis (event, occurrence)** (ONR 24800, 2009)

Darunter wird die Summe der Vorgänge und Wirkungen von einem oder mehreren Prozessen, die in räumlichem, zeitlichem und kausalem Zusammenhang stehen, verstanden. Die Größenordnung eines Ereignisses wird durch die Ereignishäufigkeit und die Ereignisintensität ausgedrückt.

- Ereignishäufigkeit

Anzahl von Ereignissen bestimmter Größe innerhalb einer Zeitspanne.

- Ereignisintensität

Physikalisches Maß, das die Größenordnung seiner Wirkung ausdrückt.

- **Schaden (damage)** (ONR 24800, 2009)
Als Schaden wird die Summe der negativ bewerteten Folgen (Wirkungen) eines Ereignisses verstanden.
 - Schadensereignis (damaging event)
Darunter versteht man ein Naturereignis, das zu Personenschäden (Menschen verletzt oder getötet) und/oder zu Schäden an Sachgütern und/oder der Umwelt führt.
 - Schadensausmaß (extent of damage)
Darunter versteht man die Größe des Schadens in Bezug auf seine Ausdehnung, den Grad der Zerstörung und die damit verbunden Folgen für Menschen, Sachgüter und Umwelt.
 - Schadensraum (space of damage)
Das ist jene Fläche, die nach dem vollständigen Ablauf eines Ereignisses betroffen ist.
 - Schadenspotential (potential for damage)
Darunter versteht man die Größe eines möglichen Schadens im betrachteten Gefahrengebiet.

- **Gefahr und Gefährdung (danger (threat) und hazard)** (ONR 24800, 2009) und (TC32, 2004)
Als Gefahr wird ein natürlicher Zustand, Umstand oder Vorgang bezeichnet, aus dem ein Schaden für Mensch, Sachgüter und/oder Umwelt entstehen kann. Die Gefahr wird in Bezug auf ihre Geometrie, Mechanik oder anderer Charakteristika beschrieben. Eine Gefahr kann existieren (z.B. kriechender Hang) oder potentiell sein (Felsklippe). Die Charakterisierung einer Gefahr beinhaltet keine Voraussage.
Unter einer Gefährdung versteht man eine konkrete Gefahr, die sich auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Objekt/Subjekt bezieht. Die Gefährdung bezieht das Eintreten einer Gefahr in einer bestimmten Zeitperiode mit ein.

- **Gefahrengebiet (danger-area)** (ONR 24800, 2009)

Unter einem Gefahrengebiet ist eine Zone zu sehen, in der potentiell ein Schaden durch ein Ereignis auftreten kann.

- **Wahrscheinlichkeit (likelihood und probability)** (TC32, 2004)

Der Begriff der Wahrscheinlichkeit wird in statistischer Hinsicht in „likelihood“ und „probability“ differenziert. Unter „likelihood“ versteht man die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses unter gewissen Annahmen, Informationen und Datengrundlagen. Sie wird auch als quantitative Beschreibung der Wahrscheinlichkeit und der Frequenz (Maßzahl der Wahrscheinlichkeit – drückt Häufigkeit des Auftretens eines Ereignisses aus) gesehen. Als „probability“ hingegen wird ein Maß für den Grad der Sicherheit gesehen. Diese Maßzahl kann einen Wert zwischen 0 (unmöglich) und 1 (sicher) annehmen. Sie drückt eine Abschätzung der „Möglichkeit“ des Ausmaßes eines Ereignisses oder die „Möglichkeit“ des Auftretens eines zukünftigen Ereignisses aus.

Einfach gesagt versteht man unter „likelihood“ eine Funktion beliebiger Parameter für gegebene Beobachtungen und unter „probability“ eine Funktion der Beobachtungen für gegebene Parameter.

Beispielsweise bei einem Münzwurf ist die „probability“ für Kopf oder Zahl jeweils 50 Prozent (Wahrscheinlichkeiten für gegebene Parameter stehen fest). In Bezug auf die „likelihood“ ist der Münzwurf bereits erfolgt und ist daher eine Funktion der Wahrscheinlichkeit für z.B. Zahl (Beobachtungen sind gegeben).

- **Risiko und Risikoelemente (risk and elements at risk)** (TC32, 2004)

Unter Risiko versteht man die qualitative und quantitative Charakterisierung eines möglichen, nachteiligen Ereignisses (Wahrscheinlichkeit und Heftigkeit) für Mensch, Sachgüter und/oder Umwelt. Allgemein kann Risiko wie folgend ausgedrückt werden:

$$\text{Risiko} = \text{Schadenshöhe} * \text{Eintrittswahrscheinlichkeit}$$

Als Risikoelemente werden im Zusammenhang mit dieser Arbeit Elemente gesehen, die sich in, durch Massenbewegungen, potentiell beeinflussten Gebiet befinden. Dazu zählen die Bevölkerung, Gebäude, Bauwerke, ökonomische Aktivitäten, öffentliche Dienstleistungen, Infrastrukturen, etc.

- **Akzeptiertes Risiko und tolerierbares Risiko (acceptable risk and tolerable risk) (TC32, 2004)**

Als akzeptiertes Risiko wird ein Risiko verstanden, dass eine Gesellschaft ohne spezifische Maßnahmen eines Risikomanagements akzeptiert.

Als tolerierbares Risiko wird ein Risiko verstanden, mit dem eine Gesellschaft im Vertrauen darauf leben kann, dass es kontrollierbar ist und bei Bedarf reduziert werden kann.

- **Individualrisiko und Kollektivrisiko (ONR 24800, 2009)**

Als Individualrisiko bezeichnet man ein Risiko, dem eine einzelne Person ausgesetzt ist.

Als Kollektivrisiko wird hingegen ein Risiko gesehen, dem eine Mehrzahl von Personen oder die Gemeinschaft als Ganzes ausgesetzt ist.

2.2.2. SUSZEPTIBILITÄT

Als Suszeptibilität wird im Allgemeinen die Anfälligkeit oder Empfindlichkeit für ein definiertes Ereignis gesehen.

In Zusammenhang mit Massenbewegungen wird unter Suszeptibilität die Anfälligkeit einer Fläche/eines Gebietes im Hinblick auf das Auftreten von Massenbewegungen verstanden. Sie wird auch als Funktion der inhärenten Stabilität eines Hanges mit destabilisierenden Faktoren und der Auslösebewegung verstanden. Suszeptibilität wird auch in Zusammenhang mit dem Sicherheitsfaktor gesehen (CROZIER & GLADE, 2006).

Die Suszeptibilität ist vor allem in Zusammenhang mit der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten wichtig. Ohne Informationen für die Anfälligkeit von Massenbewegungen kann keine Gefahrenhinweiskarte erstellt werden. Abbildung 2-27 zeigt eine Suszeptibilitätskarte für Rutschungen im Auental in Kärnten. Darauf wird die Anfälligkeit in Klassen von sehr schwach bis sehr stark grafisch dargestellt.

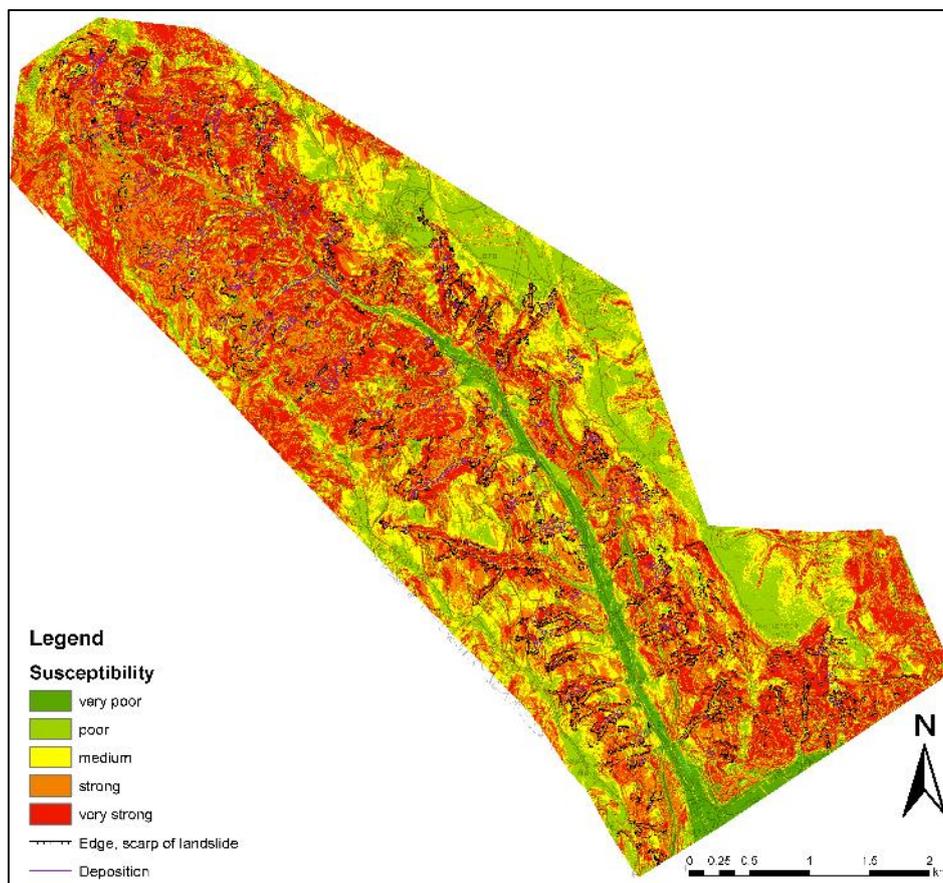


Abbildung 2-27: Suszeptibilität für Rutschungen im Auental (Kärnten) (verändert nach (BÄK, et al., 2011))

2.2.3. VULNERABILITÄT

Vulnerabilität leitet sich vom lateinischen Verb „vulnerare“ (verletzen, verwunden) ab und bedeutet laut Wörterbuch Verletzbarkeit oder Verwundbarkeit.

Nach TC32 (2004) ist unter Vulnerabilität die zu erwartende Schädigung an den Risikoelementen in einem spezifischen Raum, als mögliche Konsequenz bei Eintritt der spezifischen Gefahrensituation, unter Berücksichtigung der Widerstandsfähigkeit des Systems, zu sehen. Der Grad der Schadenserwartung lässt sich als relativer Wert auf einer Skala von 0 (kein Schaden) bis 1 (Totalschaden) ausdrücken. Man kann darunter auch eine Reihe von Umständen und Prozessen, resultierend aus physischen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Faktoren, die die Suszeptibilität einer Gesellschaft auf Naturgefahren erhöhen, sehen.

Nach AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY (2000) muss die Vulnerabilität von Objekten und Personen gesondert betrachtet werden.

Faktoren, die die Vulnerabilität von Objekten beeinflussen sind das Volumen von Massenbewegungen in Relation zu den Risikoelementen, die Position der Risikoelemente (z.B. auf einer bewegten Masse und im Gefahrenbereich), das Ausmaß des Versatzes und der relativen Bewegung innerhalb einer Massenbewegung (für Objekte auf einer bewegten Masse), sowie die Bewegungsrate einer Massenbewegung (FELL, et al., 2005).

Nach FELL, et al. (2005) hat die Bewegungsrate auch einen erheblichen Einfluss auf die Vulnerabilität. Geringe Bewegungsraten bedingen eine geringe Verletzlichkeit. Vor allem im Bezug auf Menschenleben hat die Bewegungsrate einen größeren Einfluss. So sind die Faktoren, die die Vulnerabilität von Personen beeinflussen, die Bewegungsrate einer Massenbewegung (schnelle Massenbewegungen sind im allgemeinen todbringender als langsame, abgesehen vom Volumen), das Volumen einer Massenbewegung (größere sind im allgemeinen todbringender), der Aufenthaltsort der Person (im Freien, im Gebäude, im Fahrzeug, etc.), sowie die Struktur und der Schutzfaktor des Aufenthaltsortes.

2.2.4. RISIKOANALYSE, -BEWERTUNG UND -MANAGEMENT

Die Naturgefahrenforschung lässt sich nach MARKAU (2003) in die folgenden drei Segmente unterteilen und ist in Abbildung 2-28 dargestellt:

- Erfassung von Zuständen (naturwissenschaftliche Risikoanalyse)
- Beurteilung ihrer sozialen Bedeutung (soziopolitische Risikobewertung)
- Optimierung der Risikosituation (ökonomisch-politisches Risikomanagement)

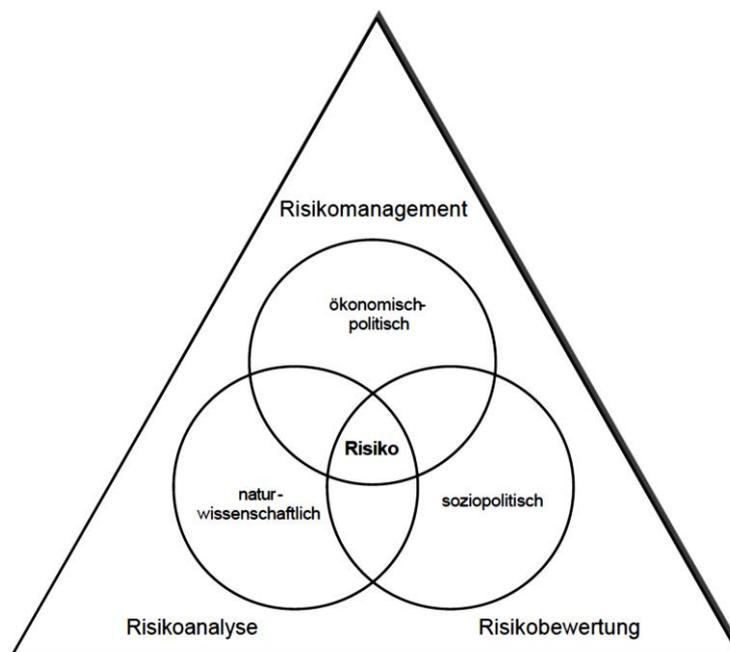


Abbildung 2-28: Segmente der Risikobetrachtung (MARKAU, 2003)

Ein standardisierter Ablauf eines Risikomanagements ist für jede darin involvierte Institution unumgänglich. Der Risikomanagementprozess beinhaltet die Risikoanalyse, die Risikobewertung und die Risikobehandlung. In Abbildung 2-29 ist der Prozess für gravitative Massenbewegungen in Form eines Flow-Charts abgebildet. Im Allgemeinen versucht jeder Prozess die folgenden Fragen zu beantworten (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000):

- Was könnte passieren?
- Wie wahrscheinlich ist es?
- Welche Schäden oder Verletzungen können die Folge sein?
- Wie wichtig ist es?
- Was kann dagegen getan werden?

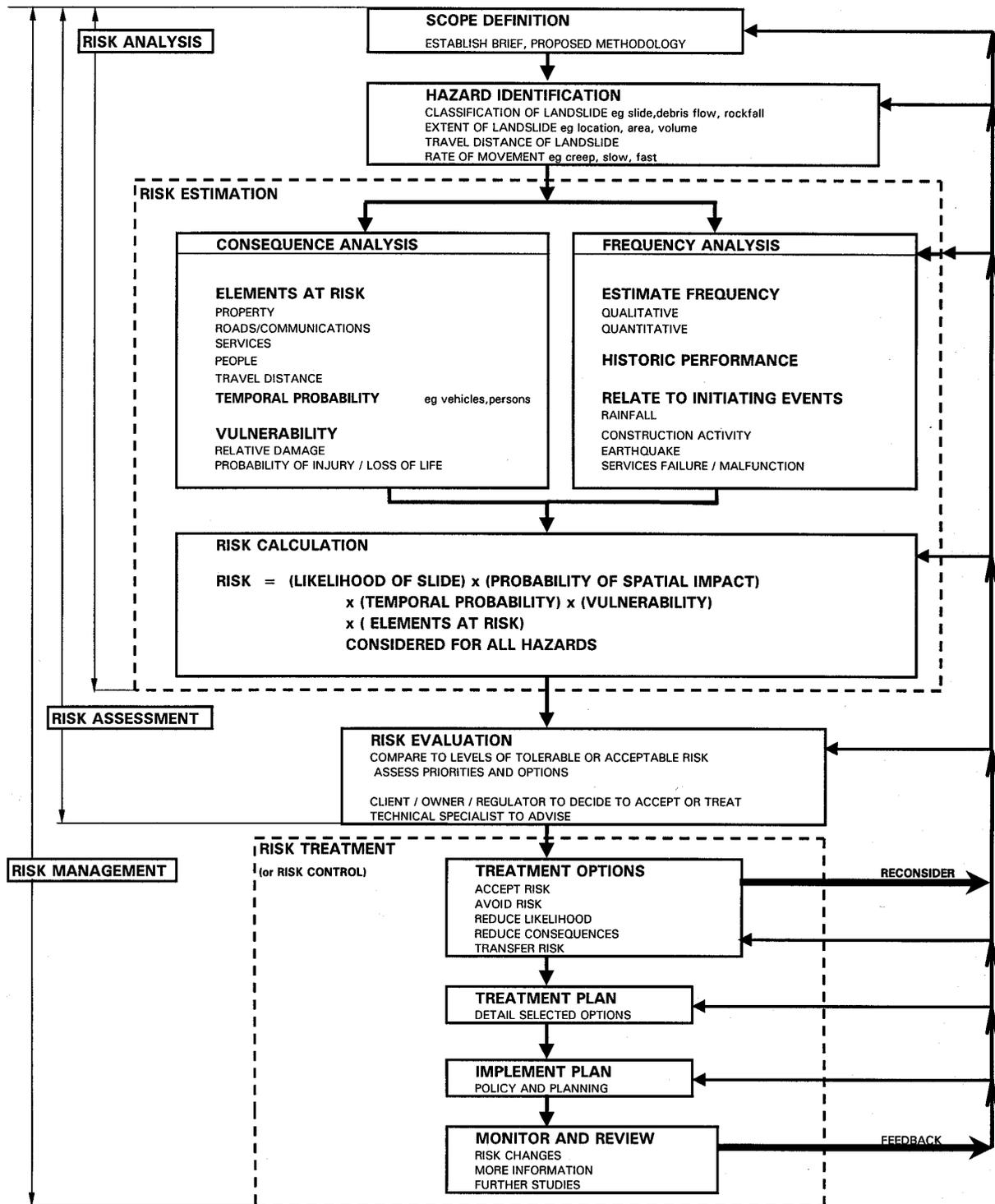


Abbildung 2-29: Flow-Chart des Risikomanagementprozesses für Massenbewegungen (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000)

2.2.4.1. RISIKOANALYSE

Die Risikoanalyse ist ein systematisches, nachvollziehbares und formales Verfahren um einen numerischen oder qualitativen Wert des Risikos, hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit und der Folgen von Ereignissen, Zuständen, Prozessen oder Handlungen, zu ermitteln. Die Risikoanalyse wird in einem abgegrenzten System unter Berücksichtigung der Ursachen und Auswirkungen einer spezifischen Gefahrensituation durchgeführt (MARKAU, 2003).

Die Risikoanalyse setzt sich aus einer Systemabgrenzung und -beschreibung, der Gefährdungsanalyse und der Risikoeinschätzung zusammen. Vor allem die Systemabgrenzung und -beschreibung ist ein wesentlicher Prozess, der die Lokalität, die geografischen und geologischen Rahmenbedingungen, Untersuchungen, Typ der Analyse und die Basis für die Bewertung des akzeptablen und tolerierbaren Risikos beinhaltet. Die Gefährdungsanalyse setzt sich vor allem mit der Klassifikation der Massenbewegung auseinander. Die Risikoabschätzung setzt sich mit der Konsequenz- (Risikoelemente und Vulnerabilität) und Frequenz-Analyse (Frequenz, Historie, Auslöser), sowie der Risikoberechnung auseinander (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000).

2.2.4.1.1. RISIKOEINSCHÄTZUNG

Die Risikoeinschätzung kann quantitativ, semi-quantitativ und qualitativ geschehen. Die Einschätzung sollte möglichst immer quantitativ erfolgen, lediglich die Ergebnisse können qualitativ beschrieben werden (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000).

Nach AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY (2000) beinhaltet die quantitative Risikoeinschätzung die Konsequenz- und Frequenz-Analyse und wird für Objekte und Personen getrennt betrachtet:

$$\text{Objekte: } R_{Prop} = P_H * P_{S:H} * V_{Prop:S} * E$$

$$\text{Personen: } R_{DI} = P_H * P_{S:H} * P_{T:S} * V_{Prop:S}$$

R_{Prop}	Risiko oder Verlust des Objektwertes
R_{DI}	Risiko oder Wahrscheinlichkeit des Verlustes von Leben eines Individuums
P_H	Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr
$P_{S:H}$	Wahrscheinlichkeit der räumlichen Wirkung (Reichweite)
$P_{T:S}$	temporäre Wahrscheinlichkeit der räumlichen Wirkung (z.B. bewohntes Objekt)
$V_{Prop:S}$	Vulnerabilität des Objektes
E	Risikoelement (Wert der Wahrscheinlichkeit)

2.2.4.2. RISIKOBEWERTUNG

Die Risikobewertung ist eine individuelle und/oder kollektive Beurteilung eines Risikos unter Informationsaufnahme und dem Einfluss von persönlichen, sozialen und kulturellen Faktoren. Die Bewertung des Risikos gliedert sich in eine Wahrnehmungsphase und eine Evaluationsphase, die als Resultat einen numerischen oder qualitativen Grad des Risikos ergibt (MARKAU, 2003).

Die Risikobewertung ist der letzte Teil des Risikobewertungsprozesses. Die Hauptaugenmerke liegen in der Evaluierung und der Entscheidung, ob das Risiko akzeptiert oder toleriert wird und bei der Prioritätensetzung. Unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Werten, wie finanziellem Verlust (Kosten-Nutzen, Budget, jährliche Kosten, gesellschaftliche Auswirkungen, etc.) oder Verlust von Menschenleben (individuelles Risiko, soziale Folgen, jährliche Todesopfer, Kosten für ein Menschenleben, etc.) wird die Risikobewertung durchgeführt (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000).

2.2.4.3. RISIKOMANAGEMENT

Das Risikomanagement fasst alle systematischen Einsätze von Methoden zur Gestaltung, Entwicklung und Steuerung von Systemen zur Risikovermeidung, -reduktion und -verteilung unter Beteiligung der potentiell betroffenen Akteure zusammen. In Zusammenhang mit Naturgefahren wird der Begriff Katastrophenmanagement vielfach als synonym mit dem Risikomanagement verwendet (MARKAU, 2003).

Die Risikokontrolle ist der letzte Teil des Risikomanagementprozesses und beinhaltet die Methodologie für die Kontrolle der Risiken. Es setzt sich aus den Möglichkeiten, dem Maßnahmenplan und Monitoring zusammen. Vor allem Maßnahmen, operationelle Ziele und Strategien sind wesentliche Bestandteile der Risikokontrolle und beinhalten Maßnahmen zur Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit oder der Konsequenzen, Maßnahmen für die Reduktion oder Ableitung des Risikos, Monitoring-Programme und Warnsysteme, etc. (AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000).

Der Risikomanagementprozess für Massenbewegungen ist für die Erstellung von Gefahrenzonenplänen ein wichtiges quali- und quantitatives Instrument.

2.2.5. MAßSTAB

Die Betrachtung des Maßstabes ist für die vorliegende Arbeit wesentlich. Massenbewegungen treten in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen auf und können diesbezüglich eine große Variabilität aufweisen (GLADE & CROZIER, 2005).

Auf Abbildung 2-30 ist ein schematisches Diagramm zu sehen, welches das räumliche und zeitliche Auftreten von Massenbewegungen darstellt.

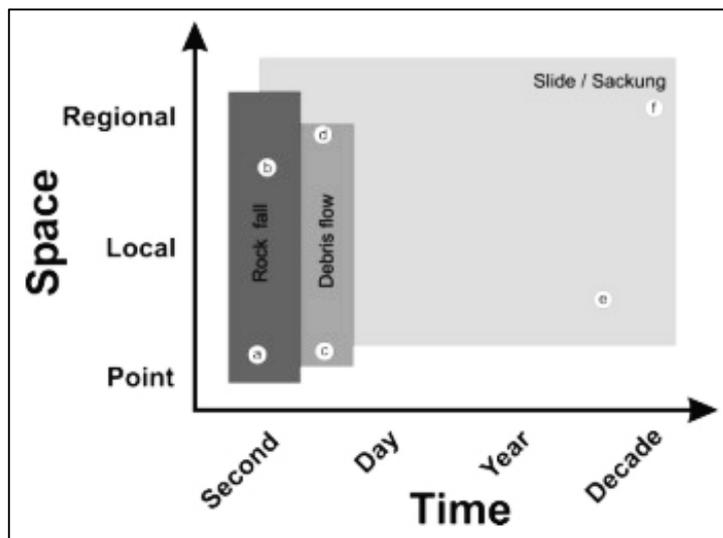


Abbildung 2-30: Schematisches Diagramm des räumlichen und zeitlichen Auftretens von Massenbewegungen (GLADE & CROZIER, 2005)

Ein Hauptaugenmerk in Bezug auf die vorliegende Arbeit wird auf den räumlichen Maßstab, d.h. die Proportion zwischen Modell und Wirklichkeit, gelegt. GLADE & CRUZIER (2005) haben für die räumliche Analyse von Massenbewegungen dazu folgende Klassen publiziert:

- Großer Maßstab < 1:10000
- Mittlerer Maßstab 1:15000 – 1:100000
- Regionaler Maßstab 1:125000 – 1:500000
- Nationaler Maßstab > 1:750000

In Tabelle 2-6 sind empfohlene Maßstäbe für die räumliche Analyse von Massenbewegungen dargestellt.

Tabelle 2-6: Empfohlene Maßstäbe für unterschiedliche räumliche Analysen von Massenbewegungen (GLADE & CROZIER, 2005)

Scale	Qualitative methods		Quantitative methods		
	Inventar	Heuristic analysis	Statistical analysis	Probabilistic prediction analysis	Process-based and numerical analysis
< 1:10,000	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
1:15,000-1:100,000	Yes	Yes	Yes	Yes	Probable
1:125,000-1:500,000	Yes	Yes	Probable	Probable	No
> 1:750,000	Yes	Yes	No	No	No

Abbildung 2-31 soll die Abhängigkeit zwischen Maßstab, Aufwand und Genauigkeit der Analyse von Massenbewegungen illustrieren. Große Maßstäbe bedingen einen höheren Datenaufwand für die Analyse, resultieren aber in einer höheren Genauigkeit bezüglich der Ergebnisse und lassen somit genauere Interpretationen zu. Die Möglichkeiten einer skalenabhängigen Analyse und die resultierende Genauigkeit sind vom Maßstab der Inputdaten abhängig. Detailstudien dazu wurden in TOBLER, et al. (2006) durchgeführt.

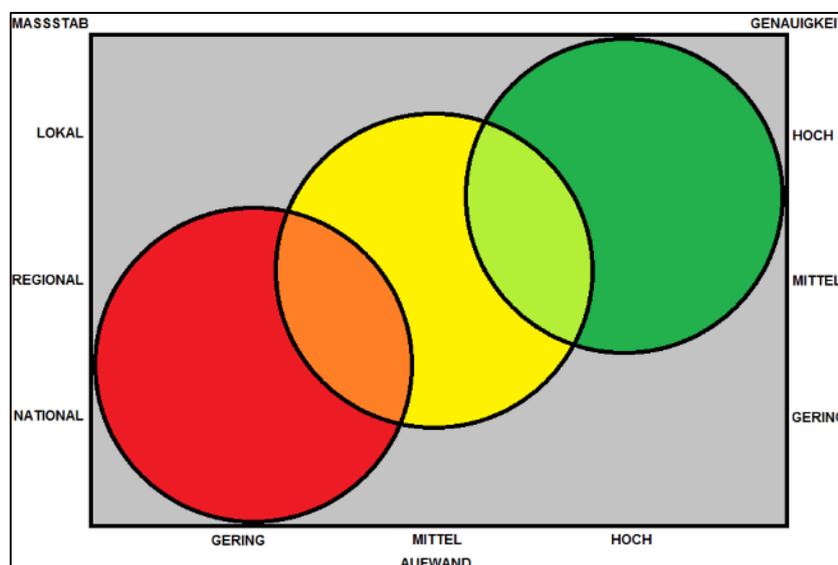


Abbildung 2-31: Abhängigkeit des Maßstabs von Aufwand und Genauigkeit der Analyse

In Bezug auf die vorliegende Arbeit wird als räumlicher Maßstab folgendes definiert:

- Regional Gemeindegebiet bzw. Region 1 bis 100 km²
- Lokal Hang, Einzugsgebiet, Einzelereignis < 1 km²

2.2.6. GEFAHRENZONENPLÄNE UND GEFAHRENHINWEISKARTEN

Gefahrenzonenpläne und Gefahrenhinweiskarten geben einen Überblick über die Gefährdungssituation für den jeweiligen Prozess in einem Einzugsgebiet. Für Gefährdungen durch Flüsse, Wildbäche und Lawinen ist österreichweit ein flächendeckendes Netz von Gefahrenzonenplänen, für den besiedelten Bereich, verfügbar. Solche Pläne werden über Messreihen der Wiederholbarkeit und Intensität erstellt. Gefahrenhinweiskarten enthalten im Gegensatz zu Gefahrenzonenplänen nur Angaben über die Gefahrenart, nicht aber über den Grad der Gefährdung.

2.2.6.1. GRUNDLAGEN UND AUSSAGEKRAFT VON GEFAHRENHINWEISKARTEN

Die Erstellung der Gefahrenzonenpläne ist in Österreich gesetzlich geregelt. So wurde beispielsweise der Gefahrenzonenplan des forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (kurz WLW) für die Gefährdungen durch Wildbäche, Lawinen und allenfalls Erosion (Massenbewegungen wie Steinschlag, Rutschung, Felssturz, etc.). 1975 im Forstgesetz geregelt.

Für Steinschläge und Rutschungen stehen in Österreich kaum Daten für eine flächenhafte und genaue Ausweisung von Gefahrenzonen zur Verfügung. Im Gefahrenzonenplan der WLW werden solche Bereiche daher als braune Hinweisbereiche ausgewiesen.

Im Folgenden werden am Beispiel der Richtlinie zur Erstellung von Gefahrenzonenpläne der WLW einige Grundlagen erklärt.

Als Gefahrenzonen werden Bereiche ausgewiesen, die durch Wildbäche und Lawinen gefährdet sind. Das Flächenausmaß und die Intensität der Gefährdungen werden durch Rote und Gelbe Gefahrenzonen dargestellt.

Vorbehaltsbereiche umfassen Bereiche, deren Freihaltung, für spätere Schutzmaßnahmen, von der WLW für erforderlich erachtet werden oder die wegen ihrer Schutzfunktion hinsichtlich Wildbach- und Lawinengefahren besonders zu bewirtschaften sind.

Bereiche, die aus Ergebnissen von Erhebungen nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit den abgegrenzten Gefahrenzonen und Vorbehaltsbereichen stehen, werden als Hinweisbereiche ausgewiesen (DIE WILDBACH, 2011).

2.2.6.2. GEFAHRENZONEN, VORBEHALTS- UND HINWEISBEREICHE

Die „*Rote Gefahrenzone*“ umfasst jene Flächen, die durch Wildbäche oder Lawinen derart gefährdet sind, dass ihre ständige Benützung für Siedlungs- und Verkehrszwecke wegen der voraussichtlichen Schadenswirkungen des Bemessungsereignisses oder der Häufigkeit der Gefährdung nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist.

Die „*Gelbe Gefahrenzone*“ umfasst alle übrigen durch Wildbäche oder Lawinen gefährdeten Flächen, deren ständige Benützung für Siedlungs- oder Verkehrszwecke infolge dieser Gefährdung beeinträchtigt ist.

„*Blaue Vorbehaltsbereiche*“ sind Bereiche, die für die Durchführung von technischen oder forstlich-biologischen Maßnahmen der Dienststellen, sowie für die Aufrechterhaltung der Funktionen dieser Maßnahmen benötigt werden oder zur Sicherung einer Schutzfunktion oder eines Verbauungserfolges einer besonderen Art der Bewirtschaftung bedürfen.

„*Braune Hinweisbereiche*“ sind jene Bereiche, die vermutlich anderen, als von Wildbächen und Lawinen hervorgerufenen Naturgefahren, wie Steinschlag oder nicht im Zusammenhang mit Wildbächen oder Lawinen stehende Rutschungen, ausgesetzt sind.

„*Violette Hinweisbereiche*“ sind Bereiche, deren Schutzfunktion von der Erhaltung der Beschaffenheit des Bodens oder Geländes abhängt (DIE WILDBACH, 2011).

2.2.6.3. RELEVANZ FÜR DIE VERWALTUNG UND UNSEREN LEBENSRAUM

Die Schäden durch Massenbewegungen wie Rutschungen oder Steinschläge nehmen in Österreich merklich zu (FERCHER, et al., 2007; HÜBL, et al., 2009). Im Gefahrenzonenplan der WLV werden solche Gefahren nur ungenügend ausgewiesen. Es bedarf daher an Karten, die auch auf solche Gefahren hinweisen und im regionalen Maßstab verfügbar sind.

Gefahrenhinweiskarten wären ein wichtiges Instrument für die öffentliche Verwaltung in Österreich, um raumordnungsrelevante Fragen gezielt und sicher beantworten zu können. Viele Bereiche wurden in den letzten 50 Jahren bebaut, obwohl sie durch Massenbewegungen gefährdet sind. Gefahrenhinweiskarten sind daher ein nötiges Instrument um das Risiko für Objekte und zukünftige Projekt zu minimieren.

2.2.7. ÖFFENTLICHE VERWALTUNG UND GEMEINDESTECKBRIEF

Das folgende Kapitel soll einen kurzen Überblick über die österreichische Verwaltungsstruktur und deren Aufgaben geben. Die vorliegende Arbeit wird in Zusammenarbeit mit dem Amt der Kärntner Landesregierung durchgeführt und die involvierte Abteilung und ihre Tätigkeitsfelder werden daher kurz zusammengefasst. Diese Arbeit soll, wie in der Einleitung bereits erwähnt, für weiterführende Arbeiten eine Grundlage bilden und einen Beitrag zur Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten leisten.

Die österreichische Verwaltung leitet sich vom verfassungsrechtlichen Grundprinzip der Bundesstaatlichkeit und dem Prinzip der kommunalen Selbstverwaltung der österreichischen Gemeinden ab. Aus diesen Prinzipien resultiert eine Verwaltungsstruktur, die aus der Bundesverwaltung (zentralstaatliche Ebene), den Landesverwaltungen (föderale Ebene) und den Gemeindeverwaltungen (Ebene der kommunalen Selbstverwaltung) besteht (BKA, 2011).

2.2.7.1. AUFGABEN DER ÖFFENTLICHEN VERWALTUNG

Die österreichische Verwaltung kann im modernen Kontext als eine „Dienstleistungsverwaltung“ mit ausgeprägten Tätigkeitsfeldern, etwa im Sozial-, Gesundheits-, Bildungs- und Kulturbereich, sowie als eine Förderverwaltung gesehen werden. Die Aufgabenverteilung erfolgt beim Bund insbesondere durch das Bundesministeriengesetz und sonst durch die Geschäftseinteilungen der Landesregierungen bzw. der Gemeinderäte (BKA, 2011).

Die Aufgaben der Landesverwaltung sollen am Beispiel der Kärntner Landesregierung dargelegt werden. Das Amt der Kärntner Landesregierung gliedert sich in 10 Abteilungen dessen Vorstand der Landeshauptmann ist. Die Leitung des inneren Dienstes obliegt dem Landesamtsdirektor. Die Abteilungen besorgen die Aufgaben der Landesverwaltung unter der fachlichen Leitung der Landesregierung oder der einzelnen Regierungsmitglieder (Referenten) (AMT DER KLR, 2013).

2.2.7.1.1. ABTEILUNG 8 DES AMTES DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG

Die Aufgaben der Abteilung 8 (Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz) sind der Schutz von Boden, Wasser und Luft und sie gliedert sich in Unterabteilungen, die sich mit Kernkompetenzen auseinandersetzen (AMT DER KLR, 2013).

Die Unterabteilung Geologie und Bodenschutz hat die Aufgabe, Behörden und öffentliche Institutionen und auch Einzelpersonen in geologischen Fachfragen zu beraten bzw. in Behördenverfahren Fachgutachten zu erstellen.

Die Mitarbeiter des geologischen Landesdienstes verrichten im Auftrag der Behörde Sachverständigendienst und beraten öffentliche Körperschaften zu Fragen der Wechselwirkung menschlicher Tätigkeit und Untergrund in den Fachgebieten Ingenieurgeologie, Rohstoffgeologie, Hydrogeologie, Umweltgeologie, geogene Katastrophenschäden, Altlastenerhebung/-sanierung und Deponietechnik und sie führen das Bodenzustandsinventur und das geologische Informationssystem Kärnten (AMT DER KLR, 2013).

2.2.7.2. DER GEMEINDESTECKBRIEF UND DIE ÖRTLICHE RAUMPLANUNG

Der Gemeindesteckbrief beinhaltet alle Informationen die eine Gemeinde betreffen. Der Gemeindesteckbrief in Kärnten enthält auch den Naturgefahrensteckbrief. Aus einem interdisziplinären Schutzgüterkatalog und einer Gefahrenanalyse wird eine interdisziplinäre Risikoanalyse für jede Gemeinde erstellt (SCHOBBER, 2012).

Die Gefahrenhinweiskarten werden in Zukunft mit dem Schutzgüterkatalog verschnitten und das Schadenspotential bzw. die Vulnerabilität werden für jede Gemeinde im Naturgefahrensteckbrief verankert (SCHOBBER, 2012).

Für jede Gemeinde ergeben sich daraus zahlreiche Nutzen und Vorteile, wie beispielsweise eine einfachere Interpretation integraler Prozesse, eine bessere Konzepterstellung für das dynamische Risikomanagement oder er dient als Grundlage für Katastrophenmanagement oder als Input für strategische Raumplanung, etc. (SCHOBBER, 2012).

Auch für die Sensibilisierung der Bevölkerung und Erhöhung der Eigenverantwortung ist der Steckbrief ein wichtiger Behelf. Der Naturgefahrensteckbrief dient auch als Basis für offene Risikokommunikation und für objektivierbare und transparente Prioritätensetzung jeder Gemeinde (SCHÖBER, 2012).

3. RUTSCHUNGEN

Das folgende Kapitel setzt sich mit dem Prozess der Rutschung auseinander. Dazu werden noch einige grundlegende Charakteristika und Definitionen erklärt und es wird die allgemeine Nomenklatur vorgestellt. Vor allem wird auf die Unterschiede zu anderen Prozessen eingegangen und der Kontext zu der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

Suszeptibilität und Reichweite von Rutschungen zählen zu den Kernpunkten der Arbeit und dazu werden Modelle und Programme vorgestellt und es wird auf Parameter, die für die Reichweitenermittlung wichtig erscheinen, eingegangen.

3.1. CHARAKTERISIERUNG VON RUTSCHUNGEN

Wie in Kapitel zwei bereits angeführt, bezeichnet VARNES (1978) Rutschungen als Vorgänge, bei denen Fest- oder Lockergesteine eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf Gleitflächen oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung vollziehen. Der Prozess des Rutschens oder Gleitens kann weiter in rotationale, bei der sich die verdrängte Masse entlang einer kreis- oder löffelförmigen Scherfläche über eine rotationsförmige Gleitfläche bewegt und translationale Rutschungen, bei der sich die Masse entlang einer relativ ebenen Gleitfläche mit gar keiner oder nur wenig Rotation und nach hinten Kippen nach unten bewegt, unterteilt werden. In der Natur sind aber fast alle Rutschungen als komplex anzusprechen. Der Übergang zu fließenden Prozessen ist unter anderem in der Zusammensetzung der Rutschmasse, vor allem dem Wassergehalt, zu sehen (vergleiche 2.1.1.1.)

3.1.1. KLASSIFIKATION UND TERMINOLOGIE

COUSSOT & MEUNIER (1996) klassifizieren Massenbewegungen als Funktion des Feststoffgehaltes und der Materialeigenschaften (siehe Abbildung 3-1). Der Prozess der Rutschung ist demnach vom Wassergehalt und vom Feststoffgehalt abhängig. Ein wichtiges Kriterium, wie in Kapitel zwei bereits erwähnt, ist auch die Geschwindigkeit, mit der sich eine Masse bewegt. Die Abbildung soll die Abgrenzung zu den anderen Prozessen illustrieren. Die Grenzen sind nur schematisch und qualitativ.

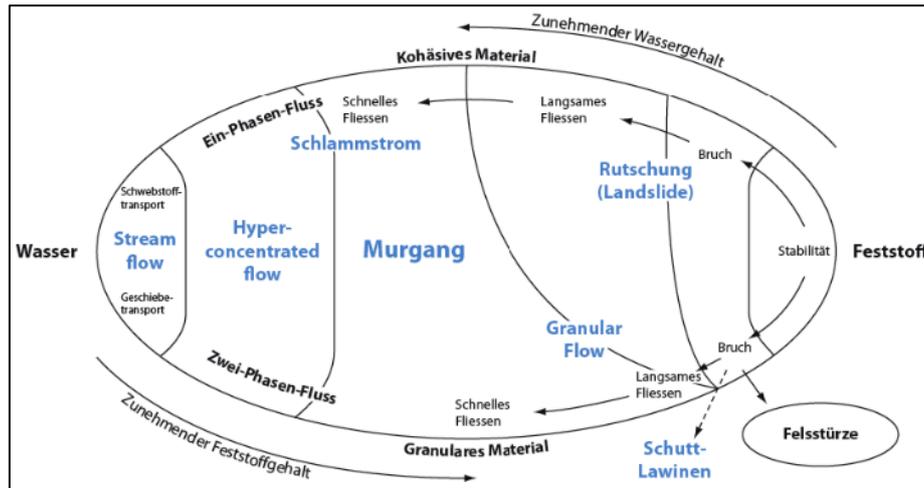


Abbildung 3-1: Klassifikation von Massenbewegungen als Funktion des Feststoffgehaltes und der Materialeigenschaften (COUSSOT & MEUNIER, 1996)

3.1.1.1. MERKMALE UND DIMENSIONEN VON RUTSCHUNGEN

Für eine Klassifikation und Beschreibung von Rutschungen ist eine einheitliche Darstellungsform und Nomenklatur notwendig. Im Folgenden wird der Vorschlag der UNESCO WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY (1993) vorgestellt. Die Begriffe und Beschreibungen beziehen sich auf die Abbildung 3-2 und sind in der Tabelle 3-1 und 3-2 aufgelistet.

Bezüglich der **Rutschungsdimensionen** sind die Begriffe in Tabelle 3-1 aufgelistet und in Abbildung 3-2 a) dargestellt.

Tabelle 3-1: Dimensionen von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993 und PRINZ & STRAUSS, 2006)

RUTSCHUNGSDIMENSIONEN	
L) Gesamtlänge	Kleinster Abstand zwischen Fußspitze (8) und Krone (1) der Rutschung
L _d) Länge der Rutschmasse	Kleinster Abstand zwischen Fußspitze (8) und Top (3)
L _r) Gleitflächenlänge	Kleinster Abstand zwischen Gleitflächenfront (11) und Krone (1)
D _r) Tiefe der Gleitfläche	Maximale Tiefe der Gleitfläche (10) unter der ursprünglichen Geländeoberfläche (20), gemessen senkrecht zur Ebene W _r und L _r
D _d) Mächtigkeit der Rutschmasse	Maximale Tiefe der bewegten Masse (10), gemessen senkrecht zur Ebene W _d und L _d
W _d) Breite der Rutschmasse	Maximale Breite der Rutschmasse senkrecht zur Längsachse (L _d)
W _r) Breite der Gleitfläche	Maximale Breite zwischen den Flanken (19) der Rutschung, senkrecht zur Längsachse (L _r)

Bezüglich der **Rutschungsmerkmale** kann eine Rutschung demnach gegenüber der ursprünglichen Hangsituation (20) in ein Abrissgebiet (auch Anrissgebiet), eine mittlere Bewegungszone (auch Transitzone) und einen Rutschungsfuß (Ablagerungsbereich) unterteilt werden (siehe Tabelle 3-2 und Abbildung 3-2 b)).

Tabelle 3-2: Merkmale von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993 und PRINZ & STRAUSS, 2006)

RUTSCHUNGSMERKMALE	
Abrissgebiet	
1) Krone	Nicht oder gering verlagertes Bereich unmittelbar oberhalb des Hauptabrisses (2).
2) Hauptabriss	Steil einfallende, durch die Bewegung der Rutschmasse (13) entstandene, hangabwärts gerichtete Fläche auf dem nicht bewegten Boden oder Fels, am oberen Rand der Rutschung. Er ist der deutlich sichtbare oberste Teil der Gleitfläche (10).
3) Top	Höchster Punkt des Kontaktes zwischen verlagertem Material (13) und Hauptabriss (2).
4) Kopf	Oberer Rand der Rutschung entlang des Kontaktes zwischen verlagertem Material und Hauptabriss (2).
mittlere Bewegungszone	
5) Sekundärabriss	Durch unterschiedliche Bewegungen innerhalb des verlagerten Materials (13) der Rutschmasse entstandene, steil einfallende Fläche.
6) Hauptrutschkörper	Teil des verlagerten Materials (13) der Rutschung über der Gleitfläche (10), zwischen Hauptabriss (2) und Gleitflächenfront (11).
10) Gleitfläche	Fläche, welche die untere Grenze des verlagerten Materials (13), unter der ursprünglichen Geländeoberfläche (20), bildet oder gebildet hat.
11) Gleitflächenfront	Grenzlinie (meist verdeckt) zwischen dem unteren Teil der Gleitfläche (10) und der ursprünglichen Geländeoberfläche (20).
13) verlagertes Material	Von der Rutschung erfasste und aus ihrer ursprünglichen Position verlagerte Masse.
14) Sackungszone	Bereich der Rutschung, in der das verlagerte Material tiefer liegt als die ursprüngliche Geländeoberfläche (20).
15) Akkumulationszone	Bereich der Rutschung, in dem das verlagerte Material (13) über der ursprünglichen Geländeoberfläche(20) liegt.
16) Sackungsraum	Volumen, das vom Hauptabriss (2), von der Sackungsmasse (17) und der ursprünglichen Geländeoberfläche (20) begrenzt wird.
17) Sackungsmasse	Teil des verlagerten Materials, das über der Gleitfläche (10) und unter der ursprünglichen Geländeoberfläche liegt.
18) Akkumulation	Volumen des verlagerten Materials (13), das über der ursprünglichen Geländeoberfläche liegt.
19) Flanke	Das in-situ-liegende Material, das unmittelbar an die seitlichen Abrisse anschließt.
Fußbereich	
7) Fuß	Unterer Teil der Rutschmasse, der über die Gleitfläche hinausreicht (11). Wird auch als Rutschungszunge bezeichnet.
8) Fußspitze	Teil der Front (9), der am weitesten vom Top (3) der Rutschung entfernt ist.
9) Front	Vordere, meist gekrümmte Begrenzung des verlagerten Materials der Rutschung.
12) Überschiebungsfläche	Teil der ursprünglichen Geländeoberfläche, die vom Fuß der Rutschung überlagert wird.

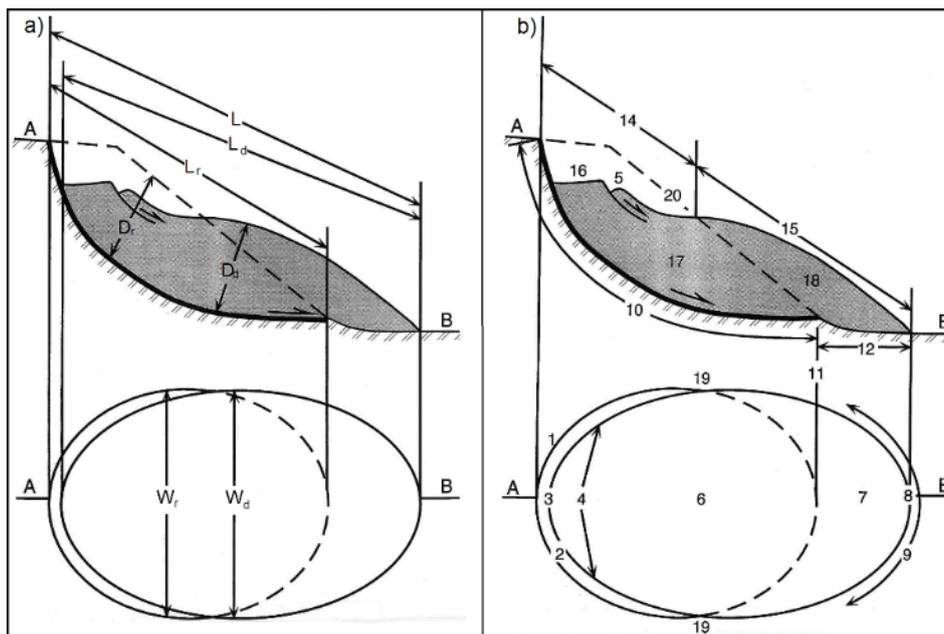


Abbildung 3-2: Dimensionen und Merkmale von Rutschungen (nach UNESCO WORKING PARTY, 1993)

3.1.2. DEFINITIONEN UND ABGRENZUNGEN

Der Begriff Rutschung wird im Allgemeinen für mehrere Prozesse verwendet. Vor allem im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff sehr schwammig auf unterschiedliche Prozesse angewandt und bedarf daher in diesem Kontext einer genaueren Differenzierung.

Rutschungen im weiteren Sinne können zweckmäßig in permanente Rutschungen oder Hangkriechen, spontane Rutschungen und Hangmuren klassifiziert werden (BWG, 2004).

Abbildung 3-3 zeigt die Systematik von Verlagerungsprozessen nach ONR 24800 (2009), abhängig vom Wassergehalt und der Verteilung der Korngrößen, die sich wesentlich auf das Fließverhalten auswirken und somit den Prozess in der Entstehung und im Verlauf steuern.



Abbildung 3-3: Systematik von Verlagerungsprozessen (ONR 24800, 2009)

3.1.2.1. DEFINITIONEN MURGANG UND RUTSCHUNGEN

Murartige und rutschende Ereignisse unterscheiden sich in ihrem Prozess erheblich und bedingen daher unterschiedliche Gefahrenpotentiale. Daraus resultiert eine unterschiedliche Betrachtung bezüglich des Gefahren- und Risikomanagements. Bei Murgängen, spontanen Rutschungen und Hangmuren wird im Gegensatz zu permanenten Rutschungen, in Bezug auf das Gefahrenpotential, die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses berücksichtigt (BWG, 2004).

Wie vorhin und in Kapitel 2 bereits erwähnt können Rutschungen nach VARNES (1978) in Bezug auf die Gleitfläche in Rotations- und Translationsrutschungen unterteilt werden, wobei in der Praxis auch häufig Übergangsformen zwischen diesen Typen zu finden sind (ANDRECS & HAGEN, 2010).

Bei der Translationsrutschung gleitet eine stabile Schicht auf einer bestehenden Gleitschicht ab, sobald die Grenzschubspannung erreicht ist. Rotationsrutschungen finden meist bei weichem, plastisch verformbarem Auflagematerial statt, wobei sich die Scherfläche erst direkt im Zuge der Gleitbewegung als Reaktion auf die vorhandene Spannungsverteilung ausbildet. Typische Rotationsrutschungen sind meist auch sogenannte Hangexplosionen, die bei sehr hohem Porenwasserdruck entstehen und die durch ein plötzliches Versagen der Hangstabilität gekennzeichnet sind. Auffällig ist dabei das große Wasserangebot (ANDRECS & HAGEN, 2010).

Eine wichtige Definition ist die Abgrenzung der Mächtigkeit. Nach BRÜNDL (2009) kann die Gleitfläche von Rutschungen in unterschiedlichen Tiefen liegen und ist wie folgend definiert:

- *flachgründig/seicht*.....0 bis 2 Meter unter Terrain
- *mittelgründig*.....2 bis 10 m. u. T.
- *tiefgründig*¹
 - *tiefgründig*.....10 bis 30 m. u. T.
 - *sehr tiefgründig*.....> 30 m u. T.

3.1.2.1.1. MURGANG

Als Murgang bezeichnet man ein schnell fließendes Gemisch aus Wasser und einem hohen Anteil an Feststoffen (Steine, Blöcke, Geröll oder Holz) von ca. 30% bis 60%, dessen Fließverhalten ungleichmäßig ist und hohe Aufprallkräfte entwickeln kann. Es kommt oft zu zungenförmigen Ablagerungen (Murgzunge) von Feststoffen außerhalb des Gerinnes (Übermurgung). Murgänge treten meist plötzlich und schubartig in Wildbächen oder Murgfurchen auf (z. B. nach Starkregen). Typisch sind große Dichten, hohe Transportkapazitäten (Blöcke von mehreren m³ Volumen) und große, umgesetzte Feststoffvolumina (WSL, 2006).

¹ Hier kommt es zu einer Differenzierung aufgrund baulich-technischer Maßnahmen, da Einsatzmöglichkeiten bei sehr tiefgründigen Rutschungen oft technisch und wirtschaftlich begrenzt sind.

3.1.2.1.2. PERMANENTE RUTSCHUNGEN

Permanente oder kontinuierliche Rutschungen bewegen sich über lange Zeiträume hangabwärts. Der Rutschkörper bewegt sich dabei entweder auf mehr oder weniger deutlich ausgebildeten, bestehenden Gleitflächen oder auf Zonen verstärkter Scherdeformation. Hangkriechen bezeichnet eine Form von kontinuierlichem Rutschen, deren Verformungen über lange Zeiträume langsam und anhaltend im Lockergestein oder Fels erfolgen (BWG, 2004).

3.1.2.1.3. SPONTANE RUTSCHUNGEN

Als spontane Rutschungen bezeichnet man Lockergesteinsmassen, die infolge der Ausbildung einer Bruchfläche (Gleitfläche) und des plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit, relativ schnell abgleiten. Spontane Rutschungen bilden, im Gegensatz zu permanenten Rutschungen, stets neue Bruch- bzw. Gleitflächen aus (BWG, 2004).

Permanente Rutschungen mit steiler Stirn bilden oft spontane Rutschungen aus, die teils auch als sogenannte „Sekundärrutschungen“ bezeichnet werden (WSL, 2006).

3.1.2.1.4. HANGMUREN

Hangmuren sind relativ rasch abfließende Gemische aus Lockergestein (oft nur Boden- und Vegetationsdecke) und Wasser (BWG, 2004).

Sie sind eine spezielle Form von spontanen Rutschungen, die meist von Translations- oder Rotationsrutschungen ausgehen und sich an relativ steilen Hängen mit eher gering durchlässigen Quartärbildungen (Gehängelehm, tonige Moräne, usw.) bilden. Charakteristisch ist ein Gemisch aus Boden, Lockergestein, Vegetation und Wasser, das sich oberflächlich fließend bewegt, über weite Strecken verfrachtet werden kann und im Volumen im Allgemeinen beschränkt ist (bis ca. 20.000 m³). Typischerweise treten sie bei sehr hohen Wassergehalten im Boden, bei Quellaustritten, nach intensiver Schneeschmelze oder nach heftigen oder langandauernden Niederschlägen auf. Die bewegten Massen haben daher hohe Wasseranteile und hohe Prozessgeschwindigkeiten (1 bis 10 m/s), mit entsprechend zerstörerischer Wirkung. Hangmuren entstehen lokal an relativ steilen Hängen (oft > 20°), wobei bei starker Wassersättigung des Untergrundes bzw. hohem Wassereintrag und hohen Wasserdrücken auch Hänge mit geringeren Neigungen (bis gegen 20°) gefährdet sind (BRÜNDL, 2009).

3.1.2.2. ABGRENZUNGEN ZU BENACHBARTEN PROZESSEN

Eine Unterscheidung der oben beschriebenen Prozesse ist im raum-zeitlichen Bewegungsverhalten (ROMANG, 2008), in der Geschwindigkeit, dem Bewegungstyp und dem Ablagerungsverhalten gegeben (siehe Definitionen). Muren sind meist an Gerinne gebunden, sind schnell fließend und mit hohem Transportpotential verbunden. Sie können enorme Wegstrecken zurücklegen. Rutschungen im weiteren Sinne treten an Hängen auf, weisen meist nur geringe Transportstrecken und Volumen auf (COUSSOT & MEUNIER, 1996) und unterscheiden sich hinsichtlich der Bewegungsrate (BWG, 2004).

Gleitende, spontane Rutschungsbewegungen in Hanglagen können in einen murartigen Transportprozess übergehen. Dabei handelt es sich dann um eine typische Hangmure. Für die Ausbildung spontaner Rutschungen spielen die Hangneigung, Materialeigenschaften und Lockermaterialmächtigkeit eine entscheidende Rolle. Hangmuren, im Gegensatz zu Gerinnemuren, lagern während des Transportes Material ab und nehmen selten eines auf und daher werden sie mit zunehmender Transportlänge kleiner bzw. laufen bei geringem Volumina oft auch ohne Neigungsänderung am Hang wieder aus. Gelangen Hangmuren in Gräben oder Gerinne, können sie dort zu Gerinnemuren werden bzw. diese auslösen (ANDRECS & HAGEN, 2010).

Hangmuren können einen graduellen Übergang zu Rutschungen haben, indem sie auch Gleitflächen ausgebildet haben können (BWG, 2004).

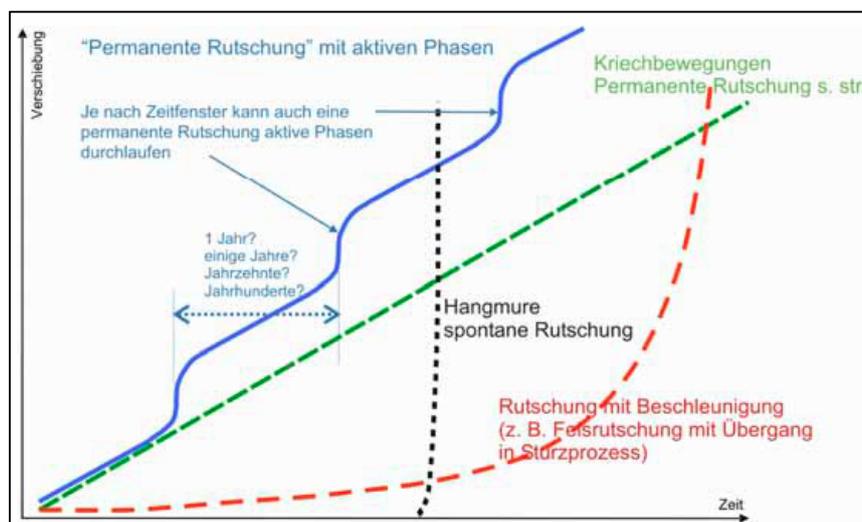


Abbildung 3-4: Raum-zeitliches Bewegungsverhalten von Rutschungen (ROMANG, 2008)

3.2. ENTSTEHUNG UND WIRKUNGSRAUM VON RUTSCHUNGEN

Die Entstehung und Reichweite von Rutschungen im weiteren Sinne haben einen wesentlichen Einfluss auf das Gefährdungspotential. Die vorher definierten Prozesse haben unterschiedliche Gefahrenpotentiale und sind daher im Gefahren- und Risikomanagement klar zu differenzieren (BWG, 2004).

Für die Entstehung einer Rutschung sind unterschiedliche Ursachen verantwortlich und es sind unterschiedliche Dispositionsfaktoren¹ notwendig. Einer der wichtigsten Faktoren für spontane Rutschungen und Hangmuren ist aber das Wasser im Allgemeinen (DIKAU & GLADE, 2002; TOBLER, et al., 2006; MEYER, 2010).

Nach BRÜNDL (2009) ist für den Wirkungsraum von Rutschungen die Intensität ein maßgebender Faktor. Für Rutschungen und Hangmuren wird die Intensität als Geschwindigkeitskriterium bzw. als Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht definiert. Für Hangmuren werden zusätzlich die Mächtigkeit der Ablagerung und der Staudruck, der vereinfacht aus dem Produkt der Geschwindigkeit und Dichte abgeleitet werden kann, in die Bewertung miteinbezogen.

Aus der Intensität kann somit auf den Wirkungsraum einer Rutschung geschlossen werden. Im Folgenden werden einige Begriffe im Zusammenhang mit dem Wirkungsraum erläutert.

3.2.1. BEGRIFFE UND DEFINITION

3.2.1.1. WIRKUNGSRAUM VON RUTSCHUNGEN

Eine Rutschung im weiteren Sinne kann in eine Abrisszone (-gebiet, auch Anrisszone), eine Bewegungszone (auch Transitzone) und eine Ablagerungszone (auch Akkumulationszone) gegliedert werden (siehe Abbildung 3-5). Das Abrissgebiet ist die Entstehungszone einer Rutschung. Die Bewegungszone ist der Bereich zwischen Abriss- und Ablagerungszone. In der Ablagerungszone kommt es zur Akkumulation der bewegten Masse. Dadurch entstehen typische Ablagerungen wie beispielsweise Schwemmfächer, Murzungen, etc. (JAKOB & HUNGR, 2005).

¹ Disposition ist die Anfälligkeit eines Gebietes für die Entstehung eines Prozesses

In der Regel wird bei Hangmuren und spontanen Rutschungen, durch einen unter- oder oberirdischen Wasserzutritt im Anrissbereich, das Lockergestein schlagartig oder allmählich verflüssigt. Die Rutschung erfährt eine Beschleunigung im Transitbereich, bis ihre innere Reibung oder Scherfestigkeit keine weitere Beschleunigung mehr zulässt. Der Transitbereich ist häufig relativ kurz oder kaum vorhanden. Sobald die Kriterien für ein Rutschen/Fließen nicht mehr erfüllt sind, kommt die spontane Rutschung oder Hangmure je nach Randbedingungen mehr oder weniger rasch, im Ablagerungsbereich, zum Stillstand (BRÜNDL, 2009).

3.2.1.2. GEOMETRISCHE ANSÄTZE

Für ein einheitliches Verständnis und für Modellansätze sind geometrische Definitionen notwendig. Für den Wirkungsraum ist vor allem die Reichweite einer Rutschung maßgebend. Nach HUNGR, et al. (2005) ist die Reichweite (R) als die horizontale Projektion vom obersten Punkt der Anrisszone bis zum untersten Punkt der Ablagerungszone definiert. Als (α) wird der Winkel der Reichweite, oder auch Reichweitenwinkel oder Fahrböschungswinkel, bezeichnet. Er ist als Winkel der Linie zwischen höchstem und tiefstem Punkt der Rutschung (Fußspitze) und dem distalen Rand der Rutschung definiert. Als Höhenunterschied (H) wird der Abstand zwischen oberstem Punkt der Anrisszone und unterstem Punkt der Bewegungszone bezeichnet (siehe Abbildung 3-5).

Aus diesem vereinfachten geometrischen Ansatz ist die Reichweite nach HUNGR, et al. (2005) wie folgend definiert:

$$R = \frac{H}{\tan \alpha}$$

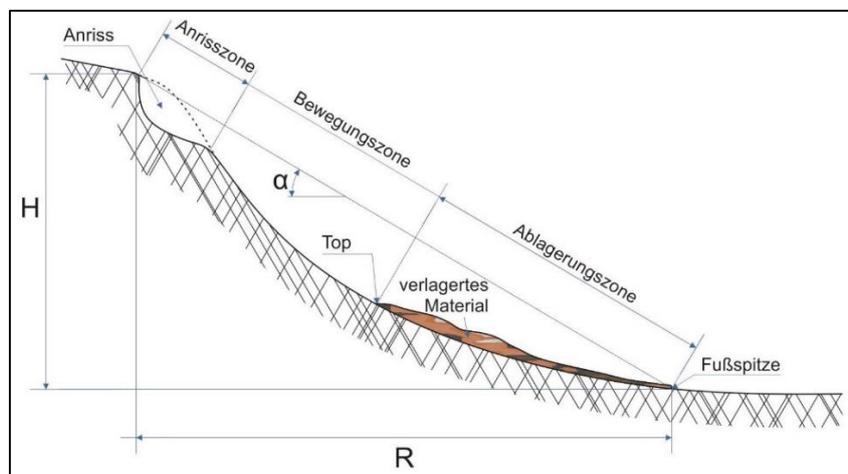


Abbildung 3-5: Geometrische Ansätze einer Rutschung

3.2.2. GEFÄHRDUNGSBEREICHE UND GEFAHRENPOTENTIAL

Die Gefährdungsbereiche und das Gefährdungspotential von Rutschungen im weiteren Sinne werden durch den eigentlichen Prozess und dessen Wirkungsraum bestimmt.

Die Gefahr, die von spontanen Rutschungen und Hangmuren ausgeht, besteht primär in der schweren räumlichen, wie zeitlichen Vorhersehbarkeit ihres Auftretens (ANDRECS & HAGEN, 2010). Es sind daher Methoden notwendig, um die Gefahreinstufung von Rutschungen im weiteren Sinne nachvollziehbar und einfach durchzuführen.

Vorhin wurde bereits der Begriff Intensität in Bezug auf Rutschungen eingeführt. Dieser definiert sich durch die langfristige, durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit (v) bzw. die Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht (M). Für Hangmuren wird zusätzlich die Mächtigkeit der Ablagerung (h) und ein mittlerer Staudruck (q_f) in die Intensitätsbestimmung miteinbezogen (BWG, 2004). Tabelle 3-3 zeigt Kriterien für die Beurteilung der Intensität von Rutschprozessen. Das Maß der Intensität kann für die Gefahreinstufung verwendet werden und kann so für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten ein wichtiges Werkzeug sein.

Tabelle 3-3: Kriterien für die Beurteilung der Intensitätsklassen von Rutschprozessen (nach BWG, 2004)

Prozess	Intensitätsklassen		
	schwach	mittel	stark
Rutschungen	$v \leq 2 \text{ cm/Jahr}$	$v: \text{ dm/Jahr}$ ($> 2 \text{ cm/Jahr}$)	Starke Differentialbewegungen; $v > 0.1 \text{ m/Tag}$ bei oberflächlichen Rutschungen; Verschiebungen $> 1 \text{ m}$ pro Ereignis
Hangmuren <i>potentiell</i> <i>real</i> <i>mittlerer Staudruck</i>	$M < 0.5 \text{ m}$ - $q_f < 6 \text{ kN/m}^2$	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$ $6 \text{ kN/m}^2 < q_f < 60 \text{ kN/m}^2$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$ $q_f > 60 \text{ kN/m}^2$
v ... durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit M ... Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht h ... Mächtigkeit der Ablagerung q_f ... mittlerer Staudruck			

Spontane Rutschungen und Hangmuren treten in ihrem Wirkungsraum praktisch durchwegs in der höchsten Intensitätsklasse auf (BWG, 2004).

Unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit kann mit Hilfe der Intensität eine Gefahreneinstufung durchgeführt werden. Nach HEINIMANN, et al. (1998) kann die Eintrittswahrscheinlichkeit in die drei folgenden Klassen eingeteilt werden:

Tabelle 3-4: Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Betrachtungszeitraum von fünfzig Jahren (HEINIMANN, et al., 1998)

Wahrscheinlichkeit	
verbal:	Eintretenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren:
hoch	100 bis 82 %
mittel	82 bis 40 %
gering	40 bis 16 %

Abbildung 3-6 zeigt die Möglichkeit der Gefahreneinstufung für kontinuierliche und spontane Prozesse. Unter Berücksichtigung der Intensität und der Eintrittswahrscheinlichkeit kann eine Einstufung der Gefährdung für spontane Rutschungen und Hangmuren in Gefahrenstufen erfolgen. Mit Hilfe der Einstufung können in weiterer Folge Gefahrenzonenkarten erstellt werden (BWG, 2004).

Detaillierte Informationen zur Methodik und Anwendung sind in HEINIMANN, et al. (1998), in BWG (2004) und BRÜNDL (2009) nachzulesen.

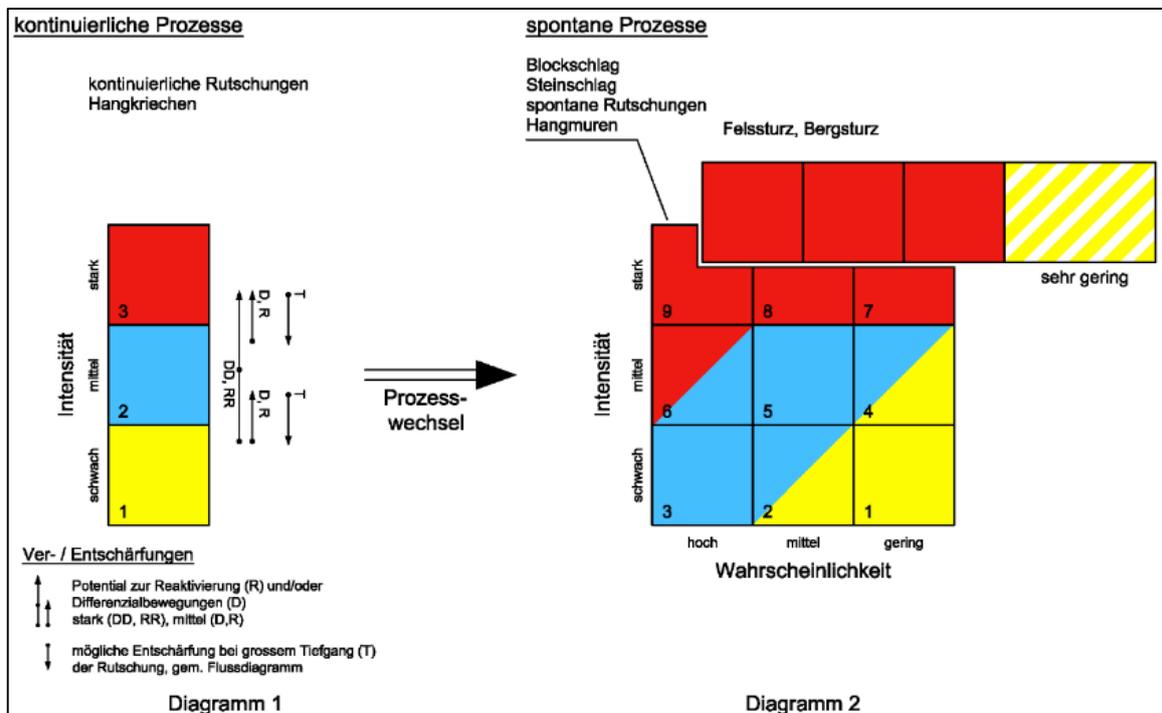


Abbildung 3-6: Gefahreneinstufung für kontinuierliche und spontane Prozesse (BWG, 2004)

3.3. SIMULATION DER REICHWEITE VON SPONTANEN RUTSCHUNGEN BZW. HANGMUREN

Im folgenden Kapitel werden Grundsätze für die Modellierung und die Simulation der Reichweite erklärt. Außerdem werden die Methoden für die Reichweitensimulation in den Projektgebieten vorgestellt.

3.3.1. VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE SIMULATION DER REICHWEITE

Für die Simulation des Wirkungsraumes von Rutschungen ist die Kenntnis der Suszeptibilität eines Hanges für Rutschungen Grundvoraussetzung. Auf die Disposition eines Hanges und mögliche Trigger für Rutschungen im weiteren Sinne wurde bereits in Kapitel 2 eingegangen. Der Wirkungsraum setzt sich aus der Anriss-, der Bewegungs- und der Ablagerungszone zusammen. Die räumliche Lage der Anrisszonen muss für die Simulation der Reichweite bekannt sein. Die Lage kann über unterschiedliche Ansätze bestimmt werden. Für Einzelereignisse ist eine detaillierte Geländeaufnahme die beste Variante, da so am meisten Erkenntnisse gewonnen werden können und somit die Ergebnisse am weitgehendsten nachvollziehbar sind.

Für großflächige Fragestellungen, wie beispielsweise die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten im regionalen Maßstab, stehen andere, kostengünstigere Methoden und Modelle zur Verfügung. Modelle (in 3.3.2. näher erläutert) sind ein Abbild der Wirklichkeit und bedingen je nach Modell Einbußen an gewonnenen Informationen. Eine Möglichkeit bietet das Modell SLIDISP der geo7 AG (LIENER & KIENHOLZ, 2000). Es basiert auf einer Stabilitätsberechnungsmethode, welche die geomechanische Stabilität von Hängen abschätzt und so Anrissgebiete modellieren kann.

Eine andere Möglichkeit bietet die GIS-Applikation, die im Zuge des Projekts „MassMove“ entwickelt wurde. Diese ermöglicht eine semi-automatische, transparente und kostengünstige Datenverarbeitung der Inputparameter für die Erstellung von Suszeptibilitätskarten im regionalen Maßstab (Informationen in BÄK, et al., 2011).

Aus den gewonnenen Informationen kann in weiterer Folge über unterschiedliche Modelle die Reichweite bestimmt werden. Im Folgenden werden unterschiedliche Modelle und die verwendete Software, für die Simulation in dieser Arbeit, vorgestellt.

3.3.2. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER REICHWEITE

Als Herangehensweise an naturwissenschaftliche Probleme wird die Wirklichkeit oft in Modellen abgebildet.

Unter Modell versteht man allgemein die Abbildung eines Systems oder der Wirklichkeit. Bei jeder Modellbildung kommt es zu Abstraktionsvorgängen, da jedes Modell auf Vereinfachungen und Idealbedingungen beruht. Unter Simulation versteht man das Arbeiten mit einem Modell, um das Verhalten eines Systems unter vorgegebenen Bedingungen kennenzulernen. Durch die Simulation können Erkenntnisse über reale Phänomene gewonnen und das Modell damit verbessert und kalibriert werden (BUNGARTZ, et al., 2013).

3.3.2.1. MODELLE UND MODELLTYPEN

Grundsätzlich unterscheidet man statische und dynamische Modelle. Statische Modelle beschreiben den Zustand eines Systems vor und nach jedem Eingangswert und sind zeitunabhängig. Dynamische Modelle beschreiben die Änderung des Zustands eines Systems zu jedem Zeitpunkt. Ein Modell kann den jeweiligen Prozess ein-, zwei- oder dreidimensional abbilden. Für die Klassifikation von Modellen gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Bezüglich Vorhersehbarkeit unterscheidet man stochastische und deterministische Modelle. Durch die Verknüpfung dieser Modelle entstehen hybride Modelle (BUNGARTZ, et al., 2013).

Stochastische Modelle enthalten Zufallsfunktionen und unterstehen keinen physikalischen Beziehungen der einzelnen Elemente des betrachteten Prozesses. Deterministische Modelle sind unabhängig von Zufallskomponenten und gehen von einem System mit feststehenden Gesetzmäßigkeiten und Abläufen aus. Bei bekannten Rahmenbedingungen ist das System dann im Allgemeinen berechenbar und die Ereignisse prognostizierbar (HÜBL, 2012).

Naturereignisse können als dynamisches System betrachtet werden. In diesem dynamischen System stehen Auslösungs-, Verlagerungs- und Ablagerungsprozesse miteinander in Wechselwirkung. Je nach Systemkomponenten (Disposition, Belastung, Versagen, Transport, Ablagerung, Einwirkung) eignen sich unterschiedliche Modelltypen für die Analyse (siehe Tabelle 3-5). Stochastische

Modelle werden für Modellierungen von Belastungen und Transport verwendet. Physikalisch basierte Modelle decken fast alle Systemkomponenten ab, sind aber meist nicht miteinander gekoppelt und empirische Modelle werden vor allem für die Komponenten Disposition, Versagen und Ablagerung angewandt (HÜBL, 2012).

Tabelle 3-5: Beispiele von Modelltypen für unterschiedliche Systemkomponenten (HÜBL, 2012)

Systemkomponenten	Modelltypen				
	deterministisch			stochastisch	hybrid
	empirisch	physikalisch	konzeptuell		
Disposition	X				X
Belastung		X		X	
Versagen	X	X	X		
Transport		X	X	X	
Ablagerung	X	X	X		
Einwirkung		X			

Unter den deterministischen Modellen unterscheidet man zwischen empirischen, physikalisch basierten und konzeptuellen Modellen. Empirische Modelle (Black-Box-Modelle) beruhen dabei auf Beobachtungen und Erfahrungswerten. Durch Verknüpfung der beobachteten Daten durch mathematische Beziehungen entsteht ein empirisches Modell. Dabei wird versucht, die Reaktionen auf ein System mathematisch zu beschreiben. Physikalisch basierte Modelle (White-Box-Modelle) stützen sich auf physikalische Gesetze. Aus den physikalischen Gesetzmäßigkeiten wird versucht ein mathematisches Modell zu formulieren, das meist mit hohem Aufwand und Rechenleistung verbunden ist. Der Auswertung der mathematischen Probleme kann analytisch (d.h. mit bekannten Funktionen) oder numerisch (z.B. durch Finite-Differenzen-Methode) durchgeführt werden. Konzeptuelle Modelle (Grey-Box-Modelle) werden durch semiempirische Methoden, die teilweise auf physikalischen Gesetzen beruhen, gelöst. Sie nehmen eine Stellung zwischen empirischen und physikalisch basierten Modellen ein (HÜBL, 2012; BUNGARTZ, et al., 2013).

3.3.3. MODELLANSÄTZE UND PRAXISEINSATZ

Im folgenden Abschnitt werden die beiden Modelle vorgestellt, mit denen im Zuge dieser Arbeit eine Simulation von Rutschungen durchgeführt wurde.

Anhand von zwei ausgewählten Rutschungen im Bundesland Kärnten wird eine Simulation mit dem Softwarepaket RAMMS und zusätzlich mit der neuen GIS-Applikation durchgeführt und die Ergebnisse werden miteinander verglichen.

3.3.3.1. RAMMS

RAMMS (RAPID MASS MOVEMENTS) ist ein physikalisch basiertes Prozess-Simulationsmodell zur dynamischen, zweidimensionalen Modellierung von schnellen, gravitativen Naturgefahren im alpinen Raum. Es wurde von Experten der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und dem WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) entwickelt und soll den Umgang mit dem integralen Risikomanagement wesentlich vereinfachen.

3.3.3.1.1. EINFÜHRUNG

Hinter RAMMS versteckt sich ein benutzerfreundliches, einheitliches Software-Paket zur Simulation von Lawinen, Muren, Hangmuren und Steinschlägen. Der Vorteil liegt in der Integration verschiedener physikalischer Modelle in ein Paket und ist so ein umfassendes Werkzeug für Ingenieurbüros, die Verwaltung und Forschung. Das Software-Paket gliedert sich in die vier Module RAMMS::AVALANCHE, RAMMS::DEBRIS FLOW, RAMMS::ROCKFALL und RAMMS::HILLSLOPE (CHRISTEN, et al., 2012).

3.3.3.1.2. PARAMETER, MODULE UND OUTPUT

Abbildung 3-7 zeigt das RAMMS Work-Flow mit den integrierten Modulen und deren Input- sowie Output-Funktionen. Eine der wesentlichen Herausforderungen für die numerische Simulation ist die Auswahl der Modellparameter. Eine der wichtigsten Input-Parameter ist das digitale Höhenmodell (DHM). Für eine korrekte numerische Berechnung muss dies genau und in einer ausreichend großen Auflösung (prozess- und massenabhängig) zur Verfügung stehen. Außerdem sollten die Anfangsbedingungen der unterschiedlichen Gefahrenszenarien in einer möglichst hohen Genauigkeit zur Verfügung stehen (CHRISTEN, et al., 2012).

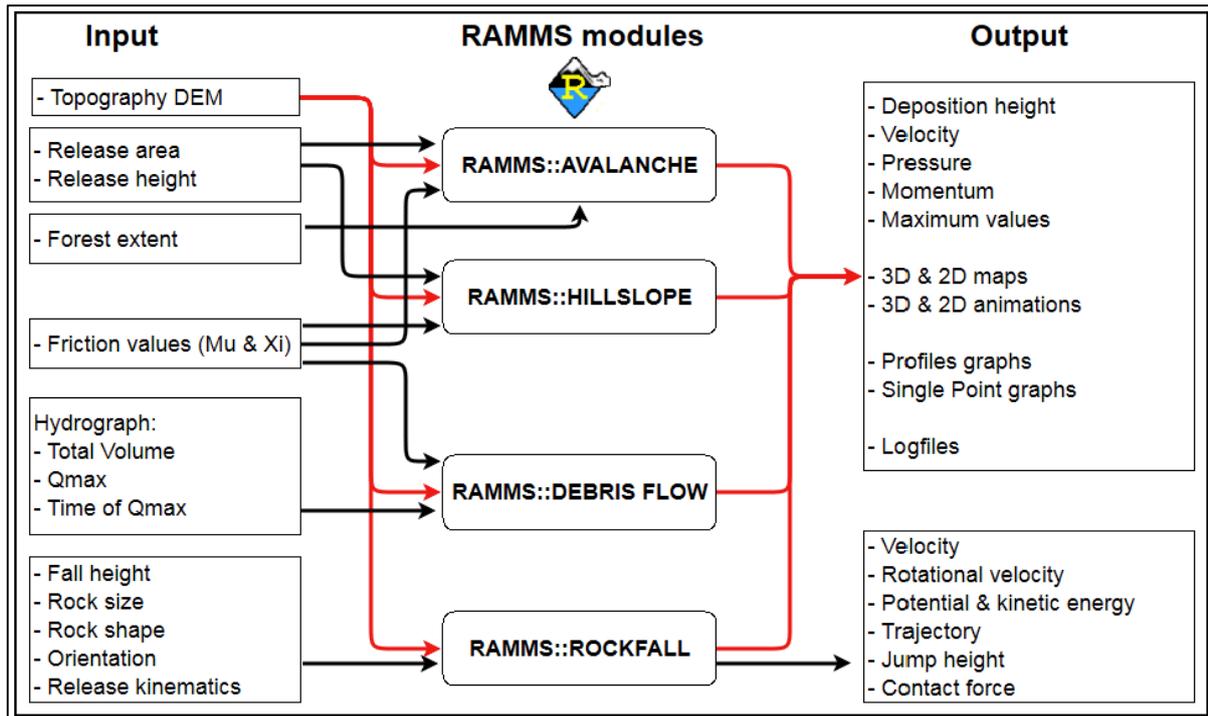


Abbildung 3-7: RAMMS Workflow mit Modulen, sowie Input- und Output-Funktionen (CHRISTEN, et al., 2012)

RAMMS::AVALANCHE

Mit RAMMS::AVALANCHE können Fließhöhen und Geschwindigkeiten von Lawinen mittels Finite-Volumen-Verfahren berechnet werden. Als Input-Parameter fließen das Anrissgebiet und die Anrissmächtigkeit in die Berechnung ein. Für die Simulation wird das Voellmy-Reibungsmodell (siehe 3.3.3.1.3.) verwendet. Dieses Modell beinhaltet die coulombsche (μ) und turbulente Reibung (ξ). Diese Parameter können für das Untersuchungsgebiet konstant gehalten oder räumlich angepasst werden, um die Variation der Rauigkeit des Geländes zu simulieren (CHRISTEN, et al., 2012).

RAMMS::DEBRIS FLOW

Dieses Modul wurde für die Auslaufsimulation von Murgängen entwickelt und es können damit auch Fließhöhen und Aufpralldrücke für die Bemessung von Schutzbauwerken berechnet werden. Als Inputparameter können Anrissgebiete oder Hydrographen (Abflussganglinien) verwendet werden. Wie im Lawinen-Modul wird hier auch der klassische Voellmy-Ansatz verwendet (CHRISTEN, et al., 2012).

RAMMS:: ROCKFALL

Im Rockfall-Modul wird für die Simulation der Dynamik eines Steinschlages die Starrkörpertheorie verwendet. Dabei wird ein Stein als dreidimensionaler, unzerstörbarer, polyedrischer und starrer Körper modelliert, der mit seiner schachbrettartigen Oberfläche in Reibungskontakt kommen kann. Es können die Reichweite, die Geschwindigkeit, die Rotation, die Sprunghöhe und die seitliche Ausbreitung der Steinschlagbahnen simuliert werden (CHRISTEN, et al., 2012).

RAMMS::HILLSLOPE (verwendete Version: 1.4.01)

Auf Basis des Murgang-Moduls wurde ein eigenes Modul für Hangmuren entwickelt, da Bedeutung und Problematik der Hangmuren zunehmen. Zahlreiche Formen von flachgründigen Rutschungen, wie auch Hangmuren, können dem Ansatz eines Voellmy-Fluids (VOELLMY, 1955) zugeordnet werden. Besonders wichtig ist eine hohe Auflösung des Geländemodells und eine genaue Wahl der Anrissgebiete, da die Fließrichtung, durch das verhältnismäßig geringe Volumen solcher Prozesse, stark von der Topographie abhängt. Die Reibungsparameter sind, durch den Umstand des Entstehungsgebietes, anders als bei Murgängen in Gerinnen. Es wird daher ein modifiziertes Voellmy-Reibungsmodell angewandt, welches eine Reibungsverminderung durch die Präsenz von granularer Fluktuation (komplexe Druckverteilung in einem granularen System) unterstützt. Dadurch lassen sich bessere Ergebnisse erzielen, vor allem in Anbetracht von Ablagerungen im Hangbereich selbst (CHRISTEN, et al., 2012).

3.3.3.1.3. MATHEMATISCHES MODELL

Sowohl das Lawinen-, als auch das Murgang- und das Hangmurenmodul verwenden als mathematische Grundlage das Voellmy-Reibungsmodell. Dieses Modell wurde aus der Lawinenforschung mit Grundlagen aus der Strömungsmechanik entwickelt (VOELLMY, 1955). Nach neuen Erkenntnissen konnte das Modell verfeinert werden (SALM, et al., 1990; SALM, 1993).

Das Voellmy-Modell ist zwar einfach und stabil, aber oft auch nur schwer und unter hohen Zeitaufwand zu kalibrieren.

Das Voellmy-Reibungs-Modell teilt den Reibungswiderstand S (in Pa) in die zwei Teile, trockene, coulombsche Reibung (Koeffizient μ) und viskose, turbulente Reibung (Koeffizient ξ) und ist gegeben durch:

$$S = \mu\rho Hg \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi},$$

mit der Dichte des Materials (ρ), mit der Gravitationskonstante (g), mit der Hangneigung (ϕ), mit der Fließhöhe (H) und mit der Fließgeschwindigkeit (U). $Hg \cos \phi$ ist die Normalspannung auf der bewegten Fläche und kann als N zusammengefasst werden (BARTELT, et al., 2011).

Die Qualität der Simulation hängt stark von der Kalibrierung der Reibungsparameter μ und ξ ab. Die Schwierigkeit liegt in der großen Varianz der Prozesse. Der Koeffizient μ hängt von den Materialeigenschaften ab und steht in Zusammenhang mit der Normalspannung. Er bestimmt die Reichweite und das Verhalten während des Rutschens.

Der Koeffizient ξ hängt von der Geschwindigkeit zum Quadrat ab und wird durch die Topographie und der Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst. Er beschreibt den Verlust der kinetischen Energie der Masse während des Rutschvorgangs und hat Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit und Abflusshöhe (BARTELT, et al., 2011; CHRISTEN, et al., 2012).

Das Voellmy-Modell liefert gute Ergebnisse, ist aber wie bereits angesprochen zum Teil schwer und zeitaufwendig zu kalibrieren. Das Hauptproblem des Modells in Bezug auf die Modellierung von Hangmuren ist, dass die Reibungsparameter im Normalfall nicht konstant sind, sondern sich mit der Funktion der Fließgeschwindigkeit und Spannung ändern. Murgang-Experimente haben gezeigt, dass sich die Reibung während des Fließvorgangs ändert (BARTELT, et al., 2011).

Daher wurde für das Hangmuren-Modul eine Adaption des Voellmy-Modells entwickelt, welches einige Probleme des normalen Modells verbessert, aber sensibler bei der Abstimmung ist. Im erweiterten Modell ändern sich die Reibungsparameter μ und ξ als Funktion der Fließgeschwindigkeit und Normalspannung. Der Vorteil des erweiterten Modells liegt bei der Modellierung von Hangmuren, wenn diese im Hang wieder zum Stillstand kommen (CHRISTEN, et al., 2012).

Das erweiterte Voellmy-Reibungsmodell ist gegeben durch:

$$S = \mu(U, N)\rho Hg \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi(U, N)}$$

Die μ - und ξ -Werte sind im erweiterten Voellmy-Modell nun der statische, coulombsche Reibungskoeffizient (gleichwertig mit dem Tangens des inneren Reibungswinkels) und der stationäre, turbulente Reibungskoeffizient. Abhängig von der Wahl des μ -Wertes stoppt die Hangmure bei der Simulation auch in einem steilen Hangbereich, was in der Realität oft der Fall ist (BARTELT, et al., 2011).

Tabelle 3-6 zeigt empfohlene Werte für die μ - und ξ -Koeffizienten nach BARTELT, et al. (2011). Die Werte sind dabei für fluidartige Hangmuren und blockartige, flachgründige Rutschungen getrennt angegeben, da der Koeffizient für die coulombsche Reibung bei seichten Rutschungen im Allgemeinen höher und der Koeffizient für die turbulente Reibung eher niedriger angesetzt werden muss.

Tabelle 3-6: Empfohlene Werte für die μ - und ξ -Koeffizienten (BARTELT, et al., 2011)

		Hillslope debris flows	Shallow landslides
<i>RAMMS notation</i>		<i>"fluid-type"</i>	<i>"landslide-type"</i>
Coulomb friction []	μ	0.30 – 0.40	0.40 – 0.55
Viscous-turbulent friction [m/s^2]	ξ	400 – 600	200 – 400
Density [kg/m^3]	ρ	1800 – 2000	1800 – 2000

3.3.3.1.4. PARAMETER UND ERSTELLUNG EINER SIMULATION

RAMMS erlaubt eine umfangreiche Anpassung der Parameter für die Simulation. Mittels „Project Wizard“ kann ein neues Projekt erstellt werden. Dazu können Projektname, Informationen und der Speicherort gewählt werden. Außerdem wird das DHM, sowie eventuelle Karten oder Orthofotos in das Projekt geladen.

Für die Durchführung einer Simulation muss ein „Release Area“ (Anrisszone) erstellt oder in das Programm geladen werden. Zusätzlich kann ein „Calculation Domain“ erstellt oder geladen werden, dass den Bereich der Simulation einschränkt, um die Simulation zu beschleunigen. Die Anrisse müssen noch editiert werden. Dazu wird die „Release hight“ und somit das Volumen definiert.

Für den Start einer Simulation wird das Eingabefenster geöffnet. Darin können sämtliche Parameter geändert bzw. betrachtet werden.

Es können generelle Informationen bzw. der „Output Filename“ definiert werden. Parameter für die Berechnung, wie die „Grid Resolution“, die „End Time“, der „Dump Step“, die „Density“, sowie das Berechnungsschema können angepasst werden (siehe Abbildung 3-8).

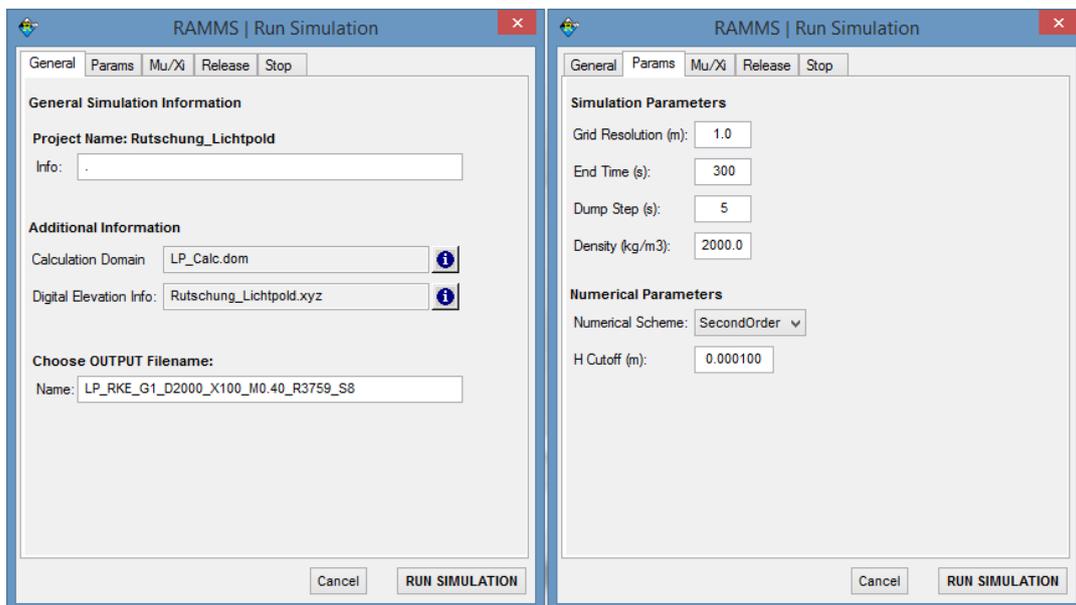


Abbildung 3-8: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für generelle Einstellungen und Parameter

Des Weiteren können im Raster „Mu/Xi“ der „hillslope type“ („fluid“ oder „landslide“) gewählt werden, wozu ξ - und μ -Werte vorgeschlagen, bzw. geändert werden können. Außerdem kann gewählt werden ob das Standard- oder erweiterte Voellmy-Modell („Use RKE extension“) für die Berechnung verwendet wird (siehe Abbildung 3-9).

Im Raster „Release“ wird das für die Berechnung verwendete Anrissgebiet und Volumen aufgelistet (siehe Abbildung 3-9).

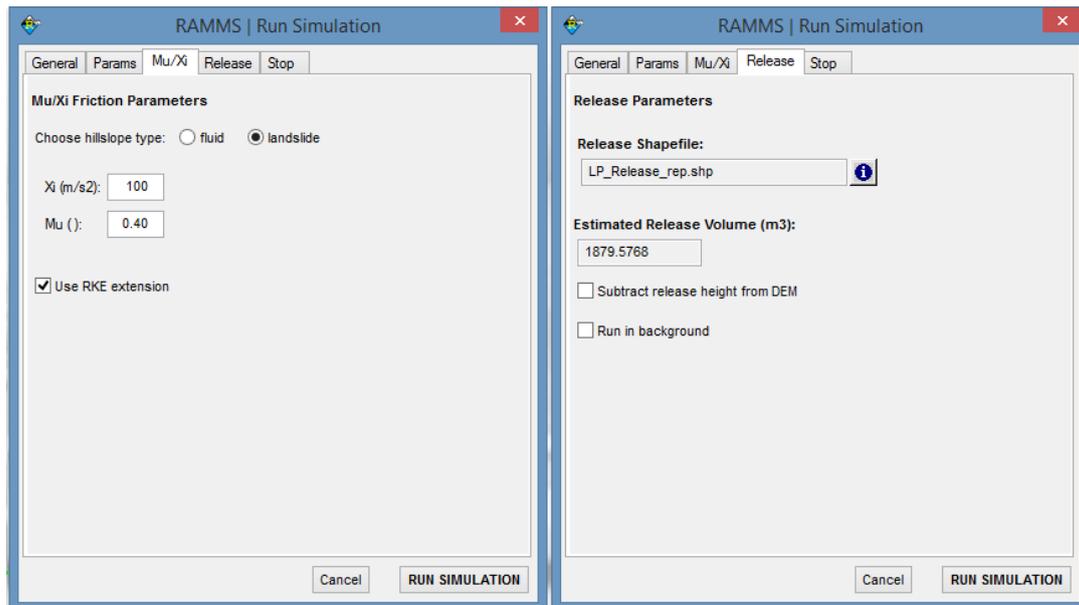


Abbildung 3-9: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für Xi- und My-Werte und Informationen des Anrissgebietes

Im letzten Raster des Eingabefensters kann das Abbruchkriterium für die Berechnung definiert werden. Dieses Kriterium ist nach dem „Impulsprinzip“¹ definiert. Für jeden Berechnungs-Schritt werden die Impulse aller Gitterzellen summiert und mit der maximalen Impulssumme verglichen. Wenn dieser Anteil kleiner als ein benutzerdefinierter Schwellwert in Prozent wird, dann bricht die Berechnung ab.

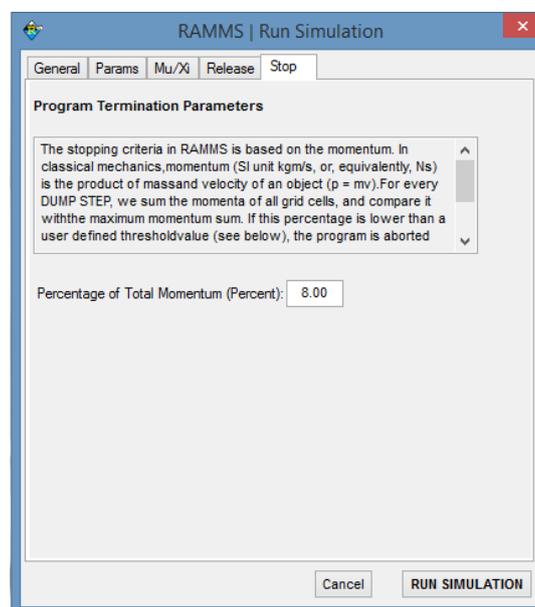


Abbildung 3-10: Eingabefenster in RAMMS::Hillslope für das Abbruchkriterium der Berechnung

¹ In der klassischen Mechanik ist der Impuls das Produkt der Masse und der Geschwindigkeit eines Objektes ($\vec{p} = m * \vec{v}$, Einheit kgm/s bzw. Ns)

3.3.3.2. GIS-GESTÜTZTE ERSTELLUNG VON NATURGEFAHRENKARTEN

Im Zuge des Forschungsprojektes „GIS-gestützte Erstellung von Naturgefahrenkarten für rutschende und stürzende Ereignisse im regionalen Maßstab im Gebiet der Gemeinden Afritz und Feld am See“ wurde die JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8, Kompetenzzentrum für Umwelt, Wasser und Naturschutz, damit beauftragt ein Modell in Form einer GIS-Applikation für die Ermittlung der Runout-Reichweiten (Auslauf-Reichweiten) von Steinschlägen und Rutschungen zu erstellen (POLTNIG & BERG, 2013).

3.3.3.2.1. EINFÜHRUNG

Als Grundlage für die Simulation der Runout-Reichweiten ist die Kenntnis von Startbereichen für rutschende und stürzende Ereignisse notwendig.

Solche Bereiche werden über die Berechnung von Onset-Suszeptibilitätskarten identifiziert. Die Erstellung der Suszeptibilitätskarten wird mit der Indexmethode (RUFF, et al., 2005; POLTNIG, et al., 2011), unter der Anwendung des Leitfadens „MassMove - Mindeststandard zur Erstellung von Gefahrenkarten zu Rutschungen und Steinschlägen als Werkzeug für vorbeugende Katastrophenvermeidung“ (BÄK, et al., 2011), durchgeführt (POLTNIG & BERG, 2013).

3.3.3.2.2. PARAMETER UND OUTPUT

Für die Erstellung der Suszeptibilitätskarten sind, unter Anwendung des Leitfadens „MassMove“, Gelände- und Oberflächenmodelle, geologische Karten, Landnutzungsdaten, topographische Karten, digitale Kataster, Orthofotos, ein Ereigniskataster, Karten von Phänomenen und der Schutzgutkatalog an Grundlagendaten notwendig und daraus werden sekundäre Datensätze, die als Eingangsparameter für die Modellierung erforderlich sind, erstellt.

Es erfolgt die Berechnung von Hangneigungs- und Hangneigungsrichtungsklassen, die Erstellung von lithologischen Karten aus geologischen Daten, die Vereinheitlichung der Landnutzungskarte, die Indizierung aller Parameterkarten und die Berechnung der Gesamt-Suszeptibilität. Das Ergebnis ist eine Onset-Suszeptibilitätskarte für Rutschungen mit einer Abstufung in beispielsweise geringe, mittlere und hohe Suszeptibilität (POLTNIG & BERG, 2013).

Für die Runout-Modellierung werden daraus dann Startbereiche, durch den Verschnitt von positiven Kurvaturen (Parameter für die Wölbung) mit Bereichen hoher Suszeptibilität, berechnet, da Rutschungen in der Praxis oft unterhalb von Geländekanten auftreten (Vergleiche 2.1.2.1.2., MEYER, 2010). Dort kommt es durch die Querschnittsverengung des Grundwasserleiters zu Porenwasserüberdrücken, die die Standsicherheit herabsetzen. Aus den meist großen Flächen der hohen Suszeptibilität werden daher Bereiche aus dem digitalen Höhenmodell abgeleitet, die eine konvexe Morphologie aufweisen (POLTNIG & BERG, 2013).

Für das Runout-Modell benötigt man das digitale Höhenmodell, das Geologie-Shape, das Landnutzungs-Shape, die Kurvature, μ -Werte (Reibungsbeiwerte) der Startzellen und der Landnutzung und der Landnutzungs- μ -Raster an Ausgangsdaten (POLTNIG & BERG, 2013).

3.3.3.2.3. MATHEMATISCHES MODELL

Das Modell basiert auf mathematisch-physikalischen Überlegungen mit empirischen Ansätzen (semiempirisches Modell).

Für die Simulation der Runout-Reichweiten erfolgt, ausgehend von den Startzellen, eine Berechnung der Fließpfade der Rutschungen. Entlang der Fließpfade werden Modellpfade mit Austrittsgeschwindigkeiten (v_b) in Abhängigkeit der Morphologie und des Reibungsbeiwertes (μ) mit folgender Formel bestimmt:

$$v_b = \sqrt{v_a^2 + 2 * L * g * (\sin \varphi - \mu * \cos \varphi)},$$

mit der Startgeschwindigkeit (v_a), der Länge des Segments (L), der Gravitationskonstante (g), der Hangneigung (φ) und dem Reibungsbeiwert (μ). In die Startzelle gehen als Ausgangsparameter die Hangneigung und der Ausgangs- μ -Wert bei einer gegebenen Startgeschwindigkeit (üblicherweise $v_a = 0$) ein (POLTNIG & BERG, 2013).

Für jedes nachfolgende Segment wird eine neue Eintritts- und Austrittsgeschwindigkeit berechnet. Unterschiedliche Landnutzungsformen und die Krümmung gehen als bremsende Faktoren, durch ein schrittweises Hinzufügen eines μ -Wertes zum Start- μ -Wert, ein. Die Rutschung stoppt, wenn das Ende des potentiellen Fließpfades erreicht ist oder die Austrittsgeschwindigkeit (v_b) gegen 0 geht. Dies soll einerseits unterschiedliche Wirkungen von Hindernissen (Rauigkeit) der Landnutzungsarten und andererseits die Entwässerung während des Fließ-/Rutschvorgangs (Erhöhung der inneren Reibung) berücksichtigen. Ein Rutschungsgebiet (siehe Abbildung 3-11) wird dann durch die Pufferung der Modellpfade erstellt (POLTNIG & BERG, 2013).

Die Parameter μ -Wert der Startzelle, der Krümmung-Raster und dessen Korrekturfaktor des Modells können angepasst werden und erlauben so eine Überprüfung der Wirkungsweise auf das Modellergebnis. Auf diese Weise können die Parameter mit Hilfe von einzelnen bekannten Rutschungen auf ein „best-fit“-Ergebnis durch Rückrechnung kalibriert werden. Da bodenphysikalische Kennwerte im regionalen Maßstab einerseits nicht vorliegen und andererseits Bodendaten in bestimmten Gebieten überhaupt fehlen (z. B. Waldgebiet), sind die μ -Werte der Startzellen nicht bekannt. Den geologischen Polygonen werden daher fiktive Reibungswinkel, in Abhängigkeit der Lithologie des Untergrundes, zugewiesen und in Reibungsbeiwerte (μ) umgerechnet. Über den Korrekturfaktor der Start- μ -Werte können alle μ -Werte vergrößert oder vermindert werden. Es kann so eine Verminderung des Reibungsbeiwertes, infolge einer hohen Wassersättigung, simuliert werden (POLTNIG & BERG, 2013).

Die Krümmung steuert im Modell das Maß der Entwässerung der Rutschmasse. Dabei handelt es sich um einen rein empirischen Ansatz nach POLTNIG & BERG (2013). Das Modell berücksichtigt bei jedem Berechnungsschritt, durch die Entwässerung, eine Erhöhung der inneren Reibung. Der Krümmung-Raster dient daher zur Korrektur der Fließgeschwindigkeiten an konvexen und konkaven Geländeformen. Mit Hilfe des Krümmung-Korrektur-Faktors kann eine Erhöhung oder Verminderung der Entwässerung entlang des Fließpfades in Abhängigkeit der Krümmung simuliert werden, was beispielsweise bei großen Ereignissen sinnvoll ist, da eine große Rutschmasse von der Vegetation weniger stark gebremst wird als eine kleine Rutschung (POLTNIG & BERG, 2013).

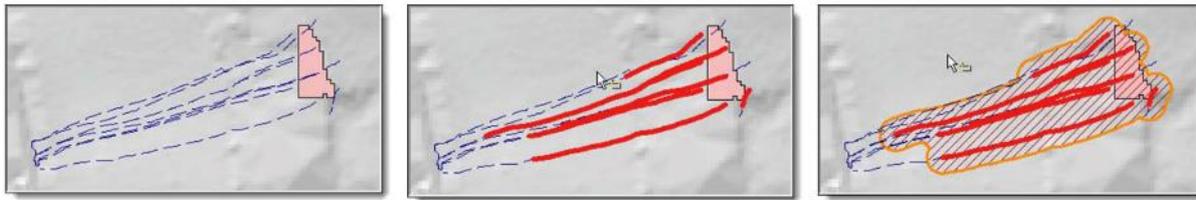


Abbildung 3-11: Modellierung von Fließ- und Modellpfaden mit gepufferten Rutschungsgebieten (POLTNIG & BERG, 2013)

Je nach Schwere der Ereignisse können die Parameter so gewählt werden, dass hohe, mittlere und niedrige Gefährdungen modelliert werden. Daraus resultieren unterschiedliche Runout-Reichweiten, die zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten verwendet werden können.

3.3.3.2.4. PARAMETER UND ERSTELLUNG EINER SIMULATION

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen verschiedene Parametereinstellungen (siehe Abbildung 3-12) und wie sich diese auf das Ergebnis der Runout-Berechnung (siehe Abbildung 3-13) auswirken.

Ausgangsdaten für die Runout-Berechnung (POLTNIG, 2014):

- **DHM** (5 m) aus ALS-Daten (1 m) abgeleitet
- **Startzellen** für die Runout-Modellierung (aus dem Verschnitt der positiven Kurvaturen mit den Bereichen hoher Onset-Suszeptibilität abgeleitet)
- **μ -Raster** der Landnutzung (beeinflusst die Geschwindigkeit in Abhängigkeit verschiedener Landnutzungsarten)
- **geologische Polygone** (daraus wird der Start- μ -Wert der Rutschmasse abgeleitet)
- **ascii-Datensatz der μ -Werte** der lithologischen Einheiten des Geologiedatensatzes
- **Kurvatur-Raster** (5 m)

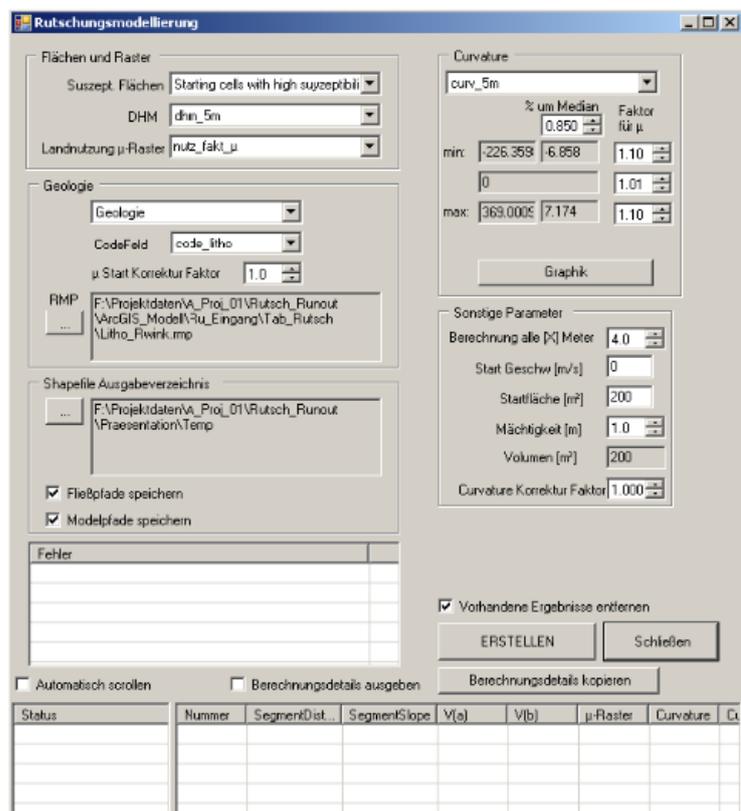


Abbildung 3-12: Eingabefenster des GIS-AddIns für die Runout-Berechnung (POLTNIG, 2014)

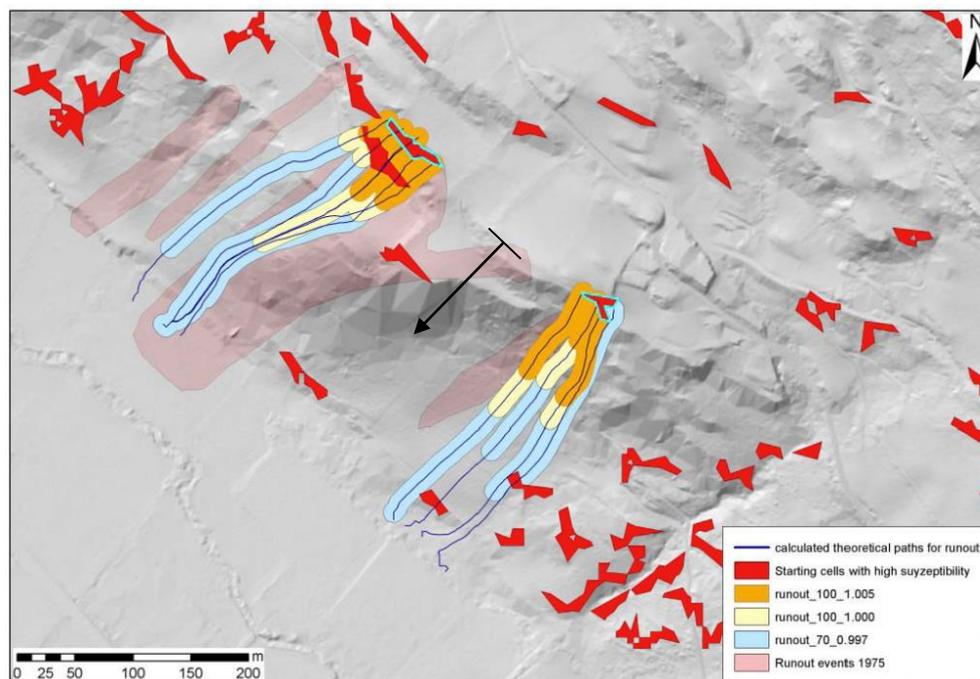
Abbildung 3-13 zeigt die Ergebnisse der Runout-Berechnung anhand der angeführten Ausgangsdaten und mit drei verschiedenen Varianten der Parametereinstellung (siehe Tabelle 3-7). Dazu wurden zwei Startbereiche, die im Bereich der Rutschungsereignisse des Jahres 1975 liegen, ausgewählt. Je nach Parameteranpassung werden unterschiedliche Runouts der Rutschungen berechnet. In hellrot sind die Auslaufbereiche der Ereignisse des Jahres 1975 dargestellt (POLTNIG, 2014).

Tabelle 3-7: Parameter für 3 Varianten der Runout-Berechnungen (POLTNIG, 2014)

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
μ -Start-Korrekturfaktor	1,0	1,0	0,7
Kurvatur-Korrektur-Faktor	1,000	1,005	0,997

Variante 1 entspricht einem Boden, dessen Wassergehalt noch nicht zur Ausbildung von Hangmuren führen sollte, Variante 2 ist ähnlich, entwässert aber etwas mehr als Variante 1 und Variante 3 entspricht einem stark wasserübersättigten Boden, der zur Ausbildung von Hangmuren führt und große Runouts erreichen kann (POLTNIG, 2014).

Die Parameter können so angepasst werden, dass sich die Auslaufbereiche der historischen Ereignisse damit decken und mit Hilfe solcher Aufzeichnungen an die regionalen Bedingungen kalibriert werden.



↙ ... Fallrichtung des Hanges

Abbildung 3-13: Ergebnis der Runout-Berechnung mit drei verschiedenen Parametereinstellungen (POLTNIG, 2014)

4. PROJEKTGEBIETE UND DATEN

Die vorgestellten Ansätze und Programme werden anhand von zwei ausgewählten Rutschungen angewandt. Im folgenden Kapitel werden die Projektgebiete vorgestellt und die beiden Rutschungen charakterisiert. Es wird auf die vorhandenen und aufgenommenen Daten und auf die Aufbereitung für die Simulation eingegangen.

4.1. EINFÜHRUNG

Die bearbeiteten Rutschungen befinden sich im Gemeindegebiet von Feld am See bzw. Wernberg, in Kärnten, Österreich.

Die erste Rutschung ereignete sich am 07.11.2012 an der Gemeindestraße Hinterrauth, in der Gemeinde Feld am See, wobei die Straße auf einer Länge von 28 m talseits abgerutscht ist.

Die zweite Rutschung ereignete sich am 10.11.2013 zwischen Kilometer 334,300 und 334,235 der B83 Kärntner Straße, in der Nähe der Ortschaft Lichtpold, im Gemeindegebiet von Wernberg, wobei die Straße hier auf einer Länge von 65 m weggerissen wurde.

Die beiden Rutschungen werden in Folge „*Rutschung Hinterrauth*“ bzw. „*Rutschung Lichtpold*“ bezeichnet und jeweils getrennt voneinander charakterisiert.

4.1.1. GEOGRAFISCHE LAGE UND GEOMORPHOLOGIE

Abbildung 4-1 zeigt eine topographische Übersichtskarte der beiden Rutschungen im Maßstab 1:100.000. Als Kartengrundlage dient die österreichische Karte 1:200.000 (ÖK200) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV).

In der Abbildung wird die Rutschung Hinterrauth mit R1 und die Rutschung Lichtpold mit R2 abgekürzt. Beide Rutschungen befinden sich im Bezirk Villach Land, im Bundesland Kärnten, in Österreich.

Sie liegen am Südrand der Gurktaler Alpen, welche zu den Zentralalpen der österreichischen Ostalpen zählen. Die Gurktaler Alpen werden im Norden von der Mur, im Süden von der Drau, im Westen vom Katschberg bzw. dem Liesertal und im Osten vom Neumarkter Sattel begrenzt. Sie können weiter in die westlichen und östlichen Nockberge, die Afritzer Nockberge, die Wimitzer Berge, die Metnitzer Berge, den Mödringbergzug und das Guttaringer Bergland unterteilt werden. Die höchste Erhebung bildet mit 2441 m der Eisenhut in den Nockbergen.

Die Gurktaler Alpen zeichnen sich im Süden und Osten durch breite Hügel und weite Täler aus und werden im Norden und Westen durch ein hochragendes Bergland geprägt. Die Erhebungen sind durch breite Rücken, die von Alm- und Forstwirtschaft dominiert werden, gekennzeichnet. Nur vereinzelt sind Erhebungen anzutreffen, die schroffe Formen bilden. Die gesamten Gurktaler Alpen sind durch zahlreiche große und kleine Seen gekennzeichnet.

Durch die großteils sanfte Struktur sind die Gurktaler Alpen günstig für Land- und Forstwirtschaft, sowie als Wander- und Skigebiet beliebt.



Abbildung 4-1: Übersicht der bearbeiteten Rutschungen R1 und R2 (BEV, 2010)

4.1.1.1. RUTSCHUNG HINTERRAUTH

Die Rutschung Hinterrauth ereignete sich an der Gemeindestraße Hinterrauth und betraf die Grundstücke 965, 966/1, 966/2 und 2131 (Straße) in der Katastralgemeinde (KG) Rauth (KG-Nummer 75435) in der Gemeinde Feld am See (Gemeinde-Nummer 20708).

Die Anrisszone hat die Koordinaten Rechtswert 483273 und Hochwert 179585 nach dem Bundesmeldenetz M31 (BMN M31).

Der betroffene Hang liegt auf der Nordost-Seite des Gegendtales (siehe Abbildung 4-2), zwischen Feldsee und Afritzer-See, das sich vom Ostufer des Millstätter-Sees nach Osten über Radenthein und weiter nach Südosten bis zum Westufer des Ossiacher-Sees erstreckt.



Abbildung 4-2: Lage der Rutschung Hinterrauth (KAGIS, 2014)

Das gesamte Gegendtal ist glazial und periglazial überprägt und zeigt charakteristische Landschaftsformen, wie Terrassen, Trogschultern, Blockmeere, etc. Der gesamte Rutschhang zeichnet sich durch eine auffallend unruhige Morphologie aus.

4.1.1.2. RUTSCHUNG LICHPOLD

Die Rutschung Lichtpold ereignete sich auf der B83 Kärntner Straße zwischen Kilometer 334,235 und 334,300, in der Nähe der Ortschaft Lichtpold und betraf die Grundstücke 324/3, 326 und 630 (B83) in der KG Sand (KG-Nr. 75438), sowie die Grundstücke 888/2, 889/1 und 1072/1 in der KG Neudorf (KG-Nr. 75430) im Gemeindegebiet von Wernberg (GM-Nr. 20727).

Die Anrisszone hat die Koordinaten Rechtswert 499143 und Hochwert 163933 nach dem BMN M31 (siehe Abbildung 4-3).

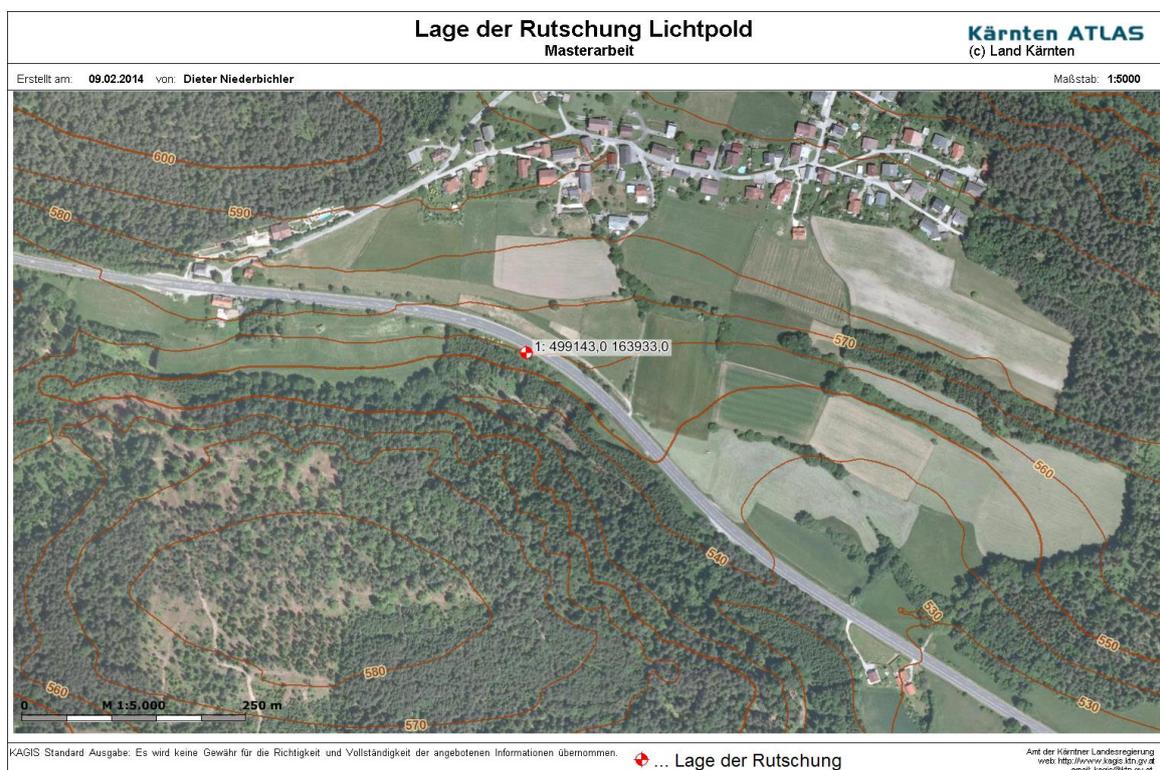


Abbildung 4-3: Lage der Rutschung Lichtpold (KAGIS, 2014)

Die Rutschung liegt auf dem Südhang des überwiegend ost-west verlaufenden Drautales. Die Landschaft zeichnet sich hier durch eine sanft nach Süden einfallende, periglazial überprägte, terrassenartige Morphologie aus. Im Bereich der Rutschung fällt das Gelände stärker ab und endet in einem bachführenden Graben (siehe Abbildung 4-3). Der Gegenhang steigt steil an und bildet den Fuß eines sanften Hügels, der Charakteristika eines Rundhöckers¹ zeigt.

¹ Länglicher Rücken aus Festgestein, der durch glaziale Erosion entstanden ist.

4.1.2. REGIONALE GEOLOGIE

Die Alpen werden in West-, Ost- und Südalpen gegliedert. Die Periadriatische Naht (Alpin-Dinarische Grenze) trennt die Ost- und Südalpen. Ost- und Südalpen, inklusive der Neogenbecken, gehören zur alpidischen Gebirgskette (NIEDERBICHLER, 2011).

Die ostalpinen Einheiten bauen sich aus zahlreichen übereinanderliegenden Decken auf. Nach der alten, traditionellen, tektonischen Gliederung der Ostalpen nach TOLLMANN (1977), liegt über den tiefsten penninischen Einheiten, welche im Engadiner-, Tauern- und Rechnitzer Fenster auftreten, das ostalpine Deckensystem (Ostalpin) welches in Unterostalpin, Mittelostalpin und Oberostalpin gegliedert wird. Das ostalpine Deckensystem ist das tektonisch Höchstliegendste und in den Ostalpen flächenmäßig Größte (NIEDERBICHLER, 2011).

Aufgrund von Korrelationsproblemen von abgescherren mesozoischen Einheiten mit dem Mesozoikum der Basamenteinheiten hat SCHMIDT et.al. (2004) eine neue Gliederung des Ostalpins vorgestellt. Demnach wird das Ostalpin nunmehr in Unter- und Oberostalpin oder unteres und obers Austroalpin gegliedert. Das Oberostalpin wird in die Basamenteinheiten und das eigentliche Oberostalpin (nördliche Kalkalpen und Grauwackenzone) unterteilt (tektonische Karte siehe Anhang A1). Die mittelostalpinen Einheiten nach TOLLMANN (1977) werden nach der neuen Gliederung dem oberostalpinen Basement zugeordnet.

Beide Rutschungegebiete liegen am Südrand des Drauzug-Gurktal-Deckensystems. Dieses Deckensystem wird nach SCHMIDT et.al. (2004) den oberostalpinen Basamenteinheiten zugeordnet. TOLLMANN (1977) ordnete die Gurktaler-Decke und den Drauzug (Gailtaler Alpen und Nordkarawanken), neben den nördlichen Kalkalpen, der Grauwackenzone und dem Grazer Paläozoikum, dem Oberostalpin zu.

Das Drauzug-Gurktal-Deckensystem wird aus paläozoischen Sedimentserien, die ein variszisches Basement und permomesozoische Decksedimente haben, aufgebaut. Diese unterlagen einer niedriggradigen, variszischen Metamorphose (Grünschieferfazies) und Deformation. Die Serien sind durch steilstehende, tertiäre Störungen begrenzt. Es kann weiter in die Tonale-Serie, die Steinach-Decke, den Drauzug, die Gurktal-Decke und das Grazer Paläozoikum unterteilt werden (TOLLMANN, 1977; SCHMID, et al., 2004).

4.1.2.1. LOKALE GEOLOGIE DER RUTSCHUNG HINTERRAUTH

Das Gebiet liegt am Südrand des Drauzug-Gurktal-Deckensystems. Eine Störung durchzieht das Gegendtal (Gegendtalstörung), die mit der Periadriatischen Naht in Verbindung steht.

An Gesteinen findet man hier Glimmerschiefer bis Paragneise, die nordöstlich, mittelsteil (25 – 35°) einfallen (STEINER, 2012). Es sind immer wieder Linsen aus Eklogit und Amphibolit zu finden.

Die Hänge und der Talboden sind durch glaziale bzw. periglaziale Sedimente gekennzeichnet. An den Hängen findet man mehr oder weniger mächtige Ablagerungen von Moränen, die zum Teil eine tiefgründige Verwitterung und ein breites Korngrößenspektrum aufweisen. Die Ablagerungen sind teilweise stark verfestigt und weisen höhere Feinkornanteile auf, wodurch die Durchlässigkeit herabgesetzt ist. Es sind daher immer wieder Vernässungszonen und Quellaustritte zu finden.

Im Talboden sind quartäre Ablagerungen vorhanden. Neben Schwemmfächern und Schwemmkegeln, ist auch Wildbachschutt zu finden. Durch die verfestigte Grundmoräne sind immer wieder Nassstellen und Auzonen anzutreffen.

Abbildung 4-4 zeigt die lokale Geologie der Rutschung Hinterrauth.

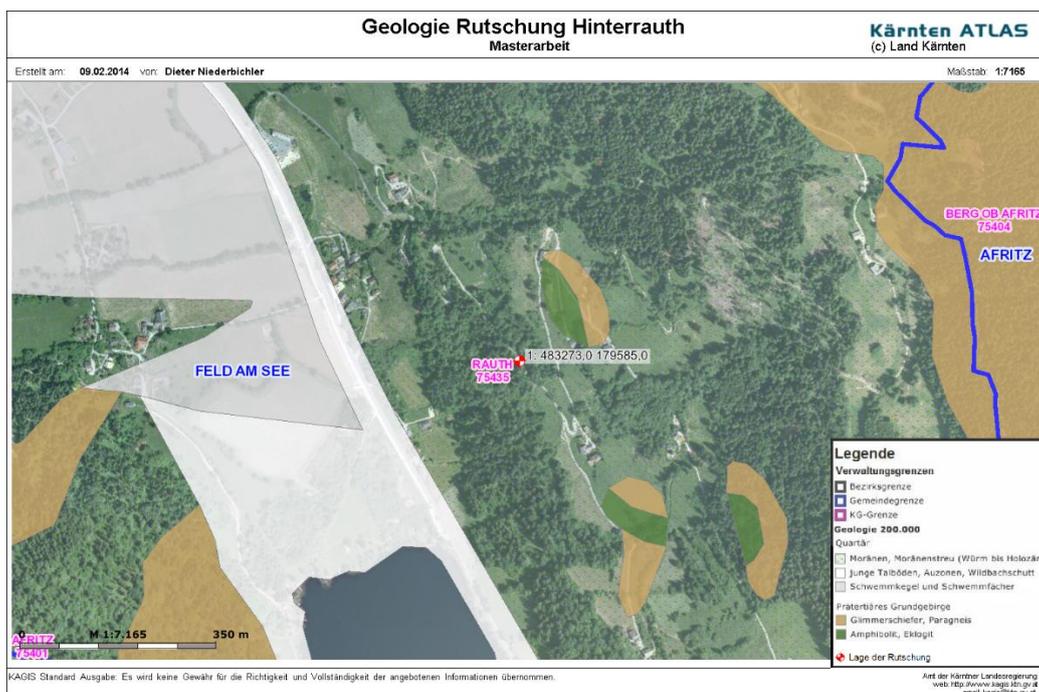


Abbildung 4-4: Geologische Übersicht der Rutschung Hinterrauth (KAGIS, 2014)

4.1.2.2. LOKALE GEOLOGIE DER RUTSCHUNG LICHTPOLD

Das Gebiet liegt in einem quartären Becken am südlichen Rand des Drauzug-Gurktal-Deckensystems und ist ebenfalls stark glazial überprägt. Der gesamte Bereich der Rutschung ist durch Moränenmaterial gekennzeichnet. Durch die glaziale Überprägung sind immer wieder Vernässungszonen und Quellaustritte zu finden (siehe Abbildung 4-5). An Gesteinen treten hier hauptsächlich Phyllite, Glimmerschiefer, Quarzite und Marmorlinsen auf.

Nach POLANZ & RUPRECHT (2013) kann der Aufbau des Untergrundes wie folgt charakterisiert werden: unter dem Oberboden (Mutter- und Zwischenboden) treten vorwiegend feinkornbetonte Bodenschichten auf. Diese können als umgelagertes Moränenmaterial angesehen werden, das vorwiegend aus locker gelagerten, schluffigen Sanden, mit untergeordnet eingelagerten „schwimmenden“ Kieskomponenten, besteht. Darunter folgen, in einer Tiefe von 2 bis 4 m unter der Geländeoberkante, verwitterte, braune Moränen- und Grundmoränenablagerungen, gefolgt von blaugrauen, „frischen“ bzw. unverwitterten und kompakten Moränenablagerungen, welche als Grund- bzw. Hangwasserstauer fungieren.

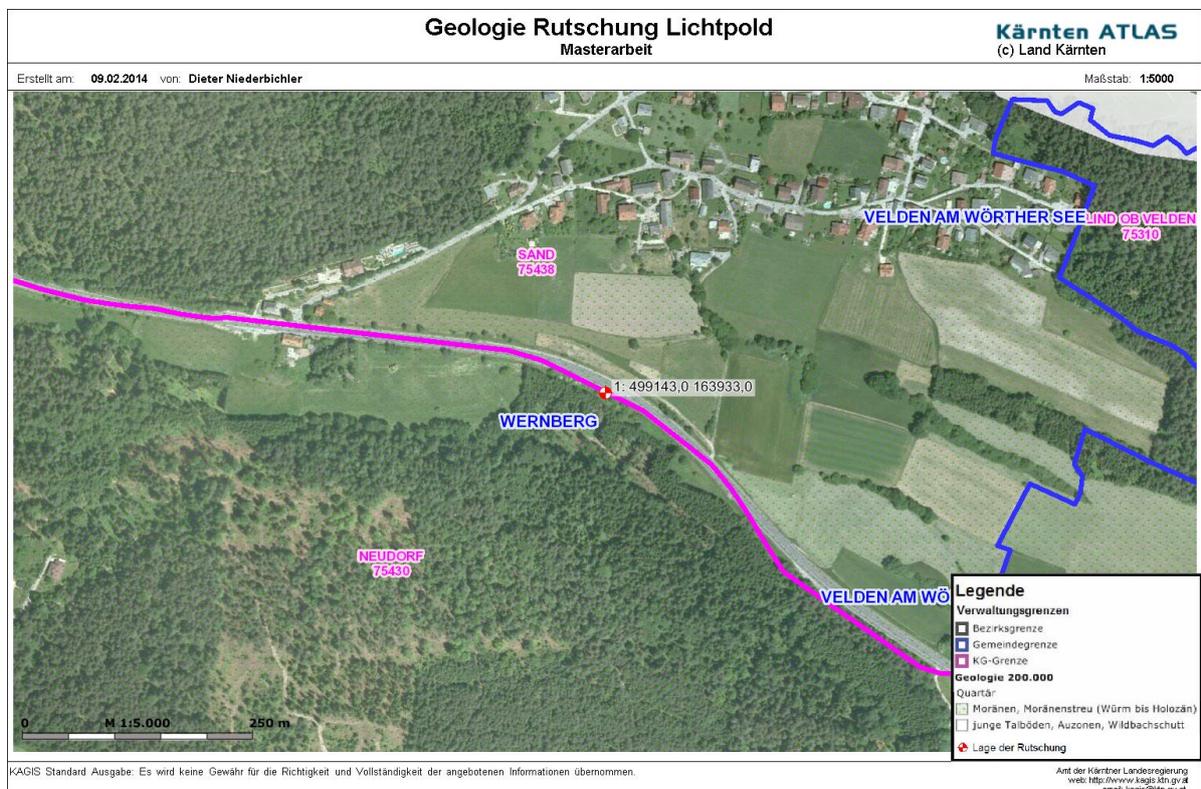


Abbildung 4-5: Geologische Übersicht der Rutschung Lichtpold (KAGIS, 2014)

4.2. DATEN UND GELÄNDEAUFNAHME

Im folgenden Kapitel werden die im Gelände gewonnenen Daten und Erkenntnisse, sowie die zur Verfügung gestellten Daten der projizierten Rutschungen zusammengestellt.

4.2.1. RUTSCHUNG HINTERRAETH

Von der Rutschung Hinterrauth wurden seitens des Amtes der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8, sowie des Ingenieurbüros ibg ZT-GmbH, Informationen und Unterlagen, wie der geologische Geländebefund, der hydrogeologische Kartierbericht, sowie Kartenmaterial, das lokale digitale Höhenmodell und Orthofotos zur Verfügung gestellt.

Das Gegendtal war in der Vergangenheit schon mehrmals von Massenbewegungen betroffen. Im Frühjahr 1975 verursachte die Schneeschmelze in Kombination mit starken Niederschlägen verheerende Naturkatastrophen in Oberkärnten. In den Gemeinden Afritz und Feld am See kam es zu unzähligen Murgängen und Rutschungen (siehe Abbildung 4-6).

Aufgrund dieser zahlreichen Ereignisse wurden im Gegendtal Gefahrenzonenpläne erstellt. Dazu sind Kartierungen durchgeführt und Daten der Ereignisse gesammelt worden.

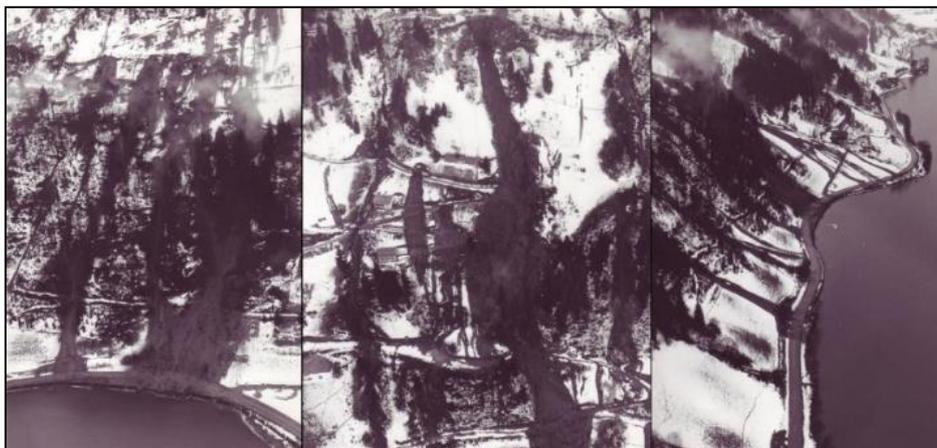


Abbildung 4-6: Fotos der Hangmuren im Gegendtal im April 1975 (aus HAFNER, 1978)

Im Ereigniskataster des Landes Kärnten sind diese Aufzeichnungen abrufbar. Aufgrund der Datenvielfalt wurden die beiden Gemeinden für das Forschungsprojekt „GIS-gestützte Erstellung von Naturgefahrenkarten“ ausgewählt.

4.2.1.1. GELÄNDEAUFNAHME UND CHARAKTERISIERUNG

Die bearbeitete Rutschung ereignete sich an einer Stelle mit einem tiefgründig verwitterten Boden. Bei dem Hang handelt es sich vermutlich um eine reliktsche Trogschulter (BÄK, 2013). Die Morphologie ist allgemein sehr unruhig (siehe Abbildung 4-7).



Abbildung 4-7: Lage und Ausmaß der Rutschung Hinterrauth

Die zahlreichen Strukturen im Gebiet (unruhige Geländemorphologie, Rutschungs- und Erosionsnischen, Geländesprünge, Säbelwuchs an Bäumen, Rissbildungen in Straßen und teilweise an Bauwerken), die augenscheinlich in mehreren Phasen/Ereignissen, über längere Zeit, entstanden sind, lassen auf eine ausgedehnte Großmassenbewegung schließen (STEINER, 2012).

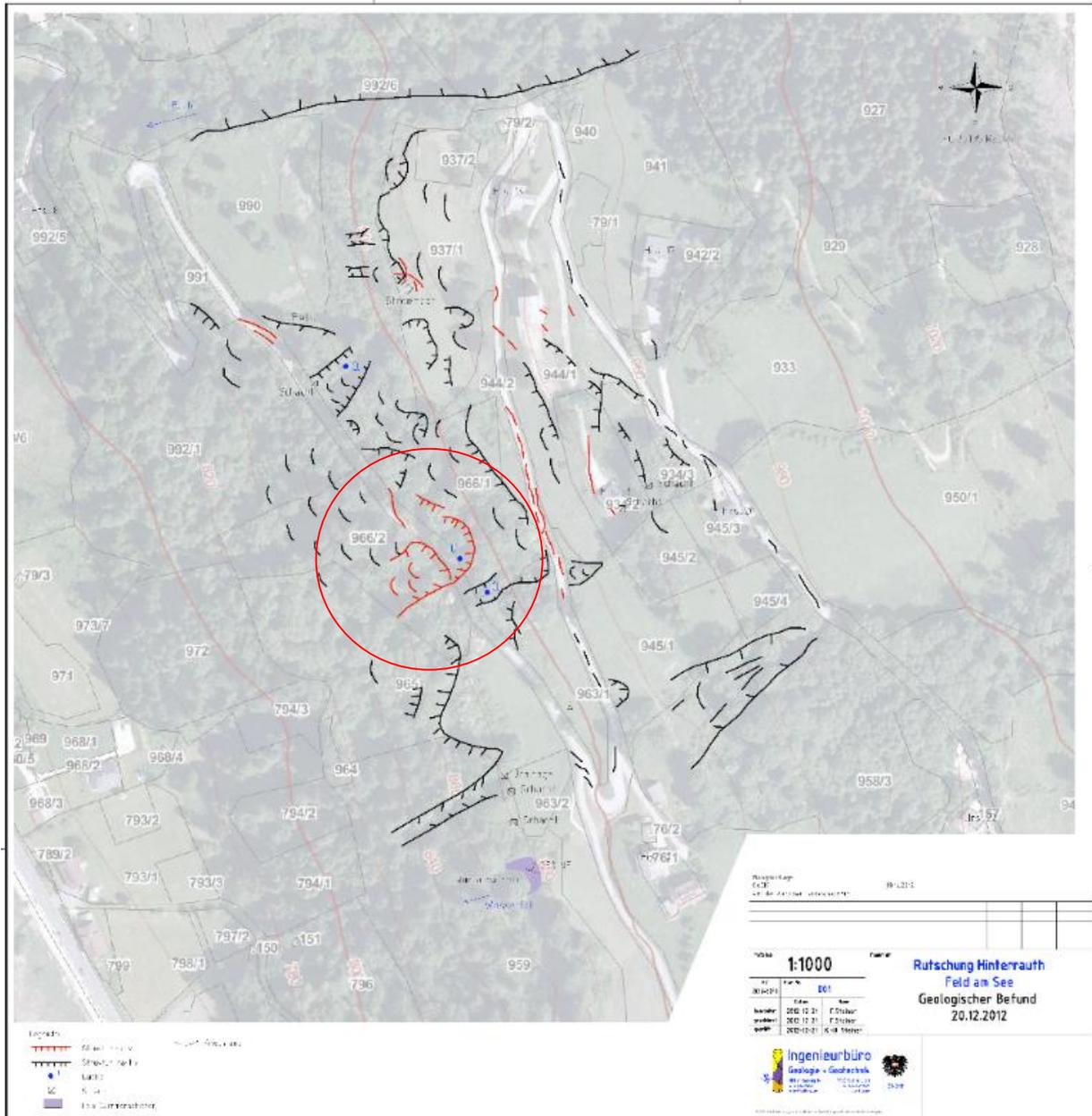


Abbildung 4-8: Karte des geologischen Geländebefunds der Rutschung Hinterrauth (STEINER, 2012)

Abbildung 4-8 zeigt die beiliegende Karte des geologischen Geländebefunds der ibg ZT-GmbH. Darauf sind zahlreiche Strukturen eingezeichnet, die auf einen ausgedehnten Kriechhang hinweisen. In der Abbildungsmitte, in Rot, ist der Anriss der Rutschung vom 07.11.2012 gekennzeichnet (roter Kreis).

Die Rutschung ereignete sich innerhalb eines größeren Rutschkörpers, in dessen gesamtem Gebiet immer wieder Nassstellen und Quellaustritte auftreten (siehe Abbildung 4-9).



Abbildung 4-9: Anriss der aktuellen Rutschung mit verlagertem Material (rot) und Abrisskanten (weiß) des größeren Rutschkörpers

Die Rutschung in Hinterrauth kann als komplexe Rutschung klassifiziert werden. Es handelt sich um eine spontane Rutschung, mit deutlich ausgebildeter rotationaler Gleitfläche und anschließender Hangmure. Die Straße ist auf einer Länge von 28 m und auf der halben Breite abgerutscht. Der verbleibende Unterbau der Straße mit dem Asphalt-Belag bildete einen leichten Überhang am Anriss. Der Großteil der verlagerten Masse ist noch auf der rotationsförmigen Gleitfläche stehen geblieben. Der Rest bildete eine breiige Masse, die in Form einer Hangmure bis zur ca. 110 m entfernten Geländekante geflossen und davon oberhalb stehen geblieben ist (Abbildung 4-7).

Der Anrissbereich hat eine Fläche von etwa 500 m². Es haben sich insgesamt ca. 1750 m³ an Lockersedimenten verlagert.

An die Geländekante schließt ein sehr steiler Hang mit bis über 100% Neigung an. Am Hangfuß befinden sich mehrere bewohnte Gebäude.

Die Gleitfläche im Anrissbereich hat eine maximale Breite von ca. 28 m (W_r). Die maximale Breite der Rutschmasse beträgt etwa 25 m (W_d) und sie weist eine Länge (L_d) von ca. 95 m auf. Die Gesamtlänge beträgt etwa 105 m (L) und die Gleitfläche weist eine Länge (L_r) von rund 18 m auf. Die Rutschung Hinterrauth hat eine Reichweite (R) von ca. 92 m (siehe Abbildung 4-10 und Erläuterungen 3.1.1.1.).

Die Rutschmasse ist durch eine weitgestufte Korngrößenverteilung gekennzeichnet, wobei vereinzelt große Blöcke eingelagert sind.

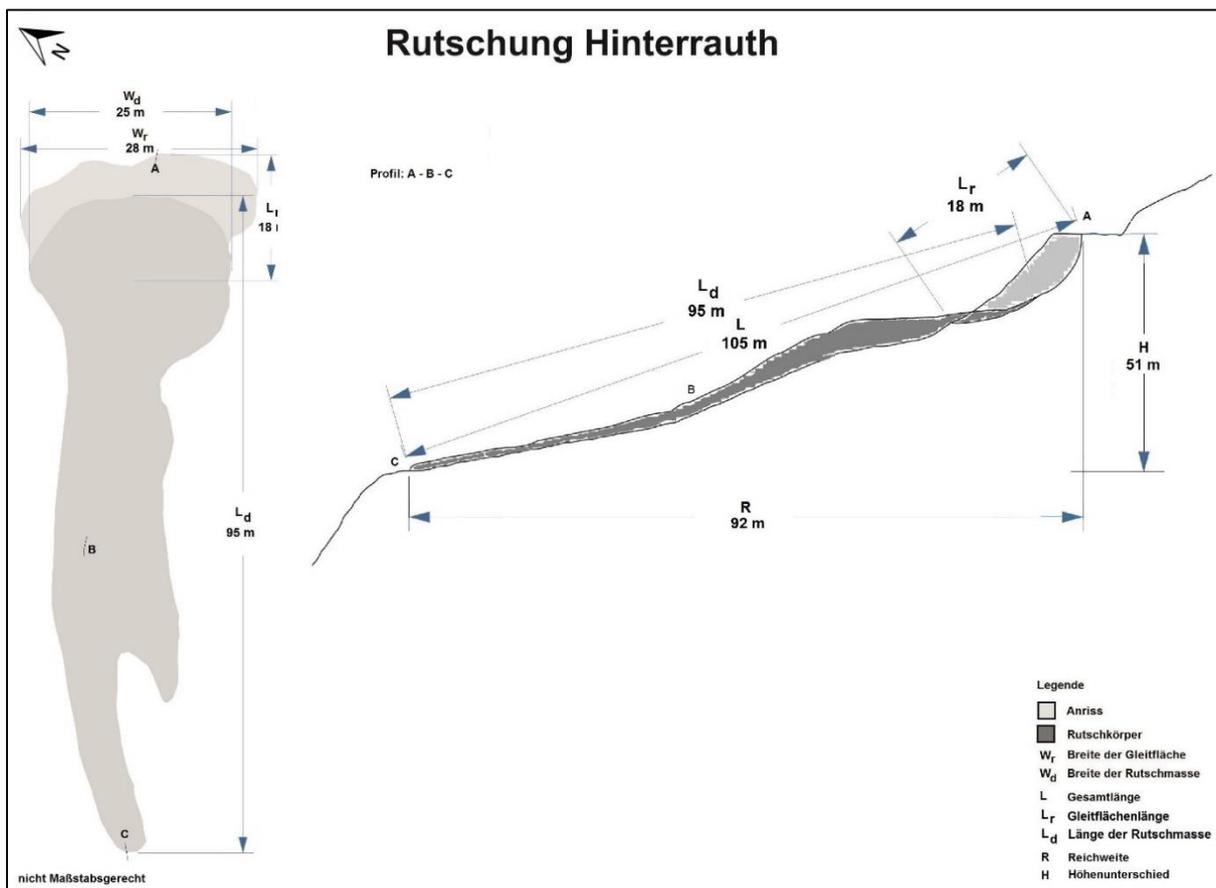


Abbildung 4-10: Merkmale und Dimensionen der Rutschung Hinterrauth

Bezüglich der Bewegungsrate (siehe 2.1.1.4) ist die Rutschung differenziert einzustufen und kann als komplexe Rutschung klassifiziert werden. Durch die Wassersättigung des Untergrundes wurde die Standfestigkeit des Hanges so weit herabgesetzt, dass es zu ersten Setzungen kam (Geschwindigkeitsklasse ~4 – moderat). Durch die fortlaufende Sättigung des Untergrundes begann sich der Hang am Anriss schneller zu setzen. Es kam zu einer Steigerung in der Bewegungsrate zu Klasse 4 bis 5 (moderat bis schnell). In einer dritten Phase hat sich ein nahezu gesättigter Erdkörper mit einer Bewegungsrate von 5 bis 6 (schnell bis sehr schnell) hangabwärts bewegt.

Die starken Niederschläge im November sind vermutlich für die Auslösung verantwortlich. Als vorbereitende Faktoren sind die quartäre Geologie in diesem Gebiet, sowie die Hangmorphologie zu sehen. Durch die glazialen bzw. periglazialen Ablagerungen wurden natürliche Gleitflächen gebildet. Die Wassersättigung hat die Reibung an der Gleitfläche der Rutschung herabgesetzt und der Hang geriet in Bewegung.

4.2.2. RUTSCHUNG LICHPOLD

Von der Rutschung Lichtpold wurden, seitens des Amtes der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8, sowie des Ingenieurbüros GDP ZT GmbH, Informationen und Unterlagen, wie das bodenmechanische Gutachten, Kartenmaterial, das lokale digitale Höhenmodell und Fotos zur Verfügung gestellt.

Im Bereich der gegenständlichen Rutschung ereignete sich bereits im November 2012, aufgrund starker Niederschläge, an der talseitigen Straßenböschung der B83, bei Kilometer 334,23, eine Rutschung mit einem Anriss von ca. 25 m Länge und 1,5 m Höhe (POLANZ & RUPRECHT, 2013).

Abbildungen 4-11 und 4-12 zeigen das Ausmaß der Hauptrutschung vom 10.11.2013 im Anriss- und Ablagerungsbereich und den Hang nach der vollständigen Sanierung.



Abbildung 4-11: Anriss und verlagerte Masse der Rutschung Lichtpold (AMLACHER, 14.11.2013)



Abbildung 4-12: Rutschung Lichtpold nach der Sanierung

4.2.2.1. CHARAKTERISIERUNG DER RUTSCHUNG

Die Rutschung ereignete sich in einem terrassenartigen Gebiet, mit einem mäßig steilen Hangfuß, in einer langgezogenen Linkskurve der B83, Richtung Villach (siehe Abbildung 4-13). Die verlagerte Masse ist dabei bis in den gewässerführenden Graben abgerutscht und verlegte diesen zum Teil (siehe Abbildungen 4-11 und 4-12).

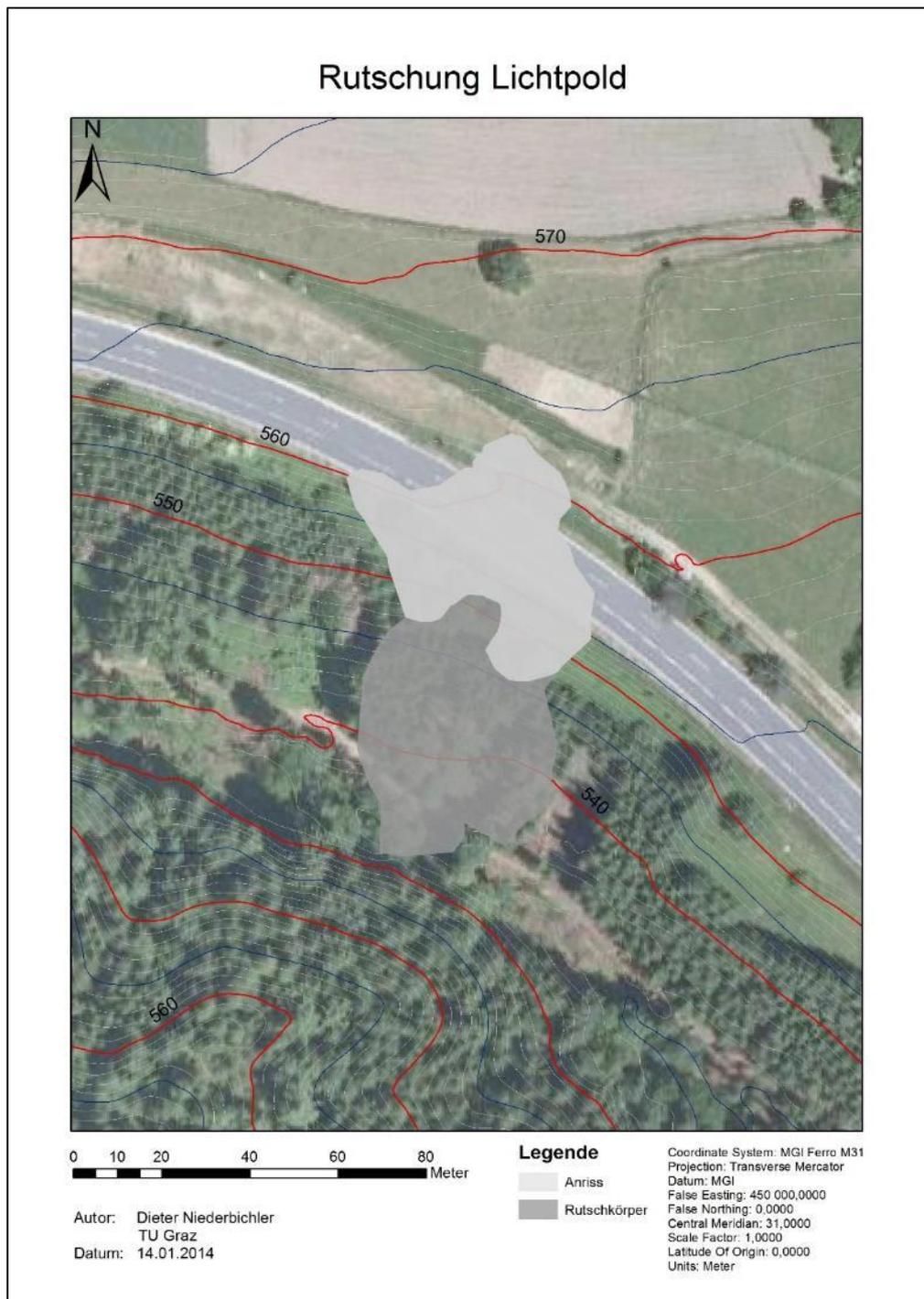


Abbildung 4-13: Lage und Ausmaß der Rutschung Lichtpold

Aufgrund der bereits erfolgten Sanierung der Straße und Manipulation der Rutschmasse konnten im Gelände keine Daten mehr erhoben werden. Die Charakterisierung der Rutschung erfolgte daher vorrangig anhand der vom Ingenieurbüro GDP ZT GmbH zur Verfügung gestellten Daten, sowie mit Hilfe des digitalen Höhenmodells, von Orthofotos und Fotografien.

Die Rutschung Lichtpold kann demnach als spontane Rutschung mit translatorischer Gleitfläche angesehen werden. Die B83 wurde dabei auf einer Breite (W_r) von ca. 65 m weggerissen. Die verlagerte Masse bewegte sich dabei in etwa gleichmäßig hangabwärts und lagerte sich am Hangfuß ab. Die Rutschung hat eine Reichweite (R) von ca. 96 m und eine Gesamtlänge (L) von rund 101 m, mit einer maximalen Länge der abgelagerten Rutschmasse (L_d) von etwa 63 m und einer Breite (W_d) von ca. 51 m. Die Gleitfläche hat eine Länge (L_r) von rund 53 m (siehe Abbildung 4-14).

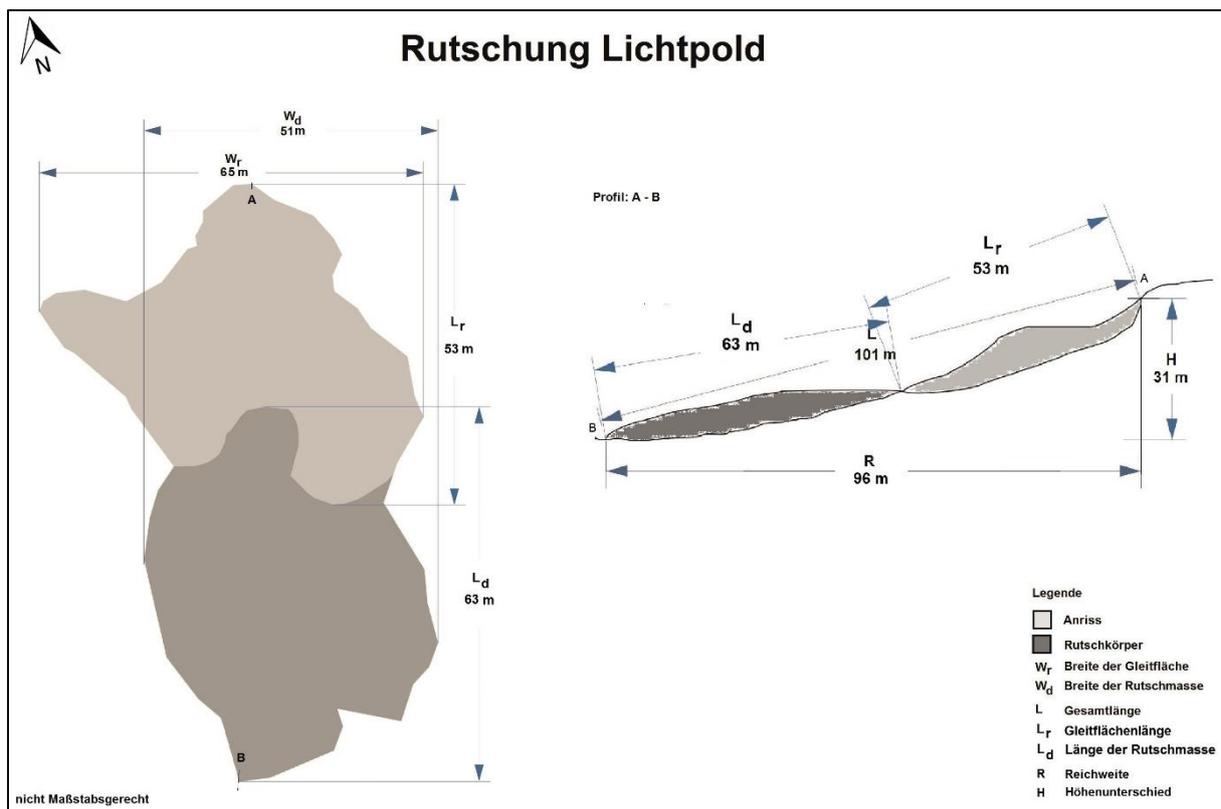


Abbildung 4-14: Merkmale und Dimensionen der Rutschung Lichtpold

Der Anriss weist eine Fläche von ca. 1800 m² auf. Es haben sich etwa 3750 m³ an Lockersedimenten verlagert.

Bezüglich der Bewegungsrate können nur Annahmen getroffen werden. Es ist aber aufgrund der Rahmenbedingungen anzunehmen, dass sich die Rutschung in Form einer „Hangexplosion“, in Folge von Wasserübersättigung des Untergrundes (auslösender Faktor), gebildet hat (POLANZ, 2014) und so Bewegungsraten im Bereich der Klassen 6 bis 7 (sehr schnell bis extrem schnell) aufwies. Es sind demnach Bewegungsraten von m/min bis m/s anzunehmen (siehe Erläuterungen 2.1.1.4.).

Nach POLANZ & RUPRECHT (2013) kann eine ständige und bereits lang andauernde Kriechbewegung des gesamten Hanges, im Bereich des Straßenkörpers, nachgewiesen werden (Rissbildungen im Straßenkörper, Rutschung 2012, etc.). Die Kriechbewegung verursachte vermutlich Schäden am Entwässerungssystem der B83. Dies führte, neben dem vorhanden Grund- und Hangzugwasser, sowie versickernden Oberflächenwässern, zu einem konzentrierten Wassereintrag in den Hangbereich.

Als vorbereitende Faktoren müssen die lokale Geologie und die Morphologie angesehen werden. Die in 4.1.2.2. beschriebene Situation führte dazu, dass die blaugrauen, „frischen“ bzw. unverwitterten und kompakten Moränenablagerungen, welche als Grund- bzw. Hangwasserstauer fungieren, als Gleitfläche dienten.

Durch die Übersättigung an Wasser im Hangbereich kam es zu einer Herabsetzung der Scherfestigkeit an der Gleitfläche. Die zusätzliche Gewichtserhöhung in Folge der Wassersättigung und die Herabsetzung der inneren Reibung führten schlussendlich zum plötzlichen Versagen des Hanges (POLANZ, 2014).

4.3. DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE SIMULATION

Im folgenden Abschnitt werden die geometrisch/geodätischen Daten, die für die Simulation mit RAMMS verwendet werden, aufgelistet. Die Simulation mit dem GIS-AddIn wurde von Dr. Walter POLTNIG, von der Joanneum Research, Bereich Resources – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, durchgeführt. Datengrundlagen dazu sind in POLTNIG & BERG (2013) aufgelistet.

4.3.1. RUTSCHUNG HINTERRAETH

Tabelle 4-1: Datengrundlagen für die Simulation der Rutschung Hinterrauth

Daten	Format	Eigenschaften	Quelle
Digitales Höhenmodell	ALS-Datensatz ¹ ASCII-Tabelle	Blatt: 4918-5001 Auflösung: 1x1 m	Land Kärnten, ArcGis
Orthofotos	JPEG	Blatt: 4918-03 Aufnahme: 12.06.2010 Größe: 6250x5000 Pixel Auflösung: 96 dpi Bittiefe: 24 bit	Land Kärnten
Anrissgebiet	Shapefile - Polygon		generiert mit ArcGis aus Daten der Geländebegehung

4.3.2. RUTSCHUNG LICHPOLD

Tabelle 4-2: Datengrundlagen für die Simulation der Rutschung Lichtpold

Daten	Format	Eigenschaften	Quelle
Digitales Höhenmodell	ALS-Datensatz ¹ ASCII-Tabelle	Blatt: 5017-5301 Auflösung: 1x1 m	Land Kärnten, ArcGis
Orthofotos	JPEG	Blatt: 5017-47, -48, -56 Aufnahme: 11.05.2010 Größe: 2200x1309 Pixel Bittiefe: 32 bit	KAGIS
Anrissgebiet	Shapefile - Polygon		generiert mit ArcGis aus Daten der Geländebegehung

¹ Airborne Laser Scanning: Erstellung von digitalen Gelände- und Oberflächenmodellen durch Flugzeuge und Helikopter mittels Lidar-Technologie (Light detection and ranging).

5. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Simulationen mit RAMMS und dem GIS-AddIn grafisch dargestellt und beschrieben. Die bearbeiteten Rutschungen werden dazu wiederum getrennt voneinander betrachtet.

Am Ende des Kapitels werden die jeweiligen Erkenntnisse der Ergebnisse der beiden Rutschungen gesammelt, analysiert und diskutiert.

Die Simulationen der Anrisse der Rutschungen Hinterrauth und Lichtpold wurden mit RAMMS::Hillslope und dem GIS-AddIn durchgeführt. Die Simulationen mit dem GIS-AddIn wurden von Dr. Walter POLTNIG erstellt und die Ergebnisse zur weiteren Verwendung übermittelt.

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden die im Gelände aufgenommen bzw. aus den Unterlagen interpretierten Anrisse in ESRI® ArcGis als Shapefile generiert und für die Simulationen verwendet.

5.1. RUTSCHUNG HINTERRAUTH

5.1.1. ERGEBNISSE DER REICHWEITENSIMULATION MIT RAMMS

Grundsätzlich sind die möglichen Ergebnisse, die RAMMS generieren kann sehr umfangreich (siehe 3.3.3.1.). Für eine möglichst gute Übereinstimmung („best-fit“) der Simulationsergebnisse mit der Realität müssen meist eine Vielzahl von Simulationen durchgeführt werden. Durch eine „Rückrechnung“ mit Hilfe bekannter Ereignisse können die Parameter für „best-fit“-Ergebnisse gefunden werden.

Im Folgenden werden nur die „best-fit“-Ergebnisse, die systematisch analysiert wurden, dargestellt.

Es wurde eine Reihe an Varianten, mit systematischer Änderung der Parameter μ , ξ , ρ , V und dem Abbruchkriterium (Impuls), simuliert.

Die „best-fit“-Ergebnisse für die Parameter μ und ξ wurden jeweils für das Standard- bzw. erweiterte Voellmy-Modell mit den Standardeinstellungen systematisch gesucht.

Nach Feststellung der besten μ - und ξ -Werte für die Rutschung Hinterrauth wurden die Parameter ρ und V , sowie das Abbruchkriterium verändert, um die Auswirkungen auf das Ergebnis zu charakterisieren.

Die für die Simulation mit RAMMS::Hillslope verwendeten Werte der Rutschung Hinterrauth sind in Tabelle 5-1 aufgelistet.

Tabelle 5-1: RAMMS Simulationsparameter der Rutschung Hinterrauth

		Voellmy-Simulation	Erweiterte Voellmy-Simulation
Hangneigung	[°]	15 – 48	15 – 48
Volumen, V	[m ³]	615	615
Anrisshöhe, h	[m]	1,0	1,0
μ	[]	0,49	0,58
ξ	[m/s ²]	1400	190
ρ	[kg/m ³]	2000	2000
Abbruchkriterium	[%]	8	8

In Abbildung 5-1 sind die Simulationsergebnisse von RAMMS für die Ablagerung der Rutschung Hinterrauth in 2D und 3D, jeweils für die Simulation mit dem Standard- und dem erweiterten Voellmy-Modell, dargestellt.

Im 2D-Modell ist über die simulierte Ablagerung jeweils die tatsächliche Rutschung farblich überlagert (lila) dargestellt, um den Unterschied der Simulationsergebnisse und der Wirklichkeit, in Bezug auf die Reichweite und die Form des Rutschkörpers, zu illustrieren.

Allgemein können mit dem erweiterten Voellmy-Modell die besseren Ergebnisse erzielt werden. Vor allem bezüglich der Ablagerung der Rutschmasse im Hangbereich liefert das erweiterte Modell eine bessere Anpassung an die Realität.

Mit den „best-fit“-Werten (Ergebnisse der Rückrechnung) wurden die Reichweiten annähernd genau erreicht. Bei der systematischen Suche der bestmöglichen Parameter wurden auch die im Gelände ermittelten Ablagerungshöhen berücksichtigt.

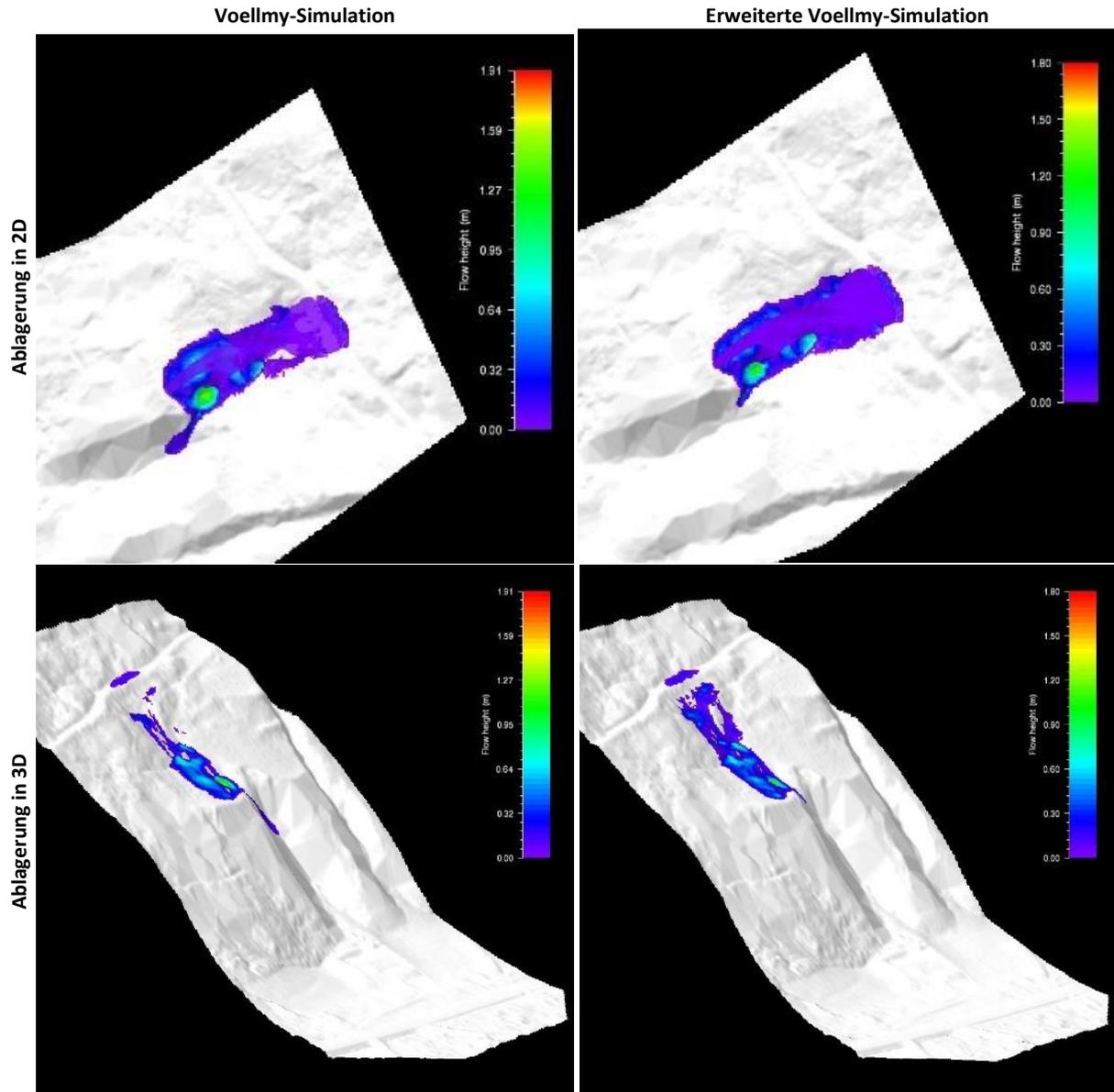


Abbildung 5-1: RAMMS Simulationsergebnisse der Rutschung Hinterrauth (Ablagerung + 3D)

Vor allem auf die Ablagerungshöhen bezogen liefert das erweiterte Voellmy-Modell die besten Übereinstimmungen (siehe Abbildung 5-1).

Abbildung 5-2 zeigt die Simulationsergebnisse mit RAMMS für die Ablagerung, die maximale Fließhöhe und die maximale Fließgeschwindigkeit. Die maximale Fließhöhe und die Fließgeschwindigkeit werden nur zur Illustration der möglichen Ergebnisse, die RAMMS liefert, dargestellt und es wird darauf nicht näher eingegangen.

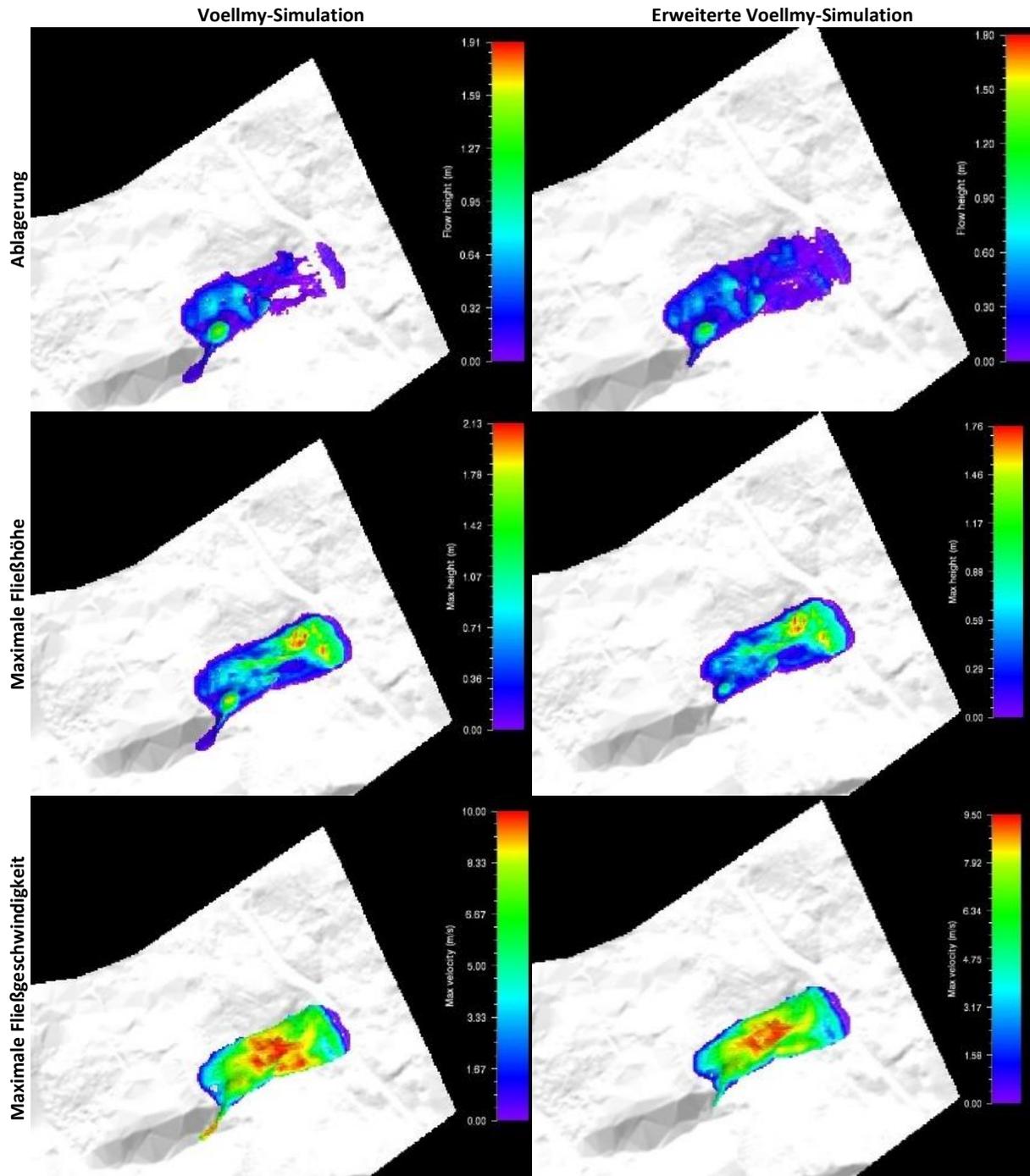


Abbildung 5-2: RAMMS Simulationsergebnisse (Ablagerung, Fließhöhe und Fließgeschwindigkeit)

Die Simulation wurde jeweils mit dem im Gelände ermittelten Volumen (ca. 1750 m³), dies entspricht bei einer Anrissfläche von etwa 500 m² einer Anrisshöhe von 2,85 m, durchgeführt.

Dabei wurde festgestellt, wenn das gesamte Volumen zur Simulation verwendet wird, keine guten Ergebnisse erzielt werden können. Als Problem kann die Komplexität der Rutschung, wie in 4.2.1. beschrieben, gesehen werden, wobei der Hauptteil der Rutschmasse auf der rotationsförmigen Gleitfläche liegen geblieben ist. Nur ein Teil der Masse hat sich in Form einer Hangmure weiter talwärts bewegt (aus den Geländedaten wurde ein Volumen für die Masse, die sich weiterbewegt hat, von etwa 600 m³ abgeschätzt).

Die Simulation wurde daher mit dem neuen Volumen durchgeführt. Dazu wurde die Anrisshöhe auf 1 m verringert, was einem Volumen von 615 m³ entspricht. Die erzielten Ergebnisse (Reichweite und Ablagerungshöhen), mit den in Tabelle 5-1 angegebenen Parametern stimmen, mit der Realität gut überein (siehe Abbildungen 5-1 und 5-2).

Mit den „best-fit“-Parametern für ein Volumen von 615 m³ wurden weitere Simulationen für das ursprüngliche Volumen von 1752 m³ und eine weitere Variante für eine verringerte Masse auf 430 m³, was einer Anrisshöhe von 0,7 m entspricht, durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-3 dargestellt.

Dazu ist festzuhalten, dass eine weitere Verringerung des Volumens kaum eine Auswirkung auf das Ergebnis zeigt. Lediglich die Reichweite und die Ablagerungshöhen sind geringfügig niedriger (siehe Abbildung 5-3).

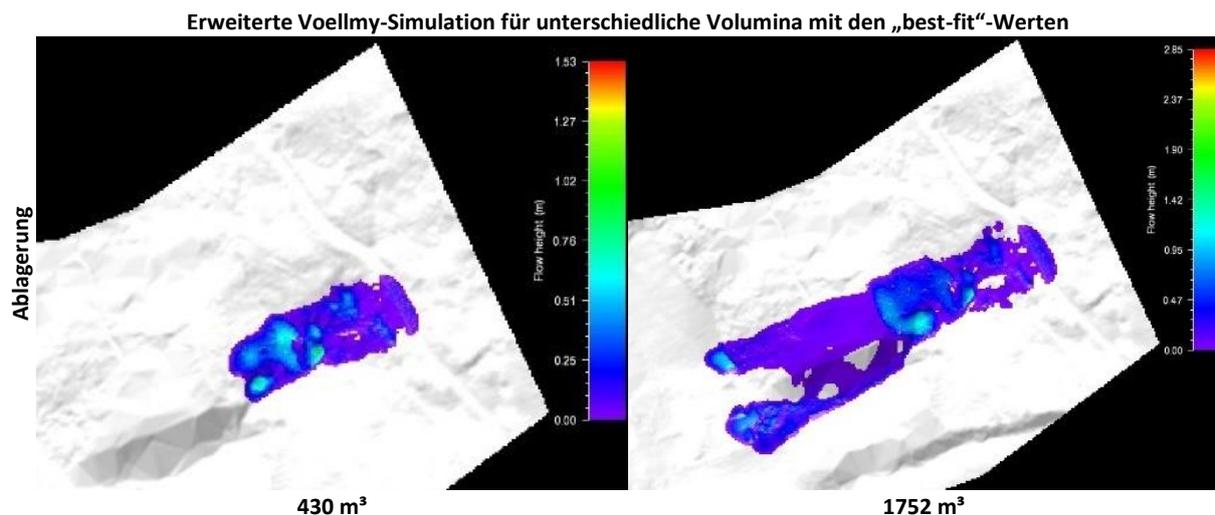


Abbildung 5-3: RAMMS Simulationsergebnisse für unterschiedliche Volumina (Hinterrauth)

Bei der Simulation mit einem Volumen von 1752 m^3 und den „best-fit“-Parametern für 615 m^3 zeigt sich, dass sich die simulierte Rutschmasse bis in den Talboden bewegen würde (siehe Abbildung 5-3). Daraus können beispielsweise Erkenntnisse darüber gewonnen werden, mit welchen Folgen bei einem Versagen eines größeren Hangbereichs (bzw. wenn die gesamte Masse abrutscht) zu rechnen sind.

Allerdings ist hier zu erwähnen, dass nach der Steilstufe, an welcher die Hangmure zum Stillstand kam (siehe 4.2.1.), eine dichte Bewaldung (Laubwald) vorhanden ist. Dies kann mit der verwendeten Version von RAMMS::Hillslope noch nicht (wird aber in einer Nachfolgeversion möglich sein) berücksichtigt werden. Der Baumbestand hätte nach MEYER (2010) einen wesentlichen Einfluss auf das Rutschverhalten.

Darauf folgend ist ein weiteres Problem zu nennen. Aus den Simulationsergebnissen ist zu sehen, dass Teile der Rutschmasse in den linksseitigen (hangabwärts gesehen) Gräben fließen (siehe Abbildung 5-1 und 5-2). Die Rutschzunge ist aber auf dieser Seite ebenfalls durch dichteste Bewaldung (Laubwald und viel Totholz) begrenzt, wodurch auch in der Realität nur geringe Volumina der Rutschmasse in den Gräben abgelagert wurden. Eine derartige Berücksichtigung des Baumbestandes würde das Simulationsergebnis vermutlich weiter verbessern.

Bei der Änderung der Dichte der Rutschmasse sind nur geringe Abweichungen der Simulationsergebnisse festzustellen. Bei einer Verringerung der Dichte auf 1800 kg/m^3 sind minimale Auswirkungen auf die Auslauflänge der simulierten Rutschmasse zu beobachten. Jedoch bedingt eine Verringerung der Dichte auch eine mäßige Verringerung der maximalen Fließgeschwindigkeit und der Aufpralldrücke. Dies würde beispielsweise Einfluss auf die Planung von Schutzbauwerken haben.

Die Änderung des Abbruchkriteriums hat erhebliche Auswirkungen auf den Verlauf und die Ablagerung der Rutschung. Je nach Volumen und unterschiedlichem Wert für das Abbruchkriterium ändern sich Form und Reichweite des Rutschkörpers. Vor allem bei größeren Volumina hat eine Änderung des %-Wertes einen erhöhten Einfluss. Für die Rutschung in Hinterrauth wurde aufgrund des Volumens für das Abbruchkriterium ein Wert von 8 % gewählt, da damit die besten Ergebnisse erzielt wurden.

Die „Output-Files“ mit den Daten der Simulation mit RAMMS der Rutschung Hinterrauth sind dem Anhang A2 zu entnehmen.

5.1.2. ERGEBNISSE DER REICHWEITENSIMULATION MIT DEM GIS-ADDIN

Das GIS-AddIn wurde zur Runout-Modellierung von Rutschungen im regionalen Maßstab entwickelt.

Die Rutschungen Hinterrauth und Lichtpold wurden mit dem regionalen Modell anhand der Parametereinstellungen Variante 1 bis 3 (vergleiche 3.3.3.2.4.) einer Simulation unterzogen. Von der in ArcGIS generierten Anrissfläche wurden die Fließpfade und Reichweiten der Rutschung Hinterrauth nach Variante 1 und Variante 3 berechnet (POLTNIG, 2014).

Abbildungen 5-4 und 5-5 zeigen die Ergebnisse der Berechnung der Fließpfade und Reichweiten der Rutschung Hinterrauth nach den Varianten 1 und 3.

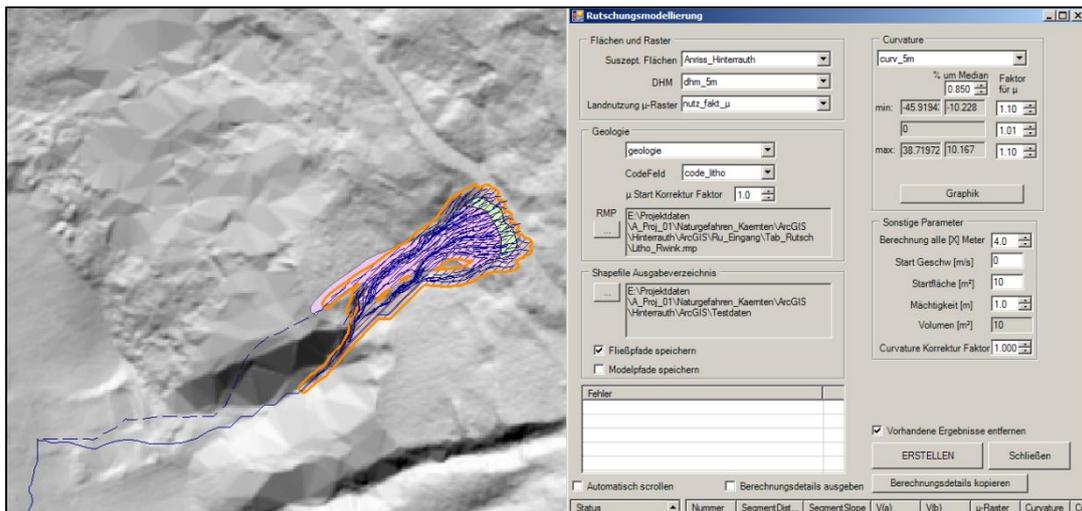
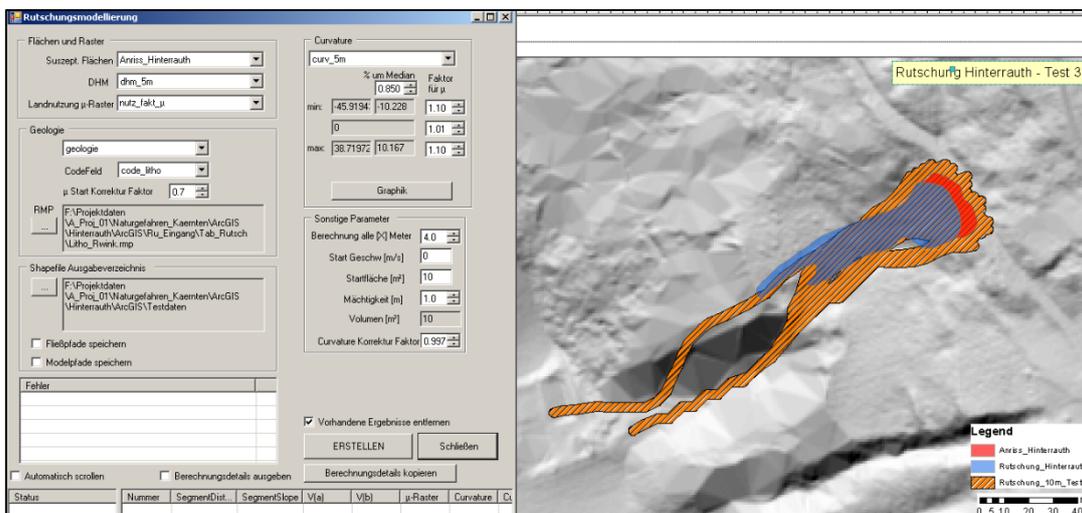


Abbildung 5-4: Berechnung der Fließpfade und Reichweiten der Rutschung Hinterrauth nach Variante 1 (POLTNIG, 2014)



Tatsächlicher Rutschkörper blau hinterlegt
Abbildung 5-5: Berechnung der Fließpfade und Reichweiten der Rutschung Hinterrauth nach Variante 3 (POLTNIG, 2014)

Die Varianten des regionalen Modells generieren bei einer Startzellengröße von 100 m² zu wenige Fließpfade. Dadurch wird die Form der Rutschung zu stark vereinfacht. Durch die Verkleinerung der Startzellengröße auf 10 m² kann die Rutschungsform besser abgebildet werden (POLTNIG, 2014).

Abbildungen 5-6 und 5-7 zeigen die bessere Anpassung der Rutschungsform durch die Verkleinerung der Startzellengröße auf 10 m².

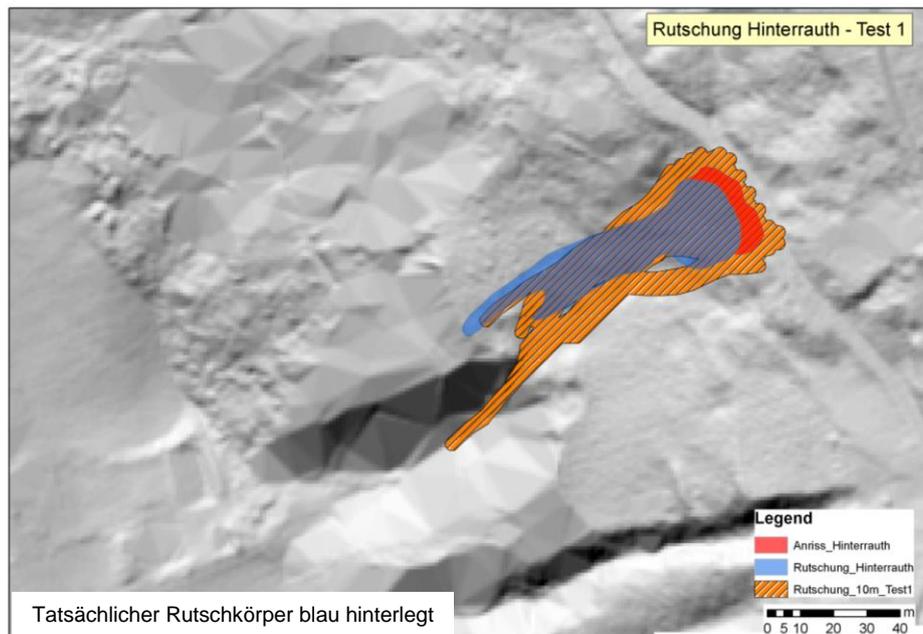


Abbildung 5-6: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 1 (POLTNIG, 2014)

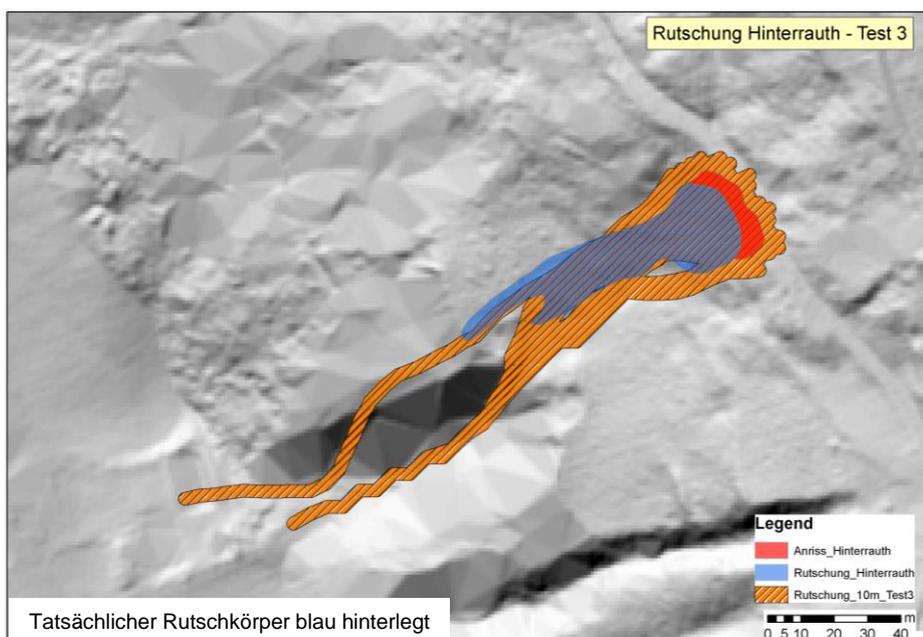


Abbildung 5-7: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 3 (POLTNIG, 2014)

Das Startpolygon wird programmtechnisch gepuffert. Dadurch werden auch außerhalb der Anrissfläche Fließpfade generiert. Die Fließpfade werden wiederum gepuffert und daraus der Rutschkörper generiert. Dies hat zur Folge, dass der Rutschkörper dadurch einen größeren Runoutbereich einnimmt. Das Startpolygon der Anrissfläche wurde daher etwas verkleinert, da die Pufferung den Startbereich ohnehin vergrößert. Mit den Einstellungen der Variante 1 konnte damit ein besseres Ergebnis (siehe Abbildung 5-8) bezüglich der Rutschungsform erreicht werden (POLTNIG, 2014).

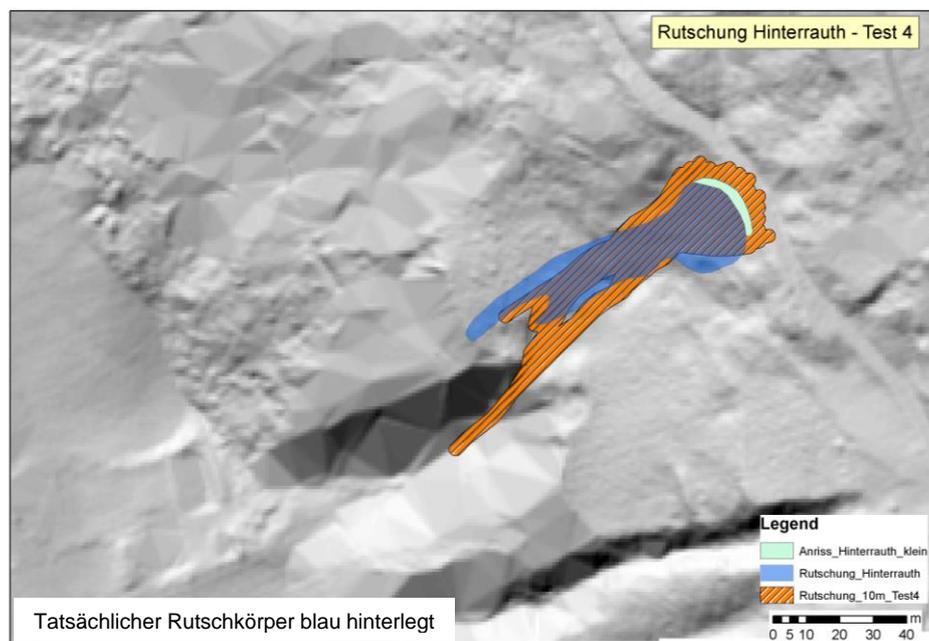


Abbildung 5-8: Ergebnis der Runoutberechnung nach Variante 1 und verkleinertem Anriss (POLTNIG, 2014)

Bei den Landnutzungsdaten stellte sich heraus, dass diese für diese lokale Fragestellung in einer ungenügenden Auflösung zur Verfügung steht. Das gesamte Rutschgebiet ist als Laubwald ausgewiesen. Die Rutschung ereignete sich aber auf einer Fläche, die Grünlandbewuchs aufweist und größtenteils baumlos ist.

Die Landnutzungsdaten wurden daher händisch nachbearbeitet um unterschiedliche μ -Werte und somit die differenzierte Landnutzung bei der Simulation zu berücksichtigen.

5.2. RUTSCHUNG LICHPOLD

5.2.1. ERGEBNISSE DER REICHWEITENSIMULATION MIT RAMMS

Die Simulation der Rutschung Lichtpold mit RAMMS::Hillslope wurde nach demselben Schema wie bei der Rutschung Hinterrauth durchgeführt.

Die systematisch analysierten „best-fit“-Werte sind in Tabelle 5-2 aufgelistet.

Tabelle 5-2: RAMMS Simulationsparameter der Rutschung Lichtpold

		Voellmy-Simulation	Erweiterte Voellmy-Simulation
Hangneigung	[°]	10 – 37	10 – 37
Volumen, V	[m ³]	3759	3759
Anrisshöhe, h	[m]	1,92	1,92
μ	[]	0,27	0,58
ξ	[m/s ²]	400	100
ρ	[kg/m ³]	2000	2000
Abbruchkriterium	[%]	8	8

In Abbildung 5-9 sind wiederum die Simulationsergebnisse mit RAMMS, für die Ablagerung der Rutschung Lichtpold in 2D und 3D, jeweils für die Simulation mit dem Standard- und dem erweiterten Voellmy-Modell, dargestellt.

Über der simulierten Ablagerung ist im 2D-Modell ebenfalls die tatsächliche Rutschung farblich überlagert (lila) dargestellt, um die Unterschiede zwischen Simulation und Realität deutlicher zu machen.

Auch bei der Rutschung Lichtpold konnten die Reichweite und die Ablagerungshöhen mit den „best-fit“-Werten (aus der Rückrechnung ermittelt) recht gut simuliert werden.

Hier lieferte ebenfalls das erweiterte Voellmy-Modell die besseren Ergebnisse in Bezug auf die Ablagerungshöhen. Die im Hangbereich abgelagerte Rutschmasse konnte damit besser simuliert werden (siehe Abbildungen 5-9 und 5-10).

Probleme traten hier bei der Nachbildung der Rutschkörperform auf. Das Simulationsergebnis lieferte immer einen zu breiten Fuß des Rutschkörpers. Einen möglichen Grund für die Unterschiede könnte die am Hangfuß befindliche Bewaldung liefern, die wiederum nicht berücksichtigt werden konnte.

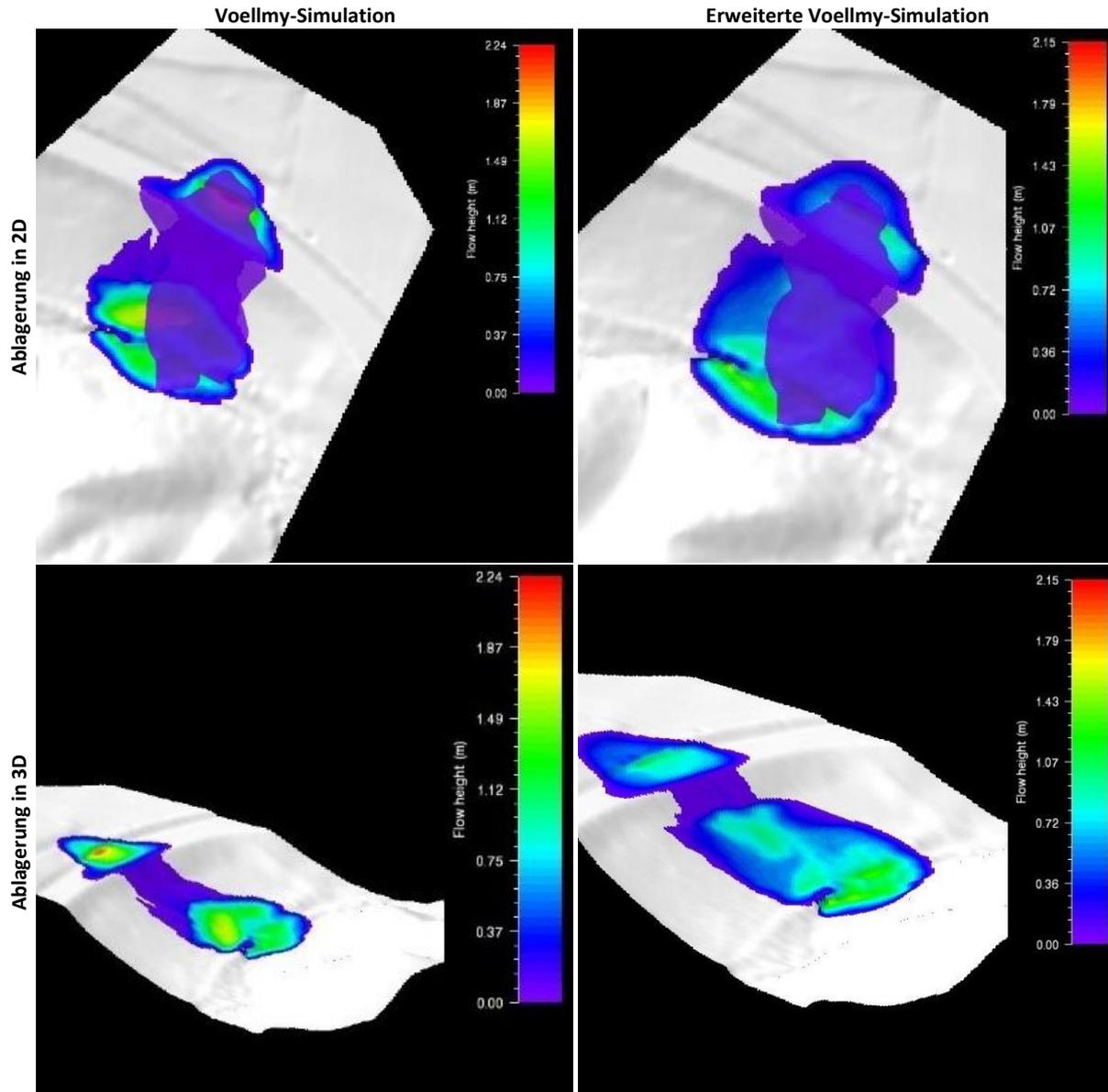


Abbildung 5-9: RAMMS Simulationsergebnisse der Rutschung Lichtpold (Ablagerung + 3D)

Abbildung 5-10 zeigt die Simulationsergebnisse mit RAMMS für die Ablagerung, die maximale Fließhöhe und die maximale Fließgeschwindigkeit.

In der Abbildung sind die Unterschiede in der Ablagerung zwischen dem Standard- und dem erweiterten Voellmy-Modell gut zu erkennen. Das erweiterte Modell simuliert dabei die Ablagerung im Hangbereich (vergleiche mit 4.2.2.) deutlich besser.

Eine Änderung der Dichte bei der Simulation führte kaum zu einer Abweichung der Ergebnisse.

Auch die Erhöhung bzw. Verringerung des Abbruchkriteriums führte bei der Rutschung Lichtpold nur zu einer mäßigen Beeinflussung der Ergebnisse in Bezug auf die Ablagerungshöhen. Mit einem Wert von 8 % konnten die besten Übereinstimmungen erzielt werden.

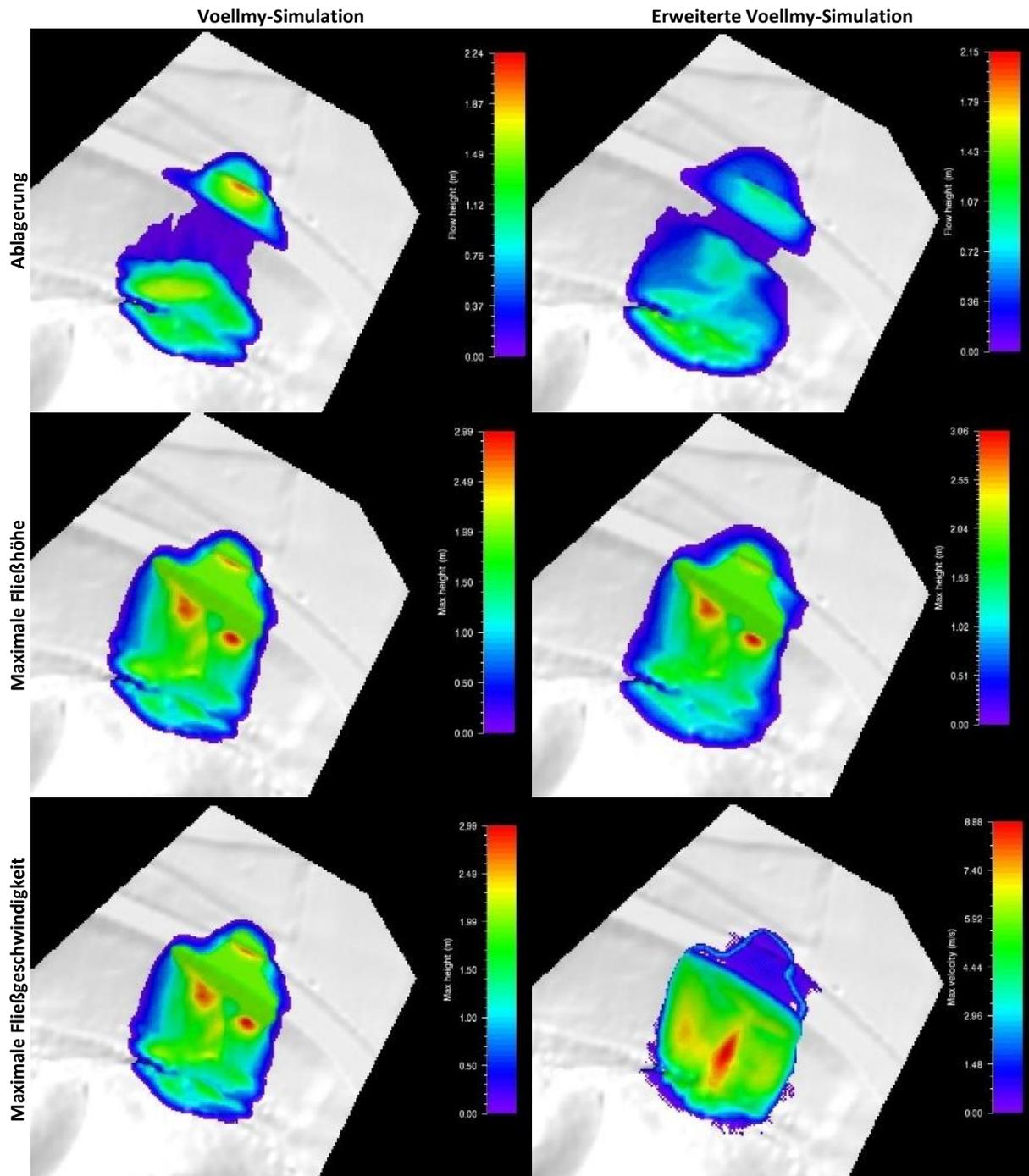
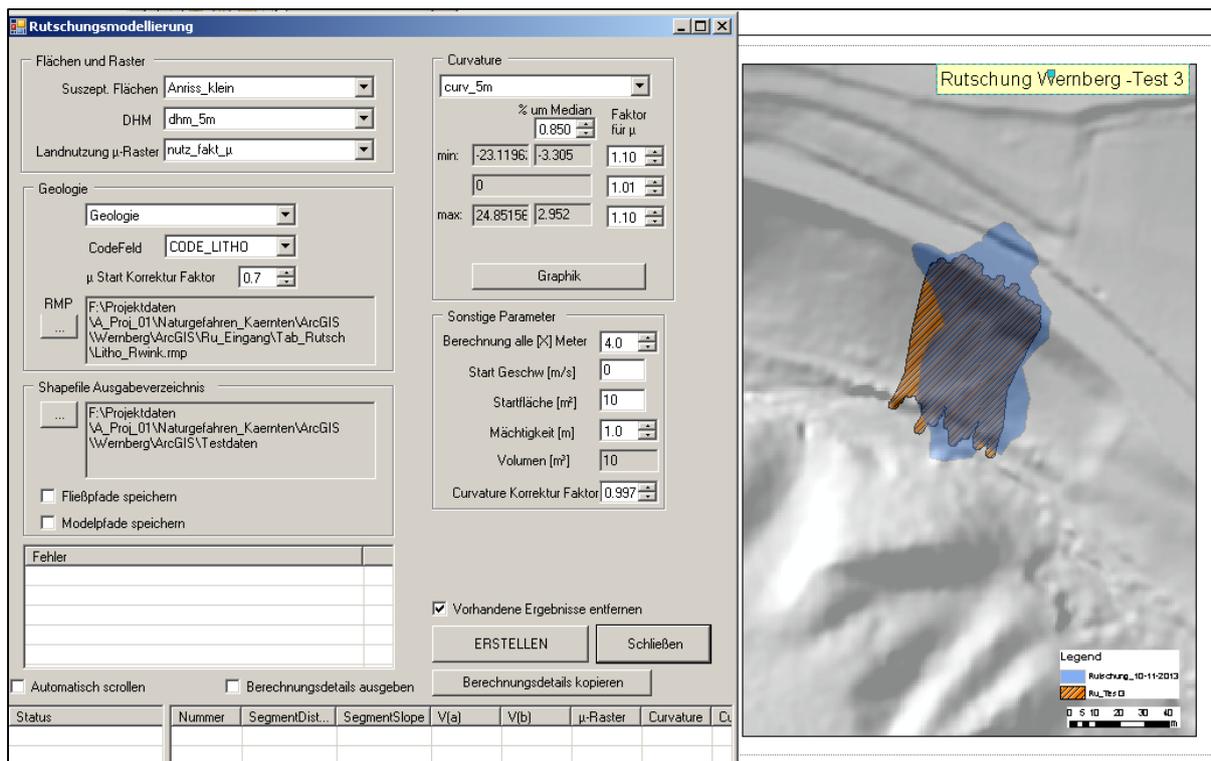


Abbildung 5-10: RAMMS Simulationsergebnisse (Ablagerung, Fließhöhe und Fließgeschwindigkeit)

5.2.2. ERGEBNISSE DER REICHWEITENSIMULATION MIT DEM GIS-ADDIN

Aufgrund des hohen Wassergehaltes des Rutschkörpers der Rutschung Lichtpold wurde eine Simulation nach der Variante 3 (Vergleiche 3.3.3.2.4.) durchgeführt. Wie erwartet konnten damit die besten Ergebnisse (siehe Abbildung 5-14) erzielt werden (POLTNIG, 2014).

In Abbildung 5-12 sind die Parametereinstellungen und das Ergebnis der Runout-Modellierung nach der Variante 3 für die Rutschung Lichtpold abgebildet.



Tatsächlicher Rutschkörper blau hinterlegt

Abbildung 5-12: Parametereinstellungen der Rutschung Lichtpold nach Variante 3 (POLTNIG, 2014)

Auf Abbildung 5-13 sind die generierten Fließpfade der Rutschung Lichtpold abgebildet. Abbildung 5-14 zeigt die Ergebnisse der Runout-Modellierung nach Variante 1 und 3.

Mit Variante 3 sind dabei die besseren Ergebnisse zu erzielen, da diese Variante einem stark wasserübersättigten Boden entspricht, die zur Ausbildung von Hangmuren führt und große Runouts erreichen kann (POLTNIG, 2014).

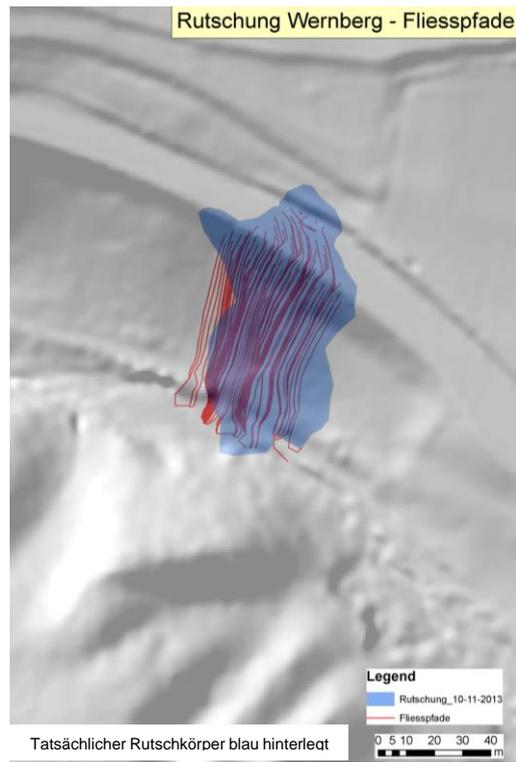


Abbildung 5-13: Generierte Fließpfade der Rutschung Lichtpold (POLTNIG, 2014)

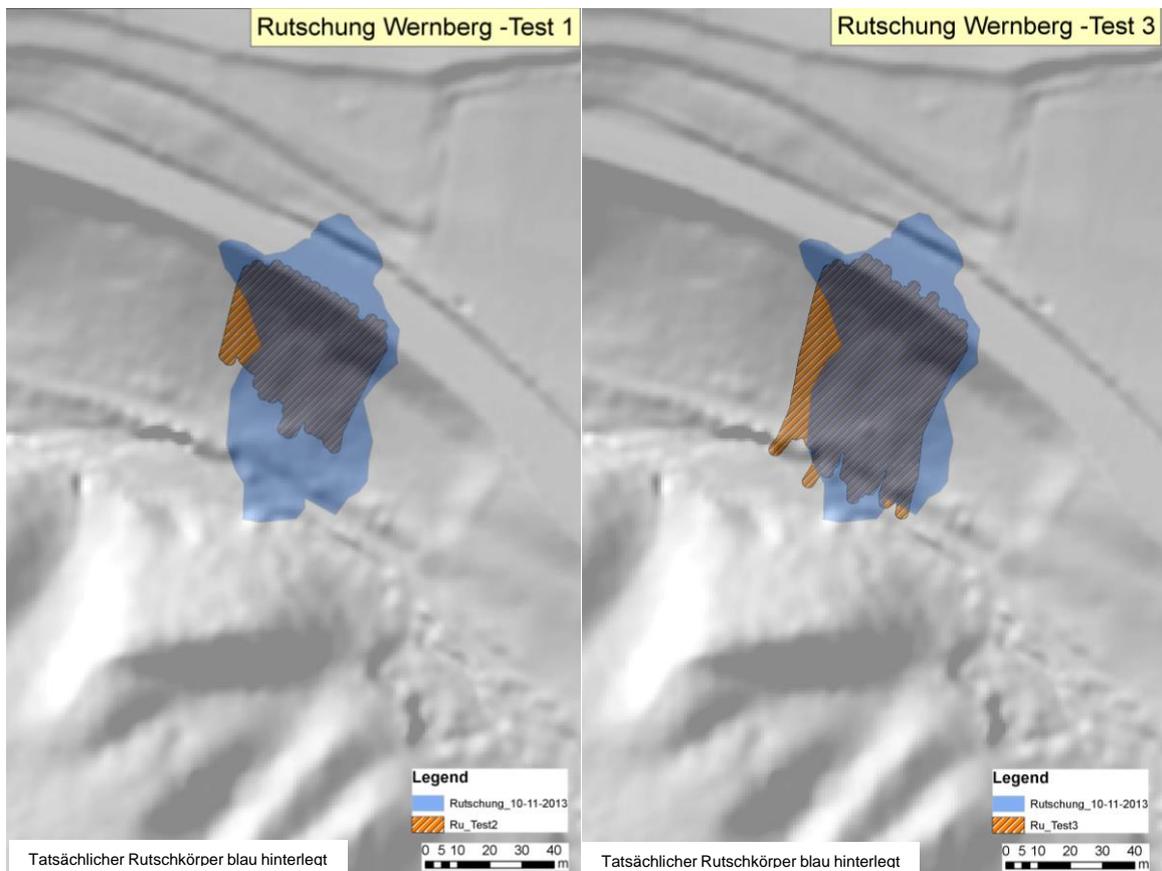


Abbildung 5-14: Ergebnisse Runout-Modellierung (links Variante 1, rechts Variante 3) (POLTNIG, 2014)

5.3. VERGLEICH DER ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die mit RAMMS::Hillslope erzielten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Realität, durch das Modell im lokalen Maßstab bzw. für Einzelereignisse nach Festlegung eines geeigneten Parametersets (durch Rückrechnung), relativ gut abgebildet werden kann. Es bedarf jedoch einiger Erfahrung mit dem Umgang des Programmes und es sind detaillierte Geländedaten notwendig um „best-fit“-Parameter systematisch (durch Rückrechnung) zu finden.

Auch das regionale Modell (GIS-AddIn) lässt eine gute Simulation im lokalen Maßstab, durch Parameteranpassung, zu.

Die Reichweiten und Ablagerungshöhen konnten bei beiden Rutschungen mehr oder weniger gut simuliert werden. Probleme traten vor allem bei der Simulation der Rutschkörperform auf (siehe Abbildung 5-15).

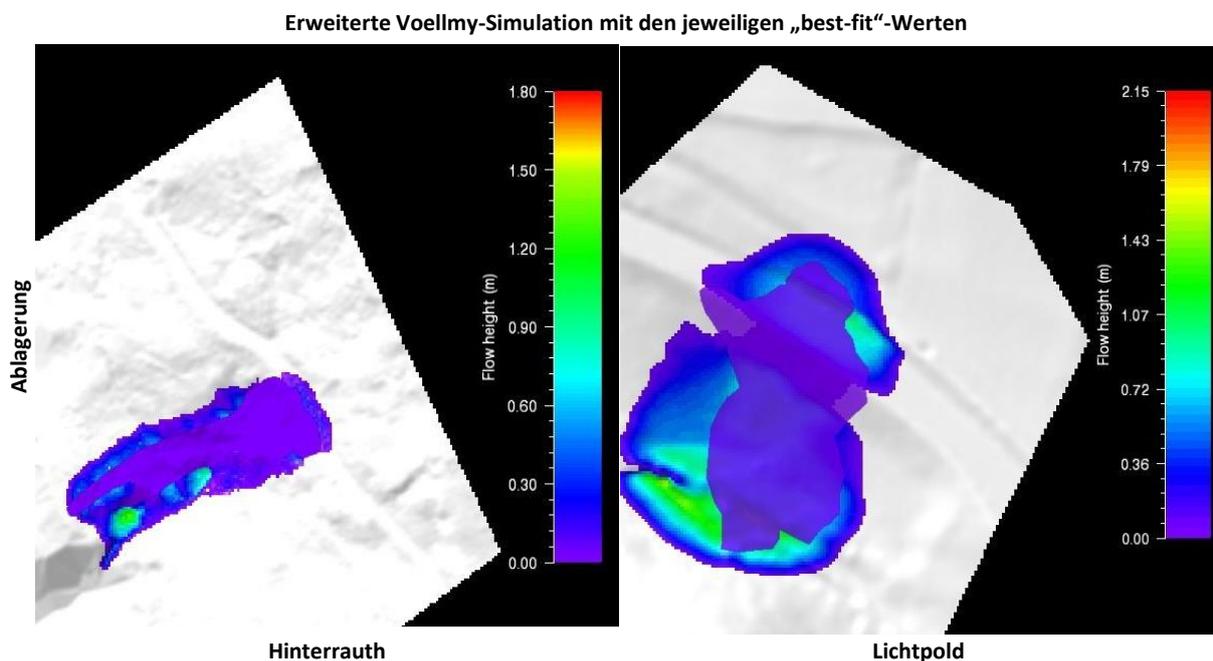


Abbildung 5-15: Simulierte Ablagerungen mit RAMMS der Rutschungen Hinterrauth und Lichtpold

Die Rutschung Hinterrauth war grundsätzlich, sowohl mit RAMMS, als auch mit dem regionalen Modell, sehr schwierig zu simulieren. Der Hauptgrund liegt wohl in der Komplexität der Rutschung selbst. Für RAMMS sind detaillierte Datengrundlagen für eine aussagekräftige und realitätsnahe Simulation notwendig. RAMMS benötigt ein genaues digitales Höhenmodell und eine möglichste genaue Lage der Anrissbereiche, sowie die Angabe des Volumens bzw. der Anrisshöhe.

Die Schwierigkeiten mit RAMMS zeigten sich vor allem bei dem simulierten Volumen. Es musste ein angepasstes, verringertes Volumen für die Simulation verwendet werden, um ein bestmögliches Ergebnis bezüglich der Reichweite und der Ablagerungshöhen zu erzielen.

Auch mit dem regionalen Modell konnten bei der Rutschung Hinterrauth gute Ergebnisse für die Simulation der Reichweite erzielt werden. Es war jedoch eine Anpassung der ursprünglichen Parameter notwendig, um ein besseres Ergebnis zu erhalten (siehe Abbildung 5-16).

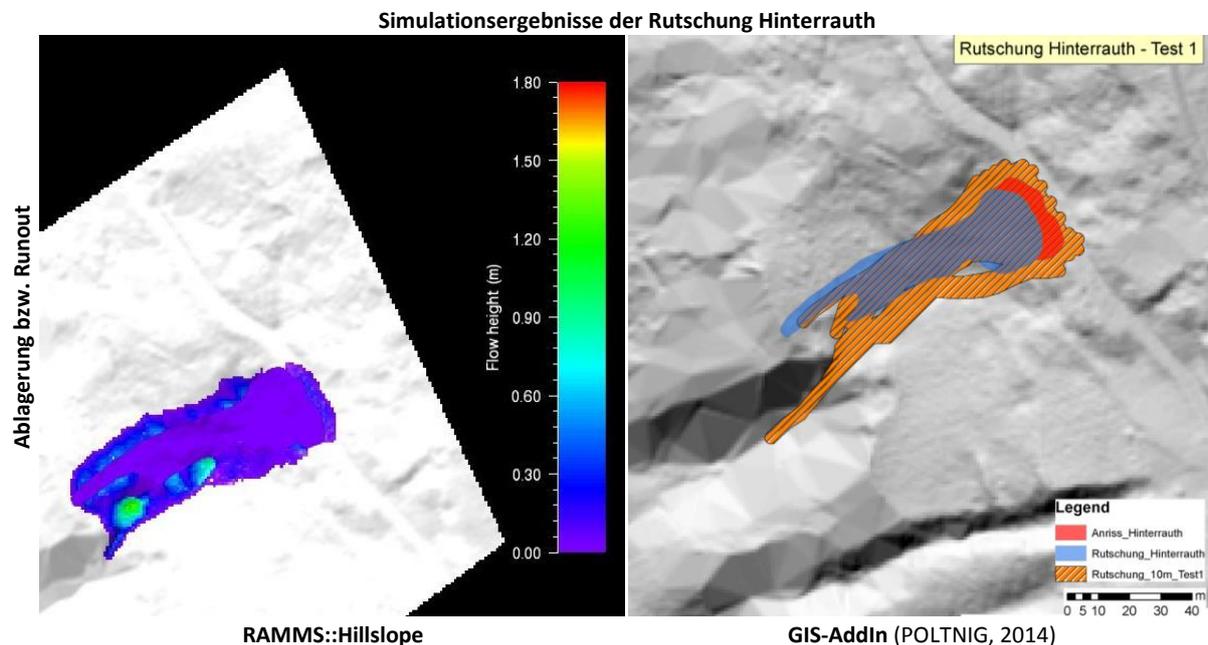


Abbildung 5-16: Simulationsergebnisse der Rutschung Hinterrauth mit RAMMS und dem GIS-AddIn

Mit beiden Simulationsprogrammen war es schwierig die Ablagerung im linksseitigen Graben der Rutschung zu simulieren. Es wurden Ablagerungen in den Graben abgebildet, die in der Realität aufgrund der dichten Bewaldung und des Totholzes nicht vorhanden sind. Bei einer Berücksichtigung der Bewaldung dürfte sich das Simulationsergebnis diesbezüglich verbessern.

In RAMMS::DebrisFlow (Version 1.5) können unterschiedliche Bereiche mit differenzierten μ - und ξ -Werten berücksichtigt werden. Eine dichte Bewaldung kann so durch einen höheren Reibungswiderstand simuliert werden.

Im regionalen Modell wird die Simulation unter anderem durch den Start- μ -Wert und die bremsenden Faktoren (Landnutzung und Kurvatur) gesteuert. Es wurde dabei festgestellt, dass die Landnutzung zum Teil eine mäßige Auflösung hat und händisch nachbearbeitet werden musste.

Bei der Rutschung Hinterrauth wird beispielsweise das gesamte Rutschungsgebiet als Laubwald ausgewiesen, obwohl sich die Rutschung auf einer Lichtung (Grünland) ereignete. Solche Umstände sind in der Landnutzungskarte nicht aufgelöst und beeinflussen das Ergebnis aufgrund unterschiedlicher μ -Werte.

Die besten Ergebnisse konnten in RAMMS mit dem erweiterten Voellmy-Modell erzielt werden. Die Anpassung der Parameter ist jedoch schwieriger und eine Änderung wirkt sich, im Gegensatz zum Standard-Voellmy-Modell, sensibler auf die Simulationsergebnisse aus.

Die besten Ergebnisse im regionalen Modell lieferte, nach Anpassung der Parameter, Variante 1, die einem Wassergehalt entspricht, der noch nicht zur Ausbildung von Hangmuren führen sollte (POLTNIG, 2014).

Auch bei der Rutschung Lichtpold konnten gute Ergebnisse mit beiden Simulationsprogrammen, bezüglich Reichweite bzw. Ablagerungshöhen, erzielt werden (siehe Abbildung 5-17).

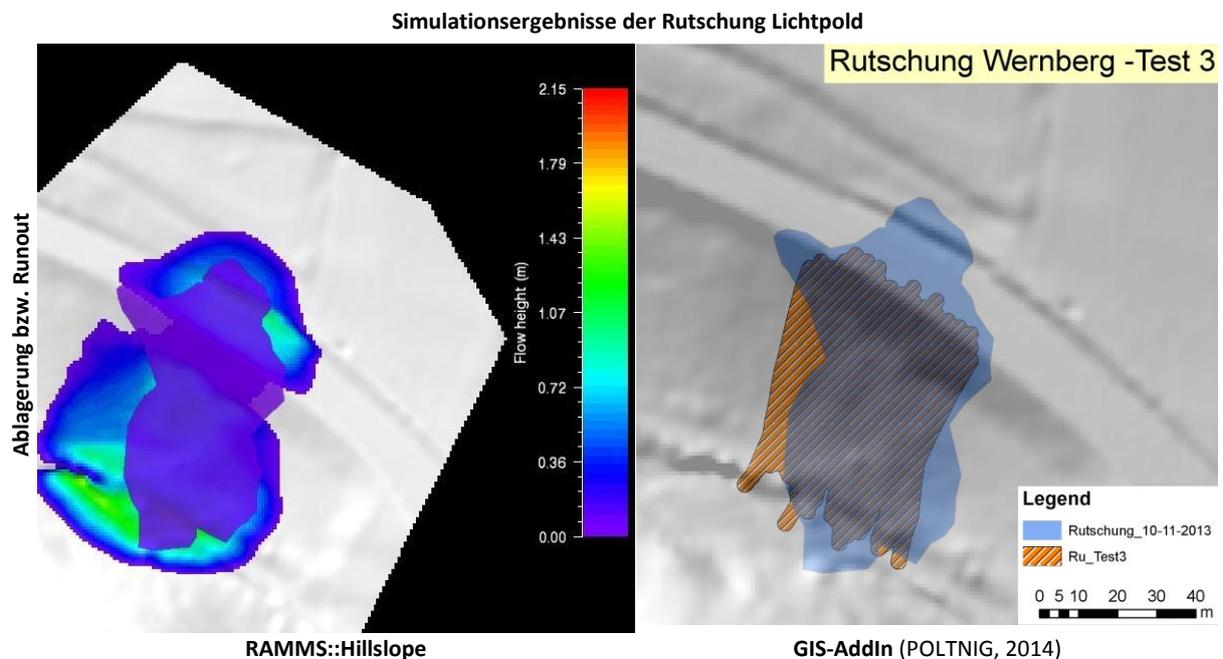


Abbildung 5-17: Simulationsergebnisse der Rutschung Lichtpold mit RAMMS und dem GIS-AddIn

Die Reichweite konnte mit RAMMS gut simuliert werden, jedoch traten wiederum Probleme bei der Abbildung der Rutschkörperform auf. Das Ergebnis der Simulation zeigt, dass sich ein Großteil der Rutschmasse bis in den Graben abgelagert. Der Hangfuß ist aber bewaldet und hat die Rutschung in der Realität dadurch bei der Ablagerung beeinflusst. Die Ablagerungshöhen konnten aber generell relativ gut simuliert werden. Allgemein konnten mit dem erweiterten Voellmy-Modell ebenfalls die besseren Ergebnisse erzielt werden.

Das regionale Modell lieferte mit den Standardparametern der Variante 3 die besten Ergebnisse. Dies würde einem Wassergehalt des Bodens entsprechen, der zur Ausbildung von Hangmuren mit großer Reichweite führt (POLTNIG, 2014).

Die Ergebnisse beider Modelle können im Allgemeinen als zufriedenstellend angesehen werden.

Probleme sind hauptsächlich bei den Datengrundlagen zu sehen. Beide Modelle benötigen ein möglichst genaues Modell der Topographie. Spontane Rutschungen bzw. Hangmuren sind sehr stark von den lokalen topographischen Bedingungen abhängig. Durch die ALS-Daten mit einer Rasterauflösung von 1 m ist bereits eine sehr gute Datengrundlage geschaffen. Dennoch treten auch dadurch Probleme auf. Die Qualität der ALS-Daten hängt stark vom Flugdatum ab.

Bei den Daten der Rutschung Hinterrauth ist im linksseitigen Graben ersichtlich, dass die Auflösung der Topographie (Polygonbildung) nicht korrekt dargestellt wird (siehe Abbildung 5-1 und 5-2). Durch ungünstige Flugzeit oder schlechte Winkel können Probleme bei der Aufnahme der Geländeform auftreten und solche Polygone bilden. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Datenqualität und somit einen gravierenden Einfluss auf die Ergebnisse.

Außerdem unterliegt die Geländemorphologie einer ständigen Wandlung aufgrund von Witterungseinflüssen und geologischen Prozessen. Dies führt zu einer ständigen Veränderung der natürlichen Gegebenheiten. Zusätzlich ändern Naturereignisse, wie Rutschungen, Murgänge, Steinschläge, etc. die Topographie. Es ist daher unumgänglich möglichst aktuelle Daten für solche Simulationen zu verwenden.

Die Genauigkeit der Ergebnisse mit RAMMS ist stark vom simulierten Volumen abhängig. Die im Gelände aufgenommenen Daten sind nur Schätzwerte und können von den tatsächlichen Werten erheblich abweichen. Genaue Aufnahmen, unter Umständen durch Zuhilfenahme geodätischer Messinstrumente, der natürlichen Bedingungen sind von Vorteil.

Ein weiteres Problem ist durch die Kalibration der wesentlichen Berechnungskennwerte (μ , ξ , ρ , V , ...) an historischen Daten gegeben. Die Genauigkeit historischer Daten ist meist nicht bekannt. Bei der Entwicklung des regionalen Modells wurde festgestellt, dass beispielsweise die historischen Geländedaten der Ereignisse in Feld am See im Jahre 1975 zum Teil einer hohen Ungenauigkeit unterliegen. Mögliche Beweise dazu liefern aktuelle ALS-Datensätze, in denen Anrissstrukturen

identifiziert werden konnten, die sich aber mit einer mehr oder weniger großen Ungenauigkeit nicht mit den kartierten Anrissen von 1975 decken. Dies sollte als ein Hinweis auf eine vorsichtige Verwendung historischer Daten gesehen werden, vor allem wenn solche Daten zur Kalibrierung von Simulationssoftware verwendet werden.

Die Datengrundlagen für das regionale Modell eignen sich für gewisse Fragestellungen nicht. Bei der Rutschung in Hinterrauth hat sich herausgestellt, dass beispielsweise die Landnutzung maßstäblich nicht genau genug dargestellt wird, um lokale Ereignisse zu simulieren. Durch Parameteranpassungen und händische Digitalisierungen können aber auch lokale Ereignisse gut simuliert werden.

Wie wichtig im Allgemeinen genaue und aktuelle Datengrundlagen für die Simulationen sind, zeigen die Ergebnisse. Es bedarf in Zukunft ständig einer Aktualisierung und Verbesserung der Datengrundlagen um bestmögliche Ergebnisse zu gewährleisten. Dazu sind Experten notwendig, die die Daten aktuell halten und für die Simulation aufbereiten.

Die Ergebnisse der Simulationen wurden durch Rückrechnung auf Grundlage bekannter Daten (Datenerhebung eingetretener Rutschungen) erzielt. Durch Kalibration der Parameter konnten die Ergebnisse auf ein möglichst realistisches Maß angepasst werden.

Ergebnisse, die aus Rückrechnungen erzielt werden, können somit als signifikant eingestuft werden. Sofern die maßgebenden Daten für die Simulation als verlässlich einzustufen sind, können mit kalibrierten Parametern auch Prognosen für zukünftige Ereignisse erstellt werden.

Bei der Simulation mit RAMMS konnte festgestellt werden, dass mit mehreren Parameterpaaren (μ und ξ) auch ähnlich gute Ergebnisse erzielbar sind. Daher sind Prognosen, die auf Grundlage solcher Umstände erstellt werden, auch als eher kritisch zu verifizieren.

Prognosen, die ohne Grundlage historischer oder aktueller Daten, die an rezenten Ereignissen aufgenommen werden können, erstellt werden, sind im Allgemeinen nach dem momentanen Stand der Technik und des Wissens als äußerst kritisch zu sehen, da keinerlei Vergleichsdaten für eine Verifikation zur Verfügung stehen.

Selbstverständlich sind Prognosen mit Parametern aus Erfahrungswerten anderer Ereignisse zulässig, aber nur als Schätzung anzusehen.

Zusammenfassend müssen Simulationen im Allgemeinen immer hinterfragt werden, um eine möglichst hohe Verlässlichkeit zu gewährleisten. Vor allem wird hier auf die „Sensitivität“ der maßgebenden Simulationsparameter hingewiesen. Die Tatsache, dass mehrere Wertepaare zu ähnlichen Ergebnissen führen können, zeigt, dass in diesen Fällen vor allem Prognosen hinsichtlich ihrer Aussagekraft, Qualität und Verlässlichkeit als äußerst kritisch zu betrachten sind. Eine laufende Verifikation mit vorhandenen Daten ist daher jedenfalls anzustreben.

Vielmehr zeigen die Ergebnisse, dass Forschung und Erfahrungssammlung diesbezüglich unumgänglich für eine Verbesserung der Modelle und somit der Simulationsergebnisse sind.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Thema der Charakterisierung von Rutschungen und der Simulation der Reichweite von spontanen Rutschungen bzw. Hangmuren anhand von zwei ausgewählten Beispielen.

Die Arbeit ist in einen Grundlagenteil (Kapitel 2), einen Charakterisierungsteil von Rutschungen (Kapitel 3), einen Teil, in dem die Projektgebiete und Daten vorgestellt werden (Kapitel 4) und einen Teil, in dem die Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden (Kapitel 5), gegliedert.

Im ersten Teil dieser Masterarbeit wird eine allgemeine Einführung über gravitative Massenbewegungen gegeben. Dabei wird vor allem auf die Klassifikationen eingegangen.

Massenbewegungen können nach der Art der Bewegung, nach der Aktivität, nach der Art des Materials und nach der Bewegungsrate klassifiziert werden.

Weitere wichtige Punkte im ersten Teil sind die Entstehung und die Auslösemechanismen für solche Massenbewegungen. Ursachen für Massenbewegungen können in natürliche und künstliche (anthropogene) unterteilt werden. Für einen Massenbewegungsprozess werden vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende Faktoren unterschieden.

Außerdem wird auf Begriffe, die im Zusammenhang mit dieser Arbeit wichtig für Verständnis und Verwendung sind, eingegangen. Dazu werden Begriffe, wie Gefahr, Risiko, Suszeptibilität, Vulnerabilität, etc. erklärt und definiert. Es wird auch auf die Methodik der Risikoanalyse, -bewertung und des -managements im Zusammenhang mit gravitativen Massenbewegungen eingegangen. Wichtig sind auch noch Definitionen zum Maßstab, Erklärungen zu Gefahrenzonenplänen und Gefahrenhinweiskarten, sowie einige Erläuterungen zur öffentlichen Verwaltung, auf die ebenfalls noch im ersten Teil der Arbeit eingegangen wird.

Im zweiten Teil der Arbeit, Kapitel 3, werden Rutschungen im weiteren Sinne charakterisiert. Für rutschende bzw. fließende Prozesse gibt es unterschiedliche Klassifikationsmöglichkeiten.

Um unterschiedliche Rutschungen miteinander vergleichen zu können ist eine einheitliche Nomenklatur und Charakterisierung notwendig. Dazu wird auf die Nomenklatur, sowie auf die Beschreibungen von Rutschungen nach UNESCO WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY (1993) eingegangen.

Rutschungen im weiteren Sinne können in permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren unterteilt werden. Die Übergänge zwischen den Prozessen sind meist fließend und je nach Ereignis und Rahmenbedingungen unterschiedlich.

Ein wichtiger Bestandteil der Arbeit ist die Charakterisierung des Wirkungsraumes von Rutschungen. Eine Rutschung im weiteren Sinne kann in eine Abrisszone, eine Bewegungszone und eine Ablagerungszone gegliedert werden. Zur Definition des Wirkungsraumes sind geometrische Ansätze nötig, die beispielsweise durch die Reichweite beschrieben werden. In Anlehnung an den Wirkungsraum weisen Rutschungen je nach Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit unterschiedliche Gefahrenpotentiale auf. Durch die Kombination der Intensität mit der Wahrscheinlichkeit kann eine Gefahreinstufung von Rutschungen durchgeführt werden. Eine Möglichkeit bietet unter anderem der Ansatz der BWG (2004) und wird daher vorgestellt.

Ein weiterer Kernpunkt dieser Arbeit ist die Simulation der Reichweite von Rutschungen. Dazu wird auf Voraussetzungen, Methoden und Modellansätze, sowie auf die im Zuge dieser Arbeit verwendeten Programme eingegangen.

Für eine Simulation der Reichweite ist die Kenntnis der Lage der möglichen Anrissgebiete von Rutschungen bzw. Hangmuren notwendig. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten um die Anfälligkeit eines Hanges für Rutschungen zu bestimmen.

Im Zuge des Projekts „MassMove“ wurde eine GIS-Applikation geschaffen, die die Erstellung von Suszeptibilitätskarten für stürzende und rutschende Ereignisse semiautomatisch im regionalen Maßstab ermöglicht.

Für die Bestimmung der Reichweite wurde darauf aufbauend ein GIS-AddIn entwickelt, das die Möglichkeit bietet den Runout-Bereich für stürzende und rutschende Ereignisse ebenfalls im regionalen Maßstab zu berechnen. Für Rutschungen erfolgt zur Simulation der Runout-Reichweiten, ausgehend von den Startzellen, eine Berechnung von Fließpfaden und Modellpfaden, woraus durch Pufferung Rutschungsbereiche generiert werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Bestimmung der Reichweite bietet das Softwarepaket RAMMS. Dieses gliedert sich in mehrere Module. Das Modul RAMMS::Hillslope wurde zur Simulation zweier ausgewählter Rutschungen verwendet. RAMMS::Hillslope befindet sich noch in der Entwicklung und eignet sich zur Simulation von Hangmuren und spontanen Rutschungen. Als mathematische Grundlage dient das Voellmy-Reibungsmodell. Das Modul verwendet zusätzlich ein erweitertes Voellmy-Modell, mit dem Ablagerungen von Hangmuren im Hangbereich selbst besser simuliert werden können.

Mit diesen zwei Methoden wurden zwei, in den vergangenen Jahren aufgetretene Rutschungen im Bundesland Kärnten (Rutschung Hinterrauth und Rutschung Lichtpold) einer Simulation unterzogen.

Die Rutschung Hinterrauth ereignete sich im Gegendtal in der Gemeinde Feld am See. Es handelt sich dabei um eine komplexe Rutschung, mit rotationaler Gleitfläche und anschließender Hangmure mit einer Reichweite der Rutschung von ca. 92 m. Sie hat ein geschätztes Ausmaß von 1750 m³.

An der B83 in der Gemeinde Wernberg ereignete sich die Rutschung Lichtpold. Sie kann als Translationsrutschung, ausgelöst durch extreme Wassersättigung, charakterisiert werden. Die Rutschung hat eine Reichweite von ca. 96 m und ein Ausmaß von etwa 3750 m³.

Die Simulationen mit RAMMS::Hillslope und dem regionalen Modell (GIS-AddIn) haben gezeigt, dass beide brauchbare Tools für die Modellierung des Wirkungsraumes von spontanen Rutschungen bzw. Hangmuren sind, wenn für die Berechnung maßgebende Daten zur Verfügung stehen.

Die Reichweiten der Rutschungen konnten mit beiden Tools mehr oder weniger gut simuliert werden. Mit RAMMS sind umfangreiche Ergebnisse möglich. Unter anderem wurde die Ablagerungshöhe simuliert, die gut die Realität widerspiegelt.

Bei der Rutschung Hinterrauth mussten mit beiden Programmen Parameteranpassungen durchgeführt werden, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen.

Eine wichtige Voraussetzung beider Programme ist die aktuelle und möglichst genaue Datengrundlage, sowie Erfahrung im Umgang, um gute Simulationsergebnisse zu erhalten.

Fehlerhafte Simulationen können durch zu geringe Datenauflösung, schlechte Datengrundlagen, fehlerhafte Geländeaufnahmen, Fehler in der Anwendung, falsche Interpretationen, etc. zu Stande kommen.

RAMMS::Hillslope wurde vorrangig für lokale Ereignisse entwickelt. Es eignet sich aber auch für die Anwendung im regionalen Maßstab. Jedoch ist der Datenaufwand mit „State of the Art“-Methoden im Moment noch sehr hoch (Anrissaufnahme, Volumen, etc.).

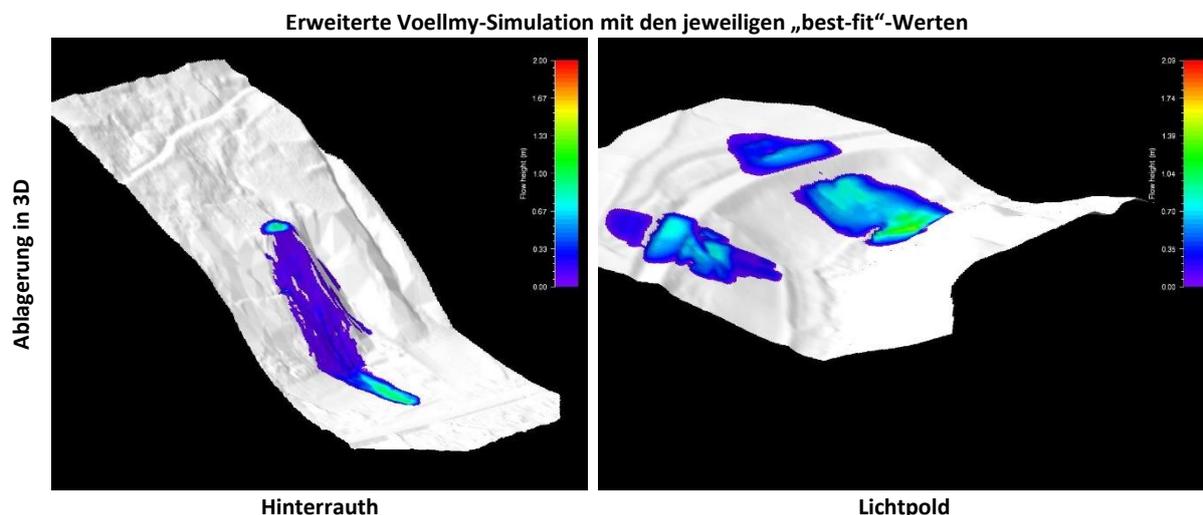
Das regionale Modell eignet sich auch für lokale Fragestellungen. Die Ergebnisse für lokale Ereignisse sind zufriedenstellend. Für regionale Fragestellungen ist es unter Anwendung von Expertenwissen ein nützliches Tool um Gefährdungsanalysen durchzuführen.

Beide Tools eignen sich für Fragestellungen wie Erstellung von Gefahrenhinweis- und Gefahrenzonenkarten, für die Simulation von Katastrophenereignissen, für die Bewertung der Sicherheit für Schutzgüter, etc.

Mit Ramms besteht die Möglichkeit die analysierten Parameter heranzuziehen, um im selben Gebiet Prognosen für gefährdete Bereiche zu erstellen. Beispielsweise können Hangbereiche detailliert untersucht werden, um die Auswirkungen einer Rutschung zu quantifizieren. So können beispielsweise Erkenntnisse zur Planung und Ausführung von Schutzmaßnahmen gewonnen werden.

In Abbildung 6-1 sind Simulationen mit RAMMS, mit den jeweiligen „best-fit“-Parametern, abgebildet. Dabei wurden an Hangbereichen Anrisse generiert (Geländekante in Hinterrauth, Böschungsabschnitt der B83) und mit den „best-fit“-Parameter Prognosen erstellt. Unter Zuhilfenahme solcher Programme und der gewonnen Erkenntnisse können beispielsweise Gefährdungszonen generiert oder Maßnahmen ergriffen werden.

Im regionalen Modell können durch die Änderung der Parameter unterschiedliche Varianten für unterschiedlich schwere Szenarien generiert werden. Dadurch besteht die Möglichkeit Zonen unterschiedlicher Gefährdung auszuweisen und dies für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten zu verwenden.



Prognosen, die auf Grundlage vorhandener Daten erstellt werden, können als signifikant eingestuft werden. Jedoch sind auch solche Prognosen mit derzeitigen Stand der Technik und des Wissens immer kritisch zu hinterfragen, da die Simulationen gezeigt haben, dass auch unterschiedliche Parametereinstellungen zum gewünschten Ergebnis führen können.

Prognosen, die ohne Datengrundlagen für eine Kalibration erstellt werden, sind momentan noch als äußerst kritisch anzusehen. Eine mögliche Verifikation der Ergebnisse ist daher jedenfalls anzustreben.

Interessant wäre eine Klärung, ob sich im Labor oder In-situ bestimmte Parameter für eine Simulation mit beiden Programmen eignen bzw. ob sich eine Korrelation feststellen lässt. Denn die Ergebnisse haben gezeigt, dass bei den Parametern eine große Varianz auftritt. Solche Erfahrungswerte könnten die Simulationsergebnisse positiv beeinflussen.

Es bedarf allgemein noch viel Forschung und Erfahrung im Umgang, speziell mit der Simulation von spontanen Rutschungen bzw. Hangmuren. Durch Forschung und Weiterentwicklung solcher Instrumente können wichtige Erkenntnisse in Bezug auf das Gefahrenpotential der Ereignisse gewonnen werden. Auch der Umgang mit den resultierenden Gefahren kann dadurch für die Bevölkerung erleichtert werden.

Vor allem sollte schwerpunktmäßig die Forschung an den Ursachen von Rutschungen und den Prozessen vorangetrieben werden. Erkenntnisse könnten helfen die Prozesse besser zu verstehen und somit die Modelle und die resultierenden Ergebnisse zu verbessern.

Zahlreiche Ereignisse zeigen die vorherrschende Gefährdung durch Rutschungen. Simulationsprogramme sind daher wichtige Instrumente, die für die Bewusstseinsbildung der Bevölkerung und der Gemeindevertreter, sowie den Raumordnungs- und Infrastrukturbeauftragten einen wichtigen Beitrag leisten können.

Die Natur ist unerbittlich und unveränderlich, und es ist ihr gleichgültig, ob die verborgenen Gründe und Arten ihres Handelns dem Menschen verständlich sind oder nicht.

Galileo Galilei (1564 - 1642), italienischer Mathematiker, Philosoph und Physiker

LITERATURVERZEICHNIS

- AMLACHER, H., 14.11.2013. *Fotografien der Rutschung Lichtpold B83*. Villach: Straßenbauamt.
- AMT DER KLR, 2013. *Geschäftsordnung und Geschäftseinteilung des Amtes der Kärntner Landesregierung*. Klagenfurt: Kärntner Landesregierung.
- ANDRECS, P. & HAGEN, K., 2010. *AdaptEvent - Analyse der Sicherheit und Genauigkeit von Bemessungswerten bei gravitativen alpinen Naturgefahren und Ableitung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel*, Wien: BFW.
- AUSTRALIAN GEOMECHANIC SOCIETY, 2000. Landslide risk management concepts and guidelines. *Australien Geomechanics*, March, Issue 35 (1), pp. 49-92.
- BÄK, R., 2013. *Befragung des Abteilungsleiters der Unterabteilung Geologie und Bodenschutz des Amtes der Kärntner Landesregierung zu den Rutschungen Hinterrauth und Lichtpold [Interview] (9 12 2013)*.
- BÄK, R., BENSI, S. & POSCH-TRÖZMÜLLER, G., 2011. *Minimal standards for the compilation of susceptibility and hazard maps of landslides and rock fall as a tool for disaster prevention*. Klagenfurt: Project Nr. 1381 MassMove.
- BARTELT, P. et al., 2011. *RAMMS User Manual v1.01 Hillslope Debris Flow*, Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- BEV, 2010. *Austrian Map Fly 5.0 - Digitales Kartenwerk*. Wien: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.
- BKA, 2011. *Verwaltung in Österreich*, Wien: Bundesministerin für Frauen und Öffentlichen Dienst im Bundeskanzleramt Österreich.
- BRÜNDL, M., 2009. *Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden*, Bern: Nationale Plattform für Naturgefahren.
- BUNGARTZ, H.-J., ZIMMER, S., BUCHHOLZ, M. & PFLÜGER, D., 2013. *Modellbildung und Simulation - Eine anwendungsorientierte Einführung*. 2. Auflage Hrsg. Berlin: Springer.

BWG, 2004. *GefahrenEinstufung Rutschungen i.w.S.*, Bern: Bundesamt für Wasser und Geologie.

CHRISTEN, M. et al., 2012. Numerische Simulation von gravitativen Naturgefahren mit RAMMS (Rapid Mass Movements). In: V. d. D. d. W. u. L. WLW, Hrsg. *Modellierung von Naturgefahren-Prozessen*. Villach: WLW, pp. 282 - 292.

CORNFORTH, D., 2005. *Landslides in Practice*. 1. Auflage Hrsg. New Jersey: John Wiley & Sons.

COUSSOT, P. & MEUNIER, M., 1996. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*, Issue 40, pp. 209 - 227.

CROZIER, M. & GLADE, T., 2006. Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach. In: T. GLADE, M. ANDERSON & M. CROZIER, Hrsg. *Landslide Hazard and Risk*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 1 - 40.

CRUDEN, D. & VARNES, D., 1996. Landslide types and processes. In: *Landslides - Investigation and mitigation: Special report - Transportation Research Board 247*. Washington: National Academies Press, pp. 36-75.

DIE WILDBACH, 2011. *Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung*, Wien: die.wildbach.

DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L. & IBSEN, M., 1996. *Landslide Recognition: Identification, Movement and Causes*. Chichester: Wiley.

DIKAU, R. & GLADE, T., 2002. Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. *Geographische Rundschau*, Band 54, pp. 38 - 45.

DIN 4022-1, 1969. *Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels, Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben*. Berlin: DIN e.v..

DIN EN ISO 14688-1, 2013. *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung*. Berlin: DIN e.v..

FELL, R., HO, K., LACASSE, S. & LEROI, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In: O. HUGR, R. FELL, R. COUTURE & E.

EBERHARDT, Hrsg. *Landslide Risk Management*. London: Taylor & Francis Group, pp. 3 - 28.

FERCHER, P. et al., 2007. *Naturgefahren Kärnten - Expertensymposium*, Klagenfurt: Amt der Kärntner Landesregierung.

GLADE, T. & CROZIER, M., 2005. A Review of Scale Dependency in Landslide Hazard and Risk Analysis. In: T. GLADE, M. ANDERSON & M. CROZIER, Hrsg. *Landslide Hazard and Risk*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 75 - 139.

HAFNER, K., 1978. *Gefahrenzonenplan Feld am See*. Villach: WLW .

HEINIMANN, H. et al., 1998. *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*, Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL.

HIGHLAND, L. & BOBROWSKY, P., 2008. *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.

HÜBL, J., 2012. Anwendungsbereich und Grenzen der Prozessmodellierung von gravitativen Naturgefahren in Praxis und Wissenschaft. In: V. d. D. d. W. u. L. WLW, Hrsg. *Modellierung von Naturgefahren-Prozessen*. Villach: WLW, pp. 18 - 27.

HÜBL, J. et al., 2009. *IAN Report 111: Historische Ereignisse - Band 4: Zusammenstellung und Analyse dokumentierter Ereignisse in Österreich bis 2009*, Wien: Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur.

HUNGR, O., COROMINAS, J. & EBERHARDT, E., 2005. Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity. In: O. HUNGR, R. FELL, R. COUTURE & E. EBERHARDT, Hrsg. *Landslide Risk Management*. London: Taylor and Francis, pp. 99-128.

JAKOB, M. & HUNGR, O., 2005. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer.

JOHNSEN, G., 1984. Hangbewegungen vom Block-Typ östlich Berggießhübel. In: *Ingenieurgeologische Untersuchungen im Fels*. Freiberg: Vortrags- und Exkursionstagung der GWW, pp. 29-38.

KAGIS, 2014. *Kärnten Atlas V4*. [Online] Available at:

http://gis.ktn.gv.at/atlas/%28S%28o3hsvpslukbxondi3ez1nalt%29%29/init.aspx?karte=atlas_basiskarten&ks=kaernten_atlas

[Zugriff am 10.01.2014].

KOLYMBAS, D., 2011. *Geotechnik - Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau*. 3. Auflage Hrsg. Heidelberg: Springer.

LIENER, S. & KIENHOLZ, H., 2000. Modellierung von flachgründigen Rutschungen mit dem Modell SLIDISP. *Interprevent 2000 - Tagespublikation*, Band 1, pp. 259 - 269.

MARKAU, H.-J., 2003. *Risikobetrachtung von Naturgefahren*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

MARKL, G., 2008. *Minerale und Gesteine: Mineralogie - Petrologie - Geochemie*. 2. Auflage Hrsg. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

MEYER, F., 2010. Entwicklung eines Decision-Support-Systems zur Generierung einer zuverlässigen, lokalmaßstäblichen Gefahrenbeurteilung potentieller Hangmurbereiche. In: *Dissertation an der Universität der Bundeswehr München*. München: Universität der Bundeswehr München.

MONTRASIO, L. & VALENTINO, R., 2008. A model for triggering mechanisms of shallow landslides. *Natural Hazards and Earth System Science*, Band 8, p. 1149–1159.

MOSER, M. & ÜBLAGGER, G., 1984. *Vorschläge zur Erstellung von geotechnischen Karten und Erhebungen im Rahmen von Gefahrenzonenplänen im Hangbereich*. Villach, s.n., pp. 275-287.

NIEDERBICHLER, D., 2011. *Fazies und Struktur der Rannachformation in den Tribener Tauern (Geierkogel, Kreuzkogel)*. Graz: Bachelorarbeit.

ÖNORM B4400-1, 2009. *Geotechnik - Teil 1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von*. Wien: ON.

ÖNORM EN 1997-1, 2009. *Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln*. Wien: ON.

ONR 24800, 2009. *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung*. Wien: ON.

- POLANZ, O., 2014. *Gespräch über Hintergründe und Mechanismus der Rutschung Lichtpold* [Interview] (09 01 2014).
- POLANZ, O. & RUPRECHT, F., 2013. *Bodenmechanisches Gutachten B83 Kärntner Straße Rutschung Lichtpold*, Graz: GDP ZT GmbH.
- POLTNIG, W., 2014. *Das regionale Rutschungs-Runout Modell für Kärnten*, Graz: W. Poltnig.
- POLTNIG, W. & BERG, W., 2013. *GIS gestützte Erstellung von Naturgefahrenkarten für rutschende und stürzende Ereignisse im regionalen Maßstab im Gebiet der Gemeinden Afritz und Feld am See*, Graz: Joanneum Research Resources.
- POLTNIG, W., SACCON, P. & STROBL, E., 2011. *Auental – creating the landslide onset-susceptibility map*, Graz: Joanneum Research Resources.
- PRINZ, H. & STRAUSS, R., 2006. *Abriss der Ingenieurgeologie*. München: Spektrum Akademischer Verlag Elsevier GmbH.
- PÜHRINGER, O., 2013. *nachrichten.at*. [Online] Available at: <http://www.nachrichten.at/oberoesterreich/Satelliten-ueberwachen-den-Gschlifgraben;art4,702350>
- ROMANG, H., 2008. *Wirkung von Schutzmassnahmen.*, Bern: Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT.
- RUFF, M., KÜHN, M. & CZURDA, K., 2005. Gefährdungsanalyse von Hangbewegungen. In: *Vorarlberger Naturschau - Forschen und Entdecken*. Dornbirn: Vorarlberger Naturschau, pp. 5 - 96.
- SAFELAND, 2012. *Deliverable 1.1 - Landslide triggering mechanisms in Europe – Overview and State of the Art*, Oslo: SafeLand.
- SALM, B., 1993. Flow, flow transition and run out distances of flowing avalanches. *Annals of Glaciology*, Band 18, pp. 221 - 226.
- SALM, B., BURKARD, A. & GUBLER, H., 1990. Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitteilung des Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF*, Band 47.

SCHMID, S., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R., 2004. Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 97(1), pp. 93 - 117.

SCHÖBER, S., 2012. *Der Naturgefahrensteckbrief als Instrument des Risikomanagements*. Klagenfurt: Kärntner Landesregierung.

STEINER, 2012. *Geologischer Geländebefund Rutschung Hinterrauth Feld am See*, Sattendorf: ibg ZT-GmbH.

TC32, 2004. *Risk Assessment - Glossary of Terms*, London: ISSMGE.

THE INTERNATIONAL GEOTECHNICAL SOCIETIES' UNESCO WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY, 1., 1993. *Multilingual Landslide Glossary*. Kanada: BiTech Publishers Ltd..

TOBLER, D., KRUMMENACHER, B. & ROHR, W., 2006. *GIS-basierte Modellierung von Rutschungen und Hangmuren*, Davos Dorf: Geotest.

TOLLMANN, A., 1977. *Geologie von Österreich*. Band 1 Hrsg. Wien: Franz Deuticke Verlag.

VARNES, D., 1978. Slope Movement - Types and Processes. In: *Landslides - Analysis and control: Special report - Transportation Research Board 176*. Washington: National Research Council, pp. 11 - 33.

VOELLMY, A., 1955. Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweizerische Bauzeitung*, Band 73.

WITT, K., 2008. *Grundbau-Taschenbuch Teil 1 - Geotechnische Grundlagen*. 7. Auflage Hrsg. Berlin: Ernst & Sohn.

WSL, 2006. *Informationen zu: "Murgang" (Mure, Rufe)*, Birmensdorf: WSL.

ZEPP, H., 2008. *Geomorphologie: Grundriss allgemeine Geographie*. Stuttgart: UTB.

A2

<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R430_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 20.0000s Real calculation time (min.): 0.216667 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 430.40340 Overall MAX velocity (m/s): 9.63615 Overall MAX flowheight (m): 1.83478 Overall MAX pressure (kPa): 185.711 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 16:35:48 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R430_S8.hl2 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 0.70m Estimated release volume: 430 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.490 Xi (m/s2): 1400 MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>	<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R430_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 20.0000s Real calculation time (min.): 0.183333 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 430.40340 Overall MAX velocity (m/s): 8.62935 Overall MAX flowheight (m): 1.75699 Overall MAX pressure (kPa): 148.931 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Tue Jan 21 18:29:51 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R430_S8.hl2 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 0.70m Estimated release volume: 430 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.580 Xi (m/s2): 190 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 10.0000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>
--	--

<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R615_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 20.0000s Real calculation time (min.): 0.216667 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 614.86201 Overall MAX velocity (m/s): 9.99767 Overall MAX flowheight (m): 2.13037 Overall MAX pressure (kPa): 199.907 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 16:34:38 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R615_S8.h12 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 1.00m Estimated release volume: 615 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.490 Xi (m/s2): 1400 MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>	<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R615_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 20.0000s Real calculation time (min.): 0.183333 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 614.86201 Overall MAX velocity (m/s): 9.50309 Overall MAX flowheight (m): 2.04895 Overall MAX pressure (kPa): 180.618 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Tue Jan 21 18:17:59 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R615_S8.h12 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 1.00m Estimated release volume: 615 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.580 Xi (m/s2): 190 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 10.0000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>
--	--

<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R1752_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 35.0000s Real calculation time (min.): 0.583333 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 1752.3567 Overall MAX velocity (m/s): 14.4826 Overall MAX flowheight (m): 3.78293 Overall MAX pressure (kPa): 419.494 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 16:32:43 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_G1_D2000_X1400_M0.49_R1752_S8.h12 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 2.85m Estimated release volume: 1752 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.490 Xi (m/s2): 1400 MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>	<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R1752_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 30.0000s Real calculation time (min.): 0.566667 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 71322 Number of nodes: 72036 Calculated Release Volume (m3): 1752.3567 Overall MAX velocity (m/s): 15.3419 Overall MAX flowheight (m): 3.70167 Overall MAX pressure (kPa): 470.748 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Tue Jan 21 18:34:55 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_RKE_G1_D2000_X190_M0.58_R1752_S8.h12 Project: Rutschung_Hinterrauth Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Hinterrauth\DHM\rutschung_hinterrauth.txt) Number of nodes: 768483 Number of cells: 766728 Project region extent: E - W: 483877.76 / 482951.76 S - N: 179111.83 / 179939.83 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Hinterrauth\Rutschung_Hinterrauth\HR_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.00m Release nr 1: 2.85m Estimated release volume: 1752 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: fluid Mu (): 0.580 Xi (m/s2): 190 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 10.0000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>
---	---

A3

<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_G1_D2000_X400_M0.27_R3760_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 20.0000s Real calculation time (min.): 0.166667 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 43867 Number of nodes: 44440 Calculated Release Volume (m3): 3761.2140 Overall MAX velocity (m/s): 9.02373 Overall MAX flowheight (m): 2.99107 Overall MAX pressure (kPa): 146.570 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 11:07:00 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_G1_D2000_X400_M0.27_R3760_S8.h12 Project: Rutschung_Lichtpold Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\R utschung_Lichtpold.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Lichtpold\DHM\rutschung_lichtpold .txt) Number of nodes: 1074897 Number of cells: 1072820 Project region extent: E - W: 499576.25 / 498470.25 S - N: 163574.39 / 164544.39 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 1800 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 1.92m Release nr 1: 0.00m Estimated release volume: 3759 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: landslide Mu (): 0.270 Xi (m/s2): 420 MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>	<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 65.0000s Real calculation time (min.): 0.483333 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 43867 Number of nodes: 44440 Calculated Release Volume (m3): 3761.2140 Overall MAX velocity (m/s): 8.87830 Overall MAX flowheight (m): 3.05558 Overall MAX pressure (kPa): 157.648 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 15:54:37 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8.h12 Project: Rutschung_Lichtpold Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L Rutschung_Lichtpold.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Lichtpold\DHM\rutschung_lichtpol d.txt) Number of nodes: 1074897 Number of cells: 1072820 Project region extent: E - W: 499576.25 / 498470.25 S - N: 163574.39 / 164544.39 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\L P_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 1.92m Release nr 1: 0.00m Estimated release volume: 3759 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: landslide Mu (): 0.400 Xi (m/s2): 100 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 5.00000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>
--	--

<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8_R1880.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 145.000s Real calculation time (min.): 0.750000 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 43867 Number of nodes: 44440 Calculated Release Volume (m3): 1880.6070 Overall MAX velocity (m/s): 6.95495 Overall MAX flowheight (m): 2.00786 Overall MAX pressure (kPa): 96.7425 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 16:27:54 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8_R1880.h12 Project: Rutschung_Lichtpold Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\Rutschung_Lichtpold.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Lichtpold\DHM\rutschung_lichtpold.txt) Number of nodes: 1074897 Number of cells: 1072820 Project region extent: E - W: 499576.25 / 498470.25 S - N: 163574.39 / 164544.39 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 0.96m Release nr 1: 0.00m Estimated release volume: 1880 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: landslide Mu (): 0.400 Xi (m/s2): 100 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 5.00000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>	<pre> ***** RAMMS::HILLSLOPE OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8_R5870.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 40.0000s Real calculation time (min.): 0.383333 Simulation resolution (m): 1.00000 SIMULATION RESULTS Number of cells: 43867 Number of nodes: 44440 Calculated Release Volume (m3): 5876.8970 Overall MAX velocity (m/s): 9.84160 Overall MAX flowheight (m): 4.08579 Overall MAX pressure (kPa): 193.714 ***** RAMMS::HILLSLOPE 1.4.01 INPUT LOGFILE Date: Thu Jan 23 16:22:13 2014 Input filename: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_RKE_G1_D2000_X100_M0.40_S8_R5870.h12 Project: Rutschung_Lichtpold Info: . DEM / REGION INFORMATION: DEM file: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\Rutschung_Lichtpold.xyz DEM resolution (m): 1.00 (imported from: C:\Users\DN\Desktop\RAMMS\Lichtpold\DHM\rutschung_lichtpold.txt) Number of nodes: 1074897 Number of cells: 1072820 Project region extent: E - W: 499576.25 / 498470.25 S - N: 163574.39 / 164544.39 CALCULATION DOMAIN: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_Calc.dom GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300 Dump interval (s): 5.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 8 Constant density (kg/m3): 2000 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H cutoff: 0.000100 RELEASE: C:\Users\DN\Documents\RAMMS\Lichtpold\Rutschung_Lichtpold\LP_Release_rep.shp Release heights: Release nr 0: 3.00m Release nr 1: 0.00m Estimated release volume: 5874 m3 FRICTION MUXI: Hillslope type: landslide Mu (): 0.400 Xi (m/s2): 100 RKE Energy Parameters: Generate: 10.0000 (%) Decay: 1.00000 (1/s) R0: 5.00000 (kJ/m3) MAP / ORTHOPHOTO INFO: </pre>
---	---