



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Lawinenrisikomanagement durch Geokommunikation in  
entlegenen Gebirgsregionen“

verfasst von / submitted by

Lukas Neugebauer, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna 2021

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

A 066 856

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

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz

## Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei *Patrick Nairz* und *Rudi Mair* vom Lawinenwarndienst Tirol bedanken, über die ich ein fundiertes Wissen in der Lawinenkunde erlangte, aus dem unter anderem die Motivation dieser Masterarbeit entstand. Gerade auch Patrick Nairz unterstützte mich stets mit seinen ausführlichen Antworten auf jegliche Fragen zur Lawinenkunde, stellte mir sämtliche Daten zur Verfügung und wies auf wichtige Literatur hin, damit ich meine Masterarbeit entsprechend umsetzen konnte. Zusätzlich bekam ich Unterstützung sowohl für das Thema der Lawinenkunde, als auch für die Vorgehensweise, um diese Masterarbeit sinnvoll zu strukturieren von *Alexander Prokop*. Ich bedanke mich sehr herzlich für die langen und interessanten Gespräche und die etlichen Tipps, auf die ich beim Schreiben achten sollte.

Maßgeblich für die Struktur und den sinnvollen Aufbau dieser Arbeit bedanke ich mich bei *Katharina Pecher-Havers*, die mich mit ihrer Kompetenz im Finden der passendsten Struktur konstruktiv unterstützte. Danke auch für die Motivation, kreative und spannende Kapitelüberschriften zu finden, sowie möglichst eine Geschichte zu erzählen.

Im Bereich der Risikoforschung danke ich *Sven Fuchs* nicht nur für die Basiswissensvermittlung über Risiko und Vulnerabilität in seiner Lehrveranstaltung, sondern auch für die darüber hinausgehenden konstruktiven Gespräche mit konkretem Bezug auf diese Masterarbeit. Durch ihn konnte ich das komplexe Forschungsfeld rund um Risiko besser verstehen und einen Überblick über die wichtigsten Bereiche erlangen. Zusätzlich waren jegliche Literaturtipps sehr hilfreich.

Im Laufe der Arbeit holte ich mir immer wieder Tipps und gute Ratschläge von meinem Kollegen *Benedikt Hajek*, der mich auch stetig motivierte diese Masterarbeit voran zu treiben; vielen Dank hierfür.

Danke für das Korrekturlesen und das Feedback zu dieser Masterarbeit durch an *Sophie Pimperl*, damit besonders die sprachliche Qualität für Leser\*innen aufgewertet wird.

Meiner Mutter, *Claudia Neugebauer-Hadamek*, möchte ich für die vielen Motivationsschübe bedanken, sodass ich diese Masterarbeit auch fertig schreiben konnte. Die finanzielle Unterstützung durch meine Mutter und meinen Vater, *Bernhard Neugebauer*, ermöglichte mir nicht nur mein gesamtes Studium, sondern auch, dass ich mir die Zeit dafür nehmen konnte, die ich benötigte.

Zuletzt geht der größte Dank an meinen Betreuer *Karel Kriz*, der mich durch mein gesamtes Studium begleitete und dabei förderte und forderte. Ihm verdanke ich die Erweiterung meiner Erfahrungen im universitären Kreis über das Studium hinaus, die Möglichkeit mich speziell in der Lawinenkunde weiterbilden zu können und die ständige Motivation, neue Türen zu öffnen. Seine Metapher „Lukas, jetzt hast du die Büchse der Pandora aufgemacht...“ brachte mich immer wieder dazu, jegliche Herausforderungen auch anzunehmen und mich ihnen zu stellen. Sehr beachtenswert fand ich seine Toleranz und Akzeptanz, dass ich neben dem Studium und manchmal auch zum Nachteil dessen, meine eigenen Pläne durchführen konnte, ohne dabei sein Vertrauen zu verlieren. Besonders bedanke ich mich bei ihm für seine ständige und unerschöpfliche Motivation mein Studium voran zu bringen, interessante Themen zu bearbeiten und schließlich meine Kompetenzen zu nutzen, um eine für mich passende Masterarbeit zu schreiben. Nicht zuletzt waren die gemeinsamen Auslandsexkursionen ausschlaggebend für die Themenwahl und die Einbindung in die Projektarbeit beeinflussend.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	iv
Tabellenverzeichnis .....	v
Kurzfassung .....	vii
Vorwort .....	viii
1 Einführung .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Einleitung .....	1
1.3 Problemstellung .....	2
1.4 Fragestellungen .....	3
2 Forschungsfrage und Ziele .....	4
2.1 Stand der Forschung .....	4
2.2 Forschungsfragen .....	5
3 Methodik und Begrifflichkeiten .....	9
3.1 Methode .....	9
3.2 Eingrenzung und Begriffe .....	9
3.3 Aufbau der Arbeit .....	11
4 Die georelevante Kommunikation .....	12
4.1 Das lineare Kommunikationsmodell der Kartographie .....	12
4.2 Das zirkuläre Kommunikationsmodell der Kartographie .....	13
5 Risiko – Die Wahrscheinlichkeit des Gefährlichen .....	17
5.1 Risiko – Was ist das? .....	17
5.1.1 Gefahr oder Risiko? .....	18
5.1.2 Die Faktoren von Risiko .....	18
5.2 Risikowahrnehmung .....	19
5.3 Risikoerfassung – Die Faktoren im Detail .....	20
5.3.1 Gefahr – Eintrittswahrscheinlichkeit und Schaden .....	20
5.3.2 Ausgesetzttheit – Präsenzwahrscheinlichkeit .....	21
5.3.3 Verletzlichkeit – Vulnerabilität .....	23
5.4 Methode der quantitativen Risikoerfassung .....	26
5.5 Risikomanagement – Was ist das? .....	28
5.6 Risikomanagement – Strategien .....	30
5.7 Drei Schritte zum Risikomanagement .....	32
6 Lawine – Weiß und gefährlich .....	34
6.1 Lawine .....	34
6.1.1 Definition Lawine .....	34

6.1.2	Zutaten einer Lawine.....	35
6.1.3	Einteilung von Lawinen .....	35
6.1.4	Lawinenbildende Faktoren .....	37
6.2	Lawinengefahren .....	39
6.2.1	Fixe und variable Faktoren der Lawinengefahr.....	40
6.2.2	Die Dreiecksbeziehung der Lawinengefahr .....	41
6.2.3	Die variablen Faktoren: Wetter und Schneedecke .....	42
6.2.4	Die fixen Faktoren: räumliche Komponenten der Lawinengefahr (Gelände) .....	45
6.3	Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch? .....	50
6.3.1	Eintrittswahrscheinlichkeit .....	52
6.3.2	Präsenzwahrscheinlichkeit .....	52
6.3.3	Wert.....	54
6.3.4	Verletzlichkeit .....	54
7	Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements.....	58
7.1	Institutionelles Lawinenrisikomanagement.....	58
7.2	Probabilistisches Lawinenrisikomanagement .....	63
7.2.1	Der Kern der Reduktionsmethode .....	63
7.2.2	Stop or Go .....	65
7.3	Ausbildungsorientiertes Lawinenrisikomanagement .....	68
7.4	Der Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement.....	70
8	Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen.....	73
8.1	Entlegene Gebirgsregionen .....	73
8.1.1	Wo ist „entlegen“?.....	73
8.1.2	Was ist ein „Berg“ oder eine „Gebirgsregion“? .....	74
8.1.3	Semantische Definitionen von Berg .....	75
8.1.4	Quantitative Definitionen von Berg .....	75
8.1.5	Definition von „entlegenen Gebirgsregionen“ .....	77
8.2	Der Informationskreislauf in entlegenen Gebirgsregionen .....	77
8.3	Geokommunikation der potenziellen Lawinengefahr in entlegenen Gebirgsregionen – Ansätze im Vergleich.....	80
8.3.1	Die Kommunikation von Hangneigung und Exposition (Kriz und Galanda 1998) .....	81
8.3.2	Die Geländeklassifizierung ATES (Statham et al. 2006) .....	84
8.3.3	ATES im Geoinformationssystem (Delparte 2008) .....	86
8.3.4	Quantifizierung der ATES für die Geländezonierung (Campbell und Gould 2013).....	88
8.3.5	Die ATES-Zonierung speziell für den Wintersport (Schmudlach und Köhler 2016) .....	91
8.3.6	Gefahrenkarten der potenziellen Lawinengefahr (Harvey et al. 2018) .....	93
9	Schlussfolgerung .....	96

10 Fazit und Ausblick..... 101  
 11 Literaturverzeichnis..... 105

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Kommunikationsmodell nach Hake et al. (Quelle: Hake et al. 2002). ..... 12  
 Abbildung 2: Zirkuläres Kommunikationsmodell nach Kriz (Quelle: Kriz 2001: 232). ..... 14  
 Abbildung 3: Das Geo-communication model nach Brodersen (Quelle: Brodersen 2008: 6). ..... 15  
 Abbildung 4: Der Zusammenhang zwischen der Größe der Gefahr und der Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt allgemein den Grad des Risikos. Die Größe der Gefahr hängt direkt mit dem Schaden zusammen, so ist für Menschen die Gefahr groß, wenn sie das eigene Leben betrifft, mittel, wenn es um das Eigentum geht und gering, wenn die Gefahr die Umwelt bedroht (Quelle: Smith 2013: 12 nach Moore 1983). ..... 20  
 Abbildung 5: Die Einteilung der Konsequenzen eines Ereignisses, in Bezug auf Naturgefahren, ist in positive, wie negative, direkte und indirekte Folgen zu unterscheiden. Beispiele verdeutlichen außerdem, ob die Konsequenz in Geld bewertbar ist oder nicht (Quelle: Smith und Petley 2009: 25). ..... 21  
 Abbildung 6: Das dreidimensionale Feld von Vulnerabilität nach Luers. Die Achse „State/Threshold“ beschreibt den Status eines Systems relativ zu einem subjektiv festgelegten Schwellenwert, ab dem ein System Schaden nimmt. Die zweite Achse „f (Empfindlichkeit, Exponiertheit)“ soll eine Funktion der in sich zusammenhängenden Variablen Resistenz, Resilienz und Ausgesetztheit eines Systems umfassen. Durch Veränderung der beiden Achsen steigt oder sinkt die Verletzlichkeit (dritte Achse „Vulnerability“) eines Systems relativ zu einem anderen (Quelle: Luers 2005: 216). ..... 25  
 Abbildung 7: Die Bereitschaft ein Risiko zu akzeptieren hängt von der Freiwilligkeit ab, wie diese Grafik zeigt. Auf der vertikalen Achse gibt die Todesfallwahrscheinlichkeit das Risiko an und die horizontale Achse den Nutzen des Gefahrenpotentials in Dollar (Quelle: Starr 1969: 1237). ..... 30  
 Abbildung 8: Die Risikomanagementstrategie nach der Praxisanleitung von BUWAL (Quelle: BUWAL 1999: 13). ..... 31  
 Abbildung 9: Das Wetter, die Schneedecke und das Gelände stehen miteinander in Beziehung und bilden die Lawinengefahren. Der Mensch steht als Wintersportler\*in im Spannungsfeld dieser drei Größen (Quelle: eigene Darstellung nach Lackinger und Gabl 2000). ..... 41  
 Abbildung 10: Die durchgezogene Linie zeigt, dass direkt „hinter“ einem Grat die Schneemenge aufgrund von Verfrachtungen durch den Wind am größten ist (Quelle: Schweizer et al. 2003 nach Lehning et al. 2000: 121). ..... 42  
 Abbildung 11: Untersuchungen zeigen den Zusammenhang von menschlichen Lawinenauslösungen und der Hangneigung (Quelle: Schweizer und Lütischg 2001: 152). ..... 46  
 Abbildung 12: Eine Datenanalyse aus 10 Jahresdaten der Schweiz zeigt, dass die meisten Lawinenauslösungen in den Sektoren Nordwest, Nord und vor allem Nordost stattgefunden haben (Quelle: Schweizer und Lütischg 2001: 153). ..... 47  
 Abbildung 13: Die graphische Darstellung der Lawinenunfälle mit Personenbeteiligung in Tirol in der Saison 2015/16 zeigt eine deutliche Häufung im Nordostsektor und zwischen 35° und 40° Hangneigung. Die Anzahl repräsentiert die Absolutzahl der Ereignisse in dieser Saison in Tirol (Quelle: Datengrundlage: Unfallerhebungen des Lawinenwarndienstes Tirol, mit freundlicher Genehmigung). ..... 47  
 Abbildung 14: Daten über die Verschüttungszeit in einer Lawine und die Überlebenschancen von 1981 bis 1991 von Schweizer Lawinenunfällen, zeigen einen deutlichen Abstieg der Überlebenschancen ab ca. 15 Minuten von 92% und einen Zeitraum von ca. 90 Minuten bei einer Überlebenschancen von 30%, da die Opfer eine Lufthöhle gehabt haben könnten (Quelle: Falk et al. 1994: 21). ..... 55  
 Abbildung 15: Über die Zahl bzw. Farbe der europäischen Lawinengefahrenskala wird am simpelsten die aktuelle Lawinengefahr für eine bestimmte Region und einen gewissen Zeitraum kommuniziert (Quelle: EAWS 2018). ..... 59  
 Abbildung 16: Das Lawinenbulletin des Tiroler Lawinenwarndienstes als Mitglied der EAWS teilt die Informationen nach der Informationspyramide auf. Die Gefahrenstufe an oberster Stelle bis zu detaillierten Informationen über die Schneedecke können Nutzer\*innen von Laie bis Expert\*in dem Lawinenbulletin entnehmen (Quelle: LWD Tirol 2021). ..... 61  
 Abbildung 17: Die Elementare Reduktionsmethode nach Werner Munter ist für Laien möglichst einfach gehalten (Quelle: Munter 2009: 210). ..... 64  
 Abbildung 18: Die essenziellen Punkte des Stop or Go werden auf einem Kartonkärtchen zum Mitnehmen zusammengefasst (Quelle: Larcher 2012: 55). ..... 66  
 Abbildung 19: Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement: In einer Wirklichkeit befinden sich schneebedeckte Berge, die objektive Lawinengefahren bergen. Wintersportler\*innen setzen sich in dieser Wirklichkeit diesen Gefahren aus. Mithilfe von unterschiedlichen Methoden können räumliche Informationen aus dieser Wirklichkeit gewonnen und gefiltert werden. Lawinenwarndienste schätzen die Lawinengefahren für diese Wirklichkeit anhand der gesammelten Informationen ab und kommunizieren diese über das Lawinenbulletin an die Wintersportler\*innen in der Wirklichkeit. Diese können anhand

der geokommunizierten Informationen eine Entscheidung im Gelände ableiten, die direkten Einfluss auf die Wirklichkeit hat (Quelle: eigene Darstellung). ..... 72

Abbildung 20: Der Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements für entlegene Gebirgsregionen muss ohne eines Lawinenwarndienstes auskommen. Die gefilterten Daten der Lawinengefahren werden folglich direkt durch Geokommunikation an die Wintersportler\*innen in der Wirklichkeit vermittelt, die daraus ihre Entscheidungen in der Planung und im Gelände ableiten und Einfluss auf das Gelände dieser Wirklichkeit nehmen (Quelle: eigene Darstellung)... 79

Abbildung 21: Visualisierung der beiden fixen Faktoren der Lawinengefahren: Hangneigung und Exposition. Die kombinierte Darstellung und Freihaltung aller als nicht relevanter Bereiche kategorisierter Flächen erlaubt die Orientierung im Gelände mithilfe dieser Karte, um der potenziellen Lawinengefahr auszuweichen. In rötlichen Farben sind die nördlichen Sektoren als grundsätzlich gefährlicher als die südlichen (blaue Farben) zu sehen und die dunkleren Einfärbungen deuten auf die größere Steilheit und somit auch gefährlichere Bereiche im Gelände hin (Quelle: Kriz und Galanda 1998: 127). ..... 83

Abbildung 22: Das Ergebnis der Kombination der ATES mit GIS: eine berechnete Gefahrenkarte, die das Gelände in die drei Kategorien Simple, Challenging und Complex einteilt (Quelle: Delparte 2008: 147). ..... 87

Abbildung 23: Das Ergebnis der Gefahrenkarte der Fraser Lake Region in Kanada. Grün stellt die Kategorie Simple, blau Challenging und rot Complex dar. Die Zahlen weisen auf korrigierte Bereiche hin, die durch eine anschließende Geländeerkundung mit örtlichen Expert\*innen geändert wurden. Die gelbe Linie stellt die Sommerstraße zum Fraser Lake dar (Quelle: Campbell und Gould 2013: 388). ..... 90

Abbildung 24: Das Ergebnis von Sch mudlach und Köhlers (2016) Berechnungen der potenziellen Lawinengefahrenbereiche am Oberalppass in der Schweiz nach einer abgeänderten ATES (Quelle: Sch mudlach und Köhler 2016: 735). ..... 92

Abbildung 25: Diese Gefahrenkarte teilt das Gelände in die vom Gelände bestimmte potenzielle Lawinengefahr: Auslösemöglichkeiten und Verschüttungs- und Verletzungspotenzial werden berücksichtigt (Quelle: Harvey et al. 2018: 1629). ..... 94

Abbildung 26: Diese Gefahrenkarte unterscheidet zwischen potenziellen Auslösebereichen und dem Fernauslösungspotenzial in Lawinenauslaufzonen (Quelle: Harvey et al. 2018: 1628). ..... 94

Abbildung 27: Das Verhältnis zwischen der Expertise der Wintersportler\*innen und den aufzuwendenden Ressourcen ist proportional umgekehrt (Quelle: Neugebauer und Kriz 2019: 60). ..... 99

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lawinengrößenklassifikation der EAWS (Quellen: LWD Tirol 2020; SLF 2020<sup>1</sup>; EAWS 2020; Moner et al. 2013: 2). ..... 35

Tabelle 2: Auflistung der Faktoren, die zur Lawinenbildung beitragen (Quellen: ICSI 1981: 102ff; UNESCO 2009: 3ff; Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 17; Schweizer et al. 2003: 3; Atwater 1954: 29ff; Statham et al. 2006: 493; vgl. McCammon 2004; LWD Tirol 2020<sup>2</sup>). ..... 37

Tabelle 3: Die fünf typischen Lawinenprobleme (Quelle: EAWS 2017<sup>1</sup>). ..... 38

Tabelle 4: Einer Studie von McClung und Schweizer (1997) zufolge gibt es direkte Verbindungen zwischen Temperaturanstieg und der Schneedeckenstabilität und somit auch der Lawinengefahr (Quelle: Schweizer et al. 2003: 7 nach McClung und Schweizer 1997). ..... 43

Tabelle 5: Die Untersuchung von Schweizer und Lutschg zeigt die Anzahl von menschlichen Lawinenauslösungen in Bezug auf unterschiedliche Geländeformen (Quelle: Schweizer und Lutschg 2001: 154). ..... 49

Tabelle 6: Überblick der objektiven Lawinengefahren, eingeteilt in die fixen Faktoren (Gelände) und die variablen Faktoren (Wetter/Schneedecke). Die verbalen Informationen und Zahlenwerte verdeutlichen die besonders gefährlichen Bereiche und Situationen für Wintersportler\*innen in Bezug auf Lawinen (Quellen: eigene Darstellung nach Schweizer et al. 2003; Doorschot et al. 2001; McClung und Schweizer 1997; Rosendahl und Weißgraeber 2020; Perla 1977; Schweizer und Lutschg 2001; Vontobel et al. 2013). ..... 50

Tabelle 7: Lawinenereignisdaten mit Personenbeteiligung von 2010 bis 2020 in Österreich zeigen, dass über ein Drittel der Personen eine Verschüttung vermeiden konnte und knapp zwei Drittel aller Beteiligten unverletzt blieb. Die Todesrate lag bei 16,2%, obwohl 27,1% totalverschüttet (mindestens der Kopf ist vollständig im Schnee vergraben) waren. Das weist darauf hin, dass ein gewisser Anteil ausgegraben und vor dem Tod gerettet werden konnte (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: LAWIS 2021). ..... 54

Tabelle 8: Eine quantitative Einteilung von Gebirgslandschaften kann über die Parameter der Höhe und Distanz definiert werden (Quelle: Barsch und Caine 1984: 288). ..... 76

Tabelle 9: ATES Öffentliches Kommunikationsmodell (v.1/04) (Quelle: Statham et al. 2006: 493). ..... 84

Tabelle 10: ATES Technical Model (v.1/04) (Quelle: Statham et al. 2006: 493). ..... 85

Tabelle 11: Dargestellt wird ein Vergleich geländespezifischer Kriterien für Lawinengefahren im Wintersport zwischen dem ATES Technical Model (in und für Kanada entwickelt) und den entscheidenden Geländekriterien im Alpenraum(vgl. Schweizer et al. 2003). Im Alpenraum wird nicht separat zwischen Hangform und Geländefallen unterschieden, sondern im

Begriff der Geländeformen berücksichtigt. Jene mit \* bezeichneten Kriterien sind aus Sicht des Autors keine Geländekriterien und haben mit der ursprünglich gedachten Konzipierung des ATES Technical Models (Statham et al. 2006: 494f) zu tun (Quelle: eigene Darstellung). ..... 86

Tabelle 12: Abgeändertes ATES Technical Model für die Gefahrenzonierung (Quelle: Campbell und Gould 2013: 387). .... 89

Tabelle 13: Gegenüberstellung der kommunizierten potenziellen Lawinengefahren unterschiedlicher Ansätze. Die mit \* bezeichneten Faktoren weisen ein Lawinenpotenzial auf (Quelle: eigene Darstellung). ..... 95

Tabelle 14: Sechs Ansätze zur Visualisierung der potenziellen Lawinengefahr werden auf die Grundlagendaten, ihre Methodik und Visualisierung verglichen. In fetter Schrift sind jene Felder markiert, die nach Meinung des Autors in entlegenen Gebirgsregionen denkbar umzusetzen wären und die potenzielle Lawinengefahr sinnvoll kommunizieren könnten (Quelle: eigene Darstellung). ..... 98

## **Kurzfassung**

Während in vom Wintertourismus hochfrequentierten Gebirgen, wie etwa in den Alpen, das Schneelawinenrisikomanagement durch Lawinenwarndienste, probabilistische Methoden und ausbildungsorientierten Ansätzen geprägt ist, werden Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen mit fehlenden Informationen zur Einschätzung der Lawinengefahren konfrontiert. Das Lawinenrisikomanagement ist folglich in entlegenen Gebirgsregionen nur Expert\*innen vorbehalten. Ansätze des Lawinenrisikomanagements aus dem Alpenraum oder beispielsweise aus Nordamerika für entlegene Gebirgsregionen zu übernehmen ist aufgrund von Ressourcenverfügbarkeiten fraglich, wobei der Einsatz von kartographischen Produkten, im Sinne der Geokommunikation, die Problematik überbrücken kann. Wissenschaftliche Arbeiten zeigen, dass mithilfe zirkulärer Geokommunikationsmodelle über Karten die fixen Faktoren der Lawinengefahren, bestimmt durch das Gelände, zu einem Lawinenrisikomanagement unabhängig von Lawinenwarndiensten beitragen können. Einteilungen des Geländes, Hervorhebungen von Gefahrenzonen oder Gefahrenkarten visualisieren für den Wintersport Bereiche im unkontrollierten Gelände, die mit besonderer Vorsicht zu betreten sind. Konsequenterweise können Wintersportler\*innen durch die Kommunikation der räumlich abgrenzbaren Gefahren ihre Präsenzwahrscheinlichkeit gegenüber einer potenziell tödlichen Lawine durch Ausweichen beeinflussen und somit ihr Lawinenunfallrisiko minimieren. Die vorliegende Arbeit zeigt somit das Potenzial der Geokommunikation für ein Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen für Wintersportler\*innen auf.

## **Abstract**

Highly frequented winter tourism regions and backcountry areas are predominantly at risk from snow avalanches. To deal with such threats, risk management is essential. In developed regions, such as those of the Alps, avalanche warning services have been installed to help winter sports enthusiasts make decisions using probabilistic methods and training-based approaches. However, when venturing into remote mountain regions, there is a lack of information to assess avalanche danger. Consequently, avalanche risk management in remote mountain areas is reserved for experts only. Adoption of avalanche risk management approaches from the Alpine region or, for example, from North America for remote mountain regions is questionable due to limited resource availability. Although an ever-increasing amount of spatial information such as maps and weather information is becoming also accessible for remote areas, geocommunication is often underestimated by the winter sports oriented general public. Studies and surveys among experts have shown that geocommunication, which accesses factors of avalanche danger determined by the terrain and weather information, can contribute to avalanche risk management independently of avalanche warning services. Therefore, highlighting hazard zones as well as visualizing hazard areas on maps is a necessity for any decision-making process. Consequently, by communicating the spatially delineated hazards, winter sports enthusiasts can influence their probability of presence before a potentially fatal avalanche by taking evasive action, thus minimizing their avalanche accident risk. This thesis thus demonstrates the potential of geocommunication for avalanche risk management in remote mountainous regions for winter sports enthusiasts.

## Vorwort

Auszug aus dem Tagebuch des Autors auf der Auslandsexkursion in Armenien 2019:

„Mit dem ersten Sonnenlicht schnallten wir unsere Ski an und gingen über die hart gefrorenen Schneereste in der weitläufigen Landschaft bergauf Richtung Gipfel. Im Tagesverlauf wurde der Schnee durch die starke Sonneneinstrahlung immer weicher und ich begann mir Sorgen zu machen, ob die Schneedecke noch stabil genug sei, wenn wir dann wieder abfahren werden. Ich sonderte mich ein wenig von der Gruppe ab und grub ein Schneeprofil, um Informationen über die Schneedeckenstabilität zu erhalten. Die Schneedecke war an diesem Punkt weder stabil noch instabil, sondern irgendwo dazwischen. Wir beeilten uns zum Gipfel zu kommen, denn es war bereits Mittag und die Lawinengefahr stieg stetig an. Ich erinnerte mich, dass unser armenischer Guide und Bergführer erzählte, dass es vor nicht zu langer Zeit einen Lawinenunfall in der Gegend gab, wo ein Mensch ums Leben kam. Die Präsenz der Lawinengefahr war mir auch noch auf den letzten Metern zum Gipfel im Kopf. Ich dachte daran, wie ein Lawinenwarndienst die aktuelle Situation einschätzen würde. Aber wer würde einen Lawinenlagebericht hier lesen? Es waren keine Menschen weit und breit zu sehen, die Berge standen alle menschenleer da. Wir wären wohl an diesem Tag die einzigen gewesen, die von einer Gefahreinschätzung profitieren würden. Wofür also der ganze Aufwand? Was sind schon diese paar Menschen aus Österreich, die meinen, sie müssen ihre Skitouren auch in Armenien gehen? Mit einem weiten Blick in die endlose Landschaft in der Region um den Berg Aragats von unserem Gipfel aus kamen wir uns winzig und unwichtig vor.

Wir organisierten die Abfahrt unserer Gruppe über die Südseite, sodass wir weiter unten unseren Bus im letzten Dorf antreffen würden. Etwas Bauchweh hatte ich beim Abfahren, als ich mir das Ergebnis des Schneeprofiles in Erinnerung rief. Schlussendlich sind wir doch ohne Zwischenfälle bis in die flachen Hangausläufer gekommen, wo der Schnee sich bereits in kleine Bäche verwandelt hatte und bald ganz verschwunden war. Wir schnallten die Ski auf unsere Rucksäcke und wanderten die letzten Kilometer zum Dorf zu Fuß. Ich stellte mir vor, dass ein Dorfbewohner unsere Gruppe mit den Skiern am Rücken hinunter wandern sähe und sich dabei fragen würde, wieso Österreicher\*innen bei einem schneereichen Winter in den Alpen mit perfekten Skitourenbedingungen ihre Ski mit nach Armenien nehmen, um dann auf einen Berg zu gehen, wo sie am Schluss die Ski auch noch eine Stunde lang bis zum letzten Dorf tragen müssen.

Als wir wieder im Bus saßen dachte ich über diese Situation nach. Was machten wir wirklich hier; was hatten wir hier mit den Skiern verloren? Die unbekannte Lawinensituation machte uns zu schaffen, aber was würde ein Lawinenwarndienst hier schon bringen? Mir fiel wieder der Lawinenunfall ein. Auch wenn wir hier noch so einsam auf diesen entlegenen Bergen waren, setzen sich scheinbar doch immer wieder Wintersportler\*innen den Lawinengefahren hier aus und haben kaum eine Chance die Situation einzuschätzen, wenn sie kein Expert\*innenwissen mitbringen. Dieser Gedanke ließ mich nicht mehr los.“

Die Erlebnisse in Armenien, wie das eben beschriebene, waren der Grundbaustein, die besonders das Interesse des Autors weckten und zu der Idee führten, sich mit dem Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen zu beschäftigen. Sowohl auf der Auslandsexkursion, im Rahmen seines Studiums der Geographie, Kartographie und Geoinformation, in die Türkei, als auch nach Armenien, versuchten er und seine Studienkolleg\*innen einen Lawinenlagebericht nach dem Tiroler Vorbild täglich für deren Touren zu erstellen und lernten sehr schnell die Grenzen der Qualität und der Brauchbarkeit kennen. Auf der einen Seite war die geringe Informationsdichte einschränkend, aber auf der anderen Seite lernten sie über das Potenzial der Kartographie, um Lawinengefahren zu kommunizieren. Besonders faszinierend war für sie die Herausforderung, ein Gebiet von mehreren

Bergen einzuschätzen, das vergleichbar riesig im Verhältnis zu der sich dort aufhaltenden Menschenanzahl war. Letztendlich sahen der Autor und seine Studienkolleg\*innen die Problematik eines fehlenden Lawinenrisikomanagements in entlegenen Gebirgsregionen, aber gleichzeitig die Herausforderung, ohne Investitionen Grundlagen, im Rahmen der Erstellung eines Lawinenwarndienstes nach Vorbild aus den Alpenländern, zu schaffen.

# 1 Einführung

Aus der eigenen Betroffenheit des Themas der Masterarbeit des Autors, wurde die Motivation aus zahlreichen Erlebnissen abgeleitet. Aber nicht nur der Autor, sondern andere Menschen können ähnliche Erlebnisse in winterlichen Bergen verzeichnen, wo persönliches Glücksempfinden und fatale Konsequenzen eng beisammen liegen. Nach dem Menschen durch Lawinen in entlegenen Gebirgsregionen getötet wurden, ergibt sich die Konfrontation der Problematik wodurch Fragen unbeantwortet bleiben, aber auf die Notwendigkeit von wissenschaftlichen Untersuchungen aufgezeigt wird.

## 1.1 Motivation

Im weißen Winterkleid eingeschneite Berge rufen bei manchen Menschen eine gewisse Faszination hervor. Das gebirgige Gelände mit beispielsweise den Skiern für sich selbst zu entdecken, nach einem anstrengenden Aufstieg das Panorama auf einem Berggipfel zu bestaunen und anschließend in pulvrigem Schnee die Abfahrt zu genießen, befriedigt nicht nur beim Autor das persönliche Erlebnis.

Jede\*r, der oder die in den Schnee bedeckten Bergen im unkontrollierten Gelände unterwegs ist und sich daran erfreut, setzt sich auch den vorherrschenden Lawinengefahren aus. So wurde der Autor seit seiner Kindheit durch Skitouren mit den Lawinengefahren konfrontiert und setzte sich erstmals tiefer mit der Materie im Rahmen seines Bachelorstudiums auf der Hochgebirgsexkursion in der Silvretta auseinander. Eine besondere Sensibilisierung für die Lawinengefahren erfuhr er durch seinen Zivildienst beim Lawinenwarndienst Tirol und bekam einen tiefen Einblick in die Lawinenkunde und das Arbeiten dieser Institution. Die Ausbildung zum staatlich geprüften Skitoureninstructor verfestigte seine Expertise im Umgang mit dem Lawinenunfallrisiko.

Durch seine Teilnahme an den Auslandsexkursionen in die entlegenen Berge der Türkei (2017) und Armenien (2019), wurden dem Autor die Herausforderungen der Lawinengefahrenabschätzung in entlegenen Gebirgsregionen vor Augen geführt. Im Rahmen dieser universitären Reisen lernte er über die Wichtigkeit von topographischen Informationen für die Lawinengefahren und die Schwierigkeiten, diese an Endnutzer\*innen zu kommunizieren. Aus diesen Erfahrungen heraus entwickelte sich das Thema dieser Masterarbeit, welches der Autor als Herausforderung annahm.

## 1.2 Einleitung

Die Erde ist mit 40 Millionen Quadratkilometer des Festlandes durch Gebirge charakterisiert (Windsor et al. 2019: 316) und ca. 26 Millionen Quadratkilometer sind saisonal mit Schnee bedeckt (Fuchs et al. 2015: 50). Geschätzte 38 Millionen Menschen siedeln dauerhaft über 2500 Meter Seehöhe und zusätzlich halten sich ca. 100 Millionen Tourist\*innen und Saisonarbeiter\*innen in gebirgigen Regionen pro Jahr auf (Windsor et al. 2019: 316).

Diese Menschen setzen sich dem mit der Höhe sinkendem Luftdruck, Temperaturen und Feuchtigkeit, sowie verstärkter UV-Strahlung und Windgeschwindigkeiten besonderer physischer Belastung für deren Körper aus (ebd.). Bergsteigerische Unternehmungen, wie Wandern, Klettern, Skitouren gehen

usw., werden nicht nur mit harschen Umweltbedingungen konfrontiert, sondern auch mit Naturgefahren. Besonders im unkontrollierten Gelände ist dadurch das Todesfallrisiko hoch (ebd.: 319).

Durch die Jahreszeiten geprägte, winterliche Verhältnisse in Gebirgen machen Unternehmungen ins unkontrollierte Gelände durch extreme Kälte, kurze Tage und allem voran der Schneelawinengefahr besonders schwierig und heikel. Gerade die Schneelawinen stellen für Wintersportler\*innen weltweit eine tödliche Gefahr dar (vgl. Hohlrieder et al. 2007; Boyd et al. 2009; McIntosh et al. 2007). Das dadurch bedingte Lawinenunfallrisiko wird durch unterschiedliche Ansätze besonders im Alpenraum versucht zu reduzieren. Die lange Tradition mit dem Umgang der jährlichen Lawinengefahren im Alpenraum führte sogar so weit, dass das Lawinenrisikomanagement in der Schweiz und Österreich in das UNESCO Weltkulturerbe aufgenommen wurde (UNESCO 2018: 53). Heute werden im Alpenraum Wintersportler\*innen durch Institutionen, wie Lawinenwarndienste (vgl. EAWS 2017<sup>2</sup>) oder von Expert\*innen entwickelte Risikomanagementstrategien (vgl. Larcher 2012), Werkzeuge in die Hand gelegt, um das Lawinenunfallrisiko möglichst gering zu halten.

Gezeigt hat sich, dass Wintersportler\*innen nicht nur die Vorzüge von weit ausgebauter Infrastruktur in vom Wintertourismus stark geprägten Gebirgsregionen genießen möchten, sondern auch auf der Suche nach der winterlichen Einsamkeit der Natur in entlegenen Gebirgsregionen unterwegs sind (vgl. Boller et al. 2010; Mehmetoglu 2007). Diese entlegene Gebirgsregionen stellen, neben ihrem Reiz der Einsamkeit, Wintersportler\*innen aber auch vor besondere Herausforderungen im Umgang mit Lawinengefahren.

### 1.3 Problemstellung

Aufgrund des ständigen Wachstums des Wintersporttourismus<sup>1</sup>, besonders beim Skibergsteigen, suchen entsprechende Wintersportler\*innen stetig neue Gebiete (vgl. ebd.). Entlegene Gebirgsregionen stellen dabei einen Reiz des „Entdeckens“ dar und werden immer stärker besucht. Neben dem Erlebnis „unberührte“ Pulverhänge zu befahren oder der Suche nach der „First Line“, steht die ständige Gefahr durch Schneelawinen gegenüber. Viele Wintersportler\*innen sind sich dieser Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen entweder nicht bewusst oder können sie durch fehlende Informationen nicht einschätzen (vgl. UpTheRock 2019). Während beispielsweise in den Alpenländern offizielle Lawinenwarndienste für die Gefahrenabschätzung von Lawinen und deren Kommunikation an die Öffentlichkeit zuständig sind (EAWS 2017<sup>2</sup>: 1), müssen Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen komplett mit ihrer eigenen Expertise auskommen. Da nicht jede\*r Wintersportler\*in Expert\*in der Lawinenkunde ist, kann die Gefahrensituation ohne Bereitstellung der wesentlichen Informationen nicht richtig eingeschätzt werden. Unfälle aus den letzten Jahren in beispielsweise Armenien zeigen deutlich die Auswirkungen eines wachsenden Wintersporttourismus<sup>1</sup> in entlegenen Gebirgsregionen in Kombination mit dem Fehlen von räumlichen und meteorologischen Informationen bezüglich der Lawinengefahr (vgl. Armalp 2018; UpTheRock 2019; AzatutyunTV 2020).

Der Umgang mit den Lawinengefahren ist in durch starken Wintertourismus geprägten Gebirgsregionen nichts Neues und durch Expert\*innen (vgl. Munter 2009; Larcher 2012), Institutionen (vgl. EAWS 2017<sup>2</sup>) und wissenschaftlichen Untersuchungen (vgl. SLF 2020) weitgehend erforscht. Auf die Expertise im Lawinenunfallrisiko im Alpenraum, sowie in anderen Gebirgsregionen weltweit, ist nicht nur das Engagement von Wissenschaft, Einzelpersonen und Institutionen zurückzuführen, sondern auch der dahinterstehende Ressourceneinsatz (vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2001). Der enorme finanzielle und personelle Aufwand, sowie die notwendigen Ressourcen und entscheidende Expertise für solche Managementstrategien wären für entlegene Gebirgsregionen undenkbar. Einerseits spricht die geringe Anzahl von Wintersportler\*innen, die sich im unkontrollierten Gelände den

Lawinengefahren aussetzen, dagegen und andererseits ist fraglich, ob ein gewisser Ressourcenaufwand anders investiert, als das Alpenmodell des Lawinenrisikomanagements zu übernehmen, mehr Menschenleben retten könnte.

## **1.4 Fragestellungen**

Wenn die Einführung eines Lawinenrisikomanagements aus hochfrequentierten Gebirgsregionen weder zielführend noch realistisch erscheint, dann wirft dies die Frage nach alternativen Ansätzen für entlegene Gebirgsregionen auf. Wie solche alternativen Ansätze aussehen und welche Qualitäten sie aufbringen müssen, setzt das Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge von Risikoforschung und Lawinenkunde voraus.

In der Lawinenkunde wird eine Lawine aus Wetter-, Schneedecken- und Geländebedingungen gebildet, die für Wintersportler\*innen zur Gefahr werden können (vgl. Schweizer et al. 2003). Wenn sich ein Mensch diesen objektiven Lawinengefahren aussetzt, geht er ein Risiko, ein von einer Lawine getötet zu werden (vgl. Statham 2008). Welche Variablen des Lawinenunfallrisikos werden durch welche Lawinengefahren bestimmt und welche Variablen kann der Mensch selbst beeinflussen?

Forschung in der Lawinenkunde hat gezeigt, dass sich Lawinengefahren räumlich abgrenzen lassen (vgl. Schweizer et al. 2003; Munter 2009). Die daraus gezogene Erkenntnis für das Lawinenunfallrisiko nutzen Ansätze des Lawinenrisikomanagements, wie Lawinenwarndienste, probabilistische Ansätze oder ausbildungsorientierte Strategien. Auch wenn diese Ansätze, wie oben beschrieben, nicht adäquat für entlegene Gebirgsregionen einzuführen wären, so fragt sich, ob Prinzipien des Lawinenrisikomanagements aus diesen Ansätzen übernommen werden können?

Wenn sich nämlich die Lawinengefahren räumlich eingrenzen lassen und die Kommunikation von Lawinengefahren zur Unfallprävention beitragen kann, ließe sich dann ein Lawinenrisikomanagement nicht auch ohne Lawinenwarndienste durch direkte Geokommunikation bewerkstelligen? Diese direkte Geokommunikation würde erfasste Lawinengefahren über beispielsweise Gefahrenkarten direkt an Wintersportler\*innen kommunizieren, die daraus eine Entscheidung ableiten können. Aber welche Datengrundlagen, welche lawinenrelevanten Größen und welche Gestaltungsprinzipien sind dafür nötig? Liegen alle diese Informationen und Daten in entlegenen Gebirgsregionen vor?

Insofern alternative Ansätze die direkte Geokommunikation in entlegenen Gebirgsregionen umsetzen können, bleibt noch die Frage, was der Nutzen und was die Kosten davon im Risikomanagement für Wintersportler\*innen sind?

## 2 Forschungsfrage und Ziele

Mithilfe der bereits von wissenschaftlicher Literatur behandelten verwandten Themengebieten des Masterarbeitsthemas, lassen sich die Fragestellungen in eine konkrete Forschungsfrage und Teilfragen konzeptionieren. Folglich können die Ziele daraus abgeleitet werden und setzen die Forcierung dieser Arbeit in einen gesellschaftlichen Kontext.

### 2.1 Stand der Forschung

All diese Fragen, die aus der Problemstellung hervor gehen, können teilweise von der bestehenden wissenschaftlichen Literatur beantwortet werden. Die Einzelthemen und -bereiche sind im akademischen Kontext und in der Praxis nicht neu. Von der Wissenschaft der Kartographie im Bereich der Geokommunikation über die Risikoforschung bis zur Lawinenkunde wurden alle in dieser Arbeit vorkommenden Themen bereits behandelt und in wissenschaftlicher Literatur niedergeschrieben. Neu ist die Anwendung der entsprechenden Forschung auf entlegene Gebirgsregionen für den Wintersport. Mit folgenden Autor\*innen und deren Forschungsthemen wird für diese Anwendung eine wertvolle wissenschaftliche Basis für diese Masterarbeit erstellt.

Prägend für den Begriff der Geokommunikation waren Kriz (2001), Brodersen (2008) und MacEhren et al. (2004). Neben anderen führten diese Autoren die Kartographie von der klassischen Papierkarte in ein neues Paradigma, dass die Aufgabe der Kartographie, räumliche Informationen zu kommunizieren, an den Stand der Technik anpasste. Die Geokommunikation erlaubt somit ein breiteres Arbeitsfeld innerhalb der Kartographie zum Zweck der räumlichen Kommunikation.

Ein besonderes Gewicht in der Risikoforschung in Bezug auf Naturgefahren stellen Smith und Petley (2009) und Wisner et al. (2004) dar. Mit ihren Standardwerken „Environmental Hazards. Assessing risk and reducing disaster“ (Smith und Petley 2009) und „At Risk. Natural hazards, people`s vulnerability and disasters“ (Wisner et al. 2004) handeln sie jegliche relevante Fragestellungen von Risiko- und Katastrophenmanagement ab. Mit konkretem Bezug auf das Risiko durch Lawinengefahr schrieb Statham (2008) ein grundlegendes Paper. Aktuelle Forschung zu nicht nur Risiko aber besonders auch zu Vulnerabilität findet sich von Fuchs (2015; 2018, 2019) oder auch Luers (2005). Einen Überblick über die Vulnerabilitätsforschung bieten besonders Fekete und Montz (2018). Zur Risikobemessung liefern nicht nur Smith und Petley (2009) für diese Arbeit brauchbare Berechnungsformeln, sondern Fuchs (2015) ist dafür auch hilfreich. Weitere erwähnenswerte Literatur zu Risiko und Vulnerabilitätsforschung gibt es von Cardona et al. (2012), Birkmann (2006), Thaler und Jongman (2018), Peduzzi et al. (2009) oder auch Villagrán de León (2004).

Maßgeblich für die Forschung in der Lawinenkunde, in Bezug auf die Lawinengefahren, ist Schweizer und Lütschg (2001) und Schweizer et al. (2003). Schweizer führt in mehreren Papers den aktuellen Stand der Forschung an, wenn es um Lawinengefahren geht. Weitere Untersuchungen zeigen das statistische Risiko von Wintersportler\*innen gegenüber den Lawinengefahren auf, wie von Windsor et al. (2009) oder Techel et al. (2015). Das Lawinenrisikomanagement wurde vor allem durch die European Avalanche Warning Services (2017<sup>2</sup>) und besonders von Mair und Nairz (2010) des Tiroler Lawinenwarndienstes, sowie von Munter (2009) und Larher (2012) oder Gordon et al. (2016), des Utah Avalanche Centers, geprägt.

Diskussionen darüber, was Berge sind und welche Orte als entlegen gelten, sind bei Bishop und Shroder (2004) und Boller et al. (2010) zu finden, wobei die Abhandlung von entlegenen Gebirgsregionen in die

Sozialwissenschaft geht und Gewichte wie Wallerstein (1988) oder Hall (1994), sowie Inkeles und Smith (1974) nicht ausgelassen werden können.

Schließlich zeigen Kriz und Galanda (1998), Statham et al. (2006), Delparte (2008), Campbell und Gould (2013), Schudlach und Köhler (2016) und Harvey et al. (2018), wie die potenzielle Lawinengefahr kommuniziert werden kann, um in entlegenen Gebirgsregionen ein Risikomanagement betreiben zu können. Die dabei mögliche erzielte Wirkung diskutieren Neugebauer und Kriz (2019) für entlegene Gebirgsregionen.

Untersuchungen, wissenschaftliche Studien und Grundlagenforschung wurde betrieben, die die Fragestellungen weitgehend beantworten. Es zeigt sich in der Literatur, dass viele Themen dieser Arbeit behandelt und erforscht wurden, aber durch die Auslegung dieser Masterarbeit auf entlegene Gebirgsregionen Fragen nicht beantwortet werden können.

## 2.2 Forschungsfragen

Die essenzielle Frage, die sich dem Autor stellt in Bezug auf das Thema dieser Masterarbeit und die bisher nicht in der Literatur beantwortet werden konnte, fragt nach einem Lösungsvorschlag seitens der Kartographie für die oben angeführte Problemstellung. Die zentrale Forschungsfrage lautet:

***Kann die Kartographie zur Kommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen beitragen?***

Die Hypothese, dass die Kartographie zur Kommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen beitragen kann, wird im Zuge dieser Masterarbeit bestätigt. Die Kartographie als Kommunikationswissenschaft für räumliche Angelegenheiten bietet nicht nur theoretische Gebäude für die Kommunikation von Lawinengefahren, sondern Ansätze zeigen konkrete Lösungsvorschläge auf (vgl. Kriz und Galanda 1998; Statham et al. 2006; Delparte 2008; Campbell und Gould 2013; Schudlach und Köhler 2016 und Harvey et al. 2018). Die Problematik, die bei der Anwendung dieser Ansätze in entlegenen Gebirgsregionen entsteht, weist darauf hin, dass ohne gewisse Aufwendungen und Ressourceneinsätze eine Kommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen schwierig ist. Folglich ist eine Analyse im Detail der Lawinengefahren, des Lawinenrisikomanagements und der Geokommunikation notwendig und wirft weitere Fragen auf:

- *Was ist die Geokommunikation und wozu ist sie hilfreich?*

Wird die Geokommunikation als Kommunikationswissenschaft, die räumliche Sachverhalte besonders effizient kommuniziert, betrachtet (vgl. Brodersen 2007), können mit ihrer Hilfe jegliche Informationen mit einer räumlichen Komponente vermittelt werden. Die Geokommunikation ließe sich demnach auf unterschiedliche Fachgebiete anwenden, unter anderem auch für die Kommunikation von Lawinengefahren.

- *Was ist Gefahr und was ist Risiko?*

Gerade im Bezug auf Lawinengefahren und Lawinenrisikomanagement muss deutlich zwischen der Semantik von Gefahr und Risiko im Kontext von Naturgefahren und der entsprechenden Risikoforschung unterschieden werden. Folglich stellen Lawinengefahren potenzielle Naturereignisse dar, die beispielsweise einem Menschen Schaden zufügen können und das Lawinenrisiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein entsprechender Mensch diesen Schaden auch nehmen kann (Smith und Petley 2009: 13).

- *Was lehrt die Risikoforschung für den Umgang mit Naturgefahren?*

Um ein Risikomanagement von Lawinengefahren betreiben zu können, ist eine Analyse in der Risikoforschung notwendig. Somit können Ansätze für die oben gestellte Forschungsfrage übernommen werden. In der Risikoforschung können quantitative Ansätze das Risiko von Naturgefahren berechnen (Fuchs et al. 2015: 53). Dem liegt eine Risikoanalyse zu Grunde, die eine objektive Risikowahrnehmung, eine quantitative Risikoerfassung der Faktoren *Gefahr*, *Ausgesetztheit*, *Wert* und *Verletzlichkeit* voraussetzt. Ist das Risiko bekannt und sind alle Determinanten erforscht, können Methoden zur Risikominimierung entwickelt werden, um ein Risikomanagement zu betreiben (vgl. Field et al. 2012). Obwohl das Risiko der Lawinengefahren bis heute nicht bekannt ist (es fehlen Daten der Grundgesamtheit), versuchen Lawinenrisikomanagementstrategien das Risiko vor einer Lawine zu sterben zu minimieren.

- *Wie lässt sich die Lawinengefahr erfassen, kategorisieren und darstellen?*

Für ein Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen braucht es Lösungen, die mit wenigen Daten und geringer Expertise der Nutzer\*innen auskommen. Logischerweise muss die Lawinengefahr, die es zu erfassen gilt, in einfache Kategorien geteilt werden, um eine Visualisierung verständlich umzusetzen. Folglich lässt sich ein Risiko nur erfassen, wenn die Faktoren des Risikos bekannt sind. Ein Faktor des Lawinenunfallrisikos ist die *Lawinengefahr*. Durch Analysen der lawinenbildenden Faktoren können die determinierenden Größen der Lawinengefahr erfasst und in fixe und variable Faktoren kategorisiert werden (ICSI 1981: 101ff). Die fixen Faktoren beschreiben das Gelände, in dem Lawinen vorkommen können; demnach eignen sich kartographische Darstellungen, um die fixen Faktoren der Lawinengefahren entsprechend zu visualisieren.

- *Welche Kernelemente der Lawinengefahr sind für eine Gefahreinschätzung unbedingt nötig?*

Aufgrund begrenzter Informationsgrundlagen von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen, dient die Reduktion auf die wesentlichen Kernelemente der Lawinengefahren als Vereinfachung der komplexen Thematik. In der Kategorie der fixen Faktoren der Lawinengefahren sind folglich besonders die Hangneigung, die Hangausrichtung und die Geländeform entscheidend (vgl. Kriz und Galanda 1998; Schweizer et al. 2003). Für die variablen Faktoren sind Elemente des Wetters und der Schneedecke wichtig. Für eine entsprechende Gefahreinschätzung werden grundsätzlich immer die Kernelemente beider, der variablen und der fixen Faktoren, benötigt und müssen kombiniert werden. Trotzdem kann durch die Kommunikation der geländespezifischen Lawinengefahren, wie die Hangneigung, auf die potenzielle Lawinengefahr in einer gewissen Region hingewiesen werden. Anhand dieser Informationen können sich Wintersportler\*innen bereits im Gelände so orientieren, dass sie ihr Lawinenunfallrisiko geringhalten (vgl. Kriz und Galanda 1998).

- *Welche Methoden der Lawinengefahrenabschätzung gibt es; wo liegen deren Stärken und Schwächen in Bezug auf entlegene Gebirgsregionen?*

Im Alpenraum wird besonders auf die Lawinenunfallprävention durch institutionelle Lawinenwarndienste (EAWS 2017<sup>2</sup>: 1f) und probabilistische Methoden (vgl. Munter 2009) gesetzt. In Nordamerika setzt sich ein ausbildungsorientierter Ansatz durch, der Wintersportler\*innen Fähigkeiten mitgeben soll, sich im unkontrollierten Gelände möglichst sicher verhalten zu können (Fredston et al. 1994: 477). Diese Methoden sind in vom Wintertourismus hochfrequentierten Gebirgsregionen etabliert und weisen brauchbare Konzepte und Ansätze auf, um das Lawinenunfallrisiko möglichst gering zu halten. Im Vordergrund steht immer die Informationsweitergabe von derzeit vorherrschenden

Lawinengefahren, mithilfe dieser sich Wintersportler\*innen entsprechend verhalten können. Dem gegenüber steht ein enormer Ressourcenaufwand (vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2001), der für entlegene Gebirgsregionen undenkbar ist. Trotzdem können Prinzipien auf einer abstrakten Ebene dieser Methoden umgeändert für entlegene Gebirgsregionen in Betracht gezogen werden.

- *Welche Ansätze gibt es, die für die Gefahrenabschätzung in entlegenen Gebirgsregionen umsetzbar wären?*

Da Methoden des Lawinenrisikomanagements aus Gebirgsregionen mit hoch frequentiertem Wintertourismus für entlegene Gebirgsregionen nicht anwendbar sind, können alternative Ansätze Lösungswege hervorheben. Die in dieser Arbeit untersuchten bzw. dargestellten Ansätze der Gefahrenabschätzung für entlegene Gebirgsregionen zielen auf die Visualisierung der geländespezifischen Lawinengefahren ab (vgl. Statham et al. 2006; Delparte 2008; Harvey et al. 2018). Diese wären unter der Voraussetzung von gewissen Aufwendungen entsprechend umsetzbar, da die potenzielle Lawinengefahr durch das Gelände bestimmt nur einmal erhoben und dargestellt werden muss.

- *Welche Informationen in Bezug auf Lawinengefahren können durch Geokommunikation in entlegenen Gebirgsregionen an Wintersportler\*innen vermittelt werden?*

Das Potenzial die Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen zu kommunizieren liegt besonders auf den fixen Faktoren. Jegliche geländerelevanten Lawinengefahren lassen sich einmal erhoben durch kartographische Produkte darstellen. Die Geokommunikation kann somit Informationen über die potenzielle Lawinengefahr in einer entsprechend kartierten entlegenen Gebirgsregion an Wintersportler\*innen vermitteln. Diese Informationen können angefangen bei der Hangsteilheit (vgl. Kriz und Galanda 1998) über Lawinenpfade (vgl. Campbell und Gould 2013) bis hin zu komplexen Gefahrenkarten (vgl. Harvey et al. 2018) dargestellt werden.

- *Welchen Nutzen ziehen Wintersportler\*innen aus der Geokommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen?*

Die komplexe Thematik von Lawinengefahren muss vereinfacht über Ansätze kommuniziert werden, denn es kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Wintersportler\*innen auch Lawinenexpert\*innen sind. Unter geringem Datenerhebung- und Verarbeitungsaufwand können bereits Expert\*innen die potenzielle Lawinengefahr durch die Geokommunikation einschätzen, aber Laien sind auf vereinfachte Kommunikationsformen, wie farblich markierte Gefahrenkarten angewiesen. Demnach ergibt sich ein proportionales Verhältnis zwischen Ressourcenaufwand und Nutzer\*innenexpertise (vgl. Neugebauer und Kriz 2019).

Diese eben angeführten Teilfragen werden in der vorliegenden Masterarbeit im Detail beantwortet und diskutiert. Die Antwort auf die zentrale Forschungsfrage bzw. Bestätigung der damit verbundenen Hypothese befindet sich in Kapitel 10 *Fazit und Ausblick*.

Mit der Beantwortung der Teilfragen und der Überprüfung der Hypothese, setzt sich der Autor das Ziel, mögliche Methoden und Ansätze zur Lawinengefareneinschätzung in entlegenen Gebirgsregionen durch Prinzipien der Geokommunikation aufzuzeigen. Diese Arbeit soll auf Problemfelder und Möglichkeiten in der Kommunikation von Lawinengefahren eingehen und die Schwierigkeiten der Lawinenwarnung in entlegenen Gebirgsregionen darlegen. Schließlich will der Autor den Nutzen der Kartographie im Sinne der Geokommunikation zur effizienten Vermittlung von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen präsentieren.

Diese Arbeit kann konsequenterweise durch ihre neuartige Auslegung des Themas Grundlagen zum Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen für Wintersportler\*innen entwickeln. Darauf aufbauend lassen sich zukünftig Projekte umsetzen, die letztendlich dazu beitragen, Menschenleben vor Lawinenunfällen zu retten.

### **3 Methodik und Begrifflichkeiten**

Um die grundlegenden Fragen in Bezug auf das Thema dieser Masterarbeit zu beantworten, ist die Vorgangsweise einer Methodik, die sich der Literaturrecherche und Konzeptionierung bedient, notwendig. Aufgrund dieses methodischen Ansatzes muss das Thema entsprechend eingegrenzt und wesentliche Begriffe geklärt werden. So kann anschließend diese Arbeit logisch aufgebaut werden und verdeutlicht die Argumentation für das Ergebnis der Erkenntnisse.

#### **3.1 Methode**

Um die Ziele dieser Arbeit erreichen zu können, wählte der Autor die Methodik der Literaturrecherche und setzte die daraus gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf die neuartige Auslegung des Themas des Lawinenrisikomanagements in entlegenen Gebirgsregionen. Zusätzliche Feldarbeit in Armenien sollte die Ergebnisse auf deren Anwendbarkeit überprüfen, aber durch die eingetretene Covid-19 Pandemie wurde dies verhindert. Daraus resultierend entwickelte der Autor theoretische Ansätze, die darauf warten, in der Praxis umgesetzt zu werden, um deren Tauglichkeit zu überprüfen.

Diese theoretischen Ansätze basieren auf einer ausgiebigen Literaturrecherche in den Bereichen der Risikoforschung und Lawinenkunde. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in den Kontext der Geokommunikation gesetzt und für die Lawinengefahreinschätzung in entlegenen Gebirgsregionen angewendet. Folglich werden die Basiselemente der Risikoforschung im Kontext von Naturgefahren und in Bezug auf das Risikomanagement hervorgehoben. Die Lawinengefahren werden auf die ausschlaggebenden Faktoren für Wintersportler\*innen reduziert, und kategorisiert und mit den Basiselementen der Risikoforschung gekreuzt. Das Ergebnis zeigt jene Elemente im Risikomanagement der Lawinengefahren, welche mithilfe kartographischer Prinzipien dargestellt und durch Geokommunikation vermittelt werden können. Die durch Geokommunikation transmittierten Informationen sollen schließlich als methodischer Ansatz für die Lawinengefahreinschätzung in entlegenen Gebirgsregionen dienen. Wie jene erwähnten Informationen gesammelt, verarbeitet und visualisiert werden können, zeigen Ansätze auf.

Folglich erhält diese Arbeit einen konzeptionellen Charakter, der Grundlagen für weitere konkrete Forschung bietet und zu Diskussionen in diesem Themenbereich anregen soll. Die konzeptionelle Art behandelt logischerweise die entsprechenden Themenbereiche auf einer abstrakten Ebene, um Prinzipien aus Erkenntnissen übernehmen zu können, aber ohne dabei den Realitätsbezug zu verlieren, um eine potenzielle Anwendung zu ermöglichen.

#### **3.2 Eingrenzung und Begriffe**

Die Themenfelder der Geokommunikation, der Risikoforschung und der Lawinenkunde sind nicht nur breit aufgestellt und weit gefächert, sondern können auf unterschiedliche Bereiche angewendet werden. Die Lawinenkunde, von physikalischen Prozessen in der Schneedecke bis Praxisanwendungen für Gesellschaften, bezieht sich in dieser Arbeit daher nur auf jenen relevanten Bereich, der besonders Wintersportler\*innen betrifft. Stationäre Messungen der Schneedecke für von Lawinen bedrohter Infrastruktur oder Bildungsprozesse von Katastrophenlawinen sind Beispiele, die in dieser Arbeit nicht behandelt werden. Hingegen bespricht der Autor die für Wintersportler\*innen relevanten Lawinengefahren, insbesondere die Schneebrettlawine und die dafür determinierenden Faktoren (vgl.

Schweizer et al. 2003). Gerade in der Lawinenkunde ist die Eingrenzung der behandelten Themen essenziell. Lawinengefahren, die die Infrastruktur bedrohen und jene, die für Wintersportler\*innen relevant sind, weisen eine gänzlich andere Ausgangslage und folglich Anwendung im Risikomanagement auf. Somit zeigt diese Arbeit nicht nur Ansätze auf, die Wintersportler\*innen betreffen, sondern grenzt die Auswahl jener Ansätze zusätzlich auf die räumliche Komponente der Lawinengefahren ein. Jegliche meteorologisch bedingte Lawinengefahren werden analysiert, um diese in Bezug zu den geländespezifischen Gefahren zu stellen und ein ganzheitliches Risikokonzept auszuarbeiten, aber Lösungswege für entlegene Gebirgsregionen in Bezug auf die meteorologischen Faktoren sind in einer anderen wissenschaftlichen Arbeit abzuhandeln.

Im Gegensatz zu den Themenbereichen der Lawinenkunde müssen in dieser Arbeit in der Risikoforschung aus anderen Anwendungsbereichen Theorien ergriffen werden. Auch wenn in der Literatur der Risikoforschung viel über Ereignisse im Maßstab von Katastrophen, die ganze Gesellschaften betreffen und wenig über Einzelfälle geschrieben steht, so müssen in der Risikoforschung jene Konzepte der Risikoerfassung und des -managements teilweise aus der verfügbaren Literatur für den Wintersport erst umgelegt verwendet werden. Die Auslegung der unterschiedlichen behandelten Themen wird darüber hinaus durch die Interpretation und Verwendung bestimmter Begriffe eingegrenzt.

Zur klaren Kommunikation beitragend, soll ersichtlich gemacht werden, wie Begriffe in dieser Arbeit verstanden, verwendet und interpretiert werden, um anderwärtige Deutungen auszuschließen. Dabei geht es nicht um (objektive) Definitionen, sondern nur um die Auslegung der Begriffe an die Arbeit entsprechend angepasst. Die wesentlichen Begriffe dieser Arbeit werden später in den dazugehörigen Kapiteln im Detail diskutiert und beschrieben; folgend sind nur Kurzerklärungen dargestellt.

Unter dem zentralen Begriff dieser Arbeit *Geokommunikation* wird der Austausch von räumlichen Informationen gesehen und kann als aktuelles Paradigma der Kartographie verstanden werden (mehr in Kapitel 4 *Die georelevante Kommunikation*). Mithilfe dieser soll ein *Lawinenrisikomanagement* in entlegenen Gebirgsregionen betrieben werden können, das den Umgang mit der Lawinengefahr zur Maximierung des persönlichen Erlebnisses und zur Minimierung der negativen Konsequenzen von Lawinenunfällen darstellt (mehr in Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements*). *Entlegene Gebirgsregionen* liegen auf der Erde dort, wo keine Warnung oder Kommunikation der Lawinengefahren als Unfallprävention vorhanden ist, aber ein unkontrolliertes Gelände aufweisen und somit Lawinengefahren existieren (mehr in Kapitel 8.1 *Entlegene Gebirgsregionen*). Ein *unkontrolliertes Gelände* beschreibt jenen Bereich des Festlandes, wo keine Eingriffe in die Natur zur Minimierung von Naturgefahren vorgenommen wurden oder wird. Die Pisten von Skigebieten sind beispielsweise durch Sprengmaßnahmen vor Lawinengefahren gesichert und zählen nicht zum unkontrollierten Gelände. Varianten in Skigebieten, die zwar nicht präpariert sind, aber durch die eine Lawinenkommission vor Lawinengefahren gesichert sind, fallen ebenfalls nicht unter den Begriff *unkontrolliertes Gelände*. Gemeint ist folglich jenes Gelände, wo Lawinengefahren bestehen und diese nicht minimiert wurden oder werden. Der Begriff des unkontrollierten Geländes ist vergleichbar mit dem englischen „backcountry“. Der kontrollierte Gebirgsraum hingegen wird vom Menschen soweit verändert und umgestaltet (vgl. Scharr et al. 2012), sodass das Todesfallrisiko durch Naturgefahren gegen Null geht. Das unkontrollierte Gelände bezieht sich in dieser Arbeit besonders auf *Wintersportler\*innen*. Dies sind in dieser Masterarbeit Personen, die sich freiwillig aufgrund unterschiedlicher Motive im mit Schnee bedecktem unkontrollierten Gelände aufhalten, wo Lawinengefahren bestehen. Das Fortbewegungsmittel, ob Ski, Snowboard, Schneeschuhe, Schneemobil, oder zu Fuß, ist nicht ausschlaggebend, solange dieses unabhängig von Wegen und Straßen in der Schneedecke räumliche Bewegung erlaubt. Entscheidend ist, dass Wintersportler\*innen von Lawinen erfasst werden können. Als *Lawine* (auch Schneelawine) wird unter diesem Gesichtspunkt eine sich hangabwärts bewegende Schneemasse, die durch die Schwerkraft beschleunigt wird,

verstanden. Im Regelfall enthält eine Lawine ein Verschüttungspotenzial für Wintersportler\*innen und stellt daher für diese eine Naturgefahr dar (mehr in Kapitel 6.1 *Lawine*). Zu einem hohen Prozentanteil lösen Menschen selbst die für sie gefährlichen Lawinen aus, manchmal auch aus der Ferne. Dann wird von einer *Fernauslösung* gesprochen, welche eine Auslösung durch beispielsweise Wintersportler\*innen außerhalb des Lawinenanrisses beschreibt. Als *menschliche* Lawinenauslösung wird in dieser Arbeit verstanden, dass ein Mensch durch sein Zusatzgewicht auf der Schneedecke eine Lawine um sich herum oder direkt unterhalb von ihm auslöst. Löst im Gegensatz dazu ein Mensch eine Lawine aus der *Entfernung* aus, sodass er sich direkt nach der Auslösung noch nicht in der Lawine befindet, wird von *Fernauslösung* gesprochen. In gewissen Situationen können sich Lawinen auch spontan lösen, das heißt ohne dem Zutun von Menschen oder Tieren; dies wird als *spontane Lawine* gesehen.

Erklärungen zu spezifischen Begriffen, die in dieser Arbeit verwendet werden, aber hier vorab nicht besprochen wurden, sind in den entsprechenden Kapiteln zu finden. Dennoch wird ein gewisses Verständnis der Fachsprache vorausgesetzt ohne eine Expertise in Kartographie, in Risikoforschung oder in der Lawinenkunde aufweisen zu müssen.

### 3.3 Aufbau der Arbeit

Aus der oben angeführten Methodik, der Eingrenzung und Erklärung wichtiger Begriffe leitet sich ein logischer Aufbau dieser Arbeit ab. So werden nach der (1) Einführung, (2) Forschungsfrage und Ziele, (3) Methodik und Begrifflichkeiten, die Prinzipien der (4) Geokommunikation erklärt und welches Potenzial diese bieten, um grundlegende räumliche Informationen von lawinenrelevanten Themen kommunizieren zu können. Um die Geokommunikation in den Kontext von Lawinenrisikomanagement setzen zu können, wird ausführlich auf die Grundlagen der (5) Risikoforschung eingegangen. Dieses Kapitel zeigt brauchbare Ansätze zur Wahrnehmung, Erfassung und zum Umgang mit Risiko in Bezug auf Lawinenereignisse. Logischerweise muss darauffolgend genauer untersucht werden, was (6) Lawinen genau sind, wie die Gefahren entstehen und vor allem in welche Kategorien diese eingeteilt für entlegene Gebirgsregionen essenziell sind. Anschließend werden die Lawinengefahren in den Kontext des Risikos gestellt, um die Frage zu beantworten, welche Chance der Mensch in Bezug auf Lawinengefahren hat. Demnach wird geklärt, wo für ein geeignetes Risikomanagement vor Lawinengefahren angesetzt werden muss. Im Kapitel über (7) Ansätze des Lawinenrisikomanagements wird gezeigt, welche Konzepte und Strategien bereits in den vom Wintertourismus hochfrequentierten Gebirgsregionen, wie im Alpenraum, umgesetzt wurden. Diese Ansätze werden auf entlegene Gebirgsregionen umgelegt auf ihre Nutzbarkeit bewertet, um anschließend das Grundprinzip des Lawinenrisikomanagements in einem Informationskreislauf zu abstrahieren. Mithilfe der Abstraktion werden nach einer Diskussion über (8) entlegene Gebirgsregionen und der damit verbundenen Herausforderungen für ein Lawinenrisikomanagement Ansätze aufgezeigt, die dem Autor für entlegene Gebirgsregionen als brauchbar erscheinen. In einer abschließenden Tabelle werden in der (9) Schlussfolgerung diese Ansätze gegenübergestellt und diskutiert, um letztendlich der daraus gewonnenen Erkenntnis eine gesellschaftliche Relevanz zu geben und ein (10) Fazit und einen Ausblick zu gewinnen, in dem die Masterarbeit nochmals zusammengefasst einen Überblick bietet.

## 4 Die georelevante Kommunikation

Kommunikation ist die Basis in jeder wissenschaftlichen Disziplin. Jegliche Forschungsergebnisse dienen dem Verständnis der „Welt“. Welche „Welt“ Wissenschaftler\*innen bei ihrer Untersuchung beschreiben ist unter diesem Gesichtspunkt weniger wichtig als *wie* sie diese anderen Wissenschaftler\*innen, Entscheidungsträger\*innen oder auch der Öffentlichkeit kommunizieren. Die Kommunikationswege der Wissenschaft können dabei von Papers über Doktorarbeiten bis zu Vorträgen reichen. Vorausgesetzt und entscheidend sind aber allgemeine Fähigkeiten zur Kommunikation (vgl. Kriz 2013), die den Erfolg des Informationsaustausches ausmachen. Sowohl die wissenschaftliche Autorin als auch der Leser eines Papers müssen der Sprache mächtig sein, sofern dem Leser Informationen über eine „Welt“ vermittelt werden sollen.

In der Kartographie ist das Thema der Kommunikation ein viel diskutiertes. Haben Autor\*innen sich vorerst auf technische Informationstheorien gestützt und diese in ein unilineares Kommunikationsmodell integriert (vgl. Hake et al 2002), so sprechen später Kartograph\*innen von zirkulären Modellen (vgl. Kriz 2001) und, dass die Kartographie zu einer Kommunikationswissenschaft geworden sei (vgl. Brodersen 2007). Zu beobachten ist, dass das Thema der Kommunikation in der Kartographie einem ständigen Wandel unterzogen ist.

### 4.1 Das lineare Kommunikationsmodell der Kartographie

Eines der älteren in der Kartographie angewandten Kommunikationsmodelle nach Hake et al. (2002: 8), kann als lineares Einbahnsystem beschrieben werden und bezieht sich auf die analoge Karte. Es geht von einem Sender\*in-Empfänger\*in Verhältnis aus, in dem Informationen unidirektional übertragen werden. Das gemeinsame Repertoire der Sprache und Denkmuster von Sender\*in und Empfänger\*in zählt zu jenen notwendigen Voraussetzungen, die für eine erfolgreiche Kommunikation ausschlaggebend sind.

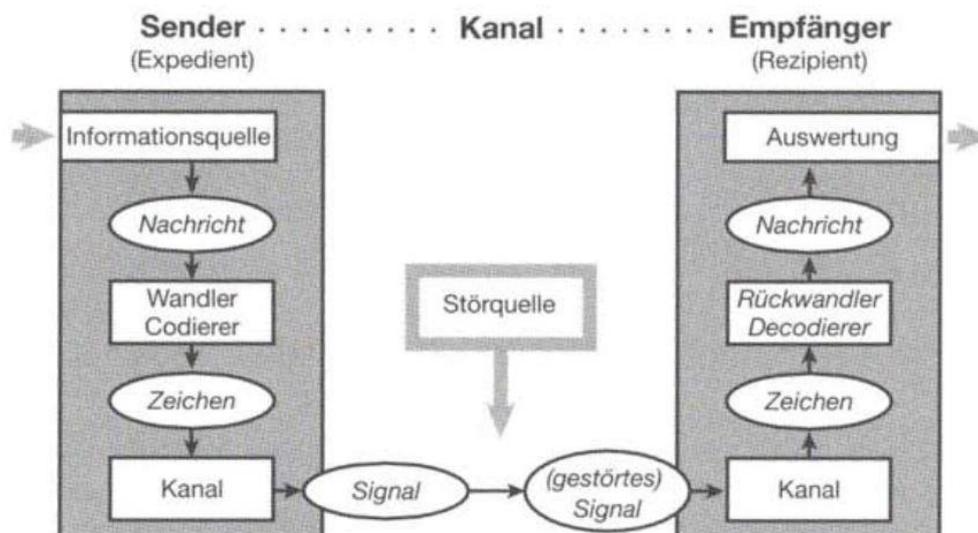


Abbildung 1: Das Kommunikationsmodell nach Hake et al. (Quelle: Hake et al. 2002).

Entscheidend ist die Umwandlung der Realität auf Seiten des/der Sender\*in in ein denkbare Konstrukt, das zu einem Bündel von Informationen führt. Die gewonnenen Informationen müssen in eine übertragbare Form kodiert werden, um über ein Medium, wie die Karte, an eine\*n Empfänger\*in übermittelt werden zu können. Der/Die Empfänger\*in dekodiert das Medium zu Informationen und interpretiert diese zu einem gedanklichen Konstrukt, um eine Entscheidung daraus abzuleiten (vgl. Abbildung 1) (ebd.: 8ff).

Das Kommunikationsmodell nach Hake et al. (2002) beschreibt den allgemeinen Kommunikationsprozess, wie er in der „klassischen“ Kartographie (unter der klassischen Kartographie versteht der Autor die Zeit vor dem Paradigmenwechsel (vgl. Brodersen 2007) um die Jahrtausendwende) verstanden wird. Leser\*innen einer Karte können nach diesem Kommunikationsmodell räumliche Informationen nur direkt aus der Karte gewinnen. Durch Veränderungen in den Informationstechnologien und besonders durch die Einführung von Computeranwendungen hat sich der Prozess der Kartenherstellung und besonders die Kommunikation von Raum gewandelt (vgl. Strobl 2009; Hurni 2009; Lienert et al. 2011; Schobesberger und Nausner 2009). Die Kommunikation in der Kartographie kann nicht mehr als Einbahnsystem verstanden werden, sondern bildet ein zirkuläres System (Kriz 2001: 231).

#### 4.2 Das zirkuläre Kommunikationsmodell der Kartographie

Während das Modell nach Hake et al. (2002) die Kommunikation nur in eine Richtung erlaubt, verweist Kriz (2001) gerade auf die Bedeutung der Kommunikation in umgekehrter Weise hin. Das von ihm beschriebene zirkuläre Kommunikationsmodell in der Kartographie basiert auf den drei wesentlichen Prozessen: Gestaltung, Kognition und Kommunikation (vgl. Abbildung 2). Wird bei der „Initialisierung“ ein raumbezogenes Thema der Realität in ein gedankliches Konstrukt (Problemformulierung) umgewandelt, so setzt anschließend der Prozess der *Gestaltung* (Realisierung) ein. Mithilfe kartographischem Wissen können kartographische Produkte mit den Grundprinzipien der Geovisualisierung (vgl. MacEachren et al. 2004) erzeugt werden, was im Grunde der „Kodierung“ nach Hake et al. (2002) entspricht. Das kartographische Produkt muss demnach nicht eine Karte oder kartenverwandte Darstellungsformen nach kartographischer Systematik sein, sondern kann jegliche Form eines Raumkommunikators annehmen (Kriz 2001: 231).

Der/Die Nutzer\*in interpretiert im Prozess der *Kognition* das kartographische Produkt und erhält ein gedankliches Konstrukt (Erkenntnisgewinnung). Aus dieser leitet er/sie eine Handlung ab oder greift in den Prozess der Gestaltung ein (Modifikation). Durch technische Lösungen ist dieser Prozess der *Kommunikation* zwischen Nutzer\*in und Kartograph\*in stark vereinfacht möglich. Nutzer\*innen können so kartographische Produkte direkt nach ihren Wünschen anpassen, sofern der/die Spezialist\*in die entsprechenden Werkzeuge zur Verfügung stellt. Aufgabe der Kartographie ist demnach nicht nur die reine Herstellung von kartographischen Produkten, sondern auch die Kommunikation von Raum auf wechselseitiger Ebene zwischen Kartograph\*in und Nutzer\*in (ebd.: 232).

Die Kommunikation von räumlichen Informationen ist zu einem zentralen Thema in der Kartographie geworden. Besonders der Begriff der *Geokommunikation* hat das Feld der Kartographie erweitert und zu einem Wandel in der Kartographie als Wissenschaft geführt (vgl. Kriz et al. 2009, Brodersen 2007).

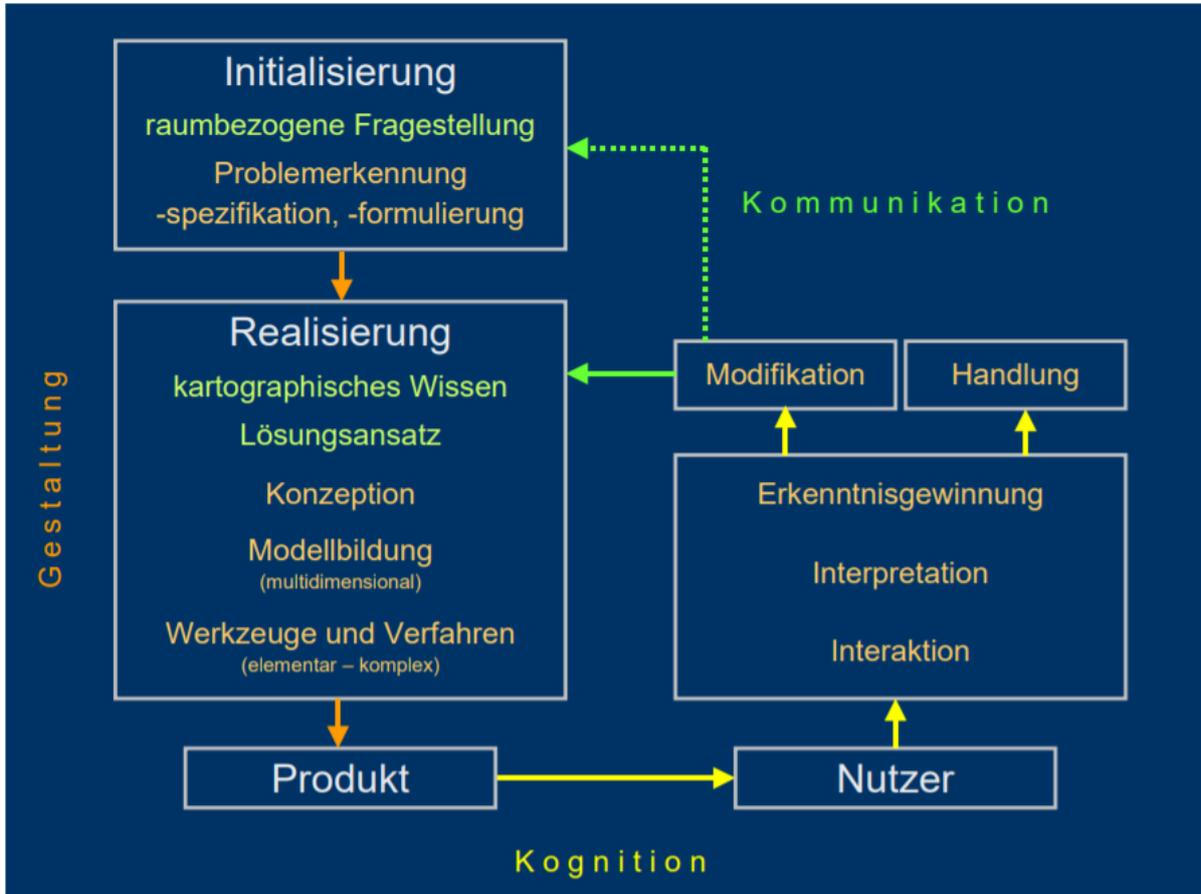


Abbildung 2: Zirkuläres Kommunikationsmodell nach Kriz (Quelle: Kriz 2001: 232).

Geokommunikation kann als das „neue“ Paradigma der Kartographie verstanden werden (vgl. Brodersen 2007). Brodersen argumentiert, dass durch die Dominanz von Geoinformationstechnologien in der Kartographie Karten nicht mehr die Informationsträger per se sind, sondern Geodaten, aus denen Karten erstellt werden können (Brodersen 2007: 3). Die Kartographie stellt für Brodersen konsequenterweise eine Kommunikationswissenschaft dar, in der räumlich relevante Sachverhalte kommuniziert werden. Wenn die Kommunikation von räumlich relevanten Sachverhalten die zentrale Aufgabe der Kartographie ist, dann können jegliche Themen, die in irgendeiner Weise raumgebunden sind, wie auch Lawinengefahren, durch die Kartographie behandelt werden. Der Paradigmenwechsel von der Kartographie hin zur Geokommunikation ist nach Brodersen (2007) durch die Veränderung im Prozess der Kartenherstellung ein logischer Schritt.

Geokommunikation ist nicht zu verwechseln mit dem Kommunikationsmodell nach Hake et al. (2002), das auf der Informationstheorie von Mildner 1990 beruht. Brodersen (2008) unterscheidet zwischen dem „Transmission model“ und dem „Geo-communication model“ (vgl. Abbildung 3). Ersteres beschreibt eine erweiterte Version des Kommunikationsmodells nach Hake et al. (2002). Brodersen argumentiert, dass dieses unilineare und direktionale Kommunikationsmodell nur *eine* Transmission von Informationen von einem/einer Sender\*in an eine\*n Empfänger\*in übermittelt. Im Gegensatz dazu beschreibt das „Geo-communication model“ das Erreichen einer Übereinkunft zwischen zwei Kommunikationspartner\*innen, die auf Basis *vieler* Transmissionen kommunizieren. Diese wechselseitige Beziehung ist jenes Grundprinzip, das auch Kriz (2001) mit dem Modell der zirkulären Kommunikation beschreibt. Insofern die Übereinkunft im Kommunikationsprozess in Bezug

## Geo-communication model

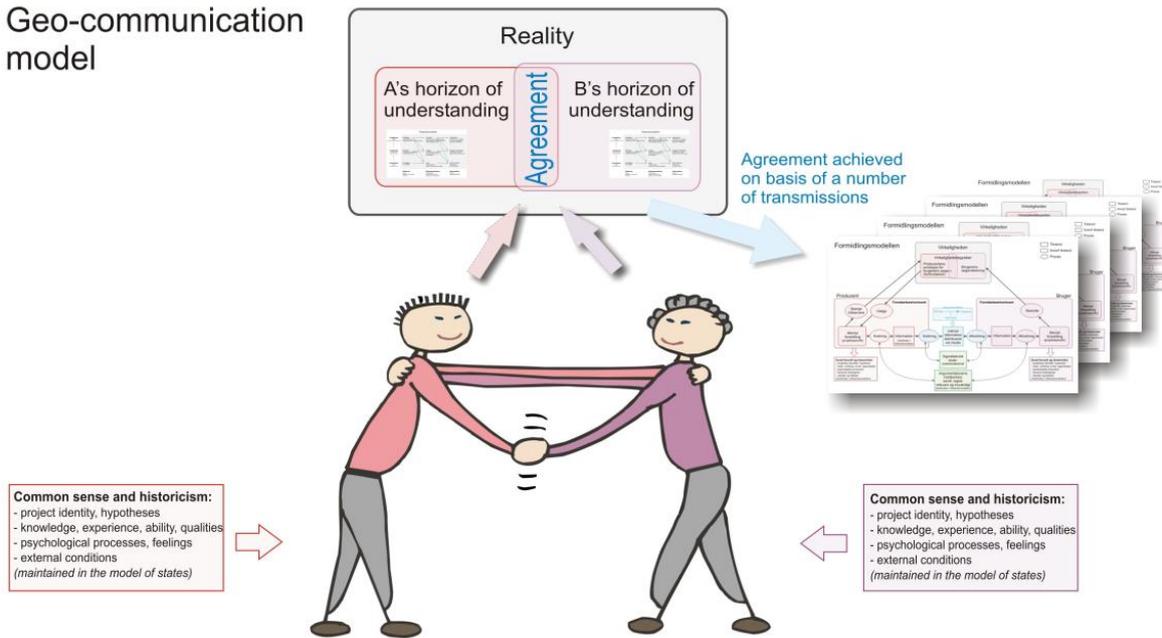


Abbildung 3: Das Geo-communication model nach Brodersen (Quelle: Brodersen 2008: 6).

auf einen räumlichen Inhalt getroffen wurde, wird von Geokommunikation gesprochen (Brodersen 2008: 6).

Die wohl am meisten angewendete Form der Geokommunikation in der Kartographie ist die Geovisualisierung. Nach MacEachren et al. (2004: 13) ist Geovisualisierung die sichtbare Darstellung von Geodaten (jegliche Daten mit einem Raumbezug) und kann als eigenes wissenschaftliches Feld betrachtet werden. Auch wenn der Begriff *geographische Visualisierung* durch den National Science Foundation Bericht von 1987 geprägt wurde (ebd.), geht die Idee der Geovisualisierung auf die Prinzipien der kartographischen Gestaltung nach Bertin (1974) zurück. Die Ziele der kartographischen Gestaltung zu Zeiten von Bertin sind bis heute dieselben geblieben: Geovisualisierung soll Geodaten visuell so abbilden, dass alltagstaugliches Wissen und Entscheidungen abgeleitet werden können (MacEachren et al. 2004: 13). Die Geovisualisierung als Forschungsfeld bietet effektive und effiziente Methoden und Werkzeuge, um besonders komplexe geographische Sachverhalte visuell für beispielsweise Planungen oder für die Entscheidungsfindung darzustellen (Jiang et al. 2003: 1).

Als eine Form der Geokommunikation kann die Geovisualisierung folglich auf unterschiedlichste Sachverhalte angewendet werden, solange ein räumlicher Bezug gegeben ist. Von den räumlichen Gegebenheiten stark abhängig sind beispielsweise die Lawinengefahren. Sie stellen einen örtlich gebundenen, komplexen Sachverhalt dar, der durch die Geovisualisierung besonders effizient kommuniziert werden kann (vgl. Neugebauer und Kriz 2017).

Die Geokommunikation als zirkulärer Kreislauf (vgl. Kriz 2001) dient optimal, um entsprechende Lawinengefahren im Prozess des Lawinenrisikomanagements zu integrieren. Wintersportler\*innen, die sich im unkontrollierten Gelände bewegen und den Lawinengefahren aussetzen, werfen raumbezogene Fragestellungen auf, sodass es zur Initialisierung kommt (siehe Abbildung 2). Über unterschiedliche Risikomanagementstrategien werden essenzielle Lawinengefahren erfasst und als Modell in einem Produkt realisiert. Wintersportler\*innen nutzen dieses und leiten Erkenntnisse für die Planung und Handlungen ab, die ihr Verhalten im unkontrollierten Gelände beeinflussen. Dieses Verhalten wirft

erneut raumbezogene Fragestellungen auf, wodurch der Kreislauf der Geokommunikation geschlossen ist.

Das Paradigma der Geokommunikation verdeutlicht die zirkuläre Kommunikation von räumlich relevanten Informationen und zeigt somit seine Wichtigkeit im Lawinenrisikomanagement. Eine Vielzahl von Transmissionen (vgl. Brodersen 2008) zwischen den Faktoren der Lawinengefahren und den Wintersportler\*innen stellen nicht nur die essenzielle Geokommunikation dar, sondern sind auch gleichzeitig Basis für jegliche Risikomanagementstrategien. Daraus leitet sich nicht nur die Frage nach dem Risikomanagement ab, sondern in erster Linie auch nach dem Risiko selbst.

## 5 Risiko – Die Wahrscheinlichkeit des Gefährlichen

Nicht nur in der Kommunikation oder besonders in der Geokommunikation können theoretische Kreisläufe Entscheidungen und Handlungen beeinflussen, sondern auch im Risikomanagement. Gerade das Risikomanagement, welches als Prozess der Optimierung einer Situation verstanden werden kann (Smith und Petley 2009: 50), bietet Instrumente zur Entscheidungsfindung und Anleitungen zu Handlungen, die auf Basis von Kommunikationsprozessen beruhen. So betrachtet ist die Kommunikation eine gewisse Voraussetzung für ein Risikomanagement und insbesondere die Geokommunikation im Feld der Lawinengefahren.

Um Entscheidungsprozesse kompetent durchführen zu können und Handlungen davon abzuleiten, die im Kontext der Lawinengefahren nicht zu fatalen Konsequenzen führen, wird die Kommunikation der entsprechenden Gefahren und die Wechselwirkung der Wintersportler\*innen mit diesen benötigt. Das daraus resultierende Risiko kann folglich erfasst, verarbeitet und kommuniziert werden, damit Wintersportler\*innen ein Risikomanagement betreiben können. Dieser Kreislauf im Lawinenrisikomanagement setzt jedoch grundlegendes Verständnis der Begriffe Risiko, Gefahr und Risikomanagement voraus und wirft somit das Feld der Risikoforschung auf.

### 5.1 Risiko – Was ist das?

Wenn davon ausgegangen wird, dass jeder Handlung eine Entscheidung zugrunde liegt, würde sich die Entscheidung ebenso herleiten lassen? Kausale Zusammenhänge zwischen Entscheidungsfindung und der Entscheidung selbst, könnten ein Abwägen von verschiedenen Szenarien, der Einfluss der Umwelt, Emotionen, oder auch reine Willkür sein. Je nach Betrachtungsweise auf den Menschen würden verschiedene Disziplinen der Wissenschaft von einem unterschiedlichen Wirkungsgefüge zwischen Entscheidungsfindung und letztendlich der Handlung ausgehen.

Werden dem Menschen Fähigkeiten des *homo oeconomicus* (vgl. Mill 1836) zugeschrieben, würde er dieser Entscheidungen rational unter besonderer Berücksichtigung des Abwägens unterschiedlicher Situationen treffen. Gerade das Abwägen von Entscheidungen und Überlegungen, welche „besser“ für die Zukunft sind, spricht das Konzept von Risiko an. Der Begriff Risiko ist stark mit dem gesamten Prozess der Entscheidung bis zur Handlung im Sinne des Risikomanagements verbunden. Das Risiko setzt einige Annahmen voraus: Die Fähigkeit und Anwendung des Abwägens von Situationen, dass die Zukunft gestaltbar ist, oder dass sich die Zukunft einschätzen lässt. Daher muss Risiko als eine *Betrachtungsweise* des weltlichen Geschehens gesehen werden.

Unter dieser Ansicht lässt sich Risiko nicht aus dem Alltag wegdenken (Smith und Petley 2009: 3). Jede Entscheidung und jede Handlung ist, unter Voraussetzung der oben genannten Annahmen, Risiko behaftet. Risiko bezieht sich auf zukünftige Schäden, die durch entsprechende Gefahren hervorgerufen werden (Smith und Petley 2009: 13; Cardona et al. 2012: 69; vgl. Birkmann 2006). BUWAL (1999: 7) nennt Risiko das Maß für die Größe einer *Gefährdung* (im Kontext von Naturgefahren).

### 5.1.1 Gefahr oder Risiko?

Was eine Gefahr oder Gefährdung ist und für wen sie eine darstellt, hängt immer vom Betrachtungsstandpunkt ab. Beispielsweise stellt die Präsenz von Grizzlybären in Kanada eine Gefahr für die dort ansässigen Menschen dar, aber die Absenz der Bären würde möglicherweise eine Gefahr für das Ökosystem bedeuten.

Das Risiko, als Maß für die *Größe* der Gefährdung, bewertet die Gefahr. Letztendlich ist Risiko nicht nur abhängig vom Betrachtungswinkel auf die Gefahr, sondern auch von der *Bewertung* von Dingen, Situationen und Prozessen, die durch sozio-kulturelle Hintergründe zu erklären sind. In Bezug auf das obige Beispiel obliegt es dem/der Entscheidungsträger\*in, ob ein gesundes Ökosystem mit der Anwesenheit von Grizzlybären oder die Nichtgefährdung von Menschen durch die Abwesenheit der Bären wichtiger ist. Wird beispielsweise für den Bestandserhalt der Grizzlybären in Kanada entschieden, geht die Gefahr von den Bären aus, dass diese die vor Ort lebenden Menschen töten. Wie wahrscheinlich tatsächlich Bären Menschen töten, wird durch das Risiko beschrieben.

Die Gefahr stellt somit die Ursache für eine mögliche Bedrohung dar und das Risiko die wahrscheinliche Konsequenz, die durch den Schaden hervorgerufen wird. Der Unterschied zwischen Gefahr und Risiko lässt sich folgendermaßen definieren (Smith und Petley 2009: 13):

*Gefahr* = zukünftiges Ereignis, das Schaden verursachen kann

*Risiko* = Exponiertheit von Wertigem gegenüber der Gefahr

### 5.1.2 Die Faktoren von Risiko

Risiko wird von der UNDRR (1980: 5) als das erwartete Maß von Schäden (Ausgesetztheit und Verletzlichkeit) aufgrund eines potenziellen Ereignisses (Gefahr) definiert. Drei Faktoren kristallisieren sich als wesentlich heraus und bestimmen das Risiko (Smith und Petley 2009: 50):

*Gefahr*: wann und wo besteht welche Gefahr?

*Ausgesetztheit*: wer oder was ist der Gefahr ausgesetzt?

*Verletzlichkeit*: wie leicht kann die Gefahr Schaden verursachen?

Über eine ähnliche Dreiecksbeziehung definiert Villagrán de León (2004: 13) Risiko. Er bezieht die Faktoren *Gefahr*, *Verletzlichkeit* und *Mangel an Vorbereitung* (auch *Fähigkeit zur Schadensüberwindung*) mit ein. Die *Ausgesetztheit* wird in seinen Abhandlungen in den Faktor *Gefahr* gelegt, während der *Mangel an Vorbereitung* der einen Seite von *Verletzlichkeit* in der Doppelstruktur vom Vulnerabilitätskonzept nach Bohle (2001) zuzuordnen ist. Das Risikokonzept nach Davidson und Shah (1997: 12) und von Bollin et al. (2003) aufgegriffen, geht von vier Faktoren aus: *Gefahr*, *Ausgesetztheit*, *Verletzlichkeit* und *Maßnahmenkapazitäten* (Birkmann 2006: 23) und war ursprünglich für Erdbebenrisikobewältigung konzipiert.

Bei diesen unterschiedlichen Konzepten von Risiko und dessen Determinanten wird Risiko immer mit negativen Folgen verbunden. Aber nicht nur negative Konsequenzen von Bedrohungen kann Risiko hervorrufen. Risiko stellt dem Schaden auch eine Chance gegenüber (Smith und Petley 2009: 50). Beispielsweise wird das chinesische Wort für Risiko, *wei ji*, in seiner Doppeldeutigkeit mit „Gefahr und Möglichkeit“ übersetzt. Im Kontext von zum Beispiel Naturkatastrophen nutzen Versicherungsgesellschaften die *Möglichkeit* sehr viel Geld zu verdienen (ebd.). Oder das stark negativ behaftete Risiko von einer Lawine im Wintersport verschüttet zu werden, bietet für Hersteller von

Notfallausrüstung Umsätze. Diese Beispiele verdeutlichen, dass die mit einem Risiko verbundenen Konsequenzen sowohl positive wie negative Folgen haben können (Smith 2013: 25).

## 5.2 Risikowahrnehmung

Was als Gefahr interpretiert wird, oder wie groß das Risiko ist von der Gefahr Schaden zu nehmen, hängt, wie oben beschrieben, vom Betrachtungswinkel ab. Entscheidend für das Ergebnis der Interpretation der Risikosituation, ist die *Wahrnehmung* des Risikos. Generell wird in der Literatur zwischen *objektiver* und *subjektiver* Risikowahrnehmung unterschieden (Smith und Petley 2009: 50). Wird Risiko in diese beiden Extrempositionen unterteilt, so wird das objektive Risiko durch wissenschaftliche Methoden erörtert, während subjektives Risiko auf vor allem den Erfahrungen eines Individuums beruht (ebd.: 60). In der Realität und insbesondere im Risikomanagement verschwimmen die Grenzen zwischen Objektivität und Subjektivität in der Risikowahrnehmung (ebd.). Eine getrennte Betrachtung kann jedoch für analytische Zwecke sinnvoll sein.

*Objektives Risiko* ist das Ergebnis von Risikowahrnehmung durch eine wissenschaftliche „Brille“. Die Wahrnehmung erfolgt durch nachvollziehbare Messmethoden, durchgeführt von Expert\*innen. Die Ergebnisse werden durch statistische Auswertungen erzielt und mit gesellschaftspolitischen Interessen zu einer Gefahrenbewertung, also einem Risiko, kombiniert. Dass die vermeintliche wissenschaftliche Objektivität im Risikomanagement in Bezug auf Naturgefahren zu einigen Fehlentscheidungen in der Vergangenheit geführt hat, bestätigen Beispiele (ebd.: 51). Smith und Petley (2009: 51) weisen darauf hin, dass subjektives Risiko nicht unbedingt „schlechter“ ist als objektives Risiko (ebd.: 51) und eine wesentliche Rolle in der Risikowahrnehmung spielt.

*Subjektives Risiko* ist die Risikowahrnehmung von Individuen durch ihre persönliche „Brille“. Herkunft, Lebenseinstellung, Lebenserfahrungen und unterschiedliche persönlichkeitsprägende Ereignisse können auf die subjektive Wahrnehmung von Risiko Einfluss nehmen. Auch wenn die subjektive Risikowahrnehmung im Prozess des Risikomanagements nie auszuschließen ist und auch entsprechend berücksichtigt werden sollte, ist dies schwierig wissenschaftlich nachvollziehbar zu gestalten. Subjektives Risiko muss als eine extrem dynamische Wahrnehmung verstanden werden, die von Individuum zu Individuum stark variiert (ebd.: 51 und 60f).

Im Kontext des Lawinenrisikos spielen objektive und subjektive Wahrnehmung zusammen. Während die Gefahr möglichst objektiv durch entsprechende Werkzeuge wahrgenommen wird (vgl. Munter 2009; Larcher 2012), basieren beispielsweise Entscheidungen darüber, ob ein Schnee bedeckter Hang befahren wird oder nicht, oft aus subjektiver Perspektive (vgl. McCammon 2002). Das heißt, ob sich Wintersportler\*innen der Lawinengefahr stärker oder weniger aussetzen (Befahrung des Hanges), hängt vielmehr von subjektiver Risikowahrnehmung ab. Trotz der Mischung aus objektiver und subjektiver Risikowahrnehmung im Lawinenrisiko, kann die Wissenschaft aufgrund ihrer inneren Logik der Nachvollziehbarkeit besonders mit objektiven Ansätzen arbeiten.

### 5.3 Risikoerfassung – Die Faktoren im Detail

Die Risikowahrnehmung ist logischerweise eng mit der Risikoerfassung verknüpft. Bei einer objektiven Risikowahrnehmung werden im Grunde die wesentlichen *Faktoren* von Risiko *erfasst*: Gefahr, Ausgesetzttheit und Verletzlichkeit. An diese Faktoren sind jeweils mehrere und unterschiedliche Konzepte geknüpft, die somit Risiko, je nach Autor\*in, unterschiedlich interpretieren (vgl. Smith und Petley 2009; Peduzzi et al. 2009; Luers 2005). Die unterschiedlichen Erfassungsmethoden, ob quantitativ berechnet oder qualitativ durch Sozialanalysen erhoben, führen folglich zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die Vielzahl an theoretischen Konzepten hinter den Faktoren von Risiko und im Speziellen von Verletzlichkeit sind nicht Ausdruck von wissenschaftlichem Chaos, sondern immer an spezielle Kontexte angepasst. Auch wenn die folgend vorgestellten Konzepte der Risikofaktoren für Naturgefahren gedacht sind, so beeinflussen die Dimension, geographische Lage, wirtschaftliche Situation und viele weitere maßstabsgebundene Parameter die entsprechende theoretische Basis.

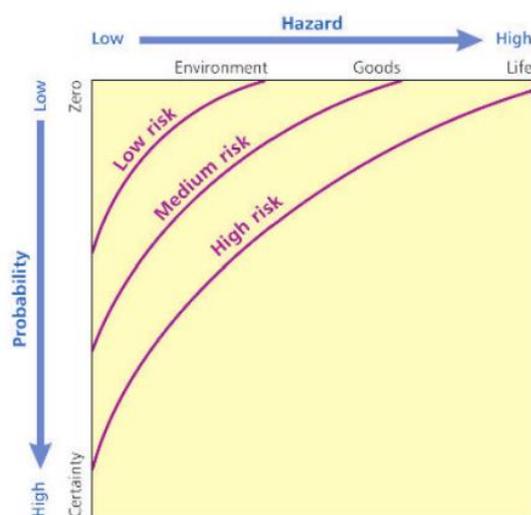
Nicht alle vorgestellten Konzepte der wesentlichen Faktoren für Risiko sind sinnvoll für den Kontext des Lawinenrisikos, aber werden für ein grundlegendes Verständnis und Aufzeigen der hinter Risiko stehenden Forschung erläutert. Die Begriffe Gefahr, Ausgesetzttheit und Verletzlichkeit werden in ihrer Bedeutung mithilfe der damit verbundenen Konzepte beschrieben und in Verbindung mit Risiko gestellt.

#### 5.3.1 Gefahr – Eintrittswahrscheinlichkeit und Schaden

Grundlegend für jedes Risiko ist eine Gefahr (vgl. Smith 2013; Statham 2008; Peduzzi et al. 2009; Cardona et al. 2012). Im Kontext von Naturgefahren geht die Gefahr von einem *Naturereignis* aus (Smith 2013: 12). Hangabwärts rutschende Schneemassen sind als eine gravitative Massenbewegung, also als ein *Naturereignis* zu betrachten. Von einer *Naturgefahr* in diesem Kontext ist erst zu sprechen, wenn eine Schneelawine Schaden verursachen könnte. Folglich lässt das Potential für einen Schaden ein Ereignis zur Gefahr werden.

Der Zusammenhang von Gefahr zu Risiko besteht über die Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahr (Smith und Petley 2009: 13; UNDR0 1980: 5). Die Größe der Gefahr mal der Eintrittswahrscheinlichkeit kann als allgemeines Maß für Risiko stehen. Wenn eine besonders große Gefahr (beispielsweise extreme Schneemassen in einem sehr steilen Hang) sehr leicht eintreten kann (beispielsweise instabiler Schneedeckenaufbau), so besteht ein hohes Risiko für jemanden, der/die sich

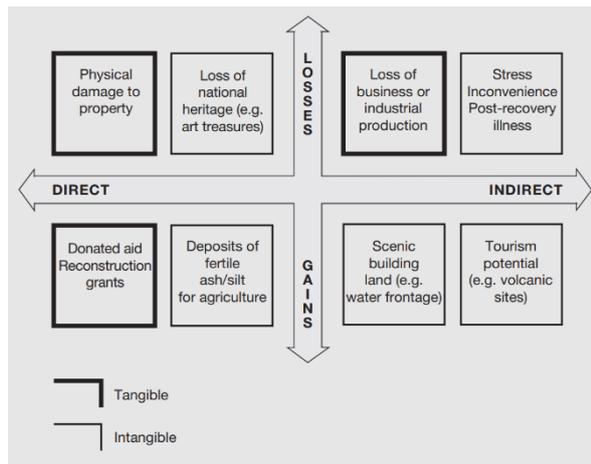
der Gefahr aussetzt. Umgekehrter Weise wäre das Risiko gering, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit gegen Null geht und die Gefahr kaum Schaden verursachen könnte (vgl. Abbildung 4).



Die Größe der Gefahr hängt mit dem Schaden zusammen, der verursacht werden kann. Schaden ist die negative Auswirkung eines eingetretenen gefährlichen Ereignisses und wird unter einer

Abbildung 4: Der Zusammenhang zwischen der Größe der Gefahr und der Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt allgemein den Grad des Risikos. Die Größe der Gefahr hängt direkt mit dem Schaden zusammen, so ist für Menschen die Gefahr groß, wenn sie das eigene Leben betrifft, mittel, wenn es um das Eigentum geht und gering, wenn die Gefahr die Umwelt bedroht (Quelle: Smith 2013: 12 nach Moore 1983).

ökonomischen Betrachtungsweise in vier Kategorien eingeteilt (vgl. Abbildung 5): direkter, indirekter, tangibler und intangibler Schaden (Thaler und Jongman 2018: 84). Direkter Schaden ist das negative Resultat eines Ereignisses, während indirekte Schäden entsprechende Folgeerscheinungen sind. Wenn sich beispielsweise ein Mensch in einer Lawine das Bein bricht, ist dies ein direkter Schaden. Weil er aber mit seiner Verletzung möglicherweise nicht mehr arbeiten kann und somit kein Einkommen erzielt (sofern es kein Krankenkassensystem gibt), entsteht ein indirekter Schaden. Zusätzlich würde der Beinbruch als intangibler Schaden kategorisiert werden, da diese Verletzung und die damit verbundenen Schmerzen nicht monetär bewertbar sind. Hingegen wäre der Einkommensverlust in Geld berechenbar und würde somit tangibel sein (ebd.: 85).



Der Schaden von Wintersportler\*innen durch Lawinenunfälle wird beispielsweise in Österreich für statistische Zwecke erhoben (vgl. LAWIS 2021). Jedoch wird meistens kein indirekter und nie ein tangibler Schaden erfasst. Festgehalten wird, neben räumlichen und Lawinen technischen Informationen, die Zahl der Beteiligten, der Toten, Verletzten, Unverletzten, Mitgerissenen, Totalverschütteten und Teilverschütteten (LAWIS 2021). Folglich bezieht sich der „gemessene“ Schaden auf den Tod und die Verletzungen der Beteiligten, welche nicht monetär aufgewogen werden.

Abbildung 5: Die Einteilung der Konsequenzen eines Ereignisses, in Bezug auf Naturgefahren, ist in positive, wie negative, direkte und indirekte Folgen zu unterscheiden. Beispiele verdeutlichen außerdem, ob die Konsequenz in Geld bewertbar ist oder nicht (Quelle: Smith und Petley 2009: 25).

Der Schaden und besonders die Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens im Kontext von Wintersportler\*innen betreffend Lawinen wird in Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?* detailliert behandelt und weist eine ungefähre (je nach Datensatz) Todesfallrate von 20% auf (Brugger et al. 2001: 8; Brugger et al. 2007: 477; Lunde-Tellefsen 2019: 8).

### 5.3.2 Ausgesetzttheit – Präsenzwahrscheinlichkeit

Personen oder jegliche bewertete Elemente müssen einer Gefahr ausgesetzt sein, damit ein Risiko bestehen kann (Statham 2008: 225; Cardona et al. 2012: 69). Befinden sich keine Menschen in einer Gefahrenzone zu einem gewissen Zeitpunkt, so brauchen sie auch kein Risiko zu befürchten. Die Ausgesetzttheit (Synonym: Exponiertheit) ist somit zwar ein notwendiger, aber nicht der allein bestimmende Faktor im Konzept von Risiko (Cardona et al. 2012: 69). UNDRO (1980: 5) zählt im Kontext von Naturgefahren Menschen, Gebäude, Infrastruktur, ökonomische Aktivitäten, öffentliche Einrichtungen usw. zu jenen Elementen, die einem Risiko vor Naturgefahren exponiert sein können. Theoretisch kann alles, von physischen Gegenständen bis zu geistigen Ideen, einer gewissen Gefahr ausgesetzt und somit von einem Risiko betroffen sein.

Physische Exponiertheit wird durch den „Disaster Risk Index“ mathematisch beschrieben. Peduzzi et al. (2009: 1151) definieren so Ausgesetzttheit pro Jahr durch die Summe von Ereignissen pro Jahr und der Menge von Menschen, die sich räumlich im Wirkungsbereich jedes Ereignisses aufhalten.

$$\text{PhExp} = \sum_i^n F \text{Pop}_i$$

PhExp = Physische Exponiertheit (exponierte Bevölkerung / Jahr)

$F$  = jährliche Frequenz von Ereignissen (Ereignisse / Jahr)

$\text{Pop}_i$  = Gesamtbevölkerung in der räumlichen Einheit zu jedem Ereignis „ $i$ “ (exponierte Bevölkerung / Ereignis)

$n$  = Anzahl der betrachteten Ereignisse

Alternativ und allgemeiner berechnen Peduzzi et al. (2009: 1151) die physische Exponiertheit von Menschen folgend:

$$\text{PhExp} = \sum_i^n \frac{\text{Pop}_i}{Y_n}$$

$Y_n$  = Zeitraum (Jahre)

Eine mathematische Herangehensweise von Ausgesetzttheit kommt beispielsweise bei der wissenschaftlichen Studie von Walcher et al. (2019) zur Anwendung. Walcher et al. (2019) untersuchten das Todesfall- und Verletzungsrisiko durch Helikopter und Schneemobil gestütztes Skifahren in Kanada. Um den Grad der Exponiertheit zu errechnen, wurden die „Skitage“ herangezogen. Die „Skitage“ beschreiben die Anzahl von Skifahrer\*innen, die sich pro Tag den winterlichen Gefahren im Gelände ausgesetzt haben. Um die Bedeutung von Ausgesetzttheit zu verstehen, muss bewusst gemacht werden, dass das Todesfallrisiko bei den in der Studie beschriebenen winterlichen Unternehmungen nicht vorhanden wäre, wenn sich niemand den entsprechenden Gefahren ausgesetzt hätte. Zusätzlich soll hervorgehoben werden, dass das Todesfallrisiko steigen würde, wenn sich mehr Wintersportler\*innen den Gefahren exponieren.

Die Verbindung von Ausgesetzttheit zu Risiko liegt in der Wahrscheinlichkeit, dass bewertete Elemente örtlich im Wirkungsbereich einer drohenden Gefahr vorzufinden sind (Statham 2008: 225; Cardona et al. 2012: 69). Die Präsenzwahrscheinlichkeit von Subjekten und Objekten dient folglich als beeinflussendes Maß für die Größe eines Risikos. Je höher die Präsenzwahrscheinlichkeit der entsprechenden Subjekte oder Objekte ist, desto größer ist das Risiko (Peduzzi et al. 2009: 1151).

Konsequenterweise stellen Wissenschaftler\*innen die Frage, ob größere Schäden durch Naturgefahren global durch häufigere und extremere Naturereignisse hervorgerufen werden, oder ob der Grund dafür möglicherweise darin liegt, dass sich Menschen und ihre Besitztümer stärker den Gefahren aussetzen (Peduzzi et al. 2009: 1159; Fuchs und Kuhlicke 2018: 5). Die Antwort kann nicht allein durch größere Gefahren oder vermehrte Ausgesetzttheit beantwortet werden, sondern der dritte Faktor von Risiko spielt eine wesentliche Rolle: die Verletzlichkeit.

### 5.3.3 Verletzlichkeit – Vulnerabilität

Ein kleines wackeliges Boot und ein großes stabiles Schiff überqueren einen Ozean. Ein Sturm kommt auf und die Wellen werden immer größer, sodass das Boot und das Schiff bereits mit den Wellen kämpfen. Die Crew des großen stabilen Schiffes ist gerade einmal mit Seekrankheit beschäftigt, als sie bemerkt, dass das Boot bei jeder Welle vom Wasser fast verschluckt wird und beinahe kentert (verändert nach Smith and Petley 2009: 13).

Wird diese Situation auf dem Ozean durch die Brille von Risiko betrachtet, tritt das Konzept von Verletzlichkeit deutlich hervor. Die hohen Wellen repräsentieren die Gefahr (kentern des Bootes und des Schiffes), der sich das Boot und das Schiff gleichermaßen aussetzen. Nachdem dem Schiff die Wellen aber nicht viel anhaben können, da es viel größer und stabil gebaut ist, ist dieses wesentlich weniger verletzlich gegenüber der Gefahr, als das kleine Boot. Das kleine Boot kann also einerseits viel leichter und andererseits viel größeren Schaden nehmen.

In diesem Beispiel kommt ein Konzept von Verletzlichkeit (Synonym: Vulnerabilität) zur Anwendung, das allgemein Vulnerabilität als die Anfälligkeit gegenüber Schaden definiert. Verletzlichkeit besteht, wenn ein System (z. B. das Schiff) als sensibel bzw. ausgesetzt vor Stress, Störungen oder schockartigen Ereignissen gesehen wird (Luers 2005: 215). Auch der potenzielle Schaden spielt bei anderen Definitionen eine wesentliche Rolle (vgl. UNDRO 1980; Luers 2005).

Vulnerabilität zu definieren ist folglich so vielfältig, wie es Wissenschaftsdisziplinen gibt, die sich mit der Thematik beschäftigen. Je nach Kontext werden Definitionen entsprechend angepasst (Fekete und Montz 2018: 14). Eine der häufigsten verwendeten und akzeptierten Definition von Vulnerabilität im Naturgefahrenkontext besagt (Fuchs et al. 2018: 33), dass Vulnerabilität das Maß für Schaden eines dem Risiko ausgesetzten Elements aufgrund eines eingetretenen Naturereignisses mit einer bestimmten Intensität ist und wird über eine Skala von 0 (kein Schaden) bis 1 (Totalschaden) angegeben (UNDRO 1980: 5). Auch bei Luers (2005: 215) steht ein Schwellenwert für das Schadensausmaß und wie sehr ein System fähig ist, mit verändernden Bedingungen umzugehen, an zentraler Stelle.

Später wurde der Mensch in das Konzept von Vulnerabilität stärker einbezogen, da festgestellt werden musste, dass gerade auch bei Naturgefahren und Naturkatastrophen der Mensch und die Gesellschaft maßgebend für deren Verletzlichkeit sind. So definieren Wisner et al. (2004: 11), als viel zitierte Grundlage in der Risikoforschung, Vulnerabilität folgendermaßen:

„By vulnerability we mean the characteristics of a person or group and their situation that influence their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard (an extreme natural event or process).”

Vulnerabilität ist nicht mehr rein als Anfälligkeit gegenüber Stress, Schaden usw. zu verstehen, sondern beinhaltet auch die Fähigkeiten bzw. Kapazitäten einem Stress einerseits zu widerstehen und andererseits diesen zu überwinden. Gerade der Begriff „to cope“ ist bei Vulnerabilität, die Menschen betrifft, von zentraler Bedeutung. Unter „coping“ verstehen Wisner et al. (2004: 113) die Art und Weise, in der Menschen mit der Begrenztheit von Ressourcen und verschiedenen Erwartungen, die zu unterschiedlichen Zielen führen können, umgehen. Dazu zählen Ansätze von Verteidigungsmechanismen, Methoden zur Stressbewältigung oder auch aktive Problemlösungen.

Diese Ansätze reichen bereits weit in Konzepte des Risikomanagements hinein, da die Reduktion der Verletzlichkeit eines Systems oder Elements eine Möglichkeit, ist das Risiko zu vermindern (Fekete und Montz 2018: 29). So lenkte die Erweiterung und der Paradigmenwechsel durch die Einführung von Vulnerabilitätskonzepten im Risikomanagement, wo vorerst der Fokus auf der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen lag, die Aufmerksamkeit stärker auf das Schadensausmaß (Fuchs und Kuhlicke 2018: 5; vgl. Fuchs et al. 2015).

Das Vulnerabilitätskonzept kann, in Bezug auf Schaden, sensibler zwischen Anfälligkeit, Überwindbarkeit und Ausgesetztheit bei Dingen und Menschen unterscheiden (Fekete und Montz 2018: 17). Auch Adger (2006: 269) bemerkt, dass sich von jeglichen Definitionen und Charakterisierungen von Vulnerabilität die *Ausgesetztheit*, *Empfindlichkeit* und *Überwindungskapazität* von Stress als immer wiederkehrende Begriffe herauskristallisieren. Fekete und Montz (2018: 21) erklären dazu, dass die Ausgesetztheit oder Exponiertheit den Stress umfasst, der potenziell auf Dinge, Individuen, Gemeinschaften, Ökosysteme usw. wirkt. Die Empfindlichkeit wird als das Ausmaß des Stresses, welches die exponierten Elemente bzw. Systeme betrifft und/oder verändert, erläutert. Die Überwindungskapazität oder auch deren Fehlen in Bezug auf einen bestimmten Stress verändert sich je nach Kontext der/des Betroffenen (Fekete und Montz 2018: 21).

Letztendlich kann durch das Verständnis von Vulnerabilität und ihren Charakterisierungen die Verletzlichkeit erkannt und in weiterer Folge bemessen werden (vgl. Fekete und Montz 2018). Das Ziel von Verletzlichkeitserkennung ist, entsprechende Objekte und Subjekte zu identifizieren, die besonders schadensanfällig sind, um folglich verwundbarkeitsreduzierende Möglichkeiten zu finden (Luers 2005: 215). Für die Analyse von Verletzlichkeit erscheint die Trennung in quantitative und qualitative Methoden als sinnvoll. Während qualitative Methoden oft in der Datenverfügbarkeit oder -qualität limitiert sind (Fekete und Montz 2018: 25; Fuchs et al. 2019: 589), spricht Kritik und Skepsis dafür, auch quantitative Methoden mit einzubeziehen, um das Ergebnis realitätsnäher zu gestalten (Fekete und Montz 2018: 27f). Zu berücksichtigende Faktoren in der *qualitativen Vulnerabilitätserhebungsmethode* sind nach Anderson und Woodrow (1989) physische/materielle, soziale/organisatorische und motivations-/einstellungsbetreffende Verletzlichkeitsfaktoren und durch Fekete und Montz (2018: 27) erweitert, um externe Faktoren, wie ökonomische, institutionelle, Umwelt betreffende oder politische Eingrenzungen.

*Quantitative Methoden* zur Erkennung von Vulnerabilität werden deduktiv von Theorien abgeleitet oder induktiv durch empirische Beobachtungen entwickelt, wobei letztere oft von der Datenverfügbarkeit abhängt und beeinflusst wird (Fekete und Montz 2018: 25). Eine deduktive, quantitative Methode stellt Luers (2005: 216) über sein Konzept der *relativen Vulnerabilität* vor (vgl. Abbildung 6).

Unter *relativ* versteht er den Vergleich unterschiedlicher Verletzlichkeit von mehreren Systemen. Er spannt dabei ein Verhältnis zwischen Empfindlichkeit und Exponiertheit auf der einen Achse und einen Status in Relation zu einem Schwellenwert, bezogen auf Schaden, auf der anderen Achse auf. Dieses Spannungsfeld bekommt durch die Vulnerabilität auf der dritten Achse seine Dreidimensionalität.

Unter Empfindlichkeit versteht Luers (2005: 217) ein Maß dafür, dass ein System einerseits einer exogenen Veränderung standhalten und andererseits nach einem äußeren Stress wieder in ihren Ausgangsstatus zurückkehren kann. Dies spricht die Konzepte von sowohl Resistenz als auch von Resilienz in der Systemtheorie an (Fekete und Montz 2018: 19). Exponiertheit ist für Luers (2005) inhärent mit Empfindlichkeit verbunden, denn die gegenseitige Abhängigkeit beschreibt seiner Meinung nach realistischer die Wirklichkeit (Luers 2005: 217).

Mit dem Status eines Systems relativ zu einem Schwellenwert, in Bezug auf Schaden, meint Luers, dass Gesellschaften, Individuen bzw. Systemkomponenten einen Schwellenwert festlegen, ab diesem das System Schaden erleidet. Der Status relativ zu diesem subjektiv festgelegten Schwellenwert kann unter oder über bzw. nahe oder weit entfernt von diesem Schwellenwert liegen. Sofern ein System einer potenziellen Gefahr ausgesetzt ist und eine entsprechende Empfindlichkeit zeigt, so ist das System stärker verletzlich, wenn der Status bereits nahe am Schwellenwert vom Schadennehmen liegt (ebd.: 217f). Die relative Vulnerabilität verändert sich somit, wenn der Schwellenwert neu gesetzt wird, sich der Status relativ zum Schwellenwert durch exogene Faktoren ändert oder die Ausgesetztheit bzw. die Empfindlichkeit erhöht oder verringert werden.

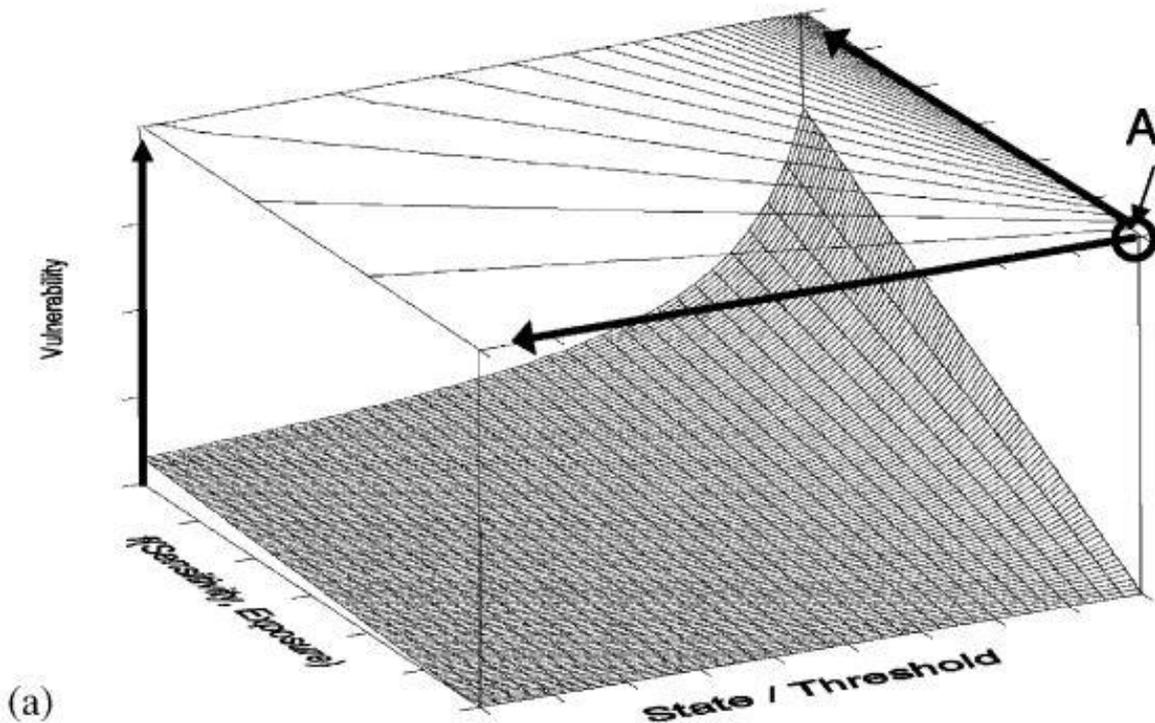


Abbildung 6: Das dreidimensionale Feld von Vulnerabilität nach Luers. Die Achse „State/Threshold“ beschreibt den Status eines Systems relativ zu einem subjektiv festgelegten Schwellenwert, ab dem ein System Schaden nimmt. Die zweite Achse „f (Empfindlichkeit, Exponiertheit)“ soll eine Funktion der in sich zusammenhängenden Variablen Resistenz, Resilienz und Ausgesetzttheit eines Systems umfassen. Durch Veränderung der beiden Achsen steigt oder sinkt die Verletzlichkeit (dritte Achse „Vulnerability“) eines Systems relativ zu einem anderen (Quelle: Luers 2005: 216).

Luers (2005: 216) beschreibt die relativen Zusammenhänge und Abhängigkeit der Determinanten für Vulnerabilität mathematisch in folgender Formel:

$$\text{Vulnerabilität} = f\left[\frac{\text{(Empfindlichkeit, Exponiertheit)}}{\text{Status relativ zum Schwellenwert}}\right]$$

Vulnerabilität ist somit eine Funktion von Empfindlichkeit, Exponiertheit und der Status relativ zum Schwellenwert von Schaden.

Das dreidimensionale Vulnerabilitätskonzept nach Luers (2005) kann folglich auch auf Wintersportler\*innen angewendet werden, die sich Lawinengefahren aussetzen. Angefangen beim Grenzwert des Schadennehmens bei Lawinenunfällen, bestimmt das System, also der/die Wintersportler\*in, wo dieser liegt. Beginnt der Schaden bei einer Lawinenauslösung und einem Schrecken oder wird der Schwellenwert des Schadens erst überschritten, wenn der/die Wintersportler\*in unter einer Lawine gestorben ist? Die Empfindlichkeit von Wintersportler\*innen gegenüber Lawinen würde nach Luers' (2005) Konzept durch die Rettungsfähigkeiten der Begleitpersonen des Lawinenopfers definiert werden. Im Kontext von Lawinengefahren hängt die Exponiertheit mit der Empfindlichkeit insofern zusammen, dass sich der/die Wintersportler\*in eher exponieren würde, wenn

sie weiß, dass die anderen Gruppenmitglieder gut geschult in der Lawinenrettungstechnik sind (vgl. McCammon 2000).

Dies bedeutet: je besser geschult die Bergkamerad\*innen des/der Wintersportler\*in in der Lawinenrettungstechnik sind, desto eher setzt er/sie sich den Lawinengefahren aus und steigert auf der einen Seite seine Vulnerabilität. Auf der anderen Seite wird die Vulnerabilität erhöht, je eher bereits minimale Auswirkungen eines Lawinenereignisses für den/die Wintersportler\*in bereits als Schaden gelten.

Es zeigt sich, dass die Anwendung des Vulnerabilitätskonzepts nach Luers (2005) auf das Lawinenrisiko im Wintersport zu einer „übermäßigen“ Komplexität neigt, anstatt eine theoretische Basis zu liefern, die auch eine gewisse Praxistauglichkeit mitbringt. Neben der Berechenbarkeit von Vulnerabilität durch das Konzept von Luers (2005), die für große Naturkatastrophen ihre Berechtigung hat, zeigt sich jedoch noch weitere Kritik, gerade wenn es im Kleinen um Naturgefahren geht.

Die, wie von Luers vorgestellten, deduktiv-quantitativen Ansätze zur Vulnerabilitätserkennung haben oft ihre Schwäche, in Bezug auf die Realitätsnähe, in der kontinuierlichen Messmethode. Lineare Zusammenhänge zwischen beispielsweise der Ereignismagnitude und der Vulnerabilität gehen von direkten und kontinuierlichen Relationen aus, die durch Kurven oder dreidimensionale Spannungsfelder beschrieben werden. Dabei sind die Konsequenzen von Ereignissen (Schäden) oft sprunghaft und nicht kontinuierlich entlang einer Kurve (Bohle und Glade 2006: 107). Steht beispielsweise ein Mensch am Rande aber *in* einer Lawinenbahn während eine nasse und große Fließlawine abgeht und wird von dieser erfasst, ist er höchstwahrscheinlich danach tot. Wäre er nur einen Sprung weiter entfernt *neben* der Lawinenbahn und die Lawine erfasst ihn nicht, würde, außer einem großen Schrecken, dem Menschen nichts passieren. Viele Zwischenstadien an vorstellbarem Schaden sind nicht vorhanden.

Groß angesetzte quantitative wie qualitative Methoden zur Erhebung von Vulnerabilität wurden besonders für Naturkatastrophen, die meist ganze Gesellschaften betreffen, entwickelt und angewendet (Fekete und Montz 2019: 24; Adger 2006: 273f). Letztendlich geht es bei diesen Methoden auch um die Prognose des ökonomischen Schadens, der bei einer entsprechenden Größe der Auswirkungen eines Naturereignisses, gesellschaftlich und politisch ins Gewicht fällt. Bei Lawinenunfällen durch Wintersport hingegen spielt der ökonomische Schaden eine untergeordnete Rolle. Auch nicht tangibler Schaden, wie etwa Menschenleben oder die dadurch verursachte Zerstörung einer Familiensozialstruktur, kommt nicht massenweise, sondern nur in Einzelfällen bei Lawinenunfällen vor. Dennoch sind quantitative Erhebungsmethoden der Vulnerabilität hilfreich, um zeitliche Trends in Bezug auf das Lawinenrisiko zu analysieren (vgl. Walcher et al. 2019; Windsor et al. 2009; Techel et al. 2015).

## 5.4 Methode der quantitativen Risikoerfassung

Um ein Risiko einschätzen zu können und schließlich Risikomanagement zu betreiben, muss dieses wahrgenommen und erfasst werden. Die Erfassung kann über unterschiedliche Methoden, wie oben beschrieben, bewältigt werden (vgl. Han und Wenig 2011; BUWAL 1999; Cardona et al. 2012; Birkmann 2006; Peduzzi et al. 2009). Jegliche Methoden lassen sich in qualitative, semiquantitative und quantitative Analysen einteilen (BUWAL 1999: 14). Im Kontext von Lawinenrisiko im Wintersport konzentriert sich diese Arbeit auf die quantitative Risikoerfassung, da diese Möglichkeiten bietet, um Konzepte für ein Risikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen zu entwerfen. Gerade durch die

quantitative Risikoerfassung werden jene, zuvor im Detail beschriebenen Faktoren von Risiko in Beziehung gesetzt und veranschaulichen somit die Determinanten von Risiko.

Den oben angeführten Definitionen von Risiko sind die maßgeblichen Faktoren für Risiko zu entnehmen und wurden in ihren Einzelheiten diskutiert. Somit setzt sich Risiko aus *Gefahr*, *Ausgesetztheit* und *Verletzlichkeit* zusammen (Smith und Petley 2009: 50). Eine der einfachsten Formen Risiko quantitativ zu beschreiben ist, Risiko als das Produkt dieser von Smith und Petley (2009: 50) angeführten Faktoren zu definieren.

$$\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Ausgesetztheit} \times \text{Verletzlichkeit}$$

Etwas differenzierter beschreiben Fuchs und Keiler (2006: 14) quantitatives Risiko, indem sie die Formel um den Faktor des Wertes eines Objektes erweitern.

$$R_{i,j} = p_{si} \times p_{oj,si} \times A_{oj} \times v_{oj,si}$$

- $R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$   
 $p_{si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$   
 $p_{oj,si}$  = Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$   
 $A_{oj}$  = Wert von Objekt  $j$   
 $v_{oj,si}$  = Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$

Die Anwendung dieser Formel auf das Todesfallrisiko durch Lawinen im Wintersport zeigt folgende einzusetzende Parameter.

- Das Szenario  $i$  stellt den Abgang einer potenziellen Lawine dar
- Das Objekt  $j$  steht für eine/einen oder mehrere Wintersportler\*innen
- Die Eintrittswahrscheinlichkeit ( $p_{si}$ ) eines Lawinenabgangs wird durch die Lawinengefahren und die Präsenzwahrscheinlichkeit bestimmt
- Über die Präsenzwahrscheinlichkeit ( $p_{oj,si}$ ) entscheidet der/die Wintersportler\*in
- Der Wert ( $A_{oj}$ ) des/der Wintersportler\*in ist ein Menschenleben
- Die Verletzlichkeit ( $v_{oj,si}$ ) des/der Wintersportler\*in wird durch die Lawine, das Gelände und die Rettungsmöglichkeiten und -fähigkeiten der Kamerad\*innen definiert

Wäre die Eintrittswahrscheinlichkeit von Lawinen durch die Lawinengefahren bekannt, die Präsenzwahrscheinlichkeit und die Verletzlichkeit von Wintersportler\*innen genau berechenbar, dann wäre das Risiko mit einem Wert zwischen 0 und 1 darstellbar und könnte vorhergesagt werden. Da wir Menschen aber nie alle Faktoren kennen werden, die darüber entscheiden, ob eine Lawine ausgelöst wird, wir nicht wissen können, ob Wintersportler\*innen möglicherweise doch irgendwie der Lawine entkommen oder durch ihre Kamerad\*innen so schnell unter der Lawine gefunden werden, dass sie doch überleben, kann die Berechnung der oben angeführten Formel keine exakte Prognose liefern.

Dennoch findet diese Formel als quantitative Risikoerfassung im Bereich von Naturgefahren häufig Anwendung (vgl. Fuchs und Keiler 2006; BUWAL 1999). Auch im Kontext von Lawinen kann diese Formel zwar nicht im Einzelfall, aber über eine Gesamtheit von vergangenen Lawinenunfällen Auskunft

über generelle Risiken geben, auch wenn mit gewissen Einschränkungen (vgl. Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?*).

Eine elegante Lösung für die unmögliche Erfassung aller determinierenden Faktoren ist die Abänderung der Formel, um nicht exakte Ergebnisse einer Wahrscheinlichkeit für ein Risiko zu erhalten, sondern die Einflussfaktoren von Risiken und deren Zusammenhang hervorzuheben (Fuchs et al. 2015: 53).

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, p_{Oj,si}, A_{Oj}, v_{Oj,si})$$

- $R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$
- $p_{Si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$
- $p_{Oj,si}$  = Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$
- $A_{Oj}$  = Wert von Objekt  $j$
- $v_{Oj,si}$  = Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$

Risiko ist somit eine Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit, der Präsenzwahrscheinlichkeit, des Objektwertes und der Verletzlichkeit. Das Versagen reiner Multiplikationen von Faktoren, die nicht zur Gänze bekannt sind, kann folglich vermieden werden und die zu betrachtenden Determinanten für die Risikoerfassung sind klar positioniert. Die quantitative Risikoerfassung kann demnach im Kontext von Naturgefahren und im Speziellen von Lawinengefahren angewendet werden.

Die Risikowahrnehmung und -erfassung kann nicht nur quantitativ und/oder qualitativ durchgeführt werden, sondern verschiedenste Konzepte und theoretische Hintergründe bestimmen das Feld der Risikoforschung (vgl. Smith und Petley 2009; Peduzzi et al. 2009; Luers 2005; Fekete und Montz 2019; Adger 2006; Bohle und Glade 2006; BUWAL 1999; Fuchs et al. 2015). Sowohl die objektive Risikowahrnehmung als auch die quantitative Risikoerfassung sind jene für diese Arbeit geeigneten Ansätze, die mithilfe unterschiedlicher Methoden für bestimmte Zwecke angewendet werden (vgl. Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?* und Kapitel 8.2 *Der Informationskreislauf in entlegenen Gebirgsregionen*). Das Verständnis für den dafür zugrundeliegenden Begriff *Risiko* ist entscheidend, um schließlich darauf aufbauend von Risikomanagement im Kontext von Lawinengefahren sprechen zu können. Folglich werden Ansätze des Risikomanagements vorerst allgemein für Naturgefahren und anschließend im Speziellen für Lawinengefahren vorgestellt.

## 5.5 Risikomanagement – Was ist das?

Wenn das Risiko beschrieben bzw. erfasst ist braucht es einen Umgang damit, um eine Handlung abzuleiten. Wie die Handlung ausfällt entscheidet schließlich über die Konsequenzen und ist abhängig von den Risikofaktoren. Die Entscheidung, die zur Handlung führt, läuft nach der Logik des Risikomanagements immer gleich ab: die Reduktion von negativen Auswirkungen bei gleichzeitiger Optimierung des damit verbundenen Vorteils (Smith und Petley 2009: 50).

Risikomanagement ist somit der Umgang mit einem unvermeidbaren Risiko. Da ein Leben frei von jeglichem Risiko zu führen als unmöglich betrachtet wird, ist Risikomanagement durchaus eine Tätigkeit im alltäglichen Leben (ebd.). Auch wenn es im Alltag oft nur um Kleinigkeiten geht, so versetzen sich besonders Wintersportler\*innen in riskante Situationen, die durch die Bedrohung von

Naturgefahren prekär sein können. Risikomanagement in Bezug auf Naturgefahren ist ein von der Wissenschaft breit untersuchtes Gebiet (vgl. Smith und Petley 2009; BUWAL 1999; Wisner et al. 2003; Fuchs und Glade 2016), das Ereignisse im Maßstab von Naturkatastrophen, die Millionen Menschen betreffen, bis zu Lawinenunfällen, wo es um vielleicht nur eine Person geht, betrachtet. Gerade bei der Unterscheidung, ob Massen oder Einzelne betroffen sind, werden verschiedene Konzepte und Strategien im Risikomanagement vorgeschlagen (vgl. Wisner et al. 2003; Fuchs et al. 2015; Statham 2008). Mögliche Ansätze zur Risikominimierung sind beispielsweise die Reduktion der Ausgesetztheit, die Verschiebung und das Teilen von Risiken, die Reduktion der Verletzlichkeit, die Transformation der Gegebenheiten oder die Stärkung der Resilienz für sich verändernde Risiken (IPCC 2012: 6). Starke Einfluss auf die Strategien im Risikomanagement nimmt nicht zuletzt die Freiwilligkeit des eingegangenen Risikos, denn hier stellt sich einerseits die Frage nach der Akzeptanz eines gewissen Restrisikos und andererseits nach der Kompetenzverteilung (Smith und Petley 2009: 51). Daher wird in der Literatur analytisch zwischen *unfreiwillig* und *freiwillig* eingegangenem Risiko unterschieden, auch wenn diese polarisierende Trennung in der Realität nicht immer gewährleistet ist. Während unfreiwillig eingegangenes Risiko externe Gefahren, die vom Individuum nicht beeinflussbar sind, beschreibt, geht ein Individuum ein Risiko freiwillig ein, wenn es sich selbst der Gefahr aussetzt. Unfreiwillige Risiken verursacht durch Naturgefahren sind beispielsweise Erdbeben, Dürreperioden, Überschwemmungen aber auch Lawinen, die Infrastruktur bedrohen. Im Vergleich dazu werden freiwillige Risiken, wie Autofahren, Rauchen oder Risikosportarten zu betreiben, bei denen beispielsweise Lawinengefahren auftreten, von Personen selbst entscheidend eingegangen (ebd.).

Da Risiken niemals eliminiert werden können (ebd.: 3) ist im Sinne des Risikomanagements in Bezug auf freiwilliges Risiko das Konzept des *tolerierbaren Risikos* zu untersuchen. Statt, dass eine Situation als sicher beurteilt wird, muss eine bestimmte Höhe des Risikos toleriert werden (Restrisiko). Würden Wintersportler\*innen das Lawinenunfallrisiko nicht tolerieren, dann dürften sie beispielsweise keine Skitour unternehmen. Beim Bau von Zugstrecken durch Gebirgslandschaften, wird zum Beispiel ein gewisses Risiko akzeptiert, dass die Gleise immer wieder von Hangrutschungen und Lawinen verschüttet oder zerstört werden trotz entsprechender Hangstützvorrichtungen. Dass das Konzept des tolerierbaren Risikos komplex und dynamisch ist, wird ersichtlich, wenn die multiplen Einflussfaktoren beleuchtet werden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos, das mögliche Schadenspotential, das grundsätzliche Verständnis des Risikos, die Kenntnis über von diesem Risiko betroffene Personen, die mit dem Risiko verbundene positive Chance und die Gefahren und Chancen bei einem Alternativszenario sind einige zu berücksichtigende Faktoren (ebd.: 52). Konsequenterweise lässt sich das tolerierbare Risiko schwierig messen und in eine Risikokalkulation eingliedern. Letztlich entscheidet jede Person, die sich freiwillig einem Risiko aussetzt, selbst über die Höhe des tolerierbaren Risikos während andere bei unfreiwilligen Risiken entscheiden, was Betroffene tolerieren müssen.

Eine Studie von Starr (1969: 1237) untersuchte wie viel Risiko die U.S. Gesellschaft toleriert. Seine Ergebnisse zeigen, dass bei einer gleichen Todesrate U.S. Bürger\*innen tausendmal mehr bereit sind ein freiwilliges Risiko zu tolerieren, als ein unfreiwilliges. Die Freiwilligkeit der Risikoaussetzung bestimmt also wie groß die Akzeptanz für negative Folgen ist und legt fest, was mindestens getan werden muss, um das Risiko zu managen. In Starrs Grafik (vgl. Abbildung 7) unterscheidet er in unterschiedliche Gefahrenpotentiale und legt diese auf eine Achse des Nutzens (in Dollar) und der Wahrscheinlichkeit des Todesfalles. Der Nutzen soll die Chance der Situation oder Unternehmung repräsentieren und die Todesfallwahrscheinlichkeit das Risiko. Freiwillige Unternehmungen, wie Jagen, Skifahren oder Rauchen, haben zwar ein hohes Todesfallrisiko, aber die Bereitschaft ist bei bereits sehr geringem monetärem Nutzen vorhanden.

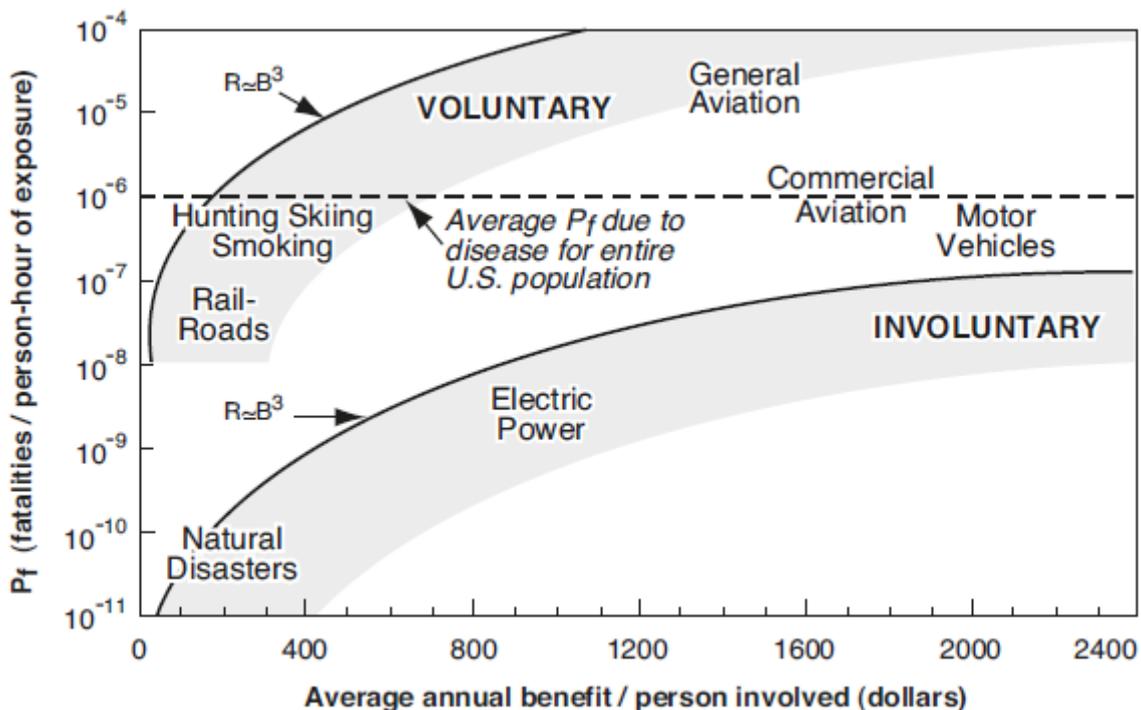


Abbildung 7: Die Bereitschaft ein Risiko zu akzeptieren hängt von der Freiwilligkeit ab, wie diese Grafik zeigt. Auf der vertikalen Achse gibt die Todesfallwahrscheinlichkeit das Risiko an und die horizontale Achse den Nutzen des Gefahrenpotentials in Dollar (Quelle: Starr 1969: 1237).

Diese Grafik zeigt eine generelle Tendenz und hebt den Unterschied der Toleranz zwischen unfreiwilligem und freiwilligem Risiko hervor. Zu erwähnen ist, dass der Nutzen gerade im Wintersport sehr schwierig in Geld aufzuwiegen ist aber stark mit dem persönlichen Erlebnis zusammenhängt. Statt einer ökonomischen Sichtweise wäre hier eine sozialwissenschaftliche für weitere wissenschaftliche Untersuchungen nötig (vgl. McCammon 2002).

## 5.6 Risikomanagement – Strategien

Den Ablauf von Risikomanagement betreffend, werden unterschiedliche Strategien angewendet, wenn es um freiwillige oder unfreiwillige Risiken geht. Bei unfreiwilligen Risiken im Naturgefahrenkontext kommen vorrangig Strategien zur Anwendung, um Naturkatastrophen zu begegnen (vgl. Smith und Petley 2009; Wisner et al. 2003; Field et al. 2012). Die Ablösung von immer neuen Paradigmen in der Risikoforschung haben hier die Strategien beeinflusst (Smith und Petley 2009: 4). Während in den 1970er bis 1990er Jahren das Entwicklungsparadigma verfolgt wurde, das ein besonderes Augenmerk auf das sozio-ökonomischen Ungleichgewicht zwischen verschiedenen Ländern legte (ebd.: 6), wurde dieses bis heute vom Komplexitätsparadigma abgelöst. Dieses geht davon aus, dass Naturgefahren und -katastrophen ein Teil eines von Menschen und Natur beeinflussten Systems sind und stellt nicht nur gesellschaftsrelevante Fragen, sondern betrachtet auch die Interkonnektivität von menschlichem Handeln und natürlichen Prozessen inklusive entsprechender Rückwirkungen (ebd.: 8). Die in diesem Sinne angewandten Risikomanagementstrategien sind vielschichtig und beinhalten unter anderem die Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Durchführungsstrategien, politischen Regelwerken und entsprechenden Maßnahmen. Die Ziele dieser Strategien und Prozesse sind, ein

Verständnis für Naturrisiken zu schaffen, die Risiken zu reduzieren und zu verschieben, für Ereignisfälle besser vorbereitet zu sein, reagieren zu können und diese besser zu überwinden, damit die menschliche Sicherheit, das Wohlbefinden und die Lebensqualität durch nachhaltige Entwicklungen gefördert werden (Lavell et al. 2012: 34). Jene Strategien sind keine rein technischen Maßnahmen, wie es vor den 1950er Jahren umgesetzt wurde (Smith und Petley 2009: 4), sondern die Gesellschaft, sondern gerade die gesellschaftliche Emanzipation rückt in den Vordergrund und nicht nur der Eingriff in die Gesellschaft. Somit sind im Risikomanagement für Naturkatastrophen nicht mehr allein Ingenieur\*innen, sondern auch Ökonom\*innen, Politikwissenschaftler\*innen und einige andere Sozialwissenschaftler\*innen gefragt.

Auch wenn die gesellschaftspolitische Rolle im Risikomanagement für Naturkatastrophen bzw. in Fällen von unfreiwillig eingegangenen Risiken einen wesentlichen Stellenwert in den Strategien einnimmt, so sind der Ablauf und die Prozesse der Durchführung grundlegend auch für Risiken, die freiwillig eingegangen werden anzuwenden. Im Bereich von Risikomanagement für Naturkatastrophen unterscheiden Cardona et al. (2012: 89) vier Komponenten:

1. Risikoidentifizierung
2. Risikoreduktion
3. Risikoverteilung/-transfer
4. Katastrophenmanagement

Die Risikoidentifikation soll die Frage „Was kann passieren?“ beantworten. Unterschiedliche Auffassungen der Situation kommen hier zur Anwendung. Bei der Komponente der Risikoreduktion soll das Risiko durch Prävention gesenkt werden, damit eine Resilienzstrategie durch eine Risikoverteilung „leistbar“ ist. Das beinhaltet vorrangig finanziellen Schutz vor dem Risiko. Die 4. Komponente umschließt das Management von der Vorbereitung, den Warnungen und der Risikokommunikation bis zur Bewältigung nach dem Ereignis (Cardona et al. 2012: 90ff).

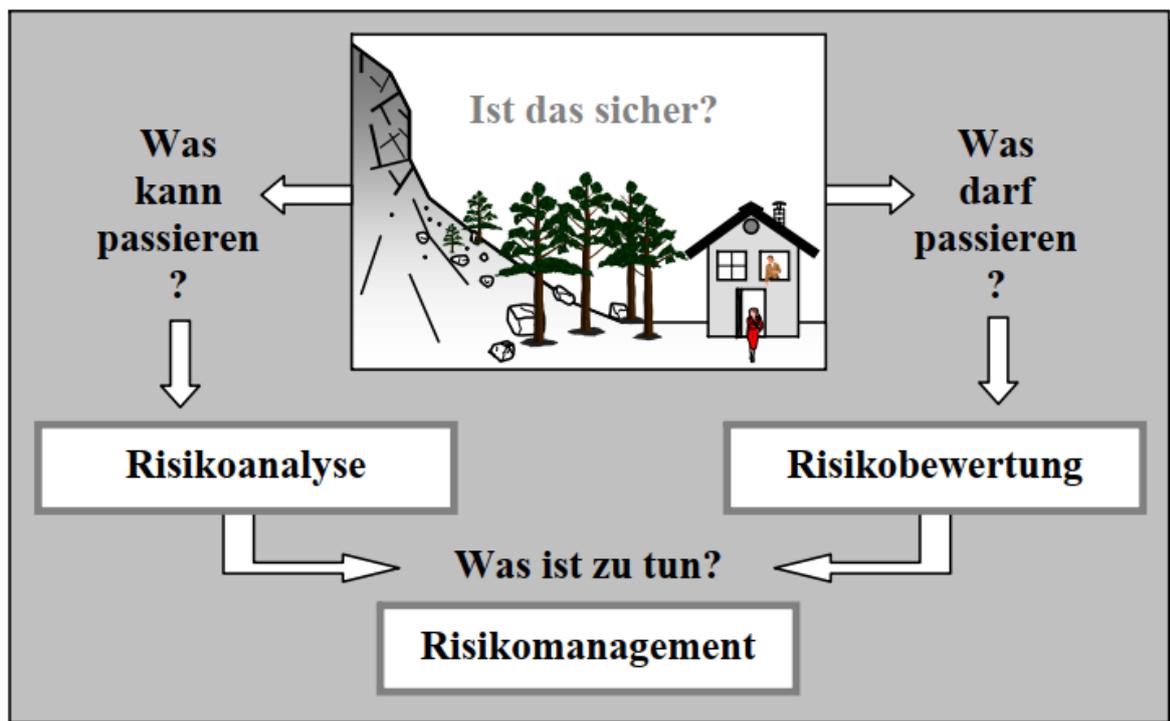


Abbildung 8: Die Risikomanagementstrategie nach der Praxisanleitung von BUWAL (Quelle: BUWAL 1999: 13).

Ähnlich strukturiert BUWAL (1999: 13) in der Praxisanleitung für Risikomanagement durch Naturgefahren den Prozess in drei Teilbereiche (vgl. Abbildung 8). Mit der Frage „Was kann passieren?“ wird die Risikoanalyse eingeleitet; dies entspricht der Risikoidentifizierung nach Cardona et al. (2012: 89). Durch die Frage „Was darf passieren?“ soll das Risiko bewertet und ein Grenzwert für das tolerierte Risiko festgelegt werden. Können diese beiden Fragen beantwortet werden, empfiehlt BUWAL zum letzten Teilbereich vorzudringen und der Frage „Was ist zu tun?“ mithilfe des Risikomanagements zu begegnen.

## 5.7 Drei Schritte zum Risikomanagement

Das Grundprinzip unterschiedlicher Risikomanagementstrategien basiert auf den Schritten der Identifikation der Situation durch eine entsprechende Risikoanalyse (vgl. BUWAL 1999), der Bewertung des vorhandenen Risikos in Bezug auf die Toleranz (vgl. Smith und Petley 2009), wodurch eine Entscheidung fällt und der Handhabung mit der Situation bevor, während und nachdem ein mögliches Ereignis eintritt (vgl. Field et al. 2012). Die Identifikation der Situation durch eine Risikoanalyse beinhaltet erstens die Wahrnehmung und zweitens Erfassung des entsprechenden Risikos, wie es in Kapitel 5.2 *Risikowahrnehmung* und 5.3 *Risikoerfassung – Die Faktoren im Detail* beschrieben wurde. Die Bewertung des Risikos ist situationsabhängig, sodass eine allgemeine Vorgangsweise bzw. Strategie die situationsbestimmten Eigenheiten ignorieren würde. Darauf wird daher erst im Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?* speziell auf die Situation für Wintersportler\*innen eingegangen. Der dritte Schritt betreffend das Risikomanagement, die Handhabung einer Situation vor, während und nach einem Ereignis, soll in Folge genauer analysiert und beschrieben werden und entsprechende Grundprinzipien für das Risikomanagement für Lawinengefahren im Wintersport aufzeigen.

Bei freiwillig eingegangenen Risiken liegt die Verantwortung gewissermaßen bei einem selbst. Dennoch wird die Diskussion darüber geführt, inwieweit Unternehmen oder der Staat auch für freiwillige Risiken Verantwortung übernehmen müssen (BUWAL 1999: 102f). Letztendlich können bei freiwilligen Risiken andere nur Rahmenbedingungen schaffen, die eine Gefahrensituation unwahrscheinlicher macht. Aber über die Präsenzwahrscheinlichkeit oder Verletzlichkeit entscheidet (sofern möglich) das Individuum selbst.

Mit dieser Eigenverantwortung und möglichen Rahmenbedingungen muss auch das Risiko vor Lawinenunfällen im Wintersport im unkontrollierten Gelände gesehen werden. Auch wenn der Staat, staatliche Betriebe oder alpine Vereine, wie auch Ausrüstungsfirmen Rahmenbedingungen schaffen (vgl. Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements*), um das Lawinenrisiko zu senken, bleibt die Hauptverantwortung bei Wintersportler\*innen. Dem entsprechend kann das Risikomanagement für Lawinenunfälle im Wintersport in drei Schritte eingeteilt und soziale, gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte, wie im Katastrophenmanagement außer Acht gelassen werden. Diese drei Schritte sind in Praxisleitfäden zum „sicheren“ Betreiben von Wintersport im freien Gelände wiedererkennbar (vgl. Larcher 2012; Behr und Mersch 2021).

1. Prävention
2. Entscheidung/Handlung
3. Reaktion/Bewältigung

Das Prinzip dieser drei Schritte umfasst die Situationen *vor*, *während* und *nach* einem möglichen Ereignis. Logischerweise ist die Prävention der *erste Schritt*, bei dem versucht wird in der Vorbereitung

proaktiv die potenzielle Gefahr zu vermeiden und somit das Risiko zu senken. Dazu kann die Risikowahrnehmung, -erfassung und schließlich die Risikoanalyse gezählt werden. Je nach Kontext finden unterschiedliche Werkzeuge und Strategien im ersten Schritt Anwendung (vgl. BUWAL 1999; Smith und Petley 2009; Wisner et al. 2004; Campbell und Marshal 2010), aber grundlegend können die Risikofaktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit, der Präsenzwahrscheinlichkeit und der Verletzlichkeit beeinflusst werden.

Im *zweiten Schritt* werden Entscheidungen getroffen, wie gehandelt werden soll, wenn die Gefahr akut ist bzw. sie bereits eingetroffen ist. Insofern sind kurzzeitige Managementstrategien zur Widerstandskraft und „letzte mögliche Entscheidungen“ angebracht. Im Kontext von Naturkatastrophen überschneidet sich der zweite Schritt mit der vierten Komponente des Risikomanagements nach Cardona et al. (2012: 89) nämlich mit dem Katastrophenmanagement. Als wichtig gibt Turner et al. (2003) in diesem Schritt an, ist die Einbeziehung der Umstände auf mehreren geographischen Ebenen, auch wenn sich dies in der Praxis als schwierig herausstellte. Im Sinne des Lawinenrisikomanagements für Wintersportler\*innen fällt der zweite Schritt in den Entscheidungsbaum vor Ort während der Ausgesetztheit potenzieller Lawinengefahren (vgl. Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements*). Auch im zweiten Schritt können die Risikofaktoren der Präsenzwahrscheinlichkeit und der Verletzlichkeit durch kurzfristige Maßnahmen verändert werden, sofern das Ereignis Zeit zum Handeln lässt.

Die Reaktion bzw. Bewältigung eines eingetroffenen Ereignisses in *Schritt drei* kann nachwirkend den potenziellen Schaden minimieren und somit das Risiko verkleinern. Während im Katastrophenmanagement Reaktionen nach einem Ereignis besonders die Resilienz und die Kapazitäten steigern sollen, um zukünftige Ereignisse leichter überstehen zu können (O'Brien et al. 2012: 450), findet im Bereich des Lawinenrisikomanagements im Wintersport die Bewältigung des Ereignisses Anwendung (vgl. Kapitel 6.3.4 *Verletzlichkeit*). Kann eine Person aus einer Lawine lebend gerettet werden, so fällt dies in den Schritt der postaktiven Maßnahmen. In diesem Schritt lässt sich unter Umständen der Risikofaktor der Verletzlichkeit durch die Überwindungskapazität minimieren, während die Präsenzwahrscheinlichkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit bereits zu konkreten Werten eingetroffen nicht mehr veränderbar sind.

Grundsätzlich wird das Risiko durch Veränderungen der determinierenden Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit, der Präsenzwahrscheinlichkeit, des Wertes und der Verletzlichkeit im Risikomanagement minimiert (vgl. Fuchs et al. 2015). An diesen Variablen kann je nach betrachtetem potenziellem Ereignis mehr oder weniger „herumgeschraubt“ werden. Wie dies umgesetzt wird und welche Variablen beeinflusst werden sollen, beschreibt schlussendlich die Strategie des Risikomanagements.

## 6 Lawine – Weiß und gefährlich

Während in vorherigen Kapiteln Begriffe und Theorien, sowie Ansätze und Anwendungen im Kontext von Naturgefahren in der Geokommunikation und der Risikoforschung aufgezeigt wurden, so ist für diese Arbeit eine Einführung in die Lawinenkunde notwendig. Folglich dient eine Klärung gewisser Grundbegriffe Lawinen bezogener Thematiken für ein Verständnis von Lawinengefahren und -risiken. Probleme und Herausforderungen im Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen, sowie mögliche Lösungsansätze können erst nachvollzogen werden, wenn nicht nur bekannt ist, was Risiko ist, welche Kommunikationsmöglichkeiten räumliche Informationen benötigen, sondern wenn auch die komplexen Zusammenhänge von Lawinen bildenden Faktoren geklärt sind.

Beginnend bei der Definition von Lawinen und deren Eigenschaften, gibt dieses Kapitel einen Überblick über die essenziellen Lawinengefahren, die daraus resultierenden Lawinenrisiken und zeigt insbesondere für entlegene Gebirgsregionen, welche Lawinengefahren erfasst und kommuniziert werden können und wo im Risikomanagement angesetzt werden muss.

### 6.1 Lawine

In den Alpen bedrohen Schneelawinen im Winter Menschen und ihr Gut seit ihrer Besiedelung. Die Omnipräsenz der „weißen Gefahr“ hat Land und Leute geprägt und starken Einfluss auf deren Identität und Kultur genommen. Seit der dichten Besiedelung der Alpen steht die Schneelawine in den Wintermonaten im Zentrum der Gefahrenwahrnehmung nicht nur für Einheimische und deren Besitz, sondern auch für Tourist\*innen; insbesondere für Wintersportler\*innen (UNESCO 2018: 53).

Der Wintersport hat sich weltweit ausgebreitet, so auch das Schneelawinenrisiko. Die Plattform LAWIS (Lawinenwarninformationssystem), ursprünglich für den Lawinenwarndienst in Tirol entwickelt, verortet mittlerweile Schneedeckenuntersuchungen in unterschiedlichen Gebirgsregionen auf mehreren Kontinenten und zeigt damit die Verbreitung des Schneelawinenbewusstseins über die Alpengrenzen hinaus (LAWIS 2021).

Die intensive Beschäftigung mit Schneelawinen ist nicht nur durch deren besonderen Gefahr zu verdanken, sondern auch durch die Komplexität der Lawinenkunde. Die Gründung des Internationalen SLFs 1942, als Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung in der Schweiz, zeigt die Notwendigkeit von wissenschaftlichen Untersuchungen von Schnee und Lawinen (SLF 2020).

#### 6.1.1 Definition Lawine

Eine Schneelawine (hier kurz auch „Lawine“) wird als eine Masse aus Schnee definiert, die meist mehrere Kubikmeter umfasst und durch die Erdanziehung nach unten bewegt wird. Solch eine Schneelawine kann auch Fremdmaterial, wie Steine, gebrochene Bäume, Erde oder Eis, mitführen (CAA 2016: 9). Die Lawine wird in den Wissenschaftsdisziplinen der Geomorphologie und Naturgefahren in die gravitativen Massenbewegungen eingegliedert (Stähli und Bartelt 2007: 33). Als gravitative Massenbewegung werden Prozesse verstanden, wo Material (Fels, Lockergestein, Erde, Schnee usw.) in eine durch die Schwerkraft verursachte Hangabwärtsbewegung kommt (Glade und Dikau 2001: 42). Schneelawinen halten unter den gravitativen Massenbewegungen eine gewisse

Sonderstellung durch die Porosität des Eigenmaterials und werden daher speziell in der Lawinenkunde wissenschaftlich untersucht.

### 6.1.2 Zutaten einer Lawine

Schließlich ist Schnee, das Eigenmaterial einer Lawine, nicht der einzige verursachende Faktor, dass es zu einer Lawine kommt. Die Zutaten beinhalten immer *Schnee* und einen *geneigten Hang* (Schweizer et al. 2003: 1). Je nach Lawinenart muss der geneigte Hang einen Grenzwert in der Steilheit überschreiten bzw. braucht es manchmal zusätzlich eine Schwachschicht und eventuell einen Auslöser.

### 6.1.3 Einteilung von Lawinen

Lawinenprognostiker\*innen teilen Lawinen in unterschiedliche Kategorien ein, sodass die Kommunikation der ausgehenden Gefahr einerseits unter Expert\*innen und andererseits an die Öffentlichkeit präziser funktioniert (ICSI 1981: 95). Die für Laien am leichtesten nachvollziehbare Einteilung stellt die Größe der Lawine dar (vgl. Tabelle 1). 2009 übernahmen die europäischen Lawinenwarndienste (EAWS = European Avalanche Warning Services) die fünfstufige Skala der Lawinengrößen vom Canadian Avalanche Committee (CAC) – mit kleinen Änderungen (Moner et al. 2013: 1).

Tabelle 1: Lawinengrößenklassifikation der EAWS (Quellen: LWD Tirol 2020; SLF 2020<sup>1</sup>; EAWS 2020; Moner et al. 2013: 2).

Größe	Schadenspotenzial	Reichweite	Typische Länge	Typisches Volumen
<b>1 Kleine Lawine (Rutsch)</b>	Verschüttung von Menschen unwahrscheinlich, Gefahr durch Absturz	Stillstand der Lawine bereits im Steilhang	< 50m	100m <sup>3</sup>
<b>2 Mittlere Lawine</b>	Verschüttungs-, Verletzungs- oder Tötungsgefahr	Stillstand kann erst am Hangfuß eintreten	50-200m	1.000m <sup>3</sup>
<b>3 Große Lawine</b>	Hohes Todesfallrisiko bei Wintersportler*innen, kann PKWs und kleine Gebäude zerstören, Lastwagen beschädigen und Bäume brechen	Erreicht meist ein Gelände unter 30° über eine Distanz von bis zu 50m	> 100m	10.000m <sup>3</sup>
<b>4 Sehr große Lawine</b>	Kann LKWs, Züge, größere Gebäude und kleine Waldflächen verschütten bzw. zerstören	Erreicht ein Gelände unter 30° über eine Distanz von mehr als 50m; kann auch den Talboden erreichen	1-2km	100.000m <sup>3</sup>
<b>5) Extrem große Lawine</b>	Verwüstungspotential der Landschaft mit katastrophalen Folgen möglich	Erreicht den Talboden; größte bekannte Lawine	> 2km	> 100.000m <sup>3</sup>

Grundsätzlich ist aber nicht nur die Größe in der Gefahrenkommunikation von Lawinen wichtig, sondern besonders auch die Art oder der Typ einer Lawine. Unterschiedliche Klassifikationsmerkmale existieren, um Lawinen nach ihrer Art einzuteilen. Expert\*innen unterscheiden Lawinen aufgrund von morphologischen Eigenschaften in

- Anrissmerkmale,
- Lage der Gleitfläche,
- flüssiges Wasser im Schnee,
- Form der Sturzbahn,
- Form der Bewegung,
- Oberflächenrauigkeit der Ablagerung,
- flüssiges Wasser in der Ablagerung und
- Fremdmaterial in der Ablagerung (ICSI 1981: 96)

und über genetische Eigenschaften in die Geländebedingungen, wie

- relative Höhenlage,
- Hangneigung oder
- Hangausrichtung

und in genetische Variablen wie,

- das laufende Wetter,
- Altschneebedingungen und
- Auslösebedingungen (ebd.: 101ff).

Eine weitere Klassifizierung für die Art einer Lawine lässt sich durch den Auslösemechanismus durchführen. So wird zwischen

- Lockerschnee-,
- Schneebrett- und
- Gleitschneelawine

unterschieden (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 88; Nairz 2009: 17). Eine Lockerschneelawine entsteht durch Kohäsionsverlust innerhalb der Schneedecke und weist einen punktförmigen Anriss auf (ICSI 1981: 97), wohingegen eine Schneebrettlawine eine Linie als Anrisskante entstehen lässt und immer eine Schwachschicht braucht, die durch einen Impuls gebrochen werden muss (Schweizer et al. 2011: 139). Die Gleitschneelawine geht durch einen Adhäsionsverlust zwischen Boden und Schneedecke ab und kann nicht mit Zusatzbelastung ausgelöst werden (Avalanche Canada 2020).

Gerade im Wintersport ist die Einteilung der Auslöseart neben der Größe besonders relevant, da der Mensch auf die Auslösung von Gleitschneelawinen keinen, von Lockerschneelawinen selten und von Schneebrettlawinen viel Einfluss hat; folglich ist diese Einteilung unter Praxisfachleuten beliebt (Nairz 2009: 17f). Dies zeigt eine Studie von Schweizer und Lütchg (2001), die zehn Jahresdaten von Lawinenunfällen in der Schweiz statistisch untersuchten. Sie halten fest, dass 90% der Lawinen von Wintersportler\*innen selbst ausgelöst wurden und von diesen waren 99% trockene Schneebrettlawinen (Schweizer und Lütchg 2001: 151). Diese Schneebrettlawinen waren im Mittel 50m breit und 150m lang und wiesen eine Anrisstiefe von 45cm auf. Somit ist die klassische „Skifahrerlawine“ ein trockenes Schneebrett der Größe 2 (Mittlere Lawine) (ebd.: 161).

### 6.1.4 Lawinenbildende Faktoren

Zurückgegriffen auf die Zutaten einer Lawine bilden sich Lawinen durch Schnee und das Gelände. Diese Zweiteilung stellt die einfachste Kategorisierung der lawinenbildenden Faktoren dar. In entsprechender Literatur vertretene Einteilungen ziehen mehrere Faktoren hinzu, wie das Wetter oder den Menschen (Schweizer et al. 2003: 2; vgl. Atkins 2000; Munter 2009). Wird eine Lawine als Naturereignis betrachtet spielt der Mensch nicht unbedingt eine Rolle (Lawinen lösen sich auch von selbst) und das Wetter bildet zwar nicht die Lawine, aber beeinflusst die Schneedecke, sodass eine Lawine entstehen kann. Somit ist das Wetter indirekt an der Lawinenbildung beteiligt und daher relevant. Unzählige Literatur, die sich mit den Einflussvariablen des Wetters auf die Schneedecke beschäftigen, verdeutlichen die enorme Relevanz des Wetters in Bezug auf die Lawinenbildung (vgl. Bartelt und Lehning 2002; Teich et al. 2012; Schweizer et al. 2003; Castebrunet et al. 2012). Auch in Bezug auf den Menschen als Einflussfaktor gibt es wissenschaftliche Abhandlungen; insbesondere interessant sind jene, die sich mit der Psychologie und dem Sozialverhalten im Risikomanagement des Menschen in Bezug auf Lawinen beschäftigen (vgl. McCammon 2004).

Welche konkreten lawinenbildende Faktoren in der Literatur aufgezählt werden und sich durch die Datengewinnung von Lawinenwarndiensten herauskristallisieren, soll hier eine übersichtliche Tabelle darstellen (vgl. Tabelle 2). Grundsätzlich gibt es die Kategorien Wetter, Schneedecke, Gelände und Mensch.

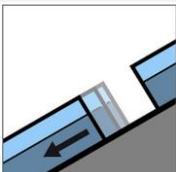
Tabelle 2: Auflistung der Faktoren, die zur Lawinenbildung beitragen (Quellen: ICSI 1981: 102ff; UNESCO 2009: 3ff; Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 17; Schweizer et al. 2003: 3; Atwater 1954: 29ff; Statham et al. 2006: 493; vgl. McCammon 2004; LWD Tirol 2020<sup>2</sup>).

Wetter	Schneedecke	Gelände	Mensch
Niederschlag	Schneebedeckung	Hangneigung	Aura des Experten
Temperatur	Schneehöhe	Hangausrichtung	Festlegung
Strahlung	Schneedichte	Höhenlage	Anerkennung
Wing- geschwindigkeit	Schneedeckenaufbau	Abschattung	Soziale Förderung
Windrichtung	Schneeoberflächen- temperatur	Geländeformen	Seltene Gelegenheit
Luftfeuchtigkeit	Schneetemperatur	Oberflächenbeschaffenheit	Vertrautheit
	Schneefeuchte	Vegetation	Geschlecht
	Kristallform		
	Kristallgröße		
	Schichthärte		
	Fremdmaterial		
	Schneedecken- stabilität		
	Schwachschicht- verbreitung		
	Schneeoberflächen- beschaffenheit		

Diese Tabelle verdeutlicht den Umfang der zu berücksichtigenden Einflussfaktoren, um die von einer Lawine ausgehende Gefahr einschätzen zu können. Wären alle diese Variablen zu jedem Zeitpunkt

bekannt und an jedem Ort verfügbar und sind alle deren Zusammenhänge und Wechselwirkungen erforscht, so ließe sich jedes Lawinereignis exakt vorhersagen. In der Realität scheitert eine exakte Prognose daran, dass weder alle Variablen eindeutig messbar, noch, dass alle Zusammenhänge bekannt sind (Schweizer et al. 2003: 1). Dem entsprechend werden in dieser Arbeit nicht alle Einflussfaktoren behandelt, sondern jene nur für die Forschungsfrage relevanten genauer beschrieben.

Tabelle 3: Die fünf typischen Lawinenprobleme (Quelle: EAWS 2017<sup>1</sup>).

Lawinenproblem	Symbol	Merkmale	Räumliche Verteilung
<b>Neuschnee</b>		Das Problem entsteht durch aktuelle Schneefälle oder kurz zuvor gefallenen Neuschnee. Der Haupteinflussfaktor ist die kritische Neuschneemenge, die von mehreren Faktoren, wie zum Beispiel Temperatur oder Eigenschaften der alten Schneeoberfläche abhängt.	Meist weit verbreitet und in allen Expositionen.
<b>Tribschnee</b>		Das Problem entsteht durch windverfrachteten Schnee. Tribschnee kann sowohl mit, als auch ohne gleichzeitigen Schneefall entstehen.	Ausgesprochen unregelmäßig verteilt; tendenziell in windabgewandten Bereichen (Lee), in Rinnen, Mulden, hinter Geländekanten und anderen windberuhigten Flächen. Häufiger über der Waldgrenze als darunter.
<b>Altschnee</b>		Das Problem entsteht durch vorhandene Schwachschichten innerhalb der Altschneedecke. Typische Schwachschichten sind eingeschneiter Oberflächenreif, Tiefenreif (auch Becherkristalle oder „Schwimmschnee“ genannt) oder kantige Kristalle.	Das Lawinenproblem kann sowohl großflächig verteilt, als auch kleinräumig konzentriert sein. Es ist in allen Expositionen möglich, aber häufiger in schattigen, eher windgeschützten Hängen.
<b>Nassschnee</b>		Das Problem entsteht durch eine zunehmende Schwächung der Schneedecke durch Wassereintrag, entweder durch Schmelze oder Regen.	Wenn die Sonneneinstrahlung die Hauptursache des Problems ist, hängt die Verbreitung vor allem von der Höhenlage und der Exposition ab. Wenn Regen die Ursache ist, sind alle Expositionen betroffen.
<b>Gleitschnee</b>		Die gesamte Schneedecke gleitet auf glattem Untergrund (zum Beispiel Grashänge oder glatte Felsenzonen) ab. Hohe Aktivität von Gleitschneelawinen ist typischerweise verbunden mit einer mächtigen Schneedecke mit wenigen oder keinen Schwachschichten. Gleitschneelawinen können sowohl bei einer trockenen, kalten als auch bei einer nassen, 0°C-isothermen Schneedecke auftreten. Den Abgangzeitpunkt von Gleitschneelawinen vorherzusagen ist kaum möglich, obwohl sie sich meist durch Gleitschneerisse (sogenannte Fischmäuler) ankündigen.	Vor allem auf glattem Untergrund. In allen Expositionen, aber öfter an Südhängen.

Aber auch in Expert\*innenkreisen werden Ansätze gesucht die Komplexität der Einflussfaktoren und deren Zusammenspiel praxistauglich zu vereinfachen bzw. auf das Wesentliche zu reduzieren. Bewährt hat sich zur Lawinengefahrenbeurteilung Prognosen zu erstellen, in denen vor allem auf wiederkehrende Beobachtungen, sogenannte Lawinenmuster, zurückgegriffen wird.

Eine der aktuellen Strategien im Alpenraum, um die lawinenbildenden Faktoren und die daraus entstehende Gefahr durch Lawinen zu kommunizieren, erfolgt über die „fünf typischen Lawinenprobleme“ (Moner et al. 2018: 1217; EAWS 2017<sup>1</sup>). Diese fünf Lawinenprobleme (vgl. Tabelle 3) fassen typische Situationen zusammen, die über die Jahre in den Wintermonaten beobachtet werden konnten und durch sich wiederholende Lawinenunfallsituationen abgeleitet wurden. Sie verdeutlichen stark vereinfacht, welche lawinenbildende Faktoren zu beachten sind und sollen letztendlich ein entsprechendes Verhalten bei Wintersportler\*innen hervorrufen (Moner et al. 2018: 1217).

Die Einführung der fünf typischen Lawinenprobleme folgte der Entwicklung von Lawinenmuster durch unterschiedliche Lawinenwarndienste gleichzeitig. Beispielsweise erfand der Tiroler Lawinenwarndienst die zehn entscheidenden Gefahrenmuster und der SLF (Institut für Schnee- und Lawinenforschung in der Schweiz) sprach von Lawinensituationen (Moner et al. 2018: 1217). Die Vereinheitlichung durch die EAWS (European Avalanche Warning Services) der unterschiedlichen Benennungen für sehr ähnliche Mustererkennungen der Lawinengefahren in die fünf typischen Lawinenprobleme, konnte so zur einfacheren und weniger verwirrenden Kommunikation von Lawinengefahren innerhalb Europas an die Endnutzer\*innen beitragen. Lawinenwarndienste in Ländern anderer Kontinente verwenden zwar ebenfalls Lawinengefahrenmuster in der Gefahrenkommunikation, beziehen aber durchaus andere und weitere Aspekte in deren Muster mit ein (Landrø et al. 2013: 215).

Sowohl die einzelnen lawinenbildenden Faktoren als auch die fünf typischen Lawinenprobleme können nur von Expert\*innen erhoben bzw. abgeleitet werden. Bei den lawinenbildenden Faktoren einerseits werden entsprechende Messinstrumente und eine Verarbeitungsexpertise vorausgesetzt und andererseits steht ein breites Wissen in der Lawinenkunde und ein großer Datenpool hinter der Festlegung eines typischen Lawinenproblems. Diese Einschränkung auf ein Expert\*innentum in der Gefahreinschätzung über die eben genannten Methoden wird durch die Kommunikation jener Parameter und Muster ausschließlich über sogenannte Lawinenwarndienste verdeutlicht. Um aber vor Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen warnen zu können, wo ein entsprechendes Expert\*innentum nicht unbedingt vorhanden ist, dient die genaue Ermittlung und Kategorisierung der lawinenbildenden Faktoren und der damit verbundenen Gefahren, die anschließend an Endnutzer\*innen kommuniziert werden können.

## 6.2 Lawinengefahren

Schneelawinen sind ein Naturereignis, das grundsätzlich weder als gefährlich noch als sicher zu betrachten ist. Eine Gefahr aus diesem Naturereignis entsteht erst durch die menschliche Wahrnehmung von Lawinen, also der Bewertung von Dingen (Statham 2008: 224). Dabei entsteht die Frage nach dem „für wen“ oder „für was“ ist eine Lawine gefährlich. Die Spannbreite der Antworten reicht von menschlicher Infrastruktur über Naturräume bis hin zum Menschenleben selbst. Anders formuliert, für alles, was dem Menschen lieb ist und durch eine Lawine zerstört werden kann, sind Lawinen gefährlich.

Der für diese Arbeit relevante Wert in Bezug auf die Lawinengefahren ist insbesondere das Menschenleben von Wintersportler\*innen. Verletzungen oder der Verschüttungstod sind allgemein bekannte Folgen von Lawinenereignissen. Es besteht also grundsätzlich die Gefahr von einer Lawine mitgerissen oder verschüttet zu werden und unter den Folgen (Verletzungen, Tod) zu leiden bzw. sterben (vgl. Hohlrieder et al. 2007, Boyd et al. 2009, McIntosh et al. 2007).

Die potenziell dramatische Folge einer Lawine ist die Wirkung eines kausalen Zusammenhangs durch eine Lawinenauslösung. Zum Verständnis bzw. zur Einschätzung der Gefahr, die von einer Lawine ausgeht, ist somit die Lawinenauslösung und dadurch auch die Lawinenbildung näher zu betrachten. Ist der Grund (Lawinenbildung) eines kausalen Zusammenhangs bekannt, kann präventiv die Wirkung (Schaden einer Lawine) vermieden werden. Die Lawinengefahren stellen somit einen wesentlichen Aspekt im Lawinenrisikomanagement dar.

### 6.2.1 Fixe und variable Faktoren der Lawinengefahr

Als die Grundzutaten von Schneelawinen wurden oben die beiden Voraussetzungen „Schnee“ und „geneigter Hang“ beschrieben (Schweizer et al. 2003: 1). Schnee weist unterschiedliche messbare Eigenschaften auf, die vom Wetter und der Eigenmetamorphose (Schneeeumwandlung) beeinflusst und verändert werden (vgl. Schweizer et al. 2003, Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 82). Genau betrachtet lässt das Wetter über die meteorologischen Komponenten Schneefall, Niederschlagsintensität, Wind und Temperatur eine Schneedecke in Schichten erst entstehen und beeinflusst anschließend auch die Bedingungen und die Metamorphose des Schnees und des Schneedeckenaufbaus (Kriz und Galanda 1998: 117). Hohe Temperaturen tragen beispielsweise dazu bei, dass der Flüssigwasseranteil in der Schneedecke durch Schmelze erhöht wird. Kalte Lufttemperaturen hingegen fördern das Wachsen der Schneekristalle in der Schneedecke durch Resublimation (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 45f). Folglich können Wetter und der daraus resultierende Schnee als *variable Faktoren* der Lawinenbildung und somit der Lawinengefahren zusammengefasst werden (Kriz und Galanda 1998: 117).

Konstant über die Zeit bleibt die Grundzutat „geneigter Hang“. Dieser ist Voraussetzung, dass die Schwerkraft den Schnee in eine Bewegung versetzt (CAA 2016: 9). Wie leicht die Schneemassen abrutschen können, wie schnell oder groß eine Lawine werden kann, wird durch weitere räumliche Gegebenheiten bestimmt. Folglich bietet das Gelände das Potenzial, dass Lawinen überhaupt abgehen können. *Hangneigung*, *Hangausrichtung* und *Geländeformen* stellen dabei die wichtigsten topographischen Komponenten dar (Kriz und Galanda 1998: 117), die in der Liste der lawinenbildenden Faktoren aus Kapitel 6.1.4 *Lawinenbildende Faktoren* aufgezählt werden. Folgend beschreiben all jene Einflussfaktoren für die Lawinenbildung, die konstant über die Zeit bleiben, das Gelände (Schweizer et al. 2003: 3). Unter Betrachtung von geologischen Prozessen und deren Zeitrechnung bleibt das Gelände keineswegs unveränderlich. Jedoch für das Leben von Wintersportler\*innen und die Zeitspannen von Lawinenabgängen sind diese Zeitmaßstäbe irrelevant und das Gelände kann als zeitlich konstant betrachtet werden.

Als Gegenstück zu den *variablen Faktoren* der Lawinengefahren stellt das Gelände somit die *fixen Faktoren* dar (vgl. Kriz und Galanda 1998). Aus einer räumlichen Perspektive betrachtet ist das Gelände bei weitem nicht *fix*, sondern verändert sich über den Raum bzw. über die Distanz. So spricht die ICSI (1981: 101ff) bei der Einteilung von lawinenbildenden Faktoren von „ortsfesten Rahmenbedingungen“, das Gelände betreffend, und von „veränderlichen Bedingungen“, das Wetter und den Schnee betreffend.

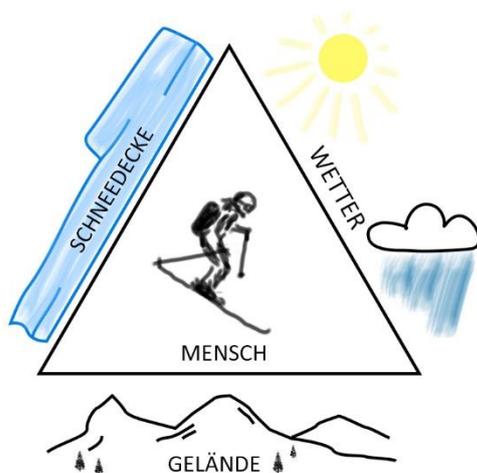
Unter Betrachtung der Gefahrenkommunikation (siehe Kapitel 8.3 *Geokommunikation der potenziellen Lawinengefahr in entlegenen Gebirgsregionen – einige Ansätze*) werden in dieser Arbeit die Begriffe

variable und fixe Faktoren als sinnvoll angesehen und auch weiter so verwendet. Vorweg zu nehmen ist, dass der gesamte Prozess von der Datengewinnung bis zur Gefahrenkommunikation strukturell stark vereinfacht sein muss, um Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen vor entsprechenden Lawinengefahren warnen zu können. Schlussendlich ist es für Endnutzer\*innen wichtig, Basisinformationen zu erhalten, aus denen die Lawinengefahr ableitbar ist. Daher müssen die Lawinengefahren in ihren wichtigsten Bestandteilen und determinierenden Größen grundlegend erläutert und kategorisiert werden.

Die fixen und variablen Faktoren der Lawinengefahren stellen nur jenen Beitrag der Lawinen bildenden Faktoren dar, der unabhängig des Menschen existiert und erst Voraussetzung ist, dass es überhaupt zu einer Lawine kommen kann. Daher wird in weiterer Folge in dieser Arbeit auch von *potenzieller Lawinengefahr* gesprochen, wenn die fixen Faktoren der Lawinengefahren gemeint sind, da das Gelände das Potenzial für Lawinen vorgibt. Andererseits werden die variablen Faktoren der Lawinengefahr mit *aktueller Lawinengefahr* angesprochen, da diese die Lawinengefahren ständig verändern. Die Kombination aus potenzieller Lawinengefahr und aktueller Lawinengefahr bildet schließlich die *objektiven* Lawinengefahren, wobei unter Berücksichtigung der Wirkung durch Wintersportler\*innen schließlich von *Lawinenrisiko* gesprochen wird.

### 6.2.2 Die Dreiecksbeziehung der Lawinengefahr

Während die Einteilung der objektiven Lawinengefahren in variable und fixe Faktoren als einfachste Kategorisierung zu verstehen ist, sprechen Lawinenforscher aus ihrer Perspektive von einer Dreiecksbeziehung. Schweizer et al. (2003: 3) zählt als die essenziellen Faktoren für die objektiven Lawinengefahren das Wetter (variabler Faktor), die Schneedecke (variabler Faktor) und das Gelände (fixer Faktor) auf. Besonders beim Wetter sind gefahrensteigernde Einflussfaktoren Niederschlag (speziell Neuschnee), Wind und Temperatur (inkl. Strahlungseffekte). Bei der Schneedecke handelt es sich vorrangig um die Stratigraphie, also das Einteilen in Schichten, auch Schneedeckenanalyse genannt. Das Erkennen von instabilen Schichtfolgen bzw. das Identifizieren einer sogenannten Schwachschicht und die Interpretation von Schneedeckenprozessen, sind bei einer Schneedeckenanalyse relevant (Schweizer et al. 2003: 8f). Nicht zuletzt gibt ein künstlicher Belastungstest der Schneedecke als zusätzliches Analysewerkzeug über die Wahrscheinlichkeit der Auslösung einer Schneebrettlawine Aufschluss. Für das Gelände in Bezug auf die Lawinengefahren sind besonders die Hangneigung, die Hangausrichtung und Geländeformen entscheidend (Kriz und Galanda 1998: 117).



Das Wetter, die Schneedecke und das Gelände stehen in wechselseitigem Zusammenhang und können als Dreiecksbeziehung dargestellt werden (vgl. Abbildung 9). Der Mensch, als Wintersportler\*in, steht inmitten dieser Dreiecksbeziehung. Um sein Lawinenrisiko zu reduzieren, muss er die drei Einflussfaktoren (wird der Schnee, wie oben beschrieben, als Resultat vom Wetter betrachtet, ist dieser dem Wetter hinzuzuzählen) der objektiven Lawinengefahren kennen, um daraus eine

Abbildung 9: Das Wetter, die Schneedecke und das Gelände stehen miteinander in Beziehung und bilden die Lawinengefahren. Der Mensch steht als Wintersportler\*in im Spannungsfeld dieser drei Größen (Quelle: eigene Darstellung nach Lackinger und Gabl 2000).

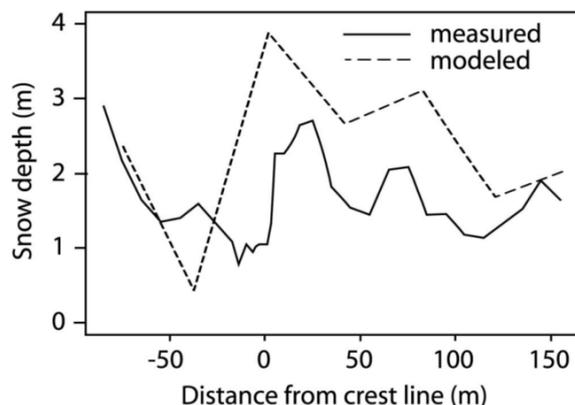
Entscheidung abzuleiten, wie er sich im Raum verhält. Folglich ist eine genaue Betrachtung dieser Einflussgrößen notwendig.

### 6.2.3 Die variablen Faktoren: Wetter und Schneedecke

#### Wetter

Die für Lawinen am relevantesten meteorologischen Variablen sind der Niederschlag in Form von Neuschnee, der Wind und die Lufttemperatur inkl. Strahlungseffekte (Schweizer et al. 2003: 3). *Neuschnee* ist jener Parameter, der stark direkt mit dem Anstieg der aktuellen Lawinengefahr verbunden ist; besonders bei großen Lawinen. Für solche genügt 1 Meter und für die generelle Selbstauslösung von Lawinen sogar nur 30 bis 50 Zentimeter Neuschnee. Für Wintersportler\*innen sind jedoch bereits Neuschneemengen von 10 bis 20 Zentimeter bei unvorteilhaften Bedingungen kritisch, also bei niedrigen Temperaturen und starkem Wind. Grundsätzlich besteht bei Neuschnee für Selbstauslösungen ein Spannungsverhältnis zwischen dem Zusatzgewicht durch den Niederschlag und der Verfestigung der Schneedecke. Ist der Neuschneezuwachs zu schnell ( $\geq 2,5$  Zentimeter pro Stunde), wird die Schwachschicht (siehe weiter unten *Schneedecke*) unter der Neuschneedecke zu langsam verfestigt. Untersuchungen weisen darauf hin, dass aber Neuschneezuwachs nicht allein für eine erhöhte Lawinenaktivität verantwortlich ist, sondern eine Schwachschicht vorhanden sein muss (ebd.: 5). Neuschneezuwachs stellt somit nicht nur eine Gefahr für Wintersportler\*innen dar, sondern muss auch gemessen und kommuniziert werden. Besonders Wetterbodenstationen eignen sich für die reale Messung von Neuschneezuwächsen und können beispielsweise wie im Lawineninformationssystem in Österreich (LAWIS 2021) kommuniziert werden.

*Wind* ist der zweite lawinenbildende Parameter des Wetters, der als besonders aktiv zum Anstieg der aktuellen Lawinengefahr beiträgt. Wind wirbelt liegenden Schnee auf, bearbeitet diesen in der Luft (oder während es schneit wird sogleich der Neuschnee bearbeitet), sodass die Kristalle mechanisch in kleinere Bestandteile zerbrochen werden und legt den nun feineren Schnee anderswo wieder ab (de Quervain 1966: 17). Wie auch beim Neuschnee ist das Vorhandensein einer Schwachschicht und deren Charakteristik essenziell für einen Anstieg der Lawinengefahr durch Wind. Durch unterschiedliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen entsteht ein unregelmäßiges Mosaik bestehend aus lokal großen Schneemengen, harten Schneeoberflächen oder erodierten Bereichen. Solche Unregelmäßigkeiten bedeuten einen Stressfaktor für die geschichtete Schneedecke (Schweizer et al. 2003: 6). Muster mit gewissen Regelmäßigkeiten können jedoch beobachtet und gemessen werden, sodass Tendenzen bei der Lokalisation von Wind verblasenen Schneeablagerungen bestehen. Bläst der



Wind quer zu einem Bergrücken, konnten, im Vergleich zur Wind zugewandten Seite, bis zu vierfache Schneemengen auf der Wind abgewandten Seite gemessen werden (Doorschot et al. 2001: 157). Untersuchungen am Gaudergrat in der Nähe von Davos in der Schweiz zeigen, dass die Schneeablagerungen durch Wind auf der Leeseite (Wind abgewandt) des Grates mit zunehmender Distanz vom Grat abnehmen. Die

Abbildung 10: Die durchgezogene Linie zeigt, dass direkt „hinter“ einem Grat die Schneemenge aufgrund von Verfrachtungen durch den Wind am größten ist (Quelle: Schweizer et al. 2003 nach Lehning et al. 2000: 121).

größten verfrachteten Schneemengen sind direkt „hinter“ dem Grat (vgl. Abbildung 10). Wind verfrachteter Schnee ist einerseits sehr spröde (de Quervain 1966: 17) und andererseits immer gebunden, das heißt die Schneekristalle liegen nicht lose neben- und aufeinander, sondern können Spannungen übertragen. Solche Schneeschichten können als gebundene Schneeschicht, also als Schneebrett, mit einer darunter liegenden Schwachschicht, für eine leicht störbare Schneedecke sorgen (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 56, 88). Den Untersuchungen über den Windeinfluss auf die aktuelle Lawinengefahr zufolge, kann generell geschlossen werden, dass hinter Graten und Rücken die Lawinengefahr während bzw. nach Windereignissen höher ist, als in anderen Hangbereichen. Allgemein ist nach Schweizer et al. (2003: 6) festzuhalten, dass überall in einem Hang dem Verfrachtungs mosaik zufolge, wo Schnee vom Wind abgelagert wird, eine höhere Wahrscheinlichkeit einer Lawinenauslösung vorhanden ist. Soll der entsprechenden Gefahr ausgewichen werden, ist eine Interpretation bzw. ein „Lesen können“ des Geländes dafür eine Grundvoraussetzung. Hilfreich hierfür ist logischerweise eine topographische Karte.

Die *Temperatur* als dritter Faktor, der zur Lawinenbildung im Bereich Wetter beiträgt, hat einen entscheidenden, aber komplexen Einfluss. Schnee ist eine feste Form von Wasser, aber auf der Temperaturskala kurz davor, den Aggregatzustand in flüssiges Wasser zu wechseln. Dass Schnee extrem sensibel auf nur kleine Temperaturschwankungen reagiert, liegt also auf der Hand. Ändert sich die Lufttemperatur, hat das unterschiedliche Folgen für den Niederschlag bzw. auch auf die Schneedecke. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Größe der Temperaturveränderung entscheidend ist (Schweizer et al. 2003: 7). Um nur wenige Temperatureinflüsse auf Schnee und die damit verbundene aktuelle Lawinengefahr zu erwähnen, seien Niederschlag als Schnee oder Regen, kalte Lufttemperaturen in Bezug auf die aufbauende Metamorphose, Schmelzvorgänge durch hohe Temperaturen und Sprödigkeit der Schneedecke aufgelistet (ebd.). Eine Untersuchung von McClung und Schweizer (1997) fassen einige Auswirkungen von Temperatur auf die Schneedecke in folgender Tabelle zusammen:

Tabelle 4: Einer Studie von McClung und Schweizer (1997) zufolge gibt es direkte Verbindungen zwischen Temperaturanstieg und der Schneedeckenstabilität und somit auch der Lawinengefahr (Quelle: Schweizer et al. 2003: 7 nach McClung und Schweizer 1997).

Table 1. Snow Temperature Effects According to Time Required and Stability<sup>a</sup>

Snowpack Property or Process	Change due to Warming	Response Time	Effect on Stability
Stiffness or hardness of slab	significant decrease	immediate	decrease
Toughness	increase	immediate	decrease
Strength of weak layer/interface	slight decrease	immediate	decrease
Bond formation (metamorphism)	increase of bond formation rate and strength	delayed	increase
Creep	increase of creep rate causing settlement and densification hence increasing strength and hardness	delayed	increase
Snow temperature (temperature gradient)	usually decrease of temperature gradient causing change of crystal form and increasing strength	delayed	increase

<sup>a</sup>For warming, immediate effects promote instability; delayed effects promote stability. Under warming, instability is likely to come from immediate not delayed effects. Strength effects may be immediate (decrease) or delayed (time-dependent with increase) under warming, with the greatest strength changes being delayed [after McClung and Schweizer, 1997].

Die Reaktionszeiten der Veränderung der Schneedeckenstabilität aufgrund von Temperaturerhöhungen sind ein zu beachtender Faktor. So wirken sich Temperaturveränderungen in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften der Schneedecke relativ direkt danach aus, während Metamorphoseprozesse verzögert auftreten (Schweizer et al. 2003: 7), aber extremen Einfluss darauf haben, ob und wie stark sich Schwachschichten innerhalb der Schneedecke bilden. Temperaturveränderungen, in Bezug auf die Lawinengefahr, sind für Wintersportler\*innen folglich sehr schwierig zu interpretieren und benötigen viel Expert\*innenwissen. Komplexe Zusammenhänge

zwischen dem Grad der Temperaturveränderung, der Ausgangssituation, dem Aufbau der Schneedecke, der Luftfeuchtigkeit und nicht zuletzt der Strahlungseffekte (Strahlung von der Sonne reduziert die Schneedeckenstabilität ähnlich wie starke Erwärmung, aber effektiver (ebd.)) sind zu berücksichtigen, um eine Einschätzung der aktuellen Lawinengefahr aufgrund der Temperatur abzuleiten.

Auch wenn der Schnee eine Grundvoraussetzung für eine Lawine darstellt, ist diese erst möglich, wenn das Wetter eine Schneedecke bildet. Durch entsprechende zeitliche Intensitätsveränderungen im Wetter entsteht die Schneedecke in Schichten (Munter 2009: 78). Niederschlag, Niederschlagspausen, Wind in unterschiedlicher Intensität und Temperaturschwankungen sind jene wesentlichen Einflüsse, die unterschiedliche Schichten entstehen lassen und entsprechende Unterschiede verstärken oder abschwächen (vgl. Schweizer et al. 2003). Dieser Prozess erst führt zum Anstieg oder zur Reduktion der Lawinengefahr. Da gerade der Schichtaufbau einer Schneedecke durch reine Wetteranalysen nicht unter allen Umständen exakt abgelesen werden kann, sind direkte Untersuchungen der Schneedecke hilfreich.

### *Schneedecke*

Hat das Wetter einmal eine Schneedecke entstehen lassen, wird diese durch meteorologische Größen beeinflusst. Dies hat, wie oben beschrieben, Auswirkungen auf die aktuelle Lawinengefahr, welche besonders über die Parameter Neuschnee, Wind und Temperatur erfasst werden können. Nicht nur durch das Wetter können über die aktuelle Lawinengefahr Informationen gewonnen werden, sondern es lassen sich auch direkt aus der Schneedecke Erkenntnisse abzeichnen. Dazu sind Schneedeckenanalysen mit unterschiedlichen Methoden und Ansätzen ein geeignetes Werkzeug. Besonders in Bezug auf die Gefahr durch trockene Schneebrettlawinen bietet eine *Schneedeckenanalyse* sehr direkte Informationen und wird als das Schlüsselwerkzeug angesehen. Egal ob Neuschneezuwachs, Windverfrachtung oder ein Temperaturanstieg die aktuelle Lawinengefahr erhöht, ohne die Existenz einer Schwäche im Schneedeckenaufbau hätten diese Wettereinflüsse wenig Wirkung (Schweizer et al. 2003: 8). Jene Schwäche wird als Schwachschicht innerhalb der Schneedecke bezeichnet. Sie wird erst gefährlich, wenn nicht nur diese spezielle Schicht instabil ist, sondern auch die umliegenden Schichten entsprechende Lawinen fördernde Eigenschaften aufweisen. Besonders relevant ist der über der Schwachschicht liegende Schnee (insbesondere ob dieser wie ein „Brett“ zusammenhält oder locker „zerbröselt“), um eine Bruchfortpflanzung zu ermöglichen (ebd.: 9).

Besonders gefährliche Schwachschichten sind meist dünne Schichten bestehend aus Oberflächenreif, einer schwachen Verbindung zu durch Sonnenstrahlung entstandenen Krusten oder oberflächennahen kantigen Kristallen (vgl. Föhn 2001; Fierz 1998; Ozeki et al. 1995). Letztere entstehen vorzüglich bei sehr niedrigen Temperaturen, da somit ein großer Temperaturunterschied zwischen Schneeoberfläche und Boden besteht. Durch Wärmeverlust über langwellige Strahlung wachsen Schneekristalle in kantigen Formen an. Dieser Prozess wird aufbauende Schneewandlung genannt und ist neben Oberflächenreif der aktivste, um Schwachschichten entstehen zu lassen (Schweizer et al. 2003: 9).

Damit eine Schneebrettlawine entsteht, muss eine entsprechende Schwachschicht kollabieren und sich dieser Bruch auch verbreiten, so kann das darüber liegende Schneebrett in einer gefährlichen Größe erst abrutschen (ebd.: 10). Um Informationen darüber zu gewinnen, wie leicht eine vorhandene Schwachschicht bricht und wie sehr sich dieser Bruch fortpflanzt, geben Schneedeckenstabilitätstests Auskunft. Bei der Durchführung dieser Tests wird grundsätzlich eine Schneesäule der Schneedecke von allen Seiten isoliert und mit unterschiedlichen Stufen von oben belastet, um den Druck von Wintersportler\*innen, die über die Schneedecke gleiten, zu simulieren. Dadurch wird einerseits die

Stabilität der Schwachschicht ausgetestet und andererseits wie kompakt die Schichten oberhalb der Schwachschicht sind, um als potenzielles Schneebrett zu dienen oder nicht (ebd.: 11).

Aus Schneedeckenuntersuchungen, die besonders Informationen über die Schneedeckenstabilität gewinnen, lassen sich direkt Kenntnisse über die aktuelle Lawinengefahr ableiten. Die Ergebnisse sind aber immer nur Punktinformationen und repräsentieren nicht ganze Gebiete oder Regionen. Um Berge bzw. Gebirgszüge in Bezug auf die aktuelle Lawinengefahr einschätzen zu können, müsste die Punktdichte von Schneedeckenanalysen räumlich und zeitlich so hoch sein, dass der Aufwand enorm wäre. Im Bundesland Tirol in Österreich bedient sich der verantwortliche Lawinenwarndienst einer räumlich und zeitlich dichten Punktwolke von Schneedeckenuntersuchungen und kann somit täglich eine hochpräzise Prognose über die aktuelle Lawinengefahr ausgeben (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 17). Zu erwähnen ist, dass nicht nur die Lawinenprognostiker des Lawinenwarndienstes Tirol und viele weitere Mitarbeiter\*innen zur hohen Punktdichte beitragen, sondern dass auch eine große Anzahl von freiwilligen Expert\*innen die Quantität erhöhen (ebd.). Für entlegene Gebirgsregionen ist eine solche auch nur annähernde Quantität von Schneedeckenuntersuchungen nicht denkbar, da dies besonders an einer Unterrepräsentation von Wintersportler\*innen mit Expert\*innenwissen scheitert (vgl. Kapitel 8.1 *Entlegene Gebirgsregionen*).

Da auf Schneedeckenstabilitätstests in entlegenen Gebirgsregionen nicht für die Erkenntnisgewinnung über die aktuelle Lawinengefahr gesetzt werden kann, muss auf die Wetterfaktoren zurückgegriffen werden. Aus den oben erwähnten Wettervariablen Neuschnee, Wind und Temperatur, lassen sich indirekt Informationen über die Schneedecke und deren Stabilität gewinnen. Trotz der dabei entstehenden Unsicherheiten und Unschärfen durch die indirekten Erkenntnisse aus Wetterinformationen, sind diese kleinmaßstäbig weltweit verfügbar (vgl. Meteoblue.com 2021). Für Wintersportler\*innen sind Informationen über die Schneedeckenstabilität, in Bezug auf die aktuelle Lawinengefahr, essenziell, sie benötigen aber zumindest ein marginales Wissen über die Zusammenhänge von Wettervariablen und der Schneedeckenstabilität oder eine gewisse Expertise über die Ausübung und Interpretation von Schneedeckenstabilitätstests (vgl. Neugebauer und Kriz 2019). Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Wintersportler\*innen aus den variablen Faktoren einen entscheidenden Informationsgehalt für das Abschätzen der aktuellen Lawinengefahren ableiten können, die Erfassung und Kommunikation jener Faktoren aber eine Herausforderung gerade in entlegenen Gebirgsregionen darstellt.

#### **6.2.4 Die fixen Faktoren: räumliche Komponenten der Lawinengefahr (Gelände)**

Als dritte Komponente nach Schweizer et al. (2003: 1) für die Bildung von Lawinen, nimmt das Gelände in dieser Arbeit eine besondere Rolle ein. Dieser „fixe Faktor“ der Lawinengefahr, oder die „ortsfeste Rahmenbedingung“ (ICSI 1981: 101ff), ist jener Bereich, in dem die Kartographie den größten Beitrag zum Lawinenrisikomanagement leisten kann (vgl. Kapitel 8 *Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen*).

##### *Hangneigung*

Der „geneigte Hang“ ist verantwortlich dafür, dass Schnee überhaupt abrutschen kann (Schweizer et al. 2003: 1). Die Hangneigung ist neben der Hangausrichtung (Synonym = Exposition) und den Geländeformen, die wichtigste Komponente der Lawinengefahr in Bezug auf die fixen Faktoren (Munter 2009: 122; Kriz und Garlanda 1998: 117). Analysen aus verschiedenen Daten zeigen, dass ein

Zusammenhang zwischen Lawinenunfällen und der Hangneigung besteht; je steiler, desto leichter sind Lawinen auszulösen (Rosendahl und Weißgraeber 2020: 141; Munter 2009: 87; vgl. Schweizer und Lutschg 2001; Vontobel et al. 2013). Die Ergebnisse von Schweizer und Lutschg (2001: 152) zeigen, dass der Anriss von Lawinen, die von Menschen ausgelöst werden, in Hängen mit einer Neigung von 27° bis 51° liegen (vgl. Abbildung 11). Die meisten Unfälle passierten demnach im Durchschnitt in Hängen mit einer Neigung von 38,7°. Auch Vontobel et al. (2013: 373) kommen mit einem anderen Datensatz auf einen ähnlichen Durchschnittswert von 40°. Unter 30° Hangneigung können kaum Lawinenanrisse von menschlich ausgelösten Lawinen beobachtet werden (Schweizer et al. 2003: 3), was grundsätzlich daran liegt, dass 99% der Lawinenunfälle durch trockene Schneebrettlawinen verursacht wurden (Schweizer und Lutschg 2001: 151) und diese selten unter 30° abrutschen. Perla (1977: 207f) maß sogar einen Anrissbereich mit Extrema von 25° bis 55° für trockene Schneebrettlawinen. Jedenfalls ist die Wahrscheinlichkeit einer Lawinenauslösung durch den Menschen unter 30° so unwahrscheinlich (vgl. Munter 2009: 124), dass in der heutigen (Stand 2019) Lehrmeinung über das Lawinenrisikomanagement im Österreichischen Alpenverein die 30° Marke als die kritische Hangneigung für Wintersportler\*innen gilt (Österreichischer Alpenverein 2016, vgl. Schweizer 2005: 37, Larcher 2012: 55f).

Wie oben beschrieben, finden die meisten Lawinenunfälle in einem Hangbereich von etwa 38° (Median der Daten) statt (Schweizer und Lutschg 2001: 152). Die Abnahme der Unfälle mit ab 38° steigender Steilheit, hängt mit der Vermutung zusammen, dass verhältnismäßig weniger Wintersportler\*innen so steile Hänge befahren bzw. begehen. Rosendahl und Weißgraeber (2020: 141) stellten fest, dass in sehr steilem Gelände das Zusatzgewicht von Wintersportler\*innen nicht mehr so relevant ist, da durch das Gewicht der Schneedecke Selbstauslösungen vermehrt vorkommen. Grundsätzlich steigt die Lawinengefahr mit zunehmender Hangneigung (Munter 2009: 87), aber die Frequenz der Wintersportler\*innenaufenthalte im Gelände und die befahrene oder begangene Steilheit von Hängen ist weitestgehend unbekannt (Schweizer und Lutschg 2001: 152). Der Median von 38° repräsentiert die steilste Stelle im Hang, wo die Lawine abgerissen ist. Für Wintersportler\*innen bedeutet dies nicht, dass somit 38° die gefährlichste Hangneigung ist, da Lawinen oft aus einem flacheren Hangbereich ausgelöst werden. Im Mittel ist die Hangneigung des Auslösepunktes um 3° flacher als die des Anrisspunktes (ebd.).

Für die topographische Komponente Hangneigung in Bezug auf die Lawinengefahr ist aus den eben angeführten Untersuchungen festzuhalten, dass für Menschen gefährliche Lawinen ab ca. 30°

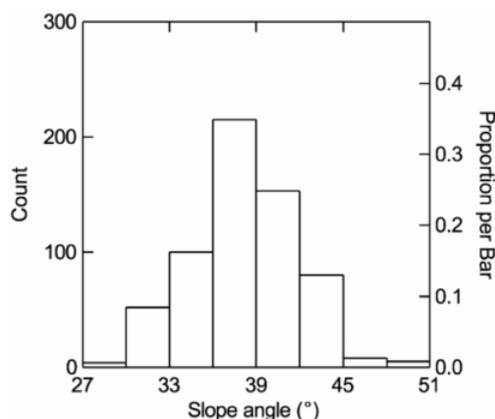


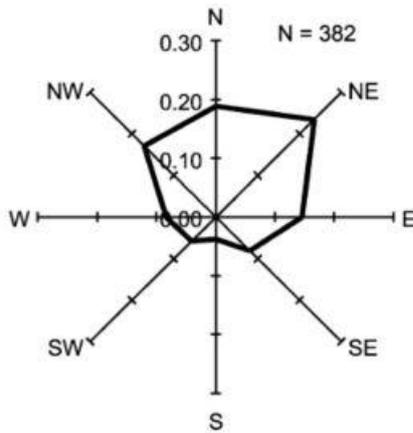
Fig. 5. Slope angle. All cases considered ( $N = 617$ ). Mean: 38,7°, median: 38°.

Hangneigung abgehen können und die Auslösegefahr mit zunehmender Steilheit steigt, aber Hangbereiche steiler als 45° in den meisten Fällen irrelevant sind, da nur wenige geübte Wintersportler\*innen so steil fahren können. Diese allgemeine Ableitung kann für jegliche Lawinen gefährdete Regionen gelten, da die Hangneigung und die Schwerkraft unabhängig der geographischen Lage gleiche Wirkung haben.

Abbildung 11: Untersuchungen zeigen den Zusammenhang von menschlichen Lawinenauslösungen und der Hangneigung (Quelle: Schweizer und Lutschg 2001: 152).

### Hangausrichtung (Exposition)

Die Hangausrichtung kann oft überraschend starke Unterschiede in der Beschaffenheit der Schneedecke hervorrufen, egal ob in der Qualität des Schnees für eine perfekte Abfahrt oder für die Gefahr eine Lawine auszulösen. Die Änderung der Schneeverhältnisse durch die Exposition hängt besonders stark mit dem variablen Faktor des Wetters zusammen. Einerseits sind Windrichtungen, andererseits sind Sonneneinstrahlung bzw. Abschattung ausschlaggebend (vgl. Kapitel 6.2.3 *Die variablen Faktoren: Wetter und Schneedecke*).



Die Festlegung auf konkrete Hangausrichtungen in der Bewertung von Lawinengefahren, ist mit besonderer Vorsicht aus Studien zu nehmen, da diese immer in den geographischen Kontext gesetzt werden müssen. Der Datenanalyse von Schweizer und Lütischg (2001: 153) zufolge (vgl. Abbildung 12) passierten die meisten (23%) menschlichen Lawinenauslösungen im Sektor Nordost, 19% im Sektor Nord und 17% im Sektor Nordwest. Nach Süden ausgerichtete Hangpartien (SO, S und SW) weisen 18%, Ost ausgerichtete 15% und westlich ausgerichtete nur 8% Auslösungen auf. Diese Ergebnisse wurden durch Untersuchungen in der Schweiz erzielt und können daher nur für diese geographische Breite in Betracht gezogen werden.

Abbildung 12: Eine Datenanalyse aus 10 Jahresdaten der Schweiz zeigt, dass die meisten Lawinenauslösungen in den Sektoren Nordwest, Nord und vor allem Nordost stattgefunden haben

Logischerweise zeigen eine ähnliche Charakteristik in Bezug auf Lawinenauslösungen und die Exposition Daten des Lawinenwarndienstes Tirol (vgl. Abbildung 13). Hier wurden alle Lawinenabgänge mit Personenbeteiligung in der

Saison 2015/16 untersucht. Abbildung 13 zeigt nicht nur, dass im Nordostsektor die meisten Unfälle passierten, sondern auch, dass sich die Lawinenanrisse in Hangneigungen hauptsächlich zwischen 35° und 40° abspielten.

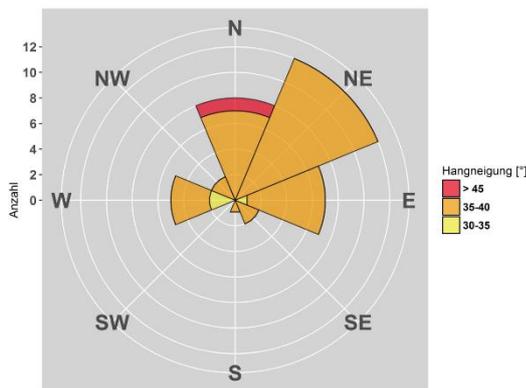


Abbildung 13: Die graphische Darstellung der Lawinenunfälle mit Personenbeteiligung in Tirol in der Saison 2015/16 zeigt eine deutliche Häufung im Nordostsektor und zwischen 35° und 40° Hangneigung. Die Anzahl repräsentiert die Absolutzahl der Ereignisse in dieser Saison in Tirol (Quelle: Datengrundlage: Unfallerhebungen des Lawinenwarndienstes Tirol, mit freundlicher Genehmigung).

Die Frage, warum gerade im Sektor Nordost die meisten menschlichen Lawinenauslösungen in der Schweiz und in Österreich zu beobachten waren, kann die Wissenschaft nicht klar beantworten. Zwar beeinflusst die Windrichtung in welchen Hangausrichtungen sich der störanfällige Triebsschnee abgelagert (vgl. Doorschot 2001), aber nach der Hauptwindrichtung in Mitteleuropa aus Nordwest, müsste demnach die Lawinenauslöseanzahl im Sektor Südost am häufigsten sein. Argumente der lokalen Windverdrehungen durch ein komplexes Relief und die vorrangige Anzahl von Nordosthängen, besonders in der Schweiz, sind mögliche Erklärungen (Schweizer und Lütischg 2001: 154). Ein weiteres Argument der obigen Auslöseverteilung über die Exposition ist die Abschattung von Hängen. Schweizer und Lütischg (2001: 153) beobachteten, dass 60% der Lawinenauslösungen in Schattenhängen passierten. Das Fehlen der Sonneneinstrahlung verlangsamt den Abbau einer

Schwachschicht und die tendenziell niedrigeren Temperaturen begünstigen den Aufbau von kantigen Kristallen, die in weiterer Folge als Schwachschicht dienen können (vgl. Fierz 1998). Das Vorhandensein solcher Schwachschichten wird im Rahmen der fünf typischen Lawinenprobleme als ein „Altschneeproblem“ definiert (vgl. EAWS 2017<sup>1</sup>). Einer Studie von Techel et al. (2015: 1992) zufolge, hängt die Wahrscheinlichkeit eines Lawinenunfalles mit der Ausprägung eines Altschneeproblems zusammen. Hält sich dieses Problem über einen längeren Zeitraum im schattigen Gelände, so wäre dies eine Erklärung für die Lawinenauslöseverteilung über die Expositionen. Techel et al. (2015) verschnitten zwar für ihre Untersuchung Daten über die Anzahl und Verteilung von Wintersportler\*innen mit Daten von Wetterbedingungen, Lawinenwarnstufen, Vorhandensein eines Altschneeproblems und Lawinenunfällen, aber eine Verteilung jener Wintersportler\*innen über die Expositionen ist unbekannt. Erfahrungen zufolge ist jedoch der zum Ski- und Snowboardfahren beste Schnee vorrangig in den Sektoren Nordwest über Nord bis Nordost zu finden und lockt dadurch womöglich mehr Wintersportler\*innen in diese Hangausrichtungen (Kriz und Galanda 1998: 117).

Die Untersuchungen der potenziellen Lawinengefahr in Bezug auf die Exposition von Schweizer und Lütischg (2001) und des Tiroler Lawinenwarndienstes (2016) beschränken sich durch die Datenverfügbarkeit auf die Schweiz und Tirol in Österreich. In diesem Kontext sind die Ergebnisse entsprechend vorsichtig zu interpretieren, da der Nordostsektor als „gefährlichster“ Bereich auch nur für diese Breiten gelten kann. Da die Sonneneinstrahlung bzw. Abschattung hier der ausschlaggebende Grund sowie Windrichtungen bestimmend für die Lawinengefahr sind, würden sich die Sektoren beispielsweise auf der Südhalbkugel signifikant ändern. Für entlegene Gebirgsregionen, unabhängig wo diese lokalisiert sind, ist also nicht das Ergebnis der gefährdeten Expositionen, sondern die Abschattung und Windrichtung in Zusammenhang mit den Hangausrichtungen als Gefahr festzuhalten. Sollen beispielsweise stark gefährdete Expositionen in einer topographischen Karte speziell ausgewiesen werden, muss unbedingt auf die geographische Lage Rücksicht genommen werden.

### *Geländeformen*

Die Geländeform als beitragender Faktor für die Lawinengefahr bezieht sich auf die Form ganzer Berghänge im Großen und Mulden, Rinnen, Rücken, Grate usw. im Kleinen, sowie die Oberflächenbeschaffenheit. Während die Hangneigung und die Hangausrichtung ordinal skalierte Klassen aufweisen, sind bei den Geländeformen qualitative Unterscheidungen notwendig. Diese Differenzierungen beziehen sich beispielsweise darauf, ob ein Hang konkav oder konvex geformt ist, ob von einem Grat oder einer Ebene gesprochen wird usw. Folglich haben Untersuchungen diese unterschiedlichen Arten der Geländeformen in Relation zu Lawinenauslösungen gesetzt. Ergebnisse von Vontobel et al. (2013: 374) zeigen, dass konkave und geradflächige Hänge mit Abstand am meisten von Lawinenauslösungen betroffen sind, im Vergleich zu konvexen Hangformen. Mögliche Erklärungen dafür sind die größeren Schneeanstimmungen durch Wind verfrachteten Schnee in konkaven Hangbereichen oder auch die homogenere Ausbreitung einer Schwachschicht in geradflächigen Hängen (ebd.). Schweizer und Lütischg (2001: 154) zeigen mit ihrer Datenauswertung, dass Lawinenauslösungen durch Menschen besonders (52%) in der Nähe von Kämmen und/oder in Mulden, Rinnen und offenen Hängen stattfinden. Tabelle 5 zeigt die Anzahl der Lawinenauslösungen in Bezug auf die Hangqualität und verdeutlicht somit, wo es vorrangig zu Lawinenunfällen kommen kann. Bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit und Lawinenauslösungen gibt es Ergebnisse von Vontobel et al. (2013: 374). Ohne große Überraschung sind menschliche Lawinenauslösungen hauptsächlich dort zu beobachten, wo die Bodenoberfläche möglichst eben und wenig strukturiert ist. Schotter bzw. Geröll sticht mit den meisten Lawinenauslösungen hervor. Warum wenige Auslösungen im Wald, Fels durchsetzten Gelände oder auf Wiesenhängen in dieser Untersuchung vorkamen, kann mit der Häufigkeit des Vorkommens der unterschiedlicher Oberflächenqualitäten in Zusammenhang stehen.

Die Autor\*innen begründen ihre Ergebnisse mit der Verteilung des Aufenthaltes von Wintersportler\*innen: Diese halten sich eher in höheren Lagen auf, wo bereits die Vegetation wenig vorhanden ist und auf Schotterfeldern lässt es sich besonders gut mit Ski oder dem Snowboard fahren (Vontobel et al. 2013: 374).

Tabelle 5: Die Untersuchung von Schweizer und Lütischg zeigt die Anzahl von menschlichen Lawinenauslösungen in Bezug auf unterschiedliche Geländeformen (Quelle: Schweizer und Lütischg 2001: 154).

Table 2  
Frequency of terrain features and combinations thereof. Total number of cases considered: 420. Multiple selection was possible

Terrain feature	Counts	Frequent combinations	Counts	
Close to the ridge top	245	Close to the ridge top	Bowl	81
Bowl	147	Close to the ridge top	Gully	53
Open slope	139	Close to the ridge top	Open slope	51
Gully	121	Close to the ridge top	Below rock wall	20
Below a rock wall	40	Gully	Forest, open forest	16
Forest, open forest	38	Bowl	Below rock wall	11
Glacier	17	Open slope	Below rock wall	11
Ridge	10	Close to the ridge top	Glacier	10

Generell sind sowohl die Untersuchungen von Schweizer und Lütischg (2001) und Vontobel et al. (2013) mit Vorsicht zu interpretieren, da die Ergebnisse nicht zeigen, wo Lawinen physikalisch am leichtesten auszulösen sind, sondern nur wo die meisten durch Menschen ausgelöst wurden. Würden sich Wintersportler\*innen in anderen Geländeformen aufhalten, könnten die Ergebnisse ganz anders aussehen. Da aber nicht anzunehmen ist, dass sich das Verhalten von Ski- und Snowboardfahrer\*innen im Gelände in entlegenen Gebirgsregionen relevant unterscheidet, können konkave und geradflächige Hänge, Mulden und Rinnen und besonders Bereiche in der Nähe von Kämmen als gefährliche Geländeformen für Wintersportler\*innen festgehalten werden.

Das Gelände als fixer Faktor der Lawinengefahr besteht also aus den drei wichtigen Teilbereichen für Wintersportler\*innen: Hangneigung, Exposition und Geländeformen (Munter 2009: 122; Kriz und Garlanda 1998: 117). Die Informationen über diese drei Teilbereiche können aus topographischen Karten entnommen werden. In Verbindung mit dem Wissen über den oben beschriebenen Bezug zur potenziellen Lawinengefahr, wie kritische Hangneigung, gefährliche Expositionen oder heimtückische Geländeformen, können Wintersportler\*innen mit einer topographischen Karte bereits sicherheitsrelevante Entscheidungen in der Planung einer Tour und im Gelände vor Ort treffen (vgl. Kriz und Galanda 1998).

Die Bildung von Lawinen durch die fixen und die variablen Faktoren der Lawinengefahren kann als kausaler Zusammenhang beschrieben werden. Diese objektiven Lawinengefahren sind die Ursache für die Lawinenbildung, die die Konsequenz darstellt. Das Wetter und die Schneedecke auf der einen und das Gelände auf der anderen Seite stellen dabei einige durchaus komplexe Variablen und Zusammenhänge der objektiven Lawinengefahren dar. Auch wenn jegliche relevante Details der objektiven Lawinengefahren für Expert\*innen essenziell sind, so können Unerfahrene nur mit stark vereinfachten Informationen arbeiten. Steht der Mensch sowohl als Experte wie auch als Laie in der Lawinenkunde im Spannungsfeld der objektiven Lawinengefahren, müssen gerade diese Lawinengefahren bekannt gemacht und kommuniziert werden. Zum Behelf des Überblickes über die essenziellen, objektiven Lawinengefahren dient folgende Tabelle 6:

Tabelle 6: Überblick der objektiven Lawinengefahren, eingeteilt in die fixen Faktoren (Gelände) und die variablen Faktoren (Wetter/Schneedecke). Die verbalen Informationen und Zahlenwerte verdeutlichen die besonders gefährlichen Bereiche und Situationen für Wintersportler\*innen in Bezug auf Lawinen (Quellen: eigene Darstellung nach Schweizer et al. 2003; Doorschot et al. 2001; McClung und Schweizer 1997; Rosendahl und Weißgraeber 2020; Perla 1977; Schweizer und Lüttschg 2001; Vontobel et al. 2013).

Lawinengefahren für Wintersportler*innen	Fixe Faktoren: Gelände			Variable Faktoren: Wetter/Schneedecke		
	Hangneigung	Exposition	Geländeformen	Neuschnee	Wind	Temperatur
	25° bis 55°	schattige und windabgewandte Hänge	konkave Hangformen, Rinnen, Mulden und in Nähe von Graten	ab ca. 10-20cm	Lee-bereiche	komplexes Verhalten

Lernen Wintersportler\*innen die Bedeutung der wichtigsten Lawinen bildenden Faktoren des Geländes und des Wetters bzw. der Schneedecke zu interpretieren und kombinieren sie dieses Wissen mit topographischen Karten und Wetterinformationen, ist ihnen ein wertvolles Werkzeug für den Umgang mit der Lawinengefahr in die Hand gelegt. Aus wissenschaftlicher Perspektive formuliert bedeutet das Ergebnis von Tabelle 6, dass die objektiven Lawinengefahren räumlich abgegrenzt werden können, sofern die fixen und variablen Faktoren kombiniert werden.

Aus Tabelle 6 werden besonders zwei Konsequenzen ersichtlich: Erstens sind die wesentlichen fixen Faktoren der Lawinengefahren über Formen der Geokommunikation, wie beispielsweise eine topographische Karte, interpretierbar und zweitens müssen diese mit den Wetterinformationen der variablen Faktoren kombiniert werden. Die obige Analyse der relevanten objektiven Lawinengefahren für Wintersportler\*innen zeigt die große Bedeutung der fixen und variablen Faktoren. Diese Basisinformationen sind der obligatorische Bestandteil jegliches Lawinenrisikomanagements, wie sich in Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?* herausstellt. Auch für entlegene Gebirgsregionen kommt der Erkenntnis der relevanten Lawinengefahren eine unabdingbare Rolle zu. Topographische Informationen über die Hangsteilheit, Exposition und Geländeformen kombiniert mit den Wetterinformationen Neuschnee, Wind und Temperatur sind Schlüsselfaktoren für ein Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen.

### 6.3 Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?

Die von einer Lawine ausgehenden Gefahren bestehen unabhängig vom menschlichen Zutun. Wie in Kapitel 6.2 *Lawinengefahren* beschrieben, können solche objektiven Gefahren im Gelände lokalisiert (fixe Faktoren) und durch das Wetter verändert (variable Faktoren) werden. Ob sich ein Mensch im lawinengefährdeten Gelände aufhält oder nicht, verändert bzw. beeinflusst nicht die objektive Gefahr. Auch ein im Gebirge unangebrachtes Verhalten (z. B. im sehr steilen Hang stürzen) von Wintersportler\*innen kann die Lawinengefahr nicht vergrößern. Was der Mensch durch seine

Anwesenheit beeinflusst, ist das Risiko von einer Lawine erfasst zu werden und unter Umständen daran zu sterben. Zur Erinnerung aus Kapitel 5.1 *Risiko – Die Wahrscheinlichkeit des Gefährlichen*, unterscheiden sich Gefahr und Risiko maßgeblich. Während die Gefahr ein zukünftiges Ereignis, das Schaden verursachen kann, umschreibt, handelt es sich beim Risiko um die Exponiertheit von Wertigem gegenüber der Gefahr (Smith und Petley 2009: 13; vgl. Statham 2008).

Das Konzept von Risiko kann in seiner quantitativen Form auf jegliche Naturgefahren angewendet werden, also auch auf Lawinen (vgl. Fuchs et al. 2015). Während in Kapitel 6.2 *Lawinengefahren* die objektiven Lawinengefahren beleuchtet wurden, so stellen diese einen Teil des Risikodenkens dar. Der Mensch steht also im Spannungsverhältnis dieser objektiven Lawinengefahren. Weitere Elemente, wie Ausgesetzttheit, Wertigkeit und Verletzlichkeit, sind Variablen, die, wie die Gefahr, die Größe eines Risikos bestimmen und somit das Spannungsverhältnis des Menschen in Bezug auf die objektiven Lawinengefahren beschreiben. Jene Variablen stehen in Abhängigkeit zueinander und werden durch Wahrscheinlichkeiten und Werteinheiten ausgedrückt; so ergibt sich folgende Formel zur quantitativen Bemessung des Risikos.

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, p_{Oj,Si}, A_{Oj}, v_{Oj,Si})$$

Die Größe des Risikos ( $R_{i,j}$ ), in Abhängigkeit von Szenario  $i$  und Objekt  $j$ , wird als Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit ( $p_{Si}$ ) von Szenario  $i$  und den dadurch verursachten Konsequenzen bestimmt. Das Ausmaß der Konsequenzen ist abhängig von der Präsenzwahrscheinlichkeit ( $p_{Oj,Si}$ ) des Objektes  $j$  gegenüber dem Szenario  $i$ , dem Wert ( $A_{Oj}$ ) des Objektes  $j$  und der Verletzlichkeit ( $v_{Oj,Si}$ ) von Objekt  $j$  in Abhängigkeit von Szenario  $i$  (Fuchs et al. 2015: 53).

Alle Variablen dieser Funktion müssen als veränderbare Komponenten eines Systems verstanden werden. So wächst oder schrumpft das Risiko, wenn nur eine Komponente verändert wird. Wichtig und interessant für das Risikomanagement von Lawinengefahren ist die Frage, welche der Variablen und deren Größen bekannt sind und auf welche wer Einfluss nimmt? Besonders entscheidend ist, welche Variablen der Risikoformel durch Wintersportler\*innen selbst beeinflusst werden können, damit diese ihr Risiko minimieren. Um die Essenz dieser Frage im Risikomanagement zu verdeutlichen, wird im folgenden Kapitel die Situation des Menschen innerhalb des Spannungsfeldes der objektiven Lawinengefahren durch die quantitative Risikobemessung anhand eines Gedankenexperiments, das eine Situation im Gelände darstellt, illustriert. Es soll folglich dargestellt werden, was die Konfrontation des Menschen mit objektiven Lawinengefahren bedeutet und welche Lehren daraus insbesondere für entlegene Gebirgsregionen gezogen werden können.

### *Die Situation*

Eine Skitourengeherin befindet sich an der Kante zu einem 40° steilen Hang und überlegt, diesen hinunter zu fahren. Die Schneedecke in diesem Hang ist instabil aufgebaut und hat das Potential für eine Schneebrettlawine, die Personen total verschütten kann.

### *Die Prämissen*

- *Szenario i*: stellt den Abgang der Lawine und das Verschüttungspotenzial von Menschen dar
- *Objekt j*: ist die Skitourengeherin

### Die Variablen

- *Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario i*: Die Wahrscheinlichkeit, dass die Lawine abgeht und somit Szenario *i* eintritt, ist zwar sehr wahrscheinlich durch den instabilen Schneedeckenaufbau, aber steht in direktem Zusammenhang mit der Präsenzwahrscheinlichkeit der Skitourengewerkin.
- *Präsenzwahrscheinlichkeit des Objektes j*: Wie wahrscheinlich die Skitourengewerkin in den Hang hineinfährt, hängt von ihrer Entscheidung ab.
- *Wert des Objektes j*: Der Wert der Wintersportlerin ist ein Menschenleben
- *Verletzlichkeit des Objektes j gegenüber Szenario i*: Die Verletzlichkeit teilt sich in die Anfälligkeit der Skitourengewerkin von der Lawine verletzt oder getötet zu werden, in die Widerstandsfähigkeit, die Lawine abzuwehren und in die Überwindungsfähigkeit, unverletzt bzw. lebend aus der Lawine herauszukommen.

Es stellt sich folglich die Frage, welche Größen der Variablen der Skitourengewerkin bekannt, welche sie selbst beeinflussen kann und auf welche Prozesse andere Personen Einfluss nehmen.

#### 6.3.1 Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Lawine hängt primär von den objektiven Gefahren ab. Diese wurden durch das Wetter beeinflusst und manifestieren sich in der Schneedeckenstabilität und den Geländeeigenschaften. Die objektiven Gefahren muss die Skitourengewerkin kennen, um die Eintrittswahrscheinlichkeit einschätzen zu können. Unterschiedliche Methoden, um zu diesem Wissen zu gelangen, kann die Skitourengewerkin im Vorfeld anwenden (vgl. Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagement*). Wobei eine Voraussage einer einzelnen Lawine durch eine genaue Hangbeurteilung aufgrund der Variabilität der Schneedecke sehr schwierig ist (Fuchs et al. 2015: 52; Schweizer et al. 2003: 1). Die Wahrscheinlichkeit von Lawinenauslösungen in begrenzten Regionen einzuschätzen und vorauszusagen, ist unter anderem die Aufgabe von institutionellen Lawinenwarndiensten (vgl. Kapitel 7.1 *Institutionelles Lawinenrisikomanagement*). Letztendlich wird aber ein Expert\*innenwissen benötigt, um die Auslösewahrscheinlichkeit einer Lawine in einem bestimmten Hang zu beurteilen (vgl. Neugebauer und Kriz 2019).

Sekundär hängt die Eintrittswahrscheinlichkeit der Lawine (Szenario *i*) aber auch von der Skitourengewerkin selbst ab. Sie müsste erst als Zusatzbelastung auf die Schneedecke in dem 40° steilen Hang einwirken, um die entsprechende Lawine auszulösen. Folglich besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario *i* und der Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt *j*.

#### 6.3.2 Präsenzwahrscheinlichkeit

Im Vergleich zur Eintrittswahrscheinlichkeit muss die Skitourengewerkin bei der Präsenzwahrscheinlichkeit sich kein Wissen über die aktuellen und potenziellen Lawinengefahren dieses einen Hanges aneignen, sondern selbst entscheiden, ob sie sich der objektiven Gefahr aussetzt. Die Präsenzwahrscheinlichkeit hängt somit ausschließlich von der Skitourengewerkin ab, vorausgesetzt sie wird als mündige und selbstbestimmte Person betrachtet. Welchen Einfluss andere sich in der Nähe befindliche Personen auf solche Entscheidungen haben, untersucht McCammon (2002) in seinem Artikel über „Heuristic Traps in Recreational Avalanche Accidents: Evidence and Implications“, wird an dieser Stelle aber nicht weiter beleuchtet.

Die Determinanten der Präsenzwahrscheinlichkeit können aber nicht nur für Einzelpersonen betrachtet und untersucht werden, sondern das statistische Risiko von vielen Wintersportler\*innen gibt zusätzlich Aufschluss. Beispielsweise untersuchten Walcher et al. (2018) das Lawinenrisiko in Bezug auf die Präsenzwahrscheinlichkeit beim helikopter- und schneemobilgestütztem Ski- und Snowboardfahren in Kanada. Die analysierten Daten ergeben für den Zeitraum von 1970 bis 2016, dass, neben anderen untersuchten Naturgefahren im Winter, Lawinen 77% aller Todesfälle verursachten (Walcher et al. 2018: 254). Obwohl ein signifikanter Anstieg von helikopter- und schneemobilgestütztem Skifahren gemessen an den Skitagen jeglicher Personen zu beobachten war, ist das Todesfallrisiko, verursacht durch Lawinenunfälle, aber gesunken (ebd: 255). Der Rückgang der tödlichen Lawinenunfälle in Kanada durch helikopter- und schneemobilgestütztes Skifahren ist signifikant von den 1970ern bis in die 2000er erkennbar und ab 2010 nur noch marginal (ebd. 254). Die Autoren gehen davon aus, dass Verbesserungen im Lawinenrisikomanagement ab den 2000er Jahren ihre Limits erreicht haben und sich dadurch die Todesfälle durch Lawinenunfälle nur noch gering reduzieren (ebd. 258). In Bezug auf die Präsenzwahrscheinlichkeit lässt sich festhalten, dass diese zwar über die Jahre gestiegen ist, aber das Risiko durch andere Faktoren gesenkt werden konnte.

Eine weitere Studie aus der Schweiz kann Ähnliches bestätigen. Techel et al. (2015) versuchen das Lawinenrisiko in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Präsenzwahrscheinlichkeit im unkontrollierten Gebirgsraum möglichst differenziert zu bestimmen. Sie betrachteten mehrere Faktoren der Lawinengefahr und der Ausgesetztheit von Wintersportler\*innen. Sie untersuchten die Korrelation zwischen Anzahl und Verteilung von Wintersportler\*innen (Daten stammen von Internetportalen), die sich im unkontrollierten Gebirgsraum aufhielten, Wetterbedingungen, Lawinenwarnstufe, Vorhandensein eines Altschneeproblems und Lawinenunfällen. Ihre Ergebnisse zeigen deutlich, dass das Verhältnis zwischen der Anzahl jener Wintersportler\*innen und Lawinenunfällen bei unterschiedlichen Wetterbedingungen zwar gleich bleibt, aber bei steigender Lawinengefahrenstufe auch die Unfallanzahl verhältnismäßig zunimmt, während die Anzahl jener Wintersportler\*innen prozentual abnimmt (Techel et al. 2015: 1988). Die Autoren schließen daraus, dass sich das Risiko für Wintersportler\*innen, von einer Lawine getötet zu werden, nicht nach dem Wetter richtet. Viel eher erhöht sich laut Techel et al. (2015: 1992) das Risiko aufgrund der Schneedeckenbedingungen. Liegt ein Altschneeproblem vor, ist das Todesfallrisiko durch Lawinen im Untersuchungsraum doppelt so hoch, als bei günstigen Schneesverhältnissen. Die Wahrscheinlichkeit eines Lawinenunfalles hängt also einerseits mit dem Anstieg der Lawinengefahr (ausgedrückt durch die Lawinengefahrenstufe) zusammen und andererseits mit der Ausprägung eines Altschneeproblems (Techel et al. 2015: 1992). Das Fazit daraus ist, dass Wintersportler\*innen einer Gesellschaft grundsätzlich ihre Präsenzwahrscheinlichkeit gegenüber der Lawinengefahren erhöhen (auf diese sie auch Einfluss haben), unbeachtet der objektiven Lawinengefahren. Die Eintrittswahrscheinlichkeit der objektiven Lawinengefahren bestimmt also vielmehr, ob das Todesfallrisiko hoch oder niedriger ist. Auf die objektiven Lawinengefahren haben Wintersportler\*innen aber keinen Einfluss.

Dennoch wird in der Literatur die Frage, ob die Präsenzwahrscheinlichkeit oder die Eintrittswahrscheinlichkeit mehr Einfluss auf das Lawinenrisiko hat, unterschiedlich behandelt und hängt letztendlich auch immer von den untersuchten Daten ab (vgl. Techel et al. 2015, Valla 1984, Walcher et al. 2018). Interessanterweise hängt die Größe der Lawinengefahr mit dem Verhalten der Menschen, die entscheiden, ob sie sich der Gefahr aussetzen oder nicht, wenig zusammen (vgl. Techel et al. 2015). Liegt das an der Gefahrenkommunikation, an der Risikobereitschaft, oder an der Ignoranz von Naturgefahren durch eine Gesellschaft, die Spaß als oberstes Ziel sieht?

### 6.3.3 Wert

Der Wert der Skitourengeherin kann vereinfacht und intangibel als ein Menschenleben betrachtet werden. Zu ermitteln welchen sozialen Wert dieser eine Mensch im Rahmen von Familie, Freunde und der restlichen Gesellschaft, oder welchen ökonomischen Wert er im Kontext seiner beruflichen Tätigkeiten aufweist, würde zur Risikobeurteilung im Wintersport wohl zu weit führen. Wie viel letztendlich aber ein Menschenleben in einer Gesellschaft wert ist, hängt sehr von dieser ab. Während das oberste Ziel des in Österreich und Italien wirkenden Lawinenwarndienstes Tirol und der österreichischen Bergrettung ist, Menschleben mit allen Mitteln zu retten, wird beispielsweise in Armenien anders mit Lawinengefahren und -opfern umgegangen. Nach der mündlichen Überlieferung des armenischen Bergführers Hovhannes Martirosyan vom 25. Mai 2020, wurden am 6. Februar 2020 von einer Lawine verschüttete Soldaten nicht ausgegraben, um deren Leben zu retten, sondern mithilfe einer Planierdrape der Schnee weggeschoben, um die Leichen zu bergen (vgl. AzatutyunTV 2020). Eine ähnliche Situation gab es 2018 am 22. Februar, als ein Franzose aus einer Lawine von seinen Kamerad\*innen ausgegraben wurde und die armenischen Rettungskräfte etwa zwei Stunden später mit der Erwartung eintrafen, eine Leiche zu bergen (UpTheRocks 2019). Mit diesem Beispiel soll nicht ein Menschenleben mit der Größe des Rettungsaufwands aufgewogen werden, denn unterschiedliche Herangehensweisen im Rettungs- bzw. Unfallpräventionswesen können aus ökonomischen und wissensbedingten Verhältnissen resultieren. Diese Herangehensweise verdeutlicht die Sichtweise auf Lawinenopfer, beispielsweise dass diese in Armenien automatisch als tot betrachtet werden. Dieser Umgang mit Lawinenopfer könnte aus bisherigen Erfahrungen resultieren, bei denen es den Rettungskräften nicht möglich war, jemals einen Menschen aus einer Lawine lebend zu retten.

### 6.3.4 Verletzlichkeit

Jene eben beschriebene Attribute hängen schließlich mit der Verletzlichkeit der Skitourengeherin gegenüber der Lawine zusammen und verflechten somit den Wert von Objekt  $j$  mit der Verletzlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$ . In Bezug auf die Verletzlichkeit stellt sich die Frage, welchen Schaden die Skitourengeherin als Mensch durch eine Lawine nehmen kann. Eine Untersuchung in Kanada zeigt, dass jegliche tödliche Lawinenereignisse zu 75% der Fälle auf einen Erstickungstod, 24% der Fälle auf schwere Verletzungen und 1% der Fälle auf einen Erfrierungstod zurückzuführen waren (Boyd et al. 2009: 509). Zwar stellt diese Studie nur die Verhältnisse der Todesursachen dar, aber nicht wie viele Menschen in Lawinen sterben im Vergleich zu jenen, die Lawinenereignisse überleben. Grundsätzlich ist aber der Tod durch eine Lawine möglich. Um die Anfälligkeit von Wintersportler\*innen gegenüber Lawinen zu bemessen, bietet das Lawineninformationssystem LAWIS Einblicke in die Statistik in Österreich (vgl. Tabelle 7).

*Tabelle 7: Lawinenereignisdaten mit Personenbeteiligung von 2010 bis 2020 in Österreich zeigen, dass über ein Drittel der Personen eine Verschüttung vermeiden konnte und knapp zwei Drittel aller Beteiligten unverletzt blieb. Die Todesrate lag bei 16,2%, obwohl 27,1% totalverschüttet (mindestens der Kopf ist vollständig im Schnee vergraben) waren. Das weist darauf hin, dass ein gewisser Anteil ausgegraben und vor dem Tod gerettet werden konnte (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: LAWIS 2021).*

	Beteiligte	Tod	Verletzt	Unverletzt	Totalverschüttet	Teilverschüttet	Nicht verschüttet
Anzahl	1646	267	388	991	446	579	621
Prozentanteil	100%	16,2%	23,6%	60,2%	27,1%	35,2%	37,7%

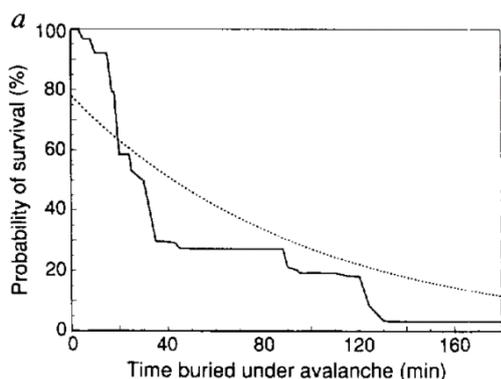
Die in der Datenbank von LAWIS eingetragenen Fälle repräsentieren nicht die Gesamtheit aller Lawineneignisse mit menschlichem Zutun in Österreich, da viele Lawinenabgänge, wo keine Menschen zu Schaden kommen oder „nur“ leicht verletzt werden, weder gemeldet noch dokumentiert wurden. Wie groß also die exakte Wahrscheinlichkeit ist, als Wintersportler\*in von einer Lawine Schaden zu nehmen (Anfälligkeit), ist unbekannt; Tabelle 7 zeigt aber annähernde Werte.

Auch die Widerstandsfähigkeit, eine Lawine abzuwehren, lässt sich nur mit Vorsicht aus Tabelle 7 ablesen. Zwar weist die Statistik aus LAWIS (2021) darauf hin, dass 37,7% Menschen der dokumentierten Lawineneignisse mit Personenbeteiligung der Lawine „entronnen“ sind, also nicht verschüttet wurden, aber wirklich „abwehren“ lässt sich eine Lawine durch ihre Urgewalt nicht (vgl. Munter 2009).

Hingegen ist die Überwindungsfähigkeit, aus einer Lawine lebend bzw. unverletzt herauszukommen, eine viel verfolgte Strategie des Lawinenrisikomanagements. Mithilfe von technischen Geräten, Partner\*innenunterstützung, gegebenenfalls auch einer professionellen Bergrettung und einer großen Portion Glück können Menschen lebend aus Lawinen geborgen werden (vgl. Slotta-Bachmayr 2005; Falk et al. 1994; Brugger et al. 2001).

Bei der Rettung eines verschütteten Menschen aus einer Lawine ist die Zeit und die Verschüttungstiefe entscheidend (Slotta-Bachmayr 2005: 342). Da ca. drei Viertel der Todesursachen der Erstickungstod sind (Boyd et al. 2009: 509), ist es wesentlich, die Luftzufuhr so schnell wie möglich zu gewährleisten. Es besteht zu 92% die Chance zu überleben, wenn das Lawinenopfer bis etwa 15 Minuten nach der Verschüttung ausgegraben bzw. geborgen wird (Falk et al. 1994: 21). Nach ca. 15 Minuten Verschüttungszeit schrumpft die Überlebenschance rasant. Ab 35 Minuten besteht bis ca. 90 Minuten eine stabile Überlebenschance von etwa 30%, da der verschüttete Mensch eine Lufthöhle zum Atmen haben könnte. Der Wärmeverlust durch den kalten Schnee von max. 3°C pro Stunde begünstigt die Überlebenschance bis ca. 90 Minuten, wenn eine Lufthöhle vorhanden ist, da der Sauerstoffverbrauch durch Unterkühlung sinkt. Zum Verhängnis wird der Wärmeverlust gemischt mit langsamem Ersticken erst ab ca. 90 Minuten Verschüttungszeit. Jene Lawinenopfer, die länger als 90 Minuten in einer Lawine überlebten, hatten einen Luftausgang an die Schneeoberfläche, wodurch nicht das Ersticken, sondern das Erfrieren die Gefahr ist. Jedoch überlebten nur 3% aller Lawinenopfer des entsprechenden Datensatzes eine Verschüttungszeit von über 130 Minuten; die meisten sind vorher erfroren (Falk et al. 1994: 21). Eine Abbildung von Falk et al. (1994) visualisiert die Überlebenschance unter einer Lawine über Daten aus der Schweiz zwischen 1981 und 1991 (vgl. Abbildung 14).

Aus den Erkenntnissen von Falk et al. (1994) wird ersichtlich, dass der essenzielle Faktor Zeit für das Überleben in einer Lawine von der Geschwindigkeit der Rettung durch andere Personen abhängt. Da eine professionelle Rettung auf die Transportkapazitäten von Personal (z.B. Hubschraubertransport) und die Ankunftszeit am Unfallort stark eingeschränkt ist, ist die Kamerad\*innenrettung bei Lawinenunfällen entscheidender (Slotta-Bachmayr 2005: 350). Die Medianzeit der professionellen



Rettung Lawinenopfer auszugraben liegt mit Meldezeit, Organisationszeit, Transportzeit, Suchzeit und Ausgrabungszeit bei 70 Minuten (ebd.: 349). Diese Dauer liegt innerhalb der 90 Minuten mit 30% Überlebenschance der Lawinenopfer.

Abbildung 14: Daten über die Verschüttungszeit in einer Lawine und die Überlebenschancen von 1981 bis 1991 von Schweizer Lawinenunfällen, zeigen einen deutlichen Abstieg der Überlebenschance ab ca. 15 Minuten von 92% und einen Zeitraum von ca. 90 Minuten bei einer Überlebenschance von 30%, da die Opfer eine Lufthöhle gehabt haben könnten (Quelle: Falk et al. 1994: 21).

Folglich heißt das, wenn das Lawinenopfer eine Lufthöhle hat und nicht bereits durch Trauma umgekommen ist, können Rettungsteams Menschen lebend aus Lawinen bergen. Trotzdem zeigt die Statistik, dass die Erfolgsquote Menschen lebend aus der Lawine zu retten, bei der Kamerad\*innenrettung bei 75% liegt und bei organisierten Rettungsaktionen nur bei 30% (Slotta-Bachmayr 2005: 343). In den meisten Fällen führen Rettungskräfte folglich eine Totenbergrung durch.

Dieser Studie zufolge bzw. weil der Erstickungstod in den meisten Fällen nach etwa 15 Minuten eintritt und die organisierte Rettung wesentlich länger braucht, ist die Kamerad\*innenrettung von größter Bedeutung, um das Lawinenrisiko durch die Verletzlichkeit zu senken. Eine funktionierende Kamerad\*innenrettung setzt eine Rettungsausrüstung und den geübten Umgang damit voraus. Zur heutigen Standardausrüstung gehören ein Lawinenverschüttetensuchgerät, eine Lawinensonde, eine Lawinenschaufel, ein Erste-Hilfe-Paket, ein Biwaksack und ein Mobiltelefon. Auftriebsysteme, wie Airbag Rucksäcke, oder Atmungsgeräte können als zusätzliche Sicherheitsausrüstung gesehen werden (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 270ff). Beim Eintreten eines Lawinenunfalles können Standardablaufeschemen angewendet werden (ebd.: 282ff). Die Überlebenswahrscheinlichkeit, untergliedert in unterschiedliche Rettungsmethode und nach Verwendung bestimmter Rettungsausrüstung, stellt das Ergebnis von Slotta-Bachmayrs (2005: 344) Untersuchung dar: Knapp 90% der Lawinenopfer wurden lebend geborgen, wenn sie an der Schneeoberfläche sichtbar bzw. hörbar waren. Unter dem Einsatz eines Lawinenverschüttetensuchgeräts überlebten über 60% durch Kamerad\*innenrettung und durch den Einsatz von ausschließlich Lawinensonden etwa 34%. Diese Werte spiegeln die Unterschiede der Rettungserfolgsquoten zwischen Kamerad\*innenrettung und professioneller Rettung wider, da Bergungen mit Lawinensonden allein eine Sondierungskette voraussetzt, die meistens nur durch eine professionelle Rettung durchgeführt werden kann. Wird zusätzlich ein Airbag Rucksack als Sicherheitsausrüstung verwendet und dieser auch aktiviert, ist die Überlebenswahrscheinlichkeit signifikant höher als ohne dieser Maßnahme (Brugger et al. 2007: 481). Das liegt vor allem daran, dass ein Airbagsystem den ausgerüsteten Menschen in der Lawine nach oben treibt und eine Totalverschüttung unwahrscheinlicher ist. Während der Tod bei einer Totalverschüttung zu etwa 50% eintritt, überlebt eine teilverschüttete Person zu 96,7% (ebd.: 479).

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass bei einer Lawinenauslösung mit menschlicher Beteiligung Lebensgefahr besteht (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 270). Die Verletzlichkeit (Vulnerabilität) gegenüber einer Lawine ist durch die beinahe unmögliche Abwendung und zeitlich stark limitierte Rettung (Überwindungswahrscheinlichkeit) sehr hoch; die Todesrate liegt je nach Datensatz um die 20% (Brugger et al. 2001: 8; Brugger et al. 2007: 477; Lunde-Tellefsen 2019: 8). Zur Risikobemessung, in Bezug auf ihre Verletzlichkeit, muss die Skitourengelherin bedenken, dass wenn sie in eine Lawine kommt, die Überlebenschancen stark von ihren Kamerad\*innen abhängen und nicht gewährleistet werden können. Demnach bedeutet das, dass die Verletzlichkeit nur geringfügig durch Wintersportler\*innen selbst beeinflusst werden kann und grundsätzlich eine mit ungefähren 20% Todesfallwahrscheinlichkeit relativ einflussreiche Variable in der Risikoberechnung ist.

Es zeigt sich, dass der Mensch im Spannungsfeld der objektiven Lawinengefahren durch sein Wissen die Eintrittswahrscheinlichkeit, durch sein Verhalten die Präsenzwahrscheinlichkeit und durch sein Training mit Notfallausrüstung umzugehen, die Verletzlichkeit reduzieren kann. Während der Wert des Menschen in dieser Arbeit als konstant betrachtet wird, lassen sich die anderen Variablen der Risikogleichung beeinflussen. Aus dieser Erkenntnis lässt sich eine entscheidende Lehre ziehen:

Da 90% der tödlichen Lawinen durch Menschen selbst ausgelöst werden (Schweizer und Lütschg 2001: 151), haben Wintersportler\*innen ihr Schicksal selbst in der Hand. Erstens lässt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Lawine mithilfe des Wissens über die objektiven Lawinengefahren, wie der fixen und variablen Faktoren, einschätzen. Dazu ist eine Gefahrenkommunikation notwendig.

Zweitens können Wintersportler\*innen ihre Präsenzwahrscheinlichkeit gegenüber den objektiven Lawinengefahren über angepasste Tourenausswahl und entsprechendem Routenverlauf reduzieren und sich somit weniger der Lawinengefahren aussetzen. Liegen die Informationen über die räumliche Ausbreitung der potenziellen Lawinengefahren vor, so können Wintersportler\*innen räumlich den essenziellen Gefahren ausweichen. Haben Wintersportler\*innen Zugang zu entsprechenden Wetterinformationen, können sie die aktuelle Lawinengefahr einschätzen. Drittens sinkt die Verletzlichkeit der Wintersportler\*innen durch das Mitführen der Notfallausrüstung und dem gekonnten Umgang der Kamerad\*innenrettung (vgl. Slotta-Bachmayr 2005).

Werden Wintersportler\*innen all diese Werkzeuge und Fähigkeiten in die Hand gegeben, können sie selbst über ihr Leben und ihren Tod in Bezug auf Lawinenunfälle entscheiden. Im Grunde hat der Mensch als Wintersportler\*in obigen Untersuchungen zufolge eine Todesfallwahrscheinlichkeit von etwa 20% in Lawinen zu sterben im Vergleich zu den erfassten Lawinenunfällen (Brugger et al. 2007: 477; Brugger et al. 2001: 8; Lunde-Tellefsen 2019: 8). Um diese Prozentzahl möglichst gering zu halten, können Wintersportler\*innen besonders ihre Präsenzwahrscheinlichkeit gegenüber der Eintrittswahrscheinlichkeit der objektiven Lawinengefahren steuern, denn die Kamerad\*innenrettung als Einfluss auf die Verletzlichkeit ergibt einen unzufriedenstellenden Wert. Für das Lawinenrisikomanagement von Wintersportler\*innen bedeutet dies, dass der erste Schritt, die Prävention, der wichtigste Prozess für ein minimales Risiko darstellt. Welche Methoden bzw. Strategien in verschiedenen Ländern angewendet werden, um die Todesrate durch Lawinenunfälle im Wintersport möglichst gering zu halten, wird im folgenden Kapitel erläutert.

## 7 Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements

Verschiedene Untersuchungen und Statistiken haben gezeigt, wie groß das Risiko ist als Wintersportler\*in durch eine Lawine zu sterben (vgl. Brugger et al. 2007; Brugger et al. 2001; Lunde-Tellefsen 2019). Dafür sind nicht nur die vom Menschen unabhängigen objektiven Lawinengefahren verantwortlich, sondern auch das Verhalten des Menschen selbst. Wie dementsprechende Wintersportler\*innen mit den Lawinengefahren umgehen, wird als das Lawinenrisikomanagement bezeichnet. Dieses weist drei Schritte auf, die alle dazu beitragen, den möglichen Schaden durch Lawinen zu minimieren und das persönliche Erlebnis im Wintersport zu maximieren (vgl. Smith und Petley 2009). Wie in Kapitel 5.7 *Drei Schritte zum Risikomanagement* beschrieben, ist der erste Schritt die *Prävention*, der zweite die *Entscheidung/Handlung* und der dritte die *Reaktion/Bewältigung*. Für diese drei Schritte liegen bereits Managementstrategien vor, die für den Wintersport entwickelt und durch engagierte Expert\*innen und gesellschaftlichen Willen unterstützt werden. Dabei werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, die sich gegenseitig ergänzen, um alle drei Schritte des Risikomanagements zu bedienen.

Die Einteilung der Ansätze des Lawinenrisikomanagements im Wintersport umschreibt

institutionelle,  
probabilistische und  
ausbildungsorientierte

Methoden. Institutionelle Ansätze sind offizielle und meist in staatliche Strukturen eingebundene Lawinenwarndienste, die proaktiv zur Lawinenunfallprävention beitragen, besonders über deren Hauptprodukt – das Lawinenbulletin (vgl. Mair und Nairz 2010). Probabilistische Methoden wenden die Informationen von Lawinenwarndiensten in der Planung und direkt im Gelände mittels Entscheidungsbäumen an und bedienen besonders den zweiten Schritt des Risikomanagements, die Entscheidung/Handlung vor Ort (vgl. Munter 2009; Larcher 2012). Ausbildungsorientierte Ansätze versuchen durch eine breite Bildung von potenziellen Wintersportler\*innen über Lawinengefahren und wie damit umgegangen werden kann, das Lawinenunfallrisiko zu minimieren (vgl. Fredston et al. 1994). Auch die ausbildungsorientierten Ansätze bedienen sich der Informationen von Lawinenwarndiensten und lehren die Anwendung der probabilistischen Lawinenkunde.

Folglich verbindet die Voraussetzung gewisser Ressourcen und Infrastrukturen und die Kommunikation der lawinenrelevanten Informationen diese unterschiedlichen Ansätze. Die drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements sind schließlich abstrakt in einem Informationskreislauf darstellbar und weisen somit deutlich auf deren wichtigsten Erfolgsfaktoren hin.

### 7.1 Institutionelles Lawinenrisikomanagement

Bei der Frage nach der Kompetenzverteilung im Lawinenrisikomanagement verfolgt Europa einen der längsten Wege über institutionelle Einrichtungen (vgl. UNESCO 2018). Verschiedene institutionell verankerte *Lawinenwarndienste* aus mehreren Ländern in Europa bilden vereinigt die „European Avalanche Warning Services“ (EAWS) seit 1983 (EAWS 2017<sup>2</sup>: 1). In Bezug auf die Verteilung der Kompetenzen im Risikomanagement sind die Lawinenwarndienste der EAWS nur für die Prävention von Schaden und Tod durch Lawinenereignisse verantwortlich (ebd.). Das heißt, die entsprechenden

Europäische Lawinengefahrenskala (2018/19)				
	Gefahrenstufe	Icon	Schneedeckenstabilität	Lawinen-Auslösewahrscheinlichkeit
5	sehr gross		Die Schneedecke ist allgemein schwach verfestigt und weitgehend instabil.	Spontan sind viele sehr grosse, mehrfach auch extrem grosse Lawinen zu erwarten, auch in mässig steilem Gelände.
4	gross		Die Schneedecke ist an den meisten Steilhängen* schwach verfestigt.	Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung** an zahlreichen Steilhängen* wahrscheinlich. Fallweise sind spontan viele große, mehrfach auch sehr grosse Lawinen zu erwarten.
3	erheblich		Die Schneedecke ist an vielen Steilhängen* nur mässig bis schwach verfestigt.	Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung** vor allem an den angegebenen Steilhängen* möglich. Fallweise sind spontan einige große, vereinzelt aber auch sehr grosse Lawinen möglich.
2	mässig		Die Schneedecke ist an einigen Steilhängen* nur mässig verfestigt, ansonsten allgemein gut verfestigt.	Lawinenauslösung ist insbesondere bei grosser Zusatzbelastung**, vor allem an den angegebenen Steilhängen* möglich. Sehr grosse spontane Lawinen sind nicht zu erwarten.
1	gering		Die Schneedecke ist allgemein gut verfestigt und stabil.	Lawinenauslösung ist allgemein nur bei grosser Zusatzbelastung** an vereinzelt Stellen im extremen Steilgelände* möglich. Spontan sind nur kleine und mittlere Lawinen möglich.

\* Das lawinengefährliche Gelände ist im Lawinenlagebericht im Allgemeinen näher beschrieben (Höhenlage, Exposition, Geländeform):

- mässig steiles Gelände: Hänge flacher als rund 30 Grad
- Steilhänge: Hänge steiler als rund 30 Grad
- extremes Steilgelände: besonders ungünstig bezüglich Neigung (steiler als rund 40 Grad), Geländeform, Kammnähe und Bodenrauigkeit

\*\* Zusatzbelastung:

- gering: einzelner Skifahrer / Snowboarder, sanft schwingend, nicht stürzend; Schneeschuhgeher; Gruppe mit Entlastungsabständen (>10m)
- gross: zwei oder mehrere Skifahrer / Snowboarder etc. ohne Entlastungsabstände; Pistenfahrzeug; Sprengung

spontan: ohne menschliches Zutun

Abbildung 15: Über die Zahl bzw. Farbe der europäischen Lawinengefahrenskala wird am simpelsten die aktuelle Lawinengefahr für eine bestimmte Region und einen gewissen Zeitraum kommuniziert (Quelle: EAWS 2018).

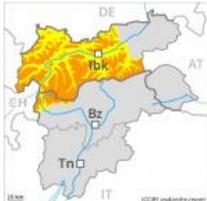
Lawinenwarndienste zählen zu ihren Aufgaben, die Bevölkerung durch effiziente und effektive Services vor Lawinengefahren zu warnen. Dazu zählen beispielsweise die Entwicklung von Standards und praxistauglichen Richtlinien, die Weitergabe von Wissen durch Schulungen oder auch insbesondere die Kommunikation und Bewusstmachung von Lawinengefahren durch Lawinenbulletins, Vorhersageprodukten und standardisierter Informationsweitergabe an alle Nutzer\*innengruppen (ebd.: 1f). Entscheidend ist, dass diese offiziellen Institutionen nur im ersten der drei Schritte des Risikomanagements aus Kapitel 5.7 *Drei Schritte zum Risikomanagement*, also für die *Prävention*, tätig sind. Damit ist gemeint, dass die Lawinenwarndienste der EAWS die erwartete Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der möglichen Größe von Lawinen in Regionen von mindestens 100km<sup>2</sup> prognostizieren, aber keine Einzelhangbeurteilungen durchführen oder gar verschüttete Menschen aus Lawinen bergen (ebd.: 7). Auch wenn sich gezeigt hat, dass die Rettung aus Lawinen durch Kamerad\*innen signifikant höhere Überlebenschancen aufweist, als durch eine professionelle Bergrettung (Slotta-Bachmayr 2005: 350), gibt es dennoch diese in verschiedenen Alpenländern. Institutionell gesehen übernimmt somit die Bergrettung einen Teil des dritten der drei Schritte der Risikomanagements, also die *Reaktion/Bewältigung*, durch freiwillige Mitarbeiter\*innen, wie es beispielsweise in Österreich der Fall ist (BMASK 2009: 37). Der zweite Schritt, die *Entscheidung/Handlung*, in dieser Strategie obliegt in jenen Alpenländern keiner Institution, sondern der sich selbst dem Lawinenrisiko aussetzenden Personen.

Aus der Perspektive des Lawinenrisikomanagements durch Institutionen rückt die *Prävention* durch entsprechende Lawinenwarndienste an zentrale Stelle, da die *Entscheidung/Handlung* im Gelände nicht institutionell vollzogen wird und die *Reaktion/Bewältigung* durch eine offizielle Bergrettung nur eingeschränkt die Überlebenschancen erhöht (Slotta-Bachmayr 2005: 343). Insofern wird das Hauptprodukt der Lawinenwarndienste, das sogenannte *Lawinenbulletin*, als essenziell gewichtet. Das Lawinenbulletin (vgl. Abbildung 16) kommuniziert topographische und meteorologische Faktoren der Lawinenbildung in Verbindung mit Lawinengefahren an die Endnutzer\*innen, die zu 96% das Lawinenbulletin vor einer Tour auch lesen (Eckerstorfer 2008: 36). Für die Kommunikation dieser räumlichen Informationen werden vorrangig unterschiedliche Medien der Geokommunikation verwendet, die nach dem Prinzip der Informationspyramide strukturiert sind (EAWS 2017<sup>2</sup>: 7). Diese Struktur legt fest, dass die am einfachsten zu verstehenden Informationen als erstes präsentiert werden. Das ist demnach die Lawinengefahrenstufe, die weiter regional und eventuell höhenabhängig durch die Lawinengefahrenstufenkarte differenziert wird (Burkeljca 2013: 416; Müller et al. 2016: 1229). Die Lawinengefahrenstufe drückt die zu erwartende Lawinengefahr für einen bestimmten Zeitraum und eine gewisse Region in Form einer Zahl zwischen 1 und 5 aus (Müller et al. 2016: 1129) und wird bei europäischen Lawinenwarndiensten von der Europäischen Lawinengefahrenskala (vgl. Abbildung 15) bzw. der Bayrischen Matrix entnommen (EAWS 2017<sup>2</sup>: 7). Weitere raumrelevante Informationen werden über Symbole, Texte, Bilder und Videos vermittelt (vgl. Neugebauer und Kriz 2017), die nach der Informationspyramide zusätzliche Details über die Situation beschreiben. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die topographischen Merkmale der aktuellen Lawinengefahr (Burkeljca 2013: 416) und die vorherrschenden typischen Lawinenprobleme, wie die aktuellen Lawinengefahrenmuster für ein interessiertes Publikum gelegt (EAWS 2017<sup>2</sup>: 8).

Lawinen.report  
**Dienstag 02.02.2021**  
 Veröffentlicht am 01.02.2021 um 17:00



### Gefahrenstufe 3 - Erheblich





1900m

**Tendenz: Lawinengefahr bleibt gleich** →  
 am Mittwoch, den 03.02.2021



Altschnee



2300m  
1900m



Tribschnee

**Gebietsweise heikle Lawinensituation.**

Die Verhältnisse für Schneesport abseits gesicherter Pisten sind zwischen etwa 1900 und 2300 m heikel. Schon einzelne Wintersportler können Lawinen auslösen. Dies vor allem an eher schneearmen Stellen sowie an Übergängen von wenig zu viel Schnee. Lawinen können in tiefe Schichten durchreißen und gefährlich groß werden. Fernauslösungen sind möglich.

Zudem sind die umfangreichen Tribschneeansammlungen der letzten Tage vor allem in hohen Lagen und im Hochgebirge teils noch störanfällig. Gefahrenstellen und Auslösebereitschaft nehmen mit der Höhe zu. Die Gefahr von Gleitschneelawinen bleibt bestehen. Zonen mit Gleitschneerissen sollten möglichst gemieden werden. Viel Erfahrung in der Beurteilung der Lawinengefahr und große Zurückhaltung sind nötig.

#### Schneedecke

**Gefahrenmuster**    gm.7: schneearm neben schneereich    gm.2: gleitschnee

Es fällt vor allem im Westen und im Norden Schnee oberhalb von rund 1200 m. Es fallen gebietsweise 20 bis 30 cm Schnee. Dies vor allem im Westen und im Nordwesten. Der Wind bläst mäßig bis stark. Im mittleren Teil der Schneedecke sind störanfällige Schwachschichten vorhanden. Dies vor allem zwischen etwa 1900 und 2300 m an allen Expositionen. Der untere Teil der Schneedecke ist kantig aufgebaut. Die Tribschneeansammlungen der letzten Tage liegen auf weichen Schichten, besonders in hohen Lagen und im Hochgebirge.

Die Schneedecke ist in tiefen und mittleren Lagen feucht.

#### Tendenz

Die Verhältnisse bleiben heikel.

Abbildung 16: Das Lawinenbulletin des Tiroler Lawinenwarndienstes als Mitglied der EAWS teilt die Informationen nach der Informationspyramide auf. Die Gefahrenstufe an oberster Stelle bis zu detaillierten Informationen über die Schneedecke können Nutzer\*innen von Laie bis Expert\*in dem Lawinenbulletin entnehmen (Quelle: LWD Tirol 2021).

Mithilfe all jener Informationen, die über die Webseiten der Lawinenwarndienste für die Lawinenunfallprävention an ihr Publikum kommuniziert werden, können die Endnutzer\*innen ihr Verhalten im Gelände entsprechend anpassen und Lawinenunfälle vorbeugen. Die hohe Präzision und Verlässlichkeit der vermittelten Informationen über die aktuelle Lawinengefahr durch Lawinenwarndienste resultieren aus der Arbeitsweise und der Expertise jener Institutionen (vgl. Mair und Nairz 2010). Federführend für das angesammelte Wissen der Lawinenkunde sind nicht nur

Erfahrungswerte der Praxisleute innerhalb und außerhalb der Lawinenwarndienste, sondern besonders auch das SLF (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung) in Davos in der Schweiz. Wissenschaftliche Untersuchungen und Experimente mit Schnee tragen maßgeblich zur Expertise über Lawinenkunde in Europa, aber auch international, bei (SLF 2020).

Während die Ressourcen hinter Wissenschaft und Forschung auf der Hand liegen, zeigt beispielhaft die Arbeitsweise des Tiroler Lawinenwarndienstes den Aufwand für Lawinenwarndienste, um ein entsprechendes Produkt der Lawinenunfallprävention an die Nutzer\*innen zu kommunizieren. Angefangen bei der Datenerhebung bis zur Geokommunikation über IT-gestützte Systeme arbeiten Lawinenwarndienste global nach demselben Prinzip. Die erhobene und gefilterte Datenfülle dient als Ausgangsbasis, um die Situation der Schneedeckenstabilität im verantwortlichen Gebiet einzuschätzen und eine Lawinengefahr davon abzuleiten (Amt der Tiroler Landesregierung 2001: 14). Diese Datenfülle entsteht aus einem Netz von folgenden Datenquellen (ebd.: 17):

- automatische **Bodenwetterstationen**: Der Lawinenwarndienst Tirol betreibt für sein Gebiet seit den 90er Jahren automatische Wetterstationen und weist eines der dichtesten Messnetze weltweit auf.
- **Beobachter\*innen**: Ausgebildete Beobachter\*innen des Lawinenwarndienstes Tirol sammeln in Tirol verteilt Informationen, nicht nur über Wettervariablen, sondern auch Daten über die Schneedecke durch Schneedeckenuntersuchungen.
- **Wetterdienststelle**: Offizielle Wetterdienststellen liefern für Lawinenwarndienste zugeschnittene Informationspakete oder sind direkt mit den Lawinenwarndiensten institutionell verbunden.
- **Geländeerkundungen**: Mitarbeiter\*innen der Lawinenwarndienste erheben kontinuierlich Daten durch Geländeerkundungen wie Schneeprofilaufnahmen, Unfallanalysen usw.
- **Rückmeldungen von Wintersportler\*innen**: Durch diesen Crowd-basierten Ansatz haben Wintersportler\*innen die Möglichkeit, eigene Beobachtungen nach einem Schema an Lawinenwarndienste zu melden, um den Informationsgehalt quantitativ aufzubessern.
- **Angrenzende Lawinenwarndienste**: Ständiger Austausch über die aktuelle Gefahrensituation zwischen angrenzenden Lawinenwarndiensten werten die Gefahreinschätzung auf.

Durch diese breite und vielfältige Datengewinnung können Lawinenwarndienste die Lawinengefahr präzise über ein Lawinenbulletin prognostizieren und entsprechend kommunizieren. In Anbetracht des dahinterstehenden Aufwandes durch technische, finanzielle und menschliche Ressourcen, sowie der verfügbaren Infrastruktur und der jahrelangen Erfahrung in der Lawinenwarnung, kombiniert mit wissenschaftlichen Erkenntnissen, kann das Lawinenbulletin als ein High-End Produkt und derzeit als die beste Methode der Lawinenunfallprävention betrachtet werden (Neugebauer und Kriz 2019: 59f). Durch institutionelle Lawinenwarndienste können Wintersportler\*innen die Variable Eintrittswahrscheinlichkeit von Lawinenereignissen einschätzen und somit auf den „Wert“ dieser Variable Rücksicht nehmen.

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, p_{Oj, Si}, A_{Oj}, v_{Oj, Si})$$

$R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$

$p_{Si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$

$p_{Oj, Si}$  = Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$

$A_{Oj}$  = Wert von Objekt  $j$

$v_{Oj, Si}$  = Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$

Bei einer niedrigen Lawinengefahrenstufe, die die Eintrittswahrscheinlichkeit von Lawinen in einem gewissen Gebiet repräsentiert, ist durch die Risikoformel bestimmt das Risiko geringer. Wintersportler\*innen können sich dadurch bei einem geringeren Risiko den Lawinengefahren aussetzen.

Obwohl die Strategie des Lawinenrisikomanagements durch Institutionen insbesondere in der Prävention als Erfolgsmodell des Alpenraumes betrachtet werden kann, bleibt fraglich, ob diese Strategie auch für entlegene Gebirgsregionen die am besten geeignete ist. Andere Managementstrategien, wie die probabilistische Lawinenkunde oder der ausbildungsorientierte Ansatz, zeigen gewissermaßen Alternativen auf, aber beruhen auf den Ergebnissen von Lawinenwarndiensten und werden in weiterer Folge genauer beschrieben und diskutiert.

## 7.2 Probabilistisches Lawinenrisikomanagement

Mit der Einführung von Lawinenwarndiensten war ein essenzieller Schritt zur Lawinenunfallprävention getan. Großflächige Einschätzungen der Lawinengefahren werden seitdem über das Lawinenbulletin kommuniziert, um zur Unfallprävention beizutragen (EAWS 2017<sup>2</sup>: 7). Wintersportler\*innen können aber im unkontrollierten Gelände mithilfe des Lawinenbulletins, aufgrund der topographischen Ungenauigkeiten noch keine exakte lokalen Risikobeurteilungen durchführen (ebd.). Bis Anfang der 90er Jahre war eine Hangbeurteilung Expert\*innen oder dem „Bauchgefühl“ durch die sogenannte „analytische Lawinenkunde“ vorbehalten (Behr und Mersch 2021: 40). Erst durch die Einführung der sogenannten *probabilistische Lawinenkunde* 1992 durch Werner Munter, haben strategische Methoden Eingang in das Lawinenrisikomanagement im Wintersport gefunden (Munter 2009: 121). Munter hat somit den Grundbaustein gelegt, auf dem aufbauend vereinfachte (Elementare Reduktionsmethode 1997, Goldene Regel 2002, Bierdeckel 2004) und aktuellere Methoden (Stop or Go 1999) teilweise von ihm selbst, aber auch von jüngeren Expert\*innen, wie Robert Purtscheller und Michael Larcher, entwickelt wurden (vgl. Munter 2007; Larcher 2012). Der Kern dieser Managementstrategien liegt in der Betrachtung von Unfallstatistiken, um die daraus gelernten Risiken mithilfe von Entscheidungsbäumen bzw. Berechnungen zu reduzieren. Anzuwenden ist das probabilistische Lawinenrisikomanagement teilweise vor, aber hauptsächlich während einer Tour. Somit kann diese Methode besonders in den zweiten der drei Schritte des Lawinenrisikomanagement, der *Entscheidung/Handlung*, gelegt werden und stellt eine sinnvolle Erweiterung des präventiven Risikomanagements der Lawinenwarndienste dar.

### 7.2.1 Der Kern der Reduktionsmethode

Auch wenn Munter in den 90er Jahren als Querdenker gesehen wurde und er 1992 kaum Akzeptanz in Expert\*innenkreisen fand („dass er spinnt, wussten wir, aber jetzt hat's ihm völlig ausgehängt“ (Munter 2009: 121)), lässt sich die Entwicklung der Reduktionsmethode über die genaue Betrachtung von Statistiken und sinnvollen Kombinationen erklären.

Munter untersuchte eine Unfallstatistik, die die Lawinenopferzahl pro Steilheitsklasse darstellte und zeigte, ähnlich wie in Kapitel 6.2 *Lawinengefahren*, wie das Potential einer Lawinenauslösung mit größerer Hangneigung steigt; die Unfälle gehen jedoch ab ca. 40° Hangneigung zurück (ebd.: 124, 201). Zusätzlich berechnete Munter die Verteilung der Schwachstellen nach den Hangexpositionen und stellte fest, dass der Sektor Nordwest über Nord bis Nordost mit 50% der Schwachstellen der gefährlichste ist

(ebd.: 124f). Die Verteilung der Schwachstellen in der Schneedecke setzt Munter in weiterer Folge in Zusammenhang mit der Lawinengefahrenstufe nach der Europäischen Lawinengefahrenstufenskala (ebd.: 100ff, 198ff). Als letzte Größe zählt Munter die Gruppengröße und deren Verhalten hinzu. Die Kombination von nun der Unfallstatistik, über die Steilheitsklassen und der Hangexposition (Faktor Gelände) und der Gruppengröße (Faktor Mensch) mit der Lawinengefahrenstufe (Faktor Wetter/Schneedecke), erlaubt es ihm eine regelbasierte Entscheidungsstrategie zu entwickeln, die er die *Reduktionsmethode* nennt. Mithilfe dieses probabilistischen Lawinenrisikomanagements sollten sich nach Munter die Zahl der Lawinentoten pro Jahr halbieren. Konsequenterweise gibt die Reduktionsmethode „[...] eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit für Lawinentote in Abhängigkeit zu Gefahrenstufe und Geländeparametern [...] auf Basis langjähriger Unfalldaten [...]“ (Behr und Mersch 2021: 40). Die erste Version der Reduktionsmethode, die professionelle Reduktionsmethode (1992), war noch für Expert\*innen und professionelle Winterbergsteiger\*innen gedacht. Beobachtungen im Gelände über lawinenrelevante Gefahrenzeichen und die Beherrschung von Rechenmodellen sind nur zwei Fähigkeiten, die Anwender\*innen für die professionelle Reduktionsmethode benötigen (Munter 2009: 126). Mit der elementaren Reduktionsmethode (1997) vereinfachte Munter sein Prinzip (vgl. Abbildung 17). Die drei wichtigsten Ansprüche an die elementare Reduktionsmethode sind (ebd.: 120f):

1. Anwender\*innen benötigen *keine* besonderen *Schnee- und Lawinenkenntnisse*
2. Anwender\*innen müssen nur das *Lawinenbulletin* verstehen können
3. Nur fixe Faktoren *Hangsteilheit* und *Exposition* sind notwendig (keine variablen Faktoren)

Mit den Ansprüchen an die elementare Reduktionsmethode werden zwei wesentliche Fähigkeiten von Nutzer\*innen gefordert: erstens das richtige Interpretieren des Lawinenbulletins und zweitens das Lesen einer topographischen Karte in einem für das Gelände und die Hangbeurteilung geeigneten Maßstab (ebd.: 121). Für Nichtexpert\*innen reicht die Interpretation des Lawinenbulletins theoretisch nur durch das Ablesen der Gefahrenstufe für die entsprechende Region aus. Eine Zahl zwischen 1 und 5 lässt sich ohne besondere Kenntnisse ablesen und in den Entscheidungsbaum der Reduktionsmethode einfließen. Das Auslesen der Hangneigung und der Hangausrichtung aus einer topographischen Karte (Munter fordert einen Maßstab von 1:25.000 im Kontext des Alpenraums (ebd.: 118f)) setzt generell das

Vorhandensein einer entsprechenden Karte voraus und die Fähigkeit, Karten lesen zu können (vgl. Kriz 2009). Grundsätzlich ist dadurch die elementare Reduktionsmethode für Wintersportläien geeignet, da trotz auf Kosten der Vereinfachung im Vergleich zur professionellen Reduktionsmethode, ein zwar engerer Bewegungsraum für die Tourenmöglichkeiten bleibt, aber als akzeptabel gesehen wird (Munter 2007: 56).

Elementare Reduktionsmethode	
Gefahrenstufe des Bulletins	Empfohlene Hangneigung (steilste Hangpartie)
2 MÄSSIG	weniger als 40°
3 ERHEBLICH	weniger als 35°
4 GROSS	weniger als 30° Verzicht auf Spitzkehrhänge

- Steilhänge ab 30° ohne Spuren:  
 → Entlastungsabstände min.10m im Aufstieg, in der Abfahrt mehr  
 - Ausserhalb und unterhalb der im Bulletin angegebenen ungünstigen Hang- und Höhenlage:  
 → in der Regel eine Gefahrenstufe niedriger  
 - Knapp ausserhalb der angegebenen Hang- und Höhenlagen:  
 → nicht an die Grenze gehen



Beispiel:  
 schwarz = ERHEBLICH  
 weiss = MÄSSIG

Abbildung 17: Die Elementare Reduktionsmethode nach Werner Munter ist für Laien möglichst einfach gehalten (Quelle: Munter 2009: 210).

### 7.2.2 Stop or Go

Eine Kombination aus der Einfachheit der elementaren Reduktionsmethode, der Freiheitsgrade der klassischen Beurteilung durch das Erkennen von Gefahrenzeichen, der typischen Lawinenprobleme und gewissen Standardmaßnahmen, versucht die Methode des *Stop or Go*, entwickelt von Robert Purtscheller und Michael Larcher, zu bewerkstelligen. Wie schon von Munter propagiert, wird auch beim Stop or Go ein Entscheidungsbaum abgearbeitet, um zu einer Entscheidung mit vertretbarem Risiko (Halbierung aller Lawinenunfälle pro Jahr) im Gelände zu kommen. Am Ende des Verfahrens soll ein eindeutiges Ergebnis herauskommen, das eine klare Handlung kommuniziert: stop or go (vgl. Larcher 2012). Diese Strategie arbeitet mit der Balance zwischen möglichst viel Freiraum für Wintersportler\*innen im unkontrollierten Gelände auf der einen Seite und der radikalen räumlichen Einschränkung auf der anderen Seite.

Der Algorithmus von Stop or Go ist in zwei „Checks“ geteilt, wobei Check 1 die Anwendung der elementaren Reduktionsmethode beinhaltet und Check 2 das Erkennen von Gefahrenzeichen in Bezug auf die typischen Lawinenprobleme erfordert (vgl. Abbildung 18). Stop or Go verwendet folglich den probabilistischen Ansatz, aber kann auch als gesamte Managementstrategie gesehen werden (Behr und Mersch 2021: 40). Check 1 legt den statistisch erhobenen Geländeraum fest, indem sich Wintersportler\*innen bewegen dürfen mit dem Vorbehalt, dass das Risiko in einer Lawine zu sterben dabei um 2/3 reduziert wird (Larcher 2012: 56). Einschränkungen gibt es durch die Hangneigung in Kombination mit der Lawinengefahrenstufe des ausgegebenen Lawinenbulletins. Wie bei Munter gelten die Regeln (ebd.):

- Bei Gefahrenstufe 2 nur flachere Bereiche (ca. 20m um die eigene Spur) als 40° betreten
- Bei Gefahrenstufe 3 nur flachere Hänge als 35° betreten
- Bei Gefahrenstufe 4 nur flachere Geländekammern als 30° betreten
- Bei Gefahrenstufe 5 Verzicht auf Touren

Gewisse Freiheitsgrade erlauben es, den Geländeraum zu vergrößern wie günstige Hangexpositionen, die Korrektur der Gefahrenstufe oder sogenannte „Go-Faktoren“. Diese Go-Faktoren bezeichnen Ausnahmen, die eine Situation verharmlosen. Stark verspürte Hänge, dichter Wald oder ein Schmelzharschdeckel sind Go-Faktoren, die die Situation begünstigen (ebd.: 58). Somit kann ein „Stop“ aus Check 1 zu einem „Go“ werden.

Ergibt Check 1 ein „Go“, soll die Situation Check 2 unterzogen werden, wo die Frage gestellt wird, ob folgende Situationen für einen selbst gelten bzw. gefährlich sind:

- kritische Neuschneemenge (entspricht Lawinenproblem *Neuschnee*)
- Frischer Tribschnee (entspricht Lawinenproblem *Tribschnee*)
- Setzungsgeräusche/-risse (entspricht Lawinenproblem *Altschnee*)
- Frische Lawinen (entspricht Lawinenproblem *Altschnee*)
- Starke Durchfeuchtung (entspricht Lawinenproblem *Nassschnee*)

Wenn all jene Situationen aus Check 2 nicht eintreffen, ist dies ein klares „Go“. Wenn schon, dann soll die Tour abgebrochen bzw. auf den beurteilten Hang verzichtet und ausgewichen werden (ebd.: 59). Um Check 2 jedoch verlässlich durchführen zu können wird vorausgesetzt, dass die Nutzer\*innen von Stop or Go im Stande sind, jene typischen Lawinenprobleme zu erkennen; gewisse Vorkenntnisse zur Lawinenkunde sind obligat.

Als dritte Sicherheitsschleife im Stop or Go dienen die sogenannten Standardmaßnahmen. Dies sind Maßnahmen, die unabhängig von jeder Situation einzuhalten sind, um das Risiko prophylaktisch zu senken (ebd.: 60). Larcher (2012) vergleicht die Standardmaßnahmen mit dem Anschnallen des

Sicherheitsgurtes beim Autofahren, das Sinn ergibt, egal wohin oder wie weit die Autofahrt führt. So gibt es im Stop or Go jeweils fünf Standardmaßnahmen für die Planung einer Tour und während des Aufenthaltes im Gelände (ebd.: 61ff):

Standardmaßnahmen Planung:

- Lawinenbulletin lesen
- Wetterbericht lesen
- Karte/Führer/Internet für die Tourenausswahl heranziehen
- Gruppe einschätzen
- Notfallausrüstung mitführen

Standardmaßnahmen Gelände:

- Funktionsüberprüfung des Lawinenverschüttetensuchgerätes
- Abstände einhalten zwischen Wintersportler\*innen
- Geländeformen sicherheitsbedingt nutzen
- Orientierung stätig aufrechterhalten
- Kommunikation und Verhalten der Gruppe anpassen

Die Standardmaßnahmen fordern bei Anwender\*innen des Stop or Go Erfahrung im Umgang mit den notwendigen Informationsquellen und der Notfallausrüstung, sowie der Interpretation des Geländes und Kommunikation in der Gruppe. Voraussetzungen dafür sind nicht nur entsprechende Fähigkeiten der Anwender\*innen, sondern auch das Vorhandensein der Informationsquellen, wie ein Lawinenbulletin, ein Wetterbericht, topographische Karten, Führerliteratur, Notfallausrüstung usw. Sowohl die Punkte der Standardmaßnahmen bei der Planung als auch im Gelände klingen für routinierte Wintersportler\*innen selbstverständlich und auch einfach umzusetzen. Doch im Detail betrachtet muss die gesamte Sicherheitsausrüstung erst angeschafft und jegliche Fähigkeiten erlernt werden, um das Stop or Go sinnvoll einsetzen zu können.



Abbildung 18: Die essenziellen Punkte des Stop or Go werden auf einem Kartenkärtchen zum Mitnehmen zusammengefasst (Quelle: Larcher 2012: 55).

Mithilfe von probabilistischem Lawinenrisikomanagement, wie das Stop or Go oder die Reduktionsmethode, wird vor allem im Kontext der Risikoberechnung die *Präsenzwahrscheinlichkeit* der Wintersportler\*innen gegenüber der *Eintrittswahrscheinlichkeit* von Lawinenereignissen beeinflusst.

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

- $R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$   
 $p_{si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$   
 $p_{oj,si}$  = **Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$**   
 $A_{oj}$  = Wert von Objekt  $j$   
 $v_{oj,si}$  = Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$

Durch eine regelbasierte Anleitung, wann und wo Wintersportler\*innen im unkontrollierten Gelände präsent sein sollen, wird das Risiko entsprechend reduziert. Da das Stop or Go neben der Reduktionsmethode zusätzlich eine gesamte Managementstrategie anbietet, wird zumindest theoretisch die Variable *Verletzlichkeit* in der Risikoformel bedient. Zwar beschreibt das Stop or Go Rettungsmaßnahmen und -abläufe, aber sieht keine spezielle Übung und Kurse vor. Das Stop or Go ist schließlich ein theoretisches Konzept und kann per se noch nicht den Wert der Verletzlichkeit senken.

Für routinierte Wintersportler\*innen umfasst die Strategie des Stop or Go einen Gesamtplan für das Risikomanagement in Bezug auf Lawinen. Die Reduktionsmethode und entsprechende Abwandlungen nach Munter können nur als Werkzeug im Gelände und teilweise in der Planung betrachtet werden. Was diese beiden Methoden neben dem probabilistischen Ansatz miteinander verbindet, sind gerade in Bezug auf diese Arbeit die Voraussetzungen für die Anwendung. Neben einer Reihe an Fähigkeiten und Wissen, die von Nutzer\*innen mitgebracht werden müssen, sind besonders die Informationsquellen kritisch zu betrachten. Der Ansatz des Lawinenrisikomanagements der probabilistischen Lawinenkunde benötigt allem voran eine Lawinengefahrenstufe, die über das institutionelle Lawinenrisikomanagement durch Lawinenwarndienste im Lawinenbulletin veröffentlicht wird. Ist diese Gefahrenstufe nicht vorhanden, kann der strategische Ansatz der Reduktionsmethode oder des Stop or Go nicht angewendet werden. Aus diesem Grund entwickelte Munter (2009: 208f) zusätzlich eine Methode, wie Expert\*innen selber eine Lawinengefahrenstufe erstellen können. Aber auch dafür wären jegliche Informationsquellen notwendig. Weiters wird zumindest die Hangsteilheit benötigt, die im Gelände durch unterschiedliche Methoden erhoben werden kann und in der Planung aus topographischen bzw. Hangneigungskarten abgelesen wird. Soll Check 2 im Stop or Go Entscheidungsbaum durchgeführt oder die Standardmaßnahmen eingehalten werden, dann ist eine Reihe von weiteren Produkten für die Anwendung dieser Methode notwendig.

Ob all jene Produkte, wie auch entsprechende Fähigkeiten der Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen vorhanden sind, ist fraglich. Das heißt, wenn probabilistische Ansätze des Lawinenrisikomanagements in entlegenen Gebirgsregionen angewendet werden sollen, dann müssten sich Nutzer\*innen die fehlenden Voraussetzungen selbst herbeiführen.

Für entlegene Gebirgsregionen ein nicht uninteressanter Ansatz wird seit jüngerer Zeit vom Lawinenexperten Lukas Ruetz propagiert (Ruetz 2021). Dieser Ansatz gibt der Lawinengefahrenstufe wenig Bedeutung, dafür umso mehr den 5 typischen Lawinenproblemen. Ruetz erklärt in seinen Vorträgen über die sogenannte *praktische Lawinenkunde*, dass gewisse Lawinenprobleme unabhängig von der Gefahrenstufe oder der Hangsteilheit örtlich verteilt bestehen und es gilt diese zu erkennen und den Umgang damit zu vollziehen. Folglich bedeutet dies, dass der Ansatz von Ruetz (2021) theoretisch ohne Lawinengefahrenstufe oder dem Kategorisieren von Hangneigungen in gewisse Klassen auskommt. Ein Algorithmus und ein fünfteiliger Entscheidungsbaum liegen dennoch vor. Die Vorgangsweise ist daher wie folgt:

1. Lawinenproblem(e) im Gelände erkennen (ein Lawinenbulletin ist trotzdem hilfreich, da hier die aktuellen Lawinenprobleme kommuniziert werden)
2. Entscheidungsbaum für das entsprechende Lawinenproblem abarbeiten

Folglich zielt der Ansatz der praktischen Lawinenkunde nicht auf institutionelle Produkte der Lawinenwarnung oder der statistischen Halbierung der Lawinentoten ab, sondern auf das eigenständige Erkennen und Verstehen der Gefahrensituation. Dazu bedient sich der Ansatz an vereinfachter Mustererkennung und damit verbundenen Verhaltensregeln (Entscheidungsbaum). Ruetz (2021) weist darauf hin, dass für die praktische Lawinenkunde zwar ein differenzierteres Bild der Situation und des Gefahrenausmaßes entsteht, aber einerseits Wissen über Schnee und Lawinen und andererseits einiges an Erfahrung vorhanden sein muss. Ähnlichkeiten von Ruetz' (2021) Ansatz der praktischen Lawinenkunde werden in der von Behr und Mersch (2021: 40) als analytische Lawinenkunde bezeichneten Methode gefunden. Der wesentliche Unterschied liegt aber in der deutlichen Einfachheit der praktischen Lawinenkunde durch die Kategorisierung der 5 Lawinenprobleme im Vergleich zur analytischen. Ob durch Vorträge von Lukas Ruetz (2021) Wintersportler\*innen die praktische Lawinenkunde für ihr Risikomanagement im unkontrollierten Gelände beherrschen werden, bleibt aber fraglich. Konsequenterweise muss diese Kritik der Anwendungsfähigkeit auch an das Risikomanagement von Institutionen, wie an die probabilistische Lawinenkunde, gebracht werden. Ausbildungen könnten dafür eine Abhilfe sein.

### 7.3 Ausbildungsorientiertes Lawinenrisikomanagement

Die Strategie des institutionellen Lawinenrisikomanagements bedient besonders die *Prävention* des Risikos durch die Geokommunikation der Lawinengefahren. Der Ansatz der probabilistischen Lawinenkunde bietet ein Instrument für das Ableiten vor Ort von *Entscheidungen/Handlungen* durch Entscheidungsbäume und ein ganzheitliches Konzept für das Planen und Vorgehen auf einer winterlichen Bergtour. Obwohl diese Managementstrategien für unerfahrene Wintersportler\*innen bereits Lösungen bieten, werden trotzdem Ressourcen, Wissen und Fähigkeiten vorausgesetzt. Daher gibt es Ansätze das Lawinenunfallrisiko durch Ausbildungen und Kurse zu reduzieren.

Ausbildungsorientierte Lawinenrisikomanagementstrategien zielen besonders auf den Faktor Mensch in Bezug auf Lawinenunfälle ab und versuchen diesen in Verbindung mit den anderen Faktoren Schnee, Wetter und Gelände, die zusammengefasst die objektiven Lawinengefahren bilden, zu setzen (Fredston et al. 1994: 487). Das Ziel von Ausbildungsstrategien ist die Lernkurve zu beschleunigen, um Entscheidungen vor und während einer Tour richtig zu fällen (ebd.: 477). Da die Anwendung dieser Managementstrategie auf die Zeit im Gelände zielt, fordert der Lehriansatz in Lawinenkursen eine partizipative Teilnahme der Lernenden. Folglich gelten die Prinzipien „learning by doing“, „hands-on“ und praxis-orientiertes Training, sodass die Teilnehmer\*innen eine Ausbildung erhalten, die auf eigenen Entscheidungen fundiert (ebd.: 483).

Solche Ausbildungen können von kleinen Teilbereichen im Lawinenrisikomanagement, wie die Lawinenverschüttetensuche, über ganzheitliche Ansätze von der Planung einer Tour bis zur Ereignisbewältigung reichen (vgl. Ortovox Safety Academy 2020; Lawinenkurs.at 2020; Fallon und Latosuo 2012). Lawinenkurse in Theorie und Praxis werden weltweit auf verschiedenen Kontinenten von Lawinenwarndiensten, Ausrüstungsfirmen, Alpin- und Bergschulen oder sonstigen Organisationen angeboten und durchgeführt (vgl. UAC 2020; Avalanche.org 2020; Ortovox Safety Academy 2020; Alpenverein Akademie 2020; Central Campus 2020). Im englischsprachigen Raum geht der

ausbildungsorientierte Ansatz des Lawinenrisikomanagements stark von den Lawinenwarndiensten aus (UAC 2020; NZAA 2020). Im Alpenraum übernehmen diese Aufgabe unterschiedliche Institutionen wie alpine Vereine, Sportakademien oder Ausrüstungsfirmen (Alpenverein Akademie 2020; BSPA 2020; Ortovox Safety Academy 2020).

Während die Qualität und Quantität der durchgeführten Ausbildungsprogramme von Organisation zu Organisation und in unterschiedlichen Ländern variiert, gibt es wenige durchgehende Ausbildungsstrategien. Beispielsweise bietet das Avalanche Training Center der Schweiz neben „Safety Workshops“ Trainingsstandorte an, wo Interessierte selbstständig in einer entsprechenden Anlage im Schnee die Verschüttetenrettung üben können (Avalanche Training Center 2020). Auf der anderen Seite hält Michael Larcher jedes Jahr einen kostenlosen Theorievortrag über Lawinenkunde im Format des „LawinenUpdates“ (ÖAV 2020). Für Wintersportler\*innen ist folglich der Zugang zu Lawinenkursen und entsprechenden Ausbildungen durch die Vielzahl an unterschiedlichen Angeboten chaotisch organisiert. Es fehlt beispielsweise in Österreich ein klares und durchsichtiges Ausbildungs- und Kurskonzept, das sich durch alle Arten der Lawinen bezogenen Bildungsangebote zieht.

Hingegen hat sich in den USA und Kanada ein Konzept seit 2004 durchgesetzt, das zwar ursprünglich für Jugendliche gedacht war, aber mittlerweile für alle Altersklassen für Lawinenausbildungen angewendet wird (Gordon et al. 2016: 291). Dieses Konzept bekannt als KBYG (Know Before You Go) wird von den nordamerikanischen Lawinenwarndiensten propagiert bzw. angeboten und wurde vom *Utah Board of Education health and physical education specialist* akzeptiert (Fallon und Latosuo 2012: 789). Stand 2016 haben in Utah über 200.000 und in anderen nordamerikanischen Bundesstaaten und Ländern über 100.000 Personen an dem Programm teilgenommen (Gordon et al. 2016: 291). Jedes Jahr wird das Programm KBYG 150 bis 200 Mal an 8.000 bis 15.000 Menschen präsentiert (ebd.: 292). Der Einfluss dieses Programms ist quantitativ sehr groß und kann als allgemein akzeptierter Ansatz des ausbildungsorientierten Lawinenrisikomanagements in Nordamerika gesehen werden.

Das Ziel von KBYG ist in einem kurzen und effizienten Programm ein Lawinengefahren**bewusstsein** für die allgemeine und in Bezug auf Lawinengefahren unerfahrene Bevölkerung zu schaffen. Dabei wurde das Programm so strukturiert, dass es eine hohe Aufmerksamkeitsrate hat, extrem einfach zu verstehen und massentauglich ist (ebd.: 291). Der Kern von KBYG sind fünf Punkte, die zu beachten sind, wenn sich jemand in Lawinen gefährdetes Gebiet begibt (ebd.: 290):

1. Get the Gear (Anschaffung der Sicherheitsausrüstung)
2. Get the Training (Lernen mit der Ausrüstung umzugehen)
3. Get the Forecast (Lesen des Lawinenbulletins)
4. Get the Picture (lokale Beurteilung vor Ort)
5. Get out of Harm's way (räumliches Ausweichen der Gefahrenbereiche)

Die fünf Punkte stellen eine Anleitung in Form eines ganzheitlichen Konzepts des Risikomanagements dar. Zwar ist dieses Konzept eine präventive Maßnahme, adressiert aber einige Punkte an die Schritte der *Entscheidung/Handlung* und der postaktiven *Reaktion/Bewältigung*. Punkt 1 und 2 dienen der Lawinenunfall**bewältigung**, Punkt 3 der *Prävention* und Punkt 4 und 5 der *Entscheidung/Handlung*.

KBYG und andere Ausbildungsprogramme zeigen im Grunde den möglichst sicheren Umgang mit Lawinengefahren und nutzen vorhandene Werkzeuge, wie die probabilistische oder analytische Lawinenkunde, die Informationen des Lawinenbulletins, oder auch topographischen Karten und Wettervorhersagen. Ausbildungsorientierte Ansätze des Lawinenrisikomanagements sind stark vom Inhalt des Programmes abhängig und können, je nachdem welche Inhalte kommuniziert werden sollen, unabhängig von ressourcenintensiven Risikomanagementprodukten, wie das Lawinenbulletin, funktionieren. Dennoch sind jegliche angebotene Lawinenkurse, wie beispielsweise das KBYG, so aufgebaut, dass die Einschätzung der Lawinengefahr über die Nutzung der entsprechenden Produkte

von Lawinenwarndiensten angewiesen ist. Das Prinzip, demnach Menschen, die sich freiwillig durch Wintersport einem Lawinenrisiko aussetzen, für das Lawinengefahrenbewusstsein ausgebildet werden, könnte in entlegenen Gebirgsregionen vollzogen werden, sofern die Inhalte der Ausbildung für den Stand der Infrastruktur bzw. verfügbaren Informationsquellen angepasst werden.

Zusammenfassend für jegliche Ausbildungsprogramme, sowohl im englischsprachigen wie im Alpenraum, konzentriert sich dieser Ansatz vorrangig auf den dritten Schritt der *Reaktion/Bewältigung* durch intensives Training der Rettungsmethoden. Folglich wird besonders die Variable Verletzlichkeit in der Risikoformel reduziert, um das Risiko zu minimieren.

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, p_{Oj,Si}, A_{Oj}, v_{Oj,Si})$$

- $R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$
- $p_{Si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$
- $p_{Oj,Si}$  = Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$
- $A_{Oj}$  = Wert von Objekt  $j$
- $v_{Oj,Si}$  = **Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$**

Ob ausbildungsorientierte Ansätze unter Betrachtung der Risikominimierung ihren Zweck erfüllen oder möglicherweise eine unerwünschte übermäßige Selbsteinschätzung hervorrufen, untersuchte McCammon (2000) in einer Studie. Dafür ließ er Lawinenunfälle und den Ausbildungsgrad der Betroffenen korrelieren. Die Ergebnisse zeigen, dass mit steigendem Ausbildungsgrad das Lawinenunfallrisiko nicht gesenkt wird und sogar jene Gruppe, die in die Kategorie Basisausbildung fällt, ein erhöhtes Risiko eingehen und es zu mehr Unfällen kommt, als bei Wintersportler\*innen ohne Ausbildung. Der Grund für dieses überraschende Ergebnis ist, dass besser ausgebildete Personen zwar besser ausgerüstet sind und mit mehr Planung auf Tour gehen, aber sich auch stärker exponieren; die Variable Präsenzwahrscheinlichkeit wird erhöht (McCammon 2000: 3).

Die Frage stellt sich, ob ausbildungsorientierte Managementstrategien die Todesrate durch Lawinenunfälle reduzieren kann, oder ob entsprechende Lawinenkurse Wintersportler\*innen nur Wissen und Fähigkeiten in die Hand geben, mit dem sie steilere Hänge befahren können und dabei das gleiche Risiko eingehen wie Unerfahrene.

## 7.4 Der Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement

Die Prinzipien der drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements werden weltweit in verschiedenen Gebirgsregionen angewendet, um die Lawinentodesrate durch Wintersportler\*innen möglichst gering zu halten. Die Geokommunikation spielt bei diesen Ansätzen eine zentrale Rolle für die Vermittlung räumlicher Information, kombiniert mit Gefahrenbeurteilungen. Besonders die institutionelle Strategie des Lawinenrisikomanagements setzt Gefahrenstufenkarten, raumrelevante Symbole und Texte mit geographischen Inhalten ein, um präventiv vor Lawinengefahren warnen zu können (Mair 1999: 110ff; vgl. Eckerstorfer 2008). Probabilistische Methoden greifen einerseits auf die Produkte von Lawinenwarndiensten zurück und kombinieren diese andererseits mit Geländeinformation, die aus topographischen Karten abzulesen sind (vgl. Munter 2009; Larcher 2012). Letztendlich lehrt der

ausbildungsorientierte Ansatz den Umgang mit den entsprechenden Werkzeugen, sodass eine Risikoeinschätzung von Wintersportler\*innen in der Planung und im Gelände selbst durchgeführt werden kann (vgl. Fredston et al. 1994).

Diese drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements ergänzen sich gegenseitig und verfolgen gesamt gesehen einen Kreislauf der Risikominimierung. Der Kreislauf kann als Abstraktion des Lawinenrisikomanagements gesehen werden und dient für diese Arbeit als Gerüst für das Verständnis von Risikomanagementansätzen im Wintersport in entlegenen Gebirgsregionen.

Dieser Kreislauf geht von einer Wirklichkeit aus, die beispielsweise schneebedeckte Berge mit gewissen Hangneigungen umfasst (vgl. Kapitel 6.2 *Lawinengefahren*), sodass eine objektive Lawinengefahr besteht. Informationen über die potenzielle Lawinengefahr lassen sich in fixen und über die aktuelle Lawinengefahr über die variablen Faktoren erfassen und können gefiltert aus dieser Wirklichkeit entnommen werden. Bodenwetterstationen, Schneedeckenuntersuchungen, Geländeerkundungen und -vermessungen sind einige Beispiele für die Datenerhebung der fixen und variablen Faktoren der Lawinengefahren (vgl. Kapitel 7.1 *Institutionelles Lawinenrisikomanagement*). Diese und einige andere meteorologische und topographische Daten werden erhoben, gefiltert und schlussendlich bei Lawinenwarndiensten gespeichert. Aus dieser Datenfülle führen Lawinenwarner\*innen von Lawinenwarndiensten eine Gefahreinschätzung ab (vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2001). Diese Gefahreinschätzung wird über unterschiedliche Gefahrenstufenkarten, Symbole, Texte usw. als das Lawinenbulletin zusammengefasst an Nutzer\*innen kommuniziert. Diese Nutzer\*innen sind beispielsweise Wintersportler\*innen, die sich in der vorher beschriebenen Wirklichkeit aufhalten und sich gegenüber den objektiven Lawinengefahren exponieren. Wintersportler\*innen können nun aus den kommunizierten räumlichen Informationen und mithilfe probabilistischer Managementansätzen oder Expert\*innenwissen eine Entscheidung in dieser Wirklichkeit (also im Gelände) ableiten. Die Entscheidung von Wintersportler\*innen hat schließlich eine direkte Auswirkung auf die Wirklichkeit, in der sie sich befinden.

Ein Kreislauf des Informationsflusses (vgl. Abbildung 19) wird sichtbar und stellt die Abstraktion des Lawinenrisikomanagements im Wintersport dar, wie es in den Alpenländern und auf einigen anderen Kontinenten weltweit durchgeführt wird. Es ist egal, ob der Fokus in diesem Kreislauf auf der institutionellen Lawinenwarnung, der probabilistischen Anwendung von räumlichen Informationen oder dem ausbildungsorientierten Ansatz liegt, dieser Informationskreislauf ist immer der gleiche. Entscheidend bei diesem Kreislauf sind zwei zu beachtende Hintergründe. Erstens die für die Aufrechterhaltung und Qualität des Informationskreislaufes notwendigen Ressourcen und Expertisen. Allein die Infrastruktur, die Lawinenwarndienste benötigen, oder das Wissen, um die gesammelten Daten zu verarbeiten, ist, wie im Kapitel 7.1 *Institutionelles Lawinenrisikomanagement* beschrieben, enorm. Zweitens ist die effektive Kommunikation der gesammelten und verarbeiteten Informationen notwendig, damit Wintersportler\*innen ein Risikomanagement betreiben können. Eine hochpräzise Gefahreinschätzung durch Lawinenwarndienste hilft keinen Wintersportler\*innen, wenn die Prinzipien der Geokommunikation missachtet werden (vgl. Neugebauer und Kriz 2017).

In entlegenen Gebirgsregionen ist womöglich der Ressourcenaufwand für jene beschriebene Qualität des Informationskreislaufes nicht möglich. Aber die Kommunikation von räumlichen Informationen mit besonderem Bezug auf die potenzielle Lawinengefahr ist theoretisch weltweit durchführbar, egal ob entlegen oder hoch frequentiert (vgl. Kapitel 8.2 *Der Informationskreislauf in entlegenen Gebirgsregionen*). Die Adaption und Anpassung des Informationskreislaufes im Lawinenrisikomanagement, der Ressourcenaufwand und die Qualität der Daten und Geokommunikation müssen folglich für entlegene Gebirgsregionen genau untersucht werden, um mögliche Ansätze aufzuzeigen. Dies setzt eine ausführliche Klärung voraus, welche Gebiete als entlegene Gebirgsregionen in dieser Arbeit zu verstehen sind.

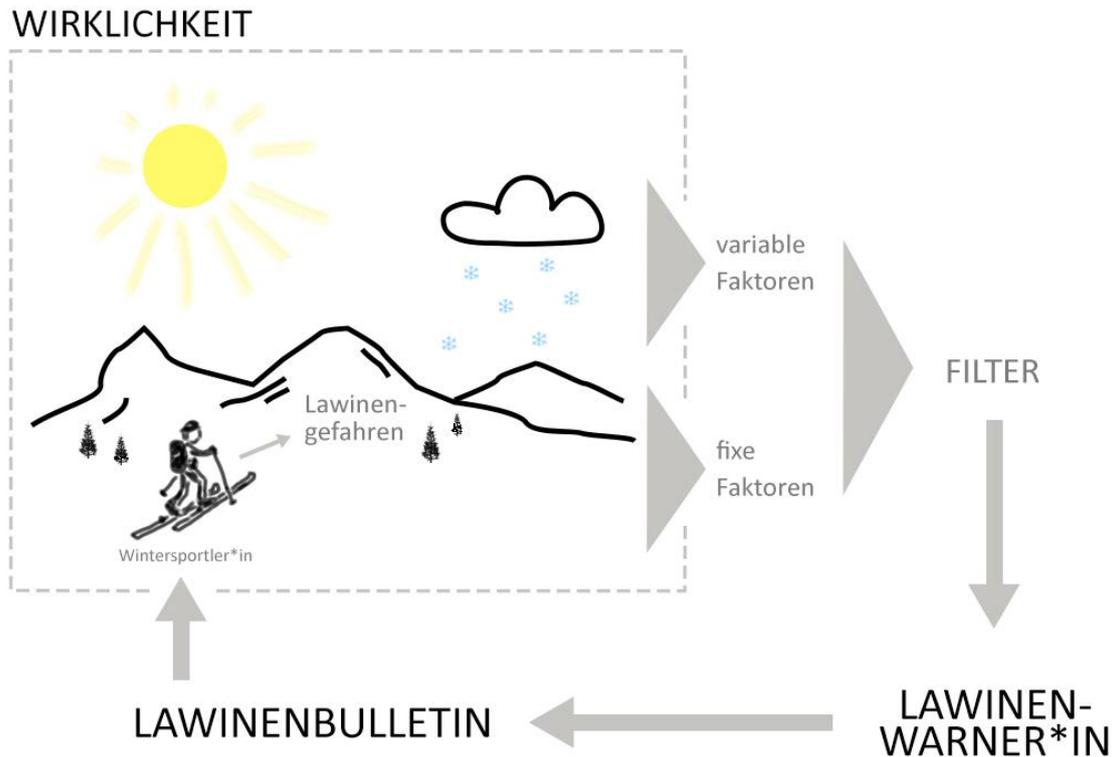


Abbildung 19: Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement: In einer Wirklichkeit befinden sich schneebedeckte Berge, die objektive Lawinengefahren bergen. Wintersportler\*innen setzen sich in dieser Wirklichkeit diesen Gefahren aus. Mithilfe von unterschiedlichen Methoden können räumliche Informationen aus dieser Wirklichkeit gewonnen und gefiltert werden. Lawinenwarndienste schätzen die Lawinengefahren für diese Wirklichkeit anhand der gesammelten Informationen ab und kommunizieren diese über das Lawinenbulletin an die Wintersportler\*innen in der Wirklichkeit. Diese können anhand der gekommunizierten Informationen eine Entscheidung im Gelände ableiten, die direkten Einfluss auf die Wirklichkeit hat (Quelle: eigene Darstellung).

## 8 Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen

Menschen in stark urbanisierten Regionen, wie Großstädten, oder in dicht besiedelten Ländern, bringen eine Faszination für entlegene und als „wild“ betrachtete Gegenden mit und schätzen die Möglichkeit, die Natur, in ihrer menschlichen Einsamkeit im Kontrast zum stressbedingten Stadtleben, zu genießen (Boller et al. 2010: 320). Welche Regionen als entlegen oder „wild“ gesehen werden, ist einerseits eine Betrachtungs- und andererseits eine Definitionssache. Unter genauer Beobachtung und bei Verwendung des Begriffs „entlegene Gebirgsregion“, muss folglich auf deren semantische und quantitative Bedeutung aus sowohl einer geographischen wie auch sozialpolitischen Sicht eingegangen werden, um schließlich eine klare Definition für diese Arbeit zu finden.

Da wachsender naturbasierter Tourismus (Mehmetoglu 2007: 651) in Zukunft auch entsprechende entlegene Gebirgsregionen mit menschlicher Anwesenheit konfrontiert, werden konsequenterweise vorerst noch marginale Herausforderungen aufgezeigt und verstärkt. Besonders Tourist\*innen im Wintersport sind beim beispielsweise Skitourengehen im unkontrollierten Gelände durch potenzielle Lawinen bedroht. Der Umgang mit Herausforderungen, wie den Lawinengefahren, wurde zwar in den Alpenländern institutionalisiert und mithilfe weiterer Strategien erleichtert (vgl. Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements*), aber in entlegenen Gebirgsregionen liegen keine bzw. wenn nur minimale Aufwendungen vor, um dieser Gefahr zu begegnen. Während Lawinengefahren, die Infrastruktur, Menschen im alltäglichen Leben oder die Landwirtschaft bedrohen, in entlegenen Gebirgsregionen in beispielsweise Afghanistan mit ausländischer Expertise und Kooperationen gemanagt werden (Afghanistan Avalanches 2017), lassen sich kaum praxistaugliche Ansätze für das Lawinenrisikomanagement für den Wintersport in jenen entlegenen Gebirgsregionen finden. Daraus resultierend muss der Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements für entlegene Gebirgsregionen angepasst bzw. verändert und nach alternativen Umsetzungsstrategien gesucht werden. So wird nach einer Diskussion und Definition des Begriffs „entlegene Gebirgsregion“ folglich ein veränderter Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements vorgestellt und die daraus resultierenden Konsequenzen besprochen. Schließlich sollen für entlegene Gebirgsregionen geeignete Ansätze für die Informationsgewinnung und -kommunikation beschrieben und in Bezug auf deren Effektivität bewertet werden.

### 8.1 Entlegene Gebirgsregionen

Die Definition von *entlegenen Gebirgsregionen*, so stellt sich heraus, ist kein einfaches Unterfangen. Sowohl der Begriff *entlegen* als auch *Gebirgsregion* wird in der Literatur nicht einheitlich definiert. Während *entlegen* unter anderem auch mit alternativen Begriffen umschrieben wird, ist dieser ein sozialpolitisch und wirtschaftlich geprägter Begriff. *Gebirgsregion* impliziert eine technische bzw. geographische Definition, auch wenn der kulturelle Aspekt nicht ausgelassen werden kann.

#### 8.1.1 Wo ist „entlegen“?

Wenn der Begriff *entlegen* einen Ort beschreiben soll, so impliziert dieser auch einen gegenteiligen Ort, der sozusagen *nicht entlegen* ist. So wird in der Literatur *entlegen* und jegliche damit verbundene Begriffe wie „peripher“ (siehe „Peripherie“ und „Zentrum“ (vgl. Wallerstein 1988)), „marginal“, „dritte Welt“, „Entwicklungsland“ etc. nach dem Prinzip „Der Westen und der Rest“ (vgl. Hall 1994) definiert.

Gemeint ist, dass die Definitionen von Begriffen wie „peripher“, „der Rest“ oder „entlegen“ erst über das Fehlen von dem, was der gegenteilige Begriff umschreibt, erklärt wird. Außerdem sind die oben genannten ähnlichen Begriffe mit teilweise unterschiedlichen Nuancen von Konnotationen besetzt. Die Wahl des für diese Arbeit am passendsten Begriffes muss folglich legitimiert werden.

Der einzige Begriff, der neben „marginal“, „dritte Welt“, „Entwicklungsland“ oder anderen für diese Arbeit in Bezug auf deren Ontologie überhaupt in Frage kommt, ist „Peripherie“. Dennoch ist „Peripherie“ für diese Arbeit weniger gut geeignet, da er im weltwirtschaftlichen Kontext von Immanuel Wallerstein (1988) geprägt jene Länder und Regionen umschreibt, die vom Gesamtsurplus jeglicher Güterketten am wenigsten profitieren. Allgemein wäre somit jeder Ort „peripher“, der wirtschaftlich als arm deklariert ist. Im Entwicklungsparadigma der Risikoforschung werden zwar Korrelationen zwischen der ökonomischen Stellung in der Weltwirtschaft und der Vulnerabilität in Bezug auf (Natur-)Gefahren beschrieben (vgl. Smith und Petley 2009: 6f), aber diese Arbeit unterliegt einer technischen Ausrichtung und platziert sich im Komplexitätsparadigma der Risikoforschung.

Der Begriff *entlegen*, im Vergleich zu „peripher“, ist nach Boller et al. (2010: 320) weniger bewertend. Sie weisen „entlegen“ (orig.: remoteness) eine technische und beobachtbare Dimension zu und definieren diesen Begriff als distanziert von jenen Orten, die durch „Strukturen“, „Populationen“ und „Aktivitäten moderner Zivilisation“ geprägt sind. Unter Distanz verstehen Boller et al. (2010) nicht nur die euklidische Distanz im Raum, sondern auch die zeitliche Entfernung, die Absenz oder minimale Erscheinung von menschlichen Strukturen oder anderen Menschen, sowie die visuelle und akustische Trennung zu „moderner Zivilisation“. Ohne bewertend konnotierte Begriffsbeschreibungen kommen Boller et al. (2010) nicht aus. Beispielsweise impliziert der Begriff „modern“ eine technologische und gesellschaftliche Besserstellung gegenüber Gesellschaften, die als „traditionell“ bezeichnet werden (vgl. Inkeles und Smith 1974). Boller et al. (2010) verwenden *entlegen* für die Beschreibung von Gebirgsregionen im europäischen Kontext und sehen diesen Begriff als am geeignetsten. Zwar muss der Begriff *entlegen* für diese Arbeit weniger gesellschaftspolitisch und dafür ebenso technisch definiert werden, aber entlegen erscheint auch hier als der am geeignetste Begriff.

### 8.1.2 Was ist ein „Berg“ oder eine „Gebirgsregion“?

Was ist ein Berg, wo fängt er an und wo hört er auf? Ab wann ist ein Berg ein Berg und nach welchen Maßen ist die Erhebung ein Hügel? Selbst unter Bergsteiger\*innen, die vermeintlich wissen wovon sie sprechen und was sie meinen, entbrennt immer wieder die Diskussion darüber, ob eine gewisse Erhebung schon ein Berg ist oder als Hügel bezeichnet werden sollte. Mehrere Berge in einer gewissen Region können eine Gebirgsregion darstellen. Insofern ist der Begriff Gebirgsregion eine Kategorie. Diese Kategorie ist ein Teil eines größeren Ganzen, wie beispielsweise die Erdoberfläche oder Oberfläche eines anderen Planeten. Andererseits fungiert die *Gebirgsregion* als größeres Ganzes von kleineren Kategorien, wie Berge oder Täler, die letztendlich Gebirgsregionen formen und daher näher betrachtet werden sollten (Bishop und Shroder 2004: 79).

Sowohl Berge als auch Täler können allgemein als Landformen bezeichnet werden. Landformen weisen gewisse charakteristische Eigenschaften, wie konvexe, konkave oder ebene Formen, auf. Jene charakteristischen Formen haben die Eigenschaft, unscharf formuliert zu sein, sodass eine klare Grenze zur Umgebung schwierig ist (ebd.: 78f). Berge haben keine für den Menschen klar ersichtliche Grenzen zu ihrer Umgebung, im Gegensatz zu einem See oder Stein. Sie gehen in andere Berge, in Hügellandschaften, in Ebenen oder Täler über. Die einzig scharfe Grenze lässt sich nach oben zwischen dem Berg und der Atmosphäre ziehen (ebd.: 75). Daher stehen Berge in einer starken Beziehung zu ihrer Umgebung und können nicht aus dieser herausgelöst werden.

Die Problematik der unscharfen Grenze des Berges lässt sich durch die Logik des Begriffes erklären. Berge beschreiben im Grunde Bereiche der Erdoberfläche, oder anderen Oberflächen, und sind keine eigenen Objekte, wie etwa ein Apfel, der frei und unabhängig durch den Raum bewegt werden kann. Wie das Kinn einen Bereich im Gesicht beschreibt und nicht als Entität erfasst werden kann, so verhält es sich auch mit Bergen. Durch die kognitive Erweiterung des Begriffs *Berg* im alltäglichen Sprachgebrauch, wird dieser als Objekt mit einer Entität wahrgenommen, obwohl dies nicht in der inneren Logik des Begriffes liegt (ebd.: 77).

### 8.1.3 Semantische Definitionen von Berg

Berge sind eine Landform, die durch schräge Hänge und als konvexe Form der Erdoberfläche charakterisiert sind. Wichtig zu unterscheiden ist, gerade in Hinsicht auf die semantische Dimension, dass Bergnamen, wie etwa Großglockner, als Entität funktionieren, während der Begriff Berg oder Tal eine Kategorie bzw. einen abstrakten Typen beschreibt (ebd.: 79). Nicht zuletzt muss auch die kulturelle Prägung in der Semantik des Begriffes beleuchtet werden, da Begriffe von Landformen Kategorien darstellen, die einen gewissen Grad an menschlicher Willkür in der Bedeutung und Abgrenzung widerspiegeln (ebd.: 80). Wenn Menschen beispielsweise aus der Region Mauer in Wien stolz ihren „Maurer Berg“ einem Tiroler zeigen, wird dieser sich möglicherweise denken, wo denn der Berg sei, er sähe nur einen Hügel.

Der Unterschied zwischen einem Tal und einem Berg oder einer Mulde und einem Hügel liegt durch deren semantischen Charaktereigenschaften auf der Hand, aber ob eine konvexe Erhebung in der Erdoberfläche als Berg oder Hügel gilt, stößt auf Diskussionen. Diese semantische Problematik bringt Fisher und Wood (1998) auf den Punkt in deren Artikel „What is a Mountain? Or The Englishman who went up a Boolean Geographical Concept but Realised it was Fuzzy“ und sie deuten besonders auf die ungenauen Begriffsdefinitionen von geographischen Landformen und die daraus entstehenden Herausforderungen für die Geoinformation hin. Sie propagieren den Ansatz, dass eine Begriffsbestimmung über unscharfe Charaktereigenschaften eine unzulängliche Definition im geographischen Kontext ist. Um aber eine präzise Taxonomie von geographischen Landformen aufzustellen, reicht nicht die Untersuchung der Ontologie der entsprechenden Formen und der Mereologie in Bezug auf deren Bedeutung in verschiedenen Sprachen und Kulturen. Studien aus kulturhistorischer Perspektive wären notwendig, die auf die individuelle und identitätsgebende Klassifizierung von Landformen eingehen (Bishop und Shroder 2004: 80).

### 8.1.4 Quantitative Definitionen von Berg

Während semantische Definitionen der Begriffe *Berg* oder *Gebirgsregion* die kulturelle Komponente nicht ignorieren können, verlassen sich Definitionen in Geodatenbanken als Basis für die Raumkommunikation in Form von Karten auf quantitativ erfassbare Methoden und technisch gestützte Übersetzungen (ebd.: 82). Zu Konflikten über Bedeutungen kann es dabei insofern kommen, als auch hier unklare Abgrenzungen bestehen und besonders die Machtfrage gestellt werden muss. Wer bestimmt nicht nur den Namen eines Berges, sondern wer legt auch fest, welche Erhebung als Berg gilt und welche nicht? Gerade die Kartographie spielt eine wichtige, maßgebende Rolle, dessen sich Kartograph\*innen stetig bewusst sein sollten. Eine einmal kartierte Region scheint durch die Karte in Stein gemeißelt zu sein und lässt Änderungen von Deklarierungen der Landformen kaum noch zu (vgl. die McKinley-Denali Kontroverse (Vandegraaf 2020)). Standards in Geodatenbanken, wie der von einigen NATO-

Ländern übernommene „Digital Geographic Information Standard“ (DIGEST), spielen bei Deklarierungen von Landformen eine wichtige Rolle (DGIWG 2000).

Quantitative Definitionen beanspruchen eine allgemeine Gültigkeit und ignorieren somit kulturspezifische Feinheiten, insbesondere in Bezug auf Landformen wie Berge oder Täler. Durch ihre abstrakte, nachvollziehbare und besonders für Geoinformationssystem (GIS) geeignete Art der Definitionen, haben quantitative Definitionen für Landformen gerade in der Wissenschaft ihre Berechtigung.

Seit den technischen Möglichkeiten von digitalen Höhenmodellen (DHM), sind Berge und Gebirge quantitativ immer einfacher zu erfassen (Bishop und Shroder 2004: 90). Die erste quantitative Definition von *Berg* wurde durch Sonklar (1873) beschrieben: Ein Berg definiere sich im Unterschied zu einem Hügel durch sein Relief, das mindestens 600 Fuß (ca. 183 Meter) Höhenunterschied zwischen dem Tal und dem Berggipfel aufweise (Sonklar 1873: 43). Berge bzw. Gebirgsregionen mittels Reliefeigenschaften zu definieren, spielt der Verfügbarkeit von DHMs für entsprechende quantitative Definitionen zu. Das U.S. Geological Survey (2021) stellt beispielsweise ein DHM für fast den gesamten Planeten Erde zur Verfügung, wodurch sich theoretisch jede Region der Erde in entsprechende Landformen kategorisieren ließe. Die technischen Möglichkeiten über DHMs und GIS alleine bieten zwar die Werkzeuge dazu, können aber noch keine sinnvollen Definitionen oder Kategorien für Landformen vornehmen. Theoretische Konzepte sind gefragt, die an die technischen Möglichkeiten angepasste Definitionen liefern können.

Barsch und Caine (1984: 288) kategorisierten Gebirgsregionen mithilfe des Reliefs. Das Relief, als Höhenunterschied zwischen dem tiefsten und dem höchsten Punkt in einer gewissen Region (Bishop und Shroder 2004: 102), als Indikator für Gebirgsregionen, lässt sich über DHMs berechnen. Barsch und Caine (1984) unterteilten Gebirgsregionen in Hochgebirgssysteme, Gebirgssysteme, Gebirgslandschaften und Hügellandschaften. Als quantitative Parameter werden die Höhenunterschiede auf eine gewisse Distanz bzw. Fläche herangezogen (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Eine quantitative Einteilung von Gebirgslandschaften kann über die Parameter der Höhe und Distanz definiert werden (Quelle: Barsch und Caine 1984: 288).

*Relief contrasts in different types of mountain systems*

Type	Altitudinal difference (over 5 km distance)	Relative relief
High mountain system	> 1000 m	500 m/km <sup>2</sup>
Mountain system	500–1000 m	200 m/km <sup>2</sup>
Mountainous terrain	100–500 m	100 m/km <sup>2</sup>
Hilly terrain	50–100 m	50 m/km <sup>2</sup>

Mithilfe dieser quantitativen Parameter lassen sich Hangneigungen ableiten, durch die jeder dieser Gebirgstypen definierbar ist. Da die Hangneigung ein entscheidender Faktor für das Auftreten von potenziellen Lawinen ist (vgl. Rosendahl und Weißgraber 2020), bekommt diese Kategorisierung einen besonderen Stellenwert für diese Arbeit. Eine gewisse Quantität der Erfassbarkeit von Gebirgsregionen, die von absoluten Höhen unabhängig ist und die Hangneigung

berücksichtigt, sind jene Qualitäten, die für diese Arbeit zur Definition von Gebirgsregionen entscheidend sind. Da sich diese Arbeit mit Schneelawinen beschäftigt, sind Gebirgsregionen ohne Schnee oder zu flachen Hangneigungen, sodass keine Schneebrettlawinen abgehen können, irrelevant. Somit wird in dieser Arbeit dann von *Gebirgsregionen* gesprochen, wenn diese Schneemengen und Hangneigungen aufweisen und Lawinen möglich sind. Im Grunde muss eine Lawinengefahr bestehen, damit ein Lawinenrisikomanagement durchgeführt werden kann.

Eine genaue lawinenrelevante Unterteilung von Gebirgsregionen wurde durch Statham et al. (2006) über die Avalanche Terrain Exposure Scale (ATES) quantitativ erfassbar entwickelt. Diese wird in Kapitel 8.3.2 *Die Geländeklassifizierung ATES (Statham et al. 2006)* näher beschrieben.

### 8.1.5 Definition von „entlegenen Gebirgsregionen“

Der für diese Arbeit verwendete Begriff *entlegene Gebirgsregionen* steht besonders im Zusammenhang mit Lawinengefahren und dem entsprechenden Risikomanagement. Da das Ziel von Risikomanagement das Minimieren der Bedrohung einer potenziellen Gefahr und gleichzeitig das Maximieren positiver Folgen ist (Smith und Petley 2009: 50), werden in dieser Arbeit jene Gebirgsregionen als entlegen bezeichnet, wo jenes Risikomanagement für Lawinengefahren besonders schwierig ist.

Die Bedrohung von Lawinengefahren kann durch das Verorten und Ausweichen der entsprechenden Gefahren vermindert werden (vgl. Kapitel 7 *Drei Ansätze des Lawinenrisikomanagements*). Dies setzt voraus, dass Lawinengefahren auch erkannt werden können. Erleichtert wird das Erfassen von Lawinengefahren besonders durch die Geokommunikation eines Lawinenwarndienstes. Dafür müsste diese Institution auch präsent sein, um anschließend weitere Ansätze, wie die probabilistische Lawinenkunde oder ausbildungsorientierte Strategien, anwenden zu können. Demnach lassen sich für den Zweck dieser Arbeit *entlegene Gebirgsregionen* nach dem Prinzip des Fehlens der gegenteiligen Attribute definieren.

*Entlegene Gebirgsregionen werden im Kontext dieser Arbeit als Regionen verstanden, in denen Schneemassen und Hangneigungen vorhanden sind, die das Potenzial für Wintersportler\*innen gefährliche Schneelawinen aufweisen und wo Einrichtungen, die jenen Wintersportler\*innen Informationen über die Lawinengefahren kommunizieren, wie etwa Lawinenwarndienste, fehlen.*

Positiv formuliert sind Regionen gemeint, wo Wintersportler\*innen das Risikomanagement der Lawinengefahren vollständig selbst in die Hand nehmen müssen. Anhand dieser Definition von entlegenen Gebirgsregionen wird klar, welche Elemente bzw. Ressourcen des Risikomanagements in Bezug auf Lawinengefahren fehlen. Als Konsequenz, um ein Risikomanagement für Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen zu schaffen, könnte die Erstellung eines Lawinenwarndienstes ein Vorschlag sein. Inwiefern dies möglich, sinnvoll oder brauchbar ist, wird im folgenden Kapitel illustriert.

## 8.2 Der Informationskreislauf in entlegenen Gebirgsregionen

Ein Lawinenrisikomanagement steht in entlegenen Gebirgsregionen vor speziellen Herausforderungen. Im Vergleich zu vom Wintersport hoch frequentierten Alpenländern kann von gänzlich anderen Voraussetzungen ausgegangen werden. Sowohl die Produktion eines Lawinenrisikomanagements als auch die Nutzung durch Zielgruppen müssen in Quantität und Qualität in entlegenen Gebirgsregionen beachtet und können nicht als ähnlich wie in entsprechenden Alpenländern betrachtet werden (vgl. Neugebauer und Kriz 2019). Einerseits weisen entlegene Gebirgsregionen geringe Zahlen von Wintersportler\*innen im unkontrollierten Gelände auf und andererseits sind nur marginale Strukturen für ein Lawinenrisikomanagement vorhanden (vgl. Kapitel 8.1.5 *Definition von „entlegenen Gebirgsregionen“*). Beispielsweise bietet Armenien eine Vielfalt an Wintersportmöglichkeiten im unkontrollierten Gelände in den Wintermonaten durch eine gebirgige, mit Vulkanen charakterisierte Landschaft. Die entlegenen Gebirgslandschaften stellen einen besonderen Reiz für den Skitourentourismus dar und werden als beliebte Ausflugsziele, wie der Berg Aragats, besucht. Im Gegensatz dazu obliegt das Risikomanagement in Armenien dem „Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia“, welches keine Abteilung für Lawinenrisikomanagement aufweist (MES 2020). Infrastruktur für hydrometeorologische Messungen, besonders in Bezug auf Wettervorhersagen und für das Katastrophenmanagement Überschwemmungen betreffend, ist vorhanden (The World Bank

Group 2018: 26) und wird stetig ausgebaut, aber diese wird weder für das Erfassen von Lawinengefahren noch für ein Lawinenrisikomanagement verwendet.

Während die Informationsgewinnung für die variablen Faktoren der Lawinengefahren durch ein minimal ausgebautes Wetterstationsmessnetz und die fixen Faktoren durch das Fehlen von topographischen Karten als räumliche Grundlage schwierig ist, fehlt ein Managementkonzept inklusive Risikokommunikation in Armenien komplett. Auch in der angrenzenden Türkei ist das Einschätzen der Lawinengefahr in entlegenen Gebirgsregionen durch eine ähnliche Ausgangsbasis, wie in Armenien, äußerst schwierig und somit nur Expert\*innen vorbehalten.

Die beispielhafte Situation in Bezug auf das Lawinenrisikomanagement in Armenien oder der Türkei ist kein Einzelfall für entlegene Gebirgsregionen. Erfahrungen des Autors durch Reisen und universitäre Exkursionen in Länder von Südamerika und Asien zeigen eine verbreitet ähnliche Situation: Das Lawinenrisikomanagement obliegt dem/der Einzelnen und wird nicht durch Informationsbereitstellung unterstützt. Viel Erfahrung und eine entsprechende Expertise in der Lawinenunfallprävention sind daher für Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen nötig. Da diese Fähigkeiten und das dazugehörige Wissen nicht alle aufweisen, die entlegene Gebirgsregionen erleben möchten, sind Ansätze und Strategien für ein Lawinenrisikomanagement auch außerhalb von im Wintersport hoch frequentierten Regionen notwendig.

Diese Notwendigkeit belegen Lawinenunfälle, wie jene, die in den letzten Jahren in Armenien tödlich endeten, und sind als Konsequenz der Kombination von fehlender Lawinenrisikomanagement relevanter Infrastruktur und wachsendem Wintertourismus in entlegenen Gebirgsregionen zu betrachten. Beispielsweise starb ein\*e Wintersportler\*in in einer Lawine am 28. Januar 2018 am Mount Araler (Armalp 2018) und ein weiterer aus einer französischen Gruppe am 22. Februar 2019 (UpTheRock 2019), sowie 3 armenische Soldaten am 6. Februar 2020 (AzatutyunTV 2020). Ob diese Unfälle bei einer ausgebauten Infrastruktur für die Lawinenunfallprävention und -rettung bzw. eines entsprechenden Risikomanagements vermieden hätten werden können, ist nicht verifizierbar. Wird die Langzeitunfallstatistik für die Schweiz von Lawinenunfällen im Wintersport als Vergleich herangezogen, so ist sichtbar, dass mit der Einführung und Verbesserung vom Lawinenrisikomanagement durch einen Lawinenwarndienst und Notfallausrüstung, sowie Bildung der Wintersportler\*innen seit den 1970er Jahren, die Unfallzahlen zurückgegangen sind (Munter 2009: 29).

Auch wenn folglich ein Risikomanagement für Lawinenunfälle in Ländern mit entlegenen Gebirgsregionen, wie in Armenien, anhand eines Lawinenwarndienstes sinnvoll erscheint, ist zu beachten, dass dies mit einem enormen finanziellen, personellen und ausbildungsorientierten Aufwand verbunden ist (vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2001). Sofern jene Ressourcen nicht vorhanden sind oder aufgewendet werden wollen/sollen, muss nach Abänderungen im Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements, wie in Kapitel 7.4 *Der Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement* beschrieben, gesucht werden. Zu bedenken ist, dass zwar entlegene Gebirgsregionen mit aufkommendem Wintertourismus mehr und mehr konfrontiert werden, sich aber die Dichte von Wintersportler\*innen in großflächigen Gebieten dezent verhält. Fraglich ist demnach, ob sich ein Ressourcenaufwand im Maßstab eines Lawinenwarndienstes lohnt, oder ob jene Ressourcen nicht anders eingesetzt mehr Menschenleben retten könnten.

Insofern ist ein Lawinenrisikomanagement, das großflächig die Lawinengefahren bei minimalem Aufwand einschätzen kann, notwendig. Der Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements ist folglich ohne eines Lawinenwarndienstes zu denken und muss darauf ausgelegt sein, lawinenrelevante Informationen großflächig aus minimaler Infrastruktur zu erheben und besonders effizient an die potenziellen Wintersportler\*innen zu kommunizieren.

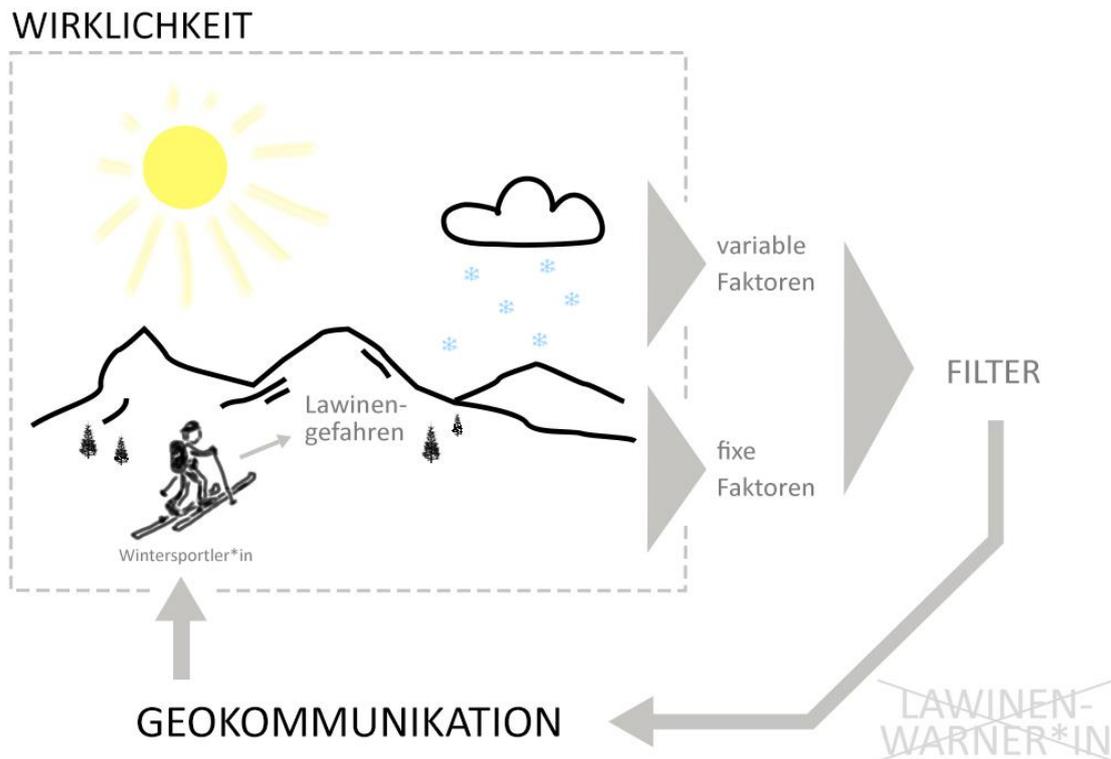


Abbildung 20: Der Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements für entlegene Gebirgsregionen muss ohne eines Lawinenwarndienstes auskommen. Die gefilterten Daten der Lawinengefahren werden folglich direkt durch Geokommunikation an die Wintersportler\*innen in der Wirklichkeit vermittelt, die daraus ihre Entscheidungen in der Planung und im Gelände ableiten und Einfluss auf das Gelände dieser Wirklichkeit nehmen (Quelle: eigene Darstellung).

In der Theorie bedeutet dies Folgendes: Wird wieder davon ausgegangen, dass schneebedeckte Berge in einer Wirklichkeit objektive Lawinengefahren darstellen, können die lawinenrelevanten Informationen gefiltert erhoben werden. Gerade bei der Datengewinnung ist die Unterteilung in variable und fixe Faktoren der Lawinengefahr essenziell. Diese Zweiteilung ermöglicht eine besonders simple Datenerhebung und -verarbeitung ohne das Zutun eines Lawinenwarndienstes. Liegen die Informationen der variablen und fixen Faktoren der Lawinengefahren vor, können diese geokommuniziert werden. Die passende Wahl des Mediums wie Karte, Diagramm, Text usw. für die entsprechenden Informationen und die Berücksichtigung kartographischer Gestaltungsprinzipien, entscheidet über die Effizienz der Kommunikation (vgl. Neugebauer und Kriz 2017). Können die durch Geokommunikation transportierten Informationen direkt an Wintersportler\*innen weitergegeben werden, vollzieht dieser Prozess den Schritt der Geokommunikation von Lawinengefahren unter Auslassung eines Lawinenwarndienstes (vgl. Abbildung 20). Aus den kommunizierten lawinenrelevanten Informationen kann der/die Wintersportler\*in in der Planung und im Gelände folgend eine Entscheidung ableiten und zur Lawinenunfallprävention beitragen.

Der Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements ist somit auch ohne Lawinenwarndienst geschlossen und kann zur Unfallprävention beitragen. Detailschnitte, wie die Datenerhebung, -verarbeitung und -kommunikation, beeinflussen maßgeblich die Qualität des Informationskreislaufes des Lawinenrisikomanagements. Dementsprechend müssen gewisse Daten bzw. Informationen vorliegen, um zumindest einen minimalen Informationskreislauf zu erstellen. Wie aus Kapitel 6.2 *Lawinengefahren* hervorgeht, ist die Erhebung der fixen und variablen Faktoren der Lawinengefahren

ein simples Minimum. Wetterdienste, wie Meteoblue.com (2021) oder Kartenanbieter, wie GoogleMaps (2021) stellen Wetter- bzw. Geländeinformationen global zur Verfügung, wodurch die variablen und fixen Faktoren der Lawinengefahren theoretisch an jedem Ort der Welt abgeleitet werden könnten. Zur realen Einschätzung der Lawinengefahren, ob durch Lawinenwarndienste oder durch Expert\*innen, reicht die Informationsqualität von global verfügbaren Wetter- und Geländeinformationen nicht aus; ein gewisses Maß an Genauigkeit und Verlässlichkeit ist nötig (vgl. Kriz und Galanda 1998).

Dem entsprechend ist eine Infrastruktur notwendig, die sowohl Wetter- als auch Geländedaten messen bzw. erheben kann, um lawinenrelevantes Risikomanagement betreiben zu können. Entsprechende Wetterdatenerhebungen lassen sich durch Wetterbodenstationen (vgl. Kapitel 7.1 *Institutionelles Lawinenrisikomanagement*) in ausreichender Qualität erheben, solange das Stationsnetz eine brauchbare Dichte aufweist. Welche konkreten Maßnahmen für die Bereitstellung der essenziellen Wetterinformationen für die variablen Faktoren der Lawinengefahren notwendig sind, und wie diese nach kartographischen Gestaltungsprinzipien verarbeitet und kommuniziert werden sollten, ist Thema von weiteren wissenschaftlichen Abhandlungen, wie Gregor Babka (2018) dies in seiner Bachelorarbeit am Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien unter anderem untersucht hat.

Hingegen liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf dem Beitrag der Kartographie für ein Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen und fokussiert logischerweise auf die räumliche Komponente der Lawinengefahren. Konsequenterweise wird im folgenden Kapitel diskutiert, welche Daten für ausreichende Geländeinformationen vorliegen müssen und wie diese verarbeitet werden, um Lösungsansätze zum Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen in Bezug auf die fixen Faktoren der Lawinengefahren aufzuzeigen.

### **8.3 Geokommunikation der potenziellen Lawinengefahr in entlegenen Gebirgsregionen – Ansätze im Vergleich**

Das Gelände ist jener Aspekt im Lawinenrisikomanagement, der die potenzielle Lawinengefahr bestimmt. Das Wetter und die Schneedecke, zusammengefasst als die variablen Faktoren, beeinflussen die sich ständig über die Zeit verändernde akute Lawinengefahr. Während die variablen Faktoren schwierig einzuschätzen sind und viel Expertise über Wetter- und Schneekunde benötigen (vgl. Kapitel 6.2 *Lawinengefahren*), zeigt sich, dass die Erfassung der potenziellen Lawinengefahr, repräsentiert durch die fixen Faktoren des Geländes, vor allem eine Frage der Geokommunikation ist (vgl. Campbell und Gould 2013; Schmudlach und Köhler 2016; Harvey et al. 2018). Da sich das Gelände zeitlich kaum ändert, bieten sich die fixen Faktoren an, einmal erhoben und immer kommuniziert zu werden.

Gerade in entlegenen Gebirgsregionen, wo nur wenige Wintersportler\*innen sich den Lawinengefahren aussetzen und sich der Ressourcenaufwand daher stark in Grenzen hält, ist die einmalige Erfassung der potenziellen Lawinengefahr eine realistische Option. Drei Schritte sind dafür nötig, die in unterschiedlicher Qualität ausgeführt werden können. Erstens muss das Gelände und die damit einhergehenden fixen Faktoren erfasst, zweitens die potenzielle Lawinengefahr abgeleitet und drittens diese mithilfe der Prinzipien der Geokommunikation an die Nutzer\*innen vermittelt werden.

Unterschiedliche Methoden zur Erfassung des Geländes wurden entwickelt (vgl. Hajek 2017; U.S. Geological Survey 2009; Goodchild 2007), die als topographische Karte oder als digitales Höhenmodell (DHM) resultieren, aus jenen die fixen Faktoren hervorgehoben werden können. Die potenzielle Lawinengefahr wird allen voran durch die Hangsteilheit repräsentiert (Rosendahl und Weißgraeber

2020: 141; Schmudlach und Köhler 2016: 731) und gilt somit als wichtigster Faktor der geländespezifischen Lawinengefahren.

Erste Ansätze der Kommunikation der potenziellen Lawinengefahren wurden über die Geokommunikation der Hangsteilheit und Exposition von Kriz und Galanda (1998) beschrieben. Mehr Faktoren wurden von Statham et al. (2006) durch ihre einflussreiche Avalanche Terrain Exposure Scale (ATES) berücksichtigt. Die ATES kombiniert, im Vergleich zu Kriz' und Galandas Ansatz, Geländeeigenschaften mit potenziellen Lawinenbahnen und -aktivitäten. Aus der ATES wurden einige weitere Modelle zur Berechnung der potenziellen Lawinengefahr entwickelt (vgl. Delparte 2008; Campbell und Gould 2013; Schmudlach und Köhler 2016) bis hin zu einer Gefahrenkarte die durch komplexe Algorithmen jegliche spezifische Faktoren des Gelände der Lawinengefahr berücksichtigt und Wintersportler\*innen eine klare Übersicht bietet, wo die potenzielle Lawinengefahr größer und wo sie geringer ist (vgl. Harvey et al. 2018). Letztlich sind alle diese Ansätze zwar hilfreich für das Lawinenrisikomanagement von Wintersportler\*innen, aber nicht alle können ohne Weiteres in entlegenen Gebirgsregionen angewendet werden. Vor allem ist die Datenverfügbarkeit in entlegenen Gebirgsregionen fraglich und somit der limitierende Faktor. Welche Ansätze großes Potenzial in entlegenen Gebirgsregionen haben, zeigt sich in der abschließenden Tabelle 14 in Kapitel 9 *Schlussfolgerung*.

### **8.3.1 Die Kommunikation von Hangneigung und Exposition (Kriz und Galanda 1998)**

Um der potenziellen Lawinengefahr im Gelände entsprechend ausweichen zu können und demnach probabilistische oder strategische Methoden zur Risikominimierung in der Lawinenkunde anzuwenden, ist die Erfassung und Kommunikation des Geländes essenziell. In den Alpenländern übernimmt diese Aufgabe traditionell die topographische Karte, welche sich als besonders nützlich für die Interpretation des Geländes herausgestellt hat.

Obwohl topographische Karten hauptsächlich für die Orientierung im Gelände genutzt werden, eignen sie sich auch für die Verortung einer potenziellen Lawinengefahr (Kriz und Galanda 1998: 116). Die die österreichischen und schweizer Alpen vollständig abdeckenden „Österreichische Karte 1:50.000“ und „Landeskarte der Schweiz 1:25.000“ werden zwar unter Expert\*innen als besonders herausragende Kartenwerke angesehen, aber Kriz und Galanda (1998: 116) weisen darauf hin, dass selbst aus diesen Karten nicht alle lawinenrelevante Informationen in Bezug auf die fixen Faktoren sinnvoll entnommen werden können. Die Karten von GoogleMaps decken zwar den gesamten Planeten mit Geländedarstellungen ab, somit auch entlegene Gebirgsregionen, aber weisen im Vergleich zur Österreichischen Karte 1:50.000 und der Landeskarte der Schweiz 1:25.000 marginale Details, Informationen und Genauigkeiten auf und sind daher unbrauchbar für jegliches Ableiten der potenziellen Lawinengefahr. Kriz und Galanda (ebd.) listen daher auf, welche Eigenschaften eine topographische Karte enthalten muss und welche zusätzlichen Geländeinformationen vorliegen müssen, um die entsprechenden Lawinengefahren der fixen Faktoren identifizieren zu können:

- Zielmaßstab zwischen 1:20.000 und 1:40.000
- Topographische Auslegung der Karte
- Digitales Geländemodell (DGM)
- Digitales Höhenmodell (DHM) mit einer Auflösung von mindestens 10-15 m
- Darstellung von Hangneigung, Exposition und Geländeformen
- Darstellung der Hangneigung nach Expositionsclassen und Exposition nach Hangneigungsclassen
- Thematische Darstellung nur in relevanten Bereichen

- Gebietsübersichtskarte inkl. Panoramaansicht zwischen 1:60.000 und 1:100.000

Die Auslegung des Zielmaßstabes ist im Kontext der Arbeit von Kriz und Galanda (1998) zu sehen. Sie vergleichen Kartenwerke, die im Alpenraum produziert wurden und einen Maßstab zwischen 1:25.000 und 1:50.000 aufweisen. Ihr Argument ist, dass einerseits ein gesamter Geländeeindruck gewährleistet sein muss, während ausreichende Details die entsprechende Informationsdichte bieten müssen. Für das komplexe Gelände in den Alpen ist der Maßstabsbereich für topographische Karten für den Einsatz des Abschätzens der potenziellen Lawinengefahr von 1:20.000 bis 1:40.000 erfahrungsgemäß sinnvoll, aber in weitläufigeren Gebieten, wie beispielsweise in der entlegenen Gebirgsregion des Nationalparks Sarek in Nordschweden, eignen sich Karten mit einem Maßstab von 1:100.000, wie die offizielle schwedische Kartographie Lantmäteriet auch veröffentlicht (Lantmäteriet 2012). Das heißt, der Zielmaßstab muss sich immer nach der Komplexität des darzustellenden Geländes richten. In Anbetracht der Datenverfügbarkeit und -qualität reichen allgemein für entlegene Gebirgsregionen nach Meinung des Autors ein Maßstab zwischen 1:50.000 und 1:100.000.

Die Notwendigkeit eines digitalen Höhenmodells geht aus der Tatsache hervor, dass Hangneigungen und Hangausrichtungen aus einer topographischen Karte nur mit Schwierigkeit herausgelesen werden können und die Bestimmung somit zu ungenau ist (Kriz und Galanda 1998: 117). Beispielsweise ist der Abstand zwischen zwei 20-Meter-Höhenlinien in einer topographischen Karte im Maßstab 1:25.000 bei einer Hangpartie zwischen 30° und 35° ca. 0,25 Millimeter weit. Eine Unterscheidung der Hangneigung in 1° Schritten würde daher bedeuten, dass Betrachter\*innen der Karte 0,05 Millimeter Unterschiede wahrnehmen können müssten, obwohl die graphische Minimaldimension für Linien zwischen 0,15 Millimeter und 0,2 Millimeter liegt. Außerdem weisen Höhenlinien (Zähllinien) bereits aufgrund ihrer Breite eine Dimension im Gelände von 10 Meter auf. Die Hangneigung kann folglich mithilfe von Höhenlinien alleine für die potenzielle Lawinengefahr nur unzureichend festgestellt werden (ebd.). Nicht nur Kriz und Galanda schlagen daher eine flächenhaft klassifizierte Darstellung der Geländeneigung vor, sondern Anwendungen finden sich bis heute beispielsweise in den Winterversionen der Schweizer Karte oder der App des Österreichischen Alpenvereins (vgl. Swisstopo 2021; Alpenverinaktiv 2021). Ebenso wie die Hangneigung lässt sich auch die Hangausrichtung nur schwierig präzise genug und mit der notwendigen Übersicht aus topographischen Karten herauslesen. Eine flächenhafte Darstellung und genaue Abstufung nach Klassen erleichtert die Erfassung, um die Beschattung von Hängen nach der Exposition zu beurteilen (Kriz und Galanda 1998: 118). Liegt ein Höhenmodell vor, können entsprechend flächendeckende Darstellungen von Hangneigung und -ausrichtung durchgeführt werden.

Aus den von Kriz und Galanda (1998: 116) aufgelisteten Kriterien in der Datenverfügbarkeit und -kommunikation sollen drei Aspekte der fixen Faktoren, die Hangneigung, die Exposition und Geländeformen, visualisiert werden. Neben der Berechnung von Hangneigung und Exposition aus einem DHM weisen sie ausdrücklich auf die Qualitätsmerkmale der zugrundeliegenden topographischen Karte hin (Kriz und Galanda 1998: 121). Eine flächenhafte Darstellung der Hangneigung in Klassen beispielsweise, wäre ohne topographischer „Hintergrundkarte“ nutzlos. Insofern und weil die Auflösung des DHMs die Genauigkeit der Hangneigung bestimmt (ebd.), müssen gerade Felsen, Rinnen, Bänder, Schutt, Vegetation oder auch besonders Kleinformen und weitere spezifische Merkmale des Geländes aus einer topographischen Karte räumlich abgegrenzt erkennbar sein (ebd.). Ebenso dient die Qualität der topographischen Karte um Geländeformen, wie Rücken, Kämme, Rinnen usw., darzustellen.

Kriz und Galanda (1998: 122f) stellten folglich die Hangneigung in zwei Klassen dar und legen diese farbigen Flächen über eine optimierte topographische Karte. Die Hangneigung von 25° bis 35° wurde in Hellviolett dargestellt und jene Hangbereiche, die zwischen 35° und 45° steil sind, in Dunkelviolett. Aufgrund von Unschärfen in der Darstellung und Berechnung sowie der Eigenschaften der fixen

Faktoren der Lawinengefahren versuchten sie mit diesen zwei Klassen den kritischen Wert von 30° Hangneigung klar einzugrenzen und eine entsprechende Genauigkeit für den Kartenmaßstab zu wählen (Kriz und Galanda 1998: 123). Die daraus abzuleitende Konsequenz für die potenzielle Lawinengefahr ist, dass hellviolette Bereiche der Darstellung mit Vorsicht zu betreten seien, da dies der kritische Bereich für Lawinenauslösungen von Wintersportler\*innen ist (Schweizer und Lutschg 2001: 152; Perla 1977: 207f). In dunkelvioletten Bereichen ist mit potenziellen Lawinen zu rechnen, wodurch eine Vermeidung zu einer sichereren Routenwahl führen würde. Steilere Bereiche wurden von Kriz und Galanda (1998: 123) aufgrund der besseren Lesbarkeit der Karte nicht eingefärbt.

Die Darstellung der Exposition wurde in acht klassische Kategorien in jeweils 45°-Schritten durchgeführt. Eingefärbt in der Karte sind jedoch nur jene kritischen Bereiche, die durch die Hangneigung (25° bis 45°) vorgegeben sind. Dadurch kann die Wirkung der Abschattung bzw. Sonneneinstrahlung (vgl. Fierz 1998) auf die Lawinengefahren abgeschätzt werden (Kriz und Galanda 1998: 123).

Besonders die Kombination aus Hangneigungsklassen und Exposition nach Kriz und Galanda (1998: 127) hebt die potenzielle Lawinengefahr hervor (vgl. Abbildung 21). Die Hangneigungsklassen stellen in unterschiedlichen Farbhelligkeiten die für Wintersportler\*innen kritischen Bereiche dar, während der Farbwert in nach zwei Klassen der Exposition (nördliche und südliche Expositionen) eingeteilt jene Bereiche darstellt, die zusätzlich gefährlich sein können. Diese eingefärbte Karte kann bereits als simple Gefahrenkarte in Bezug auf die geländespezifischen Lawinengefahren verstanden werden.

Kriz und Galanda (1998) stellten mit ihrem Ansatz die wesentlichen Aspekte des Geländes in Bezug auf die Lawinengefahren dar und berücksichtigten dabei kartographische Gestaltungsprinzipien, um die Geokommunikation effektiv umzusetzen. Sie nutzten das Wissen über den Einfluss von Hangneigung, Exposition und Geländeformen auf die potenzielle Lawinengefahr und kombinierten dieses mit ihrer kartographischen Expertise. Das Ergebnis ist demnach eine topographische Karte mit thematischen, lawinenbezogenen Inhalten, die theoretisch für entlegene Gebirgsregionen brauchbar ist. In Bezug auf die Hangsteilheit und die Geländeformen ist Kriz' und Galandas (1998) Ansatz für jegliche Gebirgsregionen weltweit denkbar, aber die Visualisierung der Exposition ist stark von den

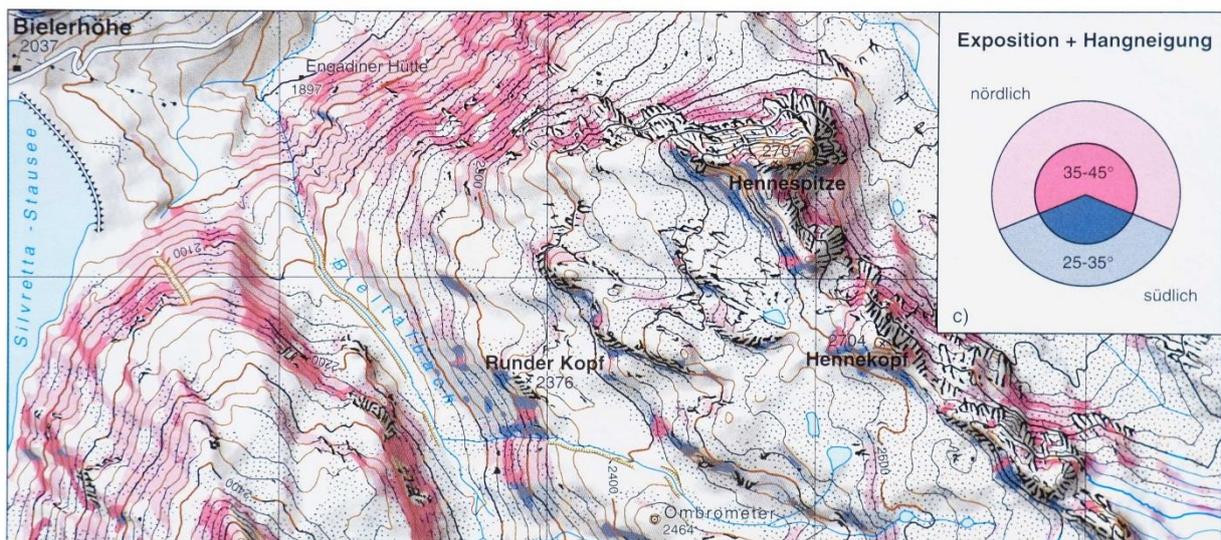


Abbildung 21: Visualisierung der beiden fixen Faktoren der Lawinengefahren: Hangneigung und Exposition. Die kombinierte Darstellung und Freihaltung aller als nicht relevanter Bereiche kategorisierter Flächen erlaubt die Orientierung im Gelände mithilfe dieser Karte, um der potenziellen Lawinengefahr auszuweichen. In rötlichen Farben sind die nördlichen Sektoren als grundsätzlich gefährlicher als die südlichen (blaue Farben) zu sehen und die dunkleren Einfärbungen deuten auf die größere Steilheit und somit auch gefährlichere Bereiche im Gelände hin (Quelle: Kriz und Galanda 1998: 127).

geographischen Gegebenheiten vor Ort abhängig (vgl. Kapitel 6.2 *Lawinengefahren*). Inwieweit ein DHM in der Auflösung von 10 bis 15 Meter in entlegenen Gebirgsregionen vorzufinden ist, oder eine topographische Karte mit entsprechender Qualität ist sehr zweifelhaft. Nichtsdestotrotz kann der Ansatz von Kriz und Galanda (1998) konzeptionell für entlegene Gebirgsregionen als brauchbar gesehen werden. Letztendlich ist nicht nur die ortsabhängige Exposition, sondern vor allem die Tatsache, dass die potenzielle Lawinengefahr nicht durch die Steilheit allein bestimmt wird (Harvey et al. 2018: 1625) Grund dafür, dass nach Weiterentwicklungen der Darstellung der potenziellen Lawinengefahr geforscht wurde.

### 8.3.2 Die Geländeklassifizierung ATES (Statham et al. 2006)

Statham et al. (2006) kombinierten im Rahmen der Canadian Avalanche Association (CAA) und Parks Canada Agency (PCA) lawinenrelevante Geländeattribute mit Lawinencharakteristiken und haben somit ein Werkzeug geschaffen, um das Gelände nach Gefahrenklassen einzuteilen. Die Idee kam aus quantitativen Gefahrenbemessungen von vor Lawinen gefährdeter Infrastruktur, so wie dies beispielsweise in Österreich als Gefahrenzonenplan bekannt ist. Neu an Stathams et al. (2006) Idee war eine ähnliche Gefahrenbemessung für den Wintersport im unkontrollierten Gelände zu entwickeln. Im Gegensatz zur örtlich fixen Infrastruktur bewegen sich Wintersportler\*innen frei im Raum, wodurch der Ansatz adaptiert werden musste. Dadurch lag der Fokus statt auf Evaluierungen der Schneedeckenstabilität auf dem Gelände. Die „richtige“ Routenwahl im Gelände von Wintersportler\*innen bietet folglich die größte Lawinensicherheit (Statham et al. 2006: 491).

Mit der Überlegung, dass Wintersportler\*innen wählen können, wo sie sich im Gelände aufhalten, entwickelten Statham et al. (2006) die „Avalanche Terrain Exposure Scale“ (ATES). Die ATES klassifiziert das Gelände in Gefahrenbereiche aufgrund von vergangenen Lawinenereignissen und Geländeattributen, wie Hangneigung, -form, Bewaldung und Geländefallen. Die Bewertung des Geländes wird über drei Kategorien, 1 – Simple, 2 – Challenging und 3 – Complex, kommuniziert, sodass Nutzer\*innen wissen, wie hoch die potenzielle Lawinengefahr in welchem Geländebereich ist. Für die unterschiedlichen Wissensstände, von Laien bis Expert\*innen in der Lawinenkunde, wurden zwei Modelle der ATES entwickelt. Das ATES Public Communication Model (vgl. Tabelle 9) beschreibt in kurzgehaltenen Sätzen die Eigenschaften der drei Klassen und das ATES Technical Model (vgl. Tabelle 10), für Expert\*innen gedacht, versucht alle herangezogenen Variablen quantitativ zu verbalisieren (Statham et al. 2006: 493).

Die Kriterien für die ATES im Technical Model wurde von Statham et al. (2006: 494f) vorrangig für das Führen von Gruppen im unkontrollierten Gelände in Kanada gewählt, damit Führungspersonen ein Werkzeug für die Planungserleichterung haben. Statham et al. (2006: 492) entwickelten das ATES

Tabelle 9: ATES Öffentliches Kommunikationsmodell (v.1/04) (Quelle: Statham et al. 2006: 493).

Description	Class	Terrain Criteria
<b>Simple</b>	1	Exposure to low angle or primarily forested terrain. Some forest openings may involve the runout zones of infrequent avalanches. Many options to reduce or eliminate exposure. No glacier travel.
<b>Challenging</b>	2	Exposure to well defined avalanche paths, starting zones or terrain traps; options exist to reduce or eliminate exposure with careful routefinding. Glacier travel is straightforward but crevasse hazards may exist.
<b>Complex</b>	3	Exposure to multiple overlapping avalanche paths or large expanses of steep, open terrain; multiple avalanche starting zones and terrain traps below; minimal options to reduce exposure. Complicated glacier travel with extensive crevasse bands or icefalls.

Technical Model gemeinsam mit Lawinenexpert\*innen, wodurch die Kriterien auf entsprechenden Expert\*innenmeinungen beruhen. Aber gerade aus diesem Grund sind die elf Kriterien zu hinterfragen, warum genau jene und nicht andere in Betracht gezogen wurden (Schmudlach und Köhler 2016: 730). Werden die entscheidenden Kriterien des ATES Technical Models mit jenen für das Gelände aus der Literatur im Alpenraum (vgl. Kapitel 6.2 *Lawinengefahren*) verglichen, fallen Unterschiede auf, die möglicherweise auf Gebirgsregion spezifische Eigenheiten zurückzuführen sind (vgl. Tabelle 11).

Ein weiterer Kritikpunkt am ATES Technical Model ist die unpräzise Formulierung der Variablen. Während im ATES Technical Model die jährliche Lawinenfrequenz (Avalanche Frequency) klar quantifizierbar ist, lassen die restlichen Variablen viel Interpretationsspielraum offen (Campbell et al. 2012: 1), wo Grenzwerte gesetzt werden sollen. Allein die Hangsteilheit für die Kategorie Complex mit der Angabe „large % >35°“ ist schwer zu definieren. Ab wie viel Prozent über 35° Hangneigung würde ein Bereich in Complex fallen? Wie viele sind „some forest openings“ in Bezug auf die Bewaldung des Geländes der Kategorie Simple?

Tabelle 10: ATES Technical Model (v.1/04) (Quelle: Statham et al. 2006: 493).

	1 – Simple	2 - Challenging	3 - Complex
<b>Slope angle</b>	Angles generally < 30°	<b>Mostly low angle, isolated slopes &gt;35°</b>	<b>Variable with large % &gt;35°</b>
<b>Slope shape</b>	Uniform	Some convexities	Convoluted
<b>Forest density</b>	Primarily treed with some forest openings	Mixed trees and open terrain	Large expanses of open terrain. Isolated tree bands
<b>Terrain traps</b>	Minimal, some creek slopes or cutbanks	Some depressions, gullies and/or overhead avalanche terrain	<b>Many depressions, gullies, cliffs, hidden slopes above gullies, cornices</b>
<b>Avalanche frequency (events:years)</b>	1:30 ≥ size 2	1:1 for < size 2 <b>1:3 for ≥ size 2</b>	1:1 < size 3 <b>1:1 ≥ size 3</b>
<b>Start zone density</b>	Limited open terrain	Some open terrain. Isolated avalanche paths leading to valley bottom	Large expanses of open terrain. Multiple avalanche paths leading to valley bottom
<b>Runout zone characteristics</b>	Solitary, well defined areas, smooth transitions, spread deposits	Abrupt transitions or depressions with deep deposits	Multiple converging runout zones, confined deposition area, steep tracks overhead
<b>Interaction with avalanche paths</b>	Runout zones only	Single path or paths with separation	<b>Numerous and overlapping paths</b>
<b>Route options</b>	Numerous, terrain allows multiple choices	A selection of choices of varying exposure, options to avoid avalanche paths	<b>Limited chances to reduce exposure, avoidance not possible</b>
<b>Exposure time</b>	None, or limited exposure crossing runouts only	<b>Isolated exposure to start zones and tracks</b>	<b>Frequent exposure to start zones and tracks</b>
<b>Glaciation</b>	None	<b>Generally smooth with isolated bands of crevasses</b>	<b>Broken or steep sections of crevasses, icefalls or serac exposure</b>

Der Ansatz der ATES von Statham et al. (2006) verdeutlicht weniger eine unwissenschaftliche oder unprofessionelle Herangehensweise, sondern vielmehr die Komplexität der Lawinengefahren und die unscharfen Grenzen der Parameter, sowie erste gedankliche Kriterien. Wie Statham et al. (2006: 496) betonen, eignet sich die ATES demnach nur sehr eingeschränkt für die Hangbeurteilung im Gelände; vielmehr bietet dieses Werkzeug Entscheidungshilfen in der Planung vor einer Tour in von Lawinen gefährdetem Gelände. Nach einer weiteren Quantifizierung könnte das ATES Technical Model nicht nur durch Wintersportler\*innen in der Planung einer Tour eingesetzt werden, sondern auch als Grundlage von Gefahrenkarten in Bezug auf Lawinengefahren dienen, die Wintersportler\*innen betreffen. Demnach wäre das Ergebnis eine in drei Farben eingefärbte topographische Karte, die anzeigt, wo die potenzielle Lawinengefahr höher und wo niedriger ist. Wintersportler\*innen wäre dadurch eine Entscheidungshilfe in die Hand gelegt, die mehr für lawinenrelevante Informationen für die potenzielle Lawinengefahr berücksichtigt als nur die Hangneigung und Exposition nach Kriz und Galanda (1998). In den letzten Jahren beschäftigten sich mehrere Autor\*innen mit dieser Anwendung der ATES und kamen zu brauchbaren Ergebnissen (vgl. Delparte 2008; Campbell und Marshall 2010; Schudlach und Köhler 2016; Harvey et al. 2018).

*Tabelle 11: Dargestellt wird ein Vergleich geländespezifischer Kriterien für Lawinengefahren im Wintersport zwischen dem ATES Technical Model (in und für Kanada entwickelt) und den entscheidenden Geländekriterien im Alpenraum (vgl. Schweizer et al. 2003). Im Alpenraum wird nicht separat zwischen Hangform und Geländefallen unterschieden, sondern im Begriff der Geländeformen berücksichtigt. Jene mit \* bezeichneten Kriterien sind aus Sicht des Autors keine Geländekriterien und haben mit der ursprünglich gedachten Konzipierung des ATES Technical Models (Statham et al. 2006: 494f) zu tun (Quelle: eigene Darstellung).*

ATES Technical Model Geländekriterien	Entscheidende Geländekriterien im Alpenraum
Hangneigung	Hangneigung
	Hangausrichtung
Hangform	Geländeformen (= Hangform)
Walddichte	
Geländefallen	Geländeformen (= Geländefallen)
Lawinenaktivität*	
Lawinenanrissgebiete	
Auslaufzonen	
(Interaktion mit) Auslaufzonen	
Routenoptionen*	
Zeit der Ausgesetztzeit*	
Vergletscherung*	

### 8.3.3 ATES im Geoinformationssystem (Delparte 2008)

Delparte (2008) spielte als erste die meisten Variablen des ATES Technical Models in ein Geoinformationssystem, um daraus eine halbautomatisierte Gefahrenkarte zu erstellen. Als Datengrundlage wurden Walddaten, Lawinenaktivitätsdaten, wie jährliche Frequenz und Auslauflängen, und Geländeinformationen über ein Digitales Höhenmodell (DHM) berechnet genutzt. Hinter dem Ergebnis Delpartes' Arbeit stehen komplexe Algorithmen zur Berechnung der ATES für ihr Untersuchungsgebiet. Das Ergebnis ist eine Karte bzw. kartenverwandte Darstellung, in drei Farben unterteilt, die eine Bewertung des Geländes nach der ATES darstellen (vgl. Abbildung 22).

Delparte (2008) konnte aufgrund von fehlenden Datenverfügbarkeiten, nicht möglichen Berechnungen durch GIS Software und nicht unbedingt sinnvollen Logiken nicht alle Variablen des ATES Technical Models in den Algorithmus für die Berechnung der Gefahrenkarte einsetzen. Problematisch, wie oben bereits beschrieben, ist die nicht exakte Quantifizierung der meisten Variablen des ATES Technical Models auf der einen Seite und die Gewichtung bzw. Prioritätensetzung der einzelnen Variablen auf der anderen Seite. Delparte (2008) nutzte daher das Wissen von Lawinenexpert\*innen von Parks Canada und den Entwicklern der ATES, um die Gewichtung und Quantifizierung der Variablen für die Entwicklung eines geeigneten Algorithmus‘ sinnvoll umzusetzen (Delparte 2008: 129). Wünschenswert wäre zusätzlich gewesen, wenn sie im Algorithmus anstatt von Grenzwerten die Logik von unscharfen Grenzen angewendet hätte, um somit realitätsnahe Ergebnisse zu erzielen.

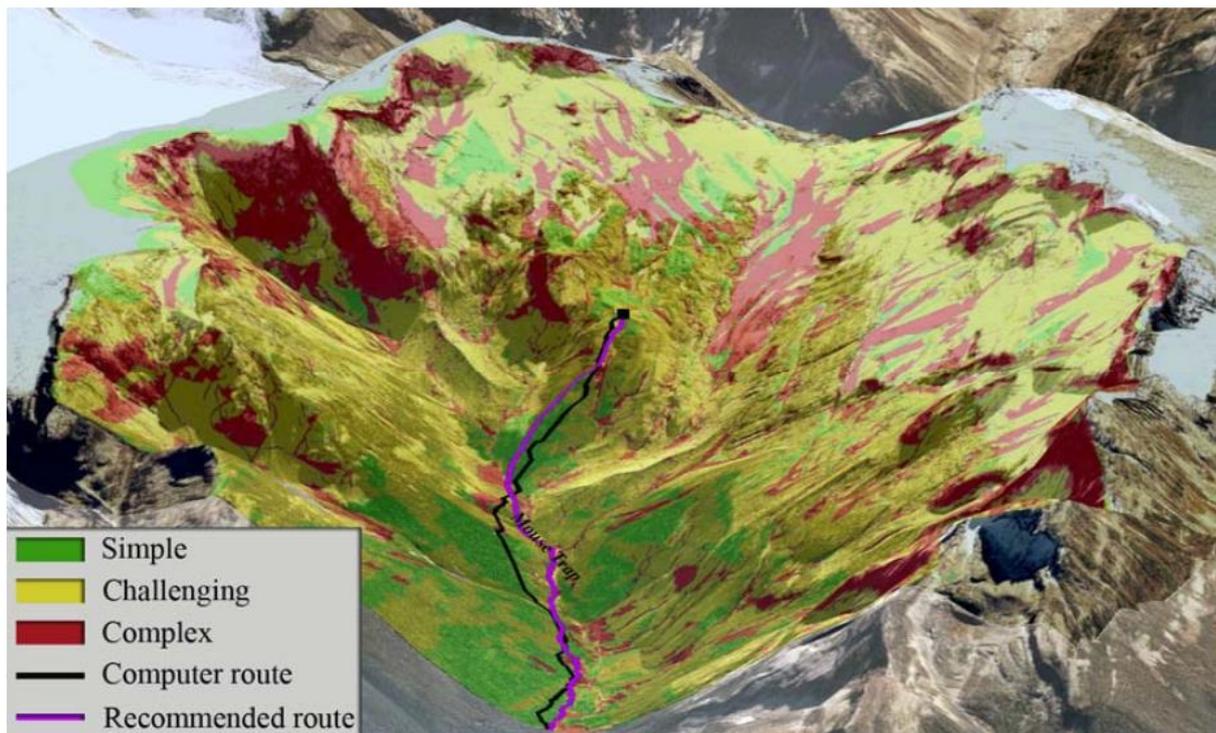


Abbildung 22: Das Ergebnis der Kombination der ATES mit GIS: eine berechnete Gefahrenkarte, die das Gelände in die drei Kategorien Simple, Challenging und Complex einteilt (Quelle: Delparte 2008: 147).

Neben allen Herausforderungen weist das Ergebnis einen Maßstab der Gefahrenkarte auf, der groß genug ist, um einzelne Hangbeurteilungen durchzuführen und die eigene Route im Gelände den aktuellen Lawinengefahren anzupassen, obwohl das nicht die ursprüngliche Intension von Statham et al. (2006: 496) der ATES war. Dem Gelände wird schließlich pro Pixel ein Wert für Simple, Challenging oder Complex zugewiesen, sodass die visuelle Genauigkeit letztlich von der Pixelausdehnung des DHMs abhängt. Die Gefahrenkommunikation nach Delpartes (2008) Ansatz der potenziellen Lawinengefahren weist somit eine Genauigkeit von 5 mal 5 Meter auf (Delparte 2008: 149). Lawinenrelevante Entscheidungen das Gelände betreffend empfiehlt Schweizer et al. (2003:4) eine räumliche Mindestauflösung von 20 bis 30 Meter des DHMs. Höhere Auflösungen bieten zwar bessere Genauigkeiten und „übersehen“ weniger leicht Kleinformen, verursachen aber gleichzeitig eine zu hohe Genauigkeit und Variabilität des Geländes, sodass die Wahrnehmung darunter leidet. Kriz und Galanda (1998: 116) empfehlen eine DHM-Rasterauflösung von 10 bis 15 Meter für lawinenrelevante Anwendungen.

Wintersportler\*innen können folglich mithilfe einer Gefahrenkarte, wie von Delparte (2008), eine Route wählen, die möglichst im „grünen“ (Simple) Gelände verläuft, wo die potenzielle Lawinengefahr am

geringsten ist. Wie sinnvoll ein „Fleckenteppich“ von unterschiedlich eingefärbten Pixeln als Gefahrenkarte die wesentlichen Charakteristika der Lawinengefahren des Geländes an Nutzer\*innen kommunizieren kann, ist fraglich. Zusammenhängende, visuell leicht erfassbare Polygone von gleicher Gefährdungsstufe fehlen und machen die Interpretation der Gefahrenkarte von Delparte (2008) schwierig. In Anbetracht von Kriz' und Galandas (1998) Ansatz und deren Hervorhebung betreffend die Qualität der topographischen „Hintergrundkarte“ fehlen die Prinzipien der Geokommunikation bei Delpartes (2008) Ergebnis komplett. Fraglich ist, wie Wintersportler\*innen der potenziellen Lawinengefahr ausweichen sollen, wenn die Orientierung mit Delpartes (2008) Karte schwierig ist. Die dreidimensionale Darstellung des Geländes mit der Textur eines Orthofotos und der darüber liegenden Farblayer ist suboptimal für die Geokommunikation der Gefahrenbereiche und versagt in der Visualisierung von wesentlichen für das Gelände spezifischen Details, wie beispielsweise Kleinformen, Vegetation oder Bodenbeschaffenheit. Wenn selbst eine hochqualitative topographische Karte unter den Farblayern der ATES Einteilung liegen würde, wären wichtige Aspekte des Geländes nicht erkennbar, da die Farblayer das gesamte Untersuchungsgebiet überlagern. Kriz und Galanda (1998) setzten daher auf die Lösung nur jene Bereiche im Gelände transparent einzufärben, die für Wintersportler\*innen in Bezug auf die potenzielle Lawinengefahr relevant sind, um die Lesbarkeit der zugrundeliegenden Karte nicht wesentlich einzuschränken.

Ein weiterer Punkt betreffend Delpartes (2008) Karte ist, dass nur die Langzeitgefahr von Lawinenaktivitäten (bis zu 40 Jahresdaten) in Kombination mit den Vor- und Nachteilen des Geländes kommuniziert werden (Delparte 2008: 151). Die aktuellen Wetter- und Schneeverhältnisse werden bei der potenziellen Lawinengefahr ignoriert, wodurch die Gültigkeit der ATES-Einteilung des Geländes nur statistisch zu verstehen ist. Bei gewissen Wetter- und Schneebedingungen kann ein Geländebereich, der in der Karte als Complex bezeichnet ist, sehr sicher vor Lawinen sein und sich dadurch die Routenmöglichkeiten maßgeblich erweitern. Insofern darf so eine Gefahrenkarte nicht als Ampelsystem verstanden werden, wo Wintersportler\*innen ihre Entscheidungen aufgrund einer Farbe fällen, sondern sie sollten diese Gefahrenkarten als Hilfestellung in der Planung in Kombination mit den aktuellen Wetter- und Schneeverhältnissen nutzen (ebd.: 147).

### **9.3.4 Quantifizierung der ATES für die Geländezonierung (Campbell und Gould 2013)**

Weiterentwicklungen von Delpartes (2008) Ansatz, die ATES mittels GIS für eine zonierte Karte zu berechnen, wurden vor allem von Campbell durchgeführt (vgl. Campbell und Marshall 2010; Campbell et al. 2012; Campbell und Gould 2013). Campbell und die entsprechenden Co-Autoren versuchten eine großflächige Zonierung von ganzen Geländebereichen der ATES mithilfe von Vektordaten umzusetzen. Sie versuchten dabei möglichst alle Parameter des von Statham et al. (2006) entwickelten ATES Technical Model miteinzubeziehen. Campbells Methodik setzt im Vergleich zu Delpartes (2008) Ansatz zusätzlich auf Geländeerkundungen, weist dafür aber auch präzisere Ergebnisse auf und minimiert die Limitierungen und Fehler von computergestützten Algorithmen. Seine Methodik soll so einfach und mit möglichst wenig Ressourcenaufwand umsetzbar sein, wodurch er eine Mischung aus Expert\*innenwissen und GIS-Software (unter anderem setzt Campbell Delpartes Algorithmus ein) bevorzugt. Campbell geht sogar so weit, dass mithilfe seiner Methoden eine Geländezonierung nach der ATES komplett ohne Geländeerkundung oder ohne GIS-Software auskommt; nur eine Erhebungsmethode ist theoretisch nötig. Besonders bemerkenswert ist die Anwendung von unscharfen Grenzen für die Quantifizierung der Variablen des ATES Technical Models. Richardson hat 2010 bereits die Logik der unscharfen Grenzen in die ATES Berechnung mittels GIS eingesetzt, um so zu einem realistischeren Ergebnis zu kommen, das Fehler durch subjektive Meinungen über Grenzwerte durch Expert\*innen verringert (Campbell et al. 2012: 452).

Tabelle 12: Abgeändertes ATES Technical Model für die Gefahrenzonierung (Quelle: Campbell und Gould 2013: 387).

		<b>Class 0 (optional)</b>	<b>Class 1</b>	<b>Class 2</b>	<b>Class 3</b>
<b>Slope Incline<sup>1</sup> and Forest Density<sup>2</sup></b>	<i>Open</i>	99% ≤ 20°	90% ≤ 20° 99% ≤ 25°	90% ≤ 30° 99% ≤ 40°	
	<i>Mixed</i>	99% ≤ 25°	90% ≤ 25° 99% ≤ 35°	90% ≤ 35° 99% ≤ 45°	< 20% ≤ 25° 45% > 35°
	<i>Forest</i>	99% ≤ 30°	99% ≤ 35°	99% ≤ 45°	
<b>Start Zone Density</b>	No start zones.	No start zones with ≥ Size 2 potential. Isolated start zones with < Size 2 potential.	No start zones with > Size 3 potential. Isolated start zones with ≤ Size 3 potential, or Several start zones with ≤ Size 2 potential.	Numerous start zones of any size, containing several potential release zones.	
<b>Interaction with Avalanche Paths<sup>3</sup></b>	No exposure to avalanche paths.	Beyond 10-year runout extent for paths with ≥ Size 2 potential.	Single path or paths with separation. Beyond annual runout extent for paths with > Size 3 potential.	Numerous and overlapping paths of any size. Any position within path.	
<b>Terrain Traps<sup>4</sup></b>	No potential for partial burial or any injury.	No potential for complete burial or fatal injury.	Potential for complete burial but not fatal injury.	Potential for complete burial and fatal injury.	
<b>Slope Shape</b>	Uniform or concave	Uniform	Convex	Convuluted	

<sup>1</sup>Slope inclines are averaged over a fall-line distance of 20 - 30 m.

<sup>2</sup>Open: < 100 stems/ha or > 10.0 m tree spacing on average. Mixed: 100 – 1000 stems/ha or 3.2 – 10.0 m tree spacing on average. Forest: > 1000 stems/ha or < 3.2 m tree spacing on average.

<sup>3</sup>Position within paths based on the runout extent for avalanches with a specified return period.

<sup>4</sup>Terrain traps are features in tracks or runouts that increase the consequences of being caught in an avalanche. Thresholds are based on the potential increased consequences they would add to an otherwise harmless avalanche. For this purpose, terrain traps can be thought of as either trauma-type (e.g., cliffs, trees, boulders, etc.) or burial-type (e.g., depressions, abrupt transitions, open water, gullies, ravines, etc.). Degrees of burial used in this model are based on Canadian standard avalanche involvement definitions (Canadian Avalanche Association, 2009).

Auf dem International Snow Science Workshop 2013 in Grenoble - Chamonix, Frankreich, präsentierten schließlich Campbell und Gould einen Veränderungsvorschlag des ATES Technical Models (vgl. Tabelle 12), um besser mit GIS-Anwendungen Gebirgsregionen zu zonieren (vgl. Campbell und Gould 2013). Sie reduzierten die elf Parameter des ursprünglichen ATES Technical Models aufgrund von Redundanzen, die zwar für die im Jahr 2006 gedachte Anwendung sinnvoll, aber für GIS-Berechnungen und die Einschätzung der potenziellen Lawinengefahren unbrauchbar sind (Campbell et al. 2012: 450). Weiter formulierten sie die übrig gebliebenen Variablen in eindeutig quantifizierte Parameter mithilfe unscharfer Logik um. Die dabei entstandenen Grenzwerte beruhen auf teilweise offiziellen kanadischen Kategorien und allgemein akzeptiertem Expert\*innenwissen (ebd.: 452f). Zusätzlich führten Campbell und Gould (2013) eine neue Kategorie in der ATES ein. Die Kategorie 0 soll jenes Gelände repräsentieren, in der keine potenzielle Lawinengefahr besteht, egal bei welchen Wetter- und Schneeverhältnissen.

Campbell und Gould (2013) überprüften die Abänderung des ATES Technical Models anhand einer Fallstudie. Sie zonierte ein Untersuchungsgebiet in Kanada ohne GIS-gestützte Berechnungen basierend auf topographischen Karten, Orthofotos, Hangneigungslayer und Expert\*innenwissen über das Gelände und Geländeerkundungen. Anschließend berechneten sie die Zonierung der potenziellen Lawinengefahren nach dem abgeänderten ATES Technical Model mithilfe von GIS und kamen auf akzeptabel ähnliche Ergebnisse im Vergleich zur manuellen Zonierung (vgl. Abbildung 23) (Campbell und Gould 2013: 389f).

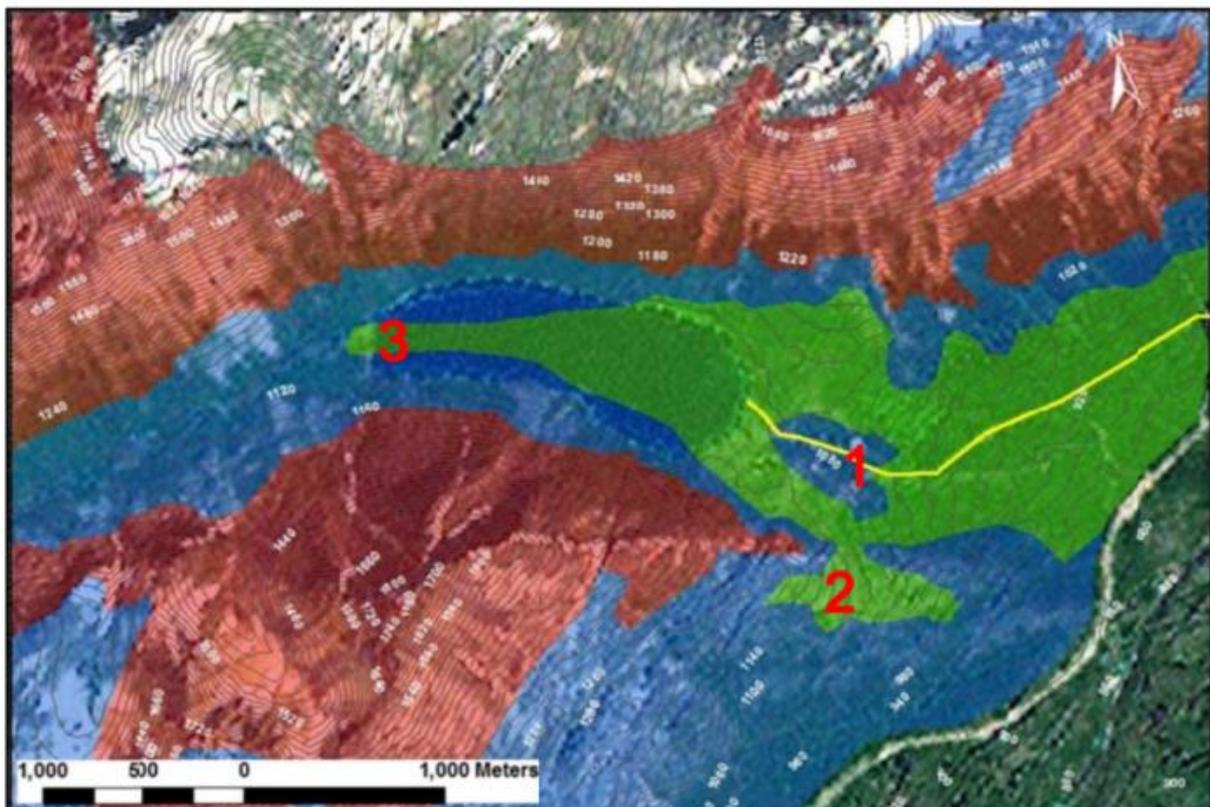


Abbildung 23: Das Ergebnis der Gefahrenkarte der Fraser Lake Region in Kanada. Grün stellt die Kategorie Simple, blau Challenging und rot Complex dar. Die Zahlen weisen auf korrigierte Bereiche hin, die durch eine anschließende Geländeerkundung mit örtlichen Expert\*innen geändert wurden. Die gelbe Linie stellt die Sommerstraße zum Fraser Lake dar (Quelle: Campbell und Gould 2013: 388).

Nicht nur die inhaltlich hohe Qualität der Gefahrenzonierung durch das abgeänderte ATES Technical Model zeugt von brauchbarer Weiterentwicklung, sondern auch die visuelle Darstellung der

Gefahrenzonen als zusammenhängende größere Flächen und Farbübergänge (in Abbildung 23 schwierig zu erkennen) zwischen den Zonen als Sichtbarmachung der unmöglichen klaren räumlichen Abgrenzung, erleichtern die Interpretation und Entscheidungsfindung sowohl in der Planung als auch im Gelände. Die Verwendung einer topographischen Karte anstatt des Orthofotos würde zusätzlich die Anwendung erleichtern; hier ist wie auch bei Delparte (2008) Verbesserungspotenzial in der Geokommunikation vorhanden.

Campbell und Gould (2013: 390) betonen, dass die Abänderung des ATES Technical Models speziell für die Zonierung von Gefahrenbereichen der potenziellen Lawinengefahr optimiert wurde. Mit Absicht sind die verbleibenden Parameter des ATES Technical Models rein geländespezifischer Natur, wodurch dieser Ansatz universal in jeglichen Gebirgsregionen anwendbar ist (Campbell und Gould 2013: 390). Routenoptionen, jährliche Lawinenaktivität, Zeit der Exponiertheit und Vergletscherung sind jene Parameter, die Campbell und Gould (2013) in ihrer Abänderung vom originalen ATES Technical Model ausgeschieden haben. Hangneigung und Geländeformen, sowie Geländefallen sind jene übrigen Parameter, die sich mit den Ansätzen aus den Alpenländern decken (siehe oben), wenn es um die lawinenrelevanten Geländeeigenschaften geht (vgl. Schweizer et al. 2003; Kriz und Galanda 1998). Die Einbindung von Lawinenpfaden und -auslösezonen sowie Wald wird in den Alpen für Infrastruktur relevante Lawinengefahren berücksichtigt, aber weniger im Wintersport. Umgekehrt wirft die ATES die Frage auf, wieso die Exposition nicht in die Kalkulation der Gefahrenkategorien miteinbezogen wird. Selbst Statham et al. (2006: 496) spricht von einer zukünftigen Aktualisierung der ATES unter Einbeziehung der Exposition, aber erst Schudlach und Köhler (2016) berücksichtigten die Hangausrichtung in ihrer Abwandlung der ATES für GIS-Anwendungen in der Schweiz.

### **8.3.5 Die ATES-Zonierung speziell für den Wintersport (Schudlach und Köhler 2016)**

Schudlach und Köhler (2016) stellten nicht nur fest, dass die Exposition ein entscheidender Geländefaktor für die Lawinengefahr in den Alpen darstellt (vgl. Schweizer und Lutschg 2001), sondern bemerkten, dass das ATES Technical Model (inkl. Campbells und Goulds (2013) Abänderung) sich auf sich spontan lösende Lawinen fokussiert (Schudlach und Köhler 2016: 731). Die Lawinenaktivität, Lawinenpfade, Anrissgebiete oder Auslaufzonen stellen jene Bereiche im Gelände dar, die sich in der Lawinenkunde typischerweise auf selbst ausgelöste Lawinen beziehen. Schudlach und Köhler (2016: 731) argumentieren, dass 90% der Lawinenopfer durch von Menschen ausgelöste Lawinen getötet wurden (Schweizer und Lutschg 2001: 151), wodurch der Fokus stärker auf jenen Lawinengefahrenbereichen liegen sollte, wo auch der Mensch als Auslöser wirkt. Sie schlagen daher eine Diskussion und erneute Abänderungen der ATES Kriterien vor und berechnen eine Gefahrenzonierung für Gebirgsregionen der Schweiz.

Ihre Liste der entscheidenden Kriterien umfasst folgende Punkte:

- Hangneigung
- Hangausrichtung
- Geländeformen (Nähe zu Graten, Rücken und Rinnen)
- Hangform
- Hanggröße
- Walddichte

Mithilfe von Expert\*innenmeinungen aus der fachkundigen Literatur für die Grenzwerte (Schudlach und Köhler 2016: 735) und Priorisierung der Variablen und eines komplexen Algorithmus‘ wird das Gelände in die ATES eingeteilt (ebd.: 733f). Vorerst wird das Einzugsgebiet („relevanter Hangbereich“)

für potenzielle Lawinen jedes einzelnen Punktes mithilfe unterschiedlicher Kriterien aus dem Gelände und Auslöseanalysen abgegrenzt und berechnet. Die Eigenschaften des Einzugsgebietes sind entscheidend für Fernauslösungen, Größe der Lawine und spontane Selbstaumlösungen. Anschließend werden die Geländeeigenschaften jedes Punktes mit dem dazugehörigen „relevanten Hangbereich“ kombiniert und das Ergebnis bildet eine Gefahrenzonierung nach der ATES (vgl. Abbildung 24) (ebd.).

Um nicht nur eine statische, geländerelevante Gefahrenkarte zu erzeugen, gehen Schudlach und Köhler (2016) einen Schritt weiter und kombinieren das Ergebnis der ATES mit den aktuell gefährlichen Höhenbereichen und Expositionen, sowie des Lawinenbulletins der Schweiz zu einer dynamischen Gefahrenkarte. Dieser Ansatz berücksichtigt zwar die aktuellen Wetter- und Schneesverhältnisse, aber ist als Lösungsansatz für diese Arbeit unbedeutend, da das Ergebnis von einem Lawinenbulletin abhängt und dieses in entlegenen Gebirgsregionen nicht vorhanden ist.

Entscheidend ist, dass der Fokus bei den Ergebnissen von Schudlach und Köhler (2016) auf der potenziellen Auslösung von Lawinen durch den Menschen liegt. Folglich sind die Geländekriterien von statistischen Auslösebereichsanalysen abgeleitet (Schudlach und Köhler 2016: 735) und zeigen ein realistisches Bild der Gefahrenzonen für die ausgewählten Schweizer Gebirgsregionen. Da dieser Ansatz durch zusätzliche Datensätze speziell an die geländespezifischen Gegebenheiten in der Schweiz angepasst ist, wäre es schwierig, diese Methode in entlegenen Gebirgsregionen in anderen Ländern durchzuführen. Die Datenerhebung würde über Geländedaten, sowie eine topographische Karte und ein Digitales Höhenmodell (DHM) hinaus gehen.

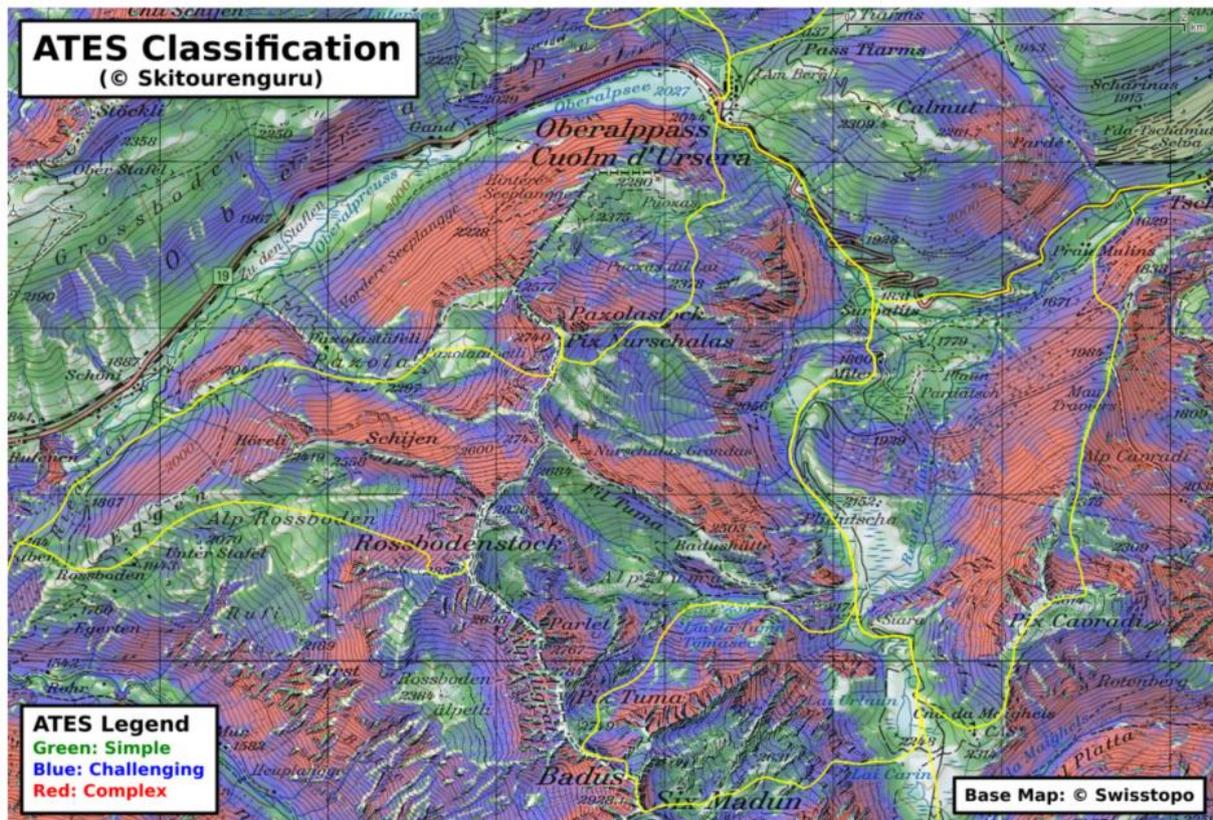


Abbildung 24: Das Ergebnis von Schudlach und Köhlers (2016) Berechnungen der potenziellen Lawinengefahrenbereiche am Oberalp Pass in der Schweiz nach einer abgeänderten ATES (Quelle: Schudlach und Köhler 2016: 735).

Die Geokommunikation kann bei Schudlach und Köhler (2016) nach den Kriterien von Kriz und Galanda (1998) als gelungen betrachtet werden. Die hochqualitative Schweizer Karte 1:25.000 gibt im Hintergrund Auskunft über zusätzliche wichtige Geländedetails und funktioniert für die Orientierung

im Raum. Auch werden nicht lawinenrelevante Bereiche in der Karte von der farbigen, thematischen Information ausgelassen, obwohl diese im Untersuchungsgebiet einen sehr geringen Anteil ausmacht. Im Sinne der Geokommunikation wird die potenzielle Lawinengefahr deutlich vermittelt, bekommt aber durch die intensive Farbwahl ein übergeordnetes Gewicht und verdrängt nach Meinung des Autors die topographische Karte im Hintergrund. Leichtere und dezentere Farben mit mehr Transparenz könnten folglich ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen der thematischen Information und der topographischen Karte bilden.

### **8.3.6 Gefahrenkarten der potenziellen Lawinengefahr (Harvey et al. 2018)**

Die neueste Entwicklung einer Lawinengefahrenzonierung bzw. die Erstellung von Gefahrenkarten stammt von Harvey et al. (2018). Sie griffen als Datenquelle auf ein DHM mit 5 Meter Auflösung der Schweiz zurück, um daraus komplexe Berechnungen mithilfe von GIS- und Lawinensimulationssoftware durchzuführen (Harvey et al. 2018: 1626). Wie schon bei Schudlach und Köhler (2016) konzentrierten sich Harvey et al. (2018: 1626f) besonders auf geländespezifischen Eigenheiten der Schweizer Alpen, vollzogen aber ihre Berechnungen für die gesamte Schweiz; also großflächig. Der Fokus war der gleiche, dass besonders Lawinengefahren dargestellt werden, wo der Mensch selbst als Auslöser dient. Daher wählten Harvey et al. (ebd.) eine ähnliche Methodik, wie Schudlach und Köhler (2016) und erweiterten die Betrachtungsvariablen.

Harvey et al. (2018: 1627) berechneten aus den fixen Faktoren potenzielle Lawinauslösebereiche, das Fernauslösepotenzial innerhalb der Lawinauslaufzonen, mögliche Lawinenpfade und -auslaufzonen und das Potenzial für ernsthafte Verletzungen oder Verschüttungen durch Lawinen. All diese Berechnungen forderten einige Annahmen und Festlegungen von Grenzwerten. Um diese nicht aus der Luft zu greifen, analysierten Harvey et al. (2018) zusätzliche Datensätze von erfassten Lawinenpfaden, Fernauslösungen und Anrissgebieten. Da die Ergebnisse jener Analyse aus Datensätzen der Schweiz stammen, sind die daraus abgeleiteten Grenzwerte und Annahmen nur für die Schweizer Alpen nutzbar und nicht universal auf andere mögliche entlegene Gebirgsregionen umzulegen. Harveys et al. (2018) Ansatz ist somit ein speziell für die Schweiz zugeschnittener.

Die besondere Weiterentwicklung von Harvey et al. (2018) im Vergleich zu Schudlach und Köhler (2016) ist die Integration des Verschüttungs- und Verletzungspotenzials in deren Gefahrenkarten (Harvey et al. 2018: 1627). Die Ergebnisse zeigen zwei kartographische Produkte:

1. eine Gefahrenkarte mit thematischen Informationen zur potenziellen Lawinengefahr für die Auslösung (vgl. Abbildung 25) und
2. eine andere Gefahrenkarte mit der generellen potenziellen Lawinengefahr, die vom Gelände ausgeht (vgl. Abbildung 26).

Erstere zeigt qualitative und quantitative Informationen: Sie weist die potenziellen Auslösebereiche im Gelände in rötlicher Farbe, nach dem Auslösepotenzial gestuft (quantitative Information), aus und in bläulichen Farben bis Gelb die Lawinauslaufzonen, die nach dem Potenzial für Fernauslösungen gestuft dargestellt sind (ebd.: 1628). Wintersportler\*innen können folglich mit der ersten Karte, die das lawinenrelevante Gelände klassifiziert, die geländerelevanten Lawinengefahren flächendeckend erkennen und aufgrund der quantitativen Abstufung auch bewerten. Außerdem ist eine Differenzierung möglich, warum ein bestimmter Punkt als gefährlicher als ein anderer bemessen wurde (ebd.: 1629f). Auslösebereiche (Rottöne) werden klar von den Lawinauslaufzonen und den Bereichen der Fernauslösung (Blautöne und Gelb) getrennt visualisiert. Gedacht ist diese Karte für Nutzer\*innen, die mit den Begriffen Auslösebereich, Fernauslösung und Auslaufzone und derer Konsequenzen umgehen können (ebd.).

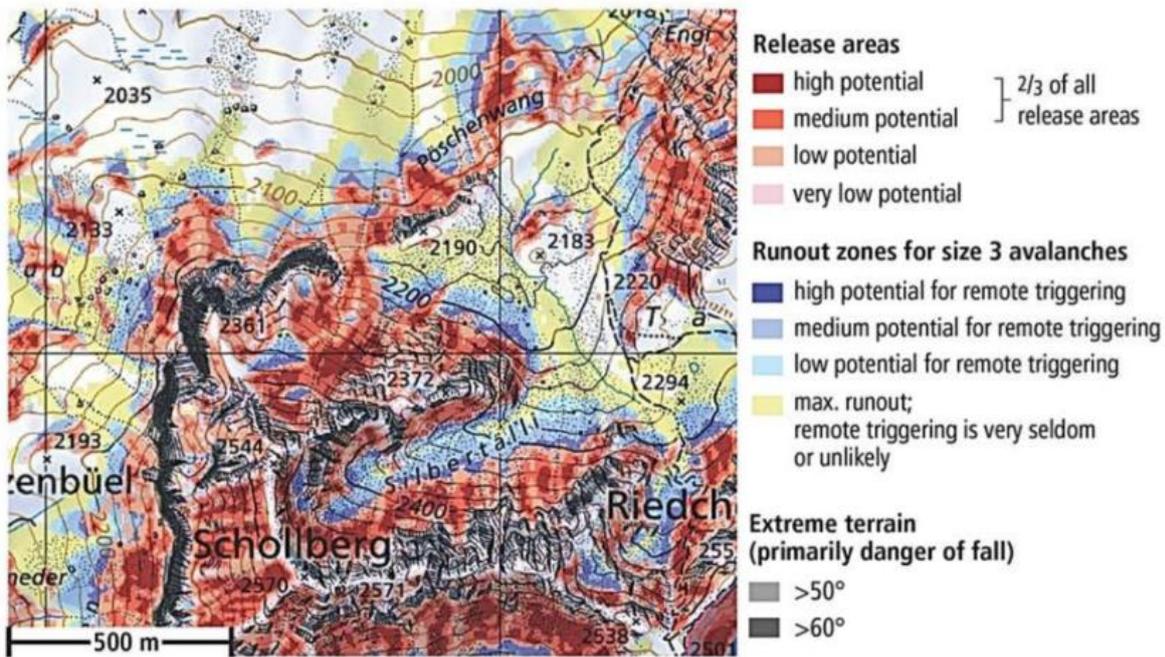


Abbildung 26: Diese Gefahrenkarte unterscheidet zwischen potenziellen Auslösbereichen und dem Fernauslösungspotenzial in Lawinenauslaufzonen (Quelle: Harvey et al. 2018: 1628).

Das zweite Produkt von Harvey et al. (2018) stellt eine Lawinengefahrenkarte dar, die neben den potenziellen Ursachen einer Lawine (Auslösemöglichkeiten) auch die geländerelevanten Konsequenzen mit einberechnet (Harvey et al. 2018: 1630). Die beiden Variablen der potenziellen Verschüttungs- und Verletzungsgefahr wurden mit den Auslösemöglichkeiten aus der ersten Karte entsprechend skaliert und kombiniert, um daraus einen Wert zwischen 0 und 1 zu erhalten. Dieser Wert repräsentiert die Größe der vom Gelände abhängigen Lawinengefahr (ebd.: 1628). Die zweipolig eingefärbte Karte zeigt

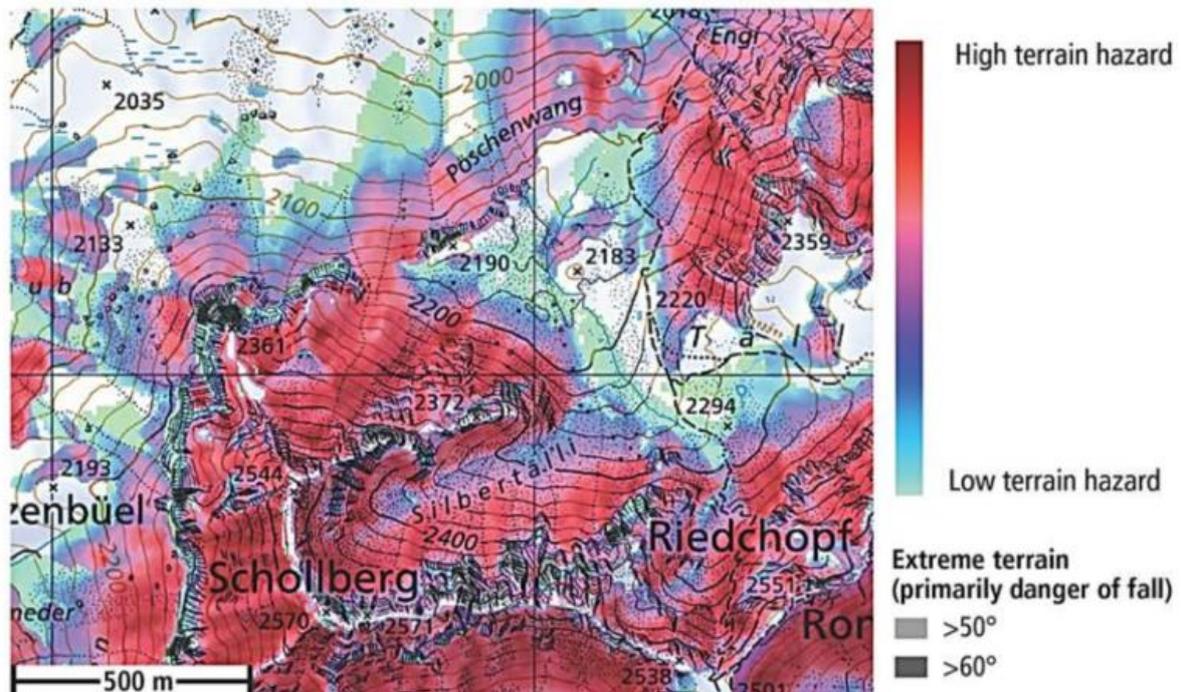


Abbildung 25: Diese Gefahrenkarte teilt das Gelände in die vom Gelände bestimmte potenzielle Lawinengefahr: Auslösemöglichkeiten und Verschüttungs- und Verletzungspotenzial werden berücksichtigt (Quelle: Harvey et al. 2018: 1629).

Wintersportler\*innen, wo das Gelände aufgrund von Lawinen gefährlicher ist und wo sicherer. Dadurch ist die Interpretation wesentlich leichter und auch für Laien geeignet (ebd.: 1630). Die Differenzierung für den Grund der Gefährdung ist konsequenterweise nicht mehr aus dieser Karte herauslesbar. Zusätzlich berechnet diese Karte nicht nur den Wert der *Eintrittswahrscheinlichkeit* im Lawinenrisiko mit ein, sondern auch gewissermaßen die *Verletzlichkeit*. Somit zeigt diese Karte zwei Variablen des Lawinenrisikos kombiniert an: wo treten Lawinen wahrscheinlicher auf und wo ist die Verletzlichkeit gegenüber Lawinen hoch.

Der Ansatz von Harvey et al. (2018) hat nur noch wenig mit den ursprünglichen Kriterien der ATES von Statham et al. (2006) zu tun, aber die Intension ist die gleiche: Mithilfe von Geländeinformationen, basierend auf Erfahrungswerten, das Gelände in Gefahrenbereiche einzuteilen. Harveys et al. (2018) Methodik wirkt vielversprechend und die Ergebnisse brauchbar. Doch inwiefern diese Karten ein Abbild der Realität sind, kann nicht überprüft werden, solange die Bewegungsmuster der Wintersportler\*innen im Gelände unbekannt sind (Schmudlach und Köhler 2016: 735). Harvey et al. geben zu, dass ihre Ergebnisse und die dahinter stehende Methode für den Alpenraum geeignet sind, sich speziell auf von Menschen ausgelöste Lawinengefahren konzentrieren und nur im Rahmen von Situationen, die der Gefahrenstufe 2 (mäßig) und 3 (erheblich) nach der europäischen Lawinengefahrenskala entsprechen, berechnet wurden (Harvey et al. 2018: 1630). Die Hangausrichtung und Höhenlage, wie sie Schmudlach und Köhler (2016) in Betracht zogen, wurde bei Harvey et al. (2018) nicht mehr direkt berücksichtigt. Der Ansatz nach Harvey et al. (2018) müsste daher für entlegene Gebirgsregionen entsprechend auf die Lokalitäten angepasst werden, um auch außerhalb des Alpenraumes brauchbare Ergebnisse zu liefern. Dem könnten vor allem fehlende Datensätze zur Überprüfung der Annahmen und Grenzwerte im Weg stehen.

Die unterschiedlichen Ansätze von Kriz und Galanda (1998) bis Harvey et al. (2018) nutzen teilweise dieselben und teilweise unterschiedliche Faktoren der potenziellen Lawinengefahr. In Tabelle 13 werden diese Faktoren zur Übersicht dargestellt.

Tabelle 13: Gegenüberstellung der kommunizierten potenziellen Lawinengefahren unterschiedlicher Ansätze. Die mit \* bezeichneten Faktoren weisen ein Lawinenpotenzial auf (Quelle: eigene Darstellung).

	Hangneigung	Exposition	Geländeform	Bewaldung	Anrissgebiete*	Auslaufzonen*
Kriz und Galanda (1998)	✓	✓	✓			
Statham et al. (2006)	✓		✓	✓	✓	✓
Delparte (2008)	✓		✓	✓	✓	✓
Campbell und Gould (2013)	✓		✓	✓	✓	✓
Schmudlach und Köhler (2016)	✓	✓	✓	✓		
Harvey et al. (2018)	✓		✓		✓	✓

Die Berechnungen der potenziellen Lawinengefahr der oben angeführten Ansätze (bis auf den von Kriz und Galanda (1998)) beziehen neben Faktoren, die ausschließlich dem Gelände zu entnehmen sind, auch Faktoren des Lawinenpotenzials mit ein. Diese sind zwar räumlich abgrenzbar und weisen einen direkten Zusammenhang zu den fixen Faktoren der Lawinengefahr auf, aber werden entweder über Expert\*innen oder statistische Datenauswertungen (sofern diese vorliegen) erfasst. Dem entsprechend sind diese zusätzlichen Faktoren des Lawinenpotenzials, da sie ebenfalls nur einmal zu erheben sind, eine sinnvolle Erweiterung der fixen Faktoren der Lawinengefahren.

## 9 Schlussfolgerung

Für Wintersportler\*innen ist die durchaus komplexe Erhebung und/oder Berechnung der potenziellen Lawinengefahr auf das Gelände zonierte ein hilfreiches Werkzeug. Unterschiedlich herangezogene Kriterien und Methoden wurden vorgestellt; von einfachen Hangneigungs- und Expositionslösungen (vgl. Kriz und Galanda 1998) bis zu komplexen Berechnungen der Auslösemöglichkeiten und -konsequenzen (Harvey et al. 2018). Jene Berechnungen, Methoden und Visualisierungen können aber kein realistisches Bild der geländerelevanten Lawinengefahren erzeugen, solange die Wirkung der Kriterien nicht geklärt ist. Aus der Fachliteratur der Lawinenkunde geht die meiste Forschung aus dem Alpenraum (speziell Davos in der Schweiz) hervor, wodurch sich im Kapitel 6.2 *Lawinengefahren* gezeigt hat, dass die wichtigsten geländerelevanten Faktoren der Lawinengefahren die Hangneigung, die Exposition und die Geländeformen sind (vgl. Schweizer et al. 2003). Munter (2009), Larcher (2012) oder auch Kriz und Galanda (1998) griffen auf diese Erkenntnisse zurück und entwickelten Methoden, unter anderem, um die potenzielle Lawinengefahr räumlich darzustellen bzw. ihr ausweichen zu können.

Im Gegensatz dazu zeigten Entwicklungen im englischsprachigen Raum andere Ansätze. Die ATES nach Statham et al. (2006) legte einen neuen Grundbaustein in der Interpretation der geländerelevanten Lawinengefahren. Nicht nur die fixen Faktoren, wie die Hangneigung, stellt die potenzielle Lawinengefahr dar, sondern besonders auch Lawinenpfade. Einige Weiterentwicklungen später wurde dieser Ansatz der ATES mit den Erkenntnissen aus dem Alpenraum kombiniert und musste so stark verändert werden, dass schlussendlich für den Alpenraum brauchbare Gefahrenkarten resultierten, aber die Kriterien sich von der ATES aus Kanada stark unterschieden (vgl. Harvey et al. 2018). Klar wird an dieser Stelle, dass selbst das Gelände in Bezug auf Lawinen sehr spezielle Eigenheiten aufweist und dadurch jegliche Kriterien in dem einen Gebirge für die Darstellung der potenziellen Lawinengefahr nicht in einem anderen Gebirge gelten müssen.

Diese Erkenntnis hat essenzielle Auswirkungen für die Lawinengefareinschätzung in entlegenen Gebirgsregionen. Unter Auslassung der variablen Faktoren der Lawinengefahren, weist jede Gebirgsregion eigene geländespezifische Eigenheiten auf, die für die potenzielle Lawinengefahr ausschlaggebend ist. Während die Hangausrichtung beispielsweise in den Alpen als wichtig erscheint, wird in anderen Regionen der Fokus auf die jährliche Lawinenaktivität gelegt. Die Übernahme der geländespezifischen Kriterien einer bestimmten Region für die potenzielle Lawinengefahr für entlegene Gebirgsregionen ist konsequenterweise mit großer Vorsicht zu genießen. Genaue Erhebungen der geländespezifischen Lawinenaktivitäten, wie Anrissgebiete, Lawinenpfade, Ablagerungszonen, Unfallinformationen usw. sind vor einer Gefahrenermittlung notwendig. Genau diese Notwendigkeit stellt die Schwierigkeit der Einschätzung der potenziellen Lawinengefahr in entlegenen Gebirgsregionen dar. Da solche Gebirgsregionen von wenigen Wintersportler\*innen besucht sind (vgl. Kapitel 8.1 *Entlegene Gebirgsregionen*), können Daten in einem brauchbaren Umfang, wie Unfallinformationen, nicht vorliegen. Das Fernauslösungspotenzial ist schwierig zu ermitteln und zu überprüfen, wenn keine oder unzureichend wenige Fernauslösungen beobachtet und dokumentiert werden können. Folglich kann in entlegenen Gebirgsregionen logischerweise keine genaue Ermittlung stattfinden, welche geländespezifischen Kriterien notwendig sind bzw. mit welcher Priorisierung behandelt werden sollen, um ein realistisches Bild der potenziellen Lawinengefahren zu erstellen.

Aus dem Grund der unmöglichen für die Gebirgsregion spezifischen Anpassung der Geländekriterien in entlegenen Gebirgsregionen muss sich die Einschätzung der potenziellen Lawinengefahren mit Annäherungen zufriedengeben. Diese Tatsache hat Auswirkungen auf die Qualität der Gefahreinschätzung und muss in der Kommunikation dieser entsprechend berücksichtigt werden. Hinzu kommt, dass selbst die erforschten Kriterien für die potenzielle Lawinengefahr aufgrund der

fehlenden Datenverfügbarkeit in entlegenen Gebirgsregionen teilweise nicht einsetzbar sind. Tabelle 14 vergleicht die oben erläuterten Ansätze von Kriz und Galanda (1998) bis Harvey et al. (2018) und zeigt die Brauchbarkeit in entlegenen Gebirgsregionen, unterteilt in die Datengrundlagen, Methodik und Visualisierung. So zeigt Tabelle 14 einerseits die Einschränkung für entlegene Gebirgsregionen in Bezug auf die verglichenen Ansätze und andererseits stellt diese das Potenzial dar, welches für entlegene Gebirgsregionen nutzbar ist.

Als Datengrundlage sind topographische Karten, DHMs und Vegetationsdaten (aus Orthofotos gewonnen) realistischerweise in entlegenen Gebirgsregionen vorhanden oder möglich zu produzieren. Dass spezielle Daten zu langjährigen Lawineninformationen, sowie lokales Expert\*innenwissen vorhanden ist, kann ausgeschlossen werden. Mögliche Methoden zur Erhebung bzw. Verarbeitung der Daten sind Geländeerkundungen durch Expert\*innen oder Berechnungen und Analysen von computergestützter Software, wie GIS oder Lawinensimulationsprogramme. Von lokalem Expert\*innenwissen ist im Wintersport aufgrund der Definition von entlegenen Gebirgsregionen nicht auszugehen. Zur Visualisierung der potenziellen Lawinengefahren eignen sich die flächenhaften Darstellungen, wie die Pixeldarstellung, die zusammenhängenden Flächen und die Farbverläufe zwischen den Flächengrenzen. Routenkategorisierungen machen in entlegenen Gebirgsregionen keinen Sinn, solange es keine hochfrequentierten Routen von Wintersportler\*innen gibt.

Demnach ist aus Tabelle 14 keine der vorgestellten Ansätze in entlegenen Gebirgsregionen umsetzbar, da bei jedem zumindest eine Notwendigkeit nicht vorhanden ist. Bei Kriz und Galanda (1998) ist fraglich, ob ein DHM mit einer Auflösung von 10 bis 15 Meter in entlegenen Gebirgsregionen vorhanden ist und lokales Expert\*innenwissen die gefährlichen Expositionsbereiche definieren kann. Statham et al. (2006) Ansatz scheitert vor allem an den notwendigen Informationen über langjährige Lawinenaktivitäten, aber auch die Visualisierung über Routenkategorisierungen ist für entlegene Gebirgsregionen unbrauchbar. Auch wenn Delparte (2008) zwar die Darstellung im Vergleich zu Statham et al. (2006) optimiert hat und stärker auf Berechnungen, als auf subjektive Expert\*innenmeinungen zurückgreift, benötigt auch sie mit ihrem Ansatz langjährige Lawinenaktivitätsdaten. Campbells und Goulds (2013) manuelle Methode ist gleichzeitig auch die flexibelste und ließe sich in entlegenen Gebirgsregionen noch am besten adaptieren. Jedoch wären dafür mehrere Winter notwendig, um eine lokale Expertise über Lawinenpfade zu erhalten. Schudlachs und Köhlers (2016) sowie Harveys et al. (2018) Ansätze sind zu stark von lokalen Unfall- und Lawinendaten abhängig, um eine realitätsnahe Gefahrenkarte erstellen zu können. Sie setzen bei ihren Ansätzen auf komplexe Berechnungen, welche speziell an ihre Untersuchungsgebiete angepasst wurden. Diese komplexen Kalkulationen führen zu einer hohen Anfälligkeit für unrealistische Ergebnisse, wenn die Datengenauigkeit variiert. Die mögliche Anpassung an andere entlegene Gebirgsregionen wäre daher äußerst schwierig.

Tabelle 14: Sechs Ansätze zur Visualisierung der potenziellen Lawinengefahr werden auf die Grundlagendaten, ihre Methodik und Visualisierung verglichen. In fetter Schrift sind jene Felder markiert, die nach Meinung des Autors in entlegenen Gebirgsregionen denkbar umzusetzen wären und die potenzielle Lawinengefahr sinnvoll kommunizieren könnten (Quelle: eigene Darstellung).

Kriz und Galanda (1998)	Statham et al. (2006)	Delparte (2008)	Campbell und Gould (2013)	Schmudlach und Köhler (2016)	Harvey et al. (2018)	
<b>1:20.000 - 1:40.000</b>			<b>1:20.000 - 1:50.000</b>	1:25.000	1:25.000	Topographische Karte (Maßstab)
10-15m		5m	<b>je genauer desto weniger Geländearbeit</b>	hochauflösend	5m	DHM (Auflösung)
		<b>notwendig</b>	<b>notwendig</b>	<b>notwendig</b>		Vegetationsdaten
	30 Jahre	40 Jahre				Lawinenaktivitäten vergangener XX Jahre
<b>notwendig</b>				<b>notwendig</b>	<b>notwendig</b>	Regionsspezifische Unfalldaten
	<b>notwendig</b>					Routendaten
	<b>notwendig</b>					Vergletscherung
	<b>notwendig</b>		<b>notwendig</b>		<b>notwendig</b>	lokales Lawinenexpert*innenwissen
<b>ja</b>		<b>ja</b>	<b>möglich</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	Computer gestützt
	ja		möglich	möglich	ja	Expert*innenwissen vor Ort
	<b>ja</b>		<b>ja</b>			Geländeerkundung von Expert*innen
<b>Hangneigung, Exposition</b>		<b>ATES</b>		<b>ATES</b>	<b>Potenzial für menschl. Auslösung, Fernauslösung, Verschüttung, Verletzung</b>	Pixeldarstellung
			<b>ATES</b>			zusammenhängende Flächen
			<b>ja</b>	<b>ja</b>		Farbverläufe der Grenzen
	<b>ATES</b>					Routenkategorisierung

Die Konsequenz aus dieser Erkenntnis ist, dass zumindest minimale Ressourcen aufgewendet werden *müssen*, damit eine Kommunikation der potenziellen Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen für Wintersportler\*innen möglich ist. Je nach Dimension der Aufwendung können unterschiedliche Qualitäten in der Geokommunikation von Lawinengefahren erreicht werden. Neugebauer und Kriz (2019) setzten in einem gesamtheitlichen Konzept den Ressourcenaufwand der zu erreichenden Qualitätsstufen der Geokommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen ins Verhältnis zur Brauchbarkeit für Wintersportler\*innen, beziehen aber sowohl die fixen, wie die variablen Faktoren, in ihre Bewertung mit ein. Sie zeigten dabei ein proportional umgekehrtes Verhältnis auf, das gewissermaßen ein „Kosten-Nutzen“-Verhältnis für entlegene Gebirgsregionen darstellt (Neugebauer und Kriz 2019: 60). Insgesamt beschreibt dieses Modell fünf Stufen von rohen Wetterdaten bis zu einem Lawinenbulletin (vgl. Abbildung 27). Die vorgestellten Ansätze von Kriz und Galanda (1998) bis zu Harvey et al. (2018) liegen in Stufe 4, der thematischen Karten. Nach Neugebauers und Kriz' (2019) Ansatz ist der Ressourcenaufwand für Stufe 4 bereits relativ groß im Vergleich zur notwendigen Expertise der Wintersportler\*innen, die sie benötigen, um die thematischen Karten lesen und interpretieren zu können.

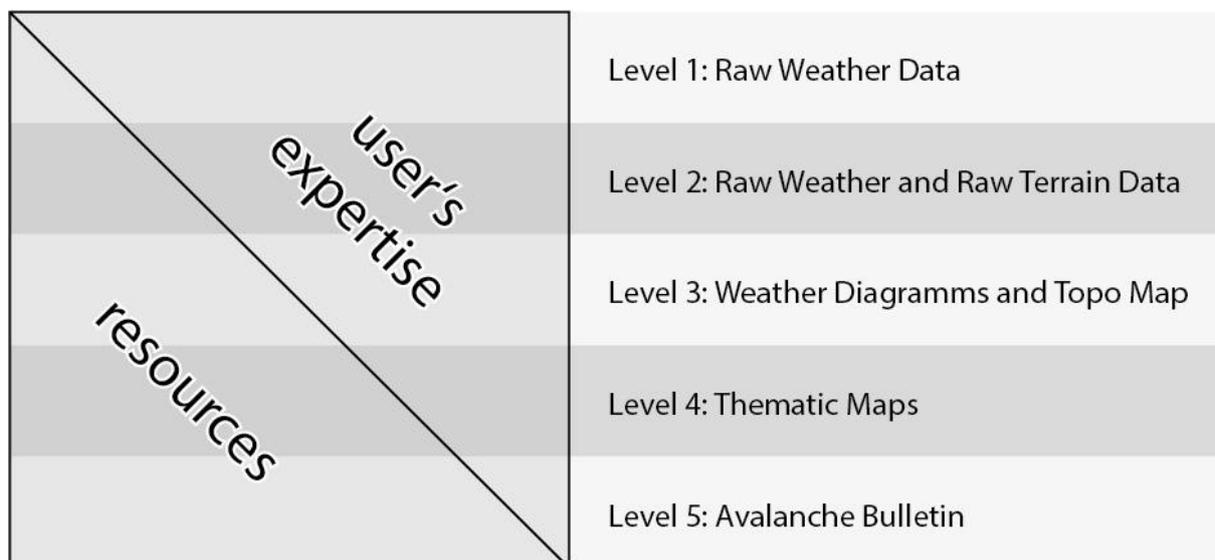


Abbildung 27: Das Verhältnis zwischen der Expertise der Wintersportler\*innen und den aufzuwendenden Ressourcen ist proportional umgekehrt (Quelle: Neugebauer und Kriz 2019: 60).

Im Vergleich zu Stufe 1 müssen nur minimale Ressourcen für rohe Wetterdaten zur Verfügung gestellt werden. Mithilfe dieser müssten Wintersportler\*innen jedoch ausgezeichnete Kenntnisse über das Gelände aufweisen und Expert\*innen in der Lawinenkunde sein, um aus den wenigen Informationen über das aktuelle Wetter Lawinengefahren ableiten zu können. Die exakten Geländekenntnisse entfallen auf Level zwei, dafür wird zumindest ein DHM benötigt. Liegt ein DHM in entsprechender Auflösung vor, können erste Hangneigungsberechnungen durchgeführt werden, sofern die Nutzer\*innen dazu fähig sind. Für Wintersportler\*innen, die keine Expertise in der Datenverarbeitung von rohen Wetter- oder Geländedaten haben, aber zumindest Wissen über die Zusammenhänge der Lawinenkunde, kann Stufe 3 bereits dienlich sein. Bei Berg- und Skiführer\*innen und anderen Berg- und Wintersportexpert\*innen kann davon ausgegangen werden, dass Wetterdiagramme und topographische Karten bereits ausreichen, um zu lawinenrelevanten Entscheidungen in entlegenen Gebirgsregionen zu kommen. Durchschnittlichen Wintersportler\*innen kann unterstellt werden, dass zumindest thematische Karten, wie die vorgestellten Ansätze für Gefahrenkarten, notwendig sind, um selbstständige sicherheitsrelevante Entscheidungen aufgrund von Lawinengefahren fällen zu können. Ein

Lawinenbulletin (vgl. Kapitel 7.1 *Institutionelles Lawinenrisikomanagement*) der fünften Stufe gibt letztendlich genügend Auskunft über die Lawinengefahren, auch wenn die Wintersportler\*innen Laien sind. Insofern können, im Kontext der fünf Stufen nach Neugebauer und Kriz (2019), die vorgestellten Ansätze zur Visualisierung der potenziellen Lawinengefahren über Gefahrenkarten, bereits durchschnittliche Wintersportler\*innen nutzen.

Selbst auf Stufe 4, der thematischen Karten, so zeigte sich oben, gibt es maßgebliche Unterschiede in Nutzbarkeit und Ressourcenaufwand. Folglich kann innerhalb dieser Stufe ein gleiches Prinzip verfolgt werden, um Lösungen für entlegene Gebirgsregionen zu finden. Je mehr Ressourcen aufwendet werden, desto realistischer die Darstellung der potenziellen Lawinengefahren und desto weniger Expertise müssen Wintersportler\*innen aufweisen. Die optimale Balance zwischen Ressourcenaufwand und notwendiger Expertise der Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen zu finden hängt schließlich von den verfügbaren Datenquellen ab.

Die Konsequenz aus dem Ansatz von Neugebauer und Kriz (2019) für entlegene Gebirgsregionen liegt daher weniger darin, ob ein konkreter Ansatz zur Geokommunikation der potenziellen Lawinengefahr geeignet ist oder nicht, sondern vielmehr im festzulegenden Verhältnis zwischen Ressourcenaufwand und zu akzeptierender Expertise der Wintersportler\*innen.

Dieses Modell des umgekehrt proportionalen Verhältnisses für entlegene Gebirgsregionen kann eindeutig in der Risikobemessung der *Eintrittswahrscheinlichkeit* eingeordnet werden. Werden große Mengen von Ressourcen aufgewendet, um die Lawinengefahren zu kommunizieren, wird der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit präziser bekannt, als bei einem geringen Ressourcenaufwand. Nachdem die Eintrittswahrscheinlichkeit von Lawinenunfällen direkt mit der Präsenzwahrscheinlichkeit der Wintersportler\*innen zusammenhängt (vgl. Kapitel 6.3 *Lawinenrisiko – welche Chance hat der Mensch?*), kann durch die Geokommunikation von Lawinengefahren diese reduziert werden. Wer bzw. wie viele Wintersportler\*innen schlussendlich von der Geokommunikation profitieren, hängt wieder mit dem Ressourcenaufwand zusammen und beeinflusst die Gesamtheit von Lawinenunfällen in entlegenen Gebirgsregionen.

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, p_{Oj, Si}, A_{Oj}, v_{Oj, Si})$$


- $R_{i,j}$  = Risiko, abhängig von Szenario  $i$  und Objekt  $j$
- $p_{Si}$  = Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario  $i$
- $p_{Oj, Si}$  = Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekt  $j$  gegenüber Szenario  $i$
- $A_{Oj}$  = Wert von Objekt  $j$
- $v_{Oj, Si}$  = Verletzlichkeit von Objekt  $j$ , abhängig von Szenario  $i$

Durch das Wissen über die Größe und Verortung der Eintrittswahrscheinlichkeit  $p_{Si}$  kann durch die Wintersportler\*innen der Wert der Präsenzwahrscheinlichkeit  $p_{Oj, Si}$  reduziert werden, somit minimiert sich das Risiko  $R_{i,j}$ .

Diese Reduktion des Risikos allein stellt einen geschlossenen Informationskreislauf im Lawinenrisikomanagement, ohne Einbezug eines Lawinenwarndienstes, dar. Zwar wurde im Detail nur auf Ansätze zur Kommunikation der potenziellen Lawinengefahr eingegangen (vgl. Kriz und Galanda 1998; Statham et al. 2006; Delparte 2008; Campbell und Gould 2013; Schudlach und Köhler 2016; Harvey et al. 2018), aber mit zusätzlicher Forschung in Bezug auf die Vermittlung der aktuellen Lawinengefahr ist der in dieser Arbeit propagierte Ansatz des Informationskreislaufes für entlegene Gebirgsregionen ein Beitrag zur Risikominimierung vor Lawinenunfällen.

## 10 Fazit und Ausblick

Der Ansatz, das Risiko durch das Erkennen und Kommunizieren der Eintrittswahrscheinlichkeit mit Einfluss auf die Präsenzwahrscheinlichkeit von Lawinenunfällen zu reduzieren, ist in den Punkt der *Prävention* im Risikomanagement zu setzen. Folglich bleiben durch das oben propagierte Lawinenrisikomanagement für entlegene Gebirgsregionen die Variablen der Verletzlichkeit und des Wertes der Wintersportler\*innen konstant. Nicht nur das einseitige Risikomanagement durch reine Präventionsmaßnahmen und die damit verbundene simple bis komplexe Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Lawinenunfällen verdeutlicht die Limitierungen des in dieser Arbeit propagierten Ansatzes, sondern gerade auch die Datenverfügbarkeit und der nötige Ressourcenaufwand sind Faktoren, die in entlegenen Gebirgsregionen zu essenziellen Einschränkungen im Lawinenrisikomanagement führen. Ganzheitliche Ansätze oder auch welche, die andere Schritte des Risikomanagements bedienen, wären folglich notwendig, um ein praxistaugliches und realistisches Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen durchführen zu können.

Da der Fokus dieser Arbeit auf der räumlichen Komponente der Kommunikation der Lawinengefahren in einem Lawinenrisikomanagement liegt, werden die Grenzen des Beitrages von Ansätzen der Geokommunikation sichtbar. Gerade im Sinne der Geokommunikation wären mithilfe entsprechender Datenverfügbarkeiten brauchbare Ansätze zur Einschätzung der potenziellen Lawinengefahr möglich, aber über die Lawinenunfallprävention und die Kommunikation der Eintrittswahrscheinlichkeit gehen auch diese Ansätze im Risikomanagement nicht hinaus.

Als Antwort auf die anfangs gestellte Forschungsfrage

*ob die Kartographie zur Kommunikation von Lawinengefahren in entlegenen Gebirgsregionen beitragen kann,*

lässt sich Folgendes festhalten: Diese Arbeit soll aufzeigen, welches Potenzial die Geokommunikation und im Speziellen kartographische Lösungen leisten können und wo dieses Potenzial als ein „Puzzlestück“ eines ganzheitlichen Risikomanagements einzuordnen ist. Ansätze der Geokommunikation haben daher besondere Stärken, die räumlichen Faktoren der Lawinengefahren visuell zu kommunizieren, damit Wintersportler\*innen im Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements eine Entscheidung über ihre Präsenzwahrscheinlichkeit fällen können.

Die Ergebnisse dieser Arbeit tragen somit zur Umsetzung eines Lawinenrisikomanagements, speziell in entlegenen Gebirgsregionen, bei und können daher für darauf aufbauende wissenschaftliche Untersuchungen genutzt werden. Diese Arbeit hilft, die Forschungslücke im Bereich des Lawinenrisikomanagements für Wintersportler\*innen in entlegenen Gebirgsregionen zu verkleinern und leistet folglich einen Beitrag, die Zahl der tödlichen Lawinenunfälle als Folge fehlender Informationen und Versagen von Kommunikation vor Lawinengefahren zu vermindern.

Es hat sich in dieser Arbeit gezeigt, dass schneebedeckte Berge für Wintersportler\*innen auch außerhalb von hochfrequentierten Gebirgsregionen, wie in den Alpen, einen Reiz für das persönliche Erlebnis darstellen (vgl. Boller et al. 2010; Mehmetoglu 2007), aber neben der menschlichen Einsamkeit, dem besonderen Naturerlebnis oder dem perfekten Pulverhang, ein potenzielles Risiko gegenüber steht, das die Gefahr birgt, dass Wintersportler\*innen von Lawinen getötet werden können (vgl. Hohlrieder et al. 2007, Boyd et al. 2009, McIntosh et al. 2007). Während unterschiedliche ressourcenintensive Maßnahmen weltweit in hochfrequentierten winterlichen Gebirgsregionen versuchen das Lawinenunfallrisiko zu minimieren (vgl. Amt der Tiroler Landesregierung 2001), werden im Gegensatz dazu in entlegenen Gebirgsregionen keine Aufwendungen unternommen. Trotzdem belegen tödliche Lawinenunfälle aus jüngerer Vergangenheit die Anwesenheit von Lawinengefahren und die damit

verbundene Problematik des Lawinenrisikomanagements (vgl. Armalp 2018; UpTheRock 2019; AzatutyunTV 2020). Die fehlenden Informationen über das Gelände und das Wetter, sowie der Schneedecke, als Basis jeglicher Lawinengefahren, machen folglich eine Gefahrenkommunikation dieser raumrelevanten Größen schwierig.

Die Kartographie als Kommunikationswissenschaft, bietet für die räumliche Kommunikation von Lawinengefahren geeignete Theoriegebäude (vgl. Brodersen 2007). Zirkuläre Kommunikationsmodelle, im Sinne der Geokommunikation, können nicht nur raumrelevante Informationen vermitteln, sondern lassen auch eine Interaktion aller Kommunikationskomponenten zu, sodass sowohl Nutzer\*innen kartographischer Produkte, wie auch Kartograph\*innen, zur Effizienzsteigerung der Kommunikation beitragen können (Kriz 2001: 232; Brodersen 2008: 6). Schließlich liegt das zirkuläre Kommunikationsmodell in der Kartographie als Basis jeglicher Gefahrenkommunikation und im weiteren Sinne des Lawinenrisikomanagements zu Grunde.

Das Lawinenrisikomanagement muss folglich in den Kontext der Risikoforschung eingebettet werden, demnach klare Unterscheidungen der damit verbundenen Begrifflichkeiten vorliegen. Bei einer Lawine ist daher grundsätzlich von einem Naturereignis zu sprechen, das für Menschen eine potenzielle Gefahr darstellt. Der Unterschied zwischen der Gefahr und dem Risiko liegt in der Wahrscheinlichkeit, dass Menschen, oder andere als wertvoll angesehene Objekte, von der Gefahr Schaden nehmen (Smith und Petley 2009: 13). Folglich wird das *Risiko* eines Ereignisses gegenüber einem Objekt im Kontext von Naturgefahren quantitativ durch eine Funktion von

- der *Eintrittswahrscheinlichkeit* des Ereignisses,
- der *Präsenzwahrscheinlichkeit* des Objektes gegenüber dem Ereignis,
- dem *Wert* des Objektes und
- der *Verletzlichkeit* des Objektes gegenüber dem Ereignis

ermittelt (Fuchs et al. 2015: 53). Wurde ein Risiko wahrgenommen und erfasst, stellt der Umgang mit diesem das Risikomanagement dar. Ein Risikomanagement lässt sich folglich als das Abwägen des potenziellen Schadens bzw. negativer Ergebnisse einer Situation und der mit dem Risiko verbundenen Chance erklären (Smith und Petley 2009: 50). Unterschiedliche Strategien beschreiben die Vorgangsweise wie der Schaden minimiert und die Chance maximiert werden kann, woraus sich drei Schritte ableiten lassen: die Prävention (Maßnahmen vor einem Ereignis), die Entscheidung/Handlung (Maßnahmen während einem Ereignis) und die Reaktion/Bewältigung (Maßnahmen nach einem Ereignis) (vgl. Field et al. 2012).

Um ein Lawinenrisikomanagement durchführen zu können und diese drei Schritte zu bedienen, müssen im Kontext der Lawinenkunde die Lawinengefahren bekannt und deren Zusammenhänge simpel dargelegt werden. So ergibt sich die Einteilung der Lawinengefahren in die zeitlich fixen Komponenten, die durch das Gelände bestimmt sind, und die variablen Faktoren, die durch das Wetter und die Schneedeckenverhältnisse resultieren (ICSI 1981: 101ff). Aus der fachkundigen Literatur stellte sich heraus, dass sich die wesentlichen Lawinengefahren für Wintersportler\*innen verursacht durch das Gelände, wie auch das Wetter, räumlich eingrenzen lassen (vgl. Schweizer et al. 2003; Doorschot et al. 2001; McClung und Schweizer 1997; Rosendahl und Weißgraeber 2020; Perla 1977; Schweizer und Lutschg 2001; Vontobel et al. 2013). Folglich stellt sich die Frage, wie der Mensch aufgrund der Erkenntnis der räumlichen Abgrenzbarkeit der Lawinengefahren mit diesen umgehen kann und auf welche Komponenten der Risikogleichung er Einfluss hat. Während der Wert des Menschenlebens konstant bleibt, besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Lawine und der Präsenzwahrscheinlichkeit des Menschen im Gefahrenbereich. Da bei 90% der tödlichen Lawinenunfälle die Auslösung der Lawine durch Menschen bedingt ist (Schweizer und

Lütschg 2001: 151), hängt die Eintrittswahrscheinlichkeit einer tödlichen Lawine mit der Präsenzwahrscheinlichkeit von Wintersportler\*innen kausal zusammen. Befindet sich ein Mensch in einer abgehenden Lawine besteht eine Todesfallwahrscheinlichkeit von ca. 20% (Brugger et al. 2007: 477; Brugger et al. 2001: 8; Lunde-Tellefsen 2019: 8). Durch vor allem Kamerad\*innenrettung mit entsprechender Sicherheitsausrüstung können Menschen aus Lawinen gerettet werden und somit die Verletzlichkeit minimieren, um das Lawinenunfallrisiko gering zu halten (vgl. Slotta-Bachmayr 2005). In Anbetracht des Einflusses von Wintersportler\*innen auf die Komponenten der Risikogleichung, bestimmen Wintersportler\*innen konsequenterweise selbst über ihr Schicksal.

Entscheidungen über das eigene Risiko setzen jegliche Informationen über die vorherrschenden Lawinengefahren, die Expertise diese zu interpretieren und in der Rettungstechnik geübte Kamerad\*innen als Begleitung voraus. In von Wintersportler\*innen hochfrequentierten Gebirgsregionen kommunizieren sogenannte Lawinenwarndienste Informationen zu aktuellen Lawinengefahren und bieten somit einen institutionellen Ansatz eines Lawinenrisikomanagements an (EAWS 2017<sup>2</sup>: 1f). Mithilfe dieser Informationen und der eigenen Geländebeobachtungen können über probabilistische Methoden Entscheidungsbäume abgearbeitet werden, um eine Beurteilung der Situation vor Ort vorzunehmen (vgl. Munter 2009; Larcher 2012). Zusätzlich wird ein ausbildungsorientierter Ansatz verfolgt, der Wintersportler\*innen die Fähigkeiten der Kamerad\*innenrettung vermittelt und den Umgang mit unterschiedlichen Entscheidungsstrategien lehrt (Fredston et al. 1994: 477). Diese drei Ansätze, des institutionellen, des probabilistischen und des ausbildungsorientierten Lawinenrisikomanagements, können in einem Informationskreislauf des Lawinenrisikomanagements abstrahiert werden. Folglich werden die Informationen der Lawinengefahren über die variablen und fixen Faktoren gefiltert durch Lawinenwarndienste verarbeitet und über das Lawinenbulletin an Wintersportler\*innen kommuniziert, die mithilfe von probabilistischen Methoden oder eigener Expertise in der Lawinenkunde eine Entscheidung in der Planung vor einer Tour oder im Gelände ableiten können. Mit dieser Entscheidung nehmen die Wintersportler\*innen direkten Einfluss auf ihr Lawinenunfallrisiko.

Im Gegensatz zu von Wintersportler\*innen hochfrequentierten Gebirgsregionen lässt sich dieser Informationskreislauf in entlegenen Gebirgsregionen nicht umsetzen. Da entlegene Gebirgsregionen in dieser Arbeit als Regionen der Erde, in denen Lawinengefahren zumindest saisonal bestehen und keine Lawinenwarndienste vorhanden sind, definiert werden, muss der Informationskreislauf so verändert werden, dass die gefilterten Informationen über die Lawinengefahren, statt über die Verarbeitung eines Lawinenwarndienstes, direkt durch Geokommunikation an die Wintersportler\*innen vermittelt werden. Mehrere Ansätze versuchen die potenzielle Lawinengefahr zu visualisieren und zu kommunizieren. Bestimmt werden sie durch die fixen Faktoren, die das Potenzial der Kartographie zur Minimierung des Lawinenunfallrisikos in entlegenen Gebirgsregionen aufzeigen. Angefangen bei der Kommunikation von Hangneigungen und Exposition (vgl. Kriz und Galanda 1998) bis zu komplex berechneten Gefahrenkarten (vgl. Harvey et al. 2018) gibt es Lösungsansätze, die ohne Lawinenwarndienste das Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen erleichtern könnten. Diese Ansätze setzen jedoch teilweise bestimmte Infrastruktur und erhobene Daten voraus, die aufgrund der Charakteristik von entlegenen Gebirgsregionen nur sehr sporadisch verfügbar sind. Ohne etwaige Aufwendungen oder Investitionen ist das Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen nur durch Lawinenexpert\*innen mit Fähigkeiten in der Verarbeitung von meteorologischen und räumlichen Daten mit lokalem geländespezifischem Wissen möglich. Sollen Expert\*innen im Wintersport, wie etwa Berg- und Skiführer\*innen, sicherheitsrelevante Entscheidungen treffen können, so braucht es zumindest aufgearbeitete Informationen über das Wetter (z. B. Wetterdiagramme) und das Gelände (z. B. topographische Karten). Laien hingegen profitieren erst von stark vereinfachten Informationen, wie ein Lawinenbulletin, und haben folglich keine Möglichkeit ein selbstständiges Lawinenrisikomanagement in entlegenen Gebirgsregionen durchzuführen. Es zeigt sich ein umgekehrt proportionales Verhältnis

zwischen Ressourcenaufwand und Expertise der Wintersportler\*innen (vgl. Neugebauer und Kriz 2019).

Durch die aufgezeigten Ansätze der direkten Kommunikation von geländerelevanten Lawinengefahren und der Einbettung dieser im Risikomanagement, füllt diese Arbeit nicht nur die Forschungslücke für die Problematik des Lawinenrisikomanagements in entlegenen Gebirgsregionen, sondern trägt auch zur Minderung der Zahl von Lawinentoten bei.

## 11 Literaturverzeichnis

- Adger, N. (2006): Vulnerability. – In: *Global Environmental Change* 16 (2006), 268-281.
- Afghanistan Avalanches (2017): A Documentation of the Afghanistan Spatial Data Center. – online unter: <http://afghanistanavalanches.org/> [11.12.2020].
- Alpenverein Akademie (2020): Lawinen- & Schneekunde. – online unter: <https://www.alpenverein-akademie.at/akademie/basis-und-training/ausbildung-sektionen/index.php> [27.11.2020].
- Alpenvereinaktiv (2021): Legede Hangneigungskarte. – online unter: <https://support.alpenvereinaktiv.com/hc/de/articles/360021946551-Legende-Hangneigungskarte> [11.01.2021].
- Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung für Zivil- und Katastrophenschutz, Lawinenkommissionsangelegenheiten (2001): *Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen*. – Innsbruck.
- Anderson, M. B. und Woodrow, P. J. (1989): *Rising from the Ashes. Development Strategies in Times of Disaster*. – London.
- Armalp (2018): Armenian Mountaineering and Mountain Tourism Federation. – online unter: <http://armalp.am/en/%D5%B1%D5%B6%D5%A1%D5%B0%D5> [25.07.2018].
- Atkins, D. (2000): Human Factors in Avalanche Accidents. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop 2000 (ISSW)*, 46-51.
- Atwater, M. (1954): Snow Avalanches. – In: *Scientific American*, a division of Nature America, Inc., 190 (1), 26-31.
- Avalanche Canada (2020): Glossary. Glide Slab. – online unter: <https://www.avalanche.ca/glossary#a-glide-slab-is-a-cohesive-slab-of-snow-often-consisting> [12.10.2020].
- Avalanche.org (2020): Avalanche Courses. – online unter: <https://avalanche.org/avalanche-courses/> [27.11.2020].
- Avalanche Training Center (2020): Practice your Avalanche Rescue Skills... - online unter: <https://www.avalanche-training-center.ch/> [27.11.2020].
- AzatutyunTV (2020): Three Armenian Soldiers Killed In Avalanche. – online unter: <https://www.azatutyun.am/a/30422995.html> [11.12.2020].
- Babka, G. (2018): *Einsatz von Diagrammen und graphischen Darstellungen in der Geokommunikation am Beispiel von ausgewählten Lawinenwarndiensten im Alpenraum*. – Wien.
- Barsch, D. und Caine, N. (1984): The Nature of Mountain Geomorphology. – In: *Mountain Research and Development*, 4, (4), 287-298.
- Bartelt, P. und Lehning, M. (2002): A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part I: numerical model. – In: *Cold Regions Science and Technology*, 35 (2002), 123-145.
- Behr, W. und Mersch, J. (2021): Acht Unschärfen, Ungereimtheiten & Irrtümer in der Lawinenkunde. – In: *berg und steigen*, 113, 38-46.
- Bertin, J. (1974): *Graphische Semiologie – Diagramme, Netze, Karten*. – Berlin, New York.

- Birkmann, J. (2006): Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. – In: Birkmann, J. (Hg.): Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies. – Tokyo, 9-54.
- Bishop, M. und Shroder, J. (2004): Geographic Information Science and Mountain Geomorphology. – Chichester.
- BMASK – Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz (2009): Freiwilligen Engagement in Österreich. 1. Freiwilligenbericht. – Wien.
- Bohle, H. G. (2001): Vulnerability and criticality: perspectives from social geography. IHDP-Update 2, 1-5.
- Bohle, H.G. und Glade, T. (2006): Vulnerabilitätskonzepte in Sozial- und Naturwissenschaften. – In: Felgentreff, C. und Glade, T. (Hg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. – Heidelberg, 99-119.
- Boller, F.; Hunziker, M.; Conedera, M.; Elasser, H. und Krebs, P. (2010): Fascinating Remoteness: The Dilemma of Hiking Tourism Development in Peripheral Mountain Areas Results of a Case Study in Southern Switzerland. – In: Mountain Research and Development, 30 (4), 320-331.
- Bollin, C.; Cárdenas, C.; Hahn, H. und Vatsa K. S. (2003): Natural Disaster Network: Comprehensive Risk Management by Communities and Local Governments. – Washington D. C.
- Boyd, J.; Haegeli, P.; Abu-Laban, R. B.; Shuster, M. und Butt, J. (2009): Patterns of death among avalanche fatalities: a 21-year review. – In: CMAJ Canadian Medical Association or its licensors, 180 (5), 507-512.
- Brodersen, L. (2007): Paradigm shift from cartography to geo-communication. – In: XXIII International Cartographic Conference: Cartography for everyone and for you. ICA.
- Brugger, H.; Durrer, B.; Adler-Kastner, L.; Falk, M. und Tschirky, F. (2001): Field management of avalanche victims. – In: Resuscitation 51 (2001), 7-15.
- Brugger, H.; Etter, H. J.; Zweifel, B.; Mair, P.; Hohlrieder, M.; Ellerton, J.; Elsensohn, F.; Boyd, J.; Sumann, G. und Falk, M. (2007): The impact of avalanche rescue devices on survival. – In: Resuscitation (2007) 75, 476-483.
- Brodersen, L. (2008): Geo-communication and information design – A viewpoint regarding the content architecture agreement on case and location as the basis of decisions based on a phenomenological, communicative, semiotic and rhetorical foundation. – In: Journal for Theoretical Cartography, vol. 1, 1-13.
- Burkeljca, J. (2013): Shifting audience and the visual language of avalanche risk communication. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013 (ISSW), Grenoble – Chamonix Mont-Blanc, 415-422.
- BSPA – Bundessportakademie Österreich (2020): Ausbildungen. – online unter: <https://www.bspa.at/ausbildungen/aktuell/> [27.11.2020].
- BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. – In: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hg.). Umwelt-Materialien Nr. 107/I Naturgefahren. – Bern.
- CAA – Canadian Avalanche Association (2016): Technical Aspects of Snow Avalanche Risk Management-Resources and Guidelines for Avalanche Practitioners in Canada. (Hg.) Campbell, C.; Cinger, S.; Gould, B.; Haegeli, B.; Jamieson, B. und Statham, G. – Revelstike, BC, Canada.

- Campbell, C.; Gould, B. und Newby, J. (2012): Zoning with the Avalanche Terrain Exposure Scale. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2012 (ISSW), Anchorage, AK, USA, 450-457.
- Campbell, C. und Gould, B. (2013): A proposed practical model for zoning with the Avalanche Terrain Exposure Scale. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013 (ISSW), Grenoble – Chamonix Mont-Blanc, 385-391.
- Campbell, C. und Marshall, P. (2010): Mapping Exposure to Avalanche Terrain. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2010 (ISSW), 556-560.
- Cardona, O.D.; van Aalst, M.; Birkmann, J.; Fordham, M.; McGregor, G.; Perez, R.; Pulwarty, R.; Schipper, E. und Sinh, B. (2012): Determinants of risk: exposure and vulnerability. – In: Field, C.; Barros V.; Stocker, T.; Qin, D.; Dokken, D.; Ebi, K.; Mastrandrea, M.; Mach, K.; Plattner, G.; Allen, S.; Tignor, M. und Midgley, P. (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 65-108.
- Castebrunet, H.; Eckert, N. und Giraud, G. (2012): Snow and weather climatic control on snow avalanche occurrence fluctuations over 50 yr in the French Alps. – In: Climate of the Past, European Geosciences Union (EGU), 8 (2012), 855-875.
- Central Campus (2020): Snowsports & Avalanche Safety. – online unter: <https://central.op.ac.nz/study/snowsports/> [27.11.2020].
- Davidson, R. A. und Shah, H. C. (1997): An Urban Earthquake Disaster Risk Index. Report No. 121. – Stanford.
- Delparte, D. M. (2008): Avalanche Terrain Modeling in Glacier National Park, Canada. – Calgary.
- DGIWG (2000): The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST). Feature and Attribute Coding Catalogue (FACC). Washington, D. C.
- Doorschot, J.; Raderschall, N. und Lehning, M. (2001): Measurements and one-dimensional model calculations of snow transport over a mountain ridge. – In: Annals of Glaciology, 32, 153-158.
- EAWS – European Avalanche Warning Services (2017)<sup>1</sup>: Typical avalanche problems. – München.
- EAWS – European Avalanche Warning Services (2017)<sup>2</sup>: Memorandum of Understanding for the European Avalanche Warning Services (EAWS). – Tutzing, Deutschland.
- EAWS – European Avalanche Warning Services (2020): Avalanche Size. – online unter: <https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/> [04.09.2020].
- Eckerstorfer, M. (2008): Cartographic Analysis of Avalanche Hazard Maps. – In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> ICA Mountain Cartography Workshop, 35-42.
- Falk, M.; Brugger, H. und Adler-Kastner, L. (1994): Avalanche survival chances. – In: Nature, 368, 21.
- Fallon, S. und Latosuo, E. (2012): Know Before You Go: Adapting Youth Avalanche Education for Alaska. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop (ISSW), Anchorage, Alaska, 788-794.
- Fekete, A. und Montz, B. (2018): Vulnerability. An Introduction. – In: Fuchs, S. und Thaler, T. (Hg.): Vulnerability and Resilience to Natiral Hazards. – 14-31.

- Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G.-K.; Allen, S. K., Tignor, M. und Midgley, P. M. (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge, New York.
- Fierz, C. (1998): Field observation and modelling of weak-layer evolution. – In: *Annals of Glaciology* 26, 7-13.
- Fisher, P. und Wood, J. (1998): What is a Mountain? Or The Englishman who went up a Boolean Geographical Concept but Realised it was Fuzzy. – In: *Geography*, 83 (3), 247-256.
- Föhn, P. M. B. (2001): Simulation of surface-hoar layers for snow-cover models. – In: *Annals of Glaciology*, 32, 19-26.
- Fredston, J.; Fesler, D und Tremper, B. (1994): The Human Factor – Lessons for Avalanche Education. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop (ISSW)*, 1994, 473-487.
- Fuchs, S.; Keiler, M.; Ortlepp, R.; Schinke, R. und Papatoma-Köhle, M. (2019): Recent advances in vulnerability assessment for the built environment exposed to torrential hazards: Challenges and the way forward. – In: *Journal of Hydrology* 575 (2019), 587-595.
- Fuchs, S.; Keiler, M. und Sokratov, S. (2015): Snow and avalanches. – In: Huggel, H.; Carey, M.; Clague, J. und Käab, A. (Hg.): *The High-Mountain Cryosphere: Environmental Changes and Human Risks*. – Cambridge, 50-70.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2006): Natural hazard risk depending on the variability of damage potential. – In: *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 13-22.
- Fuchs, S. und Kuhlicke, C. (2018): Naturgefahren Risiken und Resilienz. *Geographische Rundschau* 7-8/2018, 4-9.
- Fuchs, S.; Frazier, T. und Siebeneck, L. (2018): Physical Vulnerability. – In: Fuchs, S und Thaler, T. (Hg.): *Vulnerability and Resilience to Natural Hazards*, 32-52.
- Glade, T. und Dikau, R. (2001): Gravitative Massenbewegungen – vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. – In: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 145, 2001/6, 42-53.
- Goodchild, M. F. (2007): Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. – In: *GeoJournal*, 69 (4), 211-221.
- GoogleMaps (2021): Maps. – online unter: <https://www.google.at/maps> [24.02.2021].
- Gordon, C.; Diegel, P.; Meisenheimer, T.; Lazar, B.; Greene, E.; Clayton, M.; Carlson, A.; Tremper, B.; Staples, M.; Birkeland, K. und Bennet, T. (2016): Know Before You Go Revision: An Introductory Tool for Influencing Backcountry Behavior. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop 2016 (ISSW)*, Breckenridge, Colorado, 290-293.
- Hajek, B. (2017): Darstellungsprobleme automatisierter topographischer Karten basierend auf Open Data – Entwicklung eines Verfahrens zur Generalisierung von Gewässernetzen des OpenStreetMap Datenansatzes. – Wien.
- Hake, G.; Grünreich, D. und Meng, L. (2002): *Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. 8. Auflage – Berlin.

- Han, Z. und Weng, W. (2011): Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. – In: *Journal of Hazardous Materials* 189 (2011), 509-518.
- Hall, S. (1994): Der Westen und der Rest. Diskurs und Macht. – In: *Rassismus und kulturelle Identität. Ausgewählte Schriften*. 2, 137-179.
- Harvey, S.; Schmudlach, G.; Bühler, Y.; Dürr, L.; Stoffel, A. und Christen, M. (2018): Avalanche Terrain Maps for Backcountry Skiing in Switzerland. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop 2018 (ISSW)*, Innsbruck, Austria, 1625-1631.
- Hurni, L. (2009): Multimedia-Atlasinformationssysteme als Zugang zu multidimensionalen Geodaten. – In: Kriz K., Kainz W. und Riedl A. (Hg.): *Geokommunikation im Umfeld der Geographie, Kartographie und Geoinformation*. (Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 19). – Wien. 23-31.
- Hohlrieder, M.; Brugger, H.; Schubert, H. M.; Pavlic, M.; Ellerton, J. und Mair, P. (2007): Pattern and Severity of Injury in Avalanche Victims. – In: *High Altitude Medicine & Biology*, 8 (1), 56-61.
- ICSI – International Commission on Snow and Ice of the International Association of Hydrological Sciences (1981): *Avalanche atlas. Illustrated international avalanche classification*. – Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. – Paris.
- Inkeles, A. und Smith, D. (1974): *Becoming modern: Individual change in six developing countries*. – Cambridge.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2012): *Summary for Policymakers*. – In: Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G.-K.; Allen, S. K., Tignor, M. und Midgley, P. M. (Hg.): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 3-21.
- Jiang, B.; Huang, B. und Vasek, V. (2003): Geovisualisation for Planning Support Systems. – In: *Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science*, 1-16.
- Kriz, K. (2001): Kartographische Ansichten im neuen Millennium. – In: Buzin, R. und Wintges, T. (Hg.): *Kartographie 2001 – multidisziplinär und multimedial. Beiträge zum 50. Deutschen Kartographentag*. – Heidelberg, 228-238.
- Kriz, K. (2009): Are we living in a Cartography illiterate society? – In: Cartwright W., Gartner G. und Lehn A. (Hg.): *Cartography and Art*. – Berlin.
- Kriz, K. (2013): Maps and Design-Influence of Depiction, Space and Aesthetics on Geocommunication. – In: Kriz K., Cartwright B., Kinberger M. (Hg.): *Understanding Different Geographies*. – Berlin, Heidelberg.
- Kriz, K. und Galanda, M. (1998): Thematische Aspekte der Hochgebirgskartographie. Karten zur Beurteilung der potentiellen Lawinengefahr. – In: Kriz (Hg.). *Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie Band 11. Hochgebirgskartographie Silvretta*, 98, 115-129.
- Lackinger, B. und Gabl, K. (2000): *Lawinenhandbuch*, 7. Auflage. – Innsbruck.
- Lantmäteriet (2012): *BD10 Sareks nationalpark. Fjällkartan Skala 1:100.000*. – Italy.

- Landrø, M.; Kosberg, S. und Müller, K. (2013): Avalanche problems; an important part of the Norwegian forecast, and a useful tool for the users. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013 (ISSW), Grenoble – Chamonix, Frankreich, 215-218.
- Larcher, M. (2012): stop or go. – In: bergundsteigen 4/12, 54-63.
- Lavell, A.; Oppenheimer, M.; Diop, C.; Hess, J.; Lempert, R.; Li, J.; Muir-Wood, R. und Myeong, S. (2012): Climate change new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. – In: Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G.-K.; Allen, S. K., Tignor, M. und Midgley, P. M. (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25-64.
- Lawinenkurs.at (2020): Lawinenkurse für Fortgeschrittene. – online unter: <https://www.lawinenkurs.at/> [27.11.2020].
- LAWIS (2021): Lawineninformationssystem. – online unter: <https://www.lawis.at> [01.02.2021].
- Lehning, M.; Doorschot, J.; Raderschall, N. und Bartelt, P. (2000): Combining snow drift and SNOWPACK models to estimate snow loading in avalanche slopes. – In: Hjorth-Hansen, E. et al. (Hg.): Snow Engineering – Recent Advances and Developments: Proceedings of the Fourth International Conference, Trondheim, Norway, 2000, 113-122.
- Lienert C., Weingartner R. und Hurni L. (2011): An interactive, web-based, realtime hydrological map information system. – In: Hydrological Sciences Journal, 56 (1), 1-16.
- Luers, A. L. (2005): The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. – In: Global Environmental Change, 15 (2005), 214-223.
- Lunde, A. und Tellefsen, C. (2019): Patient and rescuer safety: recommendations for dispatch and prioritization of rescue resources based on a retrospective study of Norwegian avalanche incidents 1996-2017. – In: Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine (2019), 27, 5, 1-8.
- LWD Tirol – Lawinenwarndienst Tirol – Lawinen.report (2020)<sup>1</sup>: Lawinengrößen. – online unter: <https://lawinen.report/education/avalanche-sizes> [04.09.2020].
- LWD Tirol – Lawinenwarndienst Tirol – Lawinen.report (2020)<sup>2</sup>: Lawinengefahrenstufen. – online unter: <https://lawinen.report/education/danger-scale> [04.09.2020].
- LWD Tirol – Lawinenwarndienst Tirol – Lawinen.report (2021): Lawinen Report vom 02.02.2021. – online unter: [https://avalanche.report/albina\\_files/2021-02-02/2021-02-02\\_de.pdf](https://avalanche.report/albina_files/2021-02-02/2021-02-02_de.pdf) [02.02.2021], Innsbruck, Bozen, Trento.
- MacEachren, A.; Gahegan, M.; Pike, W.; Brewer, I.; Cai, G. und Lengerich, E. (2004): Geovisualisierung for Knowledge Construction and Decision Support. – In: IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 24 (1), 13-17.
- Mair, R. (1999): Lawinenwarndienst Tirol 2000. – In: Amt der Tiroler Landesregierung Lawinenwarndienst (Hrsg.): Schnee und Lawine. – Innsbruck. (= 1997/98 und 1998/99 Lawinenwarndienst Tirol 7+8).
- Mair, R. und Nairz, P.(2010): 50 Jahre Lawinenwarndienst Tirol ... von bescheidenen Anfängen zu einem der innovativsten Warndienste weltweit. – In:

- Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Lawinenwarndienste  
(eds)(blatt)form für schnee und lawinen der österreichischen lawinenwarndienste 09/10, 146-149.
- McCammon, I. (2000): The Role of Training in Recreational Avalanche Accidents in the United States. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2000 (ISSW), Montana, 37-45.
- McCammon, I. (2002): Heuristic Traps in Recreational Avalanche Accidents: Evidence and Implications. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2002 (ISSW), Penticton, Kanada, 22 (2&3), 1-10.
- McCammon, I. (2004): Heuristic Traps in Recreational Avalanche Accidents: Evidence and Implications. – In: Avalanche News, 68, 1-10.
- McClung, D. M. und Schweizer, J. (1997): Effect of Snow Temperatures on Skier Triggering of Dry Slab Avalanches. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 1997 (ISSW), Banff, Alberta, Kanada, 113-117.
- McIntosh, S. E.; Grissom, C. K.; Olivares, C. R.; Kim, H. S. und Tremper, B. (2007): Cause of Death in Avalanche Fatalities. – In: Wilderness and Environmental Medicine, 18, 293-297.
- Mehmetoglu, M. (2007): Typologising nature-based tourists by activity – Theoretical and practical implications. – In: Tourism Management 28 (2007), 651-660.
- MES – Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia (2020): Ministry Structure. – online unter: <http://www.mes.am/en/structure/> [11.12.2020].
- Meteoblue.com (2021): Über uns. – online unter: <https://content.meteoblue.com/de/ueber-uns> [22.02.2021].
- Mildenberger, O. (1990): Informationstheorie und Codierung. – Mainz.
- Mill, J. S. (1836): On the definition of political economy, and on the method of investigation proper to it. – In: London and Westminster Review. – Toronto.
- Moner, I.; Gavalda, J. und Bacardit, M. (2018): ATEs Mapping and Typical Problems in Avalanche Accidents or Close-Calls in Val D’Aran, Central Pyrenees. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2018 (ISSW), Innsbruck, Austria 2018, 1216-1220.
- Moner, I.; Orgue, S.; Gavalda, J. und Bacardit, M. (2013): How big is big: results of the avalanche size classification survey. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013 (ISSW), Grenoble – Chamonix Mont-Blanc – 2013.
- Müller, K.; Stucki, T.; Mitterer, C.; Nairz, P.; Konetschny, H.; Feistl, T.; Coleou, C.; Berbenni, F. und Chiambretti, I. (2016): Towards an improved European auxiliary matrix for assessing avalanche danger levels. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2016 (ISSW), Breckenridge, Colorado, 1229-1231.
- Munter, W. (2007): logik des gelingens. – In: bergundsteigen 4/07, 52-57.
- Munter, W. (2009): 3x3 Lawinen. Risikomanagement im Wintersport. – Garmisch-Patenkirchen.
- Nairz, P. (2009): (blatt)form für schnee und lawinen des tiroler lawinenwarndienstes 08/09. – Innsbruck.

- Neugebauer, L. und Kriz, K. (2017): Avalanche Awareness Accessing Video Clips for Efficient Geo-Communication – Maps, Diagrams and Storytelling in Action. – In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> ICA Mountain Cartography Workshop, International Cartographic Association, 187-199.
- Neugebauer, L. und Kriz, K. (2019): Topographic Maps and Weather Information for Avalanche Prevention in Remote Mountainous Areas Utilizing a Collaborative-Participatory Approach. – In: Proceedings of the 11<sup>th</sup> Mountain Cartography Workshop 2018, Hvar, Kroatien, 57-64.
- NZAA – New Zealand Avalanche Advisory (2020): Learn. – online unter: <https://avalanche.net.nz/education/> [27.11.2020].
- ÖAV – Österreichischer Alpenverein (2020): LawinenUpdate 2020/21. – online unter: <https://www.alpenverein.at/portal/bergsport/sicheramberg/lawinenupdate/index.php> [27.11.2020].
- O’Brien, K.; Pelling, M.; Patwardhan, A.; Hallegatte, S.; Maskrey, A.; Oki, T.; Oswald-Spring, U.; Wilbanks, T. und Yanda, P. Z. (2012): Toward a sustainable and resilient future. – In: Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G.-K.; Allen, S. K., Tignor, M. und Midgley, P. M. (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 437-486.
- Ortovox Safety Acadamey (2020): Orotovox Lawinenkurse. – online unter: <https://www.ortovox.com/at-de/safety-academy/ausbildung/lawinenkurse> [27.11.2020].
- Österreichischer Alpenverein (2016): stop or go. (5. Auflage), online unter: [https://www.alpenverein.at/portal\\_wAssets/docs/news/2017/Alpenverein\\_Cardfolder-Skitouren\\_2017.pdf](https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/news/2017/Alpenverein_Cardfolder-Skitouren_2017.pdf) [29.10.2020], – Innsbruck.
- Ozeki, T.; Akitaya, E. und Suzuki, K. (1995): Observations of Sun Crust Formation. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 1995 (ISSW), Snowbird, Utah, U.S.A., 2-13.
- Peduzzi, P.; Dao, H.; Herold, C. und Mouton, F. (2009): Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. – In: Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1149-1159.
- Perla, R. (1977): Slab avalanche measurements. – In: Canadian Geotechnical Journal, 206-213.
- de Quervain, M. R. (1966): Problems of avalanche research. – In: Symposium at Davos 1965 – Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, IAHS Publ., 69, 1-8.
- Rosendahl, P. L. und Weißgraeber, P. (2020): Modeling sno slab avalanches caused by weak-layer failure – Part 2: Coupled mixed-mode criterion for skier-triggered anticracks. – In: The Cryosphere, 14, 131-145.
- Ruetz, L. (2021): Vorträge. Multi-Vision. – online unter: <https://www.lukasruetz.at/vortraege/> [23.02.2021].
- Scharr, K.; Steinicke, E. und Borsdorf, A. (2012): Socchi/Сочи 2014: Olympic Winter Games between high mountains and seaside. – In: Revue de Géographie Alpine 100 (4), 1-14.
- Schmudlach, G. und Köhler, J. (2016): Method for an Automatized Avalanche Terrain Classification. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2016 (ISSW), Breckenridge, Colorado, 729-736.

- Schobesberger D. und Nausner B. (2009): User Interface Design und Usability von kartographischen Online-Informationssystemen. – In: Kriz K., Kainz W. und Riedl A. (Hg.): Geokommunikation im Umfeld der Geographie, Kartographie und Geoinformation. (Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 19). – Wien. 76-81.
- Schweizer, J. (2005): Lawinen und Recht. Proceedings zum Internationalen Seminar vom 6.-9. November 2005. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. – Davos.
- Schweizer, J.; Jamieson, J. B. und Schneebeli, M. (2003): Snow Avalanche Formation. – In: Rev. Geophys., 41(4), 1016, 1-25.
- Schweizer, J. und Lutschg, M. (2001): Characteristics of human-triggered avalanches. – In: Cold Regions Science and Technology 33 (2001), 147-162.
- Schweizer, J.; van Herwinjnen, A. und Reuter, B. (2011): Measurements of weak layer fracture energy. – In: Cold Regions Science and Technology 69 (2001), 139-144.
- SLF – WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (2020): Geschichte. – online unter: <https://www.slf.ch/de/ueber-das-slf/portrait/geschichte.html> [31.08.2020] und <https://www.slf.ch/en/avalanche-bulletin-and-snow-situation/about-the-avalanche-bulletin/avalanche-sizes.html> [04.09.2020].
- Slotta-Bachmayr, L. (2005): How Burial Time of Avalanche Victims is Influenced by Rescue Method: An Analysis of Search Reports from the Alps. – In: Natural Hazards, 34, 341-352.
- Smith, K. (2013): Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disasters. – New York.
- Smith, K. und Petley D. (2009): Environmental Hazards. Assessing risk and reducing disaster. 5. Auflage. – New York.
- Sonklar, C. (1873): Allgemeine Orographie. Die Lehre von den Relief-Formen der Erdoberfläche – Wien.
- Stähli, M. und Bartelt, P. (2007): Von der Auslösung zur Massenbewegung. – In: Warnung bei aussergewöhnlichen Naturereignissen (Hegg, C. und Rhyner, J. (Redaktion)). Forum für Wissen 2007, 33-38.
- Starr, C. (1969): Social benefit versus technological risk. – In: Science 2008 (165) 3899, 1232-1238.
- Statham, G. (2008): Avalanche Hazard, Danger and Risk – A Practical Explanation. – In: Proceedings International Snow Science Workshop 2008 (ISSW), Whistler, 224-227.
- Statham, G.; McMahon, B. und Tomm, I. (2006): The Avalanche Terrain Exposure Scale. – In: Proceedings of the International Snow Science Workshop 2006 (ISSW), Telluride, CO. 491-497.
- Strobl J. (2009): Neogeography – globale, verteilte, kollaborative raumbezogene Information als neue Herausforderung für die geographische Forschung. – In: Kriz K., Kainz W. und Riedl A. (Hg.): Geokommunikation im Umfeld der Geographie, Kartographie und Geoinformation. (Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 19). – Wien. 107-111.
- Swisstopo (2021): Inhalte und Funktionen der swisstopo-App im Überblick. – online unter: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/swisstopo-app/content.html> [11.01.2021].

- Techel, F.; Zweifel, B. und Winkler, K. (2015): Analysis of avalanche risk factors in backcountry terrain based on usage frequency and accident data in Switzerland. – In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* (15), 1985-1997.
- Teich, M.; Marty, C.; Gollut, C.; Gret-Regamey, A. und Bebi, P. (2012): Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. – In: *Cold Regions Science and Technology*, 83-84 (2012), 77-88.
- Thaler, T. und Jongman, B. (2018): Economic Vulnerability. – In: Fuchs, S. und Thaler, T. (Hg.): *Vulnerability and Resilience to Natural Hazards*, 82-99.
- The World Bank Group (2018): *Modernizing Weather, Climate and Hydrological Services: A Road Map for Armenia*. – Washington D.C., USA.
- Turner, B.L.; Kasperson, R.E.; Matson, P.A.; McCarthy, J.J.; Corell, R.W.; Christensen, L.; Eckley, N.; Kasperson, J.X.; Luers, A.; Martello, M.L.; Polsky, C.; Pulsipher, A. und Schiller, A. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (14), 8074-8079.
- UAC – Utah Avalanche Center (2020): UAC & KBYG Classes. – online unter: <https://utahavalanchecenter.org/education/uac-kbyg-classes> [27.11.2020].
- UNDRO – Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator (1980): *Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Expert Group Meeting 1979*. – Genua.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2009): *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. Prepared by the ICSI-UCCS-IACS Working Group on Snow Classification. – Paris.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2018): *Examination of nominations for inscription on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity. Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage. Intergovernmental committee for the safeguarding of the intangible cultural heritage. Thirteenth session*. – Port Louis, Republic of Mauritius.
- UpTheRocks (2019): Study of deadly avalanche in Armenia. – online unter: <http://wp.uptherocks.com/study-of-deadly-avalanche-in-armenia-video/> [11.12.2020].
- U.S. Geological Survey (2009): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). – In: *Fact Sheet, 2009-3087*. – online unter: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [02.03.2021].
- Valla, F. (1984): The French Experience in Avalanche Education for Skiers. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop 1984 (ISSW)*, Aspen, Colorado, USA. 70-77.
- Vandegraft, D. (2020): The Mount McKinley-Denali Controversy and the US Board on Geographic Names. – In: *Handbook of the Changing World Language Map*, 2121-2138.
- Villagrán de León, J. (2004): *Manual Para La Estimación Cuantitativa De Riesgos Asociados A Diversas Amenazas*. – Ciudad de Guatemala.
- Vontobel, I.; Harvey, S. und Purves, R. S. (2013): Terrain analysis of skier-triggered avalanche starting zones. – In: *Proceedings of the International Snow Science Workshop 2013 (ISSW)*, Grenoble – Chamonix Mont Blanc, Frankreich, 371-375.

Walcher, M.; Haegeli, P. und Fuchs, S. (2019): Risk of Death and Major Injury from Natural Winter Hazards in Helicopter and Snowcat Skiing in Canada. – In: *Wilderness & Environmental Medicine*. 30 (3), 251-259.

Windsor, J.; Firth, P.; Grocott, M.; Rodway, G. und Montgomery, H. (2009): Mountain mortality: a review of deaths that occur during recreational activities in the mountains. – In: *Postgraduate Medical Journal*, 85 (1004), 316-321.

Wallerstein, I. (1988): *The Second Era of Great Expansion of the Capitalist World Economy*. – San Diego.

Wisner, B.; Blaikie, P. und Davis, I. (2004): *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Second edition. – New York.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

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

Wien, am