



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Extreme gravitative Massenbewegungen im
österreichischen Alpenraum“

verfasst von / submitted by

Thomas Gabauer

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2019, Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 456 350

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UniStG
UF Geographie und Wirtschaftskunde UniStG
UF Italienisch UniStG

Betreut von / Supervisor:

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

Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am.....

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Danksagung	VII
Kurzzusammenfassung	VIII
Abstract	IX
1. Einleitung	1
1.1. Forschungsfragen und Hypothesen	3
1.2. Gliederung	4
2. Methodik	5
3. Theoretische Grundlagen	7
3.1. Gravitative Massenbewegungen - Prozesstypen.....	7
3.2. Ausmaß von gravitativen Massenbewegungen	10
3.3. Gefahrenklassen	13
3.4. Weitere wichtige Begriffe.....	17
3.4.1. Naturereignis/Naturgefahr	17
3.4.2. Risiko	17
3.4.3. Naturkatastrophe	18
3.4.4. Extremereignis	18
3.4.5. Vulnerabilität	19
3.5. Risikomanagement	19
4. Gravitative Massenbewegungen und deren Entstehung, Ursachen und Auswirkungen	20
4.1. Ursachen	20
4.1.1. Hangneigung und Schwerkraftwirkung.....	21
4.1.2. Bodenmechanische Parameter	23
4.1.3. Geologische Ursachen.....	24
4.1.4. Destabilisierende Faktoren	25
4.1.5. Anthropogene Faktoren	28
4.1.6. Der Einfluss des Klimawandels	29
4.1.7. Auswirkungen auf den Menschen	30
5. Gravitative Massenbewegungen im Alpenraum	31
5.1. Felssturz	32
5.1.1. Permafrost	32

5.1.2. Strukturelle Prädisposition	33
5.1.3. Kryostatischer Druck.....	34
5.1.4. Vergletscherung.....	36
5.1.5. Starkniederschläge/hydrostatischer Druck	37
5.1.6. Thermomechanische Prozesse.....	38
5.1.7. Erdbeben	38
5.2. Bergsturz	39
5.2.1. Interne Ursachen	40
5.2.2. Externe Ursachen	40
5.2.3. Erdbeben und Starkniederschläge	41
5.2.4. Auswirkungen	42
5.3. Rutschungen	44
5.3.1. Arten von Rutschungen.....	44
5.3.2. Auslösende Faktoren	48
5.4. Muren.....	51
5.4.1. Begriffsdefinitionen und Arten von Muren	51
5.4.2. Auslösende Faktoren	53
6. Geschichtlicher Kontext – Dokumentation von Extremereignissen.....	57
6.1. Die Mure am Enterbach	57
6.2. Historische Bergstürze	59
6.3. Aktuellere Extremereignisse.....	61
7. Extreme Massenbewegungen	65
7.1. Extreme Sturzprozesse	65
7.2. Extreme Fließ- und Rutschprozesse	70
7.3. Weitere Faktoren zur Begünstigung von Extremereignissen	75
7.3.1. Waldbrände:	75
7.3.2. Bevölkerungsentwicklung im Alpenraum.....	77
7.3.3. „Man-made“ Hazards	79
7.3.4. Alpentourismus	80
8. Präventionsmaßnahmen/ Risikoanalyse	85
8.1. Derzeitige Schutzmechanismen	85
8.1.1. Monitoringsysteme	85
8.1.2. Frühwarnsysteme	89
8.2. Beständigkeit von Schutzsystemen.....	90
8.3. Kontraproduktivität von Schutzsystemen.....	92

8.4. Risikoanalyse	93
8.4.1. Integrales Risikomanagement.....	96
8.4.2. Risk-Governance Konzept	98
8.4.3. Verbesserungsempfehlungen der Risk-Governance	99
9. Zusammenfassung.....	101
10. Hypothesen – Fazit.....	107
11. Ausblick & Perspektiven.....	109
12. Literaturverzeichnis	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der verschiedenen Prozesstypen (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2007:152).....	9
Abbildung 2: Übersicht über die räumliche Verteilung gravitativer Phänomene in Österreich (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:32).....	16
Abbildung 3: Darstellung der Schwerebeschleunigung eines Hanges (Quelle: AHNERT 2015:90).....	22
Abbildung 4: Eissegregation/Feuchtigkeitstransport entlang eines Temperaturgradienten und anschließender Neubildung von Eis in Klüften (Quelle: KENNER ET PHILIPPS 2017:19)	36
Abbildung 5: Repräsentation eines Murgangs (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:147) .	55
Abbildung 6: Verheerendes Ausmaß des Murgangs von Inzing (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:63).....	59
Abbildung 7: Übersicht über die Bergsturzbereiche unterschiedlichen Alters an der Südflanke des Dobratsch (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:44).....	60
Abbildung 8: Mönchsberg Salzburg (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:45)	61
Abbildung 9: Felssturz in Dürnstein/Wachau (Quelle: MÜLLEGGER 2013:18).....	62
Abbildung 10: Murenabgang Gemeinde Gasen (Quelle ORF:2018).....	64
Abbildung 11: Temperaturanstieg in Österreich (Quelle: FORMAYER ET AL. 2009:40)	68
Abbildung 12: Extreme Muren und Überschwemmungen des Alpenraums (1985-2017) (Quelle: STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2019:27).....	75
Abbildung 13: Entwicklung der Bevölkerungsrate je 100 Einwohner (Quelle: STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2015:36).....	78
Abbildung 14: Durchführung einer Pistenneurodung im Vorher/Nachher Vergleich (Quelle: RINGLER 2017:43).....	82
Abbildung 15: Spätfolgen der Pistenplanie (Quelle: Ringler 2017:104).....	84
Abbildung 16: Vorausschauende Erkennung und Bewertung von Risiken (Quelle: PLANAT 2013:6).....	95
Abbildung 17: Maßnahmen des integralen Managements (Quelle: PLANAT 2013:8)	96
Abbildung 18: Einteilung von Schutzgütern laut Empfehlung der PLANAT (Quelle: PLANAT 2013:10).....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gravitative Massenbewegungen und deren Klassifikation (Quelle: VARNES:1978:11).....	10
Tabelle 2: Geschwindigkeit und Schadensausmaß von gravitativen Prozessen (Quelle: BELL ET AL. 2010:13).....	11
Tabelle 3: Darstellung von Intensität und zusammenhängenden Schadenswirkungen bei gravitativen Prozessen (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2010:157)	12
Tabelle 4: Übersicht über die verschiedenen Gefahrenklassen (Quelle: RUDOLF-MIKLAU 2012:2).....	14
Tabelle 5: Naturgefahren Ranking von Österreich (Quelle: RUDOLF-MIKLAU 2009:17)	15
Tabelle 6: Ursachen/Faktoren von gravitativen Prozessen (Quelle: DIKAU ET GLADE 2002:39).....	21
Tabelle 7: Vorbereitende Parameter(nach Popescu:1994), auslösende Parameter (nach DIKAU ET AL.:2001) (Quelle: CEVIK 2008:15)	27
Tabelle 8: Unterteilung von Sturzprozessen (Quelle: HELM ET AL. 2016:337)	31
Tabelle 9: Klassifikation gravitativer Prozesse (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:145)...	54
Tabelle 10: Gegenüberstellung der Eigenschaften von Hang- bzw. Gerinnemuren (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:146).....	54
Tabelle 11: Extreme Sturzprozesse, gemessen an Kilojoule (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2007:157)	65
Tabelle 12: Extreme Sturzprozesse, gemessen am Volumen in cm ³ eines Einzelblocks (Quelle: PROSKE ET BAUER 2013:88)	66
Tabelle 13: Felsstürze, initiiert durch abschmelzenden Permafrost (Quelle: DAV:2016)	69
Tabelle 14: Extreme Rutschungen, gemessen an der Geschwindigkeit (Quelle: BELL ET AL. 2010:13)	71
Tabelle 15: Übersicht der Beurteilungskriterien von Intensitätsklassen von Rutschungen (Quelle: NIEDERBICHLER 2014:66).....	72
Tabelle 16: Extreme Rutschungen, gemessen an der Fläche und dem Volumen (Quelle: MUMIC 2012:9).....	73
Tabelle 17: Art der Nutzung und damit zusammenhängende Erosionsgefährdung (Quelle: EICHINGER 1999:26)	83

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.- Prof. Dr. Thomas Glade für die Betreuung meiner Diplomarbeit, der mir während meiner Bearbeitungszeit nützliche Tipps gab und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Familie und meinen Verwandten, die mich in schwierigen Zeiten immer unterstützt haben, mir Mut zugesprochen haben und immer an mich geglaubt haben. Ohne deren Unterstützung wäre ich nie so weit gekommen. Ihnen gebührt mein aufrichtigster Dank.

Diese Diplomarbeit ist der Abschluss einer ereignisreichen und schönen Studienzeit an der Universität Wien, wo ich nicht nur mein Wissen erweitern konnte, sondern auch viele neue Freunde gefunden habe, die mir ans Herz gewachsen sind. Auch ihnen möchte ich für alles, was sie für mich getan haben, herzlichst danken.

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein Überblick über verschiedene Aspekte von gravitativen Massenbewegungen gegeben. Um diese besser verstehen zu können, werden unter anderem die einzelnen Prozesstypen, sowie verschiedene Klassifikationsschemata bezüglich Intensität und Ausmaß beschrieben. Um aufzuzeigen, dass gravitative Extremereignisse kein rein aktuelles Phänomen sind, sondern es auch in der Vergangenheit bereits zu verheerenden Katastrophen kam, wird ein geschichtlicher Kontext erstellt, der dies repräsentieren soll.

Für ein besseres Verständnis des Ursache-Wirkungszusammenhangs werden die einzelnen gravitativen Phänomene hinsichtlich vorbereitender und auslösender Faktoren beschrieben. Da die Diplomarbeit vorwiegend Extremereignisse thematisiert, werden diese in einem eigenen Kapitel behandelt. Dabei wird versucht, diese von „normalen“ Ereignissen abzugrenzen und mögliche Trends bezüglich zukünftiger Eintrittswahrscheinlichkeit herauszuarbeiten. Hierbei werden sowohl klimatische, als auch anthropogene Faktoren berücksichtigt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit ist die Beschreibung der derzeitigen Präventionsmechanismen. Diese werden vor allem auf Beständigkeit gegenüber Extremereignissen untersucht. Es wird gezeigt, dass stets mit Restrisiken und Überlastfällen gerechnet werden muss. Für einen zukünftig besseren Umgang mit Extremereignissen werden mögliche Verbesserungsvorschläge in der Risk-Governance gezeigt, die unter anderem ein näheres Zusammenrücken aller Interessensträger sowie die Stärkung des Bewusstseins der Bevölkerung fordern.

Abstract

In this thesis an overview of different aspects of gravitational mass movements is given. To be able to understand these better, the individual process types as well as various classification schemes regarding intensity and extent are described. In order to show that extreme gravitational events are not a purely current phenomenon, but that disastrous catastrophes have already occurred in the past, a historical context is created to represent this.

For a better understanding of the cause-effect relationship, the individual gravitational phenomena are described regarding to preparatory and triggering factors. Since the diploma thesis mainly deals with extreme events, these are dealt with in a separate chapter. The aim is to distinguish these from „normal“; events and to identify possible trends about the probability of their occurrence in the future. Both climatic and anthropogenic factors are considered.

Another focus of the thesis is the description of the current prevention mechanisms. These are primarily examined for resistance to extreme events. It is shown that residual risks and overload cases must always be expected. For a better handling of extreme events in the future, possible suggestions for improvement in risk governance will be shown, which, among other things, call for closer cooperation between all stakeholders and the strengthening of public awareness.

1. Einleitung

Gravitative Massenbewegungen sind ein besorgniserregender Indikator für unzählige Todesfälle weltweit und verursachen zudem schwere ökonomische Schäden für die betroffene Gesellschaft, die sich auch nachhaltig auf deren Lebensstandard auswirken können. Zur Illustration, welches gigantische Ausmaß gravitative Massenbewegungen erreichen können, lässt sich beispielsweise die Erdbebenkatastrophe in Wenchuan nennen, welche sich am 12. Mai 2008 in der chinesischen Provinz Sichuan ereignete. Durch das Erdbeben wurden rund 15.000 gravitative Prozesse in Gang gesetzt, welche für den Tod von 20.000 Menschen der insgesamt 70.000 Todesopfer, die bei diesem verheerenden Ereignis zu beklagen waren, verantwortlich waren. (BELL ET AL. 2010:11)

Auch in Deutschland wird der jährliche Schaden, verursacht durch gravitative Massenbewegungen, auf jährlich 150 Millionen US \$ geschätzt. Diese beispielhaften Zahlen sollen zeigen, dass es dringend notwendig ist, Maßnahmen zu ergreifen, um weitere zukünftige Schäden zu verhindern beziehungsweise deren verheerendes Ausmaß zu reduzieren. Dabei wäre es vorteilhaft, nicht erst nach Eintritt des Schadensereignisses Initiative zu ergreifen, viel mehr wäre es notwendig, bereits im Vorhinein durch den Einsatz von gezielten Frühwarn- und Präventionsmaßnahmen Naturkatastrophen vorzubeugen, um ein gewisses Maß an Sicherheit herzustellen. BELL ET AL. betonen allerdings, dass Frühwarnsysteme das Risiko zwar einschränken können, aber keine sicherere Garantie für vollständigen Schutz sind. Es muss daher immer mit einem gewissen Restrisiko gerechnet werden. (BELL ET AL. 2010:11)

Die Alpen, mitunter auch der österreichische Alpenraum, zählen zu den schönsten, aber zugleich zu den gefährlichsten Naturräumen. Seit zirka 7000 Jahren wird der Alpenraum als Dauersiedlungsraum wahrgenommen. Die Menschen, die in den Alpen leben, sind täglich mit dem Risiko des Eintretens einer Naturkatastrophe und deren verheerenden Folgen konfrontiert. Es ist nicht möglich, sich den Naturkatastrophen und deren teilweise fatalen Auswirkungen zu entziehen. Eins der größten Probleme stellt die Errichtung von Häusern in gefährdeten Gebieten dar. In vielen Fällen war es

den Menschen im Vorhinein überhaupt nicht bewusst, dass es sich dabei um risikoanfällige Regionen handelt. Eine ausreichende Schutzfunktion gegenüber Naturgefahren kann nur dann gewährleistet werden, wenn vergangene Katastrophen als Abschreckung dienen und man daraus entsprechende Erkenntnisse für die Zukunft zieht. Das Bewusstsein über die Gefahren, die möglicherweise eintreten könnten, ist einer der wichtigsten Aspekte der Prävention. Daher wurde auch im österreichischen Alpenraum bereits versucht, durch umfangreiche Schutzmechanismen ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten, jedoch verändern sowohl der Klimawandel, als auch die intensive Nutzung des Alpenraums durch den Menschen das Risiko erheblich. (RUDOLF-MIKLAU 2005:12)

Speziell Österreich ist für seine relativ junge, voranschreitende Entwicklung des Reliefs bekannt. Dafür verantwortlich sind vor allem die Gebirgsbildung der Alpen selbst, aber auch die damit zusammenhängenden Folgen des Klimawandels in der Zeit des Quartärs, welches durch eiszeitliche und postglaziale Überprägungen gekennzeichnet war. Daraus entstand ein alpines Relief, welches zusammen mit dem Alpenvorland als wichtigste Grundparameter für die naturgegebene hohe Disposition für geogene Naturgefahren fungieren. Hierbei sind vor allem gravitative Phänomene wie Felssturz oder Steinschlag zu erwähnen. Ebenfalls zu nennen sind in diesem Zusammenhang Rutschprozesse wie Hangmuren, Kriechmassen oder Sackungen. (LOTTER ET HABERLER 2013:5)

In dieser Arbeit wird nun versucht, herauszufinden, mit welchen gravitativen Gefahren in Österreich gerechnet werden muss. Im Speziellen geht es um die Frage, wie sich Extremereignisse zukünftig entwickeln werden. Dabei werden sowohl klimatische, als auch anthropogene Faktoren berücksichtigt. Bei den klimatischen Faktoren wird der Fokus auf hydrologische Gefahren gelegt. Da Präventionsmechanismen zukünftig für die Gefahrenabwehr immer mehr an Relevanz gewinnen, werden diese nicht nur vorgestellt, sondern auch hinsichtlich deren Beständigkeit kritisch hinterfragt, sowie mögliche Optimierungsmaßnahmen repräsentiert.

1.1. Forschungsfragen und Hypothesen

Folgende Forschungsfrage und Hypothesen ergeben sich aus dem Zusammenhang für die vorliegende Diplomarbeit:

Forschungsfrage:

Inwieweit treten gravitative Massenbewegungen in Form eines Extremereignisses auf und bieten die derzeit eingesetzten Präventionsmaßnahmen ausreichend Schutz oder wirken sie sich eher kontraproduktiv aus und sind ein Indikator dafür, weshalb Extremereignisse überhaupt entstehen?

Ziel der Diplomarbeit ist es, die gravitativen Massenbewegungen im österreichischen Alpenraum im Zusammenhang mit Extremereignissen zu untersuchen und herauszufinden, welche Auswirkungen diese auf Raum und Gesellschaft ausüben. Dabei sollen die drei großen Gruppen der Massenbewegungen nach deren Entstehung, Ursachen und Wirkung charakterisiert werden und ermittelt werden, welchen Einfluss dabei der Mensch hat. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Beschreibung der derzeit existierenden Präventionsmechanismen in Österreich. Es soll herausgearbeitet werden, inwiefern diese dem Schutz der Gesellschaft dienen und ob ein eventueller Handlungsbedarf besteht diese zu optimieren. Im Rahmen der Diplomarbeit resultieren folgende Hypothesen:

H1: Gravitative Massenbewegungen treten sehr häufig in Form eines Extremereignisses auf.

Hat sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen in den letzten Jahren intensiviert oder sind sie eher die Ausnahme? Ab welchem Schwellenwert spricht man überhaupt von einem Extremereignis? Inwiefern begünstigen der Klimawandel und der Einfluss des Menschen die Intensität von Extremereignissen?

Es soll gezielt herausgearbeitet werden, inwiefern sich Extremereignisse von „normalen Ereignissen“ differenzieren und durch welche Faktoren diese begünstigt werden.

H2: *Die derzeit existierenden Präventionsmechanismen und Monitoring Systeme im österreichischen Alpenraum bieten vollkommenen Schutz vor gravitativen Extremereignissen.*

Kann ein hundertprozentiger Schutz für die Natur und Bevölkerung gewährleistet werden? Welche Präventionsmaßnahmen werden derzeit in Österreich eingesetzt? Gibt es Handlungsmöglichkeiten, um die derzeitigen Schutzmechanismen zu verbessern?

Dabei soll hinterfragt werden, wie beständig Schutzsysteme gegenüber Naturgefahren sind. Ein besonderer Fokus gilt dabei den Begriffen „Restrisiko“ und „Überlastfall“. Des Weiteren sollen Verbesserungsvorschläge repräsentiert werden.

1.2. Gliederung

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, wurde folgende Struktur verwendet. Am Beginn der Arbeit erfolgt eine allgemeine theoretische Einführung, in der die Terminologie, die einzelnen Prozesstypen und die Ausmaße von gravitativen Massenbewegungen dargestellt werden. Dabei wird zudem veranschaulicht, welche Gefahren in Österreich vorkommen können und wie deren räumliche Verteilung ist. Als Nächstes folgt eine allgemeine Darlegung der Ursachen, sowie der vorbereitenden Faktoren von gravitativen Phänomenen. Dabei wird unter anderem auf geologische Ursachen, bodenmechanische Parameter oder anthropogene Faktoren eingegangen. Der nächste Schritt stellt schließlich eine ausführliche, gezielte Analyse und Erläuterung der alpinen gravitativen Prozesse dar. Dabei spielen sowohl Sturz-, als auch Rutschprozesse eine wichtige Rolle, weshalb diese auch detailliert beschrieben werden. Beginnend mit Kapitel 6, fokussiert sich die Diplomarbeit schließlich auf Extremereignisse. Dabei wird zuerst ein kurzer geschichtlicher Diskurs über vergangene, sowie gegenwärtige Extremereignisse gegeben, um aufzuzeigen, dass auch in Österreich stets mit Naturereignissen verheerenden Ausmaßes gerechnet werden muss.

Im siebten Kapitel wird schließlich anhand von verschiedenen Klassifikationsschemen versucht, Extremereignisse von „normalen“ Ereignissen abzugrenzen, des Weiteren

thematisiert dieses Kapitel auch absehbare klimatische, sowie anthropogene Zukunftstrends, die sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von gravitativen Prozessen auswirken können. Abschließend richtet sich der Fokus der Diplomarbeit auf die Beschreibung von derzeitigen Schutzsystemen, sowie eventuellen Verbesserungsmöglichkeiten. Es soll mitunter auch gezeigt werden, dass niemals eine hundertprozentige Sicherheit gewährleistet werden kann und stets mit einem gewissen Restrisiko gerechnet werden muss. In einem weiteren Schritt werden zudem die Konzepte des integralen Risikomanagements und der Risk-Governance kurz vorgestellt und beschrieben. Abgerundet wird die Diplomarbeit schließlich mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse, einem Hypothesen-Fazit, sowie der Vorstellung möglicher Perspektiven zu diesem Thema.

2. Methodik

Es handelt sich hierbei um eine hermeneutische Arbeit, mit dem Vorhaben, die Entstehung und das Ausmaß von gravitativen Massenbewegungen zu verstehen beziehungsweise herauszufinden, wie sich gravitative Massenbewegungen in Zukunft entwickeln werden. Ein besonderer Fokus gilt dabei den Extremereignissen. Bei der Literaturrecherche wurden vor allem Schlüsselbegriffe wie „Gravitative Massenbewegungen“, „Extremereignisse“ und „Präventionsmaßnahmen im alpinen Raum“ verwendet. Da diese Begriffe jedoch relativ breit gefasst sind, ergaben sich mit der Zeit weitere Suchbegriffe wie „Monitoringsysteme“, „Man-made-Hazards“, „Risk-Governance“ oder „Restrisikomanagement“.

Die Literatursuche an sich führte ich mit Hilfe von verschiedenen Suchmaschinen, wie ResearchGate, Google-Scholar, dem Universitätsbibliotheksverzeichnis der Universität Wien, sowie Scopus durch. Dabei musste ich feststellen, dass es nicht einfach war, geeignete Literatur zu finden, da gravitative Massenbewegungen vor allem in Hinblick auf Extremereignisse ein noch relativ unerforschtes Thema darstellen. Es existieren durchaus viele literarische Werke, sowohl in deutscher, als auch in englischer Sprache, die die Entstehung, die Ursachen und das Ausmaß von gravitativen Phänomenen beschreiben, jedoch gibt es bis heute keine eindeutige länderübergreifende Definition von „gravitativen Extremereignissen“. Dies stellte mich

vor eine große Herausforderung, so beschloss ich bereits vorhandene Klassifikationsschemen zu verwenden und die jeweils höchste Stufe als „extrem“ zu deklarieren. Da es nahezu keine literarischen Quellen gibt, die sich ausschließlich der Entwicklung von Extremereignissen widmen, verwendete ich weiterführende Literatur, die sich mit Waldbränden, klimatischen Trends, demographischen Entwicklungen, Alpentourismus oder anthropogenen Faktoren beschäftigt. Hierbei griff ich vor allem auf aktuelle Zustandsberichte der Alpen zurück, die von der Alpenkonvention veröffentlicht wurden. Eine große Hilfe stellten auch die Daten von aktuellen Zukunftsprognosen bezüglich Niederschlags- und Temperaturentwicklung von der ZAMG dar. Dadurch war es schließlich möglich, das Thema einzugrenzen und eventuelle Zukunftstrends zu erarbeiten.

Im Laufe der Bearbeitungszeit wurde mir klar, dass dieses Thema sehr umfangreich ist und es nahezu unmöglich ist, sämtliche Faktoren, die zu einer Intensivierung von Extremereignissen beitragen könnten, zu erläutern. So entschied ich schließlich, mein Hauptaugenmerk auf hydrologische Prozesse (Entwicklung von Permafrost- und Niederschlagsintensitäten) und weitere Prozesse, die meiner Meinung nach absehbar sind (Entwicklung von Waldbränden, Einfluss des Tourismus etc.), zu legen. Im Zusammenhang mit den Präventionsmaßnahmen liegt der Fokus der Arbeit auf der Beschreibung der derzeit eingesetzten Schutzsysteme und der Beständigkeit gegenüber Naturereignissen. Im Kapitel „Perspektiven und Ausblick“ erfolgt schließlich die Repräsentation von einigen Verbesserungsvorschlägen mit dem Ziel, Präventions- sowie Frühwarnsysteme zukünftig zu optimieren. Hierbei waren vor allem die Werke von SCHNEIDERBAUER ET AL. gute Informationsquellen.

3. Theoretische Grundlagen

Zum besseren Verständnis sollen in diesem Kapitel die wichtigsten Fachtermini im Bereich der Massenbewegungen und Risikoforschung erläutert werden. Die folgenden Definitionen sollen als Grundorientierung dienen, einen Überblick verschaffen und den Leser in die Thematik einführen. Die nachstehende Diplomarbeit stützt sich auf diese zentralen Begriffe. Neben den Definitionen sollen hierbei auch die mit den jeweiligen Begriffen zusammenhängenden wichtigsten einführenden Informationen repräsentiert werden.

3.1. Gravitative Massenbewegungen - Prozesstypen

Da bereits im Titel der Diplomarbeit der Terminus „gravitative Massenbewegung“ genannt wird, soll hier zunächst geklärt werden, was unter gravitativen Massenbewegungen zu verstehen ist.

DIKAU und GLADE definieren den Begriff wie folgt:

„Generell sind unter Massenbewegungen bruchlose und bruchhafte hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fels- und/oder Lockergesteinen unter Wirkung der Schwerkraft zu verstehen“. (DIKAU ET GLADE 2002:40)

Dabei wird zwischen den Prozesstypen Fallen, Kippen, Gleiten, Driften, Fließen und komplexen Prozessen differenziert. BELL ET AL. merken an, dass jeder einzelne Prozesstyp verschiedene Materialien mit sich führen kann. Im Allgemeinen werden die Substrate in drei große Bereiche eingeteilt, nämlich in Fels-, Schutt- und Lockersubstrat, jedoch gibt es auch Übergangsphänomene, die sich keinen eindeutigen Bereich zuordnen lassen. Als Beispiel sind hier Muren oder Rutschungen zu nennen, deren Schutt- und Feinmaterialanteil variabel ist. (BELL ET AL. 2010:12)

Nachfolgend sollen die einzelnen Prozesse kurz im Detail beschrieben werden.

Der Prozess des „**Fallens**“ definiert Gesteine, festen oder lockeren Ausmaßes, welche vorwiegend im freien Fall abstürzen. Sie können dabei aber auch in springender oder rollender Art und Weise den Berg hinabstürzen. Die Materialabtragung findet hierbei entlang von Flächen statt, an denen Scherbewegungen nur in einem sehr niedrigen Ausmaß vorkommen oder gar nicht in Erscheinung treten. Von einem „**Kippprozess**“ wird gesprochen, wenn sich sowohl Fest-, als auch Lockergesteine eines vorliegenden Hanges in einer Vorwärtsrotationsbewegung um einen bestimmten Punkt oder Achse befinden, wobei sich der Schwerpunkt dabei unterhalb befindet. Beim „**Gleitprozess**“ wird zwischen rotations- und translationsförmigen Bewegungen unterschieden. Rotationsförmige Gleitbewegungen sind Prozesse, bei denen sich die Gesteinsmassen vorwiegend auf Gleitflächen bzw. dünnen Zonen, die durch eine intensivere Scherverformung gekennzeichnet sind, in drehender Bewegung hangabwärts bewegen. Bei translationsförmigen Gleitprozessen läuft diese Bewegung hingegen parallel zum Hang ab. (BELL ET AL. 2010:12)

Der Prozesstyp des „**Fließens**“ ist durch eine fortwährende, unumkehrbare Verformung von Fest- oder Lockergesteinen gekennzeichnet, bei der die Verteilung der Geschwindigkeit der sich in Bewegung befindlichen Masse identisch mit jener einer viskosen Flüssigkeit ist. Beim „**Driftprozess**“ bewegen sich die Gesteinsmassen lateral absinkend in weniger mächtige Schichten, ohne, dass dabei eine Scherung intensiven Ausmaßes auf Gleitflächen stattfindet. Schließlich existieren auch noch sogenannte „**Komplexe Prozesstypen**“. Darunter fallen jene Phänomene, deren Charakteristika nicht eindeutig einem bestimmten Prozesstyp zuzuordnen sind. Es handelt sich also immer um eine Kombination von zwei oder mehreren Prozessen. Im Laufe der Bewegung hangabwärts kommt es dabei zu einer Veränderung jenes Prozesstypen, der zuerst in Erscheinung getreten ist. (BELL ET AL. 2010:12).

In Abb. 1 wird eine graphische Übersicht über die verschiedenen Prozesstypen gegeben.

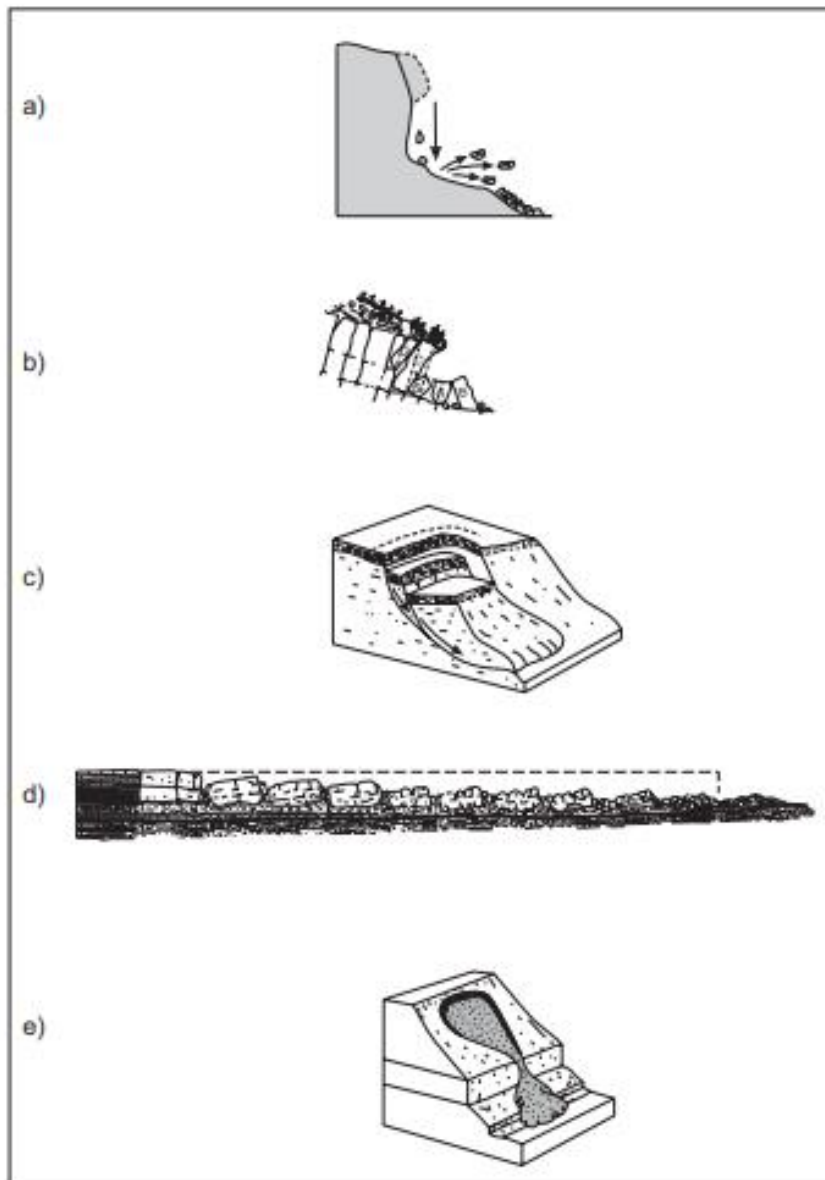


Abbildung 1: Übersicht der verschiedenen Prozesstypen (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2007:152)

Im Verlauf der Literaturrecherche zeigte sich, dass es weltweit sehr viele unterschiedliche Klassifikationssysteme gibt und dass auch im deutschsprachigen Raum keine einheitliche Klassifikation existiert. Ein sehr populäres und oftmals genutztes Klassifikationsschema stammt von VARNES aus dem Jahr 1978, welches wie folgt aussieht und durch Tab.1 repräsentiert wird.

Tabelle 1: Gravitative Massenbewegungen und deren Klassifikation (Quelle: VARNES: 1978:11)

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		

3.2. Ausmaß von gravitativen Massenbewegungen

Das Ausmaß von gravitativen Massenbewegungen kann sehr unterschiedlich sein. Teilt man diese in Geschwindigkeitsklassen ein, lässt sich feststellen, dass das mögliche Schadensausmaß mit steigender Geschwindigkeit immer größer wird. (BELL ET AL. 2010:13). Dies lässt sich auch durch Tab.2 gut veranschaulichen.

Theoretische Grundlagen

Tabelle 2: Geschwindigkeit und Schadensausmaß von gravitativen Prozessen (Quelle: BELL ET AL. 2010:13)

Geschwindigkeitsklasse	Beschreibung	Geschwindigkeit (mm/sec)	typische Geschwindigkeit	mögliches Schadensausmaß
7	extrem schnell			Katastrophencharakter; Zerstörung von Bauwerken; viele Tote; Fluchtmöglichkeit unwahrscheinlich
		5×10^3	5m/sec	
6	sehr schnell			Einige Tote; Geschwindigkeit zu groß, um allen Personen die Flucht zu ermöglichen
		5×10^1	3m/min	
5	schnell			Flucht und Evakuierung möglich; Struktur der Gebäude und Einrichtung zerstört
		5×10^1	1,8m/Stunde	
4	mäßig schnell			Unempfindliche Bauwerke können befristet erhalten werden
		5×10^3	13m/Monat	
3	langsam			Sicherungsmaßnahmen sind während der Bewegung durchführbar; unempfindliche Strukturen können mit häufigen Sanierungsarbeiten erhalten werden, falls die Gesamtbewegung während einer Beschleunigungsphase nicht zu groß wird
		5×10^5	1,6m/Jahr	
2	sehr langsam			Einige Bauwerke können den Bewegungen widerstehen
		5×10^7	16mm/Jahr	
1	extrem langsam			Bewegungen sind ohne Messgeräte nicht wahrnehmbar; Baumaßnahmen sind mit Auflagen möglich

Geschwindigkeiten der Klasse 1 und 2 können ohne den Einsatz von Messgeräten nicht wahrgenommen werden, da sie sich jährlich lediglich um ein paar Millimeter bzw. Meter bewegen. Geschwindigkeiten, die sich den höchsten beiden Klassen zuordnen lassen, ziehen hingegen schon einige Tote mit sich, es kommt zur Beschädigung von Gebäuden und die Möglichkeit rechtzeitig zu fliehen ist nahezu aussichtslos. (BELL ET AL. 2010:13)

Eine weitere Möglichkeit Prozessintensitäten einzuteilen, wird von GLADE ET STÖTTER empfohlen und wird in Tab.3 dargestellt. Hierbei wird zwischen der Intensität von Sturz- und Rutschprozessen unterschieden, ebenfalls berücksichtigt werden Muren. Für die Intensitätsmessung der Sturzprozesse wird das Ausmaß von kinetischer Energie herangezogen, Rutschungen hingegen werden durch die Geschwindigkeit der

Bewegung gemessen. Für die Messung von Muren wird die Ablagerungshöhe, ausgedrückt in Meter, verwendet. Es erfolgt zudem eine Unterteilung aller drei Phänomene nach geringer, mittlerer und starker Intensität. Darüber hinaus wird auch die mögliche Schadenswirkung in jeder Intensitätsklasse berücksichtigt. (GLADE ET STÖTTER 2007:157)

Tabelle 3: Darstellung von Intensität und zusammenhängenden Schadenswirkungen bei gravitativen Prozessen (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2010:157)

Intensität	Sturzprozesse (E)	Rutschung (V)	Mure (M)	potenzielle Schadenswirkung
gering	< 30 kJ	≤ 2 cm/Jahr	< 0,5 m	Fenster gehen ggf. zu Bruch, Bauwerke werden leicht beschädigt, Menschen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet
mittel	30-300 kJ	> 2 bis mehrere dm/Jahr	0,5-2 m	Bauwerke werden stark beschädigt, Menschen sind innerhalb und außerhalb von Gebäuden gefährdet
stark	> 300 kJ	> 0,1 m/Tag (flachgründige Rutschungen) > 1 m/Ereignis starke Differenzialbewegungen	> 2 m	Betonkonstruktionen werden extrem beschädigt oder zerstört, Menschen sind innerhalb und besonders außerhalb von Gebäuden stark gefährdet

Bei Prozessen mit geringer Intensität hält sich das Schadenausmaß noch relativ in Grenzen. Es kommt lediglich zu einer leichten Beschädigung von Gebäuden, bei mittlerer Intensität ist das Schadenausmaß schon höher und Menschen, die sich zum Unglückszeitpunkt in der Nähe von Häusern befinden, sind in Gefahr. Prozesse, die durch eine starke Intensität gekennzeichnet sind, weisen das höchste Gefährdungspotential auf. Derartigen Ereignissen können selbst Betonkonstruktionen nicht mehr standhalten und für Menschen, die sich zum Zeitpunkt des Ereignisses in Gebäuden befinden, besteht Lebensgefahr. Mithilfe dieses Klassifikationsschemas ist es möglich, gravitative Prozesse hinsichtlich ihrer Intensität direkt miteinander zu vergleichen. (GLADE ET STÖTTER 2007:157)

Aufgrund der unterschiedlichen Ausmaße und Geschwindigkeiten ist eine erfolgreiche Handhabung von gravitativen Massenbewegungen sehr schwierig und der Bearbeitungsprozess wird dadurch deutlich erschwert. (GLADE 2015:56)

Vor allem in den letzten Jahren wurde man sich immer mehr der Tatsache bewusst, dass auch der Mensch aktiv in den Bewegungsprozess von gravitativen Massenbewegungen eingreifen kann beziehungsweise dies auch tut. Der Mensch ist sogar in der Lage, die komplette Oberflächenstruktur zu verändern. Als Beispiel lassen sich hier Flurbereinigungen nennen, bei denen ganze Hänge in ihrem Aufbau aktiv umgestaltet werden. Zu erwähnen sind auch Terrassierungen, durch welche die Morphologie und die komplette Hanghydrologie massiv beeinflusst werden. Dies hat zur Folge, dass Hänge drainiert werden. Ein weiteres Problem ist, dass via Entwässerungen, beispielsweise bei Straßengräben, punktuell Wasser in den Hang eingeführt wird. Daraus resultiert eine Veränderung der Hanggeometrie des Weg- und Straßenbaus wodurch es zu einer Verformung der Hanghydrologie kommen kann. (GLADE 2015:56)

Generell zeigen diese Beispiele, dass der Eingriff des Menschen und dessen Entscheidungen wichtige Indikatoren in Bezug auf die Hangstabilität beziehungsweise Hanginstabilität sind. Oftmals ist der menschliche Einfluss direkt und bewusst, andererseits häufig auch indirekt und unbewusst. All diese Faktoren erschweren es, eine eindeutige Kenntnis über den Prozess von gravitativen Massenbewegungen zu erlangen und vor allem abzuschätzen, wann die nächste gravitative Massenbewegung mit welcher Größe und unter welchen Rahmenbedingungen eintritt. (GLADE 2015:56)

3.3. Gefahrenklassen

Ebenfalls interessant ist es, sich anzuschauen, welche Gefahrenarten in Österreich existieren und zu welcher Gefahrenklasse sich die gravitativen Massenbewegungen zuordnen lassen. In diesem Zusammenhang wird auf das Klassifikationsschema von RUDOLF-MIKLAU zurückgegriffen, welches durch Tab.4. grafisch dargestellt wird. Dabei sind jene Gefahren, die in Österreich auftreten können, fett hinterlegt.

Theoretische Grundlagen

Tabelle 4: Übersicht über die verschiedenen Gefahrenklassen (Quelle: RUDOLF-MIKLAU 2012:2)

Gefahrenklasse	Gefahrenart
Geologische Gefahren	Erdbeben, Vulkanausbruch, Bodenerosion, Rutschung, Erdfälle (Bodensenkung), Stein-, Block- und Eisschlag (Felssturz), Bergsturz, Hangmuren, Lahar (vulkanische Aschenmure)
Meteorologische Gefahren	Tropische Zyklone, Hurrikane, Tornado, Sandsturm, Blizzard (Schneesturm), Blitzschlag, Starkniederschlag, Hagel, Nebel, Dürre, Frost
Hydrologische Gefahren	Hochwasser (Überflutung), Sturzfluten (Wildbach), Feststofftransport (Schwebstoffe, Geschiebe, Schwemmholz), Mure, Gletscherseeausbruch
Schneegefahren	Lawine (Fließlawine, Staublawine), Eissturz (Eislawine), Gletschervorstoß, Schneedruck
Feuergefahren	Buschbrand, Waldbrand
Ozeanische Gefahren	Seesturm, Tsunami, Sturmflut
Biologische Gefahren	Seuchen, tierische und pflanzliche Massenvermehrung

Dabei geht hervor, dass ein Großteil der rein gravitativen Prozesse unter die geologischen Gefahren fällt. Lediglich Muren sind einer anderen Kategorie zugehörig, nämlich jener der hydrologischen Gefahren.

Darüber hinaus ist es interessant herauszufinden, welche Naturgefahren in Österreich vorkommen können beziehungsweise wie wahrscheinlich es ist, dass eine Naturgefahr zur ernsthaften Bedrohung wird. Um dies zu ermitteln, wurde das „Naturgefahren-Ranking“ von RUDOLF-MIKLAU verwendet. Dies soll mit Hilfe von Tab. 5 kurz veranschaulicht werden. Laut RUDOLF-MIKLAU ist das Bedrohungspotenzial über die verschiedenen Bundesländer relativ unterschiedlich verteilt. (RUDOLF-MIKLAU 2009:17). Da sich die Diplomarbeit ausschließlich mit gravitativen Massenbewegungen beschäftigt, werden hierbei nicht alle möglichen Naturgefahren, die in Österreich vorkommen beschrieben, sondern nur jene, die für die Diplomarbeit von Relevanz sind.

Theoretische Grundlagen

Tabelle 5: Naturgefahren Ranking von Österreich (Quelle: RUDOLF-MIKLAU 2009:17)

Rang	Naturgefahrenart	Personenrisiko	Schadensrisiko	Katastrophenpotenzial
1.	Hochwasser ⁴⁷	mittel	sehr hoch	sehr hoch
2.	Lawine	sehr hoch	mittel	hoch
3.	Sturm (Orkan)	mittel	hoch	sehr hoch
4.	Erdbeben	hoch	hoch	mittel
5.	Mure (Murgang)	hoch	mittel	mittel
6.	Rutschung	hoch	mittel	mittel
7.	Felssturz, Bergsturz	mittel	mittel	mittel
8.	Waldbrand	gering	mittel	mittel
9.	Starkregen, Hagel	gering	mittel	mittel
10.	Steinschlag	hoch	gering	gering
11.	Gewitter	hoch	gering	gering
12.	Schneedruck	mittel	gering	gering
13.	Trockenheit, Dürre	gering	mittel	gering
14.	Kälte, Frost	gering	gering	sehr gering

Muren beziehungsweise Murgänge, die Teil der gravitativen Massenbewegungen sind, finden sich im Ranking auf Platz 5. Das Personenrisiko ist in diesem Falle hoch, das Schadensrisiko mittel, ebenso das Katastrophenpotenzial. Dicht gefolgt, auf Platz 6 liegen Rutschungen, deren Personenrisiko ebenfalls hoch ist und deren Schadensrisiko und Katastrophenpotenzial als mittel einzustufen sind. Bei Fels- und Bergsturz-Phänomenen ist das Personenrisiko mittel, ebenso das Schadensrisiko und das Katastrophenpotential. Steinschläge, die sich im Ranking auf Platz 10 befinden, weisen zwar ein hohes Personenrisiko auf, das Schadensrisiko und Katastrophenpotenzial ist jedoch gering. Geht man nun von diesem Ranking aus, dann zeigt sich, dass Muren und Rutschungen am gefährlichsten sind, da deren Auswirkungen am verheerendsten sind. (RUDOLF-MIKLAU 2009:17)

Interessant ist es zudem zu eruieren, in welchen Gebieten Österreichs gravitative Phänomene besonders oft vorkommen. Dies hängt vor allem mit der Geologie der jeweiligen Region zusammen.

Die „Flyschzone“, sowie Regionen, die durch verwitterungsanfällige Schiefer- und Sedimentgesteine gekennzeichnet sind, sind für ein häufigeres Eintreten von Rutschprozessen bekannt. Große Sturzprozesse, wie Berg- oder Felsstürze kommen hingegen besonders oft im Zentralalpenraum, sowie in den Nördlichen Kalkalpen vor.

Diese Regionen zeichnen sich vor allem durch das Vorhandensein von festem Gestein aus. Steinschläge lassen sich nicht auf eine bestimmte Region festlegen, diese können überall auftreten. (RUDOLF-MIKLAU 2009:19)

Zur besseren Illustration, in welchen Regionen Österreichs bestimmte Phänomene der gravitativen Massenbewegungen vorkommen, soll hier eine Österreich-Karte (Abb.2) Aufschluss darüber geben. Die darin enthaltenen Daten und Berechnungen wurden von der GBA (Geologische Bundesanstalt) ermittelt und in digitale Karten mittels GIS übertragen.

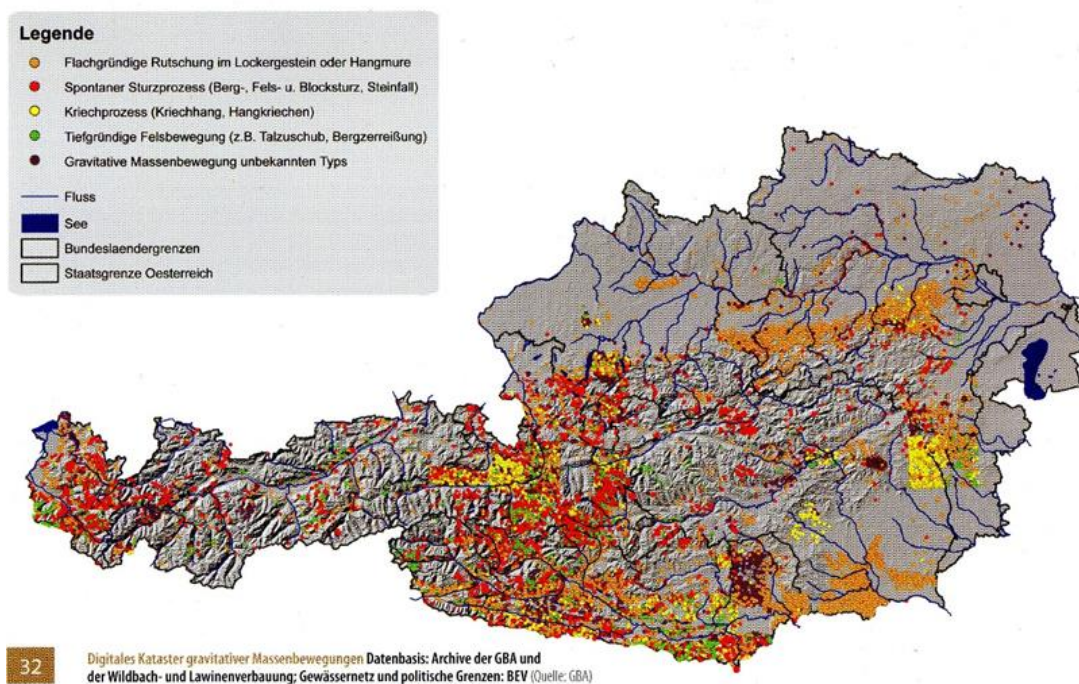


Abbildung 2: Übersicht über die räumliche Verteilung gravitativer Phänomene in Österreich (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:32)

Laut Karte ist ersichtlich, dass flachgründige Rutschungen im Lockergestein und Hangmuren hauptsächlich in Niederösterreich und der Südoststeiermark auftreten, spontane Sturzprozesse (Berg-, Fels-, Blocksturz und Steinfall) finden sich vor allem in Vorarlberg, Salzburg und Teilen Kärntens wieder. Kriechprozesse dominieren Teile der Steiermark, des Burgenlands, Tirols und Salzburgs, während tiefgründige Felsbewegungen (Talzuschub, Bergzerrei ßung) hauptsächlich in Salzburg und Südkärnten vorkommen. (HÜBL ET AL. 2009:32)

3.4. Weitere wichtige Begriffe

In diesem Unterpunkt sollen generelle Begriffe, die im engen Zusammenhang mit gravitativen Massenbewegungen stehen, geklärt werden. Da es sich bei gravitativen Prozessen um Naturereignisse beziehungsweise um Naturgefahren handelt, sollen diese zentralen Begriffe kurz erläutert werden. Darüber hinaus werden die Termini „Risiko“, „Naturkatastrophe“ und „Extremereignis“ besprochen. Da sich Naturereignisse und deren Folgen auch auf die Bevölkerung auswirken können, soll auch kurz der Begriff „Vulnerabilität“ thematisiert werden. Ebenso wird kurz beschrieben, was unter „Risikomanagement“ zu verstehen ist.

3.4.1. Naturereignis/Naturgefahr

Unter einem **Naturereignis** versteht man jeden natürlich abgrenzbaren Vorgang unabhängig von dessen Auswirkungen auf den Lebensraum des Menschen. (RUDOLF-MIKLAU 2009:2)

Zum Problem und zur ernsthaften Bedrohung wird ein Naturereignis erst dann, wenn dadurch potentielle Schäden entstehen können, dies wird dann als **Naturgefahr** bezeichnet. Naturgefahren stellen eine Gefährdung der eigenen Sicherheit dar und können zu einem Verlust von Umwelt-, Sach- oder Vermögenswerten führen. Gravitative Massenbewegungen können in den Alpen durchaus vorkommen, daher stellen auch diese eine Naturgefahr dar. (RUDOLF-MIKLAU 2009:3)

3.4.2. Risiko

Grundsätzlich lassen sich Gefahren nach der Häufigkeit ihres Auftretens einteilen. Darüber hinaus werden auch die zusammenhängende Intensität und Wirkung berücksichtigt. Der Eintrittszeitpunkt von gravitativen Prozessen ist sehr ungewiss und lässt sich nicht genau vorhersagen, daher sind sie auch als Risiko für die Gesellschaft zu interpretieren. Allgemein betrachtet bezeichnet **Risiko** die Tatsache, dass durch die Naturgefahr und dem damit verbundenen Ereignis ein Schaden hervorgerufen werden kann. (RUDOLF-MIKLAU 2009:3)

3.4.3. Naturkatastrophe

Eine Katastrophe hingegen bezeichnet den Fall, dass ein Ereignis sowohl räumlich, als auch zeitlich abgrenzbar ist. In anderen Worten ausgedrückt, ist eine **Naturkatastrophe** nun eine Situation, in welcher sich die natürlichen Gegebenheiten entscheidend verändern und es dadurch schlussendlich zu einer massiven Gefährdung der Bevölkerung, in Form von Todesopfern oder hohen materiellen Schäden kommt. Die Verletzlichkeit der Gesellschaft erreicht in diesem Fall ein so hohes Ausmaß, dass ein normales Leben nicht mehr möglich ist, da lebensnotwendige Grundfunktionen nicht mehr gewährleistet werden können. Im Gegensatz zum Naturereignis inkludiert der Begriff Katastrophe also auch die Auswirkungen auf den Lebensstandard der Bevölkerung. (RUDOLF-MIKLAU 2009:4)

3.4.4. Extremereignis

Ereignisse gelten als extrem, wenn deren Intensität besonders hoch oder niedrig ist. Extremereignisse wirken sich in einem stärkeren Ausmaß auf Mensch und Natur aus als „normale“ Naturereignisse. Extremereignisse sind unter anderem langanhaltende Dürreperioden, heftige Gewitter, starke Überflutungen oder lang andauernde Kältewellen. (ZAMG:2018). Im Zusammenhang mit gravitativen Massenbewegungen würde man wahrscheinlich am ehesten von einem Extremereignis sprechen, wenn deren potentiell Ausmaß und die dadurch verursachten Schäden für die Bevölkerung als besonders gravierend eingestuft werden.

Statistisch gesehen weisen Extremereignisse eine geringe Wiederkehrperiode auf. Es handelt sich daher also eher um singuläre Ereignisse. Um zu ermitteln, wie oft Extremereignisse zukünftig in Erscheinung treten, werden unter anderem Schwellenwerte festgelegt und auf Über-bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit untersucht. Des Weiteren werden Ereignisse hinsichtlich ihrer Intensitäten begutachtet. Es wird dabei darauf geachtet, ob eine Änderung der Magnituden ersichtlich ist. (ZAMG:2018)

3.4.5. Vulnerabilität

Vulnerabilität meint die Verletzlichkeit oder Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber einem Naturereignis. Darunter wird auch der potentielle Maximalverlust, bedingt durch das Ereignis, innerhalb eines bestimmten Zeitraums in einer bestimmten Region verstanden. (ANDRECS ET AL. 2010:165)

3.5. Risikomanagement

Für die Überwachung von gravitativen Prozessen, bedarf es einer gezielten Analyse und Berücksichtigung der möglichen Eintrittswahrscheinlichkeit. Dies lässt sich unter anderem durch ein gut strukturiertes Risikomanagement durchführen. Oberste Priorität hat dabei die Minderung und Steuerung von potentiellen Risiken. Für eine erfolgreiche Umsetzung bedarf es ein gemeinsames Agieren aller Entscheidungsträger. Zudem ist es unabdinglich, ein kollektives Konzept zu erstellen, mit dem Ziel, die Steuerung des Risikos zu erleichtern. Mögliche Ansätze wären beispielsweise die Erstellung von politischen Grenzwerten, die Berücksichtigung von ökonomischen Aspekten oder die Schaffung von klaren Regeln im Haftungsfall. Allgemein gesehen involviert das Risikomanagement den ganzen potentiellen Handlungsspielraum. Dies bedeutet, dass nicht eine singuläre Maßnahme wie die Erbauung eines Schutzsystems für die Abwehr von Gefahren herangezogen wird, sondern ein System aus Gefahrenprozessen als Ganzes. Risikomanagement involviert daher bereits vorhandene Überlegungen und Ansätze für die Abwehr von Gefahren, ersetzt sie aber nicht unbedingt. Der Terminus Risiko ist dabei als anthropozentrisch zu interpretieren. Werden Risikokategorien verwendet, wird ein gewisses Mindestmaß an Zukunftsgestaltung erwartet mit dem Ziel, durch gezielte Vorsorgemaßnahmen Naturereignissen und deren oftmals fatalen Auswirkungen entgegenzuwirken. Da negative Auswirkungen auf die Gesellschaft nicht erwünscht sind, ist der Umgang mit dem Risiko in ein normatives Konzept integriert und hat somit auch eine rechtliche Komponente. (GREIVING 2010:203)

4. Gravitative Massenbewegungen und deren Entstehung, Ursachen und Auswirkungen

Dieses Kapitel dient der allgemeinen Beschreibung gravitativer Massenbewegungen. Der Fokus richtet sich dabei auf die Herausarbeitung der vorbereitenden Faktoren, sowie der Beschreibung der Prozesse, durch welche ein gravitatives Phänomen in Gang gesetzt werden kann. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Analyse der kontrollierenden Faktoren. Ebenso soll repräsentiert werden, inwiefern der Mensch gravitative Massenbewegungen beeinflusst und hervorruft. Darüber hinaus soll kurz erwähnt werden, wie sich gravitative Prozesse auf die Bevölkerung auswirken. Dabei werden direkte und indirekte Auswirkungen angeführt.

4.1. Ursachen

In den folgenden Unterkapiteln werden potentielle Ursachen für die Auslösung eines gravitativen Prozesses repräsentiert. Kommt es schließlich zu einer gravitativen Massenbewegung, dann spielen dabei meistens mehrere Faktoren eine entscheidende Rolle. Für die Ingangsetzung eines gravitativen Phänomens bedingt es einigen Grundvoraussetzungen. Zu diesen zählen unter anderem geologische Faktoren, die Hangneigung oder die Art der Landnutzung. Des Weiteren gibt es auslösende Faktoren, die ebenso eine wichtige Rolle spielen. Der Prozess selbst wird meist durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren initiiert. (DIKAU ET GLADE 2002:39) Zum besseren Verständnis werden in Tab.6 sämtliche relevante Faktoren bildlich dargestellt.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, teilen DIKAU ET GLADE die Faktoren in drei Gruppen auf. Dabei werden vorbereitende, auslösende bzw. bewegungskontrollierende Faktoren voneinander unterschieden. Die potentiellen Ursachen für die gerade erwähnten Faktoren sind sehr vielfältig. Diese umfassen beispielsweise geologische und klimatische Ursachen, aber auch der Boden oder die Vegetation können eine zentrale Rolle spielen. Darüber hinaus können die Ursachen auch einen hydrologischen, topographischen oder anthropogenen Ursprung haben. (DIKAU ET GLADE :2002:39)

Ursachen/Entstehung von gravitativen Prozessen

Tabelle 6: Ursachen/Faktoren von gravitativen Prozessen (Quelle: DIKAU ET GLADE 2002:39)

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 Material- eigenschaften 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 Staudambau 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

4.1.1. Hangneigung und Schwerkraftwirkung

Grundsätzlich stehen alle Kräfte, die auf den Hang einwirken im engen Zusammenhang mit der Hangneigung. Die Neigung des Hanges beeinflusst daher die Gravitationswirkung auf die Materialbewegung. In anderen Worten bedeutet dies, dass sämtliche Kräfte der Erde jener der Schwerkraft unterstellt sind. Diese wird hier als „g“

bezeichnet. (AHNERT 2015:90). Die Gravitation an sich ist jene Kraft, die uns im Alltag am häufigsten begegnet und die wir auch am leichtesten registrieren können. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass sie als einzige Wechselwirkung als Anziehungskraft zwischen den Objekten fungiert, gleichzeitig aber niemals abstoßende Kräfte zwischen ihnen erzeugt. (RESAG 2010:211).

Darüber hinaus wird zwischen der Schubkraft (τ), welche auch als Schubspannung bezeichnet wird und der Druckspannung (σ), die im rechten Winkel zur Fläche steht, unterschieden. (AHNERT 2015:90). In Abb. 3 wird dies mithilfe eines Vektorparallelprogramms grafisch veranschaulicht.

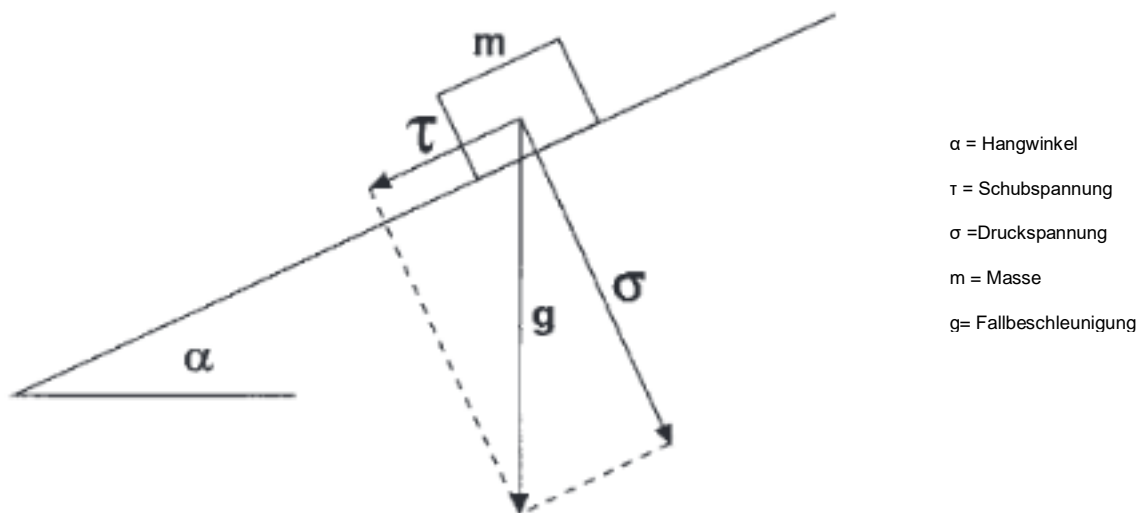


Abbildung 3: Darstellung der Schwerkraftbeschleunigung eines Hanges (Quelle: AHNERT 2015:90)

Des Weiteren unterliegt der Gravitation jene Kraft, die hangabwärts gerichtet ist. Diese wird unter anderem auch als treibende Kraft, welche parallel zur Hangneigung verläuft, bezeichnet. Unmittelbar gegenüber dieser Kraft steht die Rückhaltekraft, welche sich rechtwinklig zur hangabwärts gerichteten Kraft befindet. Durch dieses Kräfteverhältnis wird die Masse zusammengehalten. Es existieren also auf der einen Seite Kräfte, die eine stabilisierende Wirkung haben, auf der anderen Seite wirken die treibenden Kräfte jedoch destabilisierend. Den Quotienten dieses Verhältnisses kann man als sogenannten „Sicherheitsfaktor“ interpretieren. Er dient dazu, zu erkennen, ab welchem Punkt ein Hang instabil wird und ab welchem Wert gravitative Prozesse ausgelöst werden könnten. (HAMMOND ET AL.:1992:7)

Grundsätzlich gelten folgende Werte:

>1: Der Hang ist stabil, es droht keine Gefahr. Die Rückhaltekraft ist höher.

<1: Der Hang wird instabil, es droht die Gefahr, dass ein gravitativer Prozess ausgelöst wird. Die hangabwärts gerichtete Kraft ist stärker

=1: ausgeglichenes Kräfteverhältnis. Ausgeglichene Balance zwischen Scherkraft und Scherwiderstand (KRAUTER 2003:1)

Dies bedeutet, wenn sich der Hangneigungswinkel erhöht, dann kommt es gleichzeitig auch zu einem Anstieg des Drucks auf den Hang. Welche Geschwindigkeit die Massenbewegung schließlich erreicht, ist von mehreren Parametern abhängig, einerseits von der Höhe, bedingt durch die Fallbeschleunigung und andererseits von der Masse. (KRAUTER: 2003:8)

Hanginstabilitäten stehen auch im sehr engen Zusammenhang mit der Exposition eines Hanges. Je nachdem, in welcher Richtung sich das Hanggefälle befindet, können unterschiedliche Strahlungswerte auftreten. So ist bekannt, dass steile Hänge, die südlich ausgerichtet sind, vor allem im oberen Hangabschnitt durch längere Sonnenphasen gekennzeichnet sind. Dies führt, verstärkt durch die relativ hochliegende Schneegrenze, zu einer höheren Anzahl an Frostwechseltagen als an Hängen mit geringerer Sonneneinstrahlung. Dies bedeutet, dass auf südexponierten Hängen die Gefahr von gravitativen Massenbewegungen höher ist. (AHNERT 2015:66)

4.1.2. Bodenmechanische Parameter

In diesem Zusammenhang spielen die Kohäsion und der Scherwinkel eine entscheidende Rolle. Diese beiden Parameter stellen die Grundlage für die Berechnung der Scherfestigkeit eines Bodens dar. (KRÄTTLI ET SCHWARZ 2015:9)

Ebenfalls zu erwähnen ist hier der effektive Scherwinkel (Φ'), auch innerer Reibungswinkel genannt. Dies ist jener Winkel, der eine Belastung von Körpern zulässt und gleichzeitig keine Gefahr besteht, dass diese dabei abrutschen oder versagen (KRÄTTLI ET SCHWARZ 2015:9)

Die Kohäsion selbst ist jene Kraft, durch welche bindige Böden zusammengehalten werden. Generell tritt sie nur bei Böden in Erscheinung, die durch das Vorhandensein von kleinen Körnern gekennzeichnet sind. (KRÄTTLI ET SCHWARZ 2015:10)

KRÄTTLI ET SCHWARZ fügen zudem an, dass ein Teil der Kohäsion variabel ist. Dieser Anteil wird dann „scheinbare Kohäsion“ genannt. Die Ausprägung der Kohäsion hängt zudem mit sehr vielen Parametern zusammen. Zu diesen zählen unter anderem die chemische Zusammensetzung der Tonmineralien im Boden, die chemische Basis der Wasserlösung oder biologische Faktoren wie z.B. das Vorhandensein von Wurzeln oder Pilzen. Der wichtigste aller Einflussparameter ist jedoch der vorhandene Wasseranteil im Boden. Denn kommt es zu einer Steigerung des Wassergehalts, dann führt dies auch zu einer Zunahme des Gesamtgewichts des Bodens. Daraus resultiert eine vollständige Sättigung der Poren. Infolgedessen kommt es zu einer Abnahme der scheinbaren Kohäsion im Boden bis zu einem Residualwert, bei dem eine Sättigung des Bodens erreicht wird. Es kommt zur Aufstauung von Wasser an der Scherfläche der Rutschung, woraufhin sich Porenwasserdruck bildet. Das Ausmaß des Porenwasserdrucks ist von der Niederschlagsintensität abhängig. Lange, starke Regenphasen erhöhen diesen deutlich. (KRÄTTLI ET SCHWARZ 2015:10 ff.)

Speziell bei sehr großen Wassermassen können die einzelnen Körner nicht mehr zusammengehalten werden, woraufhin keine Bindung mehr möglich ist. Man spricht dann von einem Prozess, in welchem eine Grenzscherspannung des Materials vorliegt, ohne dass dabei jedoch die Druckspannung berücksichtigt wird. (AHNERT: 2015:92)

4.1.3. Geologische Ursachen

Geologische Aspekte wie Diskontinuitäten oder Trennflächen spielen vor allem im Zusammenhang mit Rutschungen eine entscheidende Rolle. Die wichtigsten vorbereitenden Faktoren sind hierbei Schicht- bzw. Schieferungsflächen und Diskontinuitäten. Ebenfalls zu erwähnen sind durch Verwitterung gekennzeichnete Horizonte bzw. sonstige geologische Grenzflächen. Sämtliche Faktoren können auch als Gleitbahnen oder Abrissflächen in Erscheinung treten. (PRINZ ET STRAUSS: 2011:366)

Darüber hinaus ist es möglich, dass sich die Geometrie eines Hanges aufgrund von natürlichen Vorgängen stets verändern kann. Verantwortlich dafür sind oftmals natürliche Verwitterungsprozesse, zu welchen beispielsweise Erosionen am Hangfuß durch einen Fluss gehören. Viel problematischer sind hingegen absichtlich herbeigeführte Eingriffe des Menschen in die natürliche Hanggeometrie deren Auswirkungen fatal sein können. Wird beispielsweise eine bewusste Versteilung eines Hanges durchgeführt, dann muss damit gerechnet werden, dass sich dies negativ auf das Kräftegleichgewicht des Hanges auswirkt. Infolgedessen wird der Hang instabiler, die Standsicherheit nimmt ab. (WITT: 2008:753 f.)

Vulkanische bzw. seismische Prozesse sind ebenfalls oftmals für die Auslösung von gravitativen Prozessen verantwortlich. Auch hydrologische Faktoren spielen in vielen Fällen eine wichtige Rolle. (DIKAU ET GLADE: 2002:39)

Erdbeben sind wohl physikalisch gesehen einer der häufigsten Gründe für die Auslösung von gravitativen Prozessen. Sie fungieren als Trigger und stellen ein großes Risiko für vorhandene geologische Grunddispositionen dar. (HIGHLAND ET BOBROWSKY 2008:64) Durch ein Erdbeben werden die vorherrschenden geologischen Faktoren zusätzlich belastet, was zur Folge hat, dass diese zum Kollabieren gebracht werden können und gravitative Massenbewegungen verursachen. Durch einen Vulkanausbruch besteht die Gefahr, dass durch die nachwirkende Abschmelzung Massenbewegungen begünstigt werden. Doch nicht nur die Nachwirkungseffekte von vulkanischen Aktivitäten sind gefährlich, der Ausbruch eines Vulkanes selbst löst oftmals gravitative Prozesse, wie beispielsweise Muren, aus. (HIGHLAND ET BOBROWSKY: 2008:18)

4.1.4. Destabilisierende Faktoren

Neben den bereits beschriebenen Faktoren gibt es noch weitere Parameter, die zu einer Instabilität des Hanges führen können. Wie bereits erwähnt, verliert ein Hang seine Stabilität, wenn die treibende Kraft stärker ist als die rückhaltende Kraft, wodurch gravitative Prozesse initiiert werden. Noch interessanter ist es nun herauszufinden, welche Faktoren auf dieses Kräfteverhältnis einwirken. Laut BOLLINGER ET AL., spielen hierbei sowohl physikalische, als auch chemische Faktoren eine wichtige Rolle. Diese

Faktoren sind wiederum abhängig von sehr vielen anderen Parametern. (BOLLINGER ET AL.: 2000:18) Es zeigt sich also recht deutlich, dass zwischen allen Faktoren ein sehr enges Ursache-Wirkungsverhältnis besteht und einige Prozesse durch andere Faktoren verstärkt werden.

Zum besseren Verständnis werden hierbei jene Faktoren, die die Stabilität von Hängen gefährden noch detaillierter beschrieben. Wie bereits bekannt, lassen sich die Faktoren allgemein in vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende Prozesse unterscheiden. Darüber hinaus kommen nun zusätzliche Parameter hinzu, die von außen auf die jeweiligen Prozesse einwirken und diese verstärken. Zu diesen Parametern zählen unter anderem Verwitterungserscheinungen, Vegetationsveränderungen oder Änderungen der Hanggeometrie. All diese Faktoren tragen zusätzlich zu einer höheren Destabilisierung der Hänge bei. Ein gravitativer Prozess selbst benötigt auf jeden Fall immer ein auslösendes Ereignis, wie zum Beispiel langanhaltende Starkniederschläge, Erdbeben oder extreme Temperaturänderungen. Auf welche Art und Weise dieser gravitative Prozess nun abläuft, wird durch die bewegungskontrollierenden Faktoren bestimmt. Beispiele hierfür wären in etwa die vorherrschende Gerinnerauigkeit und Vegetation. (GLADE ET DIKAU 2001:42 ff.)

Die von außen einwirkenden verstärkenden Prozesse bzw. Kräfte, die eine zusätzliche Hangdestabilisierung begünstigen, lassen sich zudem in endogene, exogene und anthropogene Faktoren untergliedern.

- 1.) **Interne/Endogene Kräfte:** Darunter sind jene Kräfte zu verstehen, deren Wirkung von innen aus geht. Dazu zählen beispielsweise die Schwerkraft oder tektonische Prozesse.
- 2.) **Externe/Exogene Kräfte:** Das sind jene Kräfte, die die Erdoberfläche von außen kontrollieren und auf diese einwirken. Dazu zählen unter anderem Verwitterungsprozesse oder Niederschläge.
- 3.) **Menschliche Einflüsse:** Darunter sind bewusste, anthropogene Veränderungen zu verstehen. (z.B. Verteilung von Hängen, Entwaldung)

Ursachen/Entstehung von gravitativen Prozessen

Die Folgen dieser zusätzlichen Einflussfaktoren sind verheerend. Es kann der Fall eintreten, dass die Materialfestigkeit abnimmt, gleichzeitig aber die Scherspannung zunimmt, wodurch gravitative Massenbewegungen hervorgerufen werden. Die Ursachen, die die Festigkeit des Materials beeinflussen und zu einer Erhöhung der Scherspannung führen, lassen sich in vier Gruppen unterteilen. Nachfolgende Tabelle (Tab.7) veranschaulicht die wichtigsten Einflussfaktoren. Da bei einigen Ursachen mehrere Indikatoren aktivierend wirken können, ist eine zusätzliche Unterteilung von auslösenden und vorbereitenden Faktoren notwendig. (Popescu: 1994:71 f.)

Tabelle 7: Vorbereitende Parameter (nach POPESCU:1994), auslösende Parameter (nach DIKAU ET AL.:2001) (Quelle: CEVIK 2008:15)

Vorbereitende Faktoren			
Endogene Faktoren		Exogene Faktoren	
Geologische Verhältnisse	Morphologische Ursachen	Anthropogene Ursachen	Physikalische Ursachen
<ul style="list-style-type: none"> • Gesteinsfestigkeit • Drucklässigkeitskontrast • Kompetenzunterschiede • Geklüftetes oder gestörtes Gestein • Orientierung von Trennflächen • Veränderlich festes Gestein 	<ul style="list-style-type: none"> • Hangneigung • Hangform • Exposition • Größe des Wassereinzugsgebietes • Erosion • Abstand zur Erosionsbasis • Auflast 	<ul style="list-style-type: none"> • Künstliche Anschnitte • Defekte Drainagen und Versorgungsleitungen • Abflussbehinderung • Dynamische Belastung • Entwaldung • Bergbau 	<ul style="list-style-type: none"> • Niederschläge • Hangwasserspiegelschwankungen • Schrumpfung und Quellung • Verwitterung • Schneeschmelze • Tauchen von Permafrost • Erdbeben
Auslösende Faktoren			
<ul style="list-style-type: none"> • Niederschlag (Intensität und Menge) • Schnelle Schneeschmelze • Hanganschnitte (kann auch vorbereitend sein) • Hangunterschneidung (kann auch vorbereitend sein) • Erdbeben • Vulkanausbrüche • Auflast • Schnelle Wasserspiegelschwankungen 			

Der auslösende Prozess ist nur von sehr kurzer Dauer. Jener Faktor, der den entscheidenden Einfluss für die Ingangsetzung eines gravitativen Prozesses ausübt, wird als auslösender Moment bezeichnet. In anderen Worten ist damit gemeint, dass bereits im Vorhinein schon ein gewisses Risiko besteht, dass Prozesse initiiert werden könnten und der auslösende Moment nur den genauen Zeitpunkt des gravitativen Phänomens bestimmt. Dies bedeutet wiederum, dass die auslösenden Komponenten

den Bewegungsprozess starten. Darüber hinaus werden Auslösemechanismen durch extreme Wetterereignisse begünstigt und beschleunigt. Zu diesen zählen unter anderem Starkniederschläge, das rapide Schmelzen von Schnee, Änderungen des Porendrucks oder Veränderungen der Frostzyklen. Auch der Mensch beschleunigt Prozesse durch bewusste Aushöhlungen oder Auflastungen. Seismische Aktivitäten wie Erdbeben fungieren ebenfalls als Prozessbeschleuniger. Grundsätzlich kann man sagen, dass gravitative Massenbewegungen dann entstehen, wenn die Belastung des Systems bei gegebener Disposition derartig hoch ist, dass die Schwellenwerte von einem oder mehreren Indikatoren überschritten werden. (SCHNEIDER: 1999:2)

4.1.5. Anthropogene Faktoren

Gravitative Massenbewegungen wirken sich einerseits auf verheerende Art und Weise auf die Bevölkerung aus, andererseits sind es häufig die Menschen selbst, die gravitative Prozesse verursachen. In vielen Fällen erfolgt dies durch bewusste Eingriffe in die natürliche Hangstabilität. Durch den Bau von Infrastrukturen und Wegen oder durch die Errichtung von Terrassierungen, die agrarisch genutzt werden, wird das natürliche Gleichgewicht der Hänge geschwächt, woraufhin sich diese immer mehr destabilisieren. Weitere Probleme stellen unter anderem die Zersiedelung vieler Orte, die Erschließung von Steinbrüchen oder die Schaffung von künstlichen Hängen dar. Vielerorts kommt es auch zur Abholzung von Wäldern wodurch die Instabilität von Hängen begünstigt wird. (GLADE ET. DIKAU 2001:47)

GLADE ET DIKAU betonen, dass die Anzahl an Naturkatastrophen, verursacht durch gravitative Prozesse, in den letzten Jahren gestiegen ist. (GLADE ET DIKAU 2001:48). Dafür verantwortlich sind oft demographische Entwicklungen wie die globale Bevölkerungszunahme oder die Niederlassung von Menschen in dicht besiedelten Gebieten. Des Weiteren werden die heutige Technologie und Gesellschaft immer verletzungsanfälliger, teilweise auch durch die Errichtung von Gebäuden in stark gefährdeten Gebieten. Jene Regionen, die besonders von Naturkatastrophen betroffen sind, zählen in vielen Fällen zu den ärmsten der Welt und besitzen keine ausreichenden Schutzmechanismen. Anthropogene massive Eingriffe in natürliche Hangstabilitäten entwickeln sich ebenso zu einem immer größer werdenden Problem. Die genannten Probleme wirken sich insbesondere auf die Schadensintensität aus und

führen gesamt betrachtet auch zu einer Erhöhung der volkswirtschaftlichen Schäden allgemein. (GLADE ET DIKAU 2001:48ff.)

4.1.6. Der Einfluss des Klimawandels

Selbstverständlich darf bei den Ursachen nicht auf die Auswirkungen des Klimawandels vergessen werden. Diese sind oftmals ein wichtiger Indikator für die Initiierung von gravitativen Massenbewegungen. Zusätzlich beeinflusst das Klima auch die Reliefsphäre. Dabei merken GLADE ET AL. jedoch an, dass eine klare Trennung von anthropogenen Einflüssen und klimatischen Folgewirkungen auf die Reliefsphäre schwierig ist. (GLADE ET AL. 2014:558).

Darüber hinaus ist bekannt, dass jedes gravitative Phänomen unterschiedlich auf die Folgen des Klimawandels reagiert. So wird vermutet, dass vor allem spontane Rutschprozesse aufgrund intensiver Starkniederschlagsereignisse in Zukunft häufiger auftreten werden, die Ereignishäufigkeit von langsamen Kriechprozessen aufgrund längerer Trockenphasen und geringerer Wasserzufuhr durch Schneeschmelze jedoch abnehmen wird. Darüber hinaus gehen GLADE ET AL. davon aus, dass sich die Anzahl von gravitativen Sturzphänomenen, die sich über der Permafrostgrenze ereignen, erhöhen wird. (GLADE ET AL. 2014:559)

Erwiesen ist auch, dass sich durch den Klimawandel viele meteorologische Faktoren ändern. So wird in Zukunft mit einer deutlichen Temperaturzunahme gerechnet, Starkniederschläge werden zunehmen und auch Veränderungen der Einstrahlung und Verdunstung werden prognostiziert. Kommt es nun zu einem Anstieg oder einem Rückgang von einem dieser Parameter, so wirkt sich dies auch auf die Ereignishäufigkeit von geomorphologischen Prozessen aus. (GLADE ET AL. 2014:561)

In diesem Zusammenhang ist es nun besonders interessant, sich anzusehen, ob sich die Anzahl von Extremereignissen, bedingt durch den Klimawandel, verändert hat. Dies ist nicht eindeutig zu beantworten, jedoch ist bekannt, dass die Anzahl von Naturereignissen mit großer Schadensauswirkung seit den 1950er Jahren zurückgeht (GLADE ET AL. 2014:563). Laut GLADE ET AL. ist derzeit kein eindeutiger Trend nachweisbar, der ein häufigeres Auftreten von Extremereignissen vorhersagt. Mögliche Gründe dafür sind die Installation von technischen Schutzsystemen in

hydrologischen Einzugsgebieten oder Veränderungen der alpinen Vegetationsgrenze und Artenvielfalt, welche auch von den Veränderungen des Klimas betroffen sind. Als weiterer Grund wird die Änderung der Struktur der Landnutzung in höheren Lagen genannt. (GLADE ET AL. 2014:563)

4.1.7. Auswirkungen auf den Menschen

Da durch gravitative Massenbewegungen durchaus viele Schäden für die Natur, aber vor allem für die Bevölkerung entstehen können, ist es durchaus interessant, die Auswirkungen von gravitativen Prozessen zu repräsentieren. Im Allgemeinen lassen sich diese in direkte und indirekte Auswirkungen unterteilen. Direkte Auswirkungen sind dabei jene, die sich unmittelbar auf die bewegte Masse auswirken. Darunter fallen Todesfälle, Verletzte, massive Beschädigungen von Wohnhäusern und Straßen oder der Verlust von Landnutzungsflächen, die durch das Naturereignis unbrauchbar geworden sind. (GLADE ET DIKAU 2001:43) Will man die indirekten Auswirkungen analysieren, muss zwischen den direkten Folgewirkungen und den regionalen Effekten zum Ereigniszeitpunkt differenziert werden. Regionale Effekte gehen aus der Unterbrechung von kritischen Infrastrukturen, wie Straßen oder wichtigen Wasser- und Energieversorgungsquellen hervor. Unter Folgewirkungen werden Maßnahmen wie ärztliche Behandlungen von traumatisierten Betroffenen, notwendige Änderungen der wirtschaftlichen Bedingungen der betroffenen Region oder die Unumgänglichkeit einer Nutzungsveränderung verstanden. (GLADE ET DIKAU 2001:43). GLADE ET DIKAU erwähnen in diesem Zusammenhang auch regionale Folgewirkungen. Diese treten beispielsweise ein, wenn es zur Blockierung eines Tals aufgrund eines Bergsturzes kommt und sich gleichzeitig ein Bergsturzsee bildet. Ein Bergsturzsee ist nun mit dem Risiko verbunden, dass sich dieser im Falle eines Durchbruches schnell entleeren würde und dadurch massive Überflutungen hervorrufen könnte, die erhebliche Schäden im Unterlauf verursachen könnten. Als ein weiteres Beispiel lassen sich Rutschprozesse nennen, die dazu führen, dass viele Landnutzungsflächen nicht mehr genutzt werden können, was sich wiederum fatal auf die ganze Region auswirkt. Generell zeigen diese Szenarien, dass erst der anthropogene Einfluss in exponierten Regionen dazu führt, dass Naturereignisse sich zu verheerenden Naturrisiken und Naturkatastrophen entwickeln. (GLADE ET DIKAU 2001:43)

5. Gravitative Massenbewegungen im Alpenraum

Während im vorherigen Kapitel eher eine überblicksmäßige, allgemeine Beschreibung der Ursachen von gravitativen Prozessen stattfand, erfolgt in diesem Kapitel eine genauere Beschreibung jener gravitativen Phänomene, die speziell im österreichischen Alpenraum eine zentrale Rolle spielen. Dabei wird im Allgemeinen zwischen Sturz- und Rutschprozessen unterschieden. Hierbei ist es von großer Relevanz die vorbereitenden und kontrollierenden Prozesse möglichst detailliert zu beschreiben und auch mögliche Auswirkungen zu repräsentieren. Darüber hinaus werden in den Unterkapiteln Rutschungen und Muren die verschiedenen Arten veranschaulicht und erläutert.

Bei Sturzprozessen lassen sich folgende Phänomene voneinander unterscheiden:

- Stein- und Blockschlag
- Fels- und Bergsturz

Ab wann man von welchem Phänomen spricht, ist abhängig von der Gesamtmenge in m³. (HELM ET AL. 2016:337) HELM ET AL. schlagen für die Klassifikation von Sturzprozessen folgende Werte vor, die nun in Tab. 8 veranschaulicht werden.

Tabelle 8: Unterteilung von Sturzprozessen (Quelle: HELM ET AL. 2016:337)

Sturzprozess	Gesamtmenge in m³
Steinschlag	bis zu 100 m ³ (einzelne Steine Ø < 0,5 m)
Blockschlag	bis zu 100 m ³ (einzelne Blöcke Ø > 0,5 m)
Felssturz	100 m ³ -999.999 m ³
Bergsturz	ab 1 Mio. m ³

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, weisen Fels- und Bergstürze ein deutlich höheres Gesamtvolumen an Gestein auf als Stein- oder Blockschläge. Geht man von der Gesamtmenge in m³ aus, lässt sich vermuten, dass Fels- und Bergstürze auch mit einem höheren Schadenspotential verbunden sind. Da sich die Diplomarbeit

vorwiegend Prozessen mit größeren Intensitäten bzw. Magnituden widmet, wird auf die Sturzprozesse Stein- und Blockschlag nicht weiter eingegangen.

5.1. Felssturz

Orientiert man sich nun an der Klassifikation von HELM ET AL., dann handelt es sich bei Felsstürzen also um Prozesse, deren Gesamtmenge gemessen in m³ zwischen 100 m³ und 1 Mio. m³ liegt. Dies ist ein sehr großer Bereich, worauf man schließen kann, dass sich nicht jeder Felssturz im selben Ausmaße auf die Natur und Bevölkerung auswirkt. Interessant ist nun herauszufinden durch welche Faktoren Felsstürze initiiert werden.

Felsstürze sind oftmals die Folge von besonders starken Niederschlägen. Als vorbereitender Faktor fungieren in vielen Fällen hydrometeorologische Prozesse. Dazu zählen beispielsweise lange Niederschlagsperioden, wodurch es zu einer Ausfüllung der offenen Gesteinsklüfte kommt. Daraufhin kommt es zu einer Erhöhung des Porenwasserdrucks. Eine Steigerung des Porenwasserdrucks hängt auch oft mit dem Abschmelzen von Schneemassen im Frühjahr zusammen. (GLADE ET AL. 2017:115). Einerseits ist bekannt, dass vorbereitende Prozesse dieser Art sind nicht unbedingt für die Initiierung eines gravitativen Prozesses verantwortlich sind, andererseits tragen sie aber zu einem steigenden Stabilitätsverlust bei. (GLADE ET AL. 2017:116) Nachfolgend werden die wichtigsten Faktoren, die einen Felssturz in Gang setzen und beeinflussen können, detailliert beschrieben.

5.1.1. Permafrost

Der Einfluss des Permafrostes gilt wohl als eine der häufigsten Ursachen für die Auslösung eines Felssturzes. Permafrost dient der Stabilisierung von alpinen Felswänden. Durch die Klimaerwärmung kommt es zu einer Lockerung von Felsformationen, die mit der Zeit immer labiler werden und abstürzen zu drohen. (GLADE ET AL. 2017:116)

Speziell in den letzten Jahren war ein deutlicher Temperaturanstieg im Permafrost zu verzeichnen. Daraufhin kam es in der auftauenden Schicht zu außergewöhnlichen

Mächtigkeiten, wodurch überdurchschnittlich viele Felsstürze verursacht wurden. Auch in Österreich entwickelt sich der Permafrost zu einem immer größer werdenden Problem. Dies bestätigen auch mehrere Beispiele aus der jüngeren Vergangenheit. Wäre in etwa der Bereich rund um den Gipfel des Sonnblicks nicht dementsprechend restauriert worden, dann hätte es zur Katastrophe kommen können, da in diesem Bereich ein rasantes Abschmelzen des Permafrosts zu verzeichnen war. Die abstürzenden Felsmassen hätten ins Tal stürzen können und wären eine ernsthafte Gefahr für die Bevölkerung gewesen. Schmelzender Permafrost war auch der Grund dafür, weshalb im Sommer 2006 eine Stützmauer, welche sich auf der „Schwarzen Schneid“ im Skigebiet von Sölden befunden hat, abgestürzt ist. Die Ereignisse an sich haben mitunter auch dazu geführt, dass das mediale Echo rund um den Permafrost und dessen Auswirkungen gestiegen ist und vermehrt Berichterstattungen darüber verfasst worden sind. (KRAINER 2007:2). Da Permafrost in Bezug auf Felssturzaktivitäten eine der wichtigsten Rollen einnimmt, soll hier kurz erklärt werden was eigentlich darunter zu verstehen ist.

Permafrost ist nichts anderes als ein gefrorener Untergrund, welcher stets Temperaturen unter 0 Grad Celsius aufweist. In anderen Worten lässt sich Permafrost als ein ausschließlich thermisches Phänomen bezeichnen, da nur die im Untergrund gemessene Temperatur ausschlaggebend ist. Der Eisgehalt spielt hingegen keine wichtige Rolle. Im alpinen Raum wird Permafrost häufig auch „alpiner Permafrost“ oder „Gebirgspermafrost“ genannt. (BOMMER ET AL. 2009:17)

Kommt es nun zu einer Destabilisierung von Felsmassen, die sich anschließend in Bewegung setzen, dann können diese auch durch den Stabilitätsfaktor Permafrost nicht mehr aufgehalten werden. Darüber hinaus kommt es oft zur Neubildung von Kluftsystemen, in welche nun ungehindert Wasser eindringen kann. Durch dieses Zusammenspiel werden die Bewegungsprozesse noch weiter beschleunigt was im schlimmsten Fall zu einem Felssturz führen kann. (KENNER ET PHILIPPS 2017:20)

5.1.2. Strukturelle Prädisposition

Felsstürze hängen auch eng mit der strukturellen Prädisposition zusammen. Die Art und Weise der Bruchlinien und des Versagens sind also praktisch schon vorgegeben.

Beeinflussende Parameter sind in diesem Zusammenhang die vorliegende Art des Gesteins, die Ausrichtung der Klüftung, sowie vorhandene Störungszonen und Verwerfungen. Wie nun speziell der Verlauf des Bruches aussieht, ist von der Richtung der belastenden Kräfte, sowie von der zugrundeliegenden Mikrostruktur des Gesteins abhängig. Der Bewegungsprozess an sich, der vor dem eigentlichen Felssturz stattfindet, ist vom relativen Verhältnis der Ausrichtung zwischen Bruchverlauf zur Gravitationskraft abhängig. Der Felssturz kann sich schließlich in kippender, gleitender, sackender oder rotierender Weise ereignen. Des Weiteren misst die strukturelle Prädisposition wie sich eine Felswand gegenüber einem destabilisierenden Prozess verhält. Zudem gibt sie auch Aufschluss darüber, wie häufig sich an dieser Felswand Sturzprozesse ereignen werden und in welcher Größenordnung diese auftreten. Wichtig anzumerken ist noch, dass die strukturelle Prädisposition selbst, außer im Zusammenhang mit tektonischen Zeitskalen, nicht als Auslösefaktor interpretiert werden kann (KENNER ET PHILIPPS 2017:18)

5.1.3. Kryostatischer Druck

Der kryostatische Druck spielt im Zusammenhang mit Sturzprozessen ebenfalls eine wichtige Rolle. Als kryostatischen Druck bezeichnet man jene Kraft, die beim Übergang von Wasser in Eis mittels thermischer Expansion freigesetzt wird. Kommt es nun zum einem Gefrierprozess, dann kommt es gleichzeitig zu einer signifikanten Zunahme des Volumens um bis zu 9 Prozent. Daraufhin bildet sich ein hoher Druck verbunden mit Scherspannungen, welche wiederum zu einer Ausbreitung von Klüften und zu Verwitterung des Gesteins beitragen. Auslöser dafür ist oft Wasser, welches sich bereits vorher in den Klüften befunden hat. Eine weitere Ursache ist Feuchtigkeit, welche aus den Porenräumen des Gesteins entstammt und mittels kryogener Saugspannung in Richtung Eiskörper transportiert wird und dessen Wachstum begünstigt. (KENNER ET PHILIPS 2017:18 ff.).

Das vorhandene Wasser in den Klüften entsteht im Normalfall aufgrund von Frostwechselzyklen. Dies wird unter anderem auch als Frostsprengung bezeichnet. Dabei gelangt in den Sommermonaten Wasser in die Gesteinsmassen ein, welches schließlich in der kühlen Jahreszeit gefriert, da hier die Temperaturen oftmals unter 0 Grad Celsius fallen. Ausschlaggebend dafür ist, dass die gefrorene Masse gänzlich

vorrückt, so dass das Wasser auf derselben Position bleibt und nicht in noch tiefere Gesteinsschichten vordringen kann. Dieser Prozess findet hauptsächlich in exponierten Felsbereichen statt, tritt aber auch in Bereichen in Erscheinung, in denen der Permafrost, der sich im Untergrund befindet, zusammen mit den fallenden Temperaturen an der Oberfläche eine massive gefrorene Fläche um das Wasser bildet. Dieses Zusammenspiel macht es nun unmöglich, dass das Wasser abfließen kann. Generell sind Frostwechselzyklen eher ein Phänomen, das in den oberen Felspartien stattfindet, in tieferen Gesteinsschichten treten diese eher selten in Erscheinung. Daher sind Frostwechselzyklen nur selten der Grund für tiefgründige Felsbewegungen. (KENNER ET PHILIPS 2017:19)

Des Weiteren ist eine Segregation des Eises in Spalten oder Klüften nur möglich, wenn das Gestein Feuchtigkeit enthält, wobei hier schon ein Sättigungsgrad von rund 65 Prozent ausreichend ist. Darüber hinaus ist ein Temperaturgradient notwendig, der für den Transport der Feuchtigkeit zuständig ist. Der Feuchtigkeitstransport selbst, findet meistens in einem Bereich statt, in welchem die Temperaturen zwischen -3 und -6 Grad Celsius liegen. Der sogenannte „Gibb's-Thomson Effekt“, dass sich auch bei Minusgraden in der tiefgefrorenen Kluft an der Grenzfläche, welche zwischen Eiskörper und Oberfläche des Gesteins liegt, immer eine kleine Menge Wasser befindet. In der Kluft kommt es nun zu einem Anstieg des kryostatischen Drucks, wenn zusätzliche Feuchtigkeit an dieses Wasser herangetragen wird. Daraus resultiert nun eine Neubildung von Eis an der Grenzfläche zwischen Wasser und Eis. (KENNER ET PHILIPS 2017:19).

Zur selben Zeit kommt es aufgrund des Transports der Feuchtigkeit zur Eislinse hin im Porenraum ringsum der Kluft, zu Bildung eines Unterdrucks, der auch als Kryosuktion bezeichnet wird. Durch diesen Prozess ist es möglich, dass die kryostatische Saugspannung in Richtung der Segregation ein Ausmaß von einigen Megapascal erreichen kann. Kommt es nun zur Neubildung von Eis, dann hängt dies vor allem mit dem Druckgradienten zusammen. Dies ist deswegen so, da dieser zur Entstehung von weiteren kryostatischen Drücken beiträgt, die schließlich zu Vergrößerung der Klüfte führen. Die idealen Bedingungen für sich im Permafrost befindliches Segregationseis befinden sich nahe der auftauenden Schicht. (KENNER ET PHILIPPS 2017:19).

Durch Abb. 4 werden die Eissegregation und der Feuchtigkeitstransport nochmals grafisch dargestellt.

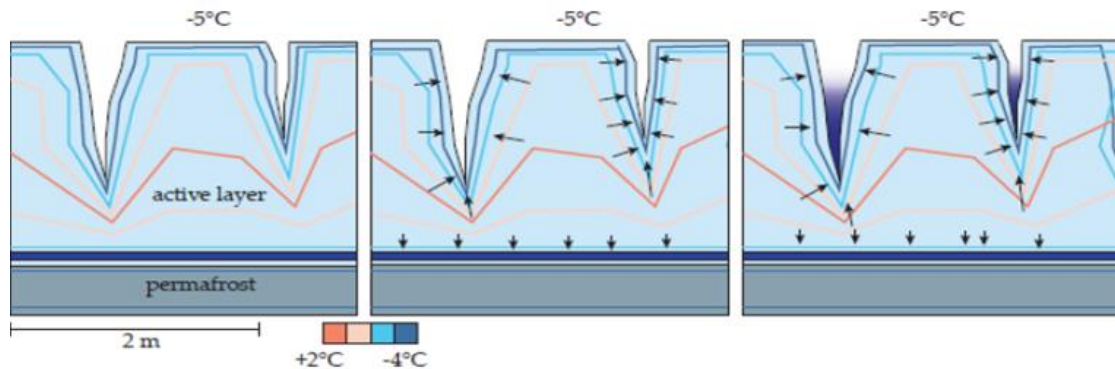


Abbildung 4: Eissegregation/Feuchtigkeitstransport entlang eines Temperaturgradienten und anschließender Neubildung von Eis in Klüften (Quelle: KENNER ET PHILIPPS 2017:19)

5.1.4. Vergletscherung

Felsstürze hängen auch eng mit dem Prozess der Vergletscherung zusammen. Kommt es nun zur Vergletscherung von sehr steilen Felswänden, dann wirkt sich dies auf die Gesteinsmasse, die unterhalb liegt, aus. Zum einen löst das Eis des Gletschers eine thermische Isolation aus, woraufhin es zu einer Versiegelung der Gesteinsoberfläche kommen kann. Dies hat zur Folge, dass saisonale Temperaturschwankungen entweder gar nicht oder nur in einem sehr niedrigen Ausmaß auftreten. Erreicht der Gletscher nun die notwendige Kälte, dann kommt es zur Entstehung von Permafrost. Dafür sind Temperaturen, die sich stets in der Nähe des Gefrierpunktes bewegen, erforderlich. Wenn es nun über einen längeren Zeitraum derartig kalt ist, dann können Niederschläge oder schmelzendes Wasser oftmals nicht mehr in die Felswand vordringen. Darüber hinaus kann ein Gletscher, der sich entweder direkt auf der Felswand oder in dessen Nähe befindet, eine Art Schutzwirkung einnehmen, da er wie eine Stütze fungiert und so Bewegungsprozesse dämpfen kann. Zur selben Zeit kommt es allerdings durch die Eisdecke, welche sich über den Felsmassen befindet, zu einer Bildung von Druck- und Scherkräften, was sich wiederum auf die darunterliegenden Felsmassen auswirkt. (KENNER ET PHILIPPS 2017:21)

Erfolgen nun permanent Ver- und Entgletscherungsprozesse, dann kann dies zu einer Änderung der Gesteinsstruktur führen. Durch die sich häufig ändernde Auflast kommt es zur Zermürbung des Gesteins. Besonders starke Auswirkungen hat dies, wenn der Gletscher selbst nicht gefroren ist, sondern sich dieser über der Oberfläche des Gesteins bewegt. Infolgedessen kommt es zur Bildung von glazialen Erosionen, wodurch oberflächlich Gesteinsmassen abgetragen werden. Dies wiederum kann sich auf die Form und Geometrie einer Felswand auswirken und diese nachhaltig verändern. Eine solche Formveränderung wäre beispielsweise eine massive Versteilung am Fuße einer Felswand. Daraus resultiert eine Spannungskonzentration im Fußbereich des Hanges, welche auf eine Abschwächung der Grundbasis der Felswand zurückzuführen ist. Durch das Zusammenspiel dieser Prozesse wird die Felsböschung insgesamt instabiler. (KENNER ET PHILIPPS 2017:21)

Erfolgt nun eine Reduzierung des Gletschereises, dann hat dies laut den vorher beschriebenen Prozessen oft ähnliche Auswirkungen wie die Degeneration des Permafrosts. Instabilitäten, die sich bereits im Vergletscherungsprozess gebildet haben, werden aufgrund des Gletscherrückgangs aktiviert und können binnen zehn Jahren einen Kollaps hervorrufen. Dafür verantwortlich sind unter anderem eindringendes Wasser oder Frostwechselzyklen. Weitere Gründe sind die nicht vorhandene Stützfunktion des Gletschers, wodurch nun auch Massenbewegungen größeren Ausmaßes möglich sind. Ein schnellerer Auftauprozess des vorhandenen Permafrosts ist nun möglich. (KENNER ET PHILIPPS 2017:21)

5.1.5. Starkniederschläge/hydrostatischer Druck

Felsmassen können auch durch Starkniederschläge in Bewegung gesetzt werden beziehungsweise spielt dabei der hydrostatische Druck eine entscheidende Rolle. Regnet es längere Zeit sehr ergiebig, dann füllen sich die Kluftsysteme für eine bestimmte Zeit mit Wasser, wodurch es zur Bildung eines hydrostatischen Drucks kommt. Dieser kann eine Intensität von mehreren Megapascal erreichen. Infolgedessen kommt es oft zur Entstehung von Brüchen. Das Wasser an sich initiiert deswegen viele Felsstürze, da dadurch der Schwerwiderstand im Kluftsystem reduziert wird. Darüber hinaus erfolgt durch einsetzende Niederschläge oft eine schnelle, laterale Zufuhr von Energie bis weit in das Kluftsystem hinein, was zur Folge

hat, dass sich das Klufteis erwärmt. Dies bedeutet, dass ein Felssturz dann ausgelöst wird, wenn es zu einer Erwärmung des Eises kommt, wodurch es anschließend zur Bildung eines hydrostatischen Drucks kommt, der schlussendlich zu einem Reibungsverlust führt. (KENNER ET PHILIPPS 2017:22)

5.1.6. Thermomechanische Prozesse

KENNER ET PHILIPPS erwähnen auch thermomechanische Prozesse. Jahreszeitliche Temperaturschwankungen machen sich auch bis zu einem gewissen Grad an Felswänden bemerkbar. Temperaturveränderungen sind mit einer Veränderung des Gesteinsvolumens in der thermischen Aktivschicht verbunden, wodurch im Gestein Spannungen verursacht werden. Die meisten dabei entstandenen Verformungen sind allerdings reversibel. Auf eine längere Sicht gesehen kann jedoch der Fall eintreten, dass Ermüdungsbrüche an Diskontinuitäten entstehen, die schließlich zu einer Vergrößerung der Kluft und zu einem Verwitterungsprozess des Gesteins führen. (KENNER ET PHILIPPS 2017:24)

5.1.7. Erdbeben

Sturzprozesse können auch durch Erdbeben ausgelöst werden. Ausschlaggebend dafür sind vor allem die Intensität des Erdbebens und die Distanz zum Epizentrum. Felsmassen lösen sich vor allem bei Erdbeben ab Stärke 5. Die Auswirkungen des Bebens selbst sind dabei sehr stark von der Prädisposition abhängig. So ist bekannt, dass zerklüftete Gebiete, die sich im inneren Bereich einer aktiven Hangbewegung befinden, bis zu acht Mal stärker von Schwingungen betroffen sind als umliegende Gebiete. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass in derartig anfälligen Regionen bereits Erdbeben, die eine niedrigere Stärke aufweisen, einen Felssturz initiieren können. Erreichen Felsstürze ein Volumen von zirka 50.000 m³ oder mehr, dann ist es möglich diese seismisch zu registrieren. Durch dies könnte man einen Felssturz einigermaßen gut lokalisieren und einen exakten Ereigniszeitpunkt berechnen (KENNER ET PHILIPPS 2017:24)

5.2. Bergsturz

Unter einem Bergsturz wird ein Sturzprozess verstanden, bei dem sich sehr große Gesteinsmassen im Ausmaß von einer bis mehreren Millionen m³ von einer Felswand lösen. Dabei kommt es zu sehr hohen Geschwindigkeiten und es erfolgen massive Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten. Steigende Stein- und Blockschlagereignisse sind in vielen Fällen bereits besorgniserregende Vorboten von großen Bergstürzen. (PLANAT :2019)

Eine genauere Definition von Bergstürzen liefert in diesem Falle ABELE. Er definiert diese folgendermaßen:

„Bergstürze sind Fels- und Schuttbewegungen, die mit hoher Geschwindigkeit (in Sekunden oder wenigen Minuten) aus Bergflanken niedergehen und im Ablagerungsgebiet ein Volumen von über 1 Mio. m³ besitzen oder eine Fläche von über 0,1 km² bedecken“. (ABELE 1974:5)

Auch hier ist es notwendig, sich anzusehen, welche Indikatoren bei der Entstehung eines Bergsturzes ausschlaggebend sind. Auf Welche Art und Weise der Sturzprozess nun stattfindet, ist abhängig von der Position und Art der Gesteinsschichten. Des Weiteren spielen Kluftsysteme und die Art des Reliefs eine tragende Rolle. Um zu zeigen, dass Bergstürze sehr unterschiedlich sein können, sollen hier kurz zwei Beispiele genannt werden. So war der Bergsturz von Goldau, welcher im Jahr 1806 stattfand, beispielsweise eine tiefgründige Felsrutschung, dessen Abgleitungsprozess auf einer geologischen Schichtfläche stattgefunden hat. Der Bergsturz von Monte Zandila hingegen wurde durch abbrechende Felspartien, die sich entlang einer steilen Kluftfläche befunden haben, initiiert. (PLANAT :2019)

Doch interessant ist es nun, herauszufinden, welche Ursachen tatsächlich für die Ingangsetzung eines Bergsturzes verantwortlich sind. Im Allgemeinen lassen sich hierbei zwei Kategorien voneinander unterscheiden. Einerseits existieren interne Ursachen, worunter der Aufbau des Gebirges selbst und die Beschaffenheit des vorliegenden Gesteins fallen, andererseits gibt es externe Ursachen, worunter die Hanggestaltung bedingt durch die exogenen Kräfte gemeint ist. Kommt es nun zu

einem Bergsturz, dann ist es notwendig, dass Ursachen von beiden Kategorien ineinandergreifen. Unabhängig von den Ursachen benötigt der Sturzprozess jedoch ein zusätzliches auslösendes Ereignis, durch welches es möglich ist, den genauen Eintrittszeitpunkt des Bergsturzes zu ermitteln. (ABELE 1974:59). Nachfolgend werden interne und externe Ursachen kurz thematisiert.

5.2.1. Interne Ursachen

Interne Ursachen zeichnen sich dadurch aus, dass die disponierenden Faktoren, durch welche ein Bergsturz schlussendlich initiiert wird, nicht erst zum Zeitpunkt des eigentlichen Ereignisses in Erscheinung treten. Diese existieren in Wahrheit schon viel länger im Gebirgsbau. Kurz und bündig ausgedrückt bedeutet dies, dass das Bergsturz-Ereignis an sich nur die letzte Stufe eines langfristigen Entwicklungsprozesses ist. Beispiele für interne Ursachen sind unter anderem eine Veränderung der Standfestigkeit oder die Präsenz von durchgehenden Großklüften. Darüber hinaus fallen auch Störungszonen und Schichtflächen, an denen es zu einem Ablösungsprozess von Bergschollen kommt, zu den internen Auslösemechanismen. Einen weiteren auslösenden Faktor können hangparallele Entspannungsklüfte, die durch die Abtragung hervorgerufen werden und sich hauptsächlich in massigen Gesteinsarten aufgrund von Druckentlastungen bilden, darstellen. Grundsätzlich wird angenommen, dass ein Bergsturz kein plötzlich eintretendes Ereignis ist, sondern dieser erst nach einiger Zeit, nachdem sich das Gehänge bereits versteilt hat oder Widerlager aufgehoben wurden, eintritt. (ABELE 1974:60)

5.2.2. Externe Ursachen

Die wohl wichtigsten externen Faktoren für die Entstehung eines Bergsturzes stellen die fluviatile und die glaziale Erosion dar. Bekannt ist, dass vor allem Bergstürze größeren Ausmaßes eng mit der Wirkung des Eises zusammenhängen. Darüber hinaus muss gesagt werden, dass es zwischen der fluviatilen Erosion und der glazialen Versteilung deutliche Unterschiede gibt. So kommt es bei der fluviatilen Erosion dazu, dass sich unterschrittene Bergflanken bedingt durch das Widerlager des Eises ins Tal bewegen, bei der glazialen Versteilung ist dies hingegen nicht möglich. Daher bilden sich während der Vergletscherung Massenbewegungen mit sehr großen Magnituden,

da diese nicht in kleineren Schüben niedergehen können. Erst wenn sich das Eis wieder langsam zurückzieht, bewegen sich die vorhandenen Bergsturzmassen ins Tal. (ABELE 1974:61). Doch nicht nur der Verlust des Eiswiderlagers ist ausschlaggebend, auch die Abnahme des Druckes während des Abschmelzprozesses der massiven Eisschicht, welcher auf den Hängen lastet, spielt eine entscheidende Rolle. (ABELE 1974:61)

Als weitere externe Ursache für die Auslösung eines Bergsturzes lässt sich der Eintritt eines anderen Bergsturzes nennen. Kommt es zur Ablösung einer Bergsturzscholle, dann entwickeln sich im Abbruchgebiet neue Spannungsverhältnisse, die wiederum für die Auslösung von etwaigen Nachstürzen verantwortlich sein können. Darüber hinaus sind Massenbewegungen oft für die Abtragung von Wasserverläufen von einer Talflanke auf die gegenüberliegende Seite des Tals verantwortlich. Dadurch entsteht eine größere fluviatile Unterschneidung, wodurch wiederum weitere gravitative Prozesse hervorgerufen werden könnten. (ABELE 1974:61)

5.2.3. Erdbeben und Starkniederschläge

Wie auch schon im Kapitel Felsstürze beschreiben, ereignen sich auch Bergstürze oftmals aufgrund von Erdbeben oder Starkregenereignissen. Diese beiden Faktoren werden häufig als die eigentlichen Ursachen von graviativen Massenbewegungen gesehen. Dabei ist allerdings anzumerken, dass durch Niederschläge oder Erschütterungen lediglich der Eintrittszeitpunkt des gravitativen Ereignisses ermittelt werden kann. Wo und wie ein Bergsturz schlussendlich stattfindet, wird durch die Kombination von internen und externen Faktoren vorherbestimmt. Daher lässt sich sagen, dass Erdbeben und Starkniederschläge zwar als Anlässe, aber nicht als eigentliche Grundursachen für die Auslösung von Sturzprozessen interpretiert werden können. Allerdings kann es in Ausnahmefällen passieren, dass durch starke Erschütterungen beziehungsweise durch langanhaltende Extremniederschläge mit anschließender Durchfeuchtung Bergflanken ins Tal transportiert werden. Diese Bergflanken weisen zwar insgesamt ein hohes Abtragsrisiko auf, würden sich aber bei Normalbedingungen nach einiger Zeit von selbst ablösen oder in kleineren Schüben abstürzen. (ABELE 1974:62).

Darüber hinaus ist bekannt, dass auch kurzweilige, punktuelle Starkniederschläge Bergstürze initiieren können, jedoch lösen diese meistens eher nur kleine Sturzereignisse aus. Langanhaltende Intensivregenphasen setzen hingegen viel größere Felsmassen in Bewegung, da viel mehr Wasser in die Tiefen des Gehänges eindringen kann. Dies ist nun auch der Grund dafür, weshalb sich die meisten alpinen Sturzprozesse im Sommer ereignen, da zu dieser Zeit die intensivsten Niederschläge zu verzeichnen sind. Aufgrund von Intensivregenphasen kommt es zur Bildung von Oberflächenwasser, welches in die Gesteinsmassen eindringt. Dadurch werden die Gleithorizonte geschmiert, wodurch sich das Risiko, dass sich große Bergflanken ablösen könnten, deutlich erhöht. Ein weiterer Faktor für die Auslösung von Bergstürzen ist ein unausgewogenes Verhältnis der Entwässerung beim Rückzug eines hohen und spätglazialen Gletschers. Dabei dringt ein sehr hoher Anteil an Feuchtigkeit in die Hänge, wodurch gravitative Prozesse großen Ausmaßes in Gang gesetzt werden können. Eine letzte wichtige Ursache, die hier erwähnt werden sollte, ist der langperiodische Frostwechsel. Dieser erhöht das Eintrittsrisiko von Sturzprozessen erheblich. (ABELE 1974:64).

5.2.4. Auswirkungen

In diesem Unterkapitel sollen kurz die Auswirkungen von Bergsturzereignissen repräsentiert werden. Es erscheint mir wichtig, diese anzuführen, da zukünftig bedingt durch den Klimawandel, wahrscheinlich häufiger mit Bergstürzen gerechnet werden muss und ein besseres Know-How im Umgang mit den Folgewirkungen notwendig sein wird. In diesem Fall werden lediglich natürliche Auswirkungen beschrieben, die aber zeigen sollen, in welcher großen Dimensionen diese auftreten können. Auf sozioökonomische Auswirkungen wird in diesem Fall nicht eingegangen.

Durch einen Bergsturz kommt es zu landwirtschaftlichen Veränderungen. Diese zeigen sich im Abbruchgebiet selbst, aber auch in Ablagerungsregionen. Das Abbruchgebiet ist oft von zahlreichen Nachstürzen und anschließenden Sackungsbewegungen betroffen. In einem noch viel größeren Ausmaß äußern sich die Auswirkungen jedoch im großflächigen Ablagerungsgebiet. (ABELE 1974:121)

Da es den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde, werden hier lediglich die meiner Meinung nach wichtigsten Auswirkungen kurz genannt und beschrieben.

Entstehung von Bergsturztauseen und Bergsturzseen

Eine der wohl auffälligsten und wichtigsten Nachwirkungen eines Bergsturzes sind Bergsturzseen. Dabei lassen sich zwei verschiedene Arten voneinander unterscheiden. Einerseits gibt es Bergsturztauseen, die in Tälern aufgrund von abgelagerten Gesteinsmassen hinter Schuttbarrieren aufgestaut werden und andererseits existieren klassische Bergsturzseen, die sich als Hohlformen in einem oft sehr unruhigen und mit kleinen Hügeln gekennzeichneten Bergsturzrelief auszeichnen. Generell lässt sich sagen, dass die Bildung eines Bergsturztausees als die am häufigsten vorkommende Folgeerscheinung eines Bergsturzes gilt. Allerdings hat sich die Größe vieler Seen über die Jahre hinweg nachhaltig stark verändert. Jene Bergsturztauseen, die heutzutage noch existieren, sind meistens nur ein Bruchteil der einstig existierenden Seen. Die Seen haben sich deswegen so stark verkleinert, da sie oft vollständig zugeschüttet wurden und an jenen Stellen, an denen sie sich einst befanden, sich nun Stauböden bilden. Viele Bergsturztauseen haben sich zudem aufgelöst, da es zu einer fluviatilen Zerschneidung der Schuttbarriere kam. Beim Verschwinden von Bergsturzseen treten üblicherweise beide Vorgänge, also die Verschüttung des Sees und die Zerschneidung der Bergsturzbarriere, in Erscheinung. (ABELE 1974:121 ff.).

Bildung von Stauböden

Oft kann es passieren, dass sich nach einem großen Bergsturz Stauböden bilden. Dies tritt ein wenn der Prozess der Zuschüttung des Sees schneller voranschreitet als die Zerschneidung der Bergsturzbarriere. Manchmal kann es zudem sein, dass sich hinter dem Stauriegel noch kleine Teile von den ehemals großen Seen befinden, in welche die Stauböden nun immer weiter voranschreiten können. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass sich der gesamte Stauraum, welcher sich dahinter befindet, aufgeschüttet wird. Eine weitere Folgeerscheinung von Bergstürzen sind Staubodenterrassen. Diese entstehen, wenn es nach der Sedimentation zur Zerschneidung des Bergsturzriegels kommt. (ABELE 1974:128).

Weitere natürliche Folgeerscheinungen von Bergstürzen wären die Bildung von Umlagerungskegeln, Beeinflussung von Wasserläufen im Bergsturzgebiet, eventuelle Verlagerungen von Wasserläufen und Wasserscheiden, die Entstehung von Epigenesen oder Vegetationsveränderungen. (ABELE 1974:121 ff.) Auf diese Punkte wird jedoch nicht weiter eingegangen.

5.3. Rutschungen

Um ein besseres Verständnis zu erlangen, worum es sich bei Rutschungen überhaupt handelt, soll hier der Begriff kurz definiert werden:

„Rutschungen sind bruchlose oder bruchhafte, schwerkraftbedingte Massenverlagerungen aus einer höheren Lage eines Hanges oder einer Böschung in eine tiefere.“ (PRINZ ET STRAUSS 2011:365)

Prinzipiell sind Rutschungen eher den schnellen gravitativen Massenbewegungen zuzuordnen. Eine besonders hohe Geschwindigkeit erreichen diese, wenn sie sich von einem Steilhang oder von einem sehr durchfeuchteten Hangbereich ablösen. Rutschungen selbst und die damit verbundenen Schäden äußern sich erst einige Zeit nach dem Eintritt von Naturereignissen wie Überschwemmungen oder starken Stürmen. Auch sogenannte „geologische Katastrophen“, wie Erdbeben oder Vulkanausbrüche, sind oft besorgniserregende Vorboten von Rutschprozessen. Weltweit betrachtet gelten jedoch Intensivniederschläge und starke Überschwemmungen als die Hauptursachen für die Auslösung von Rutschungen, durch welche in den letzten Jahren schon viele Menschen ums Leben gekommen sind. (PRINZ ET STRAUSS 2011:365)

5.3.1. Arten von Rutschungen

Im Allgemeinen lassen sich Rutschungen in zwei verschiedene Typen untergliedern, nämlich in Rotations- und Translationsrutschungen. Rotationsrutschungen verfügen an deren Basis eine einigermaßen konkave Gleitfläche, Translationsrutschungen sind hingegen durch vorwiegend glatte, abgestufte zum Hang gerichtete Gleitflächen gekennzeichnet. Viele Rutschprozesse lassen sich nicht eindeutig einen dieser beiden

Typen zuordnen, sondern weisen Charakteristika von beiden Arten auf. Mit dem Ziel das Gefahrenrisiko richtig einschätzen zu können, werden Rutschprozesse gemäß der Bundesrichtlinie für Massebewegungen gemessen an deren Prozessgeschwindigkeit voneinander unterschieden. Dabei spielen vor allem hydrologische Indikatoren, eine wichtige Rolle. Durch diese wird der Rutschprozess in vielen Punkten stark beeinflusst. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass der Mechanismus von Rutschungen oft vom Wasser an der Oberfläche, aber auch vom Wasser im Boden, gesteuert wird. (TOBLER ET GRAF 2016:32) Im nächsten Schritt werden nun die einzelnen Rutschungsarten repräsentiert und beschrieben.

Permanente Rutschungen

Permanente Rutschungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich relativ konstant und über einen längeren Zeitraum gesehen hangabwärts bewegen. Dieser Zeitraum kann dabei mehrere Jahrhunderte, manchmal sogar mehrere Jahrtausende betragen. In Ausnahmefällen kann es auch sein, dass sich im Inneren einer Scherzone eine Reihe von Gleitflächen im Ausmaß von einigen Metern bilden. Darüber hinaus sind permanente Rutschprozesse oft mit differentiellen Bewegungszonen verbunden und häufig durch Reaktivierungsphasen gekennzeichnet. Ein weiteres Charakteristikum von permanenten Rutschungen ist ein zyklischer Verlauf je nach Jahreszeit. So kommt es beispielsweise im Frühsommer bei einsetzender Schneeschmelze zu deutlich mehr Bewegungen als in anderen Jahresabschnitten. Die Auslöser von permanenten Rutschprozessen sind sehr vielfältig. Hauptursachen sind allerdings von der Norm abweichende Witterungsverhältnisse. Dazu zählen lange Intensivregenphasen, ein Abtauen des Permafrosts oder Erosionen am Hangfuß, die zu einer Destabilisierung des Hanggleichgewichts führen. Zur Bildung von Gleitflächen kommt es vorwiegend in plastischen Lockergesteinen, die einen hohen Tonanteil aufweisen und bereits stark verwittert sind. Darauf bildet sich nun abgleitendes Material, welches entweder eine kompetente Gesteinsmasse sein kann oder durchlässiges Lockermaterial. Gewiss ist aber, dass Gleitbewegungen abhängig von den Charakteristika der Gleitfläche und des gegebenen Wasserdrucks auch in Gebieten vorkommen können, die einen geringeren Hangneigungsgrad aufweisen. (TOBLER ET GRAF 2016:32 ff.)

Hangkriechen

Kriechende Hangbewegungen lassen sich den eher langsam stattfindenden Rutschprozessen zuordnen. Ausgelöst werden sie vorwiegend, wenn es zu langfristigen schleichenden Verformungsprozessen im Fels und Lockergestein kommt. Dabei erfolgt auf unzähligen kleinen Trennflächen ein bruchloser, andauernder Verformungsprozess oder ein unregelmäßiger Kriechprozess verbunden mit Gleitvorgängen. Verglichen mit permanenten Rutschungen existieren bei Hangkriech-Phänomenen hingegen keine konstanten Gleitflächen. Spricht man von tiefgründigen Kriechprozessen, dann sind darunter Phänomene wie Talzuschub oder Bergzerreißung zu verstehen. Diese treten in der Regel eher großflächig in Erscheinung. Als Sonderfälle von Kriechprozessen lassen sich Blockgletscher oder Solifluktionen nennen, die vorwiegend in periglazialen Gebieten vorkommen und auch durchgehende Gleitflächen aufweisen können. Dies ist oftmals auch der Grund weshalb es im Gestein zu Sprödbrüchen kommt. (TOBLER ET GRAF 2016:33)

Spontane Rutschungen

Spontane Rutschprozesse lassen sich im Allgemeinen in zwei Arten untergliedern, nämlich in spontane Rutschungen und Hangmuren. Beiden Typen weisen eine hohe Prozessgeschwindigkeit auf und das transportierte Material setzt sich meistens aus Wasser und Lockermaterial zusammen, welches sich vorher in flacheren Regionen, Mulden oder Runsen gebildet und abgelagert hat. Ausschlaggebend für die Differenzierung dieser beiden Arten ist der vorhandene Wassergehalt und das jeweilige Ausmaß des Prozesses. Grundsätzlich sind spontane Rutschprozesse nur sehr schwer vorauszusagen, sie ereignen sich meistens sehr plötzlich und werden in Folge von starken Schneeschmelzen oder starken Regenphasen ausgelöst. Es ist auch bekannt, dass diese vorwiegend in eher steilen Gebieten auftreten. Wenn der Boden einen besonders hohen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, dann kann es durchaus sein, dass schon kleine Niederschlagsmengen eine Hangmure initiieren können. (TOBLER ET GRAF 2016:33)

Spontane Rutschungen großen Ausmaßes weisen eine sehr hohe Prozessgeschwindigkeit auf. Man geht davon aus, dass es zur Ingangsetzung von

spontanen Rutschprozessen kommt, wenn die Scherfestigkeit plötzlich abnimmt und es zu einem Verlust der Kohäsion kommt. Im selben Moment kommt es zu einer Abnahme des Reibungswinkels und der Porenwasserdruck steigt. Sie treten oft als Nachwirkungsprozess von permanenten Rutschprozessen auf, vorwiegend auf sehr steilen Hängen oder in Regionen, in denen sich der Gletscher bereits zurückgezogen hat. Sie erreichen dabei oftmals ein sehr großes Ausmaß, oft sogar bis zu mehreren Hunderttausend Kubikmetern. Einprägende Ereignisse aus der Vergangenheit waren beispielsweise die Rutschung von „Riemensalden“, wo das Gesamtvolumen zwischen 10-20.000 Kubikmeter geschätzt oder die Großrutschung „Stieregg“ in Grindelwald, wo das Gesamtvolumen sogar 650.000 Kubikmeter betrug. (TOBLER ET GRAF 2016:34)

Hangmuren

Hangmuren bestehen aus einer Kombination von Wasser und aufgelockerten Gesteinsmassen. Sie bewegen sich in Form einer viskosen Masse den Hang hinunter. Wie schon bei den spontanen Rutschungen fungieren auch bei den Hangmuren Starniederschläge oder intensive Schneeschmelzen als auslösende Faktoren. Hangmuren erreichen oftmals eine besonders hohe Geschwindigkeit, da sie einen besonders hohen Anteil an Wasser aufweisen. Die Geschwindigkeit selbst kann dabei ein Ausmaß bis zu 10 m/s erreichen. (TOBLER ET GRAF 2016:34). Laut der Klassifikation von BELL ET AL. würden Hangmuren unter extrem schnelle Rutschprozesse fallen, deren Auswirkungen verheerend sein können. (BELL ET AL. 2010:13). Ähnlich wie die spontanen Rutschungen kommen auch Hangmuren vorwiegend in steilen Regionen vor, die durch ein eher kohäsionsarmes Lockergestein gekennzeichnet sind. Ein Hangneigungswinkel von 20 ° ist bei einer gegebenen hohen geologischen Disposition oft schon ausreichend, dass sich Hangmuren ablösen. Als Nebenerscheinung von Hangmuren bilden sich manchmal auch Uferwälle, die durch die geringeren Geschwindigkeiten seitlich der Mure entstehen. Schafft es eine Hangmure in ein Gerinne vorzudringen, dann fördert sie oft die Bildung eines Murgangs. (TOBLER ET GRAF 2016:34)

5.3.2. Auslösende Faktoren

Wie schon bei den Sturzprozessen sollen auch bei den Rutschprozessen mögliche Auslösefaktoren veranschaulicht werden. Dabei geht hervor, dass die Gründe für die Entstehung einer Rutschung sehr vielfältig sein können. Laut PRINZ ET STRAUSS wird eine Rutschung dann verursacht, wenn es zu einer Störung des Hanggleichgewichts kommt. Dabei spielen mehrere Faktoren eine entscheidende Rolle. Diese Faktoren können sowohl einen langfristigen, als auch einen kurzfristigen Charakter aufweisen. Sogenannte „geogene Prozesse“ schwächen das Gleichgewicht eines Hanges über eine längere Zeitspanne hinweg. Dazu zählen beispielsweise Verwitterungserscheinungen oder durch die Tektonik bedingte Auflockerungen des Gebirges. Kurzfristige Prozesse, die zu einer Destabilisierung von Hängen beitragen, sind etwa plötzlich einsetzende Niederschläge, Erhöhungen des Grundwasserspiegels, Belastungsveränderungen, Unterspülungen oder lokale Erdbeben. Viele Rutschungen werden durch ein Zusammenspiel von kurz- und langfristigen Faktoren ausgelöst. (PRINZ ET STRAUSS 2011:366)

PRINZ ET STRAUSS fügen zudem an, dass Rutschungsbewegungen ohne das Vorhandensein von gewissen geologischen Grundvoraussetzungen nicht existieren würden. Zu diesen geologischen Voraussetzungen zählt unter anderem die Abhängigkeit vom Hanggleichgewicht. Eine weitere Ursache für die Initiierung von Rutschungen ist die Wirkung des Wassers. Darüber hinaus verursachen auch häufig anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt beziehungsweise in das Hanggleichgewicht einen Rutschprozess. Die auf dem Hang vorhandene Vegetation kann sich ebenfalls auf den Wasserhaushalt auswirken. (PRINZ ET STRAUSS 2011:366).

Geologische Voraussetzungen

Wie schon erwähnt, findet kein Rutschprozess ohne die Präsenz von geologischen Faktoren statt. So ist bekannt, dass sich große Rutschbewegungen hauptsächlich an jenen Hängen ereignen, die durch Gesteinsarten wie Basalte, Kies- und Kalkgesteine oder Sandsteine gekennzeichnet sind. Diese Gesteine sind die ideale Grundvoraussetzung für die Auslösung einer Rutschung, da das Wasser leicht in den Untergrund eindringen kann. Ebenfalls stark von Rutschungen betroffen sind Hänge,

die mächtige tonig-schluffige Gesteine aufweisen. Durch den Anteil der Tonmineralogie kommt es zur Minimierung der Scherfestigkeit, welche durch fossile Verwitterungsvorgänge noch weiter minimiert werden kann. (PRINZ ET STRAUSS 2011:366)

Die Stabilität von Hängen und Böschungen wird auch durch tiefgründige Verwitterungserscheinungen, Verkarstung und die Wirkung des Bodenfrosts beeinflusst. Weitere Indikatoren für die Inangsetzung einer Rutschung können Vulkanausbrüche oder Erdbeben darstellen. (PRINZ ET STRAUSS 2011:366)

Wirkung des Wassers

Wie schon beschrieben, werden Rutschungen oft durch intensive Starkniederschläge ausgelöst. Das Problem dabei ist, dass dieses überschüssige Wasser in tiefere Schichten einsickert und es zu einer Erhöhung des Grundwasserspiegels kommt. Die Geschwindigkeit einer Rutschung ist dabei von der Intensität des Niederschlags abhängig. Das Grundwasserverhältnis bzw. die Grundwasserstockwerke werden wiederum von Strömungsdrücken und Niederschlagsintensitäten beeinflusst. Ein weiterer hydrologischer Auslöser ist unter anderem die Bildung von Stauhorizonten. Auch der anthropogene Eingriff spielt im Zusammenhang mit hydrologischen Faktoren eine Rolle. So verstärken oft Wasserverluste aus Wasserleitungen, Behältern oder Kanälen die Eintrittswahrscheinlichkeit von Rutschprozessen. Darüber hinaus kommt es durch Stauhaltungen und Überschwemmungen oft zu Hangrutschungen. Nicht vergessen werden darf auch die Rolle des Bodenfrosts. Bodenfrost an sich ist von einigen Faktoren abhängig, mitunter von Niederschlägen oder jahreszeitlichen Temperaturen. Da sich Temperaturen und Niederschläge stets ändern, manchmal sogar täglich und sich dies auch auf den Bodenfrost auswirkt, können dadurch tiefgreifende Kriechprozesse initiiert werden. Daraus resultiert oftmals ein Frostverschluss und das Wasser kann nicht mehr abfließen. Dies führt dann wiederum zu einem Anstieg des hydrostatischen Drucks. (PRINZ ET STRAUSS 2011:368 ff.)

Vegetation und menschliche Eingriffe

Auch die Vegetation hat einen Einfluss auf den Wasserhaushalt eines Hanges. Dabei spielen vor allem die Art der Vegetation und die Vegetationsdichte eine Rolle. So ist bekannt, dass laubabwerfende Bäume etwa 500 bis 800 mm/a Wasser verbrauchen, jene im Grünland hingegen nur 300-400 mm/a. Pflanzenarten dieser Kategorie benötigen normalerweise nur in der Vegetationsperiode zwischen April und Oktober Wasser. In einem noch viel gravierenderen Ausmaß können sich menschliche Eingriffe auswirken. Oft kommt es an Hängen zu einer großflächigen Abholzung von Bäumen, was sich wiederum stark auf den Wasserhaushalt auswirkt. Durch die fehlenden Bäume tritt dann eine Erosion des Bodens ein, woraufhin es zu einer Destabilisierung des Hanges kommt. Weitere anthropogene Eingriffe, die sich negativ auf das Hanggleichgewicht auswirken können, sind unter anderem die Planierung von Skipisten oder landwirtschaftliche Übernutzungen. Durch übermäßige Viehtritterosion kann es dazu kommen, dass der Vegetationsbestand derart reduziert wird, dass ein ausreichender Schutz gegenüber Klimaeinflüssen nicht mehr gewährleistet werden kann. Auch verschiedene Bautätigkeiten wirken destabilisierend und erhöhen das Eintrittsrisiko eines Rutschprozesses deutlich. (PRINZ ET STRAUSS 2011:369).

So werden beispielsweise im Zuge des Straßenbaus häufig die Füße eines Hanges abgegraben oder Böschungen versteilt, was sich negativ auf die Hangstabilität auswirkt. Ein Abgraben des Hanges hat deswegen weitreichende Folgen, da dadurch die Neigung und die Höhe des Hanges steigen und gleichzeitig andere Schichten entlastet werden. Beide Prozesse wirken destabilisierend. Wird ein Hang hingegen versteilt, dann steigt die Schubspannung, gleichzeitig reduziert sich aber die Scherfestigkeit aufgrund der Entlastung. All diese Faktoren können als Vorboten von Hangrutschungen gesehen werden, da sie diese begünstigen. Der Rutschprozess selbst ereignet sich oftmals erst einige Zeit später. Darüber hinaus werden Hänge durch die Errichtung von Dammanlagen und Häusern zusätzlich belastet. (PRINZ ET STRAUSS 2011:367)

5.4. Muren

Wie schon bei den Sturz- und Rutschprozessen soll auch hier kurz beschrieben werden, was eine Mure eigentlich ist. Danach wird auf die verschiedenen Arten von Muren und auf die wichtigsten Begriffe eingegangen. Darüber hinaus werden auch mögliche Auslöser für Muren repräsentiert.

Laut NÄF und MC ARDELL handelt es sich bei Muren um eine Kombination aus Hochwasser, Erdbeben und Felssturz. Muren sind durchaus in der Lage gravierende Schäden zu verursachen. Es kommt zur Zerstörung von Gebäuden, Straßen und Feldern, die durch die Geröllmassen teilweise meterdick bedeckt sind. Die Ablagerungen von Muren können sehr große Dimensionen erreichen, manchmal sogar in der Größenordnung von mehreren Fußballfeldern. Große Murgänge beinhalten oft mehrere Hunderttausend m³ Material, was etwa der Lademenge eines 20 Kilometer langen Güterzugs gleichen würde. Das Prozedere eines Murgangs ist nur von sehr kurzer Dauer, im Anschluss erreichen die Abflüsse des Wildbachs wieder ihre Ursprungsgröße. (NÄF ET MC ARDELL 2004:48)

Muren treten vor allem bei steilen Hängen mit lockerem Materialvorkommen in Erscheinung. Ein Beispiel hierfür sind klassische Schutthänge, die speziell im Alpenraum relativ häufig vorkommen. Als Auslöser von Muren gelten oft langanhaltende Starkniederschläge, die vermehrt in den Sommermonaten auftreten. Weitere Ursachen für den Abgang von Muren können Abbrüche eines Gletschers, Erdbeben oder zwischenzeitliche Aufstauungen verursacht durch Bäume oder Geröllmassen in einem Bachgerinne sein. (NÄF ET MC ARDELL 2004:48)

5.4.1. Begriffsdefinitionen und Arten von Muren

Ebenso wie bei den anderen gravitativen Phänomenen ist es auch hier interessant, die wichtigsten Termini und die verschiedenen Arten von Muren zu repräsentieren.

Generell muss gesagt werden, dass es kein leichtes Unterfangen ist, Muren voneinander zu unterscheiden. Oft wird als Unterscheidungsmerkmal die Differenzierung nach Fein- und Grobstoffanteil herangezogen. Hierbei muss jedoch

angefügt werden, dass auch diese Klassifizierung einen rein spekulativen Charakter aufweist. Muren selbst sind kein einheitliches Gemisch, das rheologische Verhalten eines Murgangs wird von Wasser und Feststoffen bestimmt. Hierbei ist es nun wichtig, in welchem Verhältnis sich Wasser und Feststoffe zueinander befinden und welche Charakteristika die Feststoffe aufweisen. Bei den Feststoffen bezieht man sich vor allem auf die Kornverteilung und auf die Kornkonzentration. Auch die Form der Körner und die vorliegende Gesteinsart spielen eine wichtige Rolle. Darüber hinaus ist es auch wichtig, welcher CSA-Wert vorliegt. Dies ist jener Wert, der sich auf die Feststoffoberfläche bezieht. Entscheidend kann auch die Dichte einer Mure sein. (HÜBL 1996:97).

Um die Eigenschaften von Muren besser verstehen können, werden nun die wichtigsten zentralen Begriffe kurz erläutert.

Unter einem Murgang versteht man das Produkt von mehreren Murschüben, die sich in einer zeitlichen Abfolge ereignet haben. In den Alpen entstehen Murschübe vorwiegend durch lokale Verklausungen oder durch den zusätzlichen Einstoß von Feststoffen und weniger durch Destabilisierungen der Oberfläche. (HÜBL 1996:98)

Ein Murschub selbst setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Diese sind unter anderem Wasser, Fein- bzw. Grobkornanteil und Wildholz. Dieses Gemisch ist nun durch eine gewisse Scherfestigkeit gekennzeichnet, was zu einem plastischen oder dilatanten Fließverhalten führt. Murschübe bestehen allgemein aus einer Front, einem Körper und einem Schwanz. Setzt sich die Front dabei hauptsächlich aus groben Blöcken zusammen, deren Feinanteil nur sehr gering ist, dann weist der Murschwanz einen hohen Flüssigkeitsanteil auf, was schon beinahe zu starken Strömungen führt. Dabei kommt es zur Bildung einer laminaren Strömung im Murkörper, bedingt durch die hohe Viskosität, die zu einer Abschwächung der Störungen führt. (HÜBL 1996:98 ff.)

Wie schnell nun eine Mure abfließen kann, ist von der Art und der Konzentration der Feststoffe abhängig. Durch den Murschub wird ein trogförmiger Querschnitt des Abflusses erzeugt, wobei es zu Ablagerungen kommt, die keine Entmischung aufweisen, da sämtliche Indikatoren zirka die gleiche Geschwindigkeit aufweisen. Murschübe können aber durchaus durch ein unterschiedliches Fließverhalten

gekennzeichnet sein. Dieses hängt nämlich von der Art und Weise wie die Mure entstanden ist und von der Zusammensetzung der Feststoffe ab. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, Muren in drei Subtypen zu untergliedern. (HÜBL 1996: 98 ff.)

Als erster Subtyp sei hier der Murschwall zu erwähnen. Dessen Entstehung ist mit einem Aufbruch einer Verkläusung verbunden. Er setzt sich aus grobkörnigen Sedimenten, sowie aus einer großen Menge Wildholz zusammen und weist zudem einen hohen Wasseranteil auf. Dies ist auch der Grund dafür, weshalb dessen Abflussvorgang nicht mehr als laminar gilt. Murschwälle gelten als sehr schnelle Bewegungen und gehen oftmals mit orkanartigen Windstößen und starken Erschütterungen einher. Die Feststoffe haben jedoch eine geringere Konzentration als die beiden anderen Typen. (HÜBL 1996:99)

Als zweiter Subtyp lassen sich kohäsive Muren nennen. Diese zeichnen sich in durch einen größeren Anteil an Feinkörnern aus, weisen aber gleichzeitig einen unterschiedlichen Anteil an Grobkörnern auf. Schließlich gibt es noch nicht kohäsive Muren, die mehr Grob – als Feinkörner aufweisen und nahezu keine Tonelemente enthalten. Bei kohäsiven Muren wird das rheologische Verhalten durch den Feinkornanteil bestimmt, bei nicht kohäsiven Muren durch die hohe Konzentration der Grobkörner. Gemische mit einem feinkörnigen Anteil agieren wie plastische Medien, wobei deren Fließprozess von der Kohäsion abhängig ist. In Gemischen mit einem hohen Grobkornanteil wird der Fließprozess durch die Reibungsfestigkeit der Einzelkörner und durch die Kornkollision beeinflusst. (HÜBL 1996:99)

5.4.2. Auslösende Faktoren

Muren können durch unterschiedliche Faktoren initiiert werden, die in diesem Unterkapitel repräsentiert werden sollen.

Der Alpenraum an sich ist für das vermehrte Auftreten von viskosen Muren bekannt, bei denen der Materialtransport hauptsächlich in Form einer Suspension erfolgt. Dies ist auch der Grund dafür, weshalb Muren klar von Rutsch- und Sturzprozessen abzugrenzen sind. CRUDEN und VARNES definieren Muren als schnelle bis extrem schnelle Verlagerungsprozesse (ANDRECS ET AL. 2010:145). Zudem lassen sie sich den Fließprozessen zuordnen, was durch Tab. 9 werden soll. (ANDRECS ET AL. 2010:145)

Gravitative Prozesse im Alpenraum

Tabelle 9: Klassifikation gravitativer Prozesse (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:145)

Prozess	Material		
	Festgestein	Schutt	Erde/Boden
Fallen	Bergsturz, Felssturz, Steinschlag	Schuttsturz	Erdsturz
Kippen	Felskipfung	Schuttkippung	Erdkipfung
Gleiten (rotationsförmig)	Bergrutschung, Felsrutschung	Schuttrutschung	Erdrutschung
Gleiten (translatorisch)	Felsblockgleitung, Felsgleitung	Schuttblockgleitung, Schuttgleitung	Erdblockgleitung, Erdgleitung
Driften	Felsdriften	Schuttdriften	Erddriften
Fließen	Sackung, Talzusub	Schuttfließen, Muren, Murgang	Erdfließen, Muren, Murgang
Komplex	z.B. Sturzstrom, Steinlawine	z.B. plötzlich und schnelle Fließbewegung in kohäsionslosem Lockergestein	z.B. kombinierte Rotationsrutschung mit Erdfließen

Auf welche Art und Weise sich nun ein Murgang ereignet, ist sehr stark von den morphologischen Eigenschaften der Sturzbahn abhängig. Aus diesem Grund werden Muren neben Grob- und Feinkornanteil auch nach der Gestaltung der Abflussbahnen voneinander differenziert. Dabei wird zwischen Hang- und Gerinnemuren unterschieden. (ANDRECS ET AL. 2010:145). Je nach Art der Mure können die auslösenden Faktoren unterschiedlich sein, was durch Tab. 10 gut repräsentiert wird.

Tabelle 10: Gegenüberstellung der Eigenschaften von Hang- bzw. Gerinnemuren (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:146)

Parameter	Hangmure	Gerinnemure
Auslöser	(Lockersediment-) Rutschungen	Erosion, Verkläuerungen
Lage	Hang (meist unbekannt)	Gerinne (meist bekannt)
Transportstrecke Form	ausgeglichen bis konkav	Gerinne, stark konkav
Transportstrecke - Richtung	mehr oder weniger in Falllinie des Hanges	dem Gerinne folgend
Transportstrecke - Neigung	meist hoch	unterschiedlich, vergleichsweise geringer
Transportstrecke - Erosion	Selten	häufig
Volumen	unterschiedlich, zumeist aber eher gering	sehr unterschiedlich von gering bis sehr groß
Material	häufig feinteilreich	fein bis sehr grob
Ereignisablauf	Einzel	oft in Wellen
Stumme Zeugen	selten, schwer zuzuordnen	Levees, Murköpfe
Ablagerung	unterschiedlich: z.B. auslaufend, Weitertransport in einem Gerinne	Murzunge, Murlappen, Murkopf
Vorfluter	muss nicht vorhanden sein, ev. kleine Gräben oder Gerinne	Bach oder Fluss
primäre Fragestellung	Wo und mit welcher Reichweite treten Hangmuren auf?	welche Volumina, Kräfte oder Ablagerungshöhen können auftreten?
Schutzmaßnahmen	Hangstabilisierung, Objektschutz	Gerinnestabilisierung, Murbrecher

So zeigt die Tabelle unter anderem, dass Hangmuren durch Lockersediments-Rutschungen initiiert werden. Anfangs sind es meist Rutschungen in Hanglagen, die sich mit der Zeit zu einem murähnlichen Prozess entwickeln. Zudem ist es möglich,

dass eine Konzentration des Materials in Verbindung mit einer konkaven Geländeform Hangmuren begünstigen und zu einer Steigerung der Reichweite beitragen. Dennoch muss gesagt werden, dass es keine klare Abgrenzung gegenüber Gerinnemuren gibt. Ein prägnantes Unterscheidungsmerkmal ist, dass Hangmuren einen oberflächlichen Prozess darstellen nur in den seltensten Fällen direkt erodierend wirken. (ANDRECS ET AL. 2010:146)

Darüber hinaus zeichnen sich Hangmuren dadurch aus, dass es im Zuge des Transportprozesses zur Materialablagerung kommt und gleichzeitig aber kein neues Material aufgenommen wird. Aus diesem Grund werden Hangmuren mit ansteigender Transportlänge immer kleiner. Schafft es eine Hangmure in einen Graben oder ein Gerinne vorzudringen, dann besteht die Möglichkeit, dass sie sich zu Gerinnemuren entwickeln oder diese hervorrufen. Hangmuren gelten oft als gefährlich, da sie nur schwer zu lokalisieren sind und deren Eintrittszeitpunkt nur schwer prognostizierbar ist. (ANDRECS ET AL. 2010:146) Gerinnemuren hingegen entstehen vorwiegend in zeitlich oder ständig wasserführenden Gerinnen. Sie lassen sich in Murkessel, Murrinne und Murkegel untergliedern. (ANDRECS ET AL. 2010:147) Um sich dies besser vorstellen zu können, wird durch Abb. 5 ein Murgang grafisch veranschaulicht.

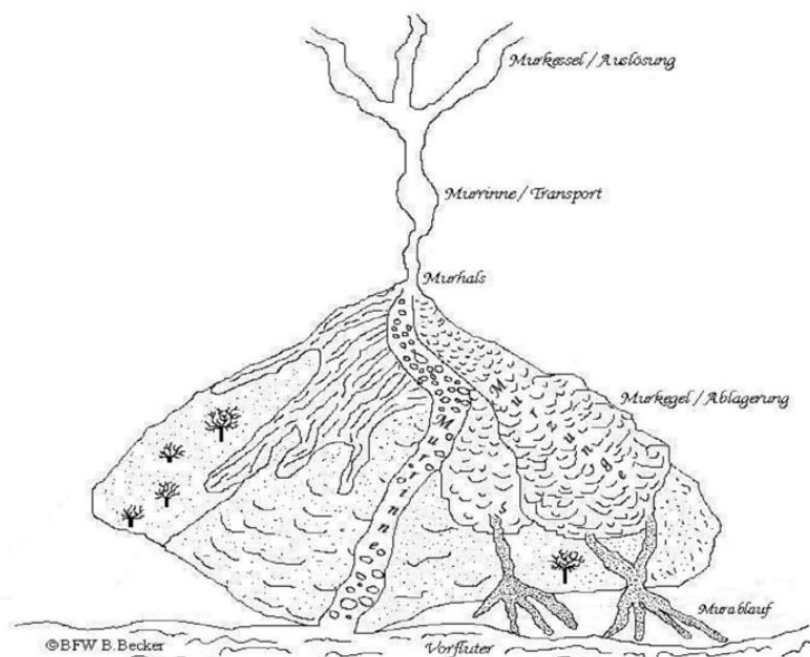


Abbildung 5: Repräsentation eines Murgangs (Quelle: ANDRECS ET AL. 2010:147)

Initiiert werden Gerinnemuren oft durch Abflussmengen, welche einen kritischen Schwellenwert überschreiten. Muren können auch durch Anbrüche eines Hanges in ein Gerinne, bedingt durch eine Sohlverflüssigung, ausgelöst werden. Weitere Ursachen können Impulsbelastungen des Gerinnebettes, Dammbüche oder Verklausungen sein. (ANDRECS ET AL. 2010:147)

6. Geschichtlicher Kontext – Dokumentation von Extremereignissen

Da sich die Diplomarbeit „extremen“ gravitativen Massenbewegungen widmet, sollen in diesem Kapitel drei bedeutende Großereignisse, die sich in der Vergangenheit in Österreich ereignet haben, ausführlich beschrieben werden. Es soll damit gezeigt werden, dass solche Extremereignisse auch in Österreich existieren und diese erheblichen Schäden verursachen können. Darüber hinaus werden zudem noch aktuellere Extremereignisse erläutert, die dies bestätigen sollen.

6.1. Die Mure am Enterbach

In diesem Zusammenhang möchte ich gerne das Murenunglück am Enterbach, welches sich am 26. Juli 1969 in Inzing, einer kleinen Gemeinde in Tirol, ereignete, anführen. Dieses Extremereignis überrollte den Ort und dessen Bewohner in Form von zwei Murgängen, deren Auswirkungen auch einige Jahre nach der Katastrophe immer noch zu sehen waren. Initiiert wurde das Ereignis durch Starkniederschläge verbunden mit Hagel, welche am Rosskogel, einem Berg südlich von Inzing, niedergingen. Die Intensität der Niederschläge war so hoch und führte dazu, dass im oberen Einzugsgebiet des Enterbachs unzählige neue Rinnen und Gräben aufgerissen wurden. Diese transportierten schließlich sehr viel Gesteinsmaterial ab, was durch die Erosionskraft des Wassers ermöglicht wurde. Durch diesen Abtransport wurden einige Feststoffe mitgeführt, deren Ablagerung vor allem auf der „Hundstalalm“ erfolgte. Resultierend daraus erfolgten eine Eintiefung des geschiebeentlasteten Wassers in die Strecke des Gerinnes und ein Abtransport einer großen Menge an Geschiebe, Geröll und Wildholz. Daraus entstand eine Mure mit rasanter Geschwindigkeit, wodurch nahezu alle Wildbachsperrern entlang des Verlaufs des Grabens zerstört wurden. (HÜBL ET AL 2009:62)

Die beiden Murgänge kamen so plötzlich und niemand hatte mit so einem verheerenden Ereignis gerechnet, da die Niederschlagsintensität zum Unglückszeitpunkt selbst nur sehr gering war. Vor dem Eintritt des Ereignisses waren die Wetterbedingungen noch hochsommerlich, so dass auch viele Leute im örtlichen Schwimmbad zu Gast waren. Laut einigen Augenzeugen war die Mure fast 6 Meter

hoch und wirkte fast wie eine „Mauer“ aus Schlamm- und Geröllmassen. Des Weiteren wurden durch den Murgang auch Baumstämme und große Gesteinsblöcke im Ausmaß von 15-20 m³, was einem Gesamtgewicht von ungefähr 40-50 Tonnen gleichkommt, mitgerissen. Das örtliche Schwimmbad, in welchem sich eine Stunde vor der Katastrophe noch über tausend Menschen aufgehalten haben, wurde vollständig überflutet. Glücklicherweise geschah der zweite Murgang nicht unmittelbar nach dem ersten und in der kurzen Zwischenzeit konnten noch einige Menschen aus dem Schwimmbad in Sicherheit gebracht werden. (HÜBL ET AL. 2009:62ff).

Die Ausmaße der Mure waren gesamt gesehen verheerend. Es kam zu einer Vermurung von über 50 Hektar Fläche am Schutzkegel, die Menge der Ablagerung betrug insgesamt knapp 400.000 m³. Drei Menschen kamen bei diesem Unglück ums Leben und 15 Personen wurden verletzt. Zwei Häuser wurden völlig zerstört, eine Kapelle und zwölf weitere Häuser wurden fast 1 Meter hoch eingeschottert. Teile der Arlbergbahn waren aufgrund des Unglücks für zwei Tage unpassierbar und die Aufräumarbeiten dauerten insgesamt ein Jahr lang. (HÜBL ET AL. 2009:62). Mittels Abb.6 soll das gigantische Ausmaß der Naturkatastrophe bildlich dargestellt werden. Es zeigt einen Ausschnitt des völlig verwüsteten Zentrums von Inzing.

Die Gesamtkosten für die Behebung aller Schäden waren schlussendlich sehr hoch und waren der Grund dafür, dass technische Verbesserungsmaßnahmen ergriffen wurden. Heutzutage befindet sich der Enterbach in einem neu angelegten Bachbett. Dadurch lässt sich dieser besser regulieren. Des Weiteren wurde beschlossen ein Ablagerungsbecken am Hals des Schwemmkegels zu installieren, wodurch die Ortschaft Inzing zukünftig besser geschützt werden sollte. (HÜBL ET AL. 2009:63)



Abbildung 6: Verheerendes Ausmaß des Murgangs von Inzing (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:63)

6.2. Historische Bergstürze

Ebenfalls zu erwähnen sind große historische Sturzereignisse, die sich im österreichischen Alpenraum ereignet haben. Sehr bekannt sind hierbei die „Dobratsch-Bergstürze“ oder der „Felssturz am Mönchsberg“ in der Stadt Salzburg. Generell lässt sich feststellen, dass Österreich für seine teils verheerenden Berg- und Felssturzereignisse, die sich in der Vergangenheit zugetragen haben, bekannt ist. Als durchaus extremes Ereignis lassen sich die Bergstürze am Dobratsch nennen. Am 25. Januar 1348 verursachte ein Erdbeben auf der Villacher Alpe mehrere heftige Bergstürze. Die daraus resultierenden Schuttmassen waren so ergiebig, dass die Gail und dessen Flussbett vollständig zugeschüttet wurden. Infolgedessen kam es zur Bildung eines Bergsturzsees. Der See erreichte insgesamt eine Länge von 13 Kilometern und eine Tiefe von mehr als 15 Metern. Dieser schuf sich schließlich einen neuen Weg durch die abgestürzten Massen, woraufhin sich heftige Überschwemmungen bildeten, die auch das Tal erreichten. (HÜBL ET AL 2009:44)

Dieser Bergsturz galt bereits im Mittelalter als ein häufig diskutiertes Thema. Es entstand eine Sage, die behauptet, dass durch das Naturereignis viele Gebäude zerstört wurden, unter anderem seien angeblich ganze Dörfer, Schlossanlagen und Kirchen verschüttet worden. In der heutigen Zeit weiß man jedoch, dass sich dieser in

einem unbewohnten Terrain ereignete. Dennoch wurden 2 Dörfer unbewohnbar und die Bewohner mussten ihre Häuser verlassen. Grund dafür war der Rückstau der Gail, wodurch es zu zahlreichen Überflutungen kam. (HÜBL ET AL. 2009:44)

Zusätzlich konnte zu Beginn des vorherigen Jahrhunderts nachgewiesen werden, dass ein Großteil der Bergsturzmassen, die sich heutzutage im Tal befinden nicht vom Bergsturzereignis des Jahres 1348 stammen, sondern von einigen anderen noch älteren Bergstürzen. (HÜBL ET AL. 2009:44 ff.) Dies lässt sich auch in Abb. 7 sehr gut veranschaulichen.

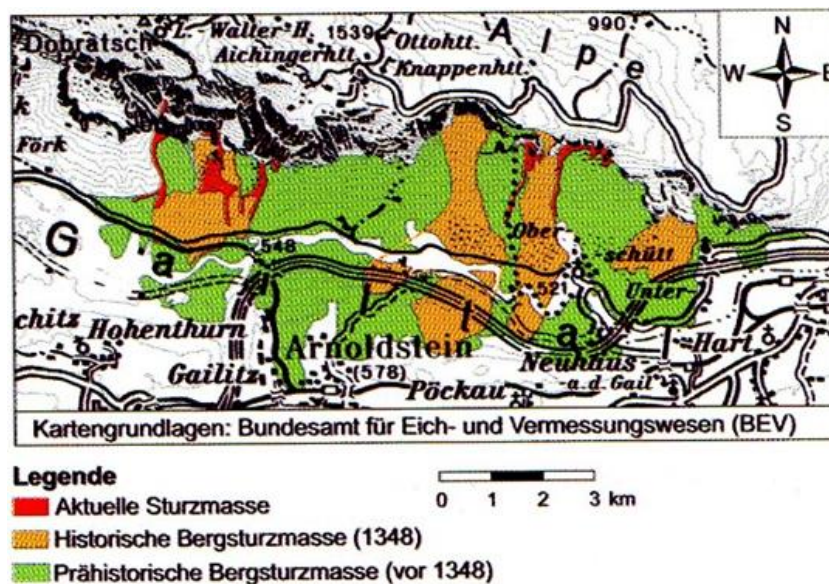


Abbildung 7: Übersicht über die Bergsturzgebiete unterschiedlichen Alters an der Südflanke des Dobratsch (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:44)

Auch in der heutigen Zeit ist es noch möglich, prähistorische Abrissnarben von historischen zu differenzieren. Die Unterschiede zeigen sich vor allem in der Farbe der Abrisse. Ältere Abrisse sind durch eine graue Verwitterung gekennzeichnet, jüngere hingegen weisen eine rötliche Färbung auf. Insgesamt betrachtet bilden sämtliche Bergstürze, die sich im Laufe der Jahre am Dobratsch ereigneten, eine herausragende Bergsturzlandschaft, die seit 1942 unter Naturschutz steht. (HÜBL ET AL. 2009:45)

Ein weiteres extremes Sturzereignis fand am 16. Juli 1669 am Mönchsberg in der Stadt Salzburg statt. Die Folgen dieser Katastrophe waren verheerend. Über 200 Menschen wurden unter den herabfallenden Gesteinsmassen begraben und zahlreiche Gebäude wurden zerstört, darunter auch ein Kloster und die Kirche St. Markus. Nur wenige

Augenblicke später stürzten erneut zirka 400 m³ Gestein ab, wodurch 30 weitere Menschen ums Leben kamen, die die bereits Verschütteten retten wollten. Grund für diese Katastrophe war die Errichtung von Kellern und einigen Gewölben. Dafür wurde der Fuß des Berges ausgehöhlt, wodurch dieser instabil wurde. Glaubt man einigen Aussagen entstand durch das Unglück so viel Schutt, dass ich ein regelrechter Schuttberg bildete, durch welchen es sogar möglich gewesen wäre den nahegelegenen Mönchsberg zu erreichen. Insgesamt kamen durch das Unglück 250 Menschen ums Leben. (HÜBL ET AL. 2009:45). Abb. 8 zeigt jenen Bereich, wo sich die Gesteinsmassen einst lösten.



Abbildung 8: Mönchsberg Salzburg (Quelle: HÜBL ET AL. 2009:45)

6.3. Aktuellere Extremereignisse

Im Rahmen der Diplomarbeit ist es auch wichtig, aktuelle gravitative Phänomene extremen Ausmaßes zu repräsentieren, um aufzuzeigen, dass diese in der heutigen Zeit jederzeit auftreten können und es immer notwendiger sein wird geeignete Schutzmaßnahmen zu installieren.

Ein Beispiel dafür wäre jener Felssturz, der in den Abendstunden des 7. Juli 2009 nördlich der Ortschaft Dürnstein in der Wachau über die Bühne ging. Dabei kam es an der „Biratalwand“ zum Absturz großer Gesteinsmassen. Infolgedessen entstanden weitreichende Schäden. Es kam unter anderem zu einer starken Beschädigung der

Donauuferbahn-Zugstrecke. Die Bahntrasse wurde auf einer Länge von zirka 30 Metern unter mehreren großen Gesteinsblöcken völlig begraben. In diesem Bereich war das Schadensmaß am höchsten. Es wird geschätzt, dass sich das Gesamtvolumen der abgestürzten Massen auf zirka 11.000 m³ beläuft, der größte gefundene Gesteinseinzelblock kam auf ein Volumen von zirka 1.000 m³. Darüber hinaus erreichten einige kleinere Sturzblöcke sogar die nahegelegene Landesstraße B3 und den Radweg. (MÜLLEGER 2013:18). Abb. 9 zeigt das gewaltige Ausmaß, so wie den Bereich, in welchem sich dieses Ereignis zugetragen hat.



Abbildung 9: Felssturz in Dürnstein/Wachau (Quelle: MÜLLEGER 2013:18)

Glücklicherweise kam bei diesem Ereignis kein Mensch ums Leben, jedoch war das Ausmaß der Sachschäden erheblich. (MÜLLEGER 2013:18)

Ein weiteres Beispiel ist die Felssturzkatastrophe in der Nähe des Ortes Golling in Salzburg. Hierbei stürzten Gesteinsmassen im Ausmaß von zirka 50.000 Kubikmetern ins nahegelegene Tal. Der Abbruch erfolgte dabei an der südlichen Wand des Göllmassivs, welches sich auf 1800 Meter Höhe nahe der bayrischen Grenze im oberen Bereich der Jochalmen befindet. Auslösender Prozess war dabei das Schmelzwasser, welches im Inneren des Kalkgesteins einen Überdruck hervorrief.

Glücklicherweise ereignete sich der Felssturz in einem unbewohnten Terrain, so dass niemand zu Schaden kam. Dennoch zeigte sich auch hier, dass präventive Maßnahmen von großer Relevanz sind. Durch den Einsatz von seismischen Messgeräten konnte dieses Ereignis registriert und lokalisiert werden. (ZAMG: 2018)

Im September 2018 kam es in zahlreichen Bundesländern zu erheblichen Schäden durch den Abgang von Muren. Als Extrembeispiel sei hier der Murenabgang in der Gemeinde Gasen im Bezirk Weiz in der Steiermark zu nennen. Hier waren die Murenabgänge so heftig, dass sogar Katastrophenalarm ausgelöst wurde. Die sich dort befindliche Landstraße und sogar Brücken wurden teilweise weggerissen und das Bundesheer musste zur Hilfe gerufen werden. Zudem mussten zahlreiche Häuser evakuiert werden und die Bewohner konnten für einige Zeit nicht in ihre Häuser zurückkehren. Der Gesamtschaden des Ereignisses belief sich auf rund 2 Millionen Euro. Auslöser waren extreme Niederschläge, die schließlich zur Hanginstabilität führten. (ORF:2018)

Dass es sich bei jenen Niederschlägen, die das Ereignis auslösten um keine gewöhnlichen handelte, bestätigte auch der dort ansässige Bürgermeister Gruber.

„Dass es so extrem wird, damit haben wir nicht gerechnet, es hat zum Teil 100 Liter pro Quadratmeter oder mehr geregnet, der Bach war noch nie so groß, obwohl wir schon sehr viele Unwetter hatten.“
(Aussage des Bürgermeisters Gruber, ORF:2018)

Abb. 10 zeigt einen kleinen Ausschnitt des verheerenden Abgangs der Mure.



Abbildung 10: Murenabgang Gemeinde Gasen (Quelle ORF:2018)

7. Extreme Massenbewegungen

Dieses Kapitel beschäftigt sich nun explizit mit Extremereignissen. Um Ereignisse mit erhöhter Magnitude („Extremereignisse“) von „gewöhnlichen“ Ereignissen abgrenzen zu können, wurden in dieser Diplomarbeit reguläre Klassifikationsschemata ausgewählt und die dabei jeweils höchste Stufe als „extrem“ deklariert. Darüber hinaus wird versucht, die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen zu analysieren. Für diese Analyse wurden zum größten Teil klimatisch-hydrologische Parameter herangezogen. In einem weiteren Schritt werden schließlich weitere Einflussfaktoren, die zu einem wahrscheinlichen Anstieg von Extremereignissen führen werden, vorgestellt.

7.1. Extreme Sturzprozesse

Eine Möglichkeit, um extreme Sturzprozesse von normalen Sturzprozessen zu unterscheiden, wäre beispielsweise das Ausmaß der kinetischen Energie (E) (wie in Tab. 11 ersichtlich)

Tabelle 11: Extreme Sturzprozesse, gemessen an Kilojoule (Quelle: GLADE ET STÖTTER 2007:157)

Intensität	Sturzprozesse (E)	Rutschung (V)	Mure (M)	potenzielle Schadenswirkung
gering	< 30 kJ	≤ 2 cm/Jahr	< 0,5 m	Fenster gehen ggf. zu Bruch, Bauwerke werden leicht beschädigt, Menschen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet
mittel	30-300 kJ	> 2 bis mehrere dm/Jahr	0,5-2 m	Bauwerke werden stark beschädigt, Menschen sind innerhalb und außerhalb von Gebäuden gefährdet
stark	> 300 kJ	> 0,1 m/Tag (flachgründige Rutschungen) > 1 m/Ereignis starke Differenzialbewegungen	> 2 m	Betonkonstruktionen werden extrem beschädigt oder zerstört, Menschen sind innerhalb und besonders außerhalb von Gebäuden stark gefährdet

„Extreme“
Sturzprozesse



Sturzprozesse geringerer Intensität erreichen höchstens 30 Kilojoule. Dabei kommt es lediglich zur leichten Beschädigung von Gebäuden. Sturzprozesse mit einer starken Intensität im Ausmaß von mindestens 300 Kilojoule oder mehr führen zu einer besonders starken Gefährdung von Menschen, die sich im oder außerhalb des Gebäudes befinden. (GLADE ET. STÖTTER 2007:157)

Laut dieser Betrachtung und unter Miteinbeziehung dieser drei Stufen, würden sich daher Sturzprozesse ab einem Schwellenwert von **300 Kilojoule** als „extrem“ bezeichnen lassen, da sie auch mit einem deutlich höheren Schadensausmaß einhergehen als Sturzprozesse geringerer oder mittlerer Intensität.

Generell muss hier aber hinzugefügt werden, dass in Tab. 11 nur beispielhaft eine Variable pro Prozesstyp zur Unterscheidung der Intensität repräsentiert wird. GLADE ET STÖTTER verweisen darauf, dass es je nach Prozesstyp weitere Variablen gibt, die zur Einteilung der Intensität herangezogen werden könnten. Beispielsweise wäre bei Sturzprozessen auch eine Untergliederung in Intensitätsklassen gemessen an der Sprunghöhe oder der Rotation der Steine möglich. (GLADE ET STÖTTER 2007:157)

Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit wäre die Unterteilung in Volumenklassen, gemessen am Volumen in cm^3 . Der dabei gemessene Parameter wäre in diesem Fall die repräsentative Größe eines Einzelblocks, der sich potentiell aus einem Abbruchgebiet lösen könnte. Dabei wählten PROSKE und BAUER für jedes Abbruchgebiet potentielle Blockgrößen aus, von denen sie der Meinung sind, dass sie in dieser Art und Weise auch in der jeweiligen Lokalität auftreten könnten. Die repräsentative Blockgröße ist hierbei nicht die maximal vorgefundene Blockgröße in den Sturzhalden im jeweiligen Abbruchgebiet. Als Bemessungsgrundlage fungiert in diesem Fall eine Sturzblockgröße, welche eine zirka 95%ige Wahrscheinlichkeit aufweist. (PROSKE ET BAUER 2013:88)

Mittels Tab. 12 sollen nun die verschiedenen Volumenklassen, die im Zuge des Projekts „MoNOE“ von PROSKE ET BAUER zur Intensitätsmessung herangezogen werden, tabellarisch dargestellt werden.

Tabelle 12: Extreme Sturzprozesse, gemessen am Volumen in cm^3 eines Einzelblocks (Quelle: PROSKE ET BAUER 2013:88)

I	> 125.000	> 50	Wettersteinkalk, Dachsteinkalk, Gföhler Gneis
II	8.001 – 125.000	20 – 50	Wettersteindolomit, Hauptdolomit, Reiflinger Kalk
III	1.001 – 8.000	10 - 20	Gesteine der Flyschzone
IV	< 1.000	< 10	Hangschutt, quartäre Terrassen

Bezieht man sich auf dieses Klassifikationsschema, so wäre es nun naheliegend, gravitative Phänomene der Volumenklasse I als „extrem“ zu deklarieren. Dabei erreichen Einzelblöcke ein Volumen von 125.000 cm³ oder mehr und weisen auch eine höhere Kantenlänge auf als die anderen Volumenklassen. Als besonders anfällige Gesteinsarten erwähnen PROSKE ET BAUER hierbei den Wettersteinkalk, den Dachsteinkalk und den Gföhler Gneis. (PROSKE ET BAUER 2013:88)

Zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit

Da es im Zuge der Literaturrecherche sehr schwierig war, Literatur zu finden, die sich ausschließlich mit dem Auftreten von Extremereignissen im österreichischen Alpenraum beschäftigt und ich feststellen musste, dass es zum Status Quo kaum eindeutige Daten gibt, die sich explizit mit der zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen im alpinen Raum beschäftigen, erschien es mir sinnvoll Faktoren heranzuziehen, die wahrscheinlich zu einem Anstieg von Extremereignissen beitragen werden. In diesem Unterpunkt soll nun gezeigt werden, ob in zukünftig vermehrt mit Extremereignissen zu rechnen ist und vor allem durch welche Faktoren diese begünstigt werden könnten. Dabei ist es notwendig, verschiedene klimatische, als auch anthropogene Faktoren heranzuziehen, durch welche das Eintrittsrisiko eines Ereignisses mit starker Intensität wahrscheinlich erhöht wird. Zuerst soll die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit von extremen Sturzprozessen beschrieben werden, in Unterkapitel 7.2. wird schließlich gezeigt, inwiefern Starkniederschläge extreme Fließ- und Rutschprozesse begünstigen.

Wie schon bekannt, spielt der Klimawandel bei Sturzphänomenen verbunden mit der globalen Erderwärmung eine entscheidende Rolle. Wie auch schon im fünften Kapitel ausführlich beschrieben, hängen Fels- und Bergstürze häufig mit der Abnahme des Permafrostes, bedingt durch die steigenden Temperaturen, zusammen.

Zudem ist auch bekannt, dass die Temperaturen in den letzten 50 Jahren speziell im Alpenraum vergleichsweise stärker angestiegen sind, als es in manch anderen Regionen der Erde der Fall war. Auch in Zukunft ist mit stets steigenden Temperaturen zu rechnen. Laut einigen globalen Zirkulationsmodellen steigt die alpine Jahresmitteltemperatur bis zum Jahr 2100 um zirka 3,5 ° Celsius. Des Weiteren zeigt

sich, dass sich der Temperaturanstieg in den Alpen nicht überall gleich äußert. (ZAMG: 2019). Laut ZAMG steigen die Temperaturen in Südtirol oder in Regionen, die sich südlich des Alpenbogens befinden stärker an als in einigen anderen alpinen Gebieten. Auch die Höhe ist entscheidend. In höheren alpinen Zonen ist das Ausmaß des Temperaturanstiegs in einem stärkeren Ausmaß zu spüren, als in niedriger gelegenen Regionen. (ZAMG: 2019).

Zur besseren Vorstellung wird in Abb. 11 von FORMAYER ET AL. der Temperaturanstieg in Österreich, bedingt durch die Klimaerwärmung grafisch dargestellt. FORMAYER ET AL. rechnen sogar mit einem noch höheren Temperaturanstieg im Jahresdurchschnitt. Sie gehen davon aus, dass sich die Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um mehr als 4 ° Celsius erhöhen wird. (FORMAYER ET AL. 2009:40)

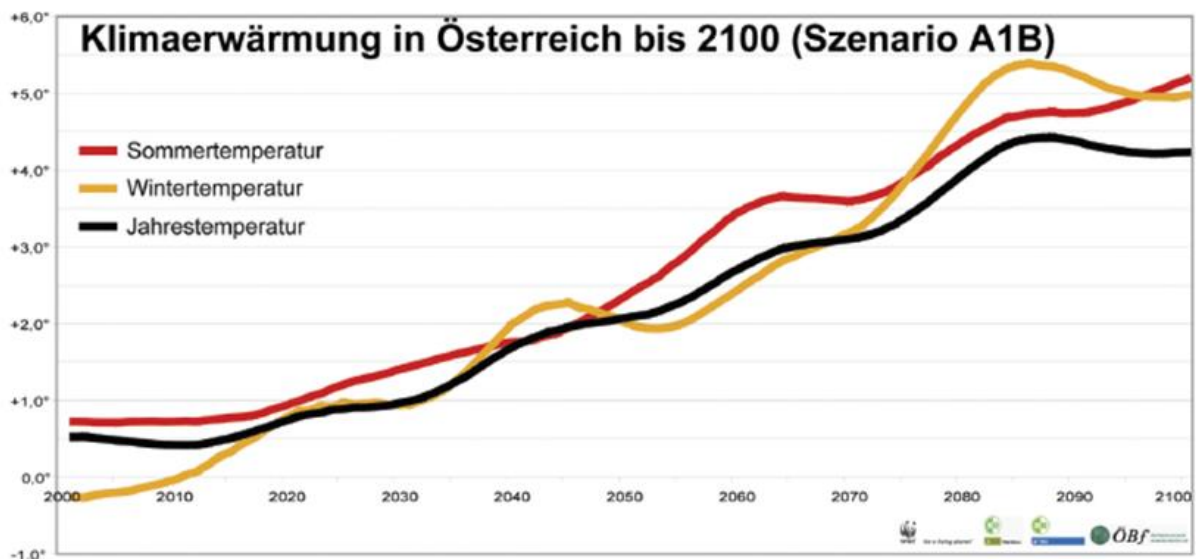


Abbildung 11: Temperaturanstieg in Österreich (Quelle: FORMAYER ET AL. 2009:40)

Die Prognosen über die Temperaturzunahme von der ZAMG und von FORMAYER ET AL. sind nur Beispiele, es gäbe mit Sicherheit noch etliche weitere Klimadaten, die einen ähnlichen Temperaturtrend prognostizieren würden. Nichtsdestotrotz sagen alle Modelle einen eindeutigen Temperaturanstieg voraus. Dies wirkt sich auch entscheidend auf den alpinen Permafrost aus.

Wie schon im Unterkapitel 5.1.1. beschrieben, stellt Permafrost einen entscheidenden Faktor für die Hangstabilität dar. Im Hochgebirge sind die Folgen des Temperaturanstiegs heutzutage schon deutlich zu erkennen, was sich auch negativ

Extreme Massenbewegungen

auf das Permafrostvorkommen auswirkt. Durch abschmelzenden Permafrost steigt das Risiko von Hanginstabilitäten erheblich (ZAMG 2019). Die ZAMG betont, dass bereits sehr leichte Klimaveränderungen zu einer starken Veränderung der Permafrostbedingungen führen können. Darüber hinaus spielte abschmelzender Permafrost bei vielen Berg- und Felsstürzen, welche sich in den letzten Jahren ereignet haben, eine mitwirkende Rolle. (ZAMG:2019).

Der DAV hat den Zusammenhang zwischen auftauenden Permafrost und Fels- bzw. Bergstürzen in den Schweizer Alpen untersucht und stellte fest, dass sich seit dem Jahr 2010 zwölf größere Felsstürze in Permafrostgebieten ereignet haben. (DAV:2016) Diese werden nun in Tab. 13 kurz dargestellt.

Tabelle 13: Felsstürze, initiiert durch abschmelzenden Permafrost (Quelle: DAV:2016)

Ort/Gipfel	Datum	Höhe (m)	Ausrichtung	Volumen (m ³)
Cengalo	07/2011	2.950	NW	10.000
Piz Lischana	07/2011	3.100	SE	2.000
Klein Kärf	08/2011		N	1.700
Birghorn	11/2011	2.870	N	500.000
Häuslhorn	06/2012	2.000	S	10.000
Cengalo	12/2011	2.950	N	1,5 Mio.
Sattelstöckli	07/2012	2.400	NO	5.000
Sphinx	10/2012	3.500	SSE	1.500
Cengalo	09/2013	2.740	N	100.000
Ober Rotegg	05/2014	2.650	SW	20.000
Casaccia	08/2014	2.000	S	2.000 - 3.000
Piz Kesch	02/2014	3.100	N	150.000

Die verheerendsten Felsstürze waren dabei jener am Piz Cengalo im Bergell (1,5 Mio. m³) und am Birghorn, wo sich 500.000 m³ Gestein lösten. (DAV:2016) Auch für die österreichischen Alpen lassen sich Beispiele nennen, welche durch auftauenden Permafrost initiiert wurden. So kam es im Jahr 2017 zu einem riesigen Felssturzereignis am Wiesbachhorn im salzburgerischen Pinzgau. Hierbei lösten sich mehr als 150.000 Tonnen Gestein, welche in mehr als 3000 Meter Seehöhe abbrachen und ein Gletscherkar verwüsteten. Glücklicherweise ereignete sich der Vorfall in einem unbewohnten Terrain. (ORF:2017)

Geht man nun davon aus, dass die Temperaturen in den nächsten Dekaden weiterhin deutlich ansteigen werden und es gleichzeitig zu einer Abnahme des Permafrostes kommt, welcher wiederum für die Hangstabilität verantwortlich ist, dann kann man daraus schließen, dass sich durch das Zusammenspiel dieser Faktoren die Eintrittswahrscheinlichkeit von extremen Sturzprozessen zukünftig erhöhen wird.

Das AWEL und die IBK gehen ebenfalls davon aus, dass es durch die voranschreitende Erwärmung zu einem vermehrten Auftreten von Felsstürzen kommt. (AWEL ET IBK 2007:23). GLADE ET AL. merken zudem an, dass ein sich reduzierender Permafrostbestand in Lockersedimenten auch vermehrt Muren hervorrufen kann. (GLADE ET AL. 2014:559)

7.2. Extreme Fließ- und Rutschprozesse

Um herauszufinden, ab welchem Ausmaß man von einem „extremen“ Fließ- bzw. Rutschprozess sprechen kann, besteht die Möglichkeit, sich auf die Geschwindigkeit eines gravitativen Phänomens zu beziehen. Dieses Klassifikationsschema könnte aber genauso gut auch für Sturzprozesse angewendet werden, da auch diese in unterschiedlichen Geschwindigkeiten auftreten können. Wie bereits in Tab. 2 „Geschwindigkeit und Schadensausmaß gravitativer Massenbewegungen“ ersichtlich, lassen sich diese in insgesamt 7 verschiedene Geschwindigkeitsklassen unterteilen. Tab. 14 repräsentiert diese erneut.

Extreme Massenbewegungen

Tabelle 14: Extreme Rutschungen, gemessen an der Geschwindigkeit (Quelle: BELL ET AL. 2010:13)

„Extreme“ Fließ-
und Rutschprozesse



Geschwindigkeitsklasse	Beschreibung	Geschwindigkeit (mm/sec)	typische Geschwindigkeit	mögliches Schadensausmaß
7	extrem schnell			Katastrophencharakter; Zerstörung von Bauwerken; viele Tote; Fluchtmöglichkeit unwahrscheinlich
		5×10^3	5m/sec	
6	sehr schnell			Einige Tote; Geschwindigkeit zu groß, um allen Personen die Flucht zu ermöglichen
		5×10^1	3m/min	
5	schnell			Flucht und Evakuierung möglich; Struktur der Gebäude und Einrichtung zerstört
		5×10^1	1,8m/Stunde	
4	mäßig schnell			Unempfindliche Bauwerke können befristet erhalten werden
		5×10^3	13m/Monat	
3	langsam			Sicherungsmaßnahmen sind während der Bewegung durchführbar; unempfindliche Strukturen können mit häufigen Sanierungsarbeiten erhalten werden, falls die Gesamtbewegung während einer Beschleunigungsphase nicht zu groß wird
		5×10^5	1,6m/Jahr	
2	sehr langsam			Einige Bauwerke können den Bewegungen widerstehen
		5×10^7	16mm/Jahr	
1	extrem langsam			Bewegungen sind ohne Messgeräte nicht wahrnehmbar; Baumaßnahmen sind mit Auflagen möglich

Die ersten fünf Geschwindigkeitsklassen inkludieren Fließ- und Rutschbewegungen, bei denen Sicherungsmaßnahmen während der Bewegung noch durchführbar sind. Es kommt zwar zur Zerstörung von Gebäuden und Einrichtungen, eine rechtzeitige Flucht und Evakuierung ist jedoch noch möglich, so dass weitestgehend keine Menschen zu Schaden kommen. Bei sehr schnellen bzw. extrem schnellen Bewegungen (Geschwindigkeitsklasse 6 und 7) besteht keine Möglichkeit mehr rechtzeitig Schutz zu finden oder das Gelände zu evakuieren, da die Geschwindigkeit zu groß ist, um rechtzeitig flüchten zu können. Es kommt zu Todesfällen, Geschwindigkeitsklasse 7 hat sogar Katastrophencharakter. (BELL ET AL. 2010:13)

In Anbetracht dessen und unter Miteinbeziehung des möglichen Schadensausmaßes könnte man nun sagen, dass Fließ- und Rutschprozesse der Kategorie 6 oder 7 als „extrem“ bezeichnet werden könnten. In Geschwindigkeit ausgedrückt wären dies demnach alle Prozesse, die schneller als 3m/min sind.

Ein weiterer Ansatz Rutschungen in Intensitätsklassen zu unterteilen stammt von der BWG. Hierbei wird zwischen schwachen, mittleren und starken Rutschprozessen unterschieden. Verwendete Parameter zur Beurteilung sind in diesem Fall die

Extreme Massenbewegungen

durchschnittliche Geschwindigkeit einer Rutschung (v) und das Ausmaß der Mächtigkeit der vorhandenen mobilisierbaren Schicht (M). Bei Hangmuren werden darüber hinaus noch Faktoren wie das Ausmaß der Ablagerung, hier mit (h) gekennzeichnet, und der mittlere Staudruck (q_f) zur Intensitätsmessung herangezogen. (BWG:2004). Tab.15 stellt diese Unterteilung nun grafisch dar.

Tabelle 15: Übersicht der Beurteilungskriterien von Intensitätsklassen von Rutschungen (Quelle: NIEDERBICHLER 2014:66)

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> mittlerer Staudruck	$M < 0.5 \text{ m}$ - $q_f < 6 \text{ kN/m}^2$	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$ $6 \text{ kN/m}^2 < q_f < 60 \text{ kN/m}^2$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$ $q_f > 60 \text{ kN/m}^2$
v ... durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit M ... Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht h ... Mächtigkeit der Ablagerung q_f ... mittlerer Staudruck			

Als „extrem“ könnten laut diesem Klassifikationsschema Rutschungen bezeichnet werden, deren durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit $> 0,1 \text{ m/ Tag}$ beträgt bzw. es zu Verschiebungen von $> 1 \text{ m}$ pro Ereignis kommt. Hangmuren würden demnach als extrem gelten, wenn die mobilisierbare Schicht eine Mächtigkeit von mindestens 2 Meter aufweist und die Ablagerung durch eine Mächtigkeit, welche 1 Meter oder mehr beträgt, gekennzeichnet ist, bzw. der mittlere Staudruck auf einen Wert von 60kN/m^2 oder mehr kommt. (BWG:2004)

Eine weitere Möglichkeit Rutschungen voneinander abzugrenzen wäre die Messung der Rutschungsfläche (m^2) und des Rutschungsvolumens (m^3). Demnach würden sehr kleine bis kleine Rutschungen zumeist lediglich eine Rutschungsfläche bis zu 1000 m^2 erreichen oder ein Rutschungsvolumen bis zu 5000 m^3 aufweisen. Große bis sehr große Rutschungen übertreffen diese Werte deutlich und weisen teilweise eine Rutschungsfläche von über 50.000 m^2 bzw. ein Rutschungsvolumen von über

1.000.000 m³ auf. (MUMIC 2012:9). Die Unterteilung wird durch Tab. 16 nun grafisch dargestellt.

Tabelle 16: Extreme Rutschungen, gemessen an der Fläche und dem Volumen (Quelle: Mumic 2012:9)

Rutschungen	Rutschungsfläche (m ²)	Rutschungsvolumen (m ³)
Sehr klein	<100	<100
Klein	100 – 1 000	100 – 5 000
Mittlere Größe	1000 – 10 000	5 000 – 100 000
Groß	10 000 – 50 000	100 000 – 1 000 000
Sehr groß	> 50 000	> 1 000 000

„Extreme“
Rutschungen



Da davon auszugehen ist, dass durch Rutschprozesse die große oder sehr große Rutschungsflächen und Rutschungsvolumina aufweisen, das damit verbundene Schadensausmaß weitaus größer ist und dabei vermutlich auch mehr Menschen zu Schaden kommen würden als bei kleineren Rutschungen, könnte man auch diese durchaus als „extreme Rutschungen“ interpretieren. Ausgedrückt in Werten würden also Rutschungen ab einer Rutschungsfläche von 10.000 m² und einem Rutschungsvolumen von 100.000 m³ oder mehr als extrem gelten.

Zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit

Wie schon bei den Sturzprozessen, soll auch die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit von Fließ- und Rutschprozessen erläutert werden.

Wie bereits in den Kapiteln 5.3.2. und 5.4.2. beschrieben, werden Rutschungen und Muren häufig durch Starkniederschlagsereignisse, die ebenfalls eng mit dem Klimawandel zusammenhängen, ausgelöst. Darüber hinaus verweist die ZAMG, dass sich auch die generelle Niederschlagsmenge im österreichischen Alpenraum bis 2050 um zirka 8 % erhöhen wird. (ZAMG:2019). Des Weiteren wird vermutet, dass es auch zu einem zukünftigen Anstieg von Starkregenereignissen kommt. Einige Klimamodelle prognostizieren beispielsweise in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar nicht nur einen Anstieg der Niederschlagstage, sondern auch eine Erhöhung der Niederschlagsintensitäten um bis zu 10 %, was wiederum einen 20%igen Anstieg des mittleren Niederschlags zur Folge hat. (ZAMG:2019).

Auch das AWEL und die IBK meinen, dass sich extreme Niederschläge in Zukunft häufen werden. (AWEL ET IBK 2007:21). Sie sind der Auffassung, dass es dadurch vermehrt zu Hangrutschungen kommen wird. (AWEL ET IBK 2007:23).

Speziell für Österreich kann ein Anstieg von Intensivniederschlagsereignissen weitreichende Folgen haben. Da Österreich ein sehr gebirgiges Land ist, führen Starkniederschläge nicht nur zu einem Anstieg von Überschwemmungen, sondern eben auch zu einem Anstieg von geomorphologischen Prozessen. Dies bedeutet, dass durch Starkregenereignisse zukünftig auch vermehrt Steinschläge, Muren oder Hanginstabilitäten initiiert werden könnten. Dies führt zusammen mit dem Rückgang des Gletschers und dem Abschmelzen des Permafrosts zu einem Anstieg des allgemeinen Gefährdungspotentials in gebirgigen Regionen, für welches die vorhandenen Schutzsysteme im Wildbach- und Lawinenverbau oftmals nicht mehr ausreichen. (FORMAYER ET AL. 2001:37)

Unter der Annahme, dass die Gesamtmenge des Niederschlags und die Eintrittswahrscheinlichkeit von Starkniederschlagsereignissen in Zukunft steigen werden, kann man daraus schließen, dass sich dadurch wahrscheinlich auch die Anzahl extremer Fließ- und Rutschprozesse, ausgelöst durch den Faktor Starkniederschlag, in Zukunft erhöht.

Ein aktueller Zustandsbericht der Alpen bestätigt diesen Trend. Dabei wurden in den vergangenen Dekaden, speziell im Zeitraum von 1985-2017, viele Muren und Überschwemmungen großen Ausmaßes registriert. Abb.12 veranschaulicht diese Entwicklung und es zeigt sich, dass sich Naturereignisse nicht nur auf den österreichischen Alpenraum beschränken, sondern im gesamten Alpengebiet eine wichtige Rolle spielen. Daher ist es auch notwendig, dass ein länderübergreifendes Risikomanagement betrieben wird. Zusätzlich ist anzumerken, dass Abb. 12 keine Datensätze von Italien enthält. Das Land stützt sich auf unterschiedliche Daten betreffend Extremereignissen im Alpenkonventionsraum und wird daher nicht berücksichtigt. (STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2019:26).

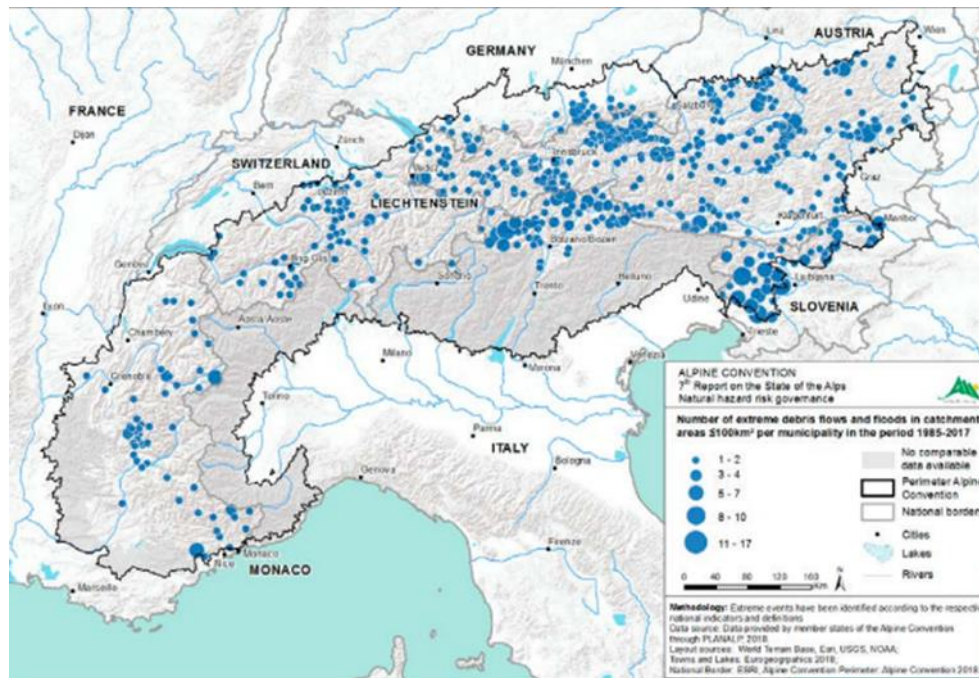


Abbildung 12: Extreme Muren und Überschwemmungen des Alpenraums (1985-2017) (Quelle: STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2019:27)

7.3. Weitere Faktoren zur Begünstigung von Extremereignissen

In diesem Unterkapitel soll gezeigt werden, dass es durchaus noch weitere Parameter gibt, die zu einem Anstieg von Extremereignissen führen könnten. Zuerst wird auf die verheerenden Folgen von Waldbränden eingegangen. Danach soll gezeigt werden, inwieweit alpine demographische Entwicklungen Extremereignisse begünstigen. Auch sogenannte „Man-Made-Hazards“ sind oft für die Initiierung von Naturereignissen verantwortlich. Ein besonderes Augenmerk gilt auch den verheerenden Auswirkungen des Alpentourismus. Die Liste der Indikatoren ließe sich vermutlich noch deutlich erweitern, jedoch wurden in dieser Diplomarbeit jene Faktoren gewählt, die meiner Meinung nach am ausschlagkräftigsten sind.

7.3.1. Waldbrände:

Neben den direkten klimatischen Faktoren wie Temperaturzunahmen und Starkniederschlägen könnten auch Waldbrände zu einer Zunahme von gravitativen Extremereignissen führen oder diese zumindest indirekt hervorrufen. Durch die in Zukunft stets steigenden Temperaturen, könnte man nun annehmen, dass sich dadurch auch das potentielle Risiko von Waldbränden erhöht.

Laut einem Projekt der ALP FFRIS kann zumindest davon ausgegangen werden, dass die heimischen Wälder immer sensibler auf die Veränderungen des globalen Klimas reagieren werden. Durch Klimaextreme erhöht sich auch das potentielle Waldbrandrisiko deutlich. (ALP FFRIS 2012:14).

Daraus könnte man nun schließen, dass sich Waldbrände im Zusammenhang mit gravitativen Extremereignissen deswegen so verheerend auswirken, da dadurch nicht nur das generelle Waldvorkommen reduziert wird, sondern durch den dabei entstandenen fehlenden Waldbestand oftmals auch keine Schutzfunktion mehr gewährleistet werden kann.

Die ALP FFRIS unterstreicht die Wichtigkeit der Schutzfunktion des Waldbestandes und betont zudem die unabdingliche Kontrollfunktion des Waldes, welcher die Bevölkerung vor Hochwassern, Überschwemmungen, Erd- bzw. Bergrutschen und Lawinen schützen soll. (ALP FFRIS 2012:15). Schutzwälder haben auch eine besondere Wirkung auf Steinschläge. Die vielen Wurzeln der Bäume haben eine große Auswirkung auf den Entstehungsprozess eines Steinschlags, die Baumstämme hingegen behindern beim Absturzprozess die Bewegung der Gesteinsmassen. Die wichtigste Funktion des Schutzwaldes ist es jedoch, abgestürzte Steine abzubremsen und aufzufangen. Kommt es nun zu einer steigenden Entwaldung an Gebirgshängen, dann erhöht sich auch die Steinschlaggefahr. (JAHN 1988:185).

Darüber hinaus rechnet die die ALP FFRIS damit, dass sich vor allem in den internen und südlichen Alpenregionen die Tage mit erhöhtem Waldbrandrisiko im Zeitraum eines Jahres erhöhen werden. Schätzungen zufolge steigen die Tage mit erheblicher Waldbrandgefahr von bisher 15 im Jahr 1990 auf 20 im Jahr 2050 an. Prozentual ausgedrückt wäre das ein Anstieg der Waldbrandtage um 25 %. Es zeigt sich also recht deutlich, dass in Zukunft immer häufiger mit Waldbränden zu rechnen ist und es immer wichtiger werden wird, gut durchdachte Forstverwaltungsmaßnahmen zu erarbeiten. (ALP FFRIS 2012:41f.). Aus diesen Fakten resultierend, könnte man nun folgenden Sachverhalt schlussfolgern. Reduziert sich der Waldbestand aufgrund von häufiger stattfindenden Waldbränden, dann würde dies auch eine Abnahme der Schutzfunktion für die zivile Bevölkerung bedeuten. Durch die fehlende Schutzwirkung des Waldes wäre die Bevölkerung Naturereignissen in einem größeren Ausmaß hilflos

ausgesetzt und wäre demnach auch verletzungsanfälliger, kurz ausgedrückt die Vulnerabilität steigt. Demnach könnten zukünftig bereits „kleinere“ Ereignisse mit geringen Magnituden extreme Auswirkungen auf die Alpenbevölkerung haben.

Laut MATTNER stellt auch die Veränderung der Vegetation, bedingt durch den Klimawandel, ein Problem für den heimischen Waldbestand dar. Durch den Temperaturanstieg kommt es zu einer Verschiebung des Waldes in höhere Regionen. Daraus resultiert eine Änderung der Artenzusammensetzung und es kommt zu einer Destabilisierung der Ökosysteme. Darüber hinaus siedeln sich immer häufiger Exoten in den alpinen Wäldern an. Als Beispiel lässt sich die Gottesanbieterin nennen, die eigentlich im Mittelmeerraum heimisch ist. Dies führt schlussendlich dazu, dass heimische Wälder immer sensibler auf zukünftig wohl öfter stattfindende Extremwetterereignisse reagieren werden und die Schutzfunktion des Waldes beeinträchtigt wird. (MATTNER 2006:8).

7.3.2. Bevölkerungsentwicklung im Alpenraum

Wie bereits beschrieben, können Naturereignisse und deren Folgen auch Auswirkungen auf die Alpenbevölkerung haben. Dies kann sich in Form von Verletzten, Todesopfern, Gebäudeschäden, Beeinträchtigungen der Infrastruktur oder Zerstörungen von Land- und Ackerbauflächen äußern. Interessant ist es nun herauszufinden, inwiefern sich die Bevölkerung in den Alpen verändert hat.

Dabei zeigt der Bericht der Alpenkonvention klar und deutlich, dass sich die Bevölkerung je nach Region im Zeitraum zwischen 2003 und 2013 relativ unterschiedlich entwickelt hat. Gesamt gesehen lassen sich aber zwei verschiedene Trends feststellen. Einerseits existieren Regionen, die einen starken Anstieg der Bevölkerung verzeichnen. Dies ist vor allem im Westen Österreichs der Fall, speziell in weiten Teilen Nordtirols oder Vorarlbergs. Auch im Bundesland Salzburg weisen viele Gebiete eine Bevölkerungszunahme auf, ebenso Vorstadtregionen von Wien und rund um Klagenfurt. Andererseits gibt es auch alpine Regionen, in denen das Gegenteil der Fall ist. So sind viele Gebiete in Ober- und Niederösterreich von einer Bevölkerungsabnahme betroffen, ebenso betrifft dies einige Regionen in der Steiermark oder in Kärnten. (STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2015:38f.)

Abb. 13 bestätigt die regionale Differenzierung des Bevölkerungswachstums in Österreich. Gemessen wurde hierbei die Bevölkerungsentwicklungsrate je 100 Einwohner des Zeitraumes 2001 bis 2011. Blau-eingefärbte Regionen zeigen einen Bevölkerungsrückgang, orange- bzw. rot- eingefärbte Regionen repräsentieren eine Bevölkerungszunahme.

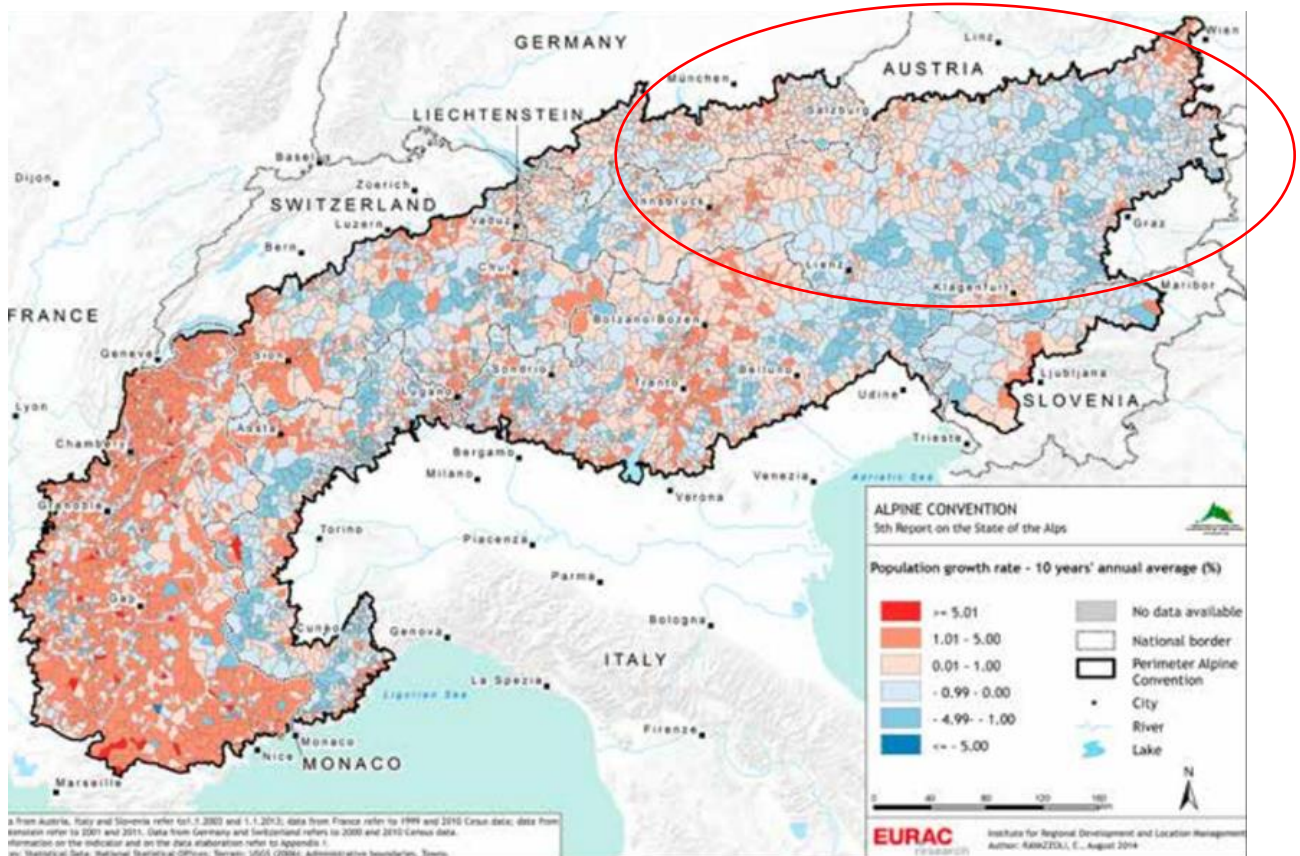


Abbildung 13: Entwicklung der Bevölkerungsrate je 100 Einwohner (Quelle: STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION 2015:36)

Anhand dieser Fakten könnte man nun argumentieren, dass zumindest in jenen Regionen, die durch einen Bevölkerungsanstieg gekennzeichnet sind, gleichzeitig auch die Vulnerabilität der Bevölkerung steigt. Man könnte beispielsweise sagen, dass mit einem Bevölkerungswachstum auch ein verstärktes Infrastrukturaufkommen benötigt wird. Menschen brauchen zudem Häuser, in denen sie leben können. Wie jedoch schon erwähnt, bedeutet der Bau von Straßen und Häusern oftmals einen Eingriff in die Hangstabilität, wodurch gravitative Massenbewegungen initiiert werden könnten. Bezieht man sich nun auf diese Logik und diese Fakten, könnte man die Bevölkerungszunahme durchaus als einen Faktor für die Hervorrufung und Förderung von gravitativen Massenbewegungen nennen. Diese Behauptung ist jedoch mit einer

großen Unsicherheit behaftet, zudem es nicht möglich ist, durch diese Überlegung einen alpenweiten Trend festzumachen. Jedoch erschien es mir wichtig diesen Punkt zu erwähnen.

Auch MATTNER betont, dass die Errichtung von Häusern und der Bau von Straßen destabilisierend wirken. Er plädiert dafür, dass in exponierten Bereichen der Bau von Häusern untersagt werden sollte. (MATTNER 2006:8).

7.3.3. „Man-made“ Hazards

Von Man-made-hazards wird gesprochen, wenn Katastrophen durch den Einfluss des Menschen hervorgerufen werden. Allein die Errichtung von Straßen oder die Erbauung von Häusern in exponierten Regionen können schon dazu beitragen, dass aus einfachen „Naturereignissen“ Naturkatastrophen verheerenden Ausmaßes entstehen. Ebenfalls zu erwähnen sind kontraproduktive Wirtschaftsweisen, die ebenfalls beträchtliche Risiken mit sich bringen. So ist bekannt, dass die Bewirtschaftung von Bergen in immer höhere Regionen vordringt, mit dem Ziel, Straßen, Hotels oder neue Skianlagen für den Wintertourismus zu erbauen. All diese Faktoren tragen zur Destabilisierung des Hanges bei. (MATTNER 2006:9). Als Beispiel für eine falsche Bewirtschaftung in den Alpen lässt sich das Bergsturzereignis von Elm aus dem Jahr 1881 nennen. Die Katastrophe wurde durch den Abbau von Schiefer hervorgerufen. Anfangs waren nur Risse im Boden sichtbar und es erfolgten einige kleine Felsstürze, woraufhin auch der Abbau unterbrochen wurde. Trotz aller Maßnahmen konnte man die Katastrophe nicht mehr abwenden und zahlreiche Schaulustige, die ebenfalls zur Auslösung des Ereignisses beitrugen, kamen ums Leben. Insgesamt wurden durch diesen Bergsturz 115 Personen getötet, sowie 80 Häuser vollkommen zerstört. (MATTNER 2006:10).

GLADE ET AL. sprechen in diesen Zusammenhang auch von direkten gesellschaftlichen Eingriffen im weitesten Sinne. So führen unter anderem auch Eingriffe in die Vegetation oder Veränderungen des Hanges, bedingt durch Flurbereinigungen oder durch die Schaffung neuer Siedlungsflächen, zu Veränderungen der Reliefsphäre. Auch Wildbachverbauungen, Flussbegradigungen oder Eingriffe in den hydrologischen Kreislauf, beispielsweise durch die Errichtung von Staudämmen,

können Auswirkungen auf die Reliefsphäre haben. (GLADE ET AL. 2014:564). Anders ausgedrückt lässt sich sagen, dass der Mensch aktiv in die natürlichen Gegebenheiten eingreift und auch die Prozessabläufe der Reliefsphäre nachhaltig verändert. Die Errichtung von Straßen, die Vergrößerung von Nutzungsflächen oder eine intensive Landnutzung spielen dabei eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus werden Skianlagen oftmals in sehr hohen Bergregionen errichtet, woraufhin es zu einer Reduzierung des Permafrostes kommen kann, wodurch wiederum große Sturzprozesse, die einen großen Schaden anrichten können, initiiert werden könnten. Oft werden Hänge auch durch künstliche Böschungen destabilisiert. Darüber hinaus können auch Aufschüttungen oder Veränderungen der Hangoberfläche, zum Beispiel durch Flurbereinigungen, die Hangstabilität beeinträchtigen. Auf jeden Fall resultiert aus all diesen Eingriffen eine Veränderung der hydrologischen Gegebenheiten. Diese äußert sich beispielsweise im natürlichen Oberflächenabfluss oder in einer Veränderung der Wasserbewegungen mittels Drainagen. (GLADE ET AL. 2014:564).

Es zeigt sich also insgesamt relativ deutlich, dass der anthropogene Eingriff große Auswirkungen auf die Reliefsphäre hat. Dies lässt sich auch in Österreich feststellen. (GLADE ET AL. 2014:565). Abschließend lässt sich sagen, dass der Einfluss des Menschen einerseits zu einer Abschwächung von klimatischen Faktoren führen kann, andererseits aber eben auch zu einer Intensivierung. (GLADE ET AL. 2014:563). Ein generelles Problem liegt darin, dass sich anthropogene Faktoren mit klimatischen Auslösern verbinden und diese zur selben Zeit stattfinden. Oft finden diese allerdings nicht gleichzeitig statt, sondern zeitversetzt. So wäre beispielsweise eine frisch entwaldete Region erst dann mit gravitativen Prozessen konfrontiert, wenn auch das auslösende Ereignis, zum Beispiel ein Intensivregen eintritt. Dabei würde es zudem keine Rolle spielen, wenn dieses Ereignis erst nach einiger Zeit in Erscheinung tritt. (GLADE ET AL. 2014:565).

7.3.4. Alpentourismus

Einerseits ist zwar bekannt, dass der österreichische Wintertourismus mit wirtschaftlichen Einbußen zu kämpfen hat, andererseits kommen die Auswirkungen des Klimawandels vielen Skiresorts sogar zu Gute und sie nutzen die Gelegenheit daraus Profit zu schlagen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass es in niedrigeren

Lagen zwar zu einem Schneemangel verbunden mit Kostenerhöhungen und dem steigenden Druck der Konkurrenz über eine immer kleinere werdende Zielgruppe kommt, andererseits nutzen genau diese Situation viele Skiresorts aus, indem sie nicht resignieren, sondern stattdessen in höhere Lagen investieren und ihre Skigebiete weiter ausbauen. (RINGLER 2017:31). Simpel ausgedrückt bedeutet dies also nichts anderes, dass höher gelegene Skiresorts von der Missgunst der niedrig gelegenen Skigebiete profitieren. Während Skigebiete tieferer Lagen oft dazu gezwungen sind, ihren Bestand zu minimieren oder gar zuzusperren, rüsten Skiresorts höherer Lagen sogar auf und bauen ihren Skibetrieb aus. Auffällig ist zudem, dass in einigen schneeunsicheren Gebieten mehr als je zuvor in den Ausbau des Wintertourismus investiert wurde. (RINGLER 2017:31f.). Die Errichtung von Skipisten hat aber auch einen entscheidenden Nachteil. Es wird aktiv ins Gelände eingegriffen, wodurch die Eintrittswahrscheinlichkeit von gravitativen Prozessen deutlich erhöht wird. Darüber hinaus wird auch das Abflussnetz bzw. das Abflussregime verändert. (RINGLER 2017:34).

Bezüglich Hangstabilität spricht Ringler beim Bau von Skipisten von einer aktiven Reliefveränderung. Es kommt zu Felssprengungen oder zu Auskofferungen und Injektionen, die sogar bis in den Permafrostbereich vordringen können. Besonders problematisch können Untergrundeinleitungen mit gesammeltem Oberflächenwasser sein. Diese können in der Frostwechseldynamik von alpinen Hochlagen fatale Wirkungen hervorrufen. (RINGLER 2017:41). RINGLER führt unter anderem auch geodynamische Folgen an, die mit der Errichtung von Skipisten zusammenhängen. Zu diesen zählen die Auslösung von Hangrutschungen oder Muren. Diese Rutschungen in Skiregionen, können im Extremfall sogar ganze Talsiedlungen gefährden. (RINGLER 2017:42). Die Schaffung von neuen Skipisten ist zudem oft mit Pistenneurodungen verbunden. Die Anzahl von Neurodungen ist in den letzten Jahrzehnten zwar deutlich zurückgegangen, dennoch werden trotz oftmals vorhandener strenger Vorschriften vielerorts Gebiete in Pistenflächen umgewidmet. Allein in Bayern wurden trotz strenger Auflagen seit 2005 zirka 59 ha Fläche für den Bau neuer Skipisten verwendet. Für die Errichtung von Skipisten werden teilweise auch vorhandene Schutz – oder Bergmischwälder abgeholzt. (RINGLER 2017:43).

Um sich die Auswirkungen von Pistenneurodungen besser vorstellen zu können, soll dies kurz anhand eines Beispiels bildlich dargestellt werden. Abb.14 zeigt das Gebiet

„Les Esserts“, welches in den französischen Alpen liegt, im Vorher-Nachher Vergleich. Im linken Bild ist das Gebiet vor der Abholzung der Bäume zu sehen, im rechten sieht man die Folgen der Abholzung.



Abbildung 14: Durchführung einer Pistenneurodung im Vorher/Nachher Vergleich (Quelle: RINGLER 2017:43)

Generell lässt sich aber eindeutig sagen, dass durch Rodungen, sei es nun für die Errichtung von Aufstiegshilfen, den Bau von Skipisten oder Zufahrtswegen, das Waldvorkommen reduziert wird. Infolgedessen kommt es zu einer höheren Gefährdung von talwärts gelegenen Regionen. Laut EICHINGER entstehen die meisten Gefahren aufgrund eines Anstiegs des Oberflächenabflusses, als Folgeerscheinung nicht vorhandener Interzeption, Evapotranspiration und fehlenden Schutz durch Vegetation. (EICHINGER 1999:14f.) Die Abholzung des Bergwaldes ist gleichzeitig mit einer Abnahme der damit verbundenen Schutzfunktion verbunden. Die abnehmende Schutzfunktionswirkung des Bergwaldes ist schon seit der Mitte des 18. Jahrhunderts bekannt. Damals kam es in Tirol aufgrund einer großflächigen Brandrodung zu einer drastischen Dezimierung des Waldvorkommens, woraufhin sich zahlreiche Murgänge, Steinlawinen und Erdbeben ereigneten. Das Bundesland Tirol galt schon zu dieser Zeit aufgrund zahlreicher Ereignisse dieser Art als ein Paradebeispiel für anthropogen verursachte „Natur“katastrophen. (EICHINGER 1999:25).

Wie schon erwähnt, stellt die Erhöhung des Oberflächenabflusses durch die Planierung neuer Pisten und durch unzureichende Begrünung eins der größten Probleme dar. Wird nun beispielsweise im Zuge eines Starkregenereignisses der Oberflächenabfluss von verschiedenen hochgebirgigen Vegetationsgesellschaften verglichen, so lassen sich die Auswirkungen der Nutzung relativ deutlich erkennen. Dabei sind relativ große Unterschiede erkennbar. So fließt in Waldrandgesellschaften deutlich weniger Regen ab, als auf planierten, wiederbegrüntem Flächen. Laut dieser Daten ist der Oberflächenabfluss von gerodeten Flächen 13 Mal höher als an Flächen, die sich am Waldrand befinden. (EICHINGER 1999:25). Durch die Erhöhung des Oberflächenabflusses kommt es wiederum zu einer Initiierung von Rutschungen oder Muren. Grundsätzlich werden diese Naturereignisse durch Intensivniederschläge hervorgerufen, welche aber aufgrund der veränderten Bodenstruktur und Vegetationszusammensetzung, nun bedrohlichere Ausmaße erreichen können. Es ist zudem bekannt, dass einige alpine Rutschungen aufgrund des Massenskisports ausgelöst wurden. Speziell in Österreich ereigneten sich in der Vergangenheit bereits einige Murenabgänge als Nachwirkungserscheinungen des Skitourismus. (EICHINGER 1999:26). Tab. 17 repräsentiert nochmals den Zusammenhang zwischen Nutzung und Erosionsgefährdung und soll nochmals verdeutlichen, dass menschliche Eingriffe im alpinen Raum fatale Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss haben.

Tabelle 17: Art der Nutzung und damit zusammenhängende Erosionsgefährdung (Quelle: EICHINGER 1999:26)

Nutzung	Oberflächenabfluss	Erosion (kgm²)	Wurzelmasse (gm²)
Planierte und begrünte Skipiste	60 – 90%	3.1	300-500
Almweide mit Piste	30 – 60%	0.6	1000-1500
Almweide ohne Piste	30%	0.2	k.A.
Wald (Krautschicht)	0 -5%	0.06	2000-3000

Doch nicht nur der Ausbau von Skianlagen stellen ein Problem dar. Wie bereits erwähnt, kommt es Stand jetzt zu einer Abnahme von Pistenflächen und Liftanlagen. Den neu errichteten Skiresorts steht eine immer größer werdende Anzahl an aufgelassenen Skigebieten gegenüber. RINGLER merkt dabei an, dass viele Skigebiete nicht aufgrund klimatischer Faktoren aufgegeben wurden, sondern aufgrund von Hangrutschungen, die häufig Spätfolgen von Pistenplanierungen sind. Im Extremfall

kann es sogar zur Totalzerstörung von Talstationen bedingt durch Hangmuren kommen. (RINGLER 2017:104). Mittels Abb. 15 sollen die Nachwirkungen von Pistenplanierungen exemplarisch dargestellt werden.



Abbildung 15: Spätfolgen der Pistenplanie (Quelle: Ringler 2017:104)

Insgesamt betrachtet zeigt sich also recht deutlich, dass der alpine Tourismus eine entscheidende Rolle bezüglich Ausmaßes und Intensität von gravitativen Massenbewegungen einnimmt. Die Vulnerabilität wird neben den klimatischen Faktoren durch aktives, kontraproduktives, menschliches Handeln deutlich erhöht. Gesamt gesehen hat sich gezeigt, dass Pistenplanierungen einen aktiven Eingriff in die Hangstabilität darstellen, dessen Auswirkungen manchmal erst einige Jahre später zu sehen sind. Es sollte daher ein rasches Umdenken stattfinden und gleichzeitig gezielte zukunftsorientierte nachhaltige Maßnahmen gesetzt werden, um die Eintrittswahrscheinlichkeit von extremen Massenbewegungen zu senken. Mögliche Ansätze wären eine noch stringenterer Regelung bezüglich Brandrodungen von Schutzwäldern oder eine Eindämmung von Pistenplanierungen.

8. Präventionsmaßnahmen/ Risikoanalyse

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den bisher eingesetzten präventiven Maßnahmen zur Eindämmung von gravitativen Gefahren im Alpenraum. Ziel von Präventionsmaßnahmen ist es, einen möglichst breiten Schutz für die zivile Gesellschaft zu ermöglichen und erhebliche Schäden durch Naturkatastrophen weitgehend zu verhindern. Dabei ist anzumerken, dass präventive Maßnahmen keine Garantie für vollständige Sicherheit sind, sondern lediglich das Risiko um ein Vielfaches reduzieren. Mit einem gewissen Restrisiko ist dennoch zu rechnen. Zu Beginn des Kapitels sollen einige präventive Schutzmechanismen repräsentiert werden, danach werden diese auf Beständigkeit gegenüber Naturereignissen überprüft. Abgerundet wird dieses Kapitel mit der Vorstellung des integralen Risikomanagements sowie der Risk-Governance.

8.1. Derzeitige Schutzmechanismen

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Herausarbeitung von Schutzsystemen, die im alpinen Raum oft zur Gefahrenabwehr verwendet werden. Oft fungieren diese auch als Überwachungssystem und können potentielle Gefahren durch verschiedene Messungsverfahren frühzeitig erkennen. Hierbei werden unter anderem geologisch-technische Monitoringsysteme, sowie Monitoringsysteme in der Raumplanung vorgestellt. Darüber hinaus wird kurz auf Frühwarnsysteme und deren Funktion eingegangen. Ziel dieses Kapitels ist es unter anderem auch, zu zeigen, dass das Spektrum an Möglichkeiten für die Gefahrenerkennung relativ breit ist beziehungsweise, dass es sehr viele unterschiedliche Messmethoden gibt.

8.1.1. Monitoringsysteme

Monitoringsysteme dienen generell der systematischen Registrierung eines Vorganges, wobei sie dabei von technischen Beobachtungssystemen unterstützt werden. Diese Systeme werden dazu eingesetzt, laufend Datensätze zu ermitteln, welche anschließend gespeichert und verarbeitet werden. Diese Daten fungieren zudem als Grundbasis für zukünftige Analysen. Die Analyse selbst, sollte dabei in

regelmäßigen Zeitabständen erfolgen, um Schlussfolgerungen aus den erhaltenen Ergebnissen ziehen zu können. Monitoringsysteme werden mittlerweile auch sehr häufig für die Registrierung von gravitativen Prozessen eingesetzt. Im Allgemeinen lassen sich zwei verschiedene Arten voneinander unterscheiden, nämlich das geologisch-geotechnische Monitoring und das räumliche Monitoring. Beide Arten haben zwar die Tatsache gemeinsam, dass sie Daten über Hangprozesse sammeln und sich auf Schwellenwerte für die Durchführung der Maßnahmen stützen, jedoch liefern beide Arten unterschiedliche Informationen für das Risikomanagement von gravitativen Prozessen. (BRAUNER ET AL. 2015:241).

Laut RUDOLF-MIKLAU eignen sich Monitoringsysteme vor allem für jene gravitativen Prozesse, die eine mittlere oder langsame Vorwarnzeit aufweisen und von einer mittleren oder langen Dauer gekennzeichnet sind. Anders ausgedrückt, werden darunter langsame Massenbewegungen verstanden, aber auch Erosionsprozesse oder labile Gesteinsmassen, die ein Bergsturzereignis initiieren könnten. Darüber hinaus werden sie oft für gefährliche Situationen eingesetzt, deren Aufbau in langsamer Geschwindigkeit erfolgt und deren Eintrittszeitpunkt nicht genau bekannt ist. Als Beispiele lassen sich Lawinen oder Flüsse nennen, an denen ein potentiell Hochwasser eintreten könnte. In Österreich werden Monitoringsysteme zum jetzigen Zeitpunkt noch relativ selten eingesetzt, nur in speziellen Ausnahmefällen wird von ihnen Gebrauch gemacht. Beispiele hierfür wären das Gebiet rund um das Felssturzereignis Breitenberg in Dornbirn oder am Eiblschrofen in Schwaz. Auch am Gschlifgraben in Gmunden werden derzeit Monitoringanlagen für die Überwachung einer Rutschung eingesetzt. (RUDOLF- MIKLAU 2005:126)

Nachfolgend sollen die beiden vorhin genannten Monitoringbereiche genauer erläutert werden.

Geologisch-technisches Monitoring

Geologisch-geotechnische Monitoringanlagen dienen dazu, Bewegungsprozesse und beeinflussende Parameter, welche oberflächlich, aber auch im Untergrund von gravitativen Phänomenen auftreten, zu überwachen. Darüber hinaus sammeln sie meteorologische Datensätze mittels unterschiedlichster Messverfahren, woraufhin

eine sogenannte „Differenzialanalyse“ erfolgt. Monitoringsysteme dieser Art setzen sich zum Ziel, ein besseres Verständnis über die Kinematik einzelner Massenbewegungen zu erhalten, um anschließend bei einem möglicherweise eintretenden Phänomen, rechtzeitige Handlungsmaßnahmen zur Steuerung des Prozesses ergreifen zu können, wenn gewisse Schwellenwerte überschritten werden. Hauptaufgabe von geologisch-geotechnischen Monitoringanlagen ist es zudem, die Verteilung von Bodenbewegungen sowohl zeitlich, als auch räumlich zu analysieren. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

Des Weiteren werden geologisch-geotechnische Monitoringsysteme auch dazu verwendet, bewegte von unbewegten Teilen abzugrenzen. Die Grundbasis dafür sind punktförmige Messdaten. Oft nutzt man hierbei linienförmige Bewegungssensoren, welche in Bohrlöchern und an der Oberfläche installiert werden. Speziell in den letzten 20 Jahren lieferten auch Methoden wie Fotogrammetrie, Radarinterferometrie oder Laserscans vermehrt nützliche Informationen über die Veränderung der Oberflächenstruktur. Für die Informationsbeschaffung über die Gegebenheiten des Untergrunds werden häufig zweidimensionale geophysikalische Messverfahren verwendet. Ein Beispiel hierfür wäre die Geoelektrik. Grundvoraussetzung für alle Monitoringanlagen ist eine exakte Kartierung des Gefahrenbereichs nach geologischen und geomorphologischen Aspekten. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

Anschließend sollen hierbei kurz die wichtigsten geowissenschaftlichen Monitoringmethoden genannt werden.

Dazu zählen unter anderem geodätische Messverfahren wie Fluchten, Tachymetrie oder Nivellement. Ebenfalls erwähnenswert sind GPS, geodätische Robotik und Geosensorennetzwerke. Im Rahmen der geotechnischen Messung finden vor allem Inklinometer, Gleitmikrometer oder Fissurometer ihren Einsatz. Darüber hinaus werden auch Extensometer, Lotanlagen und Messungen der Ankerkraft verwendet. Des Weiteren gibt es geophysikalische Methoden. Zu diesen zählen beispielsweise Geophone oder die Radarinterferometrie. Ebenfalls eingesetzt werden Georadare und Geoelektrik. Im Zuge der Fernerkundung stützt man sich hingegen auf Methoden wie Luftbildanalysen oder Tachymetrie, aber auch auf differenzielle GPS-Verfahren und Laserscanning. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

Geologisch-geotechnische Monitoringsysteme haben aber einen entscheidenden Nachteil. Häufig ergeben sich bei der Analyse von Messwerten eines Hanges Schwierigkeiten hinsichtlich deren zeitlicher Entwicklung. Ebenso stellt die Festlegung eines verlässlichen Schwellenwerts ein sehr schwieriges Unterfangen dar. Grundsätzlich ist es nicht leicht, klare Schwellenwerte festzulegen, da eine Beschleunigung eines Bewegungsprozesses bzw. starke Temperatur- und Feuchtigkeitsgehaltveränderungen nur innerhalb bestimmter Zonen verlässlich festgelegt werden können, die zu einem Versagen führen könnten. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

Monitoring in der Raumplanung

Räumliches Monitoring basiert auf geographischen Datensätzen, manchmal auch auf Umweltdaten, die mittels GIS verschnitten werden. Dabei kommt es zur Erstellung von Indikatoren, welche der Analyse des Ist-Zustandes dienen und auch für Analysen über zukünftige räumliche Entwicklungstrends verwendet werden können. Die daraus gewonnenen Datensätze eignen sich für politische Entscheidungsträger als gutes Hilfsmittel für raumplanerische Maßnahmen. Es wäre beispielsweise möglich, die Daten für Flächenwidmungsverfahren oder Siedlungsentwicklungen zu verwenden. Darüber hinaus können die Daten auch für Entscheidungen bezüglich Standortfestlegung herangezogen werden. Räumliches Monitoring ist sehr stark von kontinuierlichen Raubeobachtungen abhängig. Diese Beobachtungen liefern die Grundlage aller Daten zu raumbezogenen Sachbereichen, auch zu gravitativen Massenbewegungen. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

In Bezug auf räumliches Monitoring lässt sich das DOMODIS-Projekt nennen. Darunter ist eine Ereignisdokumentation zu verstehen, in welcher Ort, Typ und Frequenz eines Ereignisses standardisiert erfasst werden. Diese Methode findet vorwiegend bei Naturgefahren-Ereignissen oder bei der Neuausweisung eines Baugrundes ihren Einsatz, wobei für raumplanerische Siedlungsentwicklungen vor allem langfristige Beobachtungen ausschlaggebend sind. (BRAUNER ET AL. 2015:242)

8.1.2. Frühwarnsysteme

Frühwarnsysteme basieren ebenfalls auf Monitoringsystemen. Diese liefern den Frühwarnsystemen wichtige Datensätze, welche anschließend gesammelt und analysiert werden. Frühwarnsysteme sind dann in der Lage, ein Alarmsignal zu entsenden oder gar einen automatischen Evakuierungsplan zu erstellen, sobald ein gewisser Schwellenwert erreicht wurde. Evakuierungspläne werden hauptsächlich verwendet, um unbewohnte Infrastrukturanlagen ausreichend zu schützen. (BRAUNER ET AL. 2015:243)

Frühwarnsysteme werden häufig dafür eingesetzt, Verkehrswege zu schützen, welche durch Gebiete führen, in welchen gravitative Prozesse potentiell auftreten könnten und in denen es keine Schutzverbauungen gibt. Hier ist es dann im Extremfall mittels einer Verkehrssperre auch möglich, Menschen am Betreten der Gefahrenzone zu hindern oder diese rechtzeitig zu evakuieren. Besonders herausfordernd ist dieselbe Situation in besiedelten Gebieten. Dies liegt vor allem in den viel höheren Kosten der Evakuierung. Daher existieren bei der Verwendung von Frühwarnsystemen in Siedlungsgebieten oft mehrere Gefährdungstufen. Ein detaillierter Alarmplan, welcher Aufschluss über Überschreitungen von Schwellenwerten gibt, ein technisch-innovatives widerstandsfähiges System und ein gutes Know-How über das Modell sind in beiden Fällen die Grundbasis für permanente-geowissenschaftliche Frühwarnsysteme. (BRAUNER ET AL. 2015:243)

Leider kommt es immer wieder vor, dass Frühwarnsysteme Fehllarme auslösen. Darüber hinaus sind sie auch anfällig für technische Probleme. Darunter fallen in etwa die Wartung des Systems in schwer erreichbaren Zonen oder die Fehleranfälligkeit von elektronischen Bestandteilen der Anlage. Dadurch können wiederum sehr hohe Kosten entstehen. Daher ist es nicht immer eindeutig, dass permanente Frühwarnsysteme zwingend billiger sind als Verbauungsmaßnahmen. Generell lässt sagen, dass bei Frühwarnsystemen auch heutzutage die Nachteile gegenüber den Vorteilen überwiegen und diese daher nur in besonders kritischen Ausnahmefällen zum Einsatz kommen. Zukünftige Optimierungsmaßnahmen wären in etwa die Integrierung von Sensornetzwerken, welche in der Lage sind, verschiedene Detektoren zu kombinieren oder Echtzeitbeobachtungen von gravitativen

Massenbewegungen mit dem Ziel, diese früher erkennen zu können. (BRAUNER ET AL. 2015:243)

8.2. Beständigkeit von Schutzsystemen

Doch es stellt sich nun die viel wichtigere Frage, ob es tatsächlich möglich ist, einen hundertprozentigen sicheren Schutz für die Gesellschaft gewährleisten zu können. Dies lässt sich relativ eindeutig mit einem „Nein“ beantworten. Warum dies so ist, soll nun in folgendem Unterkapitel erläutert werden.

Es ist zwar möglich, Schutzziele zu bestimmen, jedoch muss stets mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gerechnet werden, dass diese bestimmten Gefahrenereignissen nicht standhalten können und ein sogenannter „Überlastfall“ eintritt, welcher sich dem Restrisiko zuordnen lässt. (Schneiderbauer ET AL. 2018:10) In diesem Zusammenhang sollen diese beiden Begriffe kurz erläutert werden. Dabei muss gesagt werden, dass es für beide Begriffe keine einheitliche Terminologie gibt. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:27) SCHNEIDERBAUER ET AL. schlagen nachfolgende Definitionen vor:

Restrisiko:

„Das Risiko, das nach Umsetzung aller baulichen und nicht-baulichen (technischen, rechtlichen, planerischen, organisatorischen, kommunikationsbezogenen usw.) Schutzmaßnahmen bestehen bleibt. Das Restrisiko wird durch intrinsische Faktoren wie dem Vermögen, ein Risiko angemessen zu beurteilen und zu bewältigen, und der Wahrnehmung und Akzeptanz von Risiken seitens des Einzelnen oder der Gemeinschaft beeinflusst. Es wird auch durch externe Faktoren beeinflusst, die ungewisse oder unbekannte Risiken bedingen, wie beispielsweise die Folgen des Wandels der Klimabedingungen.“ (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:28)

Anders ausgedrückt meint Restrisiko also ein übrig gebliebenes Risiko, das auch nach Umsetzung sämtlicher Schutzmechanismen bestehen bleibt. Darunter fallen unter anderem Extremereignisse, aber auch planerische oder technische Fehler bei Schutzmaßnahmen und Risiken, welche nicht richtig beurteilt, nicht rechtzeitig erkannt

oder fälschlicherweise bewusst in Kauf genommen wurden. Das Restrisiko ist in allen Alpenländern ein wichtiges Thema, deshalb ist es notwendig, dass sich das Naturgefahrenmanagement verstärkt mit Unsicherheiten und deren Akzeptanz befasst. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:542 ff.). Trotz Förderung des Bewusstseins der Bevölkerung und Optimierung aller Maßnahmen kann niemals eine vollständige Sicherheit gegenüber Naturgefahren gewährleistet werden. Es muss daher immer mit einem gewissen Restrisiko gerechnet werden. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:543)

Überlastfall:

„Ein (Naturgefahren-) Ereignis, das den Schwellenwert eines erwarteten Bemessungsereignisses und die Leistungsfähigkeit der diesbezüglich ergriffenen baulichen Schutzmaßnahmen überschreitet. Das Überschreiten dieser Schutzmaßnahmen, das unter Umständen durch die zusätzliche Minderung ihrer Funktionsfähigkeit verschlimmert wird, stellt einen Überlastfall dar, der Schäden und Verluste verursachen kann“. (SCHNEIDERBAUER ET AL 2018:28)

Es ist außerdem bekannt, dass schutzwirkende Verbauungsmaßnahmen vorwiegend auf kontrollierte Risiken ausgelegt sind. Nur wenn sie speziell für Überlastfälle konzipiert werden würden, könnten sie zu einer Minimierung des Restrisikos beitragen. Im Moment existiert in den Alpen jedoch nur eine sehr geringe Anzahl an baulichen Schutzmaßnahmen, die in der Lage sind, potentielle Überlastfälle abzuwehren. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:11)

Viele Experten sind allerdings der Meinung, dass für einen Großteil der Naturgefahren Schutzanlagen bereitstehen, die zumindest mögliche negative Folgewirkungen von Überlastfällen abschwächen können. Das Problem dabei ist jedoch, dass die meisten dieser Schutzmaßnahmen nicht speziell darauf ausgelegt sind, Ereignisse, deren Magnitude das Normalmaß übersteigt, abzuwehren. Oft fehlt dann auch die Kenntnis über den erfolgreichen Umgang mit Restrisiken. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:33).

In diesem Zusammenhang merken SCHNEIDERBAUER ET AL. auch an, dass es auch ein raumplanerisches Problem gibt. Den Menschen steht für die Errichtung von Gebäuden nur wenig Raum zur Verfügung, des Weiteren wurden viele Häuser in Gebieten erbaut,

die im Überlastfall mit großer Wahrscheinlichkeit betroffen sein werden. Der Bau dieser Gebäude erfolgte in vielen Fällen zu jener Zeit, in der es noch keine ausgewiesenen Gefahrenzonen oder Hochrisikogebiete gab. Aus heutiger Sicht wäre es sinnvoll, die potentiell gefährdeten Bauwerke, unabhängig ob es sich dabei um Wohnhäuser oder kritische Infrastrukturen handelt, in sicherere Gebiete umzusiedeln. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:33ff.).

Für eine bessere Handhabung gegenüber Restrisiken und Überlastfällen, wird es in Zukunft nötig sein, die derzeitigen baulichen Schutzsysteme in regelmäßigen Abständen zu warten und weiterzuentwickeln. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:35). Es zeigt sich also, dass all diese Maßnahmen zwar einerseits zu einem höheren Grad an Sicherheit beitragen, andererseits betonen dennoch viele Experten, dass eine vollständige Sicherheit gegenüber Naturgefahren niemals garantiert werden kann. Die derzeitigen Schutzsysteme sind lediglich in der Lage, die Menschen bis zu einem gewissen Grad zu schützen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:36).

8.3. Kontraproduktivität von Schutzsystemen

Schutzmechanismen dienen oftmals nur zur Abfederung von „kleineren“ Naturereignissen und stellen in diesem Fall auch einen ausreichenden Schutz dar. Dass sich die Erbauung von Präventionsmaßnahmen aber auch nachteilig auf den Raum und die Gesellschaft auswirken kann und dadurch auch Extremereignisse hervorgerufen werden können, soll in diesem Unterkapitel näher beleuchtet werden. Dazu ist es sinnvoll, ein Beispiel anzuführen, wodurch gezeigt werden soll, dass der Bau von Schutzmechanismen auch kontraproduktiv sein kann.

In diesem Zusammenhang muss der Einfluss der Gesellschaft näher betrachtet werden. Wie bereits gezeigt, führt jeder anthropogene Eingriff in die Reliefsphäre zu einer Veränderung der natürlichen Abläufe. Die Folge sind oft Veränderungen der Frequenz oder der Magnitude. Oft versucht die Gesellschaft, natürliche Abläufe aktiv zu steuern und greift in Prozesse wie beispielsweise Hangrutschungen, Muren oder Überschwemmungen entscheidend ein. Ein gutes Beispiel ist die Errichtung von Wildbachverbauungen. Grundlegendes Ziel dieser ist es, die natürliche Tiefen- und Seitenerosion von Wildbächen zu verringern. Oftmals erfolgt dabei eine Installation

von Murverbauungen, die in den Wildbächen installiert werden, mit der Absicht das Gefälle zu minimieren und die Geschiebefracht zu stoppen. Daraus resultiert aber auch eine Abnahme der Erosionskraft des Wildbaches. (GLADE ET AL. 2014:564).

Die Installation solcher Verbauungen ist ideal für die Abwehr von kleineren Murenereignissen, die häufig auftreten. Erfolgt jedoch ein extremes Niederschlagsereignis, welches eine deutlich höhere Magnitude aufweist als jene Ereignisse, auf die die Schutzsysteme eigentlich ausgerichtet sind, dann besteht das Risiko, dass es zu einem Versagen der Schutzeinrichtungen kommt. Dies bedingt nun, dass das Volumen beim Transport der Geschiebefracht viel größer ist als es normalerweise der Fall gewesen wäre. Im Normalfall hätten bereits kleinere Murenereignisse die Sedimente aus den Einzugsgebieten nach und nach abtransportiert. Dies bedeutet, dass in den verbauten Einzugsgebieten das Auftreten bzw. die Intensität einer Mure durch die Designgrößen der Schutzanlagen bestimmt werden kann. Erfolgt jedoch nun ein seltenes Ereignis mit einer sehr großen Magnitude, dann kann der Fall eintreten, dass dadurch die Prozessmagnitude vergrößert wird. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass menschliche Eingriffe Klimafolgen verstärken. (GLADE ET AL. 2014:564)

8.4. Risikoanalyse

Da es in Zukunft wohl immer wichtiger sein wird, die Bevölkerung vor möglichen Extremereignissen zu schützen, spielt auch die Risikoanalyse eine wichtige Rolle. Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Herausarbeitung von möglichen Risikomanagement-Konzepten. Dabei werden unter anderem das integrale Risikomanagement, sowie die Risk-Governance vorgestellt. Zum Schluss folgt noch eine kurze Erläuterung von möglichen Verbesserungsvorschlägen in der Risk-Governance. Doch zu Beginn soll nun geklärt werden, welche Ziele das Risikomanagement grundsätzlich verfolgt.

Oberste Priorität des Risikomanagements stellen die sogenannten „**Schutzziele**“ dar. Die PLANAT definiert den Begriff wie folgt:

„Niveau an Sicherheit, das bestimmte Verantwortungsträger in ihrem Verantwortungsbereich grundsätzlich anstreben. In der Praxis dient das Schutzziel auch als Überprüfungskriterium zur Beurteilung des Handlungsbedarfs für die Erreichung der angestrebten Sicherheit“. (PLANAT 2013:4)

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass der Begriff „Schutzziel“ im alpinen Raum sehr unterschiedlich aufgefasst wird. Je nach Interpretation wirkt sich dies auch sehr unterschiedlich auf das zugrundeliegende Risikomanagement aus. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:543).

Abhängig vom jeweiligen Alpenland und Art der Naturgefahren werden Schutzziele entweder gefahrenbezogen oder risikobezogen definiert. Üblicherweise werden kritische Infrastrukturen, Wohngebiete und Transportnetzwerke einer höheren Schutzzielkategorie zugewiesen als dies beispielsweise bei landwirtschaftlichen Flächen oder Wäldern der Fall ist. Je nach Alpenregion erfolgt eine klare Festlegung von Schutzzielen oder sie werden als flexibler Richtwert herangezogen. Die Bestimmung von Schutzzielen basiert oft auf Erfahrungswerten, verschiedenen Empfehlungen oder auf einer kalkulierten Kosten-Nutzen-Relation. Darüber hinaus werden bei der Festlegung der Ziele sowohl ökologische, ökonomische, als auch soziale Nachhaltigkeitsaspekte miteinbezogen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:543 ff.)

Laut PLANAT hat es nun oberste Priorität, einen Anstieg der Schäden zu verhindern und vorbeugende Maßnahmen zu verbessern. Darüber hinaus ist ein nachhaltiger Schutz des Lebensraums wichtig. (PLANAT 2013:3). Um dies zu erreichen, wäre ein klar strukturiertes Risikomanagement vorteilhaft. Dessen Hauptziel sind die kontinuierliche Beobachtung von relevanten Faktoren und eine periodische Registrierung von Risiken. Die Bewertung des Risikos soll dabei hinsichtlich dessen Akzeptabilität erfolgen, was auch gleichzeitig als Grundbasis für die Entwicklung von Maßnahmen zur Risikosteuerung dienen soll. Durch die Anwendung der richtigen Maßnahmen sollen inakzeptable Risiken minimiert sowie akzeptable Risiken getragen werden. Darüber hinaus ist für die Durchführung eines gut strukturierten Risikomanagements ein intensiver Risikodialog unter sämtlichen Interessensträgern notwendig. Ein gelungenes Risikomanagement zeichnet sich auch dadurch aus, dass bereits präventiv Maßnahmen gesetzt werden, durch welche eine bessere

Handhabung von potentiellen zukünftigen Risiken geschaffen werden soll. (PLANAT 2013:6). Abb. 16 stellt dies graphisch dar.

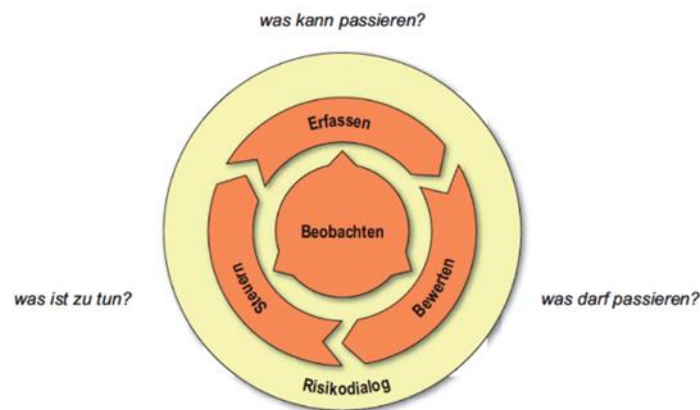


Abbildung 16: Vorausschauende Erkennung und Bewertung von Risiken (Quelle: PLANAT 2013:6)

Durch das Risikomanagement sollen vor allem drei zentrale Fragen geklärt werden:

1.) Was kann passieren?

Zu Ermittlung dessen dienen der Risikoanalyse systematische und wissenschaftlich fundierte Verfahren als Grundlage. Dabei sollen vor allem die Intensität, die Häufigkeit und das zu erwartende Schadensmaß ermittelt werden.

2.) Was darf passieren?

Hierbei steht die Bewertung des Risikos im Fokus. Dabei wird eruiert, ob ein Risiko als akzeptabel oder inakzeptabel zu interpretieren ist. Ein Risiko gilt dann als akzeptabel, wenn es als tragbar eingestuft wird.

3.) Was ist zu tun?

Dabei soll durch gezielte Maßnahmen versucht werden, zukünftige Risiken im akzeptablen Bereich halten sowie vorhandene Risiken auf ein akzeptables Ausmaß zu minimieren. Darüber hinaus soll geregelt werden, wie mit Restrisiken umgegangen werden soll. Es geht auch um die Entscheidung, in welchem Ausmaß ein Risiko vermieden, gemindert oder getragen werden kann. (PLANAT 2013:7)

Ein Ansatz des Risikomanagements wäre beispielsweise das integrale Risikomanagement, welches ich nun kurz vorstellen möchte.

8.4.1. Integrales Risikomanagement

Integrales Risikomanagement wird unter anderem von der PLANAT vorgeschlagen. Dabei werden mögliche Maßnahmen für die Gefährdungsanalyse und Risikobewertung präsentiert. Ziel ist die Schaffung eines Sicherheitsniveaus gegenüber sämtlichen Naturgefahren, welches ökologisch, ökonomisch und sozial tragbar ist. Um dies zu erreichen, sollten bei der Planung und Durchführung der Maßnahmen sämtliche Interessenvertreter involviert werden. Diese müssen dabei auch ein hohes Maß an Verantwortung tragen, damit ein angemessener Schutz vor Naturgefahren gewährleistet werden kann. Integrales Risikomanagement gliedert sich in drei verschiedenen Phasen, nämlich in vorbeugende Maßnahmen, Risikobewältigung und Regenerationsmaßnahmen. (PLANAT 2013:7)

Jede dieser drei Phasen umfasst wiederum eine Vielzahl an Maßnahmen, welche durch Abb. 17 dargestellt werden. Dazu zählen unter anderem Risikoauswertung, Instandstellung oder auch Wiederaufbau.

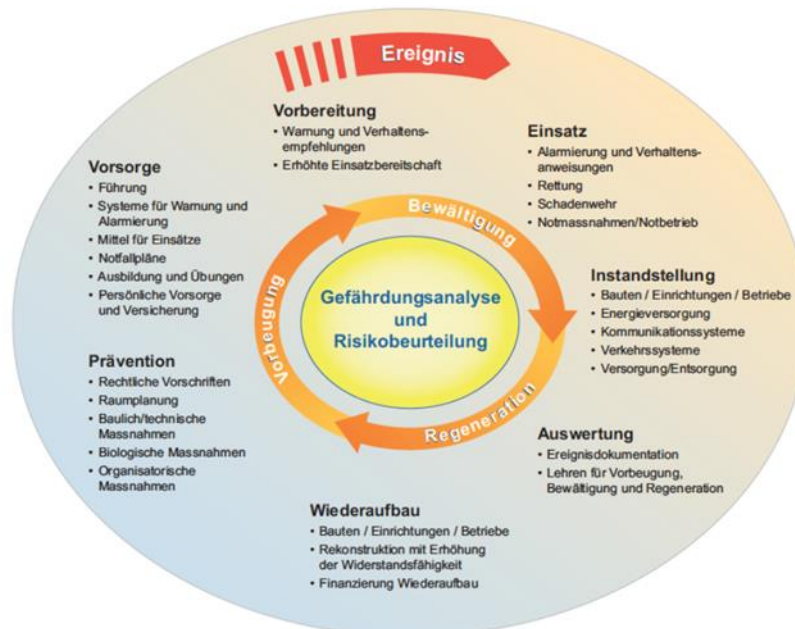


Abbildung 17: Maßnahmen des integralen Managements (Quelle: PLANAT 2013:8)

Die PLANAT forciert dabei ein Sicherheitsniveau an, durch welches sogenannte „Schutzgüter“ erhalten bleiben sollen. Unter einem Schutzgut wird ein Wert

verstanden, für welchen sich das Risiko auf ein tragbares Maß begrenzen lässt. (PLANAT 2013:4)

Für die PLANAT hat vor allem der Personenschutz oberste Priorität. Dabei wird zwischen Schutzmaßnahmen, die sich auf den Erhalt des Eigentums des Einzelnen spezialisieren und Schutzmaßnahmen, die dem Schutz der Gemeinschaft dienen, unterschieden. Bei den Schutzmaßnahmen für Einzelpersonen fokussiert sich die Planat auf den Schutz von Gebäuden. Diese stellen auf der einen Seite einen hohen Sachwert dar, zudem bieten sie einen Schutz vor Naturgefahren. Darüber hinaus stellen Gebäude für Menschen eine Überlebensgrundlage dar. Bei den Schutzmaßnahmen, die die Gemeinschaft betreffe, stehen vor allem die Interessen der Bevölkerung im Fokus. Dabei geht es um die Erhaltung von gemeinschaftlichen Schutzgütern. Zu diesen zählen beispielsweise Infrastrukturen oder Objekte, die volkswirtschaftlich gesehen eine wichtige Bedeutung haben. Auch der Schutz von Kulturgütern und die Erhaltung der Lebensgrundlagen des Menschen zählen dazu. Kommt es nun zum Ausfall von einem dieser Schutzgüter, dann resultieren daraus häufig fatale Folgeschäden (PLANAT 2013:9) Für die Umwelt legt die PLANAT hingegen kein bestimmtes Sicherheitsniveau fest. Dies wird damit begründet, dass die Schutzgüterkategorie „erhebliche Sachwerte“ auch die lebensnotwendigen Grundlagen der Bevölkerung beinhaltet (z.B. Wasser, Boden) und dass jene Prozesse, die im Zuge eines Naturereignisses stattfinden, sich der natürlichen Dynamik eines Lebensraumes zuordnen lassen. (PLANAT 2013:11)

Abb. 18 beinhaltet sämtliche Schutzgüter gemäß der Empfehlung der PLANAT.







Kategorie	Schutzgut	Schutzpflicht	Was wird geschützt?
Personen	Personen	 Schutz des Lebens und der körperlichen Unversehrtheit von Menschen	der Einzelne
Erhebliche Sachwerte	Gebäude	 Schutz des Eigentums	die Gemeinschaft
	Infrastrukturen	 Förderung der schweizerischen Gesamtwirtschaft u.a.	
	Objekte mit erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung oder Tragweite	 Förderung der schweizerischen Gesamtwirtschaft u.a.	
	Lebensgrundlagen der Menschen	 Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen	
	Kulturgüter	 Schutz des kulturellen Erbes	
Umwelt	Natur, Umwelt	 Schutz der Natur	die Umwelt

Abbildung 18: Einteilung von Schutzgütern laut Empfehlung der PLANAT (Quelle: PLANAT 2013:10)

Das Sicherheitsniveau, welches von der PLANAT vorgeschlagen wird, stellt eine Empfehlung für die politischen Entscheidungsträger dar. (PLANAT 2013:11). Im Rahmen der Diplomarbeit dient dies als Beispiel, wie die Planung und Bewertung von Schutzziele und die Beurteilung des Risikos erfolgen könnten. Da es, wie schon beschrieben, zukünftig wahrscheinlich zu einem Anstieg von Extremereignissen kommt, wird es in Zukunft wohl immer wichtiger sein, auf gut strukturierte Risikokonzepte zurückgreifen zu können, um einen höheren Grad an Personenschutz garantieren zu können.

8.4.2. Risk-Governance Konzept

Neben dem integralen Risikomanagement erschien es mir auch wichtig, das Konzept der Risk-Governance zu erwähnen. Dieses beinhaltet zusätzlich noch sämtliche gesetzliche Grundlagen und Vorschläge, wie bei der Entscheidungsfindung vorzugehen ist. Darüber hinaus enthält die Risk-Governance auch eine finanzielle Komponente, in welcher es vor allem um den finanziellen Umgang mit Risiken geht. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:544). Risk-Governance stellt einen Ansatz dar, welcher dem traditionellen Risikomanagement weit voraus ist. Das Konzept versucht, so viele Interessensträger wie möglich zu involvieren und versucht einen Rahmen zu schaffen, in welchem rechtliche, politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessen miteinbezogen werden und in welchem Risiken nicht nur bewertet, sondern auch gemanagt werden sollen. (SCHNEIDERBAUER ET. AL. 2018: 29).

Oberste Priorität des Ansatzes ist die Minimierung von vorhandenen Risiken und die Reduzierung von gesellschaftlichen Kosten, welche durch Naturgefahren entstehen können. Ein weiteres Anliegen der Risk-Governance ist es, das Bewusstsein der Alpenbevölkerung bezüglich Restrisiken und Überlastfällen zu stärken. Des Weiteren bemüht sich das Konzept, die Alpenbewohner auch über bereits vorhandene Schutzmaßnahmen in Kenntnis zu setzen und über eventuell eintretende Risiken zu informieren. Aus diesem Grund wird stets versucht, die Akzeptanz der Bevölkerung in Bezug auf Maßnahmen des Risikomanagements zu erhöhen und mittels wirksamer Risikokommunikation eine intakte Risikokultur zu schaffen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:544ff.)

Dabei schlagen SCHNEIDERBAUER ET AL vor, gezielte Maßnahmen zu entwickeln, die dazu beitragen sollen, den Gefährdungsgrad von Personen, Häusern oder kritischen Infrastrukturen im Falle eines Überlastsfall zu senken. Dazu braucht es innovative Schutzsysteme, gut durchdachte raumplanerische Maßnahmen, sowie die Miteinbeziehung von Ökosystemdienstleistungen und naturbasierten Lösungen. Grundvoraussetzung für eine gelungene Handhabung mit Restrisiken ist die Zusammenarbeit von möglichst vielen Bevölkerungsgruppen und deren Wille, sich an der Gefahrenbewältigung aktiv zu beteiligen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:548)

DOCH der Ansatz der Risk-Governance beinhaltet nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile, die sich auch auf die Risikoreduzierung auswirken. SCHNEIDERBAUER ET AL begründen dies damit, dass das Konzept teilweise sehr viele Interessenträger im Entscheidungsprozess involviert und es sein kann, dass unterschiedliche Interessen verfolgt werden, welche den Entscheidungsprozess nachteilig beeinflussen. Es besteht die Gefahr, dass Entscheidungen zu langsam getroffen werden. Aufgrund der hohen Anzahl an involvierten Akteursgruppen kann auch der Fall eintreten, dass unterschiedliche Pläne verfolgt werden, wodurch sich das Konfliktpotential untereinander erhöhen kann. Dies bedingt, dass Risk-Governance Maßnahmen und deren eigentliches Ziel, die erfolgreiche Umsetzung des integralen Risikomanagements, gefährdet wird. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:547).

8.4.3. Verbesserungsempfehlungen der Risk-Governance

Für eine Verbesserung des derzeitigen Risk-Governance Ansatzes nennen SCHNEIDERBAUER ET AL. einige Vorschläge. Unter anderem sei es zukünftig wichtig, die Bewusstseinsbildung der Bevölkerung zu stärken. Diese soll verstärkt über Restrisiken und Überlastfälle informiert werden. Dafür hilfreich wären in etwa Kampagnen, die sich explizit dieser Thematik widmen. Des Weiteren plädieren SCHNEIDERBAUER ET AL. für eine vorausschauende Raumplanung, welche auch potentielle Gefahrenzonen, kritische Infrastrukturen und mögliche natürliche Ausgleichsflächen berücksichtigt. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:548).

Zusätzlich wird es auch wichtig sein, neue Schutzmechanismen zu schaffen, welche auch regelmäßig gewartet werden sollten. Die Schutzsysteme sollten dabei so

konstruiert werden, dass ein abruptes Kollabieren auch bei Eintritt eines Überlastfalls verhindert werden kann und ein potentiell überschreiten der Schutzsysteme kontrolliert gesteuert werden kann. Weitere Verbesserungsansätze der Risk-Governance im alpinen Raum wären zudem die Miteinbeziehung von Betroffenen in sämtlichen Phasen der Risk-Governance sowie die Erstellung von lokalen Notfallplänen, in welchen jeder Akteur über seine eigenen Pflichten und Rechte aufgeklärt werden soll. Dabei bedarf es einer Neugestaltung von Kommunikationskonzepten, die das Ziel verfolgen, die durch Naturgefahren entstanden Kosten und Verluste zu senken. Zu guter Letzt betonen SCHNEIDERBAUER ET AL., dass auch jeder Einzelne einer komplexen Gesellschaft einen entscheidenden Beitrag in der Risk-Governance leisten kann. Unter der Annahme, dass jede Einzelperson aufgrund von persönlichen Erlebnissen und Lebensumstände eine unterschiedliche Auffassung von tolerierbaren Risiken hat und unterschiedliche Fähigkeiten mitbringt, mit derartigen Risiken umzugehen, wäre es sinnvoll, Maßnahmen zu entwickeln, die das Ziel verfolgen, den sozialen Zusammenhalt zu fördern und ein Gemeinschaftsgefühl zu entwickeln. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:548).

9. Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die Kernaussagen dieser Arbeit ein weiteres Mal aufgegriffen und erläutert. Das ursprüngliche Ziel war es herauszufinden, ob sich die Häufigkeit von Extremereignissen intensiviert hat bzw. ab welchem Schwellenwert man überhaupt von einem Extremereignis sprechen kann. Darüber hinaus ging es auch um die Frage, durch welche Faktoren Extremereignisse begünstigt werden und welche Trends sich bezüglich zukünftiger Entwicklung von Extremereignissen ablesen lassen. Dabei wurden sowohl klimatische, als auch anthropogene Faktoren berücksichtigt und herausgearbeitet. Darüber hinaus beschäftigte sich die Arbeit auch mit der Frage, welche Schutzmechanismen derzeit in den Alpen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden, aber auch mit der Tatsache, dass es in Zukunft immer wichtiger sein wird, ein gemeinsames, alpenweites Konzept zu entwickeln, um einen höheren Grad an Sicherheit für die Bevölkerung gewährleisten zu können. In diesem Zusammenhang wurden unter anderem der Ansatz des integralen Risikomanagements, sowie das Konzept der Risk-Governance vorgestellt. Da sich allerdings herausgestellt hat, dass beide Konzepte noch nicht vollständig ausgereift sind und es an vielen Stellen noch Verbesserungsbedarf gibt, wurden im Kapitel „Perspektiven und Ausblick“ einige Ideen gezeigt, die ein stärkeres Zusammenrücken aller Interessensträger fordern und deren Intention die gemeinsame Bewältigung von Gefahren und deren Auswirkungen ist.

Die Diplomarbeit selbst beginnt mit der Darlegung der theoretischen Grundlagen. Dabei geht hervor, dass die Bandbreite von gravitativen Massenbewegungen sehr breit gefächert ist und es unterschiedliche Prozesstypen gibt. Es zeigte sich auch, dass es kein einheitliches Klassifikationsschema von gravitativen Phänomenen gibt, jedoch jenes nach VARNES eines der bekanntesten ist. Da das Ausmaß und die Intensität, vor allem im Zusammenhang mit Extremereignissen von großer Relevanz sind, wurden deshalb zwei verschiedene Klassifikationsschemata vorgestellt. Bei den Fließbewegungen lässt sich ablesen, dass vor allem extrem schnelle Ereignisse erhebliche Schäden anrichten können und dabei akute Lebensgefahr besteht. Ähnliches gilt für Sturzprozesse, die ab einem Ausmaß von 300kJ lebensbedrohlich werden. Teilt man die gravitativen Massenbewegungen, welche sich in Österreich ereignen, in Gefahrenklassen ein, so geht dabei hervor, dass ein Großteil der

Phänomene den geologischen Gefahren zuzuordnen ist. Nichtsdestotrotz dürfen auch hydrologische, meteorologische oder Feuergefahren nicht außer Acht gelassen werden, da diese ebenfalls im engen Zusammenhang mit Extremereignissen stehen. Da sich die Diplomarbeit mit Extremereignissen im gesamten österreichischen Alpenraum befasst und nicht mit einem speziellen Untersuchungsgebiet, wurde nicht speziell auf die Lage, Geologie oder Vegetation einer bestimmten Region eingegangen. Dies würde ein sehr schwieriges Unterfangen darstellen, weil es einerseits im Alpenraum viele unterschiedliche Regionen mit unterschiedlichen geologischen sowie klimatischen Voraussetzungen gibt und andererseits auch den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde. Es wurde aber versucht, die räumliche Verteilung von gravitativen Massenbewegung darzustellen. Dabei konnte man feststellen, dass sich Rutschungen vor allem in der Flyschzone ereignen und Sturzprozesse hauptsächlich in den Zentralalpen oder den Nördlichen Kalkalpen stattfinden.

Ein weiteres Ziel der Diplomarbeit ist es, zu repräsentieren, wie gravitative Massenbewegungen überhaupt entstehen. Daher wurden im vierten Kapitel mögliche Ursachen herausgearbeitet. Diese lassen sich in vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende Faktoren unterteilen. Schon am ersten Blick zeigt sich, dass sowohl das Klima, als auch der Mensch im engen Zusammenhang mit gravitativen Phänomenen stehen. (Tabelle 6 veranschaulicht sämtliche Faktoren). Da sich die Diplomarbeit vorwiegend Extremereignissen widmet, wurde nicht auf jeden einzelnen Faktor im Detail eingegangen. Es wurden die wichtigsten Faktoren des breiten Spektrums selektiert und beschrieben. Dabei lässt sich feststellen, dass die Hangneigung eine wichtige Rolle spielt. Diese ist der ausschlaggebende Faktor für die Gravitationswirkung im Zusammenhang mit der Materialbewegung. Von großer Bedeutung sind auch bodenmechanische Parameter und geologische Ursachen. Ebenfalls wichtig sind destabilisierende Faktoren, die sich in endogene und exogene Ursachen untergliedern lassen. Auch hier zeigt sich wieder relativ deutlich, dass der Mensch gewisse Prozesse durch sein aktives Einwirken beschleunigen oder verstärken kann. Die Diplomarbeit widmet sich insgesamt betrachtet eher den vorbereitenden Faktoren, da diese meiner Ansicht nach im Zusammenhang mit Extremereignissen von größerer Relevanz sind. Daher wurden diese auch ausführlicher beschrieben.

Während das vierte Kapitel als Grundverständnis dient und gravitative Prozesse im Allgemeinen beleuchtet, wird im fünften Kapitel detailliert auf die einzelnen gravitativen Phänomene des Alpenraums eingegangen. Es zeigte sich, dass Sturzprozesse im engen Zusammenhang mit Permafrost stehen und sehr stark von Temperaturveränderungen abhängig sind. Viele Klimamodelle prognostizieren eine deutliche Temperaturzunahme im Alpenraum, wodurch es zu einem Abschmelzen des vorhandenen Permafrosts kommt. Da der Permafrost wie eine Art „Kleber“ des Gesteins fungiert, kann man davon ausgehen, dass sich durch den abnehmenden Permafrost Fels- und Bergstürze zukünftig wahrscheinlich häufiger ereignen werden. Des Weiteren lässt sich sagen, dass die klimatischen Bedingungen dazu beitragen, dass sich nicht nur die Häufigkeit von gravitativen Phänomenen verändert, sondern auch die Intensität. Dies lässt sich vor allem bei Rutschprozessen beweisen. Diese sind eng mit Niederschlägen verbunden. Auch hier zeigte die Literaturrecherche ein klares Bild. In Zukunft muss damit gerechnet werden, dass zwar einerseits die Gesamtniederschlagsmenge abnehmen wird, andererseits aber deren Intensität deutlich zunehmen wird. Nimmt man nun an, dass Starkniederschlagsereignisse in Zukunft öfters stattfinden werden, dann lässt sich daraus ableiten, dass sich auch die Anzahl von extremen Rutschprozessen erhöhen wird.

Um zu zeigen, dass Extremereignisse kein rein gegenwärtiges Phänomen darstellen, sondern es bereits in der Vergangenheit zu schwerwiegenden Vorfällen kam, soll im Kapitel „Geschichtlicher Kontext- Dokumentation von Extremereignissen“ verdeutlicht werden. Beispiele wie die Mure am Enterbach oder die Dobratsch-Bergstürze stehen dabei nur stellvertretend für eine Vielzahl an außergewöhnlichen Ereignissen, die sich in der Vergangenheit zugetragen haben und mitunter auch viele Todesopfer forderten. Heutzutage kommt es ebenfalls zu Ereignissen extremen Ausmaßes. Dies beweisen unter anderem der Bergsturz in der Nähe von Dürnstein oder das Murenunglück in der Gemeinde Gasen.

Das siebte Kapitel beinhaltet den wohl wichtigsten Teil der Diplomarbeit, nämlich jenen der gravitativen Extremereignisse. Dabei ging es vor allem um die Abgrenzung von Extremereignissen von „gewöhnlichen“ Ereignissen. Dies stellte sich als ein sehr schwieriger Prozess dar. Einerseits enthält die derzeitig vorhandene Literatur wenig Informationen über gravitative Extremereignisse im Allgemeinen, andererseits gibt es

keine klare Definition, ab wann überhaupt von einem Extremereignis gesprochen werden kann. Nach längerer Recherche und längerem Überlegen entschied ich, die derzeitig vorhandenen Klassifikationsschemata zu verwenden und die jeweilig höchste Stufe als „extrem“ zu deklarieren. Bei Sturzprozessen wären dies demnach alle Ereignisse, deren Intensität 300kj übersteigt, bzw. ein Volumen eines Einzelblocks größer als 125.000 cm³ ist. Bei Rutsch- und Fließprozessen hingegen wären damit alle Phänomene, die nach BELL ET AL. in Geschwindigkeitsklasse 6 und 7 fallen, gemeint. Des Weiteren könnte man Rutschungen auch nach deren Volumen und Fläche abgrenzen. Dabei wären Ereignisse, welche unter die Kategorien „groß“ und „sehr groß“ fallen, als Extremereignis zu interpretieren. In wenigen Worten und ganz allgemein gesehen, lässt sich nach dieser Betrachtungsweise ein Extremereignis als solches definieren, deren physische Charakteristika sich klar von gewöhnlichen Ereignissen unterscheiden. Diese Charakteristika umfassen unter anderem Masse, Volumen, Geschwindigkeit, Temperaturen, Niederschlag, freigesetzte Energie etc. Doch Extremereignisse nur rein naturwissenschaftlich abzugrenzen, reicht nicht aus, da auch die sozioökonomische Dimension von Extremereignissen eine wichtige Rolle spielt. Nach dieser Auffassung sind dann all jene Ereignisse als extrem zu verstehen, die auch extreme Auswirkungen auf die Gesellschaft haben. Dies kann sich dann in der Anzahl von Verletzten, Gebäudeschäden, Todesopfern, Gefährdung von kritischen Infrastrukturen oder Landflächen äußern. (MERGILI ET AL. 2018:370) Als gute Beispiele lassen sich hier jene Katastrophen nennen, die im sechsten Kapitel („Geschichtlicher Kontext“) angeführt wurden. Ab wann ein Ereignis als „extrem“ gilt, lässt jedoch auch nach Abschluss der Diplomarbeit viel Interpretationsspielraum offen. Das dabei entscheidende Stichwort lautet „Vulnerabilität“. In verletzlichen Gesellschaften können bereits kleinere Ereignisse (mit einer geringeren Magnitude) zu einer Katastrophe führen, während in unbesiedelten, abgelegenen Gebieten Extremereignisse nicht einmal registriert werden und die Bevölkerung keinen Schaden davonträgt. (MERGILI ET AL. 2018:370). Das bedeutet, nur Schwellenwerte als Abgrenzung heranzuziehen, ist nicht ausreichend.

Neben den offensichtlichen Faktoren wie Temperaturzunahme und Niederschlagsveränderungen wurden darüber hinaus noch weitere Punkte thematisiert, die ein zukünftiges Eintreten von Extremereignissen begünstigen. In diesem Zusammenhang würden sich wiederum unzählige Faktoren nennen lassen,

jedoch beschränkt sich die Diplomarbeit auf die dabei meiner Meinung nach wichtigsten absehbaren Trends. Als erstes Problem lassen sich Waldbrände nennen. Da wie bekannt stets höhere Temperaturen zu erwarten sind und zukünftig häufiger mit langanhaltenden Dürreperioden zu rechnen ist, erhöht sich auch die Gefahr von Waldbränden. Dies ist deswegen extrem problematisch, da die Wälder Österreichs vielerorts eine Schutzfunktion gegenüber gravitativen Massenbewegungen darstellen. Kommt es nun zu flächendeckenden Waldbränden, kann dieser Schutz jedoch oftmals nicht mehr gewährleistet werden und die Bevölkerung wäre Naturereignissen und deren Folgen hilflos ausgesetzt.

Des Weiteren können auch demografische Entwicklungen Einfluss auf Extremereignisse ausüben. Auch wenn kein eindeutiger demographischer Trend bezüglich Bevölkerungsrückgang, Stagnation oder Bevölkerungszunahme abzulesen ist, stellt vor allem die Zersiedelung ein massives Problem dar. In Regionen, die einen Bevölkerungszuwachs aufweisen, müssen Straßen errichtet werden, um eine bessere Erreichbarkeit gewährleisten zu können. Das Problem dabei ist, dass jeder Eingriff zu einem Stabilitätsverlust der Hänge führt. Die Literaturrecherche ergab in diesem Zusammenhang ebenfalls, dass jeder noch so kleine anthropogene Eingriff ins Natursystem schwere Folgen nach sich ziehen kann. Man spricht dann auch von sogenannten „Man-made-Hazards“. Darunter fallen kontraproduktive Wirtschaftsweisen oder eine falsche Bewirtschaftung von Hängen. Dieses falsche Verhalten und das oftmals vorhandene fehlende Bewusstsein verstärken klimatische Auslöser und erhöhen die Gefahr von Extremereignissen um ein Vielfaches.

Eines der wohl größten Probleme stellt der alpine (Winter-)Tourismus dar. Dabei stellte sich heraus, dass teilweise (noch immer) Schutzwälder für die Errichtung neuer Skipisten gerodet werden. Dies schränkt nicht nur die Sicherheit für die Bevölkerung ein, Planierungen erhöhen auch den Oberflächenabfluss. Da viele Megaskiresorts trotz wirtschaftlichen Engpässen immer noch auf die Erweiterung von Skigebieten setzen, mit der Hoffnung einen wirtschaftlichen Aufschwung zu erleben, erfolgt ein flächendeckend immer massiverer Eingriff ins Natursystem. Dies wiederum erhöht die Vulnerabilität der Bevölkerung.

Das achte Kapitel stellt das zweite zentrale Thema der Diplomarbeit dar. Es geht vor allem um die Frage, wie sicher die derzeitigen eingesetzten Präventionsmechanismen im österreichischen Alpenraum überhaupt sind. Um dies herauszufinden, beschloss ich, zu Beginn des Kapitels eine allgemeine Einführung über vorhandene Schutzsysteme zu geben. Dabei werden unter anderem Monitoring- und Frühwarnsysteme kurz vorgestellt. Der Fokus richtet sich jedoch auf eine ganz andere, viel wichtigere Frage, nämlich der Beständigkeit der Schutzsysteme. Im Zuge meiner Literaturrecherche bin ich immer wieder auf die Begriffe „Überlastfall“ und „Restrisiko“ gestoßen und es zeigte sich, dass niemals eine hundertprozentige Sicherheit für die Bevölkerung gewährleistet werden kann. Oberste Priorität ist die Erhaltung von Schutzzielen und Schutzgütern. Einhergehend mit der zukünftigen Zunahme von Extremereignissen spielt eine richtige durchgeführte Risikoanalyse eine immer wichtiger werdende Rolle. In diesem Zusammenhang wurden die Modelle des „integralen Risikomanagements“, sowie jenes der „Risk-Governance“ kurz repräsentiert. Dabei ging hervor, dass die Ansätze dieser Konzepte durchaus gut sind, jedoch in vielen Punkten noch erheblicher Verbesserungsbedarf besteht. Dies betrifft einerseits technische Aspekte, wie die Erneuerung und Instandhaltung von Schutzsystemen, andererseits aber auch die Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung selbst, um diese auf möglichen eintretenden Naturszenarien vorzubereiten und aufzuklären. Im Kapitel „Ausblick und Perspektiven“ wurden diese Verbesserungsvorschläge abschließend zusammengefasst.

Meine abschließende Erkenntnis daraus ist, dass es in zukünftig immer wichtiger sein wird, dass verantwortliche Interessensträger näher zusammenrücken und gemeinsame Vorschläge erarbeiten. Dies betrifft vor allem Bereiche wie die Einführung eines gemeinsamen Restrisikomanagements oder die Bereitstellung von wichtigen Informationen über Naturgefahren für die Bevölkerung. Nur durch ein gemeinsames Miteinander aller Akteure wird es möglich sein, das Gefahren- und Schadenspotential von Extremereignissen einzuschränken und der Bevölkerung mehr Schutz bieten zu können.

10. Hypothesen – Fazit

In diesem Kapitel werden die zu Beginn der Arbeit formulierten Hypothesen ein weiteres Mal aufgegriffen, beantwortet und diskutiert.

Die erste Hypothese lautete dabei wie folgt:

H1: Gravitative Massenbewegungen treten sehr häufig in Form eines Extremereignisses auf.

Hat sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen in den letzten Jahren intensiviert oder sind sie eher die Ausnahme? Ab welchem Schwellenwert spricht man überhaupt von einem Extremereignis? Inwiefern begünstigen der Klimawandel und der Einfluss des Menschen die Intensität von Extremereignissen?

Diese These muss zum **derzeitigen Zeitpunkt** verworfen werden. Zwar sprechen viele Trendprognosen für eine Zunahme von Extremereignissen, jedoch sind diese zum Status quo eher noch singuläre Ereignisse. Festzustellen ist jedoch, dass sowohl der Klimawandel, als auch anthropogene Eingriffe einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, dass sich die Anzahl und Intensität von Naturgefahren zukünftig drastisch erhöhen werden. Vor allem durch die stets steigenden Temperaturen und durch die Veränderung der Niederschlagsverhältnisse werden Extremereignisse begünstigt.

H2: Die derzeit existierenden Präventionsmechanismen und Monitoring Systeme im österreichischen Alpenraum bieten vollkommenen Schutz vor gravitativen Extremereignissen.

Kann ein hundertprozentiger Schutz für die Natur und Bevölkerung gewährleistet werden? Welche Präventionsmaßnahmen werden derzeit in Österreich eingesetzt? Gibt es Handlungsmöglichkeiten, um die derzeitigen Schutzmechanismen zu verbessern?

Diese These muss bedingt verworfen werden. Auch mit voranschreitender Technologie und möglichen Optimierungsmaßnahmen kann niemals ein hundertprozentiger Schutz für die Bevölkerung gewährleistet werden. Es gibt stets gute Ansätze die derzeitigen Präventionsmechanismen zu verbessern, dennoch muss immer mit einem gewissen Restrisiko oder einem potentiellen Überlastfall gerechnet werden. Um sich zukünftig besser gegen Extremereignisse absichern zu können, ist ein näheres Zusammenrücken aller Interessensträger, sowie die Förderung des Bewusstseins der Bevölkerung notwendig.

11. Ausblick & Perspektiven

Für eine zukünftig bessere Handhabung mit Extremereignissen, Risikosituationen und Überlastfällen, sollen in diesem Unterkapitel einige Maßnahmen gezeigt werden, die zu einer Umgestaltung der derzeitigen Situation führen sollen. Nachfolgende Beispiele stellen nur Empfehlungen dar, selbstverständlich könnte diese Liste noch erweitert werden. Da ein deutlicher Anstieg von Extremereignissen prognostiziert wird, könnten die nachfolgenden Vorschläge das derzeitige Risikomanagement erheblich verbessern und einen höheren Schutz an Sicherheit gewährleisten.

SCHNEIDERBAUER ET AL. unterteilen die verschiedenen Vorschläge in vier verschiedene Kategorien, die wie folgt lauten:

- 1.) Risikobewertung
- 2.) Restrisikomanagement
- 3.) Involvierung von Interessensträgern und Bewertungsverfahren zum Umgang mit Restrisiken
- 4.) Kommunikation des Restrisikos (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:58)

1.) Risikobewertung

Für eine bessere Gestaltung der Bewertung des Risikos werden insgesamt drei Vorschläge genannt. Diese stützen sich auf die klare Ausweisung von Schutzziele und deren dazugehörigen Implikationen betreffend Überlastfall und Restrisikoabgrenzung. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:59)

Da es alpenweit immer noch keine einheitliche Terminologie für die Begriffe Restrisiko und Überlastfall gibt, wäre der erste wichtige Schritt laut SCHNEIDERBAUER ET AL. die Einführung von länderübergreifenden, klaren und allgemeinen Definitionen. Dadurch könnten Missverständnisse vermieden und ein allgemeines Verständnis erreicht werden. Nützlich wäre auch die Vereinheitlichung von Schutzziele, betreffend Gefahren und Risiken im alpinen Raum und schließlich die Einführung von kommunen

Instrumenten, die dafür gedacht sind, diese Ziele einzuhalten und anzuwenden. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:59)

Der zweite Vorschlag beinhaltet die Einführung einer gemeinsamen Vorgehensweise in der integralen Risikobewertung im alpinen Raum. Dies ist deswegen sehr wichtig, da die Bewertung des Risikos als Grundbasis für etwaige Entscheidungen über Schutzstrategien und Schutzmaßnahmen in den unterschiedlichen Governance-Ebenen fungiert. Diese Bewertung sollte sowohl auf lokaler, regionaler, nationaler und transnationaler Ebene nach einem länderübergreifenden und einheitlichen Konzept erfolgen. Das Konzept selbst könnte so gestaltet werden, dass es technische, biophysikalische, sozioökonomische und kulturelle Inhalte beinhaltet. Noch wichtiger wird es sein, die Folgen des Klimawandels miteinzubeziehen, aber auch andere prognostizierte Trends, wie die Ausweitung von Bebauungsflächen oder den Bevölkerungsrückgang in einigen ländlichen Regionen. Des Weiteren sollte die Bewertung so deklariert sein, dass das möglich eintretende Restrisiko, welches auch nach Umsetzung von etwaigen Schutzmaßnahmen aufrecht bleibt, klar ersichtlich ist. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:59).

Darüber hinaus würde auch eine verbesserte detailliertere Aufzeichnung von Gefahrenereignissen und den dazugehörigen Schäden mittels einer leicht zugänglichen Datenbank weiterhelfen. Damit wäre es möglich, statistische Analysen zu präzisieren, welche als Grundlagen für die Ausweisung von möglichen Schutzzielen fungieren. Idealerweise sollte zudem die derzeit gängige Bewertung des Risikos um die integrale Risikobewertung ergänzt werden, welche einerseits auch die Gefährdung und Vulnerabilität berücksichtigt und andererseits auch die Förderung und Entwicklung entsprechender Maßnahmen forciert. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:59). Des Weiteren schlagen SCHNEIDERBAUER ET AL. vor, mögliche Unsicherheiten und unvorhersehbare Ereignisse bei der Festlegung des Risikoniveaus in einer bestimmten Region zu berücksichtigen. Sie sind auch der Auffassung, dass eine intensivere Überwachung von gefährlichen Prozessen und den damit zusammenhängenden Auswirkungen zu einer wesentlichen Verbesserung der jetzigen Situation beitragen würde. Dies könnte beispielsweise mit Hilfe von neuen und innovativen Technologien, wie beispielsweise durch Fernerkundung oder durch Volunteered Geographic Information erfolgen. Die dritte Idee manifestiert sich in der Miteinbeziehung der festgelegten Schutzziele in die

Risiko-Governance. Dieser Prozess sollte dabei möglichst übersichtlich und vor allem partizipativ erfolgen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:60)

2.) Restrisikomanagement

Die Bewertung des Restrisikos bei Flächennutzungs- und Raumplanungsentscheidungen stellt für die Zukunft eine unabdingliche Maßnahme dar und gewinnt immer mehr an Relevanz. Für ein gut strukturiertes und durchdachtes Restrisikomanagement ist es notwendig, mögliche Unsicherheiten miteinzuplanen. Diese Unsicherheiten umfassen sowohl klimabedingte Faktoren, welche sich durch die ständige Dynamik der Naturgefahren verändern können, als auch mögliche menschliche Fehler, wie beispielsweise Berechnungsfehler von Bemessungsereignissen oder Fehler bei der Ausweisung risikofälliger Gebiete. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:60)

Weitere Verbesserungsvorschläge für ein gelungenes Restrisikomanagement wären unter anderem:

- 1.) **Miteinbeziehung von natur- bzw. ökosystemorientierten Anpassungsmaßnahmen in Flächennutzungspläne.** Dazu zählen Schutzwälder und Puffer- bzw. Rückhaltezone. Diese Maßnahme würde dazu beitragen, zukünftige Auswirkungen von Naturgefahren abzuschwächen und den Materialabfluss von Massenbewegungen besser steuern zu können.
- 2.) **Veröffentlichung von verbindlichen Informationsmaterial betreffend Restrisiko.** Dieses wäre unter anderem eine große Hilfe, wenn eine Liegenschaft, welche sich in einer exponierten Zone befindet, veräußert oder gekauft wird.
- 3.) **Erwerbsverbot von nicht erschlossenen Grundflächen durch Gemeinden.** Dies würde zur Folge haben, dass sich Privatpersonen Flächen in Hochrisikogebieten nicht mehr aneignen können. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:60 f.)

- 4.) **Repräsentation des Restrisikos in Karten und Flächennutzungsplänen.**
Die kartografische Darstellung des Restrisikos würde die derzeitige risikoorientierte Raumplanung deutlich verbessern.
- 5.) **Berücksichtigung eines möglichen Kollabierens von Schutzmaßnahmen und Entwicklung von Vorbereitungsmaßnahmen im Überlastfall.** Damit ist gemeint, dass die Bevölkerung in risikoanfälligen Gebieten für den Extremfall gut vorbereitet werden soll und mögliche Schäden durch geeignete Schutzsysteme reduziert werden sollen.
- 6.) **Entwicklung und Einsatz von neuen, technischen Schutzmaßnahmen.**
Diese sollten so konstruiert sein, dass sie leichte, aber kontrollierbare Überlastungen zulassen können, ohne dass dabei jedoch größere Schäden entstehen. Oberstes Ziel ist es, die verheerenden Folgen, die durch ein plötzliches Versagen von Schutzsystemen ausgelöst werden können, einzudämmen bzw. zu verhindern. Ein Ansatz wäre in etwa, einwirkende Kräfte von Gefahrenereignissen in Zonen umzuleiten, die nur ein sehr geringes Schadenspotential aufweisen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:61)
- 7.) **Verabschiedung von strengeren Baunormen.** Diese sollten so konzipiert sein, dass sie auch Schutzmaßnahmen enthalten, die auf das Restrisiko und einen potentiellen Überlastfall ausgerichtet sind.
- 8.) **Entwicklung von neuen Vorschriften,** durch welche erreicht werden soll, dass kritische Infrastrukturen (wie beispielsweise Schulen oder Kraftwerke) aus besonders gefährdeten Gebieten in weniger gefährdete Gebiete umgesiedelt werden können. Die Absicht dahinter ist es auch, Betriebsunterbrechungen, bedingt durch Naturgefahren, so gut wie möglich zu verhindern. Die Vorschriften sollten zudem so ausgelegt sein, dass sie die Planung von potentiellen neuen kritischen Infrastrukturanlagen in Hochrisikozonen untersagen.
- 9.) **Verbesserungen in der Steuer- und Finanzpolitik.** Dies betrifft die Entwicklung von exponierten Regionen. Dabei sollten Anreize geschaffen werden, die dazu animieren, die Landnutzungsintensität in gefährdeten

Gebieten zu senken. Die sich daraus ergebenden Steuereinnahmen könnten dann in die Verbesserung von Notfallmanagementdiensten einfließen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:61)

3.) Involvierung von Interessensträgern und Bewertungsverfahren zum Umgang mit Restrisiken

Für ein reibungsloses Restrisikomanagement ist auch die Miteingliederung der jeweiligen Akteure notwendig. Dies ist vorteilhaft, da diese Personengruppen wichtige Entscheidungen auf Verwaltungsebene erheblich beeinflussen können. Gemeinsam getroffene Entscheidungen haben ein größeres Potenzial, Anklang in der Bevölkerung zu finden und schneller realisiert werden zu können. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:62). SCHNEIDERBAUER ET AL. äußern in diesem Zusammenhang folgende Verbesserungsvorschläge:

- 1.) **Involvierung der Bevölkerung bei der Entscheidungsfindung.** Sowohl Einzelpersonen, als auch wichtige Mitglieder der Gemeinschaft sollen ein Mitspracherecht bei geplanten Risikomanagementaktivitäten erhalten.
- 2.) **Berücksichtigung der Bürger und Bürgerinnen bei der Auswahl der richtigen Schutzsysteme.** Für die korrekte Selektion von Schutzmaßnahmen sollen individuelle Wahrnehmungen der Bevölkerung integriert werden.
- 3.) **Verbesserung der Sektor übergreifenden Zusammenarbeit.** Es soll eine gemeinsame Informationsplattform ins Leben gerufen werden, die das Ziel verfolgt, die Kooperation zwischen den jeweiligen Sektoren bzw. Hierarchieebenen zu optimieren.
- 4.) **Direkter Einbezug von Interessensträgern.** Durch gut durchdachte Partizipationsprozesse sollen die Interessensträger bei Entscheidungsfindungen direkt involviert werden.

5.) **Entwicklung von tragfähigen Entscheidungsfindungsmechanismen.**

Diese sollen den Akteuren als Hilfsmittel für schwierige Entscheidungen dienen.

(SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:62)

4.) Kommunikation des Restrisikos

SCHNEIDERBAUER ET AL. plädieren dafür, dass es zukünftig notwendig sein wird, in einem stärkeren Ausmaß mit der Bevölkerung zu kommunizieren und unterstreichen zudem die Notwendigkeit einer verbesserten Wissensvermittlung. Die Bevölkerung sollte darüber in Kenntnis gesetzt werden, dass auf jeden Fall mit einem gewissen Restrisiko gerechnet werden muss. Durch eine verbesserte Kommunikation des Restrisikos kann sich die Gesellschaft besser auf eine Berücksichtigung des Restrisikos einstellen, vor allem dann, wenn wichtige Entscheidungen getroffen werden müssen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:63). Folgende Maßnahmen werden dabei empfohlen:

- 1.) **Wissensvermittlung über die Auswirkungen und Risiken betreffend Naturgefahren.** Dabei wäre es wichtig, bereits Kinder über Naturgefahren, Vulnerabilitäten und die damit zusammenhängenden Risiken zu informieren.
- 2.) **Verbesserte Informationsvermittlung.** Es sollten gezielt mehr Informationen über vorhandene Restrisiken betreffend Naturgefahren verbreitet werden, um ein höheres Bewusstsein in der Bevölkerung zu erreichen.
- 3.) **Entwicklung von länderübergreifenden Kommunikationsstrategien.** Diese sollen das Ziel verfolgen, die Handhabung von Restrisiken grenzübergreifend zu verbessern.
- 4.) **Berücksichtigung früherer Ereignisse mittels Storytellings.** Erfahrungen und Auswirkungen, bzw. wie in der Vergangenheit mit Naturgefahren umgegangen worden ist, sollten bei wichtigen Entscheidungen miteinbezogen werden.

- 5.) **Einsatz von neuen Medien.** Sowohl digitale, als auch Druckmedien sollten für alle Bürger zur freien Entnahme bereitstehen.
- 6.) **Förderung der Zusammenarbeit von örtlichen Vertreibern.** Dadurch würde ein neues Netzwerk entstehen, welches einige Vorteile bringen könnte. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:63)
- 7.) **Entwicklung von Apps für Mobilfunktelefone.** Durch den Einsatz von sozialen Medien könnten Informationen über Naturgefahren schneller verbreitet werden.
- 8.) **Abhalten von Kommunikationskampagnen.** Diese sollten die Bevölkerung darüber aufklären, dass eine hundertprozentige Sicherheit vor Naturgefahren nicht existiert.
- 9.) **Einsatz und Verwendung der regionalen Infrastruktur.** Diese sollte speziell für die Abhaltung von öffentlichen Debatten und Veranstaltungen, welche die Entscheidungsfindungsprozesse bezüglich Restrisiko und Überlastfall thematisieren, genutzt werden.
- 10.) **Entwicklung neuer Lernformen.** Als Beispiel lassen sich soziale Lernformen nennen, die mitunter auch das lokale Wissen über Naturphänomene berücksichtigen. Ziel ist es das vorhandene, traditionelle Konzept durch ein neues, innovatives Konzept zu ersetzen. (SCHNEIDERBAUER ET AL. 2018:63)

12. Literaturverzeichnis

ABELE G. (1974): Bergstürze in den Alpen – ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. – Wissenschaftliche Alpenvereinshefte 25, München, 230 S.

AHNERT F. (2015): Einführung in die Geomorphologie, 5. Auflage, Eugen Ulmer Verlag – Stuttgart

ALP FFRIS (Alpine Forest Fire Warning System) (2012): Die Waldbrände in den Alpen, Vorhersage, Kenntnis und Kooperation zum Schutz unsere Wälder, Decollatura, Tschechische Republik, 27 S.

ANDRECS P., HAGEN K., FROMM R., GAUER P., HÖLLER P., KLEBINDER K., KOHL B., LANG E., MARKAT G., PERZL F., STARY U., ZEIDLER A. (2010): AdaptEvent. Analyse der Sicherheit und Genauigkeit von Bemessungswerten bei gravitativen alpinen Naturgefahren und Ableitung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel, Endbericht des BFW im Auftrag des BMLFUW im Rahmen des EU Projekts AdaptAlp ("Adaptation to Climate Change in the Alpine Space"), Wien, 321 S

AWEL & IBK (2007): Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien, Erste Standortbestimmung, im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) und der Kommission Umwelt (Plattform Klimaschutz und Energie) der Internationalen Bodenseekonferenz IBK.

BÄK R., RAETZKO K., MAYER K., VON POSCHINGER A., POSCH-TROTZMÜLLER G. (2011): Mapping of Geological Hazards: Methods, Standards and Procedures (State of Development) – Overview. In: Skolaut C. (Hrsg.), Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz., Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, S. 30-52

BELL R., MAYER J., POHL J., GREIVING S., GLADE T. (2010): Zur Bedeutung eines integrativen Frühwarnsystems für gravitative Massenbewegungen. In: BELL R., MAYER J., POHL J., GREIVING S., GLADE T. (2010): Integrative Frühwarnsysteme für gravitative

Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung. Klartext Verlag, Essen, S. 11-16.

BOLLINGER D., HEGG C., KEUSEN H. R., LATELTIN O. (2000): Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. In: Bulletin für Angewandte Geologie, 5 (1), S. 5-38.

BOMMER C, PHILLIPS M., KEUSEN H.-R., TEYSSEIRE P. (2009): Bauen im Permafrost: Ein Leitfaden für die Praxis, Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL., 126 S

BRAUNER M., BRAUNSTINGL R., LAIMER H. J. (2015): Monitoring von Gravitativen Massenbewegungen. In: Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung, Fachliche Empfehlungen & Materialienband, ÖROK-Schriftenreihe Nr. 193, Wien: Österreichische Raumordnungskonferenz, S. 241-245

BWG (2004) Gefahreneinstufung Rutschungen i.w.S., Bern: Bundesamt für Wasser und Geologie.

CEVIK Y. (2008) Geomorphologische Analyse einer komplexen gravitativen Massenbewegung, Diplomarbeit, Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie Universität Wien

DAV (DEUTSCHER ALPENVEREIN) (2016): Rekordtemperaturen im Permafrost, online unter: https://www.alpenverein.de/natur/neue-datensammlung-belegt-anhaltenden-trend-zu-waermeren-temperaturen-im-permafrost_aid_28510.html, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

DIKAU, R., GLADE, T. (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. Geographische Rundschau, Band 54, S. 38-45

DIKAU, R., STÖTTER, J., WELLMER, F-W., DEHN, M. (2001): Massenbewegungen. In: PLATE E., MERZ, B. (Hrsg.): Naturkatastrophen - Ursachen, Auswirkungen, Vorsorge. Stuttgart, S. 114-138

EICHINGER M. (1999): Umweltgefahren durch Massenskisport im bayerischen Alpenraum – Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt – 64_1999, S. 13-37

FORMAYER H., CLEMENTSCHITSCH L., HOFSTÄTTER M., KROMP-KOLB H. (2009): Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet (Endbericht im Auftrag von Global 2000, Mai 2008). BOKU-Met Report 16, ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187, 108 S.

FORMAYER H., EITZINGER J., NEFZGER H., SIMIC S., KROMP-KOLB H. (2001): Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist, Global 2000 Österreich, Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur Wien, 57 S

GLADE T., HOFFMANN P., THONICKE K. (2017): Dürre, Waldbrände, gravitative Massenbewegungen und andere klimarelevante Naturgefahren. In: BRASSEUR G.P., JACOB D., SCHUCK-ZÖLLER S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 111-126

GLADE T. (2015): Gravitative Naturgefahren: Entstehung, Wirkungen und Risikomanagement. In: Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung, Fachliche Empfehlungen & Materialienband, ÖROK-Schriftenreihe Nr. 193, Österreichische Raumordnungskonferenz, Wien, S. 54 – 62

GLADE T., BELL R., DOBESBERGER P., EMBLETON-HAMMAN C., FROMM R., FUCHS S., HAGEN K., HÜBL J., LIEB G., OTTO J.C., PERZL F., PETICZKA R., PRAGER C., SAMIMI C., SASS O., SCHÖNER W., SCHRÖTER D., SCHROTT L., ZANGERL C., ZEIDLER A. (2014): Der Einfluss des Klimawandels auf die Reliefsphäre. In: APCC, Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Band 2, Kap4, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, S. 557-600

GLADE T., DIKAU R. (2001): Gravitative Massenbewegungen: Vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. In: Petermanns Geographische Mitteilungen (Hrsg.), Band 145, Heft 6: Umweltkatastrophen, Gotha, S. 42-55.

GLADE T., STÖTTER H. (2007): Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen. In: FELGENTREFF C., GLADE T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Springer Verlag (Spektrum Akademischer Verlag) Berlin, Heidelberg 2008, S. 151 – 162.

GREIVING S. (2010): Risikomanagement. In: BELL R., MAYER J., POHL J., GREIVING S., GLADE T. (2010): Integrative Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung, Klartext Verlag, Essen, S. 203-230.

HAMMOND, C., HALL, D., MILLER, S. & SWETIK, P. (1992): Level I stability analysis (LISA) documentation for version 2.0., USDA-FS General Technical Report INT-285, ForestService, Intermountain Research Station, U.S. Department of Agriculture, 190p.

HELM J., PÜHRINGER F., WINKELMAYER B. (2016): Gravitative Naturgefahren. In: Masterprojekt Integrales Naturgefahrenmanagement, A. Kanonier, H.P. Walchhofer (Hrsg.), Department für Raumplanung, Wien, 110 S.

HIGHLAND L. M, BOBROWSKY P., (2008): The landslide handbook - A guide to understanding landslides: Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.

HÜBL J. (1996): Muren als Transportprozessform in Einzugsgebieten, Debris flows as a transportmechanism in a drainage basins. In: Internationales Symposium INTERPRAEVENT, VHB, Tagespublikation, Band 3, S. 93 – 101

HÜBL J., KOCIU A., KRISL H., LANG E., LÄNGER E., MOSER A., PICHLER A., RACHOY C., RUDOLF-MIKLAU F., SCHNETZER I., SITTER F., SKOLAUT C., TILCH N., TOTSCHNIG R. (2009): Alpine Naturkatastrophen. Lawinen, Muren, Felsstürze, Hochwässer. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent (Hrsg.), Leopold Stocker Verlag, Graz, 120 S.

JAHN J. (1988): Entwaldung und Steinschlag, Internationales Symposium Interpraevent 1988 in Graz, Tagungspublikation, Band 1, Graz, S. 185-198

KENNER R., PHILIPPS M. (2017): Fels- und Bergstürze in Permafrost Gebieten: Einflussfaktoren, Auslösemechanismen und Schlussfolgerungen für die Praxis, Schlussprojekt Arge Alp Projekt, Einfluss von Permafrost auf Berg- und Felsstürze, 33 S.

KRAINER K. (2007): Permafrost und Naturgefahren in Österreich. – Ländlicher Raum, Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Jahrgang 2007, 18 S.

KRÄTTLI W., SCHWARZ M. (2015): Stabilisierung rutschender Hänge, Fachstelle für forstliche Bautechnik (Hrsg.), Maienfeld, 54 S.

KRAUTER E. (2003): Marginalsiedlungen und deren Gefährdung durch Rutschungen. Geo-International.

LOTTER M., HABERLER A. (2013): Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen, In: Berichte Geol. B-A (Hrsg.), 100, NÖ GEOTAGE – 19 & 20.3. 2013 in Rabenstein an der Pielach, S 1-17

MATTNER C. (2006): Naturrisiken und Klimawandel im Alpenraum, Projektstudie: „Klimaökologie und Klimawandel am Aletsch- und Rhone-gletscher im Wallis/Südschweiz“ im Herbst 2006, Geographisches Institut, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, 14 S.

MERGILI M., SCHECHTNER H., MEHLHORN S., RUDOLF-MIKLAU R., GLADE T. (2018): ExtremA 2018: Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich. Wildbach- und Lawinenverbau, Jg. 182, S. 1-4

MÜLLEGGER M. (2013): Beispiele aus Niederösterreich Felssturz Dürnstein/Wachau – Das schwere Erbe der Biratalwand – Berichte der Geologischen Bundesanstalt – 100, S. 18-20.

MUMIC E. (2012): Eine Analyse von Rutschungen in Tuzla 2010, Universität Wien – Diplomarbeit, Wien

NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT: Bergsturz, Schweizerische Eidgenossenschaft, (online unter: <http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/bergsturz/>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT: Entstehung eines Bergsturzes, Schweizerische Eidgenossenschaft (online unter: <http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/bergsturz/entstehung-bs/>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

NÄF D., MC ARDELL B.W. (2004): Murgänge. Vom Berg droht Gefahr, Die Alpen, Schweizerischer Alpen-Club SAC 11/2004, S. 48-51

NIEDERBICHLER D. (2014): Charakterisierung von Rutschungen mit Schwerpunkt der Reichweitensimulation anhand von Praxisbeispielen, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische Universität Graz, Masterarbeit, Graz, 160 S.

ORF (ÖSTERREICHISCHER RUNDFUNK) (Hrsg.) (2017): Riesiger Felssturz beim Wiesbachhorn. (online unter: <https://salzburg.orf.at/news/stories/2874520/>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ORF (ÖSTERREICHISCHER RUNDFUNK) (Hrsg.) (2018): Unwetter: Gasen zum Katastrophengebiet erklärt: (online unter: <https://steiermark.orf.at/news/stories/2936033/>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

PLANAT (2013): Sicherheitsniveau für Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 15 S.

POPESCU M. (1994): A Suggested Method for Reporting Landslide Causes. In: Bulletin of the IAEG (50), Paris. S. 71-74

PRINZ H., STRAUSS R. (2011): Abriss der Ingenieurgeologie, 5. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier GmbH, München

PROSKE H. BAUER C. (2013): MoNOE – Modellierung der Sturzprozesse. In: GBA (Geologische Bundesanstalt), (2013), NÖ Geotage „Geogene Gefahren und Raumordnung“ 19 & 20.9.2013 in Rabenstein an der Pielach, Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Band 100, Rabenstein an der Pielach, S. 87-92

RESAG J. (2010): Gravitation. In: Die Entdeckung des Unteilbaren. Spektrum Akademischer Verlag

RINGLER A. (2017): Skigebiete der Alpen: landschaftsökologische Bilanz, Perspektiven für die Renaturierung, Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelten, 81/82, Jahrgang 2016/17, München, S. 29-154

RUDOLF-MIKLAU F. (2012) Einführung. In: Suda J., RUDOLF-MIKLAU F. (eds) Bauen und Naturgefahren. Springer, Vienna

RUDOLF-MIKLAU F. (2009): Naturgefahren-Management in Österreich: Vorsorge – Bewältigung – Information, LexisNexis Verlag ARD ORAC GmbH & Co KG, Wien 2009, 252 S

SCHNEIDERBAUER S., BERGER H., HARTMANN S., RIMBÖCK A., DALLA TORRE C., PEDOTH L. (2018): Der Umgang mit verbleibendem Risiko: Situationsanalyse und Herausforderungen im Alpenraum. In: KANONIER A., RUDOLF-MIKLAU F. (Hrsg.) Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis, Buchbeiträge, Verlag Österreich, S. 541-554

SCHNEIDERBAUER, S., HARTMANN, S., DALLA TORRE, C., DINKELAKER, N., SANKOWSKY, A., HOFFMANN, C., PEDOTH, L., STREIFENEDER, T. (2018): Über das Erwartete hinaus: Umgang mit dem Überlastfall und dem Restrisiko im Zusammenhang mit Naturgefahren im Alpenraum. Schlussbericht, Bozen, Italien 123 S.

SCHNEIDER U. (1999): Geotechnische Untersuchungen, satellitengestützte (GPS) Bewegungsanalysen und Standsicherheitsüberlegungen an einem Kriechhang in EBNIT, Vorarlberg. Dissertation, Fakultät für Bio- und Geowissenschaften der Universität Karlsruhe (TH)

STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION (Hrsg.) (2015): Demographischer Wandel in den Alpen, Alpenzustandsbericht, Alpenkonvention, Alpensignale, Sonderserie 5, Innsbruck, 172 S.

STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION (Hrsg.) (2019): Naturgefahren Risiko-Governance, Alpenzustandsbericht, Alpenkonvention Alpensignale, Sonderserie 7, Innsbruck, 96 S.

TOBLER D., GRAF K. (2016): Der Einfluss des Klimas auf Rutschungen im periglazialen Prozessbereich der Alpen, FAN Herbstkurs 2016, GEOTEST AG, Zollikofen, S. 32-41

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

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

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Extremereignisse: (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/europa/extremereignisse>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Großer Felssturz in Salzburg (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/geophysik/news/massiver-felssturz-in-salzburg>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Lufttemperatur: (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/lufttemperatur>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Niederschlag: (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/niederschlag>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Permafrost: (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafolgen/permafrost>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Starkniederschlag: (online unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/starkniederschlag>, zuletzt abgerufen am 04.10.2019)