

LAWINENBEURTEILUNG

MITTELS KARTEN

EMPIRISCHE EVALUATION VON

VISUALISIERUNGSMETHODEN

Betreuung: Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant
Prof. Dr. Ross Purves

Abgabedatum: 30. April 2013

Verfasser: Adrian Streit
03-918-208

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten gut 30 Jahren hat die Zahl der Lawinenopfer auf Strassen und in Gebäuden markant abgenommen. Im gleichen Zeitraum ist jedoch die gesamte Anzahl von tödlichen Unfällen im Zusammenhang mit Lawinen konstant geblieben. Diese Zahlen machen deutlich, dass eine Verlagerung der Lawinenunfälle von der Infrastruktur hin zum freien Gelände stattgefunden hat. Dabei vermag im Wesentlichen ein Fakt zu den Lawineunfällen zu verblüffen: In über 90 Prozent aller tödlichen Unfälle wurden die Lawinen von den beteiligten Personen selbst ausgelöst.

Munter (2003) bringt die Angelegenheit auf den Punkt: Er schreibt, der Mensch stelle die Hälfte des Lawinenproblems dar. Um die äusserst komplexen Prozesse bei der Lawinenbildung richtig einzuschätzen, müssen auf verschiedenen Ebenen, von der Planung zu Hause bis zum finalen Entschluss im Einzelhang, diverse Entscheidungen gefällt werden. Denn die berückichtigten Schwachschichten in der Schneedecke sind häufig vor Ort im Gelände nicht sofort zu erkennen – die Lawinengefahr lauert unsichtbar unterhalb der Schneeoberfläche. Eine seriöse Tourenplanung ist nicht zuletzt deshalb unablässige Voraussetzung für die Minimierung des Lawinenrisikos.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an. Mit der graphischen Reduktionsmethode hat sich in der Schweiz ein Hilfsmittel zur Abschätzung des Lawinenrisikos bei der Tourenplanung etabliert. Und mit geographischen Informationsvisualisierungen besitzen Geographen und Kartographen gemäss Dodge et al. (2008) ein mächtiges Instrument, um unsichtbare Gegebenheiten sichtbar zu machen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, mit welcher die graphische Reduktionsmethode direkt in der Kartendarstellung integriert werden konnte. Aspekte aus verschiedenen Fachbereichen, von der Geomorphometrie über die Zeichentheorie bis zu den Kognitionswissenschaften, wurden bei der Darstellung des Lawinenrisikos in Kartenform berücksichtigt und adaptiert.

Die anschliessende empirische Evaluation ergab signifikante Unterschiede hinsichtlich der Anwendung der neuen Visualisierungsmethode: Das Lawinerisiko konnte effektiver, effizienter und mit grösserem Vertrauen der Anwender in ihre Entscheidungen beurteilt werden. Trotz oder vielleicht auch wegen der Berücksichtigung von Aspekten aus verschiedenen Disziplinen sind die Weiterentwicklungsmöglichkeiten für die erstellte Darstellungsform zahlreich. Einige Anpassungen müssen zwingend vorgenommen werden, damit die Visualisierung in der Praxis zur Anwendung kommen kann. Unter Umständen wird dann in der Entwicklung der Reduktionsmethode ein weitere Schritt vollzogen: Von der professionellen Reduktionsmethode über die graphische Reduktionsmethode hin zur geographischen Reduktionsmethode...

INHALT

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung und Motivation	1
1.1.1	Der Faktor Mensch	2
1.1.2	Der Faktor Gelände	2
1.2	Ziele der Arbeit und Forschungsfragen	4
1.2.1	Zur Systemgrenze	4
1.2.2	Zielsetzung	5
1.2.3	Forschungsfragen und Hypothesen	6
1.3	Thematische Gliederung	7
1.4	Stand der Forschung	8
2	GRUNDLAGEN	9
2.1	Schnee und Lawinen	9
2.1.1	Historische Entwicklung von Lawinenunfällen in der Schweiz	10
2.1.2	Lawinenklassifikation	10
2.1.3	Lawinenbildung – das Rezept für eine Schneebrettlawine	12
2.2	Lawinenbeurteilung	16
2.2.1	Beurteilungsbasis: Lawinenbulletin	16
2.2.2	Beurteilungsrahmen: Formel 3 × 3	18
2.2.3	Beurteilungshilfe: Graphische Reduktionsmethode	21
2.3	Geomorphometrie	25
2.3.1	Digitale Höhenmodelle	25
2.3.2	Lawinenrelevante Geländeparameter	26
2.3.3	Berechnung der verwendeten Geländeparameter	28
2.4	Geographische Informationsvisualisierung	29
2.4.1	Semiotik	29
2.4.2	Kartenlogische Rahmenbedingungen	31
2.4.3	Graphische Variablen und «Uncertainty mapping»	32
2.4.4	Farben in Karten: Visueller Prozess und Assoziationen	36
3	METHODIK	39
3.1	Entwicklung der Visualisierungsidee	39
3.1.1	Vergleich bestehender Visualisierungen	39
3.1.2	Ansätze zur Visualisierung der Lawinengefahr	43
3.1.3	Implementierung der graphischen Reduktionsmethode	44
3.2	Kartenerstellung	47

3.2.1	Kartenausschnitt und Lawinenbulletin-Szenario	47
3.2.2	Umsetzung im GIS	49
3.2.3	Adaption der wissenschaftlichen Grundlagen	52
3.3	Evaluation	55
3.3.1	Charakterisierung des Experiments	55
3.3.2	Durchführung des Experiments	59
4	RESULTATE	63
4.1	Evaluation Visualisierungsmethode	64
4.1.1	Effektivität	65
4.1.2	Vertrauen	66
4.1.3	Effizienz	67
4.2	Einfluss des Hintergrundwissens	68
4.2.1	Erfahrung im Umgang mit Karten	68
4.2.2	Erfahrung in der Lawinenbeurteilung	70
5	DISKUSSION	71
5.1	Forschungsfrage 1: Kartentyp	72
5.1.1	Effektivität	72
5.1.2	Vertrauen	72
5.1.3	Effizienz	73
5.1.4	Rückschlüsse zur ersten Forschungsfrage	74
5.2	Forschungsfrage 2: Hintergrundwissen	74
6	FAZIT	75
6.1	Lawinenkunde und Kartendarstellung	75
6.1.1	Erkenntnisse	75
6.1.2	Kritische Reflexion	76
6.2	Empirische Evaluation	76
6.2.1	Erkenntnisse	77
6.3	Ausblick	78
6.3.1	Visualisierung	78
6.3.2	Evaluation	78
	LITERATUR	79
	ANHANG	87

ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Schlagzeilen zu Lawinenunglücken Ende 2012	1
Abbildung 2:	Prozess der Schneebrettauslösung	13
Abbildung 3:	Inhalte des Lawinenbulletins in der Schweiz	17
Abbildung 4:	Interpretation von Klassengrenzen im Lawinenbulletin	18
Abbildung 5:	Graphische Reduktionsmethode	22
Abbildung 6:	Kartosemiotik: Triadisches Zeichenmodell nach Peirce	30
Abbildung 7:	Bertins Graphische Variablen	33
Abbildung 8:	Darstellung von Informationsunsicherheiten: «Uncertainty mapping»	35
Abbildung 9:	Hell-Dunkel-Kontrast der Farbkombinationen rot-gelb-grün und rot-orange-gelb	37
Abbildung 10:	Simulierte Farbwahrnehmung von Personen mit Farbsehschwäche	37
Abbildung 11:	Kartenvergleich Teil 1: Analoge Kartenbeispiele aus der Schweiz	40
Abbildung 12:	Kartenvergleich Teil 2: Digitale Kartenbeispiele aus der Schweiz	40
Abbildung 13:	Kartenvergleich Teil 3: Digitale Kartenbeispiele aus Österreich	41
Abbildung 14:	Kartenvergleich Teil 4: Digitale Kartenbeispiele aus Frankreich und Italien	42
Abbildung 15:	Visualisierung der Lawinengefahr: Entwürfe	43
Abbildung 16:	Modelbuilder: Kartenerstellung Teil 1	49
Abbildung 17:	ModelBuilder: Kartenerstellung Teil 2	50
Abbildung 18:	ModelBuilder: Bereinigung der Resultate	51
Abbildung 19:	ModelBuilder: Bereinigung der Resultate	51
Abbildung 20:	Adaption der wissenschaftlichen Grundlagen	54
Abbildung 21:	Kartentypen «Hangneigung» und «Risikozone»	57

TABELLEN

Tabelle 1:	Unterscheidungsmerkmale von Lawinenarten	11
Tabelle 2:	Vergleich der Digitalen Höhenmodelle DHM25 und swissALTI3d	26
Tabelle 3:	Lawinenrelevante Geländeeigenschaften	27
Tabelle 4:	Graphische Mindestgrößen in Karten	32
Tabelle 5:	Parameter aus dem Lawinenbulletin	48

DIAGRAMME

Diagramm 1:	Lawinenopfer in der Schweiz seit 1940	9
Diagramm 2:	Diagramm Zusammenfassung Testfragen	63
Diagramm 3:	Antwortgenauigkeit nach Reihenfolge im Kartenbooklet	64
Diagramm 4:	Anteil korrekter Antworten nach Kartentyp	65
Diagramm 5:	Antwortsicherheit nach Kartentyp	66
Diagramm 6:	Antwortdauer nach Kartentyp	67
Diagramm 7:	Antwortgenauigkeit nach Kartentyp und Erfahrung	69

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung und Motivation

Kaum hat der Winter aus meteorologischer Sicht begonnen, häufen sich die Meldungen zu Lawinenunfällen mit tragischen Folgen. Abbildung 1 zeigt nur eine Auswahl von Schlagzeilen aus der Schweizer Tagespresse von November und Dezember 2012.

Abbildung 1: Schlagzeilen zu Lawinenunfällen Ende 2012



Oben (v. l. n. r.): Tages-Anzeiger (14. 11. 2012), Le Matin Dimanche (09. 12. 2012), Neue Zürcher Zeitung (10. 12. 2012)
Unten: Blick (11. 12. 2012), 20 minuti Ticino (13. 12. 2012), Tribune de Genève (20. 12. 2012), St. Galler Tagblatt (24. 12. 2012)
Quelle: Eigene Darstellung aus e-Paper-Ausgaben der jeweiligen Zeitungen.

Die Ausschnitte zeigen, dass Lawinenunfälle im Alpenraum fast schon als alltägliche Phänomene zu betrachten sind. In wenigen Wochen gingen bereits zahlreiche Lawinen nieder – nicht selten mit tragischen Folgen für die Verschütteten. Statistiken zu Lawinenunfällen sind denn auch in der Fachliteratur ein häufig verwendetes Mittel zum Einstieg in die Schnee- und Lawinenkunde (siehe z. B. Munter 2003, BFU 2010, Bühler et al. 2010 oder Harvey et al. 2012).

1.1.1 Der Faktor Mensch

Dass Lawinen sehr gefährlich und nicht selten gar lebensbedrohlich sein können, dürfte für die Wenigsten eine gänzlich neue Erkenntnis sein. Aus den eingangs erwähnten Unfallstatistiken geht aber auch ein Aspekt hervor, welcher viel eher verblüffen mag (BFU 2010):

Bei über 90 Prozent der Lawinenunfälle mit Wintersportlern, wurden die Schneemassen durch die beteiligten Personen selbst ausgelöst.

Eine Unfalllawine löst sich also nur selten spontan – in neun von zehn Fällen sind die Wintersportler direkt an der Erzeugung der Lawine beteiligt. Dies zeigt gemäss Harvey et al. (2012), dass der Mensch bei der Entstehung von Lawinen ein wichtiger Faktor ist. Munter (2003) beschreibt den Prozess der Schneebrettauslösung als einen Mechanismus, welcher am Schnittpunkt zwischen dem komplexen System Schneedecke und dem komplexen System Mensch stattfindet. Folglich stelle der Mensch die Hälfte des Problems dar.

Harvey et al. (2012) unterscheiden beim Faktor Mensch im Zusammenhang mit Lawinenunfällen zwei Einflussbereiche: Eine wichtige Rolle spielen sowohl das mechanische Einwirken des Menschen als Zusatzlast auf die Schneedecke als auch psychologische Aspekte wie die Wahrnehmung oder soziale Effekte (z. B. Gruppen- oder Zeitdruck). Der Mensch entscheidet, ob er einen potenziellen Lawinenhang befahren soll oder nicht. Die Schlagzeilen der Vorderseite wie auch die Lawinenunfallstatistiken des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung Davos (SLF 2013) oder der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU 2012) zeigen aber gnadenlos auf, dass nicht immer die richtige Entscheidung getroffen wird.

1.1.2 Der Faktor Gelände

In der Lawinenkunde werden drei Hauptfaktoren der Lawinenbildung unterschieden:

- Verhältnisse: Neuschneesituation, Temperatur, Wind
- Gelände: Hangneigung, Höhenlage, Exposition usw.
- Mensch: Ausrüstung, Verhalten, Kompetenz usw.

Die Lawinengefahr wird durch die Wechselwirkung dieser Faktoren beeinflusst (BFU 2010). Harvey et al. (2012) betonen, dass die Vorhersage von Lawinen mit grossen Unsicherheiten verbunden ist: «Die zahlreichen Einflussfaktoren können auf kleinem Raum variieren, verändern sich innerhalb kurzer Zeit und sind äusserst vielschichtig miteinander verknüpft».

Insbesondere in den Bereichen Verhältnisse und Mensch ist dieser Umstand offensichtlich: So kann während einer Gebirgstour das Wetter und damit auch die Stimmung in einer Tourengruppe sehr rasch umschlagen. Demgegenüber sticht der Faktor Gelände durch eine aussergewöhnliche Eigenschaft heraus: Das Gelände und dessen Einfluss auf die Bildung von Lawinen bleibt über die Zeit annähernd konstant (Vontobel 2011).

Spricht man im Zusammenhang mit der Lawinengefahr vom Gelände, denkt man in erster Linie an die Hangneigung. «Steil genug muss es sein, damit Lawinen überhaupt abgehen können!», wussten gemäss Schweizer (2006) schon unsere Grossväter. Der besondere Stellenwert der Hangneigung zeigt sich auch bei der Betrachtung diverser Wintersportkarten in digitaler oder analoger Form. In den meisten Darstellungen steht die Hangneigung im Vordergrund. In Kapitel 3.1.1 werden einige Beispiele zur Visualisierung der Lawinengefahr in bestehenden Kartendarstellungen aufgeführt und diskutiert. Nur selten werden nebst der Hangneigung weitere, nicht minder lawinenrelevante Faktoren wie die Exposition oder andere Geländeformen hervorgehoben.

Neben der Hangneigung spielen aber zahlreiche weitere Faktoren des Bereichs Gelände eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Lawinengefahr. So werden im Lawinenbulletin des SLF immer auch besonders gefährdete Expositionen und Höhenlagen angegeben. Nicht selten sind auch Hinweise auf Kammlagen oder Rinnen und Mulden enthalten. Für die Ermittlung dieser Geländeformen bietet sich ein Teilgebiet der Geographie an, welches nicht zuletzt durch die zunehmende Verbreitung und Präzision von digitalen Geländemodellen an Beachtung gewinnt: Die Geomorphometrie. Diese Wissenschaft stellt Werkzeuge und Methoden zur Verfügung, um die Geländeform zu berechnen und zu analysieren.

Für die Darstellung der Resultate geomorphometrischer Berechnungen sind Karten oder kartenähnliche Illustrationen oftmals am besten geeignet. Folglich spielen die Erfahrungen und Erkenntnisse aus der geographischen Informationsvisualisierung eine zentrale Rolle. In diesem Fachbereich finden sich auch geeignete Methoden, um beispielsweise die Nutzerfreundlichkeit der Kartendarstellungen zu gewährleisten und die Anwendung in der Praxis gezielt zu untersuchen. Wie all diese Aspekte aus den diversen Teildisziplinen der Geographie im Kontext der vorliegenden Arbeit miteinander verknüpft werden sollen, wird auf den nächsten Seiten geschildert.

1.2 Ziele der Arbeit und Forschungsfragen

Wie bereits aus den ersten Zeilen der vorliegenden Arbeit ersichtlich wird, ist die Bildung von Lawinen und folglich die Einschätzung der Lawinengefahr eine äusserst vielschichtige und komplexe Thematik. In der vorliegenden Arbeit sollen relevante Aspekte aus der Schnee- und Lawinenkunde mit den Erkenntnissen aus der geographischen Informationsvisualisierung sowie kognitive Aspekte der Informationsverarbeitung miteinander verknüpft werden.

Dass dabei keines der Fachgebiete in seiner Gesamtheit erfasst und berücksichtigt werden kann, ist offensichtlich. Vielmehr geht es darum, Modellannahmen so zu treffen, dass die komplexe interdisziplinäre Thematik im Kontext dieser Arbeit in einer Form erfasst werden kann, welche trotzdem fundierte Schlussfolgerungen zulässt. Deshalb wird an dieser Stelle zuerst die Systemgrenze der vorliegenden Arbeit dargelegt, bevor auf die Zielsetzung sowie die Forschungsfrage und die Formulierung der Hypothesen eingegangen wird.

1.2.1 Zur Systemgrenze

In der Lawinenausbildung hat sich die Formel 3×3 von Werner Munter als Beurteilungsrahmen etabliert (Harvey & Nigg 2009). Dabei werden alle lawinenrelevanten Faktoren drei Kriterienbereichen zugeordnet: «Verhältnisse», «Gelände» und «Mensch». Diese drei Kriterien wiederum werden in drei Beurteilungsphasen als Entscheidungsgrundlage verwendet. Die drei Phasen sind die Tourenplanung, die Routenwahl vor Ort und die finale Entscheidung im Einzelhang: «To go, or not to go?» (Munter 2003).

In der ersten Beurteilungsphase, auf der Stufe Planung, dienen das Lawinenbulletin und Landeskarten als wichtige Grundlagen (Harvey et al. 2012). Als eine der wichtigsten Beurteilungshilfen bei der Tourenplanung gilt in der Schweiz die «Graphische Reduktionsmethode». Deren Anwendung basiert auf Hinweisen aus dem Lawinenbulletin und Geländeinformationen aus der Karte. Ziel der Anwendung der graphischen Reduktionsmethode ist die grobe Einschätzung des Lawinenrisikos anhand dreier Kategorien: «Geringes Risiko», «erhöhtes Risiko» und «hohes Risiko».

Auf den weiteren Beurteilungs- und Planungsphasen nimmt die Bedeutung der graphischen Reduktionsmethode und somit auch der Stellenwert von Karten als Informationsgrundlage stetig ab. Stattdessen rücken andere Aspekte wie Aufbau der Schneedecke oder die Zusammensetzung der Gruppe in den Fokus der Betrachtung. Aufgrund dieser Überlegungen wird klar, dass die Stufe Planung und die damit verbundene Anwendung der graphischen Reduktionsmethode basierend auf Informationen aus dem Lawinenbulletin und vor allem aus der Karte die Systemgrenze für die vorliegende Arbeit darstellt.

1.2.2 Zielsetzung

Eine der zentralen Stärke – wenn nicht der wichtigste Aspekt – von geographischen Informationsvisualisierungen wird von Dodge et al. (2008) folgendermassen beschrieben: «It is a process which works essentially by helping people to see the unseen, premised on the simple notion that humans can reason and learn more effectively in a visual environment than when using textual or numerical description». Eine visuelle Umgebung erleichtert also Beurteilungs- und Lernprozesse und ermöglicht die Sicht auf zuvor Unsichtbares.

Ein wichtiges visuelles Hilfsmittel bei der Planung von Skitouren sind gemäss Munter (2003) Karten und im Speziellen die detailreiche Schweizer Landeskarte 1:25 000. Unter anderem auf den Geländeinformationen aus diesen Karten basiert ein weiteres visuelles Hilfsmittel: die graphische Reduktionsmethode, welche einen hohen Stellenwert bei der Tourenplanung einnimmt. Allerdings müssen bei der Anwendung der graphischen Reduktionsmethode die lawinenrelevanten Geländeeigenschaften in teils mühevoller Kleinarbeit aus der Karte gemessen werden – als Beispiel sei die Bestimmung der Hangneigung mit Hilfe der fast mikroskopisch feinen Abstufung auf dem Hangneigungsmesser genannt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll deshalb der Frage nachgegangen werden, wie lawinenrelevante Geländeeigenschaften auf einfache und intuitiv verständliche Art und Weise in Karten dargestellt werden können. Die Zielsetzung wird folgendermassen formuliert:

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung eines Instruments für die verbesserte Einschätzung der Lawinengefahr auf Stufe Planung.

Das Instrument soll dabei in Form einer visuellen Methode als Kartendarstellung umgesetzt werden. Dabei soll die Integration verschiedener lawinenrelevanter Geländeformen berücksichtigt und realisiert werden. Garlandini & Fabrikant (2009) weisen darauf hin, dass sich Kartographen zunehmend damit befassen, weshalb eine Darstellungsform von den Nutzern positiv aufgenommen wird. In diesem Sinne soll die Wirkungsweise der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten Visualisierungsmethode anhand eines empirischen Experiments überprüft werden. Zu diesem Zweck werden zwei Varianten der Visualisierung realisiert.

Die eine Variante basiert auf der bestehenden Darstellungsform der Lawinengefahr in der Skitourenkarte 1:50 000 des Bundesamtes für Landestopographie. Dort sind alle Hänge mit einer Neigung von mehr als 30 Grad farblich hervorgehoben. Diese Variante wird nachfolgend als Kartentyp «Hangneigung» bezeichnet. Bei der zweiten Visualisierungsmethode werden die Grundlagen der graphischen Reduktionsmethode (Lawinengefahrstufe, Hangneigung, Höhenstufe und Exposition) in die Kartendarstellung integriert. Diese Variante wird im Folgenden als Kartentyp «Risikozone» bezeichnet.

1.2.3 Forschungsfragen und Hypothesen

Aufgrund der erläuterten Motivation und Zielsetzung sowie unter Berücksichtigung der dargelegten Systemgrenze ergeben sich zwei Forschungsfragen. Die erste Forschungsfrage dreht sich um den Vergleich der beiden Visualisierungsmethoden:

«Inwiefern hat der Kartentyp und die darauf basierende Anwendung der graphischen Reduktionsmethode einen Einfluss auf die Einschätzung des Lawinenrisikos?»

Bei der Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden drei Aspekte untersucht: Effektivität (Antwortgenauigkeit), Vertrauen (Antwortsicherheit) und Effizienz (Antwortdauer). Diese Aspekte werden mittels der folgenden drei Hypothesen beurteilt:

1. **Effektivität:** Die Antwortgenauigkeit bei der Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» höher.
2. **Vertrauen:** Die Sicherheit der Kartennutzer bezüglich ihrer Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» grösser.
3. **Effizienz:** Die Bearbeitungsdauer für die Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» geringer.

Bei der zweiten Forschungsfrage werden wiederum die beiden Visualisierungsmethoden miteinander verglichen. Allerdings wird zusätzlich die Erfahrung der Kartennutzer untersucht. Die zweite Forschungsfrage lautet:

«Welchen Einfluss hat die Erfahrung der Kartennutzer auf ihre Einschätzung des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode?»

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wird das Hintergrundwissen der Kartennutzer einerseits im Umgang Karten und andererseits bezüglich der Erfahrung in der Lawinenbeurteilung untersucht. Dazu werden die beiden folgenden Hypothesen aufgestellt:

1. **Kartennutzung:** Bei Kartennutzern mit geringerer Erfahrung im Umgang mit Karten sind grössere Fortschritte mit dem Kartentyp «Risikozone» zu beobachten als bei Nutzern mit mehr Erfahrung
2. **Lawinenbeurteilung:** Bei Kartennutzern mit geringerer Erfahrung in der Lawinenbeurteilung sind grössere Fortschritte mit dem Kartentyp «Risikozone» zu beobachten als bei Nutzern mit mehr Erfahrung.

1.3 Thematische Gliederung

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt aufgebaut: Nach der bereits erfolgten thematischen Hinführung zur Zielsetzung und den Forschungsfragen sowie der Abgrenzung des Themas wird in diesem ersten Kapitel ein Überblick zum Stand der Forschung in den diversen im vorliegenden Kontext bedeutenden Disziplinen gegeben.

Im zweiten Kapitel erfolgt eine ausführliche Beschreibung der relevanten wissenschaftlichen Grundlagen in den verschiedenen Fachbereichen. Dabei werden zuerst die zentralen Grundlagen zur Schnee- und Lawinkunde beschrieben. Weiter folgt eine Erläuterung der wichtigsten Aspekte in der Lawinenbeurteilung, wobei die Entscheidungsbasis, der Entscheidungsrahmen und die im aktuellen Kontext zentrale Entscheidungshilfe, die graphische Reduktionsmethode, erklärt werden. Im dritten Teil des Grundlagenkapitels erfolgt ein kurzer Exkurs zur Geomorphometrie. Dabei wird die Ermittlung und Berechnung der lawinenrelevanten Geländeparameter umschrieben. Zum Abschluss des Grundlagenkapitels werden Ansätze und Erkenntnisse aus der Forschung zur geographischen Informationsvisualisierung dargelegt. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Darstellung von Informationsunsicherheiten und auf zwei Dimensionen der Farbwahrnehmung gelegt.

Das dritte Kapitel beinhaltet die Methodik der vorliegenden Arbeit und ist in drei Teile gegliedert. Zuerst wird die Entwicklung der Visualisierungsidee beschrieben und der Entscheid für die verwendete Visualisierungsmethode gerechtfertigt. Im Anschluss daran wird die technische Umsetzung der beiden Visualisierungsmethoden im Detail beschrieben. Dabei wird auch gezeigt, in welcher Form die Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Grundlagenforschung in die Erstellung der beiden Kartentypen einfließen. Im dritten Teil wird schliesslich die empirische Studie zur Evaluation der beiden Visualisierungsmethoden beschrieben.

Im vierten Kapitel werden die Resultate der empirischen Evaluation beschrieben und graphisch dargestellt. Dabei werden zuerst die wesentlichsten Aspekte zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage erläutert. Anschliessend folgt die Präsentation der Resultate zur zweiten Forschungsfrage.

Im fünften Kapitel der vorliegenden Arbeit werden die Resultate interpretiert und es erfolgt die Verifikation oder Falsifikation der Hypothesen.

Mit dem Fazit, einer kritischen Reflexion und einigen Gedanken zu möglichen Weiterentwicklungen der Visualisierungsmethoden wird im sechsten Kapitel die vorliegende Arbeit abgeschlossen.

Im Anhang sind alle relevanten Unterlagen zum Experiment, ein Ausdruck des verwendeten Online-Fragebogens, die erstellten und evaluierten Kartenausschnitte, sowie die Resultate der Evaluation in graphischer und Textform abgelegt.

1.4 Stand der Forschung

In der Lawinenkunde konnte in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten das Verständnis für die vielschichtigen Prozesse innerhalb der Schneedecke stetig verbessert werden (Schweizer 2000, Munter 2003). Die Prozesse bei der Bildung von Lawinen sind aber nach wie vor viel zu komplex, als dass sie in ihrer Gesamtheit erfasst werden könnten. Die Gefahr kann folglich nie ganz ausgeschlossen werden. Eine gute Strategie ist deshalb gemäss Munter (2007), das Risiko zu minimieren. Mit diesem Ziel entwickelte er die Reduktionsmethode, welche die Grundlage für die mittlerweile etablierte graphische Reduktionsmethode bildete.

Die Einschätzung der Lawinengefahr ist immer auch mit Unsicherheiten verbunden. Deshalb erstaunt es, dass gemäss Kunz & Hurni (2008) die Darstellung von Informationsunsicherheiten in der Lawinengefahrenkartierung noch nicht umgesetzt wurde. Häufig wird argumentiert, dass die Darstellung von Informationsunsicherheiten zu kompliziert und nur schwer zu interpretieren sei. MacEachren et al. (2012) haben mittels zweier umfassender Studien die graphischen Variablen auf deren Eignung zur Darstellung von Informationsunsicherheiten untersucht. Sie stellten dabei unter anderem fest, dass die Variablen Helligkeit, Schärfe und Positionierung intuitiv am ehesten mit einer logischen Darstellung von Informationsunsicherheiten verbunden werden.

Die empirische Evaluation räumlicher Sachverhalte ist auch ein wichtiger Aspekt der Forschung an der Abteilung für geographische Informationsvisualisierung und Analyse der Universität Zürich. Beispiele dafür sind die Untersuchungen von Garlandini & Fabrikant (2009) zur empirischen Evaluation der graphischen Variablen Bertins oder die Experimente von Wilkening & Fabrikant (2011) zur Entscheidungsfindung unter Zeitdruck.

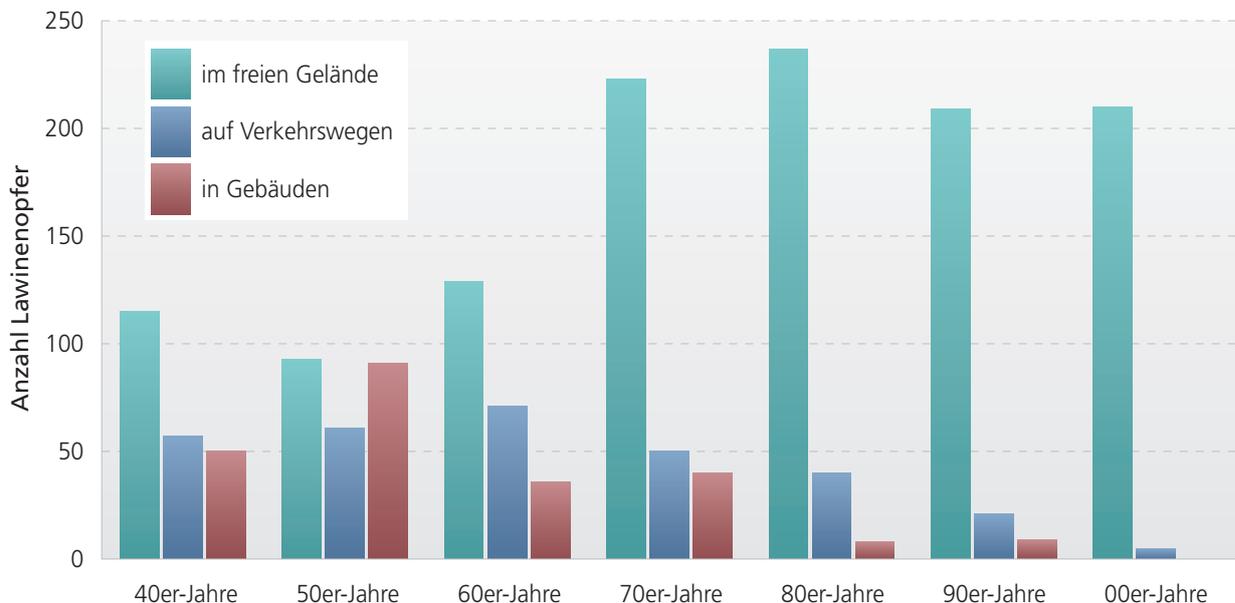
Weitere relevante Forschungsbereiche im Rahmem der vorliegenden Arbeit umfassen die Untersuchung von Jenny & Kelso (2007) oder Brewer (2003). Diese befassten sich mit Farbgestaltungen in Karten, welche auch für Personen mit einer Farbsehschwäche gut lesbar sind.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Schnee und Lawinen

«Lawinen sind eine Grundkonstante schneebedeckter Gebirge», schreibt Munter (2003) und Harvey et al. (2012) betonen: «Lawinengefahr bedeutet Lebensgefahr». In den europäischen Alpen sterben jährlich im Durchschnitt rund 110 Menschen in Lawinen. Beinahe ein Viertel der Opfer sind im Schweizer Alpenraum zu beklagen, wo jedes Jahr durchschnittlich 25 Personen in Lawinen getötet werden (vgl. Tschirky et al 2000 oder SLF 2012 a). Diagramm 1 gibt einen Überblick zu Anzahl und Erfassungsort aller registrierter Lawinenopfer in der Schweiz seit dem Winter 1939/1940.

Diagramm 1: Lawinenopfer in der Schweiz seit 1940



Anzahl Lawinenopfer in der Schweiz pro Jahrzehnt. Die Daten wurden für eine Wintersaison erfasst. In dieser Darstellung entsprechen folglich z. B. die 40er-Jahre dem Zeitraum vom Winter 1939/1940 bis zum Winter 1948/1949.

Quellen: *Eigene Darstellung nach Munter (2003). Rohdaten gemäss Techel & Pielmeier (2013), Etter et al. (2011) sowie langjähriger Unfallstatistik auf SLF-Webseite (SLF 2012 b).*

2.1.1 Historische Entwicklung von Lawinenunfällen in der Schweiz

In oben stehender Grafik ist deutlich zu sehen, dass die Anzahl der Opfer in Gebäuden und auf Verkehrswegen stark abgenommen hat. Für die Infrastruktur besteht die Hauptgefahr in grossen Lockerschnee- oder Staublawinen (eine Lawinenklassifikation folgt in Kapitel 2.1.2). Diese lösen sich in den meisten Fällen spontan und können gemäss Munter (2003) mit zufriedenstellender Genauigkeit vorhergesagt werden, was eine rechtzeitige Evakuierung bzw. Sperrung exponierter Gebäude und Strassen ermöglicht. Auch dürfte die Entwicklung in den Bereichen Aufforstung und Lawinenverbau zum signifikanten Rückgang von Lawinentoten auf Strassen und in Gebäuden geführt haben (Schneebeil et al. 1998).

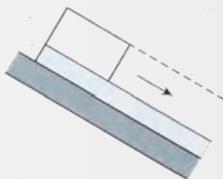
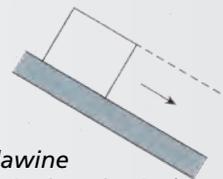
Dieser Abnahme steht eine markante Häufung von Schneesportunfällen im freien Gelände ab den 1970er-Jahren gegenüber. Eine wichtige Komponente dieser Entwicklung findet sich in der rasanten Zunahme der Zahl von Wintersportlern (Munter 2003). Im freien Gelände werden Unfalllawinen in den allermeisten Fällen von den involvierten Personen selbst ausgelöst (Schweizer 2000 b). Harvey und Zweifel (2008) unterzogen Lawinenunfälle in der Schweiz im Zeitraum dieser Häufung (1977–2007) einer detaillierten Analyse. Dabei stellten sie fest, dass die Anzahl ganzverschütteter Personen im freien Gelände ungefähr gleich geblieben ist. Und obwohl seit etwa 15 Jahren nochmals deutlich mehr Personen auf Touren oder Variantenabfahrten unterwegs sind, hat die Letalität gar abgenommen. Schneller organisierte Rettung, verbesserte Ausrüstung der Wintersportler sowie präzisere Lawineninformation und -ausbildung zählen zu den Gründen für diese Entwicklung.

Wenngleich die Anzahl tödlicher Unfälle sowohl im freien Gelände als auch insgesamt in den letzten 30 Jahren abgenommen hat, lässt sich aus Diagramm 1 ein klarer Trend ableiten. Ab Mitte des letzten Jahrhunderts hat eine Verlagerung der Lawinenunfälle aus den Bereichen ‚Gebäude‘ und ‚Verkehrswege‘ in die Kategorie ‚freies Gelände‘ stattgefunden (Tschirky et al. 2000). Mit anderen Worten: Tödliche Lawinenunfälle aufgrund spontan abgehender Lawinen sind seltener geworden, während Unglücke durch vom Menschen ausgelöste Schneemassen zugenommen haben.

2.1.2 Lawinenklassifikation

Lawinen können anhand diverser Gesichtspunkte klassifiziert werden. In Abhängigkeit vom betrachteten äusseren Merkmal existieren zahlreiche Unterscheidungen und Namensgebungen (Munter 2003). In Tabelle 1 sind die gängigsten Lawinenarten- und begriffe dargestellt. Häufig werden die Unterscheidungsmerkmale kombiniert. So kann beispielsweise eine grosse, trockene Staublawine durch ihre Wucht auch durchnässte Schneeschichten mitreissen, um schliesslich als nasse Fliesslawine zum Stillstand zu kommen (Munter 2003).

Tabelle 1: Unterscheidungsmerkmale von Lawinenarten

Äusseres Merkmal	Unterscheidung und Namensgebung	
Form des Anrisses	linienförmig  Schneebrettlawine	punktförmig  Lockerschneelawine
Lage der Gleitfläche	innerhalb der Schneedecke  Oberlawine	auf dem Boden  Bodenlawine (u.a. Gleitschneelawine)
Form der Bewegung	vorwiegend stiebend  Staublawine	vorwiegend fliessend  Fließlawine
Feuchtigkeit des abgleitenden Schnees	trocken Trockenschneelawine	nass Nassschneelawine
Art des anbrechenden Materials	Schnee Schneelawine	Eis Eislawine
Art des Schadens	Gebäude, Verkehrswege, Wald, Transportanlagen usw. Katastrophen- oder Schadenlawine	Wintersportler oder Bergsteiger im freien Gelände Touristen- oder Skifahrerlawine

Quellen: Eigene Darstellung nach Munter (2003) und SLF-Webseite (SLF 2013).

Im Zusammenhang mit Wintersport empfiehlt sich die Form des Anrisses als wichtigstes Unterscheidungsmerkmal (blau hinterlegt in Tabelle 1): Bei einem punktförmigen Anriss handelt es sich um eine Lockerschneelawine. Bricht die Lawine linienförmig an, spricht man von der berüchtigten Schneebrettlawine. Diese Schneebretter sind die grösste Gefahr im Wintersport abseits präparierter Pisten. In gut 95 % aller Unfälle mit Verletzungs- oder Todesfolgen der letzten 40 Jahre wurden die involvierten Personen von Schneebrettlawinen erfasst (Harvey et al. 2012). In den zehn Jahren zwischen den Wintern 1987/1988 und 1996/1997 zählten sogar über 99 % der von Wintersportlern ausgelösten Lawinen zu den Schneebrettlawinen (Schweizer & Lütschg 2000).

2.1.3 Lawinenbildung – das Rezept für eine Schneebrettlawine

Die Entstehung von Lawinen wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, welche auf kleinstem Raum variieren und im komplexen Zusammenhang miteinander stehen (Harvey et al. 2012). Als Beispiel sei hier kurz die Schneetemperatur genannt (SLF 2013, Munter 2003 und Harvey et al. 2012): Eine markante Erwärmung innert 24 Stunden führt zu einer Destabilisierung der Schneedecke, was die Bildung von Lawinen begünstigt. Dasselbe gilt für andauernd hohe Temperaturen von über null Grad Celsius. Wenn die Temperatur im Schnee nach einer markanten Erwärmung ebenso rasch wieder abkühlt, verfestigt sich die Schneedecke und dadurch wird die Lawinengefahr verringert. Konstant niedrige Temperaturen (kälter als -5°C bis -10°C) hingegen führen zu keiner Veränderung der Lawinengefahr.

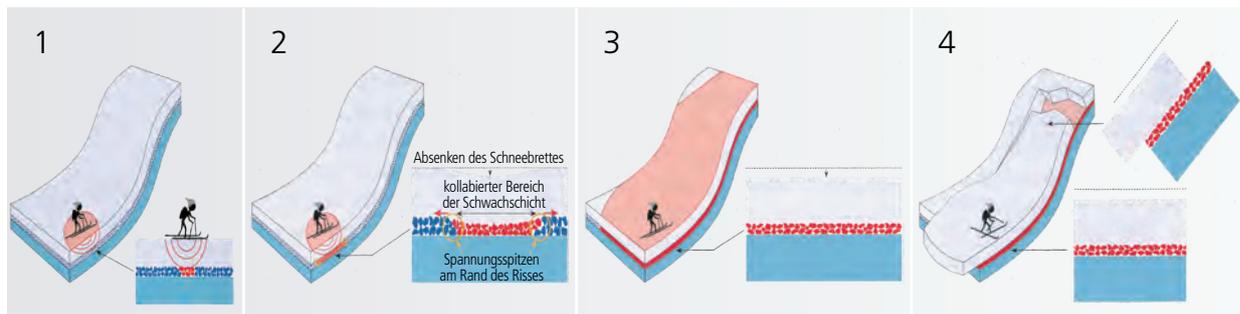
Das Beispiel mit der Schneetemperatur deckt nicht alle Einflussmöglichkeiten ab und es ist relativ stark vereinfacht. Trotzdem gibt es stellvertretend für weitere Faktoren einen Einblick in die Komplexität der Lawinenbildung. Es zeigt ausserdem, dass eine detaillierte Betrachtung sämtlicher lawinenbildender Faktoren den Umfang dieser Arbeit bei Weitem überschreiten würde. Auch können nicht alle Lawinenarten behandelt werden. Da aber Schneebretter für die Wintersportler die mit Abstand grösste Gefahr darstellen (vgl. vorangehendes Kapitel 2.1.2), wird an dieser Stelle das Augenmerk auf die Bildung von Schneebrettlawinen gelegt.

Munter (2003) unterscheidet bei der Auslösung von Schneebrettern zwischen spontaner und provozierte Auslösung. Eine spontane Auslösung erfolgt durch natürliche Ursachen ohne direkte Einwirkung des Menschen. Provozierte Auslösungen können vorsätzlich, wie bei Sprengungen zur Sicherung von Skipisten, oder unbeabsichtigt sein. Abbildung 2 zeigt schematisch den Ablauf einer unbeabsichtigten Fernauslösung durch einen Wintersportler. Damit sich eine Schneebrettlawine bildet, sind gemäss Harvey et al. (2012) vier Bedingungen notwendig:

1. Schichtung: Eine Schwachstelle innerhalb der Schneedecke muss von einer dickeren und gebundenen Schicht überlagert sein.
2. Variabilität: Diese Schichtkombination muss auf einer ausreichend grossen Fläche ohne Unterbruch vorhanden sein.
3. Neigung: Der Hang muss genügend steil sein, damit der Reibungswiderstand zwischen den Schichten überwunden wird.
4. Zusatzlast: Schliesslich bedarf es eines auslösenden Elements, welches den Bruch in der Schneedecke initiiert und so das Abgleiten der Schneebretts überhaupt erst ermöglicht.

Schweizer (2002) bezeichnet die Kombination dieser vier Bedingungen als das »Rezept für eine Schneebrettlawine«. Nachfolgend werden die vier Zutaten einzeln erläutert.

Abbildung 2: Prozess der Schneebrettauslösung



Ein Skifahrer initiiert einen Bruch in der Schwachschicht (1), die Schwachschicht kollabiert und das Schneebrett senkt sich ab (2). Der Bruch setzt sich in der Schwachschicht fort (3) und die gesamte Schneetafel gleitet ab (4).

Quelle: Harvey et al. (2012).

2.1.3.1 Schichtung

Die Schneedecke ist aufgrund unterschiedlicher Witterungsbedingungen schichtweise aufgebaut. Je nach Niederschlagsmenge, Windstärke, Temperatur- oder Strahlungsverhältnissen bilden sich dicke oder dünne, harte oder weiche Schneeschichten (Schweizer 2000 b). Damit ein Schneebrett entstehen kann, braucht es innerhalb der Schneedecke eine Schwachschicht, welche von einer dickeren, gebundenen Schicht überlagert wird (Harvey et al. 2012).

Eine dünne grobkörnige Schneeschicht – das typische Beispiel ist eingeschneiter Oberflächenreif – kann die Schwachschicht bilden. Häufig ist aber auch gar keine eigentliche Schwachschicht vorhanden. Dann bildet ein Schichtübergang innerhalb der Schneedecke die Schwachstelle (Schweizer 2000 b).

Über der Schwachstelle muss eine dickere und gebundene Schicht liegen. Diese bildet das spätere Schneebrett. Schweizer (2002) hat bei einer Analyse von über 500 durch Menschen ausgelösten Lawinen festgestellt, dass die Dicke des Schneebrettes am Anrisspunkt im Mittel 45 cm betrug. Und in 98 % der Fälle war die abgeglittene Schneedecke weniger als ein Meter mächtig. Die zweite wichtige Komponente der dickeren Schicht ist die Kohäsion des Schnees. Die Schicht muss gebunden sein, damit sie ein Schneebrett bilden kann. Ein Paradebeispiel für gebundenen Schnee ist frischer Trieb Schnee. Dieser ist wegen der Deformation und Zerkleinerung der Schneekristalle während des Windtransports immer gebunden (Munter 2003). Ob die Kohäsion in der Schneeschicht für die Bildung eines Schneebretts ausreicht, kann u. a. mit dem Schaufeltest geprüft werden (Munter 2003, Harvey et al. 2012): Wenn ein ausgestochener Schneeblock auf der Schaufel trotz leichtem Rütteln als Block bestehen bleibt, ist der Schnee gebunden.

Ist in der Schneedecke die Kombination aus einer Schwachschicht bzw. -stelle und einer darüber liegenden dickeren und gebundenen Schicht vorhanden, spricht man von einer ungünstigen Schichtung oder einem schwachen Schneedeckenaufbau (vgl. Munter 2003).

2.1.3.2 Variabilität

Die oben beschriebene ungünstige Schichtkombination muss genügend flächig vorhanden sein. Bestehen kleinräumige Unterschiede im Schneedeckenaufbau, kann sich ein Bruch in der Schneedecke gemäss Harvey et al. (2012) nicht fortpflanzen. Die Autoren illustrieren diesen Umstand anhand umfallender Dominosteine: Wenn den Steinen ein massiver Klotz im Weg steht, wird die Kettenreaktion gestoppt.

Harvey et al. (2012) erwähnen als Beispiel für einen Schneedeckenaufbau mit grosser Variabilität häufig befahrene Hänge. Als «häufig befahren» betrachten sie Hänge, welche kaum mehr unverspurte Flächen aufweisen. Wird die unregelmässige Oberfläche eingeschneit, entsteht eine Schneedecke mit grosser Variabilität im Meterbereich, welche die Bruchfortpflanzung verhindert. Solche Stellen können aber auch ein falsches Gefühl der Sicherheit vermitteln. Munter (2003) rechnet vor, dass ein äusserst kleines Schneebrett von $20 \times 30 \times 0,35$ Metern ein Gewicht von 20 bis 40 Tonnen erreichen kann. Bereits ein Bruchteil dieser Schneemasse genügt für eine lebensgefährliche Verschüttung. Harvey et al. (2012) weisen denn auch darauf hin, dass bereits ab einer Bruchfläche von zehn Metern Durchmesser ein für Wintersportler bedrohliches Schneebrett entstehen kann.

Im selben Zusammenhang verweist Munter (2003: 19) auf einen der «13 fatalen Irrtümer des gesunden Menschenverstandes». Das verbreitete Vorurteil besagt, dass Wald vor Lawinen schütze und es unterhalb der Waldgrenze nicht gefährlich sei. Lichtungen im Wald von 10×10 Metern Grösse sind aber keine Seltenheit. Entsprechend argumentiert Munter (2003), ein Wald, in welchem man die Stämme bequem umfahren könne, schütze nicht vor Schneebrüchern.

2.1.3.3 Neigung

Ein grossflächiger Bruch in einer Schwachstelle der Schneedecke führt nicht zwingend zur Entstehung einer Schneebrettlawine. Nur wenn der Reibungswiderstand zwischen den Bruchflächen überwunden wird, gleitet das Schneebrett ab (Harvey et al. 2012). Hier kommt der Einfluss der Hangneigung zum Tragen. Schweizer (2006) erwähnt dafür drei Gründe:

- Die Hangabtriebskraft einer Schneesicht wächst mit zunehmender Hangneigung.
- Die Zusatzbelastung durch einen Wintersportler ist grösser, wenn der Hang steiler ist.
- Aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung in steilen Hängen ist der Schneedeckenaufbau dort oftmals anfälliger für Schneebrücher als in weniger steilen Lagen.

Der Einfluss der Hangneigung lässt sich auch mit einer häufig verwendeten Faustregel zusammenfassen: »Je steiler ein Hang, desto gefährlicher« (u.a. BFU 2010, Schweizer 2006).

Die kritische Hangneigung für das Abgleiten trockener Schneebretter liegt bei rund 30 Grad (Munter 2003). Die klassische Faustregel, dass Schneebrettlawinen erst ab einer Hangneigung von etwa 30 Grad abgehen, konnte im Rahmen eines Forschungsprojektes des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF erstmals experimentell bestätigt werden (WSL 2010). Meistens lösen sich Schneebrettlawinen in Hängen mit einer Neigung zwischen 35 und 45 Grad (Harvey et al. 2012) und der typische Lawinengang für Skifahrerlawinen ist gemäss Schweizer (2000 a) 38 bis 39 Grad steil.

Massgebend für das Abgleiten eines Schneebrettes ist jeweils die steilste Hangpartie im Gelände. Ein Schneebrett kann aber auch aus dem flacheren Gelände ausgelöst werden (KAT 2012). Wie in Abbildung 2 dargestellt, geschieht dabei der Bruch an einer flachen Stelle. Wenn sich der Bruch nun bis in eine Hanglage mit einer Neigung von mehr als rund 30 Grad fortpflanzt, wird dort der Reibungswiderstand zwischen den Bruchflächen überwunden und das Schneebrett gleitet ab.

2.1.3.4 Zusatzlast

Die vierte Bedingung für eine Schneebrettlawine ist die Existenz eines auslösenden Elements, welches den Bruch in der Schneedecke initiiert. Diese notwendige Zusatzlast kann durch Neuschnee, Schneeverfrachtungen oder nur schon Verformungen in der Schneedecke aufgrund von Erwärmung zu Stande kommen (Harvey et al. 2012). Sind aber Wintersportler von Schneebrettern betroffen, so sind in den allermeisten Fällen eben diese Wintersportler auch für die auslösende Zusatzlast verantwortlich. Munter stellte fest, dass die Belastungen des menschlichen Körpers auf die Schneedecke häufig stark unterschätzt werden. Er listete deshalb die folgenden Grössenordnungen für Zusatzbelastungen durch Skifahrer auf:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| - Aufstieg: | ein- bis zweifaches Körpergewicht |
| - Spitzkehre: | zwei- bis dreifaches Körpergewicht |
| - rasanter Abfahrtsschwung: | vier- bis fünffaches Körpergewicht |
| - Sturz: | sechs- bis siebenfaches Körpergewicht |
| - Sprung über Wächte: | zehnfaches Körpergewicht |

Gemäss Harvey et al. (2012) wirkt sich das Gewicht eines Skifahrers in der Schneedecke typischerweise bis in eine Tiefe von ungefähr 40 bis 60 cm aus. Bei einem Sturz reicht der Wirkungsbereich rund einen Meter tief. Ist das potentielle Schneebrett mächtiger als ein Meter, sind Auslösungen durch einzelne Wintersportler selten.

2.2 Lawinenbeurteilung

Die wohl populärste Grundlage zur Einschätzung der Lawinengefahr bildet die Lawinengefahrenskala. 1993 wurde die Skala europaweit vereinheitlicht und zwei Jahre später auch in Nordamerika übernommen (Etter et al. 2004). Man einigte sich auf folgende fünf Gefahrenstufen (englische Begriffe in Klammern):

- Stufe 1: gering (low)
- Stufe 2: mässig (moderate)
- Stufe 3: erheblich (considerable)
- Stufe 4: hoch (high)
- Stufe 5: sehr hoch (very high / extreme)

Der Grad der Lawinengefahr wird in Abhängigkeit von vier Faktoren festgelegt: Stabilität der Schneedecke, Auslösewahrscheinlichkeit, Häufigkeit kritischer Hangflächen sowie Grösse und Typ der zu erwartenden Lawinen (SLF 2012 a). Die Kombination dieser vier Hauptfaktoren führt dazu, dass die Lawinengefahr von Stufe zu Stufe nicht linear, sondern überproportional zunimmt (Harvey et al. 2012).

2.2.1 Beurteilungsbasis: Lawinenbulletin

Die Einschätzung der Lawinengefahrenstufe wird in Europa von nationalen oder regionalen Lawinenwarndiensten erarbeitet und publiziert. In der Schweiz übernimmt das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos diese Aufgabe. Die Gefahrenstufe ist der zentrale Bestandteil des im Winter täglich erscheinenden Lawinenbulletins.

2.2.1.1 Inhalte des Lawinenbulletins

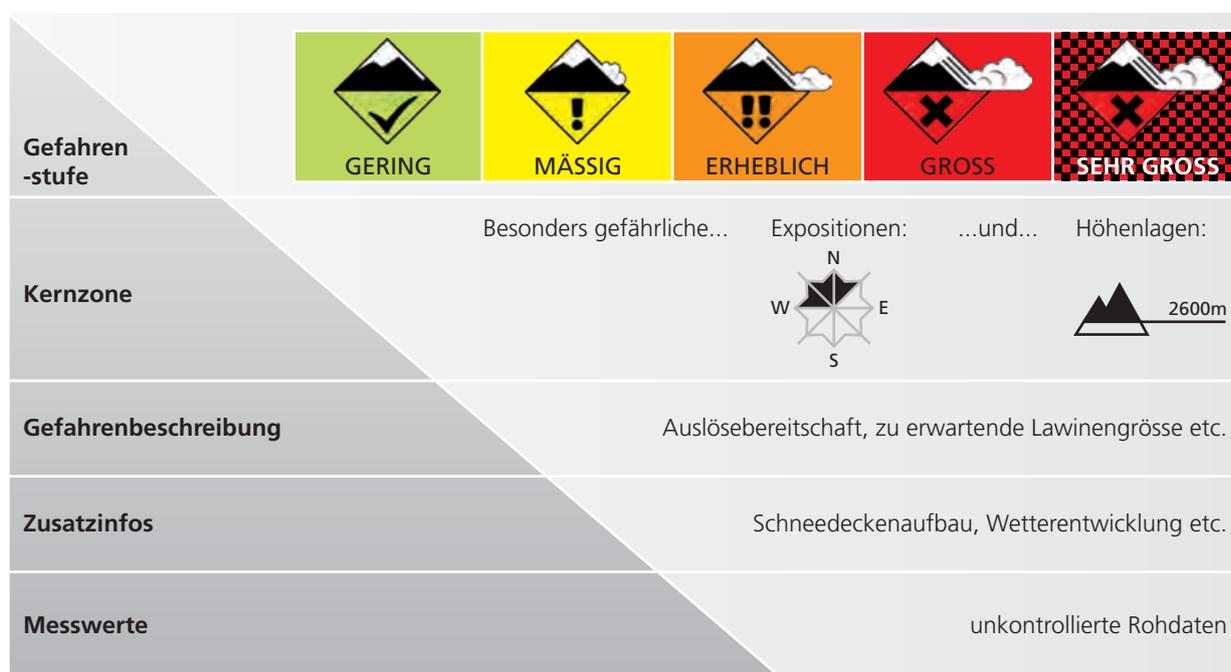
Auf die Wintersaison 2012/2013 hin wurde das Lawinenbulletin des SLF rundum erneuert. Das Bulletin wird neu für alle Regionen der Schweiz zweimal täglich und stets viersprachig (deutsch, französisch, italienisch und englisch) publiziert (WSL 2012). Ausserdem wurde die Darstellung der Bulletins verbessert und stark auf die Verbreitung im Internet ausgerichtet (Diethelm 2013).

Die Inhalte des Lawinenbulletins sind gemäss der Informationspyramide gegliedert, wie Abbildung 3 zeigt. In einer interaktiven Karte sind Gefahrenstufe und Kernzone – die Stufen 1 und 2 der Pyramide – für jede Region ersichtlich. Die Kernzone beschreibt die Exposition und Höhenstufen

besonders kritischer Hanglagen (SLF 2012 a). Diese Bereiche werden mittels schwarzer Flächen in den zugehörigen Symbolen hervorgehoben. Im Beispiel in Abbildung 3 befinden sich die gefährdeten Bereiche in Hanglagen der Expositionen West über Nord bis Nordost oberhalb von 2600 Metern.

Für jede Region wird weiter eine Gefahrenbeschreibung (Stufe 3) erstellt. Im Gefahrenbeschrieb wird die Lawinensituation einem oder mehreren Mustern zugeordnet (siehe Beurteilungshilfen in Kap. 2.2.2.3) und die Hauptgefahr genauer beschrieben (SLF 2012 a). Jedes Lawinenbulletin enthält zudem ergänzende Angaben zur Schneedecke und zum Wetter in Textform (Stufe 4). Die Messwerte zu Schneehöhen, Neuschneefällen etc. aus der fünften und untersten Stufe der Informationspyramide sind nicht direkt im Lawinenbulletin enthalten. Sie fliessen aber in die Lawinenbeurteilung ein und können auf der Webseite des SLF abgefragt werden.

Abbildung 3: Inhalte des Lawinenbulletins in der Schweiz



Gliederung der Inhalte des Lawinenbulletins in Pyramidenform: Das Wichtigste kommt zuerst. Mit jeder weiteren Stufe steigt der Grad der Detailliertheit der Informationen.

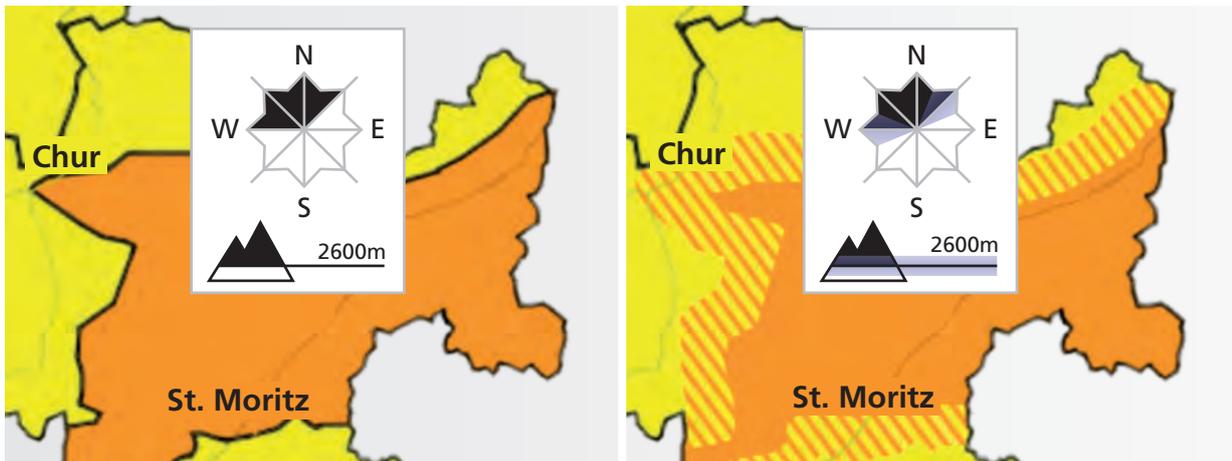
Quelle: *Eigene Darstellung nach SLF (2012 a).*

2.2.1.2 Grenzen des Lawinenbulletins

Gemäss Munter (2003) ist das Lawinenbulletin für die Tourenplanung zu Hause eine wertvolle und nur schwer zu ersetzende Informationsquelle. Er weist jedoch darauf hin, dass die Inhalte des Bulletin immer nur für eine Region und keinesfalls für einzelne Gebiete zu interpretieren sind. Weiter gilt es zu beachten, dass das SLF eine Prognose der Lawinengefahr erstellt (WSL 2012). Prognosen

werden naturgemäss nie mit hundertprozentiger Sicherheit zutreffen und müssen dementsprechend zurückhaltend interpretiert werden. Problematisch ist auch, dass die Einschätzung der Lawinengefahr meist mit einer Wettervorhersage verbunden ist. Unsicherheiten in der Wetterentwicklung wirken sich folglich auch auf die Lawinenprognose aus (Harvey et al. 2012).

Abbildung 4: Interpretation von Klassengrenzen im Lawinenbulletin



Links: Aktuelle Darstellung von Gefahrenkarte und Kernzonen-Symbolen aus dem Lawinenbulletin des SLF. Rechts: Fließende Grenzen zwischen Gefahrenstufen (schraffiert) sowie Bandbreiten kritischer Expositionen und Höhenlagen (blau).

Quelle: Eigene Darstellung nach Harvey et al. (2012) und SLF (2012 a).

Zwischen Gebieten unterschiedlicher Gefahrenstufen, und auch bei den Angaben gefährlicher Expositionen oder Höhenlagen wird im Lawinenbulletin eine scharfe Grenze gezogen, wie im linken Teil von Abbildung 4 gezeigt wird. Diese Grenzen können jedoch nicht klar definiert werden (SLF 2012 a). Die Lawinengefahr ändert sich selten innerhalb einer Distanz von einem Kilometer oder eines Höhenunterschieds von 100 Metern (Harvey et al. 2012). Deshalb müssen die Grenzen fließend, wie im rechten Teil von Abbildung 4 dargestellt, interpretiert werden. In den Übergangszonen ist gemäss SLF (2012 a) immer sowohl die günstigere als auch die ungünstigere Lawinensituation zu berücksichtigen. Harvey et al. (2012) empfehlen jedoch, tendenziell von der ungünstigeren Beurteilung auszugehen.

2.2.2 Beurteilungsrahmen: Formel 3 × 3

Bis vor rund 30 Jahren setzte sich die Lawinenausbildung primär aus der Lawinenrettung und der Beurteilung von Schneearten zusammen. Erst Mitte der 1980er-Jahre brachte Werner Munter mit der Formel 3 × 3 eine Struktur in die Beurteilung der Lawinengefahr (Harvey & Nigg 2009). Munter (2003) definierte seine Formel als ein «Koordinatensystem der klassischen Lawinenkunde».

Dabei werden alle lawinenrelevanten Faktoren drei Kriterienbereichen zugeteilt: ‹Verhältnisse›, ‹Gelände› und ‹Mensch›. Diese drei Kriterien werden wiederum auf drei geographischen und zeitlichen Ebenen beurteilt (Munter 2003 und KAT 2012):

- Regional Tourenplanung zu Hause
- Lokal Routenwahl vor Ort im Gelände
- Zonal Einzelhang-Beurteilung

Jedes Kriterium wird also dreifach (ein Mal pro Ebene) beurteilt und auf jeder der drei Ebenen werden Entscheide gefällt. Die Ebenen wirken als Filter für risikoreiche Situationen. Mit jeder Beurteilungs- und Entscheidungsphase wird der Filter feiner, was dazu führen soll, dass am Ende ein akzeptables Restrisiko übrig bleibt (Harvey et al. 2012). Die Formel 3 × 3 ist ein hierarchisch-sequentielles Verfahren, d. h. die Reihenfolge der Beurteilungsphasen darf nicht vertauscht werden (Munter 2003). Dieser Beurteilungsrahmen wird in der Schweiz für alle Ausbildungsstufen – vom Einsteiger bis zum Köhner – angewendet (Harvey & Nigg 2009).

2.2.2.1 Tourenplanung zu Hause: Regionale Beurteilungsebene

Die erste Beurteilungs- und Entscheidungsphase innerhalb der Formel 3 × 3 findet auf der regionalen Ebene statt. Ein Tourenziel mit Alternativen sowie ein Zeitplan werden festgelegt. Auf dieser Ebene geht es vordergründig um die Frage: Welche Tour ist möglich? (KAT 2012). Um eine Entscheidung für eine bestimmte Tour zu fällen, ist man grösstenteils auf Fremdinformationen angewiesen (Harvey et al. 2012). Nachfolgend einige wichtige Faktoren, die es auf der regionalen Ebene zu berücksichtigen gilt (Harvey et al. 2012, Munter 2003 und Wassermann & Wicky 2004):

- Verhältnisse: Lawinengefahrenstufe, Hauptproblem/Muster der Lawinengefahr, vergangenes, aktuelles und prognostiziertes Wetter im Tourengebiet, Auskünfte von Lokalexperten
- Gelände: Karte, Führerliteratur, Luftbilder, Fotos, eigene Geländekenntnisse
- Mensch: Gruppengrösse, Ausrüstung, Ausbildung und Erfahrung, Technik

Die wichtigsten Informationen zum Kriterium ‹Verhältnisse› stammen aus dem Lawinenbulletin, der Wettervorhersage und allenfalls aus Auskünften durch Personen vor Ort. Für die Beurteilung der Faktoren des Kriteriums ‹Gelände› sind Karten und Führerliteratur die zentralen Grundlagen. Anhand dieser werden Schlüsselstellen der Tour identifiziert und beurteilt (Harvey et al 2012). Erst seit der Anwendung der Formel 3 × 3 spielt auch das Kriterium ‹Mensch› eine zentrale Rolle. Dessen Berücksichtigung hat sich aber mittlerweile etabliert (Harvey & Nigg 2009).

2.2.2.2 Entscheidung vor Ort und im Einzelhang: lokale und zonale Beurteilungsebene

Die zweite Beurteilungsphase der drei Kriterienbereiche erfolgt auf der lokalen Ebene. Vor Ort – sprich im Tourengebiet – werden aufgrund eigener Beobachtungen die Annahmen und Prognosen aus der ersten Phase überprüft und neu beurteilt (Harvey et al. 2012). Dabei fließen aus dem Kriterienbereich «Verhältnisse» beispielsweise die allgemeinen Schneesverhältnisse und die Wetterbedingungen (Sichtverhältnisse, Windstärke etc.) in die Beurteilung ein. Bezüglich «Gelände» wird unter anderem untersucht, ob Geländeeigenschaften wie Steilheit oder Exposition mit den Vorstellungen aus der Planungsphase übereinstimmen. Beim Kriterienbereich «Mensch» spielen die Stimmung in der Gruppe oder die Materialkontrolle eine wichtige Rolle (Munter 2003).

Am Ende der zweiten Beurteilungsphase ist gemäss KAT (2012) im Wesentlichen folgende Frage zu beantworten: Welche Route soll gewählt werden? Wassermann und Wicky (2004) betonen, dass bei der Routenwahl zwingend Alternativen eingeplant werden müssen. Denn bei einer engen Planung ohne Varianten neige man dazu, Gefahren zu unterschätzen, nur weil die Alternativen unbefriedigend seien.

Die dritte und letzte Beurteilungsphase spielt sich auf der zonalen Ebene ab (Munter 2003). Konkret wird an Schlüsselstellen der Einzelhang beurteilt (Harvey et al. 2012). Hier dreht sich alles um die Frage, ob und wie ein einzelner Hang befahren werden kann (KAT 2012:). Wiederum werden «Verhältnisse», «Gelände» und «Mensch» gleichsam berücksichtigt. So finden unter anderem das Ausmass eines möglichen Schneebretts, die steilste Hangpartie oder Belastungsabstände in der Abfahrt besonders Beachtung. Aufgrund dieser und zahlreicher weiterer Kriterien findet eine finale Risikoüberlegung statt und am Ende wird entschieden, ob der Hang befahren werden soll oder ein Verzicht angebracht ist (Harvey et al. 2012). Nach Munter (2003) lautet die entscheidende Frage im Einzelhang: «To go, or not to go?».

2.2.2.3 Entscheidungshilfen innerhalb der Formel 3 × 3

In der Lawinenausbildung existieren zahlreiche Hilfsmittel und Konzepte, welche die Entscheidungsfindung in komplexen Lawinensituationen unterstützen und erleichtern. Im 3 × 3-Beurteilungsrahmen werden drei Entscheidungshilfen explizit aufgeführt und angewendet (KAT 2012): Die «Graphische Reduktionsmethode», die «Vier Muster typischer Lawinensituationen» und die «Risikofaktoren». Diese drei Methoden erlauben eine Betrachtung und Einschätzung des Lawinenrisikos aus unterschiedlichen Perspektiven (Harvey et al. 2012). Auf die graphische Reduktionsmethode wird im folgenden Kapitel 2.2.3 detailliert eingegangen, da diese die Basis der Visualisierung bildet.

Situationen mit häufig erhöhter Lawinengefahr können in vier typische Muster zusammengefasst werden (Harvey 2008). Untenstehend die typischen Lawinensituationen sowie deren Hauptcharakteristik und das daran angepasste Verhalten nach Harvey & Nigg (2009):

-	Neuschneesituation	Kritische Neuschneemenge	abwarten
-	Tribschneesituation	Tribschneeansammlungen	umgehen
-	Nassschneesituation	Sonneneinstrahlung, Regen, Wärme	früh zurück
-	Altschneesituation	Schwacher Schneedeckenaufbau	defensiv

Anhand der typischen Muster wird das Lawinenrisiko aus der Sicht des eigentlichen Lawinenproblems betrachtet - es handelt sich um einen prozessorientierten Ansatz (Harvey et al. 2012). Die vier typischen Lawinensituationen finden auch im Lawinenbulletin Verwendung, wo jeweils das aktuelle Hauptproblem der Lawinengefahr aufgeführt wird.

Eine weitere wichtige Entscheidungshilfe bilden die sogenannten Risikofaktoren. Es wird zwischen Risiko erhöhenden und Risiko mindernden Faktoren unterschieden (Harvey et al. 2012). Beispiele für Risiko erhöhende Faktoren sind gemäss KAT (2012): schlechte Sicht, grosse Gruppen, schockartige Belastungen der Schneedecke oder grosse Hänge. Die jeweiligen Gegenteile der aufgeführten Aspekte (gute Sicht, kleine Gruppe etc.) sind Beispiele für Risiko mindernde Faktoren.

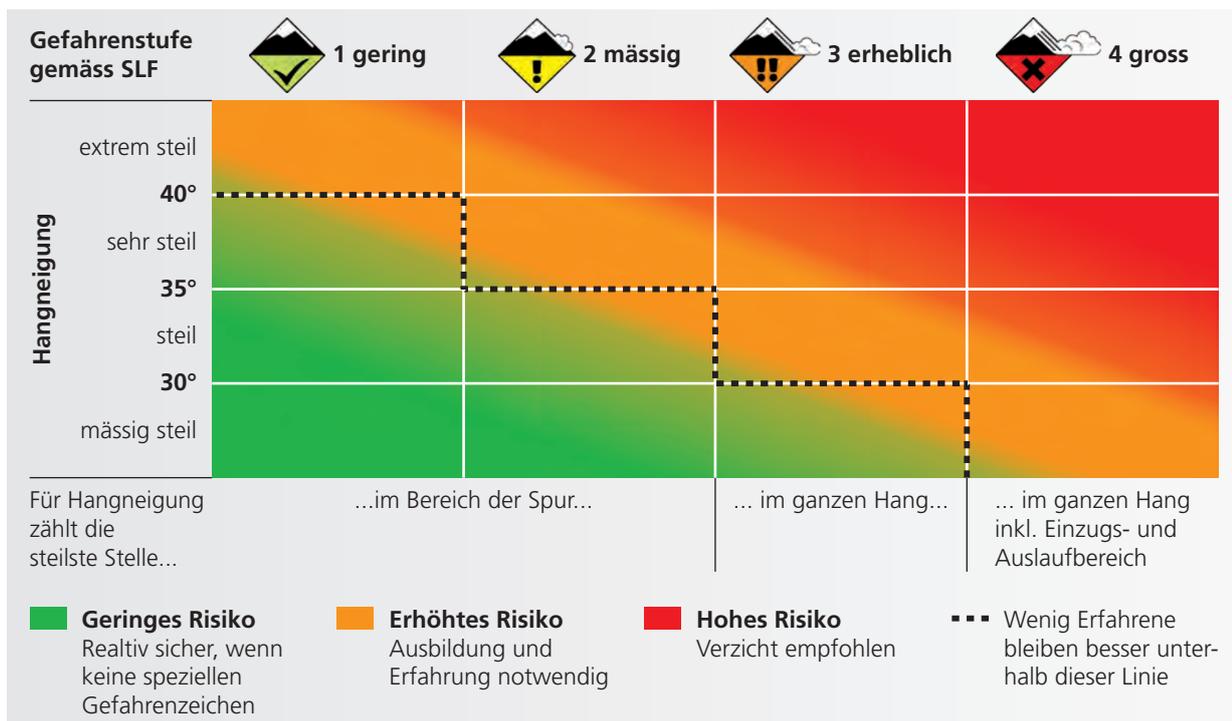
Auf der ersten Ebene im Beurteilungsrahmen 3×3 hat die graphische Reduktionsmethode den höchsten Stellenwert unter den Entscheidungshilfen. Sobald man sich aber vor Ort im Tourengebiet befindet, steigt der Stellenwert der vier Muster. Insbesondere auf der dritten, zonalen Beurteilungsebene werden Entscheidungen häufiger mithilfe der vier Muster getroffen. Die Risikofaktoren sollten auf allen drei Ebenen berücksichtigt werden und können namentlich im Einzelhang als Schlüsselfaktoren dienen (Harvey et al. 2012, KAT 2012).

2.2.3 Beurteilungshilfe: Graphische Reduktionsmethode

Die graphische Reduktionsmethode wurde aus der von Werner Munter entwickelten Reduktionsmethode abgeleitet (Harvey et al. 2012). Die ursprüngliche Methode Munters wird häufig auch als professionelle Reduktionsmethode bezeichnet (Harvey & Nigg 2009, Winkler & Techel 2009, Munter 2007). Ziel dieser Methode ist, ausgehend von der Lawinengefahrenstufe im Bulletin, durch Kombination verschiedener Reduktionsfaktoren, das Restrisiko für eine Tour zu ermitteln (Munter 2001).

Dieses klare mathematische Vorgehen erntete nicht nur Lob (Wicky 1999). Um der scheinbaren mathematischen Genauigkeit vorzubeugen, wurden deshalb graphische Varianten der Reduktionsmethode entwickelt. In der Schweiz wird innerhalb des 3×3 -Rasters die in Abbildung 5 dargestellte graphische Reduktionsmethode vermittelt und angewendet (Harvey & Nigg 2009).

Abbildung 5: Graphische Reduktionsmethode



In der Schweiz etablierte Variante der graphischen Reduktionsmethode. Die Farbverläufe der Risikobereiche zeigen, dass die Methode mit Bandbreiten und Zwischenstufen umzugehen weiss.

Quelle: *BFU (2010).*

2.2.3.1 Grundlagen der graphischen Reduktionsmethode

Die graphische Reduktionsmethode gilt in der Lawinenprävention als allgemein anerkannt. Sie ermöglicht einen einfachen Risikocheck zur Einschätzung des Lawinenrisikos (Utelli & Eisenhut 2012). Konkret basiert der Risikocheck auf drei Faktoren (nach Harvey et al. 2012):

- Lawinengefahrenstufe gemäss SLF-Lawinenbulletin
- Hangneigung in Steilheitsklassen à 5 Grad Neigung
- Besonders gefährdete Expositionen und Höhenlagen gemäss SLF-Lawinenbulletin

Die graphische Reduktionsmethode kombiniert die Hangneigung im Gelände mit den wichtigsten Informationen aus dem Lawinenbulletin: Gefahrenstufe und Kernzone bilden die beiden obersten Stufen der Informationspyramide (vgl. Abbildung 3).

Nach Harvey & Nigg (2009) spielt diese Entscheidungshilfe innerhalb des 3x3-Bewertungsrahmens bei der Tourenplanung auf der regionalen Ebene eine wichtige Rolle. Für in der Lawinenbeurteilung erfahrene Personen nimmt die Bedeutung der Methode im Lauf der weiteren Beurteilungsphasen sukzessive ab. Für Einsteiger mit wenig Erfahrung hingegen ist die graphische Reduktionsmethode auf allen Stufen «ein zentrales Entscheidungstool».

2.2.3.2 Anwendung der graphischen Reduktionsmethode in der Tourenplanung

Die graphische Reduktionsmethode als Entscheidungshilfe spielt auf der Stufe Planung die wichtigste Rolle (Harvey et al. 2012). Im Folgenden wird deshalb die Anwendung der Methode in der Planung einer Tour beschrieben. Die Ausführungen beruhen, sofern nicht anders erwähnt, auf einer mündlichen Auskunft von Stephan Harvey (Zürich, 29. 01. 2013).

Basierend auf Skitourenkarten im Massstab 1 : 50 000 sowie Führerliteratur (z. B. Skitourenführer des SAC oder Informationen aus dem Internet) wird in einem ersten Schritt ein Tourenziel festgelegt. Dabei gilt es immer auch, weitere Gegebenheiten wie die Wetter- und Schneesituation (Faktor «Verhältnisse») oder die Gruppengrösse und den Ausbildungsstand der Teilnehmer (Faktor «Mensch») zu berücksichtigen. Anschliessend werden die geplante Tour sowie mögliche Alternativen aus der Skitourenkarte auf die Landeskarte im Massstab 1:25 000 übertragen und eingezeichnet. Sowohl Munter (2003) als auch Harvey et al. (2012) betonen, dass die Routen zwingend auf präzisen Karten im Massstab 1 : 25 000 eingezeichnet werden müssen. Karten in kleineren Massstäben sind für die detaillierte Tourenplanung zu wenig genau.

In einem weiteren Schritt werden für sämtliche eingezeichneten Routen die Schlüsselstellen identifiziert. An den Schlüsselstellen wird aus der Karte die steilste Stelle mithilfe eines Hangneigungsmessers abgelesen. Kombiniert man die gemessene Hangneigung mit der Gefahrenstufe aus dem SLF-Lawinenbulletin, kann mit Hilfe der graphischen Reduktionsmethode eine erste Einschätzung des Lawinenrisikos vorgenommen werden. Die Gefahrenstufe gibt dabei die Spalte und die Hangneigung die Zeile in der graphischen Reduktionsmethode vor (vgl. Abbildung 5).

Nun muss aber auch noch die Kernzone besonders gefährdeter Expositionen und Höhenlage aus dem Bulletin berücksichtigt werden. Ebenfalls aus der Karten können die Exposition sowie die Höhenlage der Schlüsselstellen abgelesen werden. In der Tourenpraxis hat sich gemäss SLF (2012 a) eingebürgert, bei im Bulletin nicht speziell erwähnten Höhenlagen und Expositionen, die Lawinengefahr in der Regel eine Stufe tiefer anzunehmen. Dies bedeutet:

- Ist die Schlüsselstelle sowohl bezüglich Exposition als auch bezüglich Höhenlage innerhalb der Kernzone, so ist die Gefahrenstufe gemäss Lawinenbulletin weiterhin gültig.
- Wenn aber die Exposition oder die Höhenlage der Schlüsselstelle ausserhalb der im Bulletin erwähnten Kernzone liegen, so kann die Lawinengefahr als um eine Stufe reduziert angenommen werden.

In der Anwendung der graphischen Reduktionsmethode drückt sich die Reduktion der Gefahrenstufe als eine Verschiebung um eine Spalte nach links aus. Nach der Berücksichtigung der Kernzone kann das Lawinenrisiko der untersuchten Schlüsselstelle aus der graphischen Reduktionsmethode abgelesen werden.

2.2.3.3 ‹Risiko› und ‹Gefahr›: Was ist der Unterschied?

Bei der Kommunikation über die Begriffe ‹Gefahr› und ‹Risiko› kommt es häufig zu Missverständnissen, da die Begriffe unterschiedlich interpretiert werden (BAG 2010). Für gesellschaftliche Akteure mag der Unterschied zwischen einer Gefahr (englisch ‹hazard›) und einem Risiko (englisch ‹risk›) oftmals nicht entscheidend sein (Ulbig et al. 2009). In der Lawinenbeurteilung kommen aber beide Begriffe zur Anwendung und insbesondere im Umgang mit der graphischen Reduktionsmethode ist die Unterscheidung zwischen ‹Gefahr› und ‹Risiko› von grosser Bedeutung: Die Lawinengefahrensstufe bildet die Ausgangslage für die Anwendung der graphischen Reduktionsmethode, während das Lawinen**risiko** das Resultat der Einschätzung darstellt. Es macht deshalb Sinn, die beiden Begriffe ‹Gefahr› und ‹Risiko› zu definieren.

Mit ‹Gefahr› wird die Schädlichkeit eines Stoffes oder eines Prozesses an sich beschrieben (Ulbig et al. 2009). Von einer giftigen Substanz kann eine Gefahr ausgehen, genauso wie von einem Erdbeben oder eben von einer Lawine. In der Lawinenkunde wird diese Gefährlichkeit durch die Eintretenswahrscheinlichkeit und die zu erwartende Grösse eines Ereignisses definiert. Die Gefahr an sich sagt aber nichts über den zu erwartenden Schaden am Menschen oder an der Infrastruktur aus (SLF 2012 a).

Wenn das Schadenpotential eines Stoffes oder Prozesses beschrieben werden soll, wird der Begriff ‹Risiko› verwendet. Eine probate Definition für ‹Risiko› ist die folgende (nach Ulbig et al. 2009):

$$\text{Risiko} = \text{Eintretenswahrscheinlichkeit} \times \text{Schadenpotential}$$

In dieser Form wird ‹Risiko› auch in der Lawinenkunde verwendet. Ein Lawinenrisiko existiert also erst dann, wenn Menschen oder Sachwerte der Lawinengefahr ausgesetzt sind (SLF 2012 a). Genau von diesem Umstand wird aber in der Tourenplanung mit der graphischen Reduktionsmethode ausgegangen. Bei jeder Durchführung der Skitour setzen sich Wintersportler der Lawinengefahr aus. Deshalb ist das Resultat der Einschätzung mit Hilfe der graphischen Reduktionsmethode ein Lawinenrisiko. In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe ‹Gefahr› und ‹Risiko› immer gemäss der beschriebenen Definition verwendet.

2.3 Geomorphometrie

Die Geomorphometrie kann definiert werden als Wissenschaft der quantitativen Analyse der Erdoberfläche (Pike et al. 2009). Rasemann et al. (2004) gehen etwas mehr ins Detail und beschreiben die Disziplin als «die Wissenschaft der quantitativen Beschreibung und Analyse der geometrisch-topologischen Charakteristik der Erdoberfläche». Es handelt sich dabei um ein interdisziplinäres Forschungsfeld, welches Aspekte aus der Mathematik, den Computerwissenschaften und den Erdwissenschaften, insbesondere der Geomorphologie, vereint (Pike 2000). Lange Zeit als Teilgebiet eben dieser Geomorphologie betrachtet, gilt die Geomorphometrie mittlerweile als eigenständige Disziplin (Pike et al. 2009).

Der operative Schwerpunkt der Geomorphometrie liegt gemäss Pike et al. (2009) auf der Extraktion von Parametern der Erdoberfläche aus digitalen Höhenmodellen. Auf den folgenden Seiten werden die für die vorliegende Arbeit zur Verfügung stehenden digitalen Höhenmodelle beschrieben, bevor lawinenrelevante Geländeparameter aufgelistet und ein kurzer Überblick zu den verwendeten Berechnungsverfahren gegeben wird.

2.3.1 Digitale Höhenmodelle

Digitale Höhenmodelle sind Mosaike aus Punktdaten, in welchen als Attribut der ungefähren Höhenwert der Erdoberfläche gespeichert wird (Hebeler & Purves 2009). Die beiden häufigsten Datenstrukturen für diese Mosaike sind nach Trautwein et al. (2011):

- GRID Regelmässiges Gitternetz
- TIN Unregelmässiges Dreiecksnetz

Ein GRID ist ähnlich aufgebaut wie ein Rasterdatensatz, während ein TIN aus unregelmässig verteilten Punkten besteht, welche zu Dreiecken verbunden sind. Das GRID-Format hat bezüglich der Einfachheit seiner Datenstruktur Vorteile gegenüber dem TIN-Format. Dafür kann die TIN-Datenstruktur besser der Komplexität des Geländes angepasst werden (Trautwein et al. 2001). Pike et al (2009) betonen, dass üblicherweise ein GRID-Modell als Basis für geomorphometrische Analysen verwendet wird.

Das Bundesamt für Landestopographie bietet drei digitale Höhenmodelle an, bei allen wird die Höheninformationen im GRID-Format gespeichert. Das digitale Oberflächenmodell DOM bildet die sichtbare Oberfläche inklusive aller Wälder, Gebäude und Kunstbauten ab (Swisstopo 2005 a). Insbesondere für die Modellierung des Geländes in Waldgebieten ist das DOM daher ungeeignet und wird im Folgenden nicht näher betrachtet.

Die weiteren beiden Höhenmodelle zeigen die Oberfläche der Schweiz ohne Bewuchs und Bebauung. Das Digitale Höhenmodell DHM25 wurde aus der Höheninformation der Landeskarte 1:25 000 abgeleitet (Swisstopo 2005b). Der neueste Datensatz, das Höhenmodell swissALTI3D, basiert auf mittels flugzeuggestütztem Laserscanning erhobenen Daten (Swisstopo 2012). In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die wichtigsten Kennwerte der beiden Höhenmodelle verglichen.

Tabelle 2: Vergleich der Digitalen Höhenmodelle DHM25 und swissALTI3D

Digitales Höhenmodell	Räumliche Auflösung	Höhen- genauigkeit	verfügbarer Perimeter	letzte Nachführung
DHM25	25 m	Mittelland: < 1.5 m Alpen: 3 - 8 m	ganze Schweiz	1980 – 2000
swissALTI3D	2 m	bis 2000 m.ü.M.: < 1 m ab 2000 m.ü.M.: 1 – 3 m	bis 2000 m.ü.M.: ganze Schweiz ab 2000 m.ü.M.: westl. Alpenteil	2002 – 2010

Quellen: *Eigene Darstellung gemäss Swisstopo (2005 b) und Swisstopo (2012).*

Obwohl das neuere Höhenmodell swissALTI3D bezüglich räumlicher Auflösung und Höhengenaueigkeit besser abschneidet als das DHM25, wurde für die Visualisierung der Lawinengefahr in dieser Arbeit das ältere DHM25 verwendet. Dies aus dem einfachen Grund, dass swissALTI3D zum Zeitpunkt der Erstellung der Visualisierung noch nicht flächendeckend für den gesamten Alpenraum verfügbar war.

Maggioni und Gruber (2003) verweisen nebst diesem Aspekt auf einen weiteren Vorteil des geringer aufgelösten Höhenmodells: Im Winter werden feine Geländeformen häufig durch Schneeverfrachtungen geglättet. Die meisten Lawinen gleiten auf einer tiefer liegenden Schneeschicht ab und nicht auf der eigentlichen Geländeoberfläche (siehe Kap. 2.1.2). Deshalb sollte ein leicht geglättetes Gelände, wie es im Höhenmodell DHM25 abgebildet wird, die Genauigkeit des Ansatzes nicht oder zumindest nur unwesentlich beeinträchtigen.

2.3.2 Lawinenrelevante Geländeparameter

Kerngebiet der Geomorphometrie ist die Ableitung diverser Geländeparameter aus digitalen Höhenmodellen. Typische Anwendungsbeispiele in der Geographie sind gemäss Trautwein et al. (2011) vegetationsgeographische Fragestellungen, Permafrostmodellierungen und auch die Lawinenkunde. In zahlreichen Untersuchungen wurden die für die Entstehung von Lawinen entscheidenden Geländeparameter ermittelt und erforscht. Einige Beispiele dazu finden sich auf der folgenden Seite.

Schweizer & Lutschg (2000) untersuchten Lawinenunfälle in einem Zeitraum von zehn Jahren und ermittelten dabei u. a. die typischen Geländeeigenschaften bezüglich Hangneigung, Exposition und Höhenlage. McClung (2001) beschrieb die Geländecharakteristiken für Anrisszonen von Lawinen. Zu den geomorphometrischen Parametern der Analyse zählten Hangneigung, Geländerauigkeit, Exposition, Profil- und Plankurvatur sowie die Höhenlage der Anrissgebiete. In beiden Arbeiten wurden die Geländeinformationen jedoch aus Karten oder Luftbildern und nicht aus digitalen Höhenmodellen extrahiert.

Anders bei den folgenden beiden Studien: Maggioni & Gruber (2003) werteten den Einfluss topographischer Parameter auf die Grösse und die Häufigkeit von Lawinen aus. Aus einem digitalen Höhenmodell berechneten Sie dafür die Hangneigung, die Plankurvatur, die Exposition sowie die Kammnähe (Distanz zum nächsten Berggrat). Ein ähnliches Vorgehen wählten Ghinoi & Chung (2005). Ziel ihrer Studie war die Bestimmung der Störanfälligkeit bestimmter Geländebereiche in Bezug auf die Auslösung von Lawinen. Dazu verwendeten Sie die Geländeparameter Hangneigung, Exposition, Höhenlage, Kammnähe, Geländerauigkeit und Kurvatur.

Geomorphometrische Geländeparameter werden auch in jedem SLF-Lawinenbulletin verwendet. Allerdings weichen die dort gebräuchlichen Bezeichnungen teilweise von den obenstehenden Begriffen ab. Tabelle 3 gibt einen Überblick zu häufig eingesetzten Begriffen in der Fachliteratur sowie im Lawinenbulletin.

Tabelle 3: Lawinenrelevante Geländeeigenschaften

Geländeparameter	Englischer Fachbegriff	Bezeichnungen im SLF-Lawinenbulletin
Hangneigung	slope / gradient	mässig steil, steil, sehr steil, extrem steil
Höhenlage	elevation	unterhalb / oberhalb von [Höhenangabe] m
Exposition	aspect / exposure	an den Expositionen Nord, Ost, West, Süd etc.
Plankurvatur	plan(form) curvature / convexity	Rinnen und Mulden, Kuppen und Geländerücken
Profilkurvatur	profile curvature / convexity	Übergang von flachen zu steilen Hängen
Kammnähe	distance to ridge / crest	Kammlagen
Geländerauheit	terrain roughness	felsdurchsetztes Gelände

Quellen: Eigene Darstellung gemäss Burrough & McDonnell (1998), Schweizer & Lutschg (2000), McClung (2001), Maggioni & Gruber (2003), Ghinoi & Chung (2005) und SLF (2012 b), .

2.3.3 Berechnung der verwendeten Geländeparameter

Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten Visualisierungen, wurden die geomorphometrischen Parameter ‹Höhenstufe›, ‹Hangneigung› und ‹Exposition› verwendet (siehe Kapitel 3.2.2). In einem früheren Schritt während der Entwicklung der Visualisierungen wurde ausserdem ein auf der Profilkurvatur basierender Ansatz in Betracht gezogen (vgl. Kapitel 3.1.2). Nach Burrough & McDonnell (1998) ist die Berechnung der Neigung und der Exposition für viele Zwecke bereits ausreichend. In geomorphologischen Untersuchungen sei aber auch die Krümmung häufig nützlich.

Nachfolgend werden die angewendeten Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Hangneigung, Exposition und Krümmung aus dem digitalen Höhenmodell kurz beschrieben. Der Parameter ‹Höhenstufe› bedurfte keiner weiteren Berechnungsschritte, da die Pixelwerte des verwendeten GRID-Datensatzes (DHM25) bereits die Höhe über Meer abbilden.

Hangneigung:

Die Neigung an einem bestimmten Punkt einer Geländeoberfläche wird definiert als das steilste Gefälle der Tangentialebene durch diesen Punkt. Das Gefälle lässt sich anhand der Ableitungen erster Ordnung der Oberfläche in Richtung der x- und der y-Achse berechnen (Trautwein et al. 2011). Zur Berechnung dieser Ableitungen existieren verschiedene Verfahren (Burrough & McDonnell 1998). In der vorliegenden Arbeit wurden die Ableitungen mit der Methode der ‹Finiten Differenzen› von Horn (1981) geschätzt. Diese Methode ist gemäss Trautwein et al. (2011) die gängigste und auch in der später verwendeten Software ArcGIS von ESRI implementiert (ArcGIS Resource Center 2011 a). Die Hangneigung wird entweder in Grad oder in Prozenten angegeben (Burrough & McDonnell 1998). In der vorliegenden Arbeit wurde immer Grad als Einheit verwendet.

Exposition:

Die Exposition eines bestimmten Punktes im Gelände ist definiert als die Richtung des steilsten Gefälles der Tangentialebene durch diesen Punkt (Trautwein 2011: 11). Das steilste Gefälle der Tangentialebene wird wiederum mittels finiter Differenzen nach Horn (1981) berechnet. Anschliessend wird die Ausrichtung der Tangentialebene gemessen und in Gradwerten im Uhrzeigersinn ausgehend von Norden angegeben (ArcGIS Resource Center 2011 b).

Krümmung:

Bei der Ermittlung der Krümmung müssen die Ableitungen zweiter Ordnung der Oberfläche berechnet werden (Burrough & McDonnell 1998). Die Plankrümmung beschreibt dabei die Krümmung der Oberfläche entlang der Höhenlinie, während die Profilkrümmung die Krümmung der Oberfläche in Richtung des steilsten Gefälles angibt (Trautwein et al. 2011).

2.4 Geographische Informationsvisualisierung Gestaltung und Wahrnehmung

Seit mehreren Jahrtausenden sind Geographische Visualisierungen und Karten ein einzigartiges Instrument, um räumliche Informationen zu kommunizieren. Eine grosse Stärke dieser Kommunikationsweise ist die Repräsentation von Räumen, welche zu gross oder zu komplex sind, um direkt gesehen oder erkannt werden zu können (Dodge et al. 2008). Hake et al. (2002) unterscheiden zwei typische Arten der Informationsgewinnung aus räumlichen Repräsentationen: Mittels Karten könne Bekanntes aufgezeigt, aber auch Neues vermittelt werden.

Letzteres Muster der Informationsgewinnung, die Vermittlung neuer Erkenntnisse, erfuhr durch die Mittel der computerbasierten Informationsvisualisierung eine Vielzahl neuer Methoden und Möglichkeiten (Skupin & Buttenfield 1996). McCormick et al. (1987) beschreiben das Potential computerbasierter Visualisierungen in einer Art und Weise, wie sie auch für geographische Informationsvisualisierungen Gültigkeit besitzt: «Visualization offers a method for seeing the unseen».

2.4.1 Semiotik

Semiotik oder Semiologie steht für die Lehre von den Zeichen, der Zeichentheorie. Die Begriffe werden häufig synonym verwendet (Hake et al. 2002). MacEachren (1995) führt die scheinbare Unübersichtlichkeit auf das interdisziplinäre Wesen der Disziplin zurück. Einflüsse aus der Linguistik, Philosophie, Anthropologie oder auch der Soziologie prägen die Zeichentheorie. MacEachren (1995) beschreibt weiter zwei dominante semiotische Traditionen: Der amerikanische Naturwissenschaftler Charles Sanders Peirce begründete im Rahmen seiner Erforschung der «semeiotic» das triadische Zeichenmodell (Abbildung 6). Der Schweizer Sprachwissenschaftler Ferdinand de Saussure prägte den Begriff «sémiologie» und schuf das dyadische Zeichenmodell, in welchem die Beziehung zwischen dem Zeichen und der Vorstellung berücksichtigt wird.

Die folgenden Seiten beziehen sich jeweils auf die dreiteilige Betrachtungsweise nach Peirce. Drei Zeichendimensionen werden dabei unterschieden (nach Hake et al. 2002):

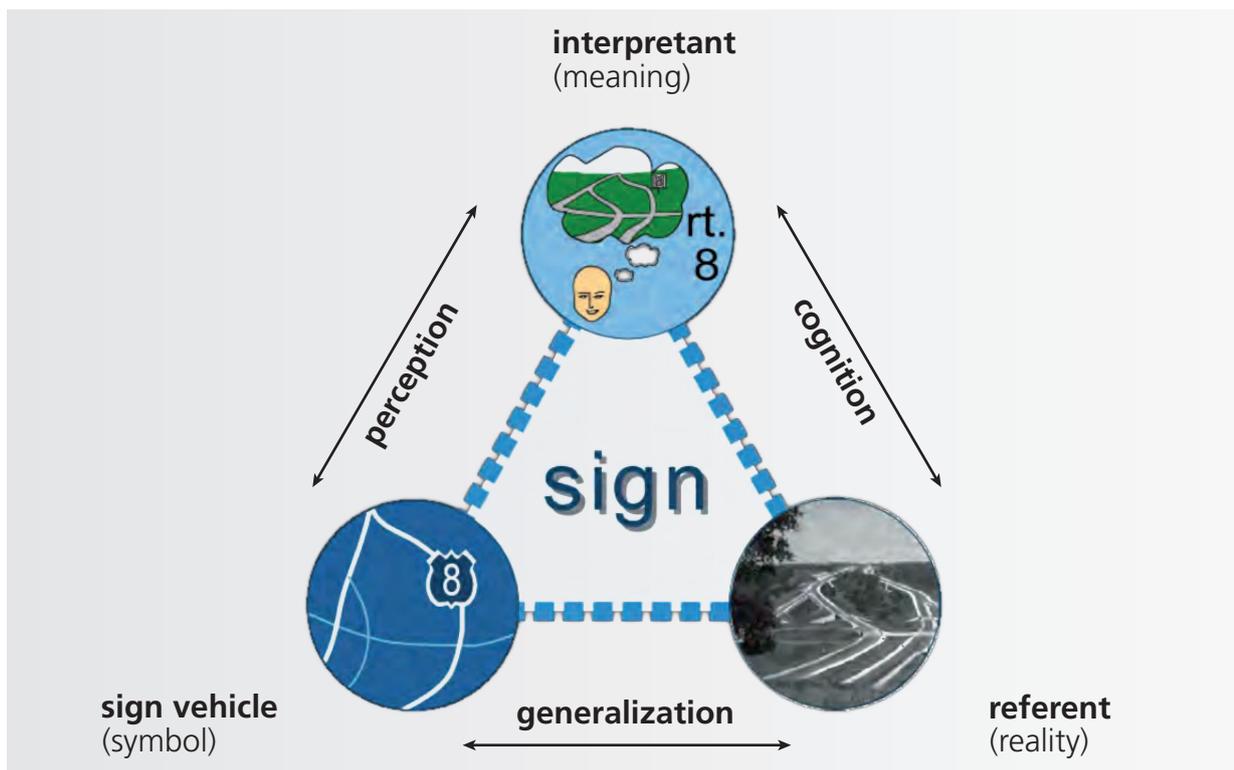
- Syntaktisch: Formale Bildung der Zeichen und ihre Beziehung untereinander.
Sind die einzelnen Zeichen als solche erkennbar?
- Semantisch: Beziehung der Zeichen zu Objekten im Raum.
Ist die Bedeutung der Zeichen verständlich?
- Pragmatisch: Beziehung der Zeichen zum wahrnehmenden Objekt.
Welchen Einfluss hat das Zeichen auf den Wahrnehmenden?

Im Zusammenhang mit kartographischer Kommunikation sprechen Hake et al. (2002) von einer besonderen Ausprägung der Zeichentheorie, welche sie als «Kartosemiotik» bezeichnen. Eine eingängige Darstellung der Zeichentheorie im Kontext der geographischen Informationsvisualisierung findet sich in MacEachren (1995) und ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Darstellung beruht auf dem triadischen Zeichenmodell nach Peirce.

Im Zentrum steht das Zeichen («sign»), welches in diesem Kontext allerdings nicht nur für ein Kartensymbol an sich, sondern auch für das damit verbundene semantische Konzept und die Ausprägung in der Realität steht. Das Modell in Abbildung 6 zeigt die Wechselbeziehungen des Zeichens zu den drei Dimensionen (nach MacEachren 1995, deutsche Begriffe gemäss Hake et al. 2002):

- «referent» Objekt, hier die reale Strasse
- «sign vehicle» Zeichenträger, hier die Kartensymbole für die Strasse
- «interpretant» Bedeutung, hier die Interpretation der Kartensymbole als Strassen

Abbildung 6: Kartosemiotik: Triadisches Zeichenmodell nach Peirce



Quelle: Nach MacEachren (1995), ergänzt durch Fabrikant (2013).

Fabrikant (2013) ergänzte die Darstellung MacEachrens durch eine Beschreibung der Beziehungen zwischen den Dimensionen. Die Kartensymbole entspringen einem Gestaltungsprozess, bei welchem mittels Generalisierung (generalization) die relevanten Ausprägungen der Strasse (Streckenführung und Kategorie) graphisch dargestellt werden. Die Perzeption (perception) des Kartensymbols

kann vereinfacht als rein visueller Wahrnehmungsprozess beschrieben werden. Ist beispielsweise der Kontrast zwischen den weissen Linien und dem blauen Hintergrund ausreichend, werden die Kartensymbole als solche wahrgenommen. Erst in einem weiteren Schritt erfolgt über mentale Prozesse die Verknüpfung des Kartensymbols mit der Bedeutung ‹Strasse› oder der Kategorie ‹Highway›. Für diese Wechselbeziehung steht im Modell der Begriff der Kognition (cognition).

Die Prozesse der Perzeption und Kognition laufen in den allermeisten Fällen beinahe gleichzeitig ab. Dementsprechend mag es im Modell in Abbildung 6 nicht leicht fallen, eine klare Grenze zwischen den beiden Bereichen zu ziehen. Beispiele für Aspekte, bei welchen die Unterscheidung der beiden Prozesse notwendig ist, finden sich jedoch auf den nachfolgenden Seiten (beispielsweise in den Kapiteln 2.4.2 und 2.4.4)

2.4.2 Kartenlogische Rahmenbedingungen

Eine bezüglich Design ansprechende Darstellung ist ein wichtiger Bestandteil geographischer Visualisierungen. Die graphisch am schönsten gestalteten Karten sind aber nutzlos, wenn deren Inhalte nur eingeschränkt vom Hintergrund abgrenzbar oder gar unverständlich sind. Die folgenden Rahmenbedingungen müssen bei der Anwendung der Kartengraphik erfüllt werden (Hake et al. 2002):

1. **Massstabs- und Lagetreue:**
Die Kartensymbole sollten geometrisch möglichst exakt angeordnet sein.
2. **Bedeutung der Zeichen:**
Gleiches soll gleich, Ungleiches ungleich dargestellt sein. Weiter gilt es, Wichtiges zu erhalten und Typisches zu betonen aber auch Unwichtiges wegzulassen und Atypisches abzuschwächen.
3. **Lesbarkeit einzelner Kartenzeichen:**
Dies setzt eine visuell noch wahrnehmbare Mindestgrösse und auch die Erhaltung der typischen Gestalt eines Kartensymbols voraus. Weiter ist die Realisierbarkeit, z. B. aufgrund technischer Vorgaben in der Vervielfältigung zu berücksichtigen.
4. **Lesbarkeit der gegenseitigen Beziehung der Kartenzeichen:**
Unter anderem muss ein ausreichender Kontrast zwischen den verschiedenen Kartensymbolen gewährleistet sein.

Inbesondere aus dem dritten und vierten Punkt in oben stehender Aufzählung lässt sich die wichtige Rolle der syntaktischen Zeichendimension ableiten. Bei der Gestaltung räumlicher Visualisierungen gilt es, graphische Mindestgrössen zu beachten, damit Kartensymbole als solche erkennbar und von anderen abgrenzbar sind. Diese Mindestgrössen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Graphische Mindestgrößen in Karten

	KLEINE FIGUREN			Breite	LINIE		FLÄCHE	
	Punkt	Kreis Quadrat voll / hohl	Buchstabe und Ziffer		Zwischenraum dünne Linien dicke Linien	Einzelmass	Zwischenraum kleine Flächen grosse Flächen	
Beschreibung der zu berücksichtigenden Dimension								
Mindestgrößen bei Graustufen- druck (in mm)	0,25	0,50 0,60 0,50 0,60	0,60	0,05	0,25 0,15	0,30 0,30	0,20 0,15	
Mindestgrößen bei Farbdruck (in mm)	0,45	0,70 1,00 0,70 1,00	1,00	0,08	0,20 0,30	0,40 0,40	0,25 0,20	

Quelle: *Nach Hake et al. (2002).*

2.4.3 Graphische Variablen und «Uncertainty mapping»

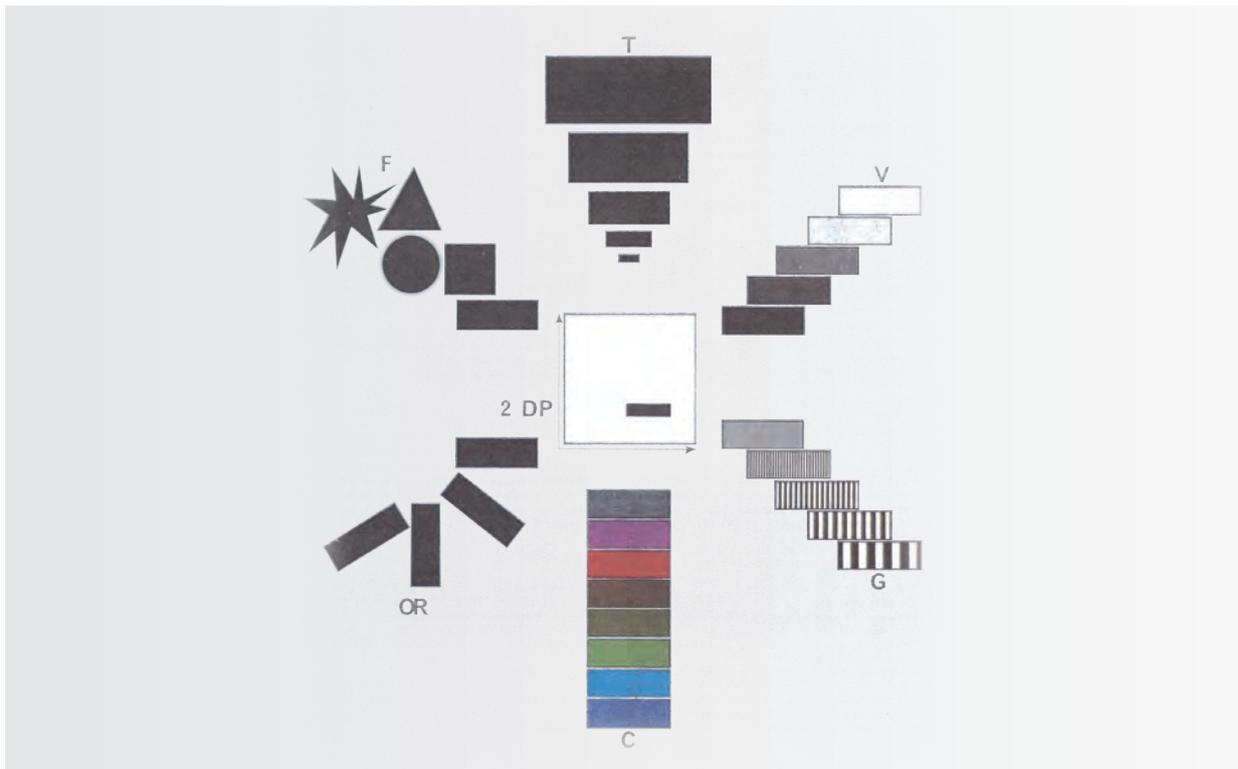
Auf der zuvor beschriebenen kartographischen Zeichentheorie gründet das weitgehend anerkannte graphische Variablensystem nach Bertin (Ellsiepen 2004). Zahlreiche Akademiker schickten sich an, Bertins graphischen Variablensatz zu erweitern. Auf einige dieser Ansätze wird nachfolgend kurz eingegangen, bevor ein im Kontext der Darstellung der Lawinengefahr wesentlicher Beitrag MacEachrens erläutert wird: «Uncertainty mapping» – die Darstellung von Informationsunsicherheiten.

2.4.3.1 Bertins «Sémiologie graphique»: Grundlagen und Erweiterungen

Der französische Kartograph Jacques Bertin definierte in seinem Standardwerk «Sémiologie graphique» als Erster einen Satz von graphischen Variablen. Anhand dieser sieben Variablen können die Eigenschaften aller graphischen Elemente einer Karte klassifiziert werden (Hurni 2005). Bertin interpretiert sein graphisches Zeichensystem als ein in sich geschlossenes, unabhängiges System der visuellen Wahrnehmung. Sein Werk richtet sich nicht ausschliesslich an Kartographen oder Gestalter, sondern an alle Personen im Bereich der Informationsverarbeitung und -nutzung (Bertin 1967).

Die graphischen Variablen sind (im Uhrzeigersinn gemäss Abbildung 7): Grösse, Helligkeit, Muster, Farbe, Orientierung, Form und Verortung (Bertin 1967). Die letzte Variable ‹Verortung› beschreibt dabei die Lage eines Objektes in der Ebene (z. B. mittels x- und y-Koordinaten). Sie wird vereinzelt auch als Ortsvariable bezeichnet und nicht zu den graphischen Variablen im engeren Sinne gezählt (vgl. Ellsiepen 2004).

Abbildung 7: Bertins Graphische Variablen



Die Grossbuchstaben neben den Variablengruppen stehen für die französischen Originalbezeichnungen der Variablen: T: ‹tailleur›, V: ‹valeur›, G: ‹grain›, C: ‹couleur›, OR: ‹orientation›, F: ‹forme›, 2 DP: ‹2 dimensions du plan›

Quelle: Bertin (1967).

Garlandini & Fabrikant (2009) untersuchten die Wirkungsweise der vier graphischen Variablen ‹Farbe›, ‹Helligkeit›, ‹Grösse› und ‹Orientierung› in einer empirischen Studie. Konkret wurden die Effizienz (Geschwindigkeit) und die Effektivität (Genauigkeit) der Probanden im Umgang mit den vier Variablen in zweidimensionalen, statischen Karten gemessen. Dabei zeigte sich, dass die Probanden mit der Variablen ‹Grösse› am besten abschnitten, während sich die Variable ‹Orientierung› als am wenigsten effizient und effektiv erwies.

Das graphische Zeichensystem Bertins wurde von zahlreichen Akademikern modifiziert und erweitert (Slocum et al. 2010). Teilweise herrscht allerdings Uneinigkeit darüber, ob es sich bei den Erweiterungen um neue eigenständige Variablen oder um Spezialfälle oder Ausprägungen der Variablen Bertins handelt (vgl. Hurni 2005). Drei Erweiterungsansätze werden nachfolgend vorgestellt.

Eine gemeinhin akzeptierte Erweiterung geht auf Morrison (1974) zurück. Er schlug eine differenzierte Betrachtung der beiden bestehenden Variablen ‹Farbe› und ‹Muster› vor. Im Bereich der Farbvariablen führte er eine dritte Ausprägung ein: ‹Sättigung›. Zusammen mit den beiden bestehenden Variablen ‹Farbe› und ‹Helligkeit› ergab sich so die Unterteilung in ‹Farbwert› (color hue), ‹Farbhelligkeit› (color value) und ‹Farbsättigung› (color saturation). Ähnliches legte Morrison bei der Variable ‹Muster› vor. Hier fügte er die Ausprägung ‹Musteranordnung› hinzu. Ein Punktmuster beispielsweise kann demnach entweder regelmässig oder unregelmässig angeordnet sein. MacEachren (1995) betont, dass eine Unterscheidung zwischen regelmässig und unregelmässig angeordneten Mustern allein mit Hilfe der Variablen Bertins nicht möglich sei. Im Bereich ‹Muster› wurde daraufhin auch zwischen zwei Unterkategorien unterschieden: ‹Musterstruktur› (pattern texture) und ‹Musteranordnung› (pattern arrangement).

Caivano (1990) betrachtete die Variable ‹Musterstruktur› gar als ein eigenes semiotisches System. Analog zum Ansatz Morrisons zur dreifachen Unterteilung der Variable ‹Farbe›, schlug er eine detaillierte Unterteilung der Variable ‹Musterstruktur› vor. Dabei identifizierte er drei Ausprägungen: Die Richtung oder auch das Verhältnis von Länge zu Breite der einzelnen Rastereinheiten (texture directionality), die Grösse der einzelnen Rastereinheiten (texture size) und die Dichte des Rasters (texture density). Obwohl diese Unterscheidung grösstenteils nur bei flächenhaften Kartensymbolen eine Rolle spielt, zeigt es gemäss MacEachren (1995), dass die Identifikation der graphischen Grundeinheiten eine äusserst komplexe und umstrittene Angelegenheit ist.

2.4.3.2 Erweiterungsansatz MacEachrens: Darstellung von Informationsunsicherheiten

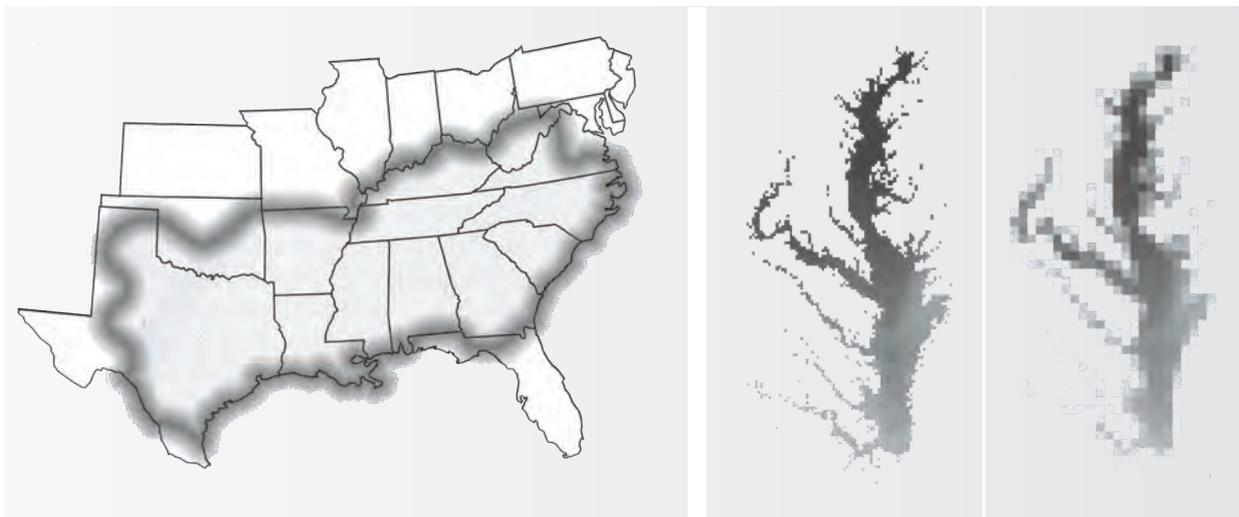
Auch MacEachren (1995) trug einen Beitrag zur Erweiterung des graphischen Zeichensystems bei. Er erweitert das Variablenset Bertins um zwei weitere Ausprägungen: ‹Anordnung› (arrangement) und ‹Klarheit› (clarity). Letztere kann in drei Untervariablen aufgeteilt werden (nach Slocum et al. 2010, deutsche Begriffe gemäss Hurni 2005):

- ‹crispness› Schärfe: Deutlichkeit der Abgrenzung von Konturen.
- ‹resolution› Auflösung: Detaillevel der räumlichen Daten.
- ‹transparency› Transparenz: Deckkraft der Kartensymbole und die dadurch bewirkte Leichtigkeit, mit welcher ein Symbol wahrgenommen werden kann.

Unabhängig davon, ob die Variablen MacEachren als echte Erweiterungen oder nur als Spezialfälle oder neue Ausprägungen des bestehenden Zeichensystems erachtet werden, gibt es ein wichtiges Anwendungsgebiet für die Variable ‹Klarheit›: Alle drei Unterkategorien eignen sich für die Darstellung von Informationsunsicherheiten (uncertainty mapping).

Zwei Beispiele für die Darstellung von Informationsunsicherheiten werden in Abbildung 8 gezeigt. Im linken Teil wurde die Variable «Schärfe» verwendet. Die Visualisierung zeigt einen südöstlichen Teil der USA (Texas im Südwesten, New Jersey im Nordosten). Der unscharf gezeichnete Rand umgibt diejenigen Regionen der USA, in welchen «grits» (aus Maismehl hergestellte Speise) konsumiert wird. Während die Grenzen der Bundesstaaten eindeutig festgesetzt und somit in der Darstellung scharf gezogen werden können, bestehen Unsicherheiten bei der Bestimmung der Region, in welcher «grits» konsumiert wird. Je weniger scharf die Grenze, desto unsicherer der dargestellte Sachverhalt (Slocum et al. 2010).

Abbildung 8: Darstellung von Informationsunsicherheiten: «Uncertainty mapping»



Ausprägungen der graphischen Variable «clarity» (Klarheit): «Crispness» (Schärfe, links) und «resolution» (Auflösung, rechts).

Quellen: MacEachren (1995) und Slocum et al. (2010).

Im Beispiel auf der rechten Seite in Abbildung 8 wurde die Variable «Auflösung» eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine Veränderung der räumlichen Auflösung. Grob aufgelöste Darstellungen stehen für ein höheres Unsicherheitsniveau der Basisdaten. Der Einsatz der Variable «Auflösung» wird dann als am effektivsten erwartet, wenn die darzustellende Thematik auf geographische Basisdaten dargestellt wird (MacEachren 1995). Im obigen Beispiel handelt es sich um den Anteil anorganischen Stickstoffs in der Chesapeake Bay (MacEachren et al. 2005). Es gilt hier zu beachten, dass nicht etwa der Verlauf der Küstenlinien unklar ist. Vielmehr könnte die grober aufgelöste Darstellung ganz rechts beispielsweise auf eine geringere Anzahl Messpunkte zurückzuführen sein.

Im Rahmen zweier umfassenden Studien untersuchten MacEachren et al. (2012) die Eignung der visuellen Variablen für die Darstellung von Informationsunsicherheiten. Unter anderem wurden den Probanden jeweils drei Ausprägungen einer Variable, in immer derselben Anordnung von unsicher zu sicher (z. B. hell = sicher, dunkel = unsicher) gezeigt. Darauf folgte die Frage, ob diese Anordnung als logisch empfunden werde. Dabei wurden die Abfolgen der Variablen «Schärfe» (je weniger

scharfe Grenzen, desto unsicherer), ‹Verortung› (je grösser die Entfernung von der Mitte, desto unsicherer) sowie ‹Helligkeit› (je heller, desto unsicherer) von den Probanden am häufigsten als logisch empfunden. Daraus schliessen MacEachren et al. (2012), dass sich die visuellen Variablen ‹Schärfe›, ‹Verortung› und ‹Helligkeit› gut für diskrete Darstellungen von Informationsunsicherheiten auf der Ordinalskala eignen.

2.4.4 Farben in Karten: Visueller Prozess und Assoziationen

Im letzten Teil zu den Grundlagen der geographischen Informationsvisualisierung tritt der Bezug zu Peirces Zeichendimensionen wieder stärker in den Vordergrund. Die syntaktische und die semantische Zeichendimension werden nachfolgend getrennt betrachtet: Zuerst wird auf den visuellen Prozess der Farbwahrnehmung eingegangen. Anschliessend werden die häufigsten Assoziationen zu den für die vorliegende Arbeit relevanten Farben und Farbkombinationen aufgezeigt.

2.4.4.1 Perzeption von Farben

Die vierte kartenlogische Rahmenbedingung nach Hake et al. (2002) besagt, dass die Lesbarkeit der Beziehungen der Kartensymbole gegeben sein müsse. Zwei Kartensymbole können beispielsweise dann gut voneinander unterschieden werden, wenn der Kontrast zwischen den Symbolen ausreichend gross ist (vgl. Kapitel 2.4.2). Farbe ist wohl das am Häufigsten verwendete Mittel, um die Abgrenzung zwischen Karteneinheiten darzustellen.

Wäger (2010) zeigt auf, wie bei der Gestaltung von Farbflächen ein ausreichender Kontrast erhalten werden kann. Er beschreibt den ‹Hell-Dunkel-Kontrast› als den wichtigsten Kontrast für einen Grafikdesigner. Für die Angabe der Helligkeit einer Farbe verwendet Heller den Begriff ‹Tonwert›. Je grösser die Unterschiede im Tonwert der Farben sind, desto leichter lassen sich die Farben als unterschiedliche Einheiten wahrnehmen. Gelb ist die hellste Farbe im Farbkreis und hat den niedrigsten Tonwert. Dem gegenüber steht Blau, welches als dunkelste Farbe den höchsten Tonwert aufweist. Die Farben zwischen diesen beiden Extremen befinden sich alle im Bereich mittlerer Helligkeit.

Daraus folgt, dass zwischen gewissen Farben fast keine Unterschiede bezüglich Tonwert bestehen. Als Beispiel für Farben mit sehr geringem Hell-Dunkel-Kontrast erwähnt Wäger unter anderem Grün und Rot. Im linken Teil von Abbildung 9 auf der folgenden Seite sind die drei Grundfarben des Farbschemas ‹rot-gelb-grün› aus der graphischen Reduktionsmethode (Kap. 2.2.3) dargestellt. Die Farben rot und grün weisen einen fast identischen Tonwert auf. Gemäss Weber (2010) wird dadurch insbesondere die Lesbarkeit kleinerer Elemente beeinträchtigt.

Abbildung 9: Hell-Dunkel-Kontrast der Farbkombinationen rot-gelb-grün und rot-orange-gelb



Tonwerte (Schwarzanteile) der obenstehenden Farben: rot: 69 %, grün: 68 %, orange: 44 %, gelb: 11 %.

Quelle: *Eigene Darstellung nach Wäger (2010).*

Im rechten Teil von Abbildung 9 werden die Tonwerte einer weiteren Farbkombination, nämlich «rot-orange-gelb» dargestellt. Die Unterschiede sind hier viel ausgeprägter. Zwischen allen drei Farben liegt die Differenz im Schwarzanteil bei über 20 %. Die Lesbarkeit dieser Farbkombination, vor allem bei kleineren Flächen, ist deshalb als deutlich besser zu erwarten.

Die Abgrenzung der Farben rot und grün kann also in gewissen Situationen (z. B. bei kleinen grünen Flächen auf rotem Grund oder bei grüner Schrift auf rotem Grund) auch bei Menschen mit «normaler» Farbwahrnehmung zu Schwierigkeiten führen. Für Personen mit einer Farbsehschwäche aber ist die Unterscheidung zwischen diesen beiden Farben oft gar nicht möglich. Gemäss Jenny & Kelso (2007) sind rund 8 % aller Männer von einer der Formen der Farbsehschwäche betroffen. Bei Frauen ist der Anteil massiv kleiner (Brewer 1997).

In den Bildbearbeitungs- und Grafik-Programmen Photoshop und Illustrator bietet die Firma Adobe die Möglichkeit, die Wahrnehmung von Personen mit Farbsehschwächen zu simulieren (Wäger 2010). In Abbildung 10 wurden wiederum die selben Farbkombinationen verwendet, um die Wahrnehmung von Menschen mit einer Farbsehschwäche zu simulieren.

Abbildung 10: Simulierte Farbwahrnehmung von Personen mit Farbsehschwäche



Quelle: *Eigene Darstellung nach Wäger (2010).*

Aus dem linken Teil in Abbildung 10 wird deutlich ersichtlich, dass die Differenzierung von roten und grünen Flächen für von einer Farbsehschwäche betroffene Personen nicht möglich ist. Hingegen können die Farben auf der rechten Seite in der Abfolge rot-orange-gelb klar unterschieden werden. Wenn also bei der Gestaltung von thematischen Karten Personen mit Farbsehschwäche auch berücksichtigt werden sollen, gilt es, die Kombination rot-grün zu vermeiden. Nur dann kann die Karte mit der von Harrower & Brewer (2003) verwendeten Bewertung «colorblind safe» bezeichnet werden.

2.4.4.2 Farbassoziationen

Nebst der syntaktischen Dimension bei der Wahrnehmung von Farben – dem rein visuellen Prozess – spielen auch semantische Aspekte im Umgang mit Farben eine wichtige Rolle. Allerdings ist die semantische Dimension (u. a. die Verknüpfung von Farben mit Bedeutungen oder Emotionen) relativ schwer messbar. Denn das Farbempfinden ist ein sehr subjektiver Prozess und kann entsprechen von Person zu Person sehr unterschiedlich ausfallen.

Nachfolgend wird trotzdem der Versuch unternommen, die Assoziationen zu Farben auf die für die vorliegende Arbeit relevanten Aspekte zu erläutern. Analog zum vorhergehenden Kapitel werden die Farben grün, gelb, orange und rot näher betrachtet. Die Ausführungen beruhen weitgehend auf Wäger (2010) sowie eigenen Überlegungen.

Rot:

Diese Farbe drängt sich besonders stark in den Vordergrund. Wenn Menschen gebeten werden, eine beliebige Farbe zu nennen, geben die meisten rot an. Für die Kartengestaltung bedeutet dies, dass mit der Farbe rot vorsichtig umgegangen werden muss. Sie eignet sich beispielsweise kaum als Hintergrundfarbe, da sie viel zu dominant ist. Hingegen ist Rot sehr gut geeignet, um Aufmerksamkeit zu erregen: Bemerkenswertes wird rot angestrichen, Fehler werden rot markiert. Kurz: Rot ist wichtig.

Grün:

Diese Farbe wirkt beruhigend. Während sich Rot in den Vordergrund drängt, ist Grün die Farbe der Mitte. Grün löst viele positive Assziationen aus (Natur, Gesundheit, Hoffnung), wird aber häufig auch mit Gift oder Neid verbunden. In Kombination mit Rot hat Grün meist eine positive Bedeutung: Grün bedeutet erlaubt, Rot steht für Verbotenes. Bei den Verkehrsampeln wird dies besonders deutlich. Rot signalisiert Stopp, es ist gefährlich. Hat man jedoch grünes Licht, so ist der Weg frei und die Gefahr gebannt.

Gelb:

Gelb ist die hellste aller bunten Farben. Gelb hat eine sehr gute Signalwirkung und wird deshalb häufig für Wegweiser oder Strassenschilder verwendet. In Kombination mit Schwarz ist Gelb die klassische Warnfarbe. Diese Wirkung ist nicht vom Menschen erfunden, sondern kommt auch in der Natur sehr häufig vor: Giftige Tiere wie die Wespe sind gelb-schwarz gezeichnet.

Orange:

Auch diese Farbe wird häufig als Warnfarbe eingesetzt, da sie auch aus der Distanz gut erkennbar ist. Ein typisches Beispiel für den Einsatz von Orange ist bei den Warnwesten (z.B. für Autofahrer).

3 METHODIK

3.1 Entwicklung der Visualisierungsidee

Den Ursprung der vorliegenden Arbeit bildete die Betrachtung einer Hangneigungskarte im Ski-gebiet Lenzerheide und der damit verbundene Gedanke des Verfassers, dass diese Information bestimmt auch auf verständlichere Weise dargestellt werden könne. Wie sich aus diesem Gedanken die im Rahmen dieser Arbeit erstellte Visualisierung entwickelte, wird auf den folgenden Seiten erläutert. Zuerst wird ein Überblick zu bestehenden Darstellungsformen für die Lawinengefahr gegeben. Darauf werden erste eigene Visualisierungsansätze gezeigt bevor der Entscheid für die definitive Visualisierungsmethode begründet wird.

3.1.1 Vergleich bestehender Visualisierungen

In Abbildung 11 auf der folgenden Seite sind zwei Beispiele für gedruckte Karten aus der Schweiz dargestellt. Auf der linken Seite ist die ‹Skitourenkarte 1:50 000› des Bundesamtes für Landestopographie (Swisstopo) zu sehen, rechts wird die ‹Winter-Erlebniskarte 1:50 000› von Hallwag gezeigt.

Die Karten sind bezüglich des Informationsgehaltes relativ ähnlich: Beide enthalten Skitourenrouten mit der Nummerierung und den Schwierigkeitsangaben gemäss den Skitourenführern des Schweizerischen Alpen-Clubs (z. B. Eggenberger 2008). Den Anhaltspunkt für die Einschätzung der Lawinengefahr bilden in beiden Karten die rötlich eingefärbten Bereiche, welche Hanglagen mit einer Neigung von mehr als 30 Grad kennzeichnen. In der Karte von Hallwag wird noch eine weitere Differenzierung in Hänge zwischen 30 und 35 Grad (helleres rot) und Hänge steiler als 35 Grad Neigung (dunkleres rot) vorgenommen. Die Abstufung ist allerdings nur schwer zu erkennen – am unteren rechten Bildrand, unterhalb der Höhenangabe ‹2323›, ist sie am deutlichsten.

Die Karte von Hallwag ermöglicht mit der (wenn auch kaum erkennbaren) Abstufung der Hangneigung eine differenziertere Grundlage zur Einschätzung der Lawinengefahr. Diesen Vorteil verspielten sich die Kartenproduzenten aber gleich wieder mit der im Vergleich zur Skitourenkarte der Swisstopo massiv weniger detaillierten Darstellung der Geländeform. Zwar wird in der Lawi-

Abbildung 11: Kartenvergleich Teil 1: Analoge Kartenbeispiele aus der Schweiz

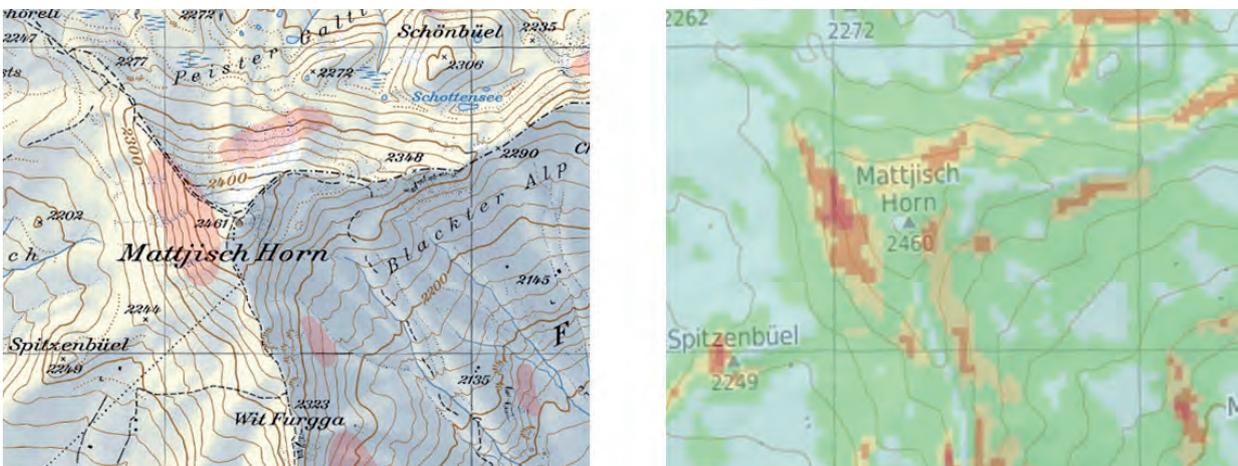


Quellen: Links: Skitourenkarte der Schweiz 1:50 000, Blatt 2485 «Prättigau», Swisstopo.
Rechts: Winter-Erlebniskarte 1:50 000, Blatt 1 «Davos Klosters», Hallwag.

nenkunde darauf hingewiesen, dass die Geländedarstellung in Karten im Masstab 1:50 000 nicht ausreicht für eine seriöse Tourenplanung (siehe Kapitel 2.2.3.2). Wieso aber die Höhenkurven in der Karte von Hallwag derart stark generalisiert wurden, bleibt trotzdem rätselhaft.

Auch in den beiden in Abbildung 12 gezeigten Beispielen für lawinenrelevante Darstellungen in Online-Karten (links «OutdoorActive», rechts «MapPlus») steht die Hangneigung im Zentrum. Links sind die steilen Hangbereiche mit einer Neigung von mehr als 30 Grad rot markiert. Im Beispiel rechts ist die Hangneigung in sechs Klassen aufgeteilt: Unter 15°, 15–30°, 30–35°, 35–40°, 40–45° und über 45°. Auch hier erstaunt der Generalisierungsgrad: Bei «OutdoorActive» ist die Hangneigung stark vereinfacht dargestellt, dafür die topographische Karten sehr genau und bei «MapPlus» ist es genau umgekehrt.

Abbildung 12: Kartenvergleich Teil 2: Digitale Kartenbeispiele aus der Schweiz



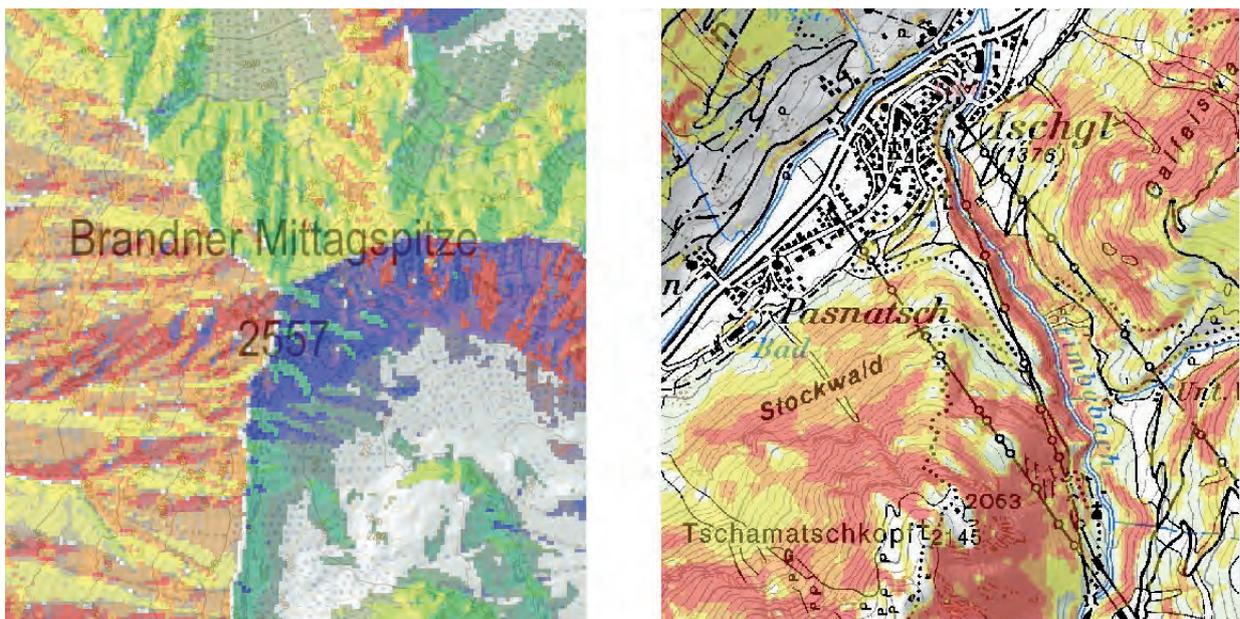
Quellen: Links: OutdoorActive <<http://www.outdooractive.com/de/touren>> (Zugriff, 29. 10. 2012).
Rechts: MapPlus <<http://www.mapplus.ch>> (Zugriff: 29. 10. 2012).

Ein Blick auf die amtlichen Webkarten-Portale Österreichs zeigt, dass dort explizit für Wintersportler gestaltete Kartenebenen hinzugefügt werden können. In Abbildung 13 ist auf der linken Seite ein Ausschnitt aus dem ‚Vorarlberg Atlas‘ und auf der rechten Seite ein Teil aus ‚tirisMaps‘, dem Kartenportal des Bundeslandes Tirol, zu sehen.

Im Beispiel aus dem ‚Vorarlberg Atlas‘ ist die Kartenebene ‚Neigung und Richtung‘ zugeschaltet. Diese Darstellungsform des Geländes beruht auf einem Visualisierungsansatz von Brewer & Marlow (1993). Dabei werden die Hangneigung und die Exposition kombiniert. Die Exposition wird anhand des Farbwertes dargestellt, Hänge mit östlicher Exposition sind hier beispielsweise türkis eingefärbt. Die unterschiedliche Steilheit der Hänge wird mittels unterschiedlicher Sättigung des jeweiligen Farbwertes illustriert: Je höher die Sättigung (d. h. je dunkler der Farbton), desto steiler ist das Gelände. Im Vorarlberg Atlas werden für die Exposition acht und für die Hangneigung drei Klassen verwendet. Folglich wird das Gelände mittels 24 verschiedener Farbabstufungen dargestellt. Da die Unterschiede zwischen derart vielen Farbabstufungen fast zwangsläufig gering werden, ist die Lesbarkeit dieser Darstellungsform relativ stark eingeschränkt.

Die zugeschaltete Ebene im Ausschnitt auf der rechten Seite von Abbildung 13 wird im Tiroler Kartenportal mit ‚Geländeneigung für Wintersportler‘ bezeichnet. Die Hangneigung wird hier in 3 Klassen unterteilt: 30–35°, 35–40°, und über 40°. Die Darstellung der Hangneigung ähnelt derjenigen im zuvor beschriebenen Portal ‚MapPlus‘ (Abbildung 12). Allerdings sind bei der österreichischen Variante nicht alle Geländebereiche farblich markiert, sondern es werden nur Hänge mit einer Neigung von mehr als 30 Grad gekennzeichnet.

Abbildung 13: Kartenvergleich Teil 3: Digitale Kartenbeispiele aus Österreich



Quellen:

Links: Vorarlberg Atlas <<http://vogis.cnv.at>> (Zugriff, 30. 10. 2012).

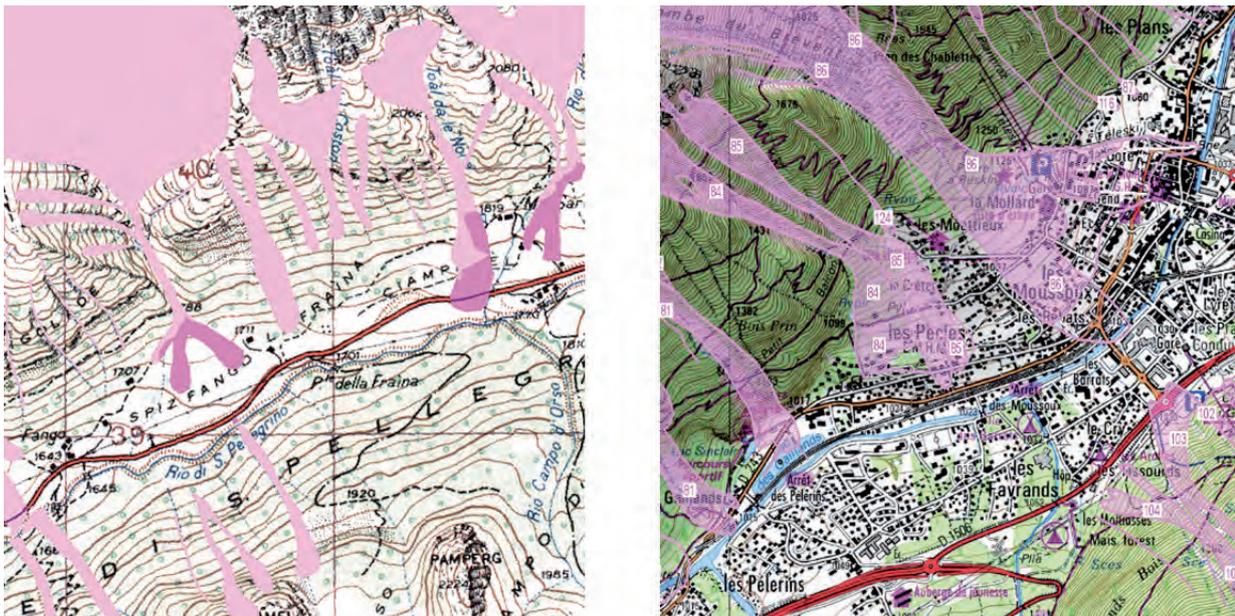
Rechts: TirisMaps <<https://http://www.tirol.gv.at>> (Zugriff: 30. 10. 2012).

Zwei Ansätze, die sich von den bisher beschriebenen Darstellungsformen lawinenrelevanter Informationen stark unterscheiden, finden sich in Abbildung 14. Im linken Teil ist ein Ausschnitt aus dem «Geoportale Nazionale Italia» zu sehen und im rechten Teil einer aus dem «Géoportail de la France». In beiden Varianten wird die räumliche Ausdehnung einzelner Lawinen, die sogenannte Lawinenbahn, dargestellt.

Beim Beispiel aus dem Geoportal Italiens findet innerhalb der farblich hervorgehobenen Lawinenbahnen eine weitere Differenzierung statt – das Lawinenrisiko wird dargestellt. Je dunkler die Einfärbung der Lawinenbahn, desto höher das Risiko (MATTM 2004). Diese Unterscheidung ist allerdings für Wintersportler von untergeordneter Bedeutung, da das Lawinenrisiko in jenen Bereichen als höher angegeben wird, in welchen das Schadenspotential im Gelände (im Ausschnitt z. B. bei Kulturland oder Strassen) grösser ist.

Im «Géoportail de la France» wird hingegen explizit darauf hingewiesen, dass aus den Lawinenbahnen keine Informationen zum Risiko abgelesen werden können. Auch zeigt die Darstellung weder die Intensität noch die Frequenz von Lawinenereignissen. Vielmehr zeigt die Karte alle beobachteten, historisch dokumentierten oder im Gelände sichtbaren Lawinnenniedergänge. Dieser Ansatz unterscheidet sich ganz deutlich von allen bisher gezeigten Darstellungsformen. Wie gross der Nutzen dieser Visualisierungsmethode für die Einschätzung der Lawinengefahr aber tatsächlich ist, kann nicht klar beantwortet werden. Zwar ist es sicher hilfreich zu wissen, dass in einem bestimmten Gebiet bereits Lawinnenniedergänge erfasst wurden. Aber zumindest eine Information über die Häufigkeit der Ereignisse würde die Interpretationsmöglichkeiten massiv erhöhen.

Abbildung 14: Kartenvergleich Teil 4: Digitale Kartenbeispiele aus Frankreich und Italien

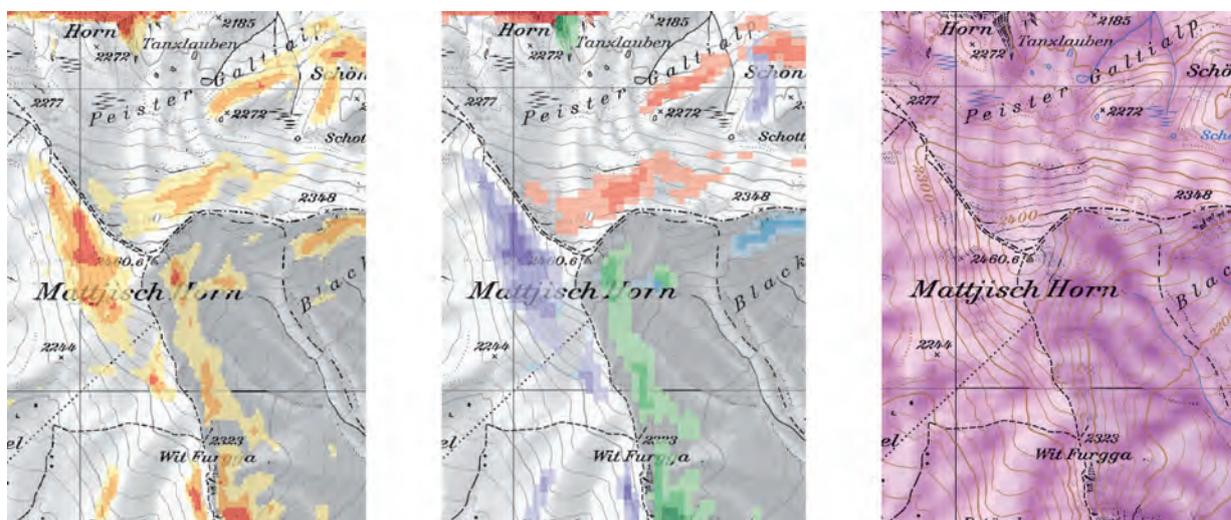


Quellen: Links: Geoportale Nazionale Italia <<http://www.pcn.minambiente.it/viewer>> (Zugriff, 06. 12. 2012). Rechts: Géoportail de la France <<http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>> (Zugriff: 06. 12. 2012).

3.1.2 Ansätze zur Visualisierung der Lawinengefahr

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Vergleich der bestehenden Darstellungsformen für die Lawinengefahr in Karten, wurden erste eigene Ansätze entwickelt. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben. Sämtliche Visualisierungen wurden mit der Software ArcGIS von ESRI umgesetzt. Als Ausgangslage diente jeweils das digitale Höhenmodell DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie. Aus diesem Höhenmodell wurden mittels der drei geomorphometrischen Parameter «Hangneigung», «Exposition» und «Plankurvatur» die in Abbildung 15 gezeigten Entwürfe berechnet.

Abbildung 15: Visualisierung der Lawinengefahr: Entwürfe



Visualisierungsansätze: Hangneigung (links), Hangneigung und Exposition (mitte), Rinnen und Mulden (rechts)

Quelle: Eigene Darstellung.

Im linken Teil von Abbildung 15 ist ein auf der Hangneigung basierender Ansatz zu sehen. Die Steilheit wurde in die drei Gruppen gemäss graphischer Reduktionsmethode eingeteilt (vgl. Abbildung 7 in Kapitel 2.2.3):

- Steile Hänge: 30–35 Grad Neigung (gelb eingefärbt)
- Sehr steile Hänge: 35–40 Grad Neigung (orange eingefärbt)
- Extrem steile Hänge: mehr als 40 Grad Neigung (rot eingefärbt)

Hänge mit einer Neigung von weniger als 30 Grad wurden nicht farblich ausgeschieden, da in diesen Steillagen nur sehr selten mit einem Lawinenabgang zu rechnen ist (vgl. Kapitel 2.1.3.3).

Der Entwurf in der Mitte der oben stehenden Abbildung basiert auf dem Modell von Brewer & Marlow (1993). Im Unterschied zu deren Ansatz und der identischen Variante im «Vorarlberg Atlas» wurde aber die Exposition nur in die 4 Himmelsrichtungen unterteilt: Nordhänge wurden rot, Osthänge grün, Südhänge blau und Westhänge violett dargestellt. Die Klassierung der Steilheit des

Geländes war analog zum Hangneigungsentwurf in die drei Bereiche «steil», «sehr steil» und «extrem steil». Alle Bereiche mit einer Hangneigung von weniger als 30 Grad wurden wiederum ausmaskiert. Durch die gröbere Unterteilung der Exposition konnte die Gesamtanzahl an Klassen auf 12 reduziert werden.

Der dritte Entwurf wird rechts in Abbildung 15 gezeigt. Hier wurde die Plankurvatur aus dem Höhenmodell berechnet, um Rinnen und Mulden im Gelände zu markieren. Die Werte wurden gemäss dem Vorgehen von Gruber & Bartelt (2007) unterteilt: Werte kleiner als -3 wurden als Rinnen (dunkleres Lila) und Werte zwischen -3 und -1.5 als Mulden (helleres Lila) klassiert. Um die Lesefreundlichkeit der Karte zu verbessern wurde anschliessend noch eine Glättung der Klassen mittels einer Mittelwert-Filterung durchgeführt. Dies erklärt die weichen Übergänge zwischen den Klassengrenzen.

Aus diesen ersten Visualisierungsentwürfen konnten einige Rückschlüsse gezogen werden. So zeigte sich, dass eine Kombination mehrerer Geländeparameter erstrebenswert ist. Eine reine Hangneigungskarte, ähnlich der zuvor beschriebenen erschien als zu trivial, um die komplexen Vorgänge bei der Entstehung von Lawinen sinnvoll abzubilden. Auch wurde klar, dass die Implementierung der Kurvatur zwar machbar ist, jedoch die Hervorhebung von Rinnen und Mulden, wie auch von Kuppen und Geländerücken sehr schnell zu einem überladenen und nur mühsam zu lesenden Kartenbild führen kann. Ein erster Versuch, mehrere Geländeparameter zu kombinieren, wurde am Beispiel des Ansatzes von Brewer & Marlow unternommen. Trotz der Reduktion der Anzahl Klassen auf die Hälfte blieb dabei aber das Problem, dass die 12 Farbabstufungen teilweise kaum mehr zu unterscheiden waren. Wie nun aber eine besser lesbare Kombination mehrerer lawinenrelevanter Geländeparameter in einer Visualisierung umgesetzt werden kann, wird im nächsten Teil beschrieben.

3.1.3 Implementierung der graphischen Reduktionsmethode

Der Entscheid für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellte Visualisierung des Lawinenrisikos basiert auf einer eigenen Idee. Der Ansatz weist aber starke Ähnlichkeiten zu einer Studie der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) auf, welche während der Verfassung dieser Arbeit publiziert wurde («GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe» von Utelli & Eisenhut, erschienen im August 2012).

Auf den folgenden Seiten wird deshalb zuerst die Methode gemäss Utelli & Eisenhut beschrieben. Anschliessend werden die wichtigsten Unterschiede zwischen der Variante der BFU und dem eigenen Ansatz aufgelistet. Die detaillierte Beschreibung der Methodik zur Erstellung der Visualisierung folgt dann in Kapitel 3.2.

3.1.3.1 Studie der Beratungsstelle für Unfallverhütung

Die Ausführungen in diesem Unterkapitel beruhen, sofern nicht anders erwähnt, auf der Publikation zur Studie der BFU: Utelli & Eisenhut (2012). Ziel dieser Studie war, die Skitourenrouten gemäss Skitourenkarte 1:50 000 der Swisstopo einer Risikoanalyse zu unterziehen. Die Grundlage für die Bestimmung der Risikobereiche bildeten dabei die Abstufungen gemäss graphischer Reduktionsmethode (vgl. Kapitel 2.2.3):

- Geringes Risiko (grün): Relativ sicher, wenn keine speziellen Gefahrenzeichen
- Erhöhtes Risiko (gelb): Ausbildung und Erfahrung sind notwendig
- Hohes Risiko (rot): Verzicht empfohlen

Diese Abstufungen des Lawinenrisikos werden nachfolgend als Risikozonen bezeichnet. Die Risikozonen wurden aufgrund zweier digitaler Geländemodelle (DHM25 und swissALTI3D) erstellt. Dabei wurde für jede Zelle – jeden Pixel des digitalen Höhenmodells – die folgenden Parameter berechnet:

1. Hangneigung der Zelle
2. Exposition der Zelle
3. Höhenlage der Zelle
4. Maximale Hangneigung der unmittelbaren Nachbarzellen
5. Maximale Hangneigung des gesamten Hangs oberhalb der Zelle

Aufgrund dieser Parameter wurden drei Karten erstellt, je eine für die Gefahrenstufen «gering», «mässig» und «erheblich». Bei der Berechnung der Karte für die Gefahrenstufe «gering» wurden die ersten drei Parameter verwendet. In die Ermittlung der Karte der Stufe «erheblich» floss zusätzlich der vierte Parameter ein und für die Erstellung der Karte zur Stufe «erheblich» wurden alle fünf Parameter verwendet. Die Gefahrenstufen «gross» und sehr «gross» wurden bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Damit nun jede Zelle im Modell einer Risikozone gemäss graphischer Reduktionsmethode zugewiesen werden konnte, wurden noch die Angaben zu besonders gefährdeten Höhenstufen und Expositionen benötigt. Um diese beiden Angaben zur Kernzone zu ermitteln, wurden Mittelwerte aus den Lawinenbulletins für das Untersuchungsgebiet berechnet. Die Kernzone hat insofern einen hohen Stellenwert, als sie bei der Bestimmung der Risikozone als Reduktionsfaktor auftritt. Wenn eine Zelle bezüglich Exposition oder Höhenstufe ausserhalb der besonders gefährdeten Bereiche liegt, so kann die Lawinengefahr gemäss etablierter Anwendung in der Tourenpraxis (vgl. SLF 2012 a und Kap. 2.2.3.2) um eine Stufe tiefer angenommen werden. Durch diese Annahme wird unter Umständen auch die Risikozone der Zelle um eine Stufe reduziert. In der Studie der BFU wurde abschliessend für jede Skitour der Anteil Zellen an den drei Risikozonen, welche die Route durchquert, berechnet. Auf dieser Berechnung gründete die Einschätzung des Lawinenrisikos bei der jeweiligen Skitour.

3.1.3.2 Abgrenzung der Variante nach BFU zur umgesetzten Visualisierung

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellte Visualisierung weist viele Gemeinsamkeiten zur zuvor erläuterten Studie der BFU auf. Die Methode zur Implementierung der graphischen Reduktionsmethode in Karten unterscheidet sich aber in drei Punkten grundsätzlich von derjenigen der BFU. Die Abweichungen werden nachfolgend beschrieben und diskutiert.

Eine erste Abgrenzung kann aufgrund der Ausschlusskriterien vorgenommen werden. Mit der Begründung, dass in diesen Bereichen für die Analyse nie Lawinen zu erwarten seien, wurden in der BFU-Studie folgende Geländegebiete von der Berechnung der Risikozonen ausgeschlossen:

- Geschlossener Wald gemäss Landeskarte 1:25 000
- Gelände mit einer Hangneigung steiler als 55 Grad (Felswände)
- Im Winter geöffnete und geräumte Strassen und Wege
- Alle Höhenlagen unterhalb 1400 Metern über Meer

Insbesondere das erste Ausschlusskriterium mag etwas erstaunen. Munter (2003) betont, dass bereits auf einer Waldlichtung mit der Fläche einer Are (10 × 10 m) ein Schneebrett ausgelöst werden könne (vgl. Kapitel 2.1.3.2). 10 Meter in der Realität entsprechen einer Distanz von gerade mal 0,4 Millimetern in der Landeskarte 1:25 000. Details dieser Grössenordnung können auch auf der hochpräzisen Landeskarte nicht mehr wiedergegeben werden. Auch ist unklar, wieso auf im Winter geöffneten Strassen und Wegen oder im Gelände unterhalb von 1400 Metern über Meer keine Lawinen zu erwarten sind. Aufgrund dieser Überlegungen wurde in der vorliegenden Arbeit bei der Visualisierung auf die Ausscheidung von Ausschlusskriterien komplett verzichtet.

Ein weiterer Unterschied hängt mit der Gefahrenstufe aus dem Lawinenbulletin zusammen. Gemäss graphischer Reduktionmethode ist ab Lawinengefahrenstufe «erheblich» nicht mehr nur der Bereich der Spur, sondern der ganze Hang für die Bestimmung der steilsten Stelle im Gelände massgebend. In der BFU-Methode wird diese Bedingung teilweise berücksichtigt. In der Visualisierung im Rahmen dieser Arbeit wird die Hangneigung jedoch ausschliesslich für einzelne Zellen berechnet. Die Methode kann deshalb nur bei den Gefahrenstufen «gering» und «mässig» angewendet werden.

Die dritte und wohl wichtigste Diskrepanz betrifft die Integration des Lawinenbulletins in die Visualisierung. Bei der BFU-Studie wurden langjährige Mittelwerte zur Bestimmung der Kernzone besonders gefährdeter Höhenlagen und Expositionen verwendet. Dies hat zur Folge, dass die im Rahmen der BFU-Studie erstellten Karten nicht für die Planung von Einzeltouren geeignet sind (Utelli & Eisenhot 2012). Die Tourenplanung soll jedoch der zentrale Anwendungsbereich der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Visualisierung sein. Deshalb basiert die im nächsten Kapitel beschriebene Methodik immer auf dem für einen bestimmten Tag massgebenden Lawinenbulletin und exakt den darin enthaltenen Angaben zur Gefahrenstufe sowie zur Kernzone.

3.2 Kartenerstellung

Die Ermittlung sämtlicher lawinenrelevanter Geländeparameter und die anschliessende Berechnung der Risikozonen wurden mit der Software «ArcGIS Desktop 10» der Firma ESRI vorgenommen. Die weiteren Arbeitsschritte zur Adaption der wissenschaftlichen Grundlagen (Farbgebung, Darstellung von Informationsunsicherheiten, Berücksichtigung von Mindestgrössen) sowie die graphische Überarbeitung und Fertigstellung der Kartenausschnitte erfolgte mit den Programmen «Photoshop CS4» und «Illustrator CS4» der Firma Adobe. Alle Kartenausschnitte sind in Anhang C der vorliegenden Arbeit abgelegt.

3.2.1 Kartenausschnitt und Lawinenbulletin-Szenario

Für die später beschriebene empirische Evaluation wurden zwei Visualisierungsmethoden entwickelt: Bei einer Methode wurden die Risikozonen gemäss graphischer Reduktionsmethode berechnet und bei der anderen wurden sämtliche Hanglagen mit einer Neigung von mehr als 30 Grad ausgeschieden. Damit die Visualisierungen empirisch evaluiert werden konnten, wurden beide Methoden auf die jeweils selben drei Kartenausschnitte angewendet (mehr zur Evaluation der beiden Visualisierungsmethoden in Kapitel 3.3).

Bei der Bestimmung des Kartenausschnittes wurde darauf geachtet, dass die Kartenausschnitte eine Region zeigen, in welcher die Hänge den Normalfall bezüglich Beurteilung der Lawinengefahr abbilden (z. B. wenig Felsen, Couloir oder ähnliche Geländemerkmale, welche die Interpretation erschweren). Denn der Fokus der Visualisierung lag primär auf der Anwenderfreundlichkeit der Visualisierung und nicht auf der hundertprozentig fehlerfreien Beurteilung der Lawinengefahr. Unten sind die ungefähren Zentren in Schweizer Landeskoordinaten (LV03) der drei Kartenausschnitte aufgelistet. Die Bezeichnung des Ausschnitts richtet sich jeweils nach einem markanten Berggipfel innerhalb der abgebildeten Region:

- | | | |
|----------------|-------------------|----------------------------|
| - Gsür: | 605 500 / 151 500 | nordwestlich von Adelboden |
| - Lenzer Horn: | 766 500 / 176 500 | östlich von Lenzerheide |
| - Piz Blaisun: | 785 500 / 163 500 | beim Albulapass |

Als Kartengrundlage wurde die Landeskarte 1 : 25 000 verwendet, da diese auch in der Tourenplanung verwendet wird (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Die Kartenausschnitte bilden jeweils ein Gebiet von 4 × 4,5 Kilometern ab, dies entspricht einer Grösse von 16 × 18 Zentimetern auf der Karte. Diese Dimensionen ermöglichen den späteren Druck der Karte auf das Papierformat A4, wobei auch genügend Platz für sämtliche Randinformationen bleibt.

Die Berechnung der Risikozonen basierte auf drei zentralen Informationen aus dem Lawinenbulletin: Auf der Lawinengefahrenstufe, den besonders gefährdeten Höhenlagen und den besonders gefährdeten Expositionen. Im Gegensatz zum Ansatz der BFU (siehe Kapitel 3.1.3.1) wurden für diese Angaben keine langjährigen Mittelwerte, sondern für jeden Ausschnitt einzelne Bereiche verwendet. Denn nur wenn die Berechnung der Risikozonen auf den aktuell gültigen Daten aus dem Lawinenbulletin aufbaut, kann die Visualisierung auch in der Tourenplanung eingesetzt werden. Die Angaben aus dem Lawinenbulletin zur Lawinengefahrenstufe, der Höhenstufe kritischer Hanglagen sowie zu besonders gefährdeten Expositionen, wie sie für die drei Kartenausschnitte verwendet wurden, sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Parameter aus dem Lawinenbulletin

Kartenausschnitt	Lawinengefahrenstufe	Kernzone: Exposition & Höhenlage
Gsür	 2 MÄSSIG	 Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2100 Metern
Lenzer Horn	 2 MÄSSIG	 Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Südwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2200 Metern
Piz Blaisun	 2 MÄSSIG	 Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Ost bis Süd oberhalb von rund 2300 Metern

Quelle: Eigene Darstellung nach SLF (2012 a).

Für alle drei Kartenausschnitte wurde die Gefahrenstufe «mässig» als Berechnungsgrundlage verwendet. In der Schweiz ist diese mit Abstand die am häufigsten vorherrschende Gefahrenstufe. Im langjährigen Mittel galt fast jeden zweiten Tag während der Wintersaison (jeweils vom 01.12. bis 30.04.) die Lawinengefahrenstufe «mässig» (Techel & Pielmeier 2013, Walter & Brügger 2012). Zum Vergleich: Die Gefahrenstufe «erheblich» wurde durchschnittlich in 33 % aller Bulletins, die Stufe «gering» in 17 % und die Stufe «gross» in 2 % aller Fälle prognostiziert.

Die weiteren Parameter Exposition und Höhenlage wurden so gewählt, dass eine möglichst gleichmässige Häufigkeitsverteilung der drei Risikozonen im Kartenausschnitt ermöglicht wurde. Auch wurde bei der Wahl der Parameter beachtet, dass eine deutliche Abstufung der zu bewertenden Skitouren vorgenommen werden konnte.

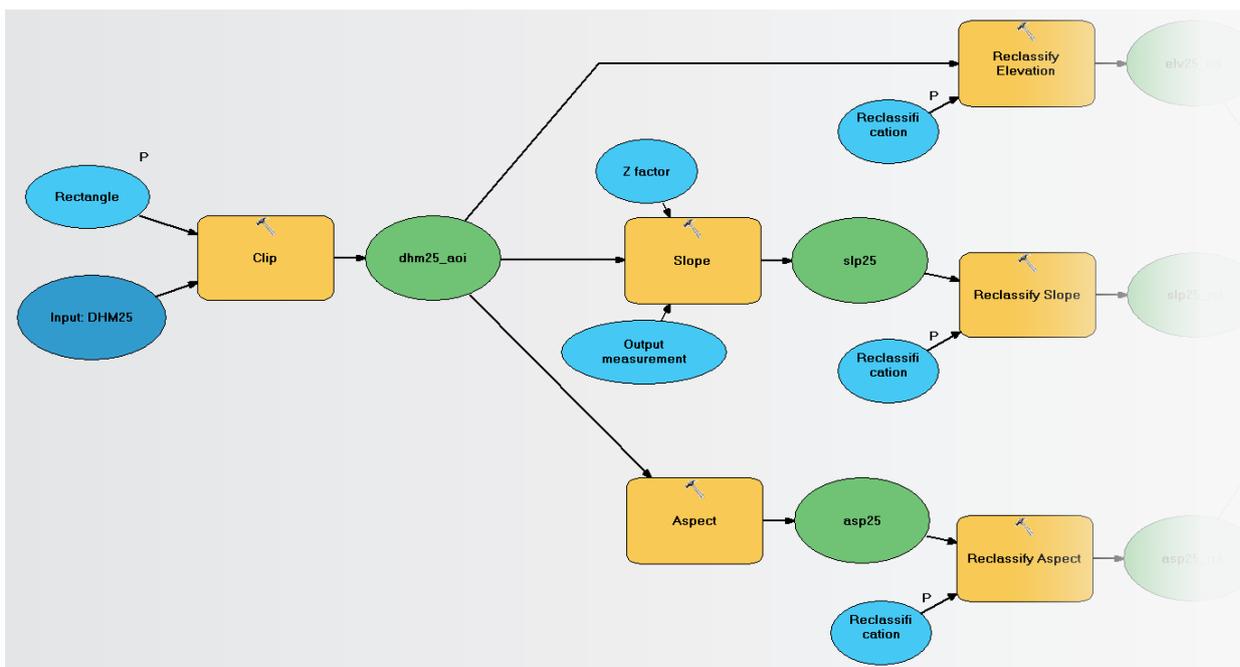
3.2.2 Umsetzung im GIS

Für die Berechnung der Risikozonen wurden in ArcGIS zwei Modelle mit der Anwendung «ModelBuilder» erstellt. Das erste Modell zeigt den Workflow zur Berechnung der Risikozonen und der Hangneigungskarten. Mit dem zweiten Modell wurden die Resultate bereinigt, um die Lesbarkeit der Karten zu verbessern.

3.2.2.1 Modell zur Berechnung der Risikozonen

Die Arbeitsschritte zur Berechnung der Risikozonen und der Hangneigungskarten sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Das digitale Höhenmodell DHM25 bildete die Ausgangslage für die Berechnung sämtlicher Karten. Im ersten Schritt wurde das Untersuchungsgebiet (AOI: «area of interest») mit der Funktion «Clip» aus dem DHM25 extrahiert. Danach folgte die Berechnung der Hangneigung und der Exposition mit den in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Methoden. Dann wurden die drei Zwischenresultate gemäss den Parametern aus dem Lawinenbulletin (Tabelle 5) neu klassiert. Bei der Exposition und der Höhenlage wurden diejenigen Bereiche, welche ausserhalb des Bereichs der Kernzone liegen, mit dem Wert «1» und diejenigen Werte innerhalb der Kernzone mit dem Wert «0» klassiert.

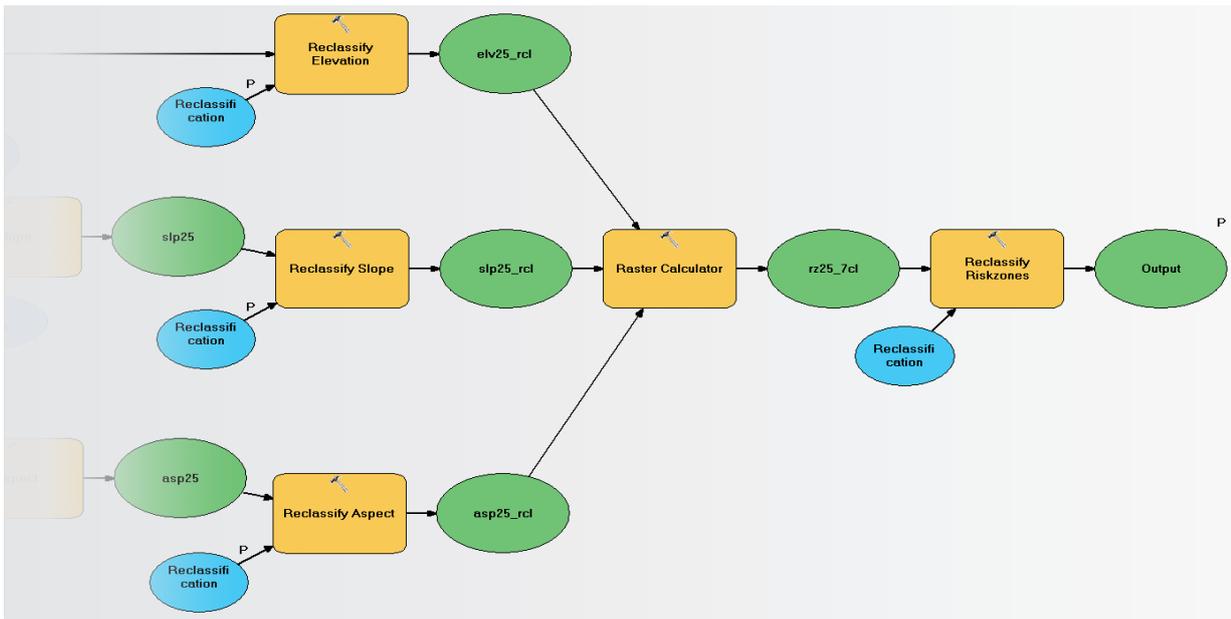
Abbildung 16: Modelbuilder: Kartenerstellung Teil 1



Erster Teil des Modells zur Kartenerstellung: Bestimmung der AOI und Berechnung von Hangneigung und Exposition.

Quelle: ArcGIS Desktop 10.

Abbildung 17: ModelBuilder: Kartenerstellung Teil 2



Zweiter Teil des Modells zur Kartenerstellung: Berechnung der Risikozonen durch Kombination der Parameter.

Quelle: ArcGIS Desktop 10.

Der Hangneigung wurden die folgenden Klassen zugewiesen:

- Weniger als 30 Grad: <1>
- 30 bis 35 Grad: <1>
- 35 bis 40 Grad: <2>
- 40 bis 45 Grad: <3>
- steiler als 45 Grad: <4>

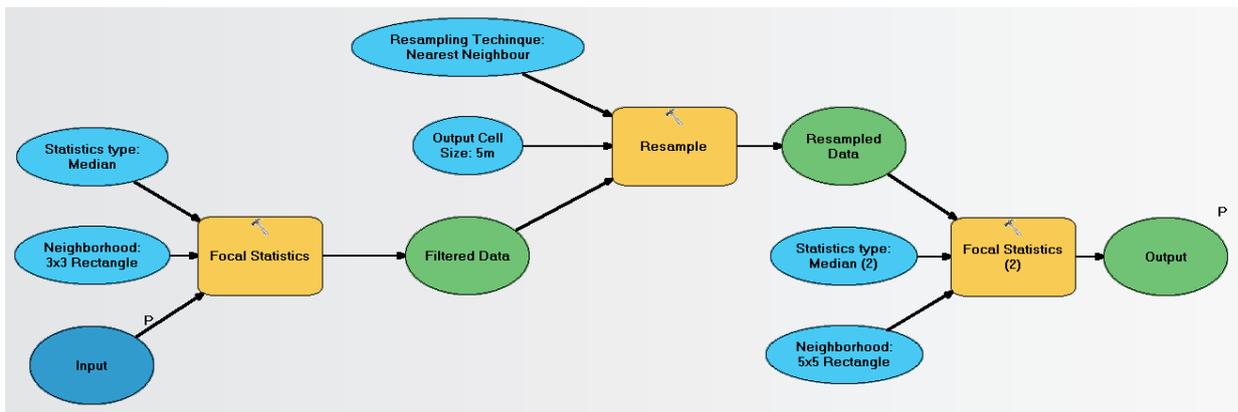
Nach der Reklassierung der drei Zwischenresultate wurden die Risikozonen mittels des Werkzeugs «Raster Calculator» berechnet. Dabei wurde die Regel aus der Tourenpraxis, wonach in Geländebereichen ausserhalb der Kernzone die Lawinengefahr um eine Stufe tiefer angenommen werden könne (SLF 2012 a), mittels folgendem Ausdruck angewendet: Hangneigung – (Exposition | Höhenstufe) Das Zeichen «|» steht dabei für den Booleschen Operator «or». Mittels dieses Ausdrucks wurden in allen Geländebereichen, welche bezüglich Höhenlage oder Exposition ausserhalb der Kernzone lagen, die Klassenwerte der Hangneigung um eine Stufe reduziert. Das resultierende File aus dieser Rasterberechnung wurde zum Abschluss noch folgendermassen neu klassiert und eingefärbt:

- Negative Werte: <0> Hänge unterhalb 30 Grad Neigung (keine Farbe)
- <1> und <2>: <1> Risikozone 1 – geringes Risiko (gelb eingefärbt)
- <2>: <2> Risikozone 2 – erhöhtes Risiko (orange eingefärbt)
- <3> und <4>: <3> Risikozone 3 – hohes Risiko (rot eingefärbt)

3.2.2.2 Modell zur Bereinigung der Resultate

Nach der Berechnung der Risikozonen wurden die Resultate überprüft und bereinigt. Die Bereinigung wurde aus zwei Gründen durchgeführt: Zum einen sollte ein harmonischeres Kartenbild durch eine Homogenisierung der Klassen erreicht werden. Und zum anderen wurde die Bildung von Treppeneffekten durch die relativ grobe Auflösung des DHM25 abgeschwächt. Die Arbeitsschritte sind im Modell in Abbildung 18 illustriert.

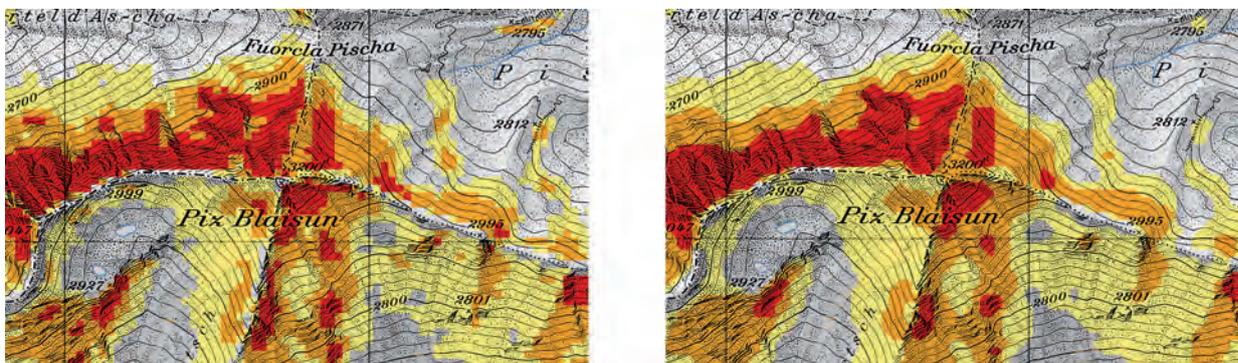
Abbildung 18: ModelBuilder: Bereinigung der Resultate



Quelle: ArcGIS Desktop 10.

Mit einem 3×3 -Median-Filter wurden zuerst sehr kleine Zonen und einzelne Pixelwerte gelöscht. Anschliessend wurde das Raster mit der Resampling-Methode *Nearest Neighbour* auf eine Zellenlänge von 5 Metern heruntergerechnet. Auf die nun feiner gegliederte Rasterdatei wurde nun wiederum ein Median-Filter angewendet. Diesmal jedoch mittels einer 5×5 -Nachbarschaft, was der ursprünglichen Dimension einer Rasterzelle entspricht. Durch diesen Schritt konnten die Treppeneffekte verringert und die Ecken abgerundet werden. Das Resultat ist in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: ModelBuilder: Bereinigung der Resultate



Homogenisierung der Risikozonen und Verminderung von Treppeneffekten: Vorher (links) und nachher (rechts).

Quelle: Eigene Darstellung.

3.2.3 Adaption der wissenschaftlichen Grundlagen

Bevor die Evaluation der Visualisierungsmethoden durchgeführt werden konnte, wurden noch einige Verbesserungen an der Darstellung des Lawinenrisikos und der Hangneigung vorgenommen. Konkret wurden drei wesentliche Erkenntnisse aus dem Studium der wissenschaftlichen Grundlagen in der Visualisierung integriert: Aspekte hinsichtlich Farbperzeption und Farbassoziationen, eine Darstellungsform für Informationsunsicherheiten und die Berücksichtigung von Mindestgrößen bei der Kartengestaltung. Alle drei Adaptionen werden in Abbildung 20 am Ende dieses Unterkapitels gezeigt.

3.2.3.1 Farbwahrnehmung

Bei der Illustration der graphischen Reduktionsmethode, wie sie in der Schweiz angewandt wird, sind die drei Risikozonen «gering», «erhöht» und «hoch» anhand des Farbschemas «grün-gelb-rot» abgebildet. Wie in Kapitel 2.4.4 erörtert, ist diese Farbabfolge aber gleich in zweierlei Hinsicht problematisch.

Zum einen ist der Unterschied bezüglich Tonwert, der «Hell-Dunkel-Kontrast», zwischen den Farben rot und grün sehr gering. Dies führt dazu, dass beispielsweise kleinere Einheiten der einen Farbe auf grösseren Fläche der anderen Farbe nur schwer abzugrenzen sind. Menschen mit Farbsehschwäche, dazu gehört im Schnitt immerhin jede 12. männliche Person, stehen bei der Differenzierung zwischen roter und grüner Farbe noch vor viel grösseren Schwierigkeiten. Bei der graphischen Reduktionsmethode kann argumentiert werden, dass die grünen und roten Flächen durch den gelben Querstreifen voneinander getrennt und folglich auch unterschieden werden können. Bei der Kartendarstellung hingegen fällt der gelbe Trennstreifen als Abgrenzungshilfe häufig weg.

Der zweite Aspekt bezüglich Farbwahrnehmung betrifft die Assoziationen zur Farbe Grün. Diese steht eher für Natürlichkeit und Hoffnung und nur wenn es sehr grell dargestellt wird für gefährliche (v. a. giftige) Stoffe. Besonders in Kombination mit Rot wird Grün meist mit positiven Eigenschaften verbunden – man denke an die Verkehrsampel. Die grünen Bereiche in der graphischen Reduktionsmethode kennzeichnen zwar die Regionen mit dem geringsten Risiko, trotzdem besteht aber noch ein Risiko, man hat nicht einfach grünes Licht. Die Farben Gelb und Orange hingegen werden im Alltag häufig als Warn- oder Hinweifarben verwendet und eignen sich deshalb besser für die Darstellung eines Risikos.

Aufgrund der besseren visuellen Abgrenzung und den eindeutigeren Farbassoziationen wurde deshalb bei der vorliegenden Visualisierung das originale Farbschema verändert und die Karten mit der Farbabfolge «gelb-orange-rot» dargestellt. Entsprechend wurde auch die graphische Reduktionsmethode für die Evaluation in diesen Farben dargestellt (siehe Anhang A2).

3.2.3.2 Darstellung von Informationsunsicherheiten

Die graphische Reduktionsmethode wurde u. a. aus der Kritik an der traditionellen, rechnerischen Reduktionsmethode heraus entwickelt (vgl. Kapitel 2.2.3). Die scheinbare Genauigkeit der rechnerischen Methode Munters ist einer der häufigsten Kritikpunkte. Bei der graphischen Reduktionsmethode wurde deshalb eine Form der Darstellung von Informationsunsicherheiten (‘uncertainty mapping’) angewendet: Es gibt keine klaren Grenzen zwischen den Risikozonen, sondern die Übergänge sind fließend und werden dementsprechend mit Farbverläufen dargestellt. Bei der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten Implementierung der graphischen Reduktionsmethode wurde dieser Aspekt bei der Berechnung im GIS wieder vernachlässigt – die Grenzen zwischen den Risikozonen sind scharf gezogen.

Die Schwierigkeit der Darstellung von Informationsunsicherheiten liegt darin, den scheinbaren Widerspruch zwischen der syntaktischen und der semantischen Zeichendimension zu widerlegen. Es geht darum, ein Mittelmaß zwischen den zwei Polen der beiden Zeichendimensionen zu finden. Das heisst, es soll die bestmögliche Lesbarkeit erreicht werden, ohne dabei die korrekte Interpretation und einwandfreie Folgerungen aus der Visualisierung zu behindern.

In Abbildung 10 im Kapitel 2.4.3.2 wurden zwei Ansätze des ‘uncertainty mapping’ aufgeführt, welche auch bei der vorliegenden Visualisierung umgesetzt werden können: Zum einen die Darstellung mittels der Variable ‘resolution’ (Auflösung) und zum anderen die Umsetzung mit der Variable ‘crispness’ (Schärfe). Die Auflösung des digitalen Höhenmodells DHM25 ist mit 25 Metern Zellenlänge relativ grob, verglichen mit der Auflösung der Basiskarte. Es wäre also möglich gewesen, die grob aufgelösten Resultate ohne graphische Überarbeitung zu übernehmen und die verpixelten Karten mit der Darstellung von Informationsunsicherheit zu erklären. Die empirische Studie von MacEachren et al. (2012) hat aber gezeigt, dass sich die Variable ‘Schärfe’ besser für die Darstellung von Informationsunsicherheiten eignet. Deshalb wurden die Klassengrenzen in der Visualisierung mittels des Gaußschen Weichzeichnungsfilter in ‘Adobe Photoshop CS4’ aufgeweicht. Der Filter wurde mit einem Radius von 5 Pixeln angewendet. So sind die Unterschiede zwischen den Risikozonen nach wie vor gut zu erkennen und gleichzeitig wird Unsicherheit in den Daten nicht ganz vernachlässigt.

3.2.3.3 Berücksichtigung der Mindestgrößen

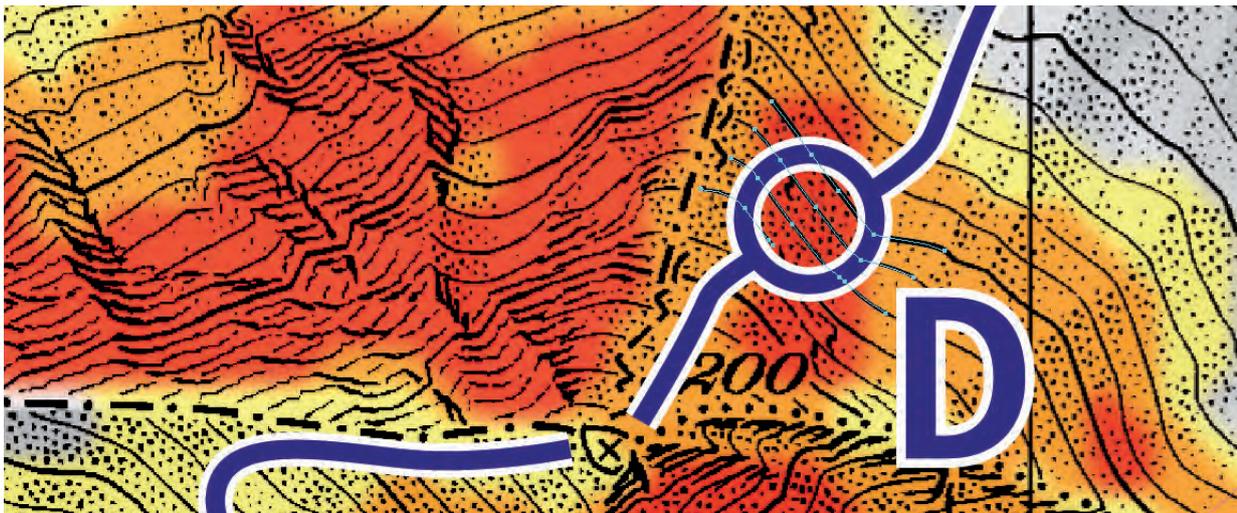
Als Basiskarte für die Visualisierung der Lawinengefahr wurde die Landeskarte 1:25 000 in der digitalen Form, konkret die Farbkombination mit Relief der Pixelkarte 1:25 000 verwendet. Diese hat eine Zellenlänge von 2,5 Metern, was beim massstabgerechten Druck einer Pixelbreite von 0,1 Millimetern entspricht. Wie in Tabelle 4 in Kapitel 2.4.2 gezeigt wird, liegt diese Auflösung sehr nahe bei

der Mindeststrichstärke von 0,08 Millimetern für Linien auf farbigem Hintergrund. Bei der Evaluation der Visualisierung muss die Hangneigung aus der Distanz der Höhenkurven in der Karte gemessen werden. Diese Höhenkurven sind sehr fein und werden teilweise nur mit einzelnen, aneinander gereihten Pixeln dargestellt. Die Mindestgrösse wird also nicht unterschritten, es ist jedoch denkbar knapp. Aus diesem Grund wurden zwei Anpassungen bei der Kartendarstellung vorgenommen.

Einerseits wurden für die Darstellung der Höhenkurven zusätzlich drei einzelne Farbebenen der Pixelkarte 1 : 25 000 hinzugefügt: Die Höhenkurven (braune Höhenkurven), die Situation (schwarze Höhenkurven im Felsgebiet) und die Gewässerlinien (blaue Höhenkurven auf Gletschern). Die Auflösung der einzelnen Farbebenen ist doppelt so hoch, sie weisen eine Zellenlänge von 1,25 Metern auf. Dies entspricht 0,05 Millimetern auf der gedruckten Karte.

Andererseits wurden die Höhenkurven im Bereich der Schlüsselstellen (siehe Kapitel 3.3.1.1) mit der vektorbasierten Grafiksoftware «Adobe Illustrator CS4» neu gezeichnet. So konnte die Lesbarkeit weiter verbessert werden. Die Vektorisierung der Höhenkurven geschah auch noch aus einem weiteren Grund. Die Hangneigung kann in der Karte aus der Distanz der Höhenkurven gemessen werden. Die Unterschiede in der Distanz der Höhenkurven sind aber sehr klein: Eine Neigung von 45 Grad entspricht in der Karte (Massstab 1 : 25 000, Äquidistanz 20 Meter) einem Abstand von 0,8 Millimetern. 40 Grad steile Hänge sind durch eine Distanz der Höhenkurven von 0,95 Millimetern dargestellt. Deshalb wurden alle Höhenkurven im Bereich der Schlüsselstellen nachträglich vektorisiert. So konnte die Distanz der Höhenlinien angepasst und innerhalb der Schlüsselstellen immer einheitlich gehalten werden.

Abbildung 20: Adaption der wissenschaftlichen Grundlagen



Der stark vergrösserte Kartenausschnitt zeigt alle drei integrierten Aspekte aus den wissenschaftlichen Grundlagen: Die Wahl des Farbschemas «gelb-orangerot», die weichen Farbübergänge zur Darstellung der Informationsunsicherheiten und die Berücksichtigung der kartographischen Mindestgrössen im Bereich der Schlüsselstelle (Höhenkurven).

Quelle: *Eigene Darstellung, Bildschirmfoto aus «Adobe Illustrator CS4».*

3.3 Evaluation

Die Berücksichtigung der syntaktischen und der semantischen Zeichendimension der erstellten Visualisierungen wurden im vorhergehenden Kapitel 3.2.3 bereits beschrieben. Inwiefern diese Überlegungen zu den beiden Zeichendimensionen von den Kartennutzerinnen und -nutzern auch in der erwarteten Art und Weise aufgenommen werden, konnte bisher nur gemutmasst werden. Garlandini & Fabrikant (2009) betonen, dass es bei der geographischen Informationsvisualisierung nicht nur darum geht, ob eine Darstellung «schön aussieht» oder die visuellen Inhalte «gut kommuniziert» werden. Vielmehr stehe auch die Frage im Zentrum, ob und weshalb eine Darstellungsform von den Nutzerinnen und Nutzern korrekt verstanden und interpretiert wird. Um die Nutzerfreundlichkeit und die Funktionsweise einer Visualisierung in der realen Welt zu untersuchen, bietet sich ein zentrales Instrument der wissenschaftlichen Forschung an: Die empirische Evaluation. Deshalb wurde die auf den vorangehenden Seiten beschriebene Visualisierungsmethode mittels einer empirischen Studie überprüft.

Anhand der Evaluation konnte in erster Linie die Wirkungsweise der Visualisierungen bezüglich der syntaktischen und semantischen Zeichendimension auf die Kartennutzenden untersucht werden: Werden die Inhalte der Karte als solche erkannt und wird die Bedeutung der Kartensymbole korrekt interpretiert? Darüber hinaus erlaubt die empirische Evaluation auch erste (wenn auch vage) Rückschlüsse bezüglich der pragmatischen Zeichendimension (siehe Kapitel 2.4.1). Dabei geht es darum abzuschätzen, wie sich die Visualisierung und deren Interpretation auf das Verhalten der Kartennutzenden auswirkt. Bevor aber die Resultate der empirischen Studie erläutert und diskutiert werden, folgt auf den nächsten Seiten eine Beschreibung des Experiments.

3.3.1 Charakterisierung des Experiments

Die Evaluation der Visualisierungsmethoden im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde mittels quantitativer Methoden durchgeführt. Bei der Datenerhebung für ein Experiment werden gemäss Field (2009) zwei grundsätzliche Methoden (Englisch: «designs») unterschieden: «Between-subjects» und «within-subjects». Beim «between-subjects design», auch «independent design» genannt, werden die Probanden in zwei oder mehrere Gruppen aufgeteilt und in jeder Gruppe wird eine Variante des Untersuchungsgegenstands (Stimulus) untersucht. Beim «within-subjects» oder «repeated-measures design» hingegen werden sämtlichen Probanden alle zu untersuchenden Stimuli gezeigt. Für die Evaluation der Visualisierungsmethoden wurde ein «within-subjects design» gewählt. Aufgrund der Wahl dieser Form der Untersuchung ergeben sich verschiedene Vor- und Nachteile, welche nachfolgend erläutert werden.

Field (2009) argumentiert, die Rückschlüsse aus einer Untersuchung im «within-subject design» seien häufig robuster, weil bei nur einem Durchlauf des Experiments mögliche Störfaktoren eher minimiert werden können. Ein möglicher Störfaktor ist, dass bei einem «between-subjects design» Unterschiede in der Zusammensetzung der verschiedenen Gruppen zu ungewünschten Resultaten führen. Dieser Aspekt ist beim «within-subjects design» hinfällig, da das Experiment mit nur einer Gruppe von Probanden durchgeführt wird. Weitere Vorteile sind gemäss Martin (2008), dass eine kleinere Anzahl Probanden benötigt wird und dass das gesamte Experiment (nicht aber ein einzelner Durchgang) weniger lang dauert.

Aus dem Fakt, dass beim «within-subjects design» allen Probanden sämtliche Variationen des Untersuchungsgegenstandes vorgeführt werden, ergeben sich jedoch auch einige Nachteile. Die zwei wichtigsten sind gemäss Field (2009):

- Lerneffekt Es besteht die Gefahr, dass die Probanden im Laufe des Experiments zunehmend besser abschneiden, da sie bei jeder neuen Variation des Untersuchungsgegenstandes vom bereits Gelernten bei den vorherigen Varianten profitieren.
- Ermüdungseffekt Da beim «within-subjects design» jedem Probanden alle Variationen des Untersuchungsgegenstandes gezeigt werden, dauert ein einzelner Durchgang des Experiments häufig länger. Dadurch können die Probanden ermüden oder gelangweilt werden, was sich negativ auf ihre Leistungsfähigkeit auswirkt.

Welche Schritte bei der Evaluation der Visualisierungsmethoden unternommen wurden, um diese beiden Effekte auf ein Minimum zu begrenzen, wird auf den nächsten Seiten erläutert.

3.3.1.1 Unabhängige Variable: Anwendung der graphischen Reduktionsmethode

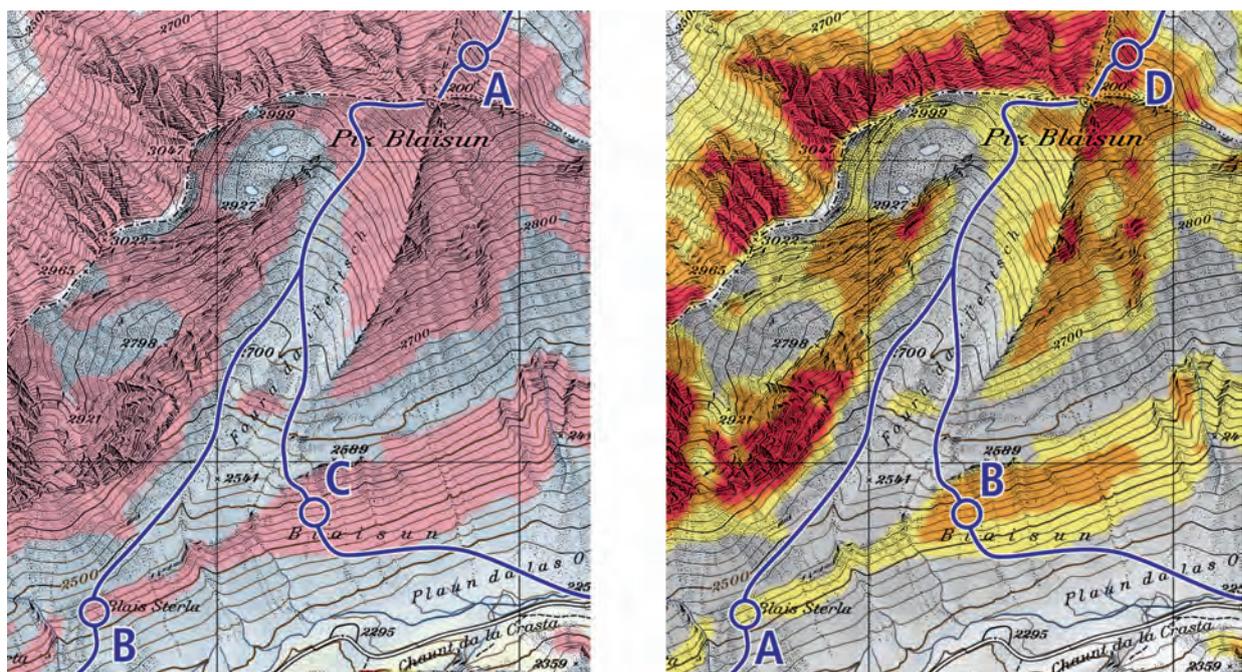
Die unabhängige Variable ist der Sachverhalt vom grössten Interesse in einer empirischen Studie. Ziel der Studie ist es, durch die Manipulation dieses Sachverhaltes einen Rückschluss auf das dadurch veränderte Verhalten zu ziehen. Dieser Sachverhalt wird deshalb als unabhängig bezeichnet, weil er vom Verhalten der Probanden unabhängig ist – die unabhängige Variable wird nur durch den Experimentleiter manipuliert (Martin 2008). Im vorliegenden Fall ist die Anwendung der graphischen Reduktionsmethode die unabhängige Variable.

Die Manipulation der Anwendung basiert auf den beiden Visualisierungsmethoden. Einmal soll die graphische Reduktionsmethode in der traditionellen Form, wie in Kapitel 2.2.3.2 beschrieben, angewendet werden. Als Grundlage für die traditionelle Anwendungsform dient diejenige Visuali-

sierungsmethode, in welcher alle Hänge mit einer Neigung von mehr als 30 Grad farblich hervorgehoben wurden. Diese Visualisierung wird nachfolgend als Kartentyp ‹Hangneigung› bezeichnet. Die Grundlage für die zweite Anwendungsform der graphischen Reduktionsmethode ist die Visualisierung der Risikozonen. Hier wurden die Informationen aus der graphischen Reduktionsmethode bereits in die Kartendarstellung integriert (vgl. Kapitel 3.2.2). Dieser Umstand wird den Probanden allerdings nicht explizit mitgeteilt, er soll vielmehr intuitiv aus der Karte erkannt werden.

Das Verfahren zur Anwendung der graphischen Reduktionsmethode wurde im Rahmen der Evaluation jedoch abgekürzt, um die Dauer des Experiments zu verringern und gleichzeitig die Vergleichbarkeit der Resultate zu verbessern. So wurden auf beiden Kartentypen die relevanten Skitourenrouten bereits vorgängig eingezeichnet. Für jeden Kartenausschnitt wurden vier Routen und für jede Route eine von den Probanden zu beurteilende Schlüsselstelle markiert. Die Probanden wurden im Verlauf des Experiments gefragt, ob die markierte Schlüsselstelle unter Berücksichtigung der jeweils gültigen Informationen aus dem Lawinenbulletin (Gefahrenstufe und Kernzone der besonders gefährdeten Hänge) befahren werden könne. Eine Schlüsselstelle galt im Rahmen des Experiments dann als befahrbar, wenn sie höchstens dem Bereich ‹geringes Risiko› gemäss graphischer Reduktionsmethode zugeordnet wurde. Das heisst, aus der Einschätzung des Lawinenrisikos musste ein Bereich unterhalb der gestrichelten Linie (siehe Abbildung 7 in Kapitel 2.2.3) resultieren, damit die Schlüsselstelle korrekt als befahrbar bezeichnet werden konnte. In der unten stehenden Abbildung 21 ist je ein Kartenausschnitt des Typs ‹Hangneigung› (links) und des Typs ‹Risikozonen› (rechts) mit eingezeichneten Routen und Schlüsselstellen dargestellt.

Abbildung 21: Kartentypen ‹Hangneigung› und ‹Risikozonen›



Quelle:

Eigene Darstellung.

3.3.1.2 Abhängige Variablen: Effektivität, Vertrauen und Effizienz

Die abhängigen Variablen werden vom Experimentleiter nicht manipuliert. Sie sind abhängig vom Verhalten der Probanden und dienen der Messung des Verhaltens der Probanden (Martin 2008). Im vorliegenden Experiment werden die abhängigen Variablen ‹Effektivität›, ‹Vertrauen› und ‹Effizienz› gemessen. Die Bezeichnung der Variablen richtet sich nach der Notation, welche u. a. von Garlandini & Fabrikant (2009) verwendet wird.

Mit ‹Effektivität› wird die Antwortgenauigkeit der Probandinnen und Probanden bezeichnet. Diese wird als Anteil der korrekten Antworten an allen Antworten gemessen. Für jeden Kartenausschnitt galt es, vier Schlüsselstellen zu beurteilen. Dabei waren immer zwei Stellen gemäss Modellannahme befahrbar und die anderen zwei waren zu gefährlich.

Mit dem ‹Vertrauen› wird die Sicherheit der Probanden, was die Korrektheit der eigenen Antworten betrifft, gemessen. Um das ‹Vertrauen› zu erheben, wurden die Probanden jeweils im Anschluss an die Beurteilung der Schlüssel gefragt, wie sicher sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage gewesen seien.

Die letzte abhängige Variable, die ‹Effizienz› steht für die Antwortdauer bei jeder Frage. Die Erhebung der Antworten wurde mit der Online-Befragungsumgebung über die Webseite ‹onlineumfragen.com› durchgeführt. Dort wurde die Antwortdauer automatisch aufgezeichnet.

Nebst den drei abhängigen Variablen wurden in der Evaluation zwei weitere Aspekte abgefragt: Die Erfahrung der Probanden im Umgang mit Karten und die Kenntnisse der Probanden in der Lawinenbeurteilung. Bei beiden Aspekten galt es, eine typische Schwierigkeit von empirischen Studien zu berücksichtigen. Gemäss Martin (2008) liegt das grösste Problem bei Befragungen darin, dass Probandinnen und Probanden nicht immer ganz ehrlich sind: «what they say they think (...) is not always what they actually think». Im vorliegenden Kontext bestand die Gefahr hauptsächlich darin, dass sich die Probanden (die weibliche Form wird hier bewusst weggelassen) bezüglich der eigenen Einschätzung der Fähigkeiten überschätzen. Deshalb wurde bei der Ermittlung des Hintergrundwissens darauf geachtet, sowohl die eigene Einschätzung der Fähigkeiten als auch die Häufigkeit ausgeübter Tätigkeiten im betreffenden Bereich abzufragen.

3.3.1.3 Kontrolle, Randomisierung und Probedurchgang

Das Experiment wurde insgesamt drei Mal durchgeführt. Bei jedem Durchgang war der Verfasser während der ganzen Zeit im selben Raum mit den Probanden. Bei der vorliegenden empirischen Studie handelt es sich folglich um ein kontrolliertes Experiment.

Als Grundlage für die Evaluation der Visualisierung wurden sechs verschiedene Kartenbooklets erstellt. Jedes Booklet enthielt die selben sechs Kartenausschnitte, jeweils drei mit der Visualisierungsmethode «Hangneigung» und drei mit der Variante «Risikozone». Die Reihenfolge der Kartenausschnitte wurde in jedem Booklet zufällig variiert. Dadurch sollte der Einfluss des zuvor beschriebenen Lerneffekts möglichst gering gehalten werden. Ebenfalls zufällig variiert wurden die Bezeichnungen «A» bis «D» zu den vier Schlüsselstellen jedes Kartenausschnitts. Dies diente der Verhinderung eines weiteren Störfaktors, welcher nach Martin (2008) zu den «demand characteristics» gezählt wird: So konnte sichergestellt werden, dass kein Muster in der Bezeichnung der Schlüsselstellen auftrat.

Der zeitliche und inhaltliche Ablauf des Experiments wurde anhand von drei Probedurchgängen überprüft und teilweise angepasst. Das Experiment sollte im Mittel nicht länger als 30 Minuten dauern. Andernfalls bestand die Gefahr, dass Ermüdungseffekte auftreten. Eine weitere wichtige Einsicht aus den Probegängen war, dass zu Beginn des Experiments eine Einführung in die Anwendung der graphischen Reduktionsmethode notwendig sein würde.

3.3.2 Durchführung des Experiments

Vor der Durchführung wurde die Evaluation auf allfällige ethische Risiken hin überprüft. Die Ethikkommission der Philosophischen Fakultät der Universität Zürich stellt eine «Checkliste für die Selbstbeurteilung von Studien auf ethische Unbedenklichkeit» zur Verfügung. Ein Abgleich mit dieser Liste ergab, dass keine kritischen Aspekte bezüglich Ethik in der vorliegenden Evaluation enthalten waren.

An der Abteilung für Geographische Informationsvisualisierung und Analyse der Universität Zürich werden die Rohdaten zu empirischen Studien über einen Zeitraum von zehn Jahren abgelegt. Während dieser Zeitspanne haben alle Teilnehmenden die Möglichkeit, ihre Angaben löschen zu lassen. Über diese und weitere Angaben im Zusammenhang (u. a. die Möglichkeit, das Experiment jederzeit und ohne Angabe von Gründen abubrechen) wurden die Probandinnen und Probanden mittels eines schriftlichen Einwilligungsförmular informiert. Nachfolgend werden alle relevanten Einzelheiten zum Ablauf der empirischen Evaluation aufgeföhrt.

3.3.2.1 Probanden

Das Experiment wurde mit 19 Teilnehmenden, davon neun weiblich und 10 männlich, durchgeföhrt. Acht Teilnehmer oder Teilnehmerinnen waren zwischen 20 und 29, sechs zwischen 30 und 39, fünf über 40 Jahre alt. Bei keiner Person wurde von professioneller Seite eine Farbsehschwäche diagnostiziert. Die sechs bezüglich Reihenfolge der Kartenausschnitte unterschiedlichen Kartenbooklets

wurden gleichmässig auf die Probanden verteilt. Jede Variante des Kartenbooklet wurde von mindestens drei Teilnehmerinnen oder Teilnehmern verwendet. Eine komplette graphische Auswertung der Resultate ist in Anhang D abgelegt.

3.3.2.2 Unterlagen

Das Experiment fand im Computer-Arbeitsraum Y-25-J-10 des Geographischen Instituts an der Universität Zürich Irchel statt. Sämtlichen Probanden wurden die folgenden Unterlagen in gedruckter Form abgegeben (alle Unterlagen zum Experiment sind in Anhang A abgelegt):

- Ein Hangneigungsmesser im Format DIN A7, mit welchem die Hangneigung aus Karten im Massstab 1:25 000 mit einer Äquidistanz von 20 Metern gemessen werden konnte (Anhang A1).
- Ein Infoblatt, auf welchem die Graphische Reduktionsmethode dargestellt und die Anwendung unter Berücksichtigung der Modellbedingungen für diese Evaluation schriftlich erklärt wurde (Anhang A2).
- Das für diese Studie angepasste Informations- und Einwilligungsformular der Abteilung für Geographische Informationsvisualisierung und Analyse der Universität Zürich. (Anhang A3).
- Ein Kartenbooklet im Format DIN A4 mit sieben verschiedenen Karten: Kartenausschnitt # 0 für drei Testfragen, Kartenausschnitte # 1–# 7 für die Evaluation der Visualisierungsmethoden (Anhänge C1 bis C7).

3.3.2.3 Prozedur

Zu Beginn des Experiments wurde allen Teilnehmenden eine rund achtminütige Einführung in das Experiment gegeben. Die Einführung erfolgte in hochdeutscher Sprache und wurde mit einer Powerpoint-Präsentation visuell unterstützt. Die Präsentation begann mit einer kurzen Einordnung der etablierten Hilfsmittel im Kontext der Lawinenbeurteilung auf Stufe Planung. Anschliessend wurden die Grundlagen der graphischen Reduktionsmethode, die Gefahrenstufe und die Kernzone gemäss Lawinenbulletin, erklärt. Dann erfolgte eine detaillierte Beschreibung zur traditionellen Anwendung der graphischen Reduktionsmethode mit Hilfe der Landeskarte und des Hangneigungsmessers. Dabei wurden bewusst keine Angaben zur Visualisierungsmethode «Risikozone» gemacht. Zum Abschluss

der Präsentation erfolgte einige Hinweise zur Vorgehensweise: Die Teilnehmer wurden gebeten, bei jeder Frage sicherzustellen, dass die Seite auf dem Kartenbooklet mit der Frage im Online-Tool übereinstimmt. Ausserdem wurden sie angehalten, die Fragen in aller Ruhe und ohne Eile zu beantworten und während dem Ausfüllen des Fragebogens nie den ‹Zurück-Button› des Webbrowsers anzuklicken (ansonsten wäre die Erfassung der Beantwortungsdauer verzerrt geworden).

Im Anschluss an die Präsentation wurden die Teilnehmenden gebeten, die URL ‹<http://tinyurl.com/lawinenumfrage>› im Webbrowser einzugeben und den Fragebogen auszufüllen. Der Online-Fragebogen zur Evaluation war in vier Bereiche gegliedert:

- Teil I: Allgemeine, soziodemographische Fragen zu Geschlecht, Alter, Ausbildungsstand etc. der Probanden
- Teil II: Fragen zum Hintergrundwissen der Probanden bezüglich des Umgangs mit Karten und den Erfahrungen in der Lawinenkunde
- Teil III: Testfragen zur Überprüfung des Umgangs mit der graphischen Reduktionsmethode und der Begabung im Kartenlesen
- Teil IV: Evaluation der beiden Visualisierungsmethoden

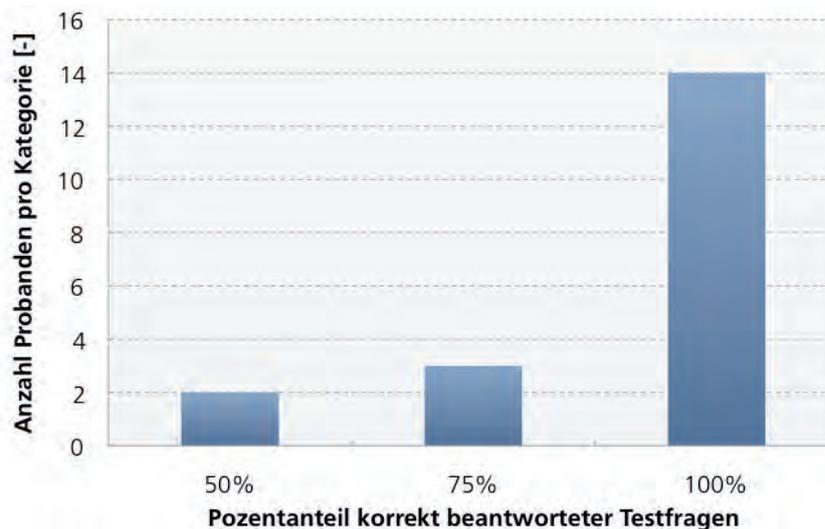
Die Beantwortung des Fragebogens dauerte durchschnittlich 29 Minuten, wobei die Streuung der Bearbeitungsdauer sehr hoch war. Die schnellste Person löste die Aufgaben in knapp zehn Minuten und somit beinahe vier mal schneller als die langsamste Person, welche etwas mehr als 38 Minuten benötigte.

4 RESULTATE

Die Auswertung der Resultate wurde mit der Statistiksoftware «SPSS 18» der Firma IBM durchgeführt. Der Einfluss der unabhängigen Variable auf die abhängigen Variablen wurde mittels der Varianzanalyse «GLM repeated measures» (Allgemeines lineares Modell, Messwiederholungen) untersucht. Das Signifikanzniveau wurde für die gesamte Analyse auf «0,05» festgelegt. Bevor die Resultate der Evaluation der Visualisierungsmethoden präsentiert werden, erfolgt hier die Auswertung der vier Testfragen.

Die Testfrage zur Exposition des Punkts «A» im Kartenausschnitt #0 wurde von 18 Personen korrekt beantwortet. Die Hangneigung beim Punkt «B» konnte von 16 Personen korrekt gemessen werden und bei der Höhenlage in Punkt «C» gaben alle 19 Teilnehmenden die richtige Antwort. Die Testfrage zur Anwendung der graphischen Reduktionsmethode wurde von 16 Personen korrekt beantwortet. In Diagramm 2 sind die Resultate der Testfragen zusammengefasst.

Diagramm 2: Diagramm Zusammenfassung Testfragen (N = 19)



Quelle: *Eigene Darstellung.*

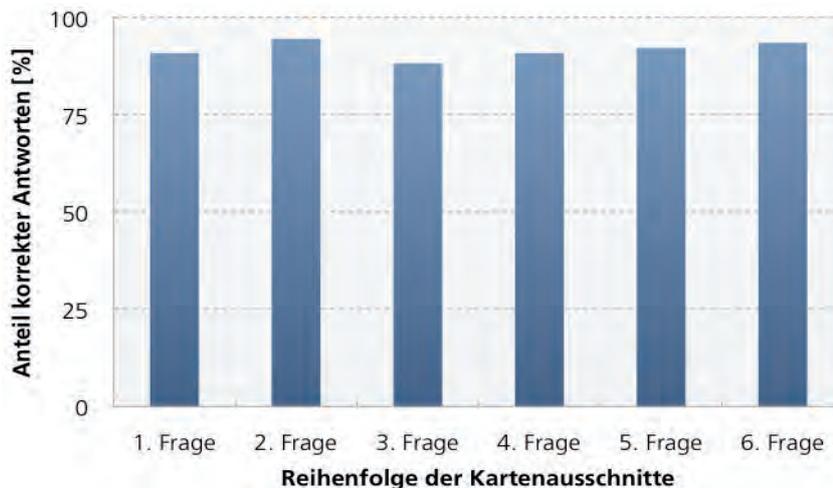
14 Teilnehmerinnen und Teilnehmer oder fast 75% aller Probanden konnten sämtliche Testfragen korrekt beantworten. Die Beantwortung der vier Testfragen hatte allerdings keinen Einfluss auf die Resultate der Evaluation und wird deshalb nicht weiter betrachtet.

4.1 Evaluation Visualisierungsmethode

Bevor der Einfluss der beiden Visualisierungsmethoden auf das Verhalten der Probanden untersucht werden konnte, wurden die einzelnen Kartenausschnitte getrennt nach der Visualisierungsmethode betrachtet. Eine Varianzanalyse der drei Ausschnitte des Kartentyps ›Hangneigung‹ ergab, dass keine signifikanten Unterschiede ($F(1,16) = 0.225, p = 0.800 > 0.05$) bezüglich der mittleren Antwortgenauigkeiten pro Kartenausschnitt auftraten (vgl. Anhang E1). Auch bei den drei Ausschnitten des Kartentyps ›Risikozonen‹ konnten keine signifikanten ($F(1,17) = 0.321, p = 0.727 > 0.05$) Unterschiede ausgemacht werden (vgl. Anhang E2). Die unterschiedlichen Kartenausschnitte des jeweiligen Kartentyps wirkten sich also nicht signifikant auf das Verhalten der Probanden aus.

Weiter wurde untersucht, wie sich die Anordnung der Kartenausschnitte in den Kartenbooklets auf die Antwortgenauigkeit auswirkte. Das Diagramm 3 zeigt den Anteil der korrekten Antworten geordnet nach der Reihenfolge im Kartenbooklet.

Diagramm 3: Antwortgenauigkeit nach Reihenfolge im Kartenbooklet



Quelle: Eigene Darstellung.

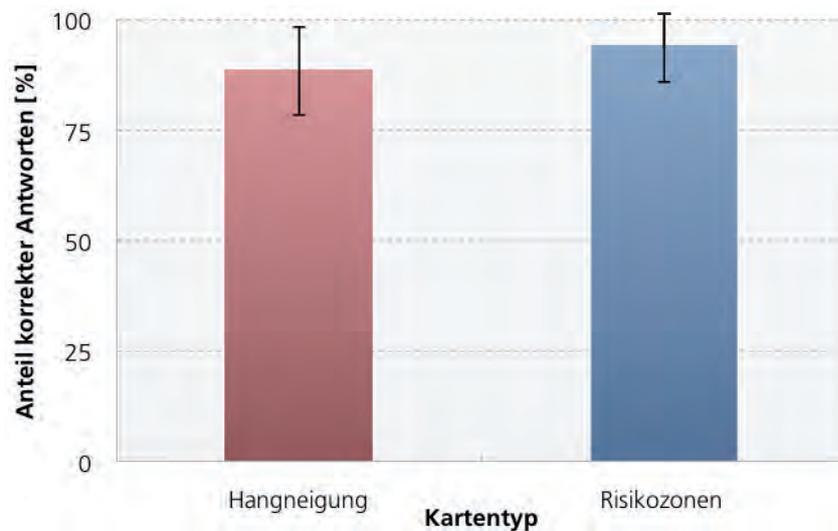
Im obenstehenden Diagramm ist zu sehen, dass die mittlere Antwortgenauigkeit auf hohem Niveau sehr konstant war. Der höchste Anteil korrekter Antworten wurde beim zweiten Ausschnitt gemessen (94.4%) und beim dritten Kartenausschnitt war der Anteil korrekter Antworten mit 88.2% am geringsten. Anschliessend ist ein schwacher aber stetiger Anstieg der richtig beantworteten Fragen auszumachen. Ermüdungseffekte dürften somit nicht aufgetreten sein.

Da dieser Anstieg aber auf Lerneffekte hinweisen könnte, wurden sechs bivariate Korrelationsanalysen zwischen der Antwortgenauigkeit für jeden Kartenausschnitt und der Reihenfolge der jeweiligen Ausschnitts im Kartenbooklet durchgeführt. Die Resultate (siehe Anhang E3) zeigten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren.

4.1.1 Effektivität

Die Effektivität der beiden Visualisierungsmethoden wurde anhand des mittleren Anteils korrekter Antworten pro Kartentyp gemessen. Die Resultate sind in Diagramm 4 dargestellt. Die unterschiedliche Anzahl Probanden rührt daher, dass eine Person nur zwei Fragen zum Kartentyp ‹Hangneigung› beantwortet hatte.

Diagramm 4: Anteil korrekter Antworten nach Kartentyp ‹Hangneigung› (N = 18) und ‹Risikozonen› (N = 19)



Quelle: Eigene Darstellung.

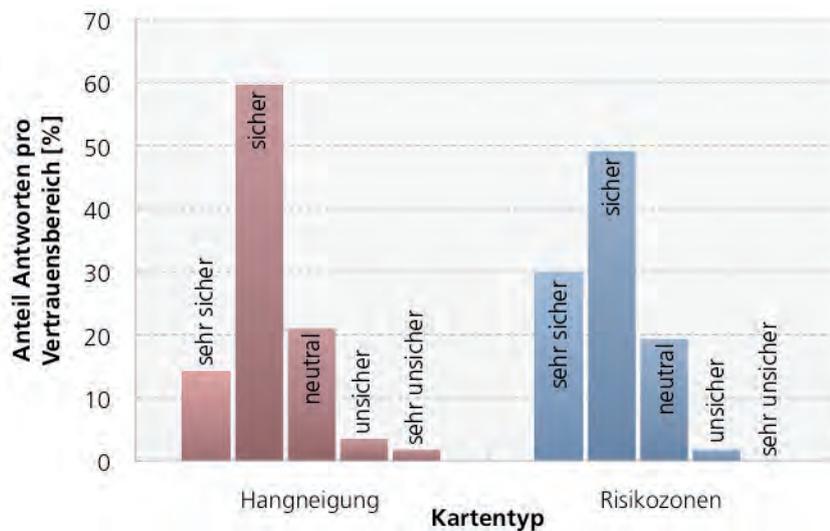
Die mittlere Antwortgenauigkeit lag beim Kartentyp ‹Hangneigung› bei 88.4% und die Standardabweichung betrug genau 10. Beim Kartentyp ‹Risikozonen› wurde ein durchschnittlicher Anteil korrekter Antworten von 94.3% bei einer Standardabweichung von 8.4 gemessen. Die relativ hohen Werte der Standardabweichungen sind darauf zurückzuführen, dass bei jeder Frage immer entweder keine, eine, zwei, drei oder vier korrekte Antworten möglich waren. Folglich konnte der Anteil richtiger Antworten bei den einzelnen Probanden nur in 25%-Schritten gemessen werden. Das Minimum des Anteils korrekter Einschätzungen des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode lag bei 50% und das Maximum wenig überraschend bei 100% korrekter Antworten. Drei Probanden konnten das Lawinenrisiko bei sämtlichen Schlüsselstellen und Kartendarstellungen korrekt einschätzen.

Aus Diagramm 4 wird deutlich, dass bei der Einschätzung des Lawinenrisikos aufgrund der Visualisierungsmethode ‹Risikozonen› zum einen der Anteil korrekter Antworten höher und zum anderen die Streuung der Werte geringer war. Eine Varianzanalyse ergab, dass ein signifikanter Unterschied ($F(1,17) = 5.390, p = 0.033 < 0.05$) zwischen der Effektivität basierend auf den beiden Kartentypen besteht (Details in Anhang E4).

4.1.2 Vertrauen

Um das Vertrauen der Probanden in Ihre Antworten zu erheben, wurde nach jedem der sechs Kartenausschnitte die Frage gestellt, wie sicher man sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage gewesen sei. Dabei standen fünf Antwortmöglichkeiten von «sehr sicher» über «neutral» bis «sehr unsicher» zur Wahl. Sämtliche Angaben der Probanden zu ihrer Sicherheit sind aufgeteilt nach Kartentyp in Diagramm 5 dargestellt.

Diagramm 5: Antwortsicherheit nach Kartentyp (N = 19)



Quelle: Eigene Darstellung.

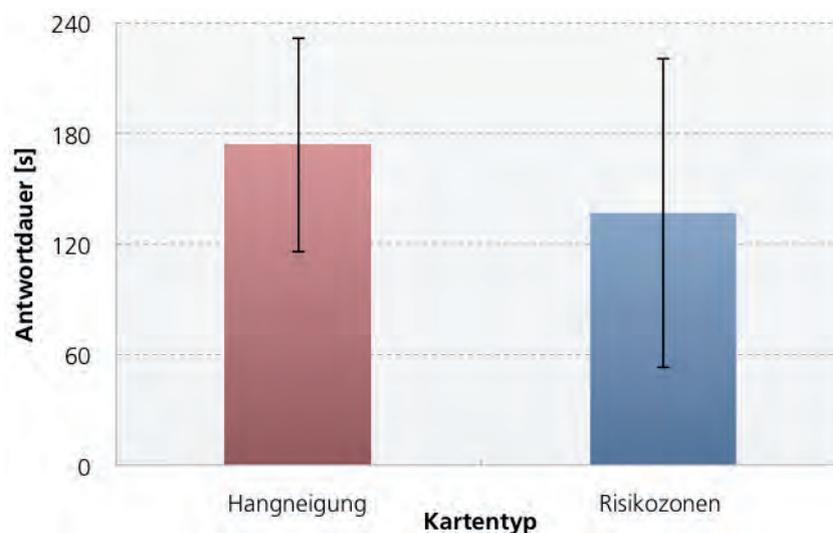
Bei der Betrachtung der Veränderung zwischen dem Kartentyp «Hangneigung» in Richtung des Kartentyps «Risikozonen» werden folgende Aspekte deutlich: Es ist eine Verlagerung aus dem Vertrauensbereich «sicher» in den Bereich «sehr sicher» zu erkennen. Der Anteil der neutralen Antworten blieb nahezu gleich, während die Antworten «unsicher» und «sehr unsicher» leicht zurückgingen. Bemerkenswert ist, dass bei der Visualisierungsmethode «Risikozonen» kein einziges Mal die Antwort «sehr unsicher» gegeben wurde.

Ausgehend von der zumindest diskussionswürdigen Annahme, dass die Antworten zur Erhebung des Vertrauens der Intervall-Skala zugeordnet werden können, wurden diese folgendermassen codiert: 1 = «sehr sicher», 2 = «sicher», 3 = «neutral», 4 = «unsicher» und 5 = «sehr unsicher». Danach konnte auch für diesen Aspekt eine Varianzanalyse durchgeführt werden. Diese ergab eine mittlere Antwortsicherheit beim Kartentyp «Hangneigung» von 2.193 und beim Kartentyp «Risikozonen» den Wert 1.930. Aus dem Vergleich der Mittelwerte resultierte ein signifikanter Einfluss ($F(1,18) = 5.179$, $p = 0.035 < 0.05$) der Visualisierungsmethode auf das Vertrauen der Probanden in ihre Antwort (siehe Anhang E5).

4.1.3 Effizienz

Die Effizienz der Probanden in der Anwendung der graphischen Reduktionsmethode wurde anhand der Antwortdauer bei den beiden Visualisierungsmethoden erfasst. Die mittleren Antwortzeiten sind geordnet nach Kartentyp in Diagramm 6 gezeigt. Mit dem Kartentyp ‹Hangneigung› benötigten die Teilnehmer der Studie durchschnittlich fast drei Minuten, präziser 173,8 Sekunden, um die vier Schlüsselstellen pro Kartenausschnitt hinsichtlich des Lawinenrisikos zu beurteilen. Bei der Anwendung der graphischen Reduktionsmethode mittels des Kartentyps ‹Risikozone› hingegen, dauerte die Beurteilung deutlich weniger lang, nämlich 136,9 Sekunden. Die beiden Mittelwerte sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da die Standardabweichung bei beiden Visualisierungsmethoden sehr hoch war. Beim Kartentyp ‹Hangneigung› liegt die Standardabweichung bei 57,9 und beim Kartentyp ‹Risikozone› bei 83,8. Diese sehr grossen Unterschiede in den Antwortzeiten werden auch bei der Betrachtung der gesamten Bearbeitungsdauer ersichtlich (vgl. Kapitel 3.3.2.3). Erstaunlich ist der Umstand, dass die Streuung der Antwortdauer beim Kartentyp ‹Risikozone› erheblich höher war, obwohl die mittlere Bearbeitungsdauer deutlich kürzer ausfiel.

Diagramm 6: Antwortdauer nach Kartentyp (N= 19)



Quelle: Eigene Darstellung.

Auch bezüglich der Antwortdauer wurde mittels einer Varianzanalyse untersucht, ob die Visualisierungsmethode das Verhalten der Probanden beeinflusst hatte. Bei diesem Aspekt waren die Resultate nicht eindeutig. Die Varianzanalyse ergab keinen signifikanten Einfluss ($F(1,18) = 4,415, p = 0,05$) der Visualisierungsmethode auf die Effizienz der Kartennutzer, wobei das Signifikanzlevel exakt den kritischen Wert von 0,05 erreichte (vgl. Anhang E6).

4.2 Einfluss des Hintergrundwissens

Das Hintergrundwissen der Probanden wurde jeweils mittels zweier Fragetypen erhoben: Einerseits wurden die Teilnehmenden gebeten, eine Selbsteinschätzung ihrer Fähigkeiten im Kartenlesen bzw. in der Lawinenbeurteilung abzugeben. Andererseits wurden sie auch nach der Häufigkeit der Kartennutzung bzw. der Teilnahmen an professionell geführten Skitouren gefragt. Um den Einfluss allfälliger «demand characteristics» nach Martin (2008) zu untersuchen wurde mit den Antworten zu den beiden Fragetypen eine bivariate nichtparametrische Korrelation durchgeführt. Bei der Erfahrung im Umgang mit Karten ergab die Analyse einen signifikanten Zusammenhang ($r = 0.478$, p (einseitig) = $0.006 < 0.05$) zwischen der Selbsteinschätzung im Kartenlesen und der Häufigkeit der Kartennutzung (siehe Anhang E7). Bei den Kenntnissen in der Lawinenbeurteilung resultierte aus der Analyse ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0.522$, p (einseitig) = $0.006 < 0.05$) zwischen der Selbsteinschätzung der Fähigkeiten in der Lawinenbeurteilung und der Häufigkeit der Teilnahme an professionell geführten Skitouren (siehe Anhang E11).

4.2.1 Erfahrung im Umgang mit Karten

Um den Einfluss der Erfahrung der Probanden im Umgang mit Karten auf die Einschätzung des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode zu untersuchen, wurden die Probanden in zwei Gruppen unterteilt:

- Gruppe 1: Viel Erfahrung im Kartenlesen gemäss Selbsteinschätzung ($N = 11$)
Antworten: «überdurchschnittlich» oder «gut»
- Gruppe 2: Wenig Erfahrung im Kartenlesen gemäss Selbsteinschätzung ($N = 7/8$)
Antworten: «durchschnittlich», «unterdurchschnittlich» oder «bescheiden»

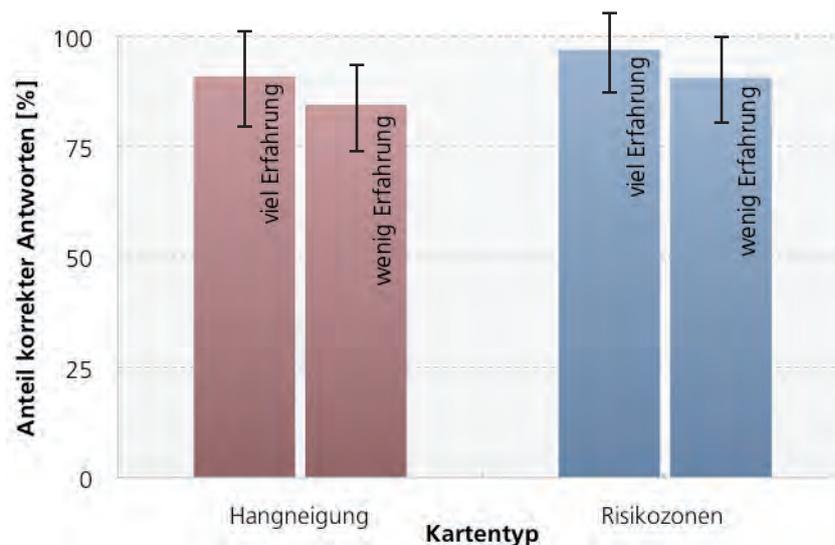
Anschliessend wurde dieselben drei Parameter wie bei der Untersuchung des Kartentyps gemessen (Effektivität, Vertrauen und Effizienz, siehe Kapitel 4.1). Dazu wurden drei Varianzanalyse mit obenstehender Unterteilung als «between-subjects» Faktor durchgeführt. Die drei Analysen ergaben die folgenden Resultate bezüglich des Unterschieds zwischen den beiden Kartentypen:

- Effektivität: ($F(1,16) = 4.804$, $p = 0.044 < 0.05$) siehe Anhang E8.
- Vertrauen: ($F(1,17) = 4.923$, $p = 0.040 < 0.05$) siehe Anhang E9.
- Effizienz: ($F(1,17) = 3.701$, $p = 0.071 > 0.05$) siehe Anhang E10.

Bei den abhängigen Variablen ‹Effektivität› und ‹Vertrauen› konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kartentypen festgestellt werden. Die Variable ‹Effizienz› hingegen führte zu keinem signifikanten Ergebnis.

Bezüglich des Unterschieds zwischen den beiden Gruppen wurde bei keiner der drei Variablen eine signifikante Abweichung gemessen (siehe Anhänge E8 bis E10). In Diagramm 7 wird der Sachverhalt exemplarisch für alle drei Variablen anhand der Antwortgenauigkeit aufgezeigt.

Diagramm 7: Antwortgenauigkeit nach Kartentyp und Erfahrung im Kartenlesen (N=19)



Quelle: Eigene Darstellung.

Die mittlere Antwortgenauigkeit der Gruppe ‹viel Erfahrung› beim Kartentyp ‹Hangneigung› betrug 90.9 % und die Standardabweichung 10.2. Bei der Gruppe ‹wenig Erfahrung› beim Kartentyp ‹Hangneigung› lag der Mittelwert der Antwortgenauigkeiten bei 84.5 % und die Standardabweichung bei 8.9. Bei der Gruppe ‹viel Erfahrung› wurde beim Kartentyp ‹Risikozone› eine mittlere Antwortgenauigkeit von 97.7 % und eine Standardabweichung von 7.7 gemessen. Die Gruppe ‹wenig Erfahrung› beim Kartentyp ‹Risikozone› schliesslich wies eine durchschnittliche Antwortgenauigkeit von 90.5 % und eine Standardabweichung von 8.9 auf.

Aus der graphischen Darstellung wird ersichtlich, dass beide Gruppen im Mittel mit dem Kartentyp ‹Risikozonen› besser abschnitten. Es ist aber auch zu sehen, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen gleich sind. Die Differenz der mittleren Antwortgenauigkeiten zwischen den beiden Gruppen beträgt beim Kartentyp ‹Hangneigung› 6.4 Prozentpunkte und beim Kartentyp ‹Risikozone› 7.2 Prozentpunkte.

Die weiteren Variablen ‹Vertrauen› und ‹Effizienz› wiesen dasselbe Muster aus. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine weitere Beschreibung der Resultate verzichtet.

4.2.2 Erfahrung in der Lawinenbeurteilung

Auch bei der Untersuchung des Einflusses des Hintergrundwissens der Probanden in der Lawinenbeurteilung wurden die Probanden in zwei Gruppen unterteilt:

- Gruppe 1: Viel Erfahrung in der Lawinenbeurteilung gemäss Selbsteinschätzung (N = 9/10)
Antworten: ‹durchschnittlich› ‹überdurchschnittlich› oder ‹gut›
- Gruppe 2: Wenig Erfahrung in der Lawinenbeurteilung gemäss Selbsteinschätzung (N = 9)
Antworten: ‹unterdurchschnittlich› oder ‹bescheiden›

Wiederum wurden dieselben drei Parameter wie bei der Untersuchung des Kartentyps gemessen. Auch wurden erneut drei Varianzanalysen mit obenstehender Unterteilung als ‹between-subjects› Faktor durchgeführt. Die drei Analysen ergaben die folgenden Resultate zum Unterschied zwischen den zwei Kartentypen:

- Effektivität: $(F(1,16) = 5.323, p = 0.035 < 0.05)$ siehe Anhang E12.
- Vertrauen: $(F(1,17) = 4.844, p = 0.042 < 0.05)$ siehe Anhang E13.
- Effizienz: $(F(1,17) = 4.532, p = 0.048 < 0.05)$ siehe Anhang E14.

Bei der Unterteilung der Probanden nach deren Erfahrungen in der Lawinenbeurteilung resultierte für alle drei Variablen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Kartentyps. Somit konnte erstmals auch eine signifikante Veränderung bei der Effizienz nachgewiesen werden.

Was die Unterschiede innerhalb der Gruppen betraf, konnten wie schon bei der Untersuchung des Einflusses bezüglich Erfahrung im Umgang mit Karten keine signifikanten Unterschiede erhoben werden. Das Problem kann analog zu demjenigen in vorhergehenden Kapitel 4.2.1 betrachtet werden. Deshalb wird auch hier auf eine weitere Betrachtung des Aspektes ‹Erfahrung in der Lawinenbeurteilung› verzichtet.

5 DISKUSSION

Bevor die Resultate der Evaluation und die Forschungsfragen diskutiert werden, sollen an dieser Stelle noch einige Aspekte zur Validität des Experiments erwähnt werden. Die beiden wichtigsten Störfaktoren bei empirischen Studien im «within-subjects design» sind der Lerneffekt und der Ermüdungseffekt (Field 2009). Ausserdem wurde noch das Auftreten von Störvariablen untersucht.

Zu Beginn des Kapitels 4.1 wurden drei Tests beschrieben, welche die Überprüfung der Validität des Experiments zum Ziel hatten. In einem ersten Schritt wurde untersucht, ob die Wahl der Kartenausschnitte einen Einfluss auf die Antwortgenauigkeit der Probanden hatte. Dabei konnte die Testhypothese, wonach kein Unterschiede zwischen den einzelnen Kartenausschnitten zu erwarten sei, nicht verworfen werden. In vorliegendem Fall handelt es sich hierbei um ein erfreuliches Resultat. Denn die Ablehnung der Testhypothese hätte bedeutet, dass unerwünschte «confounding variables» (Störvariablen) aufgetreten wären (Martin 2008). Umgekehrt kann zwar nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass im Experiment gar keine Störvariablen aufgetreten seien. Der Ausschluss des Einflusses des Kartenausschnitts auf das Verhalten der Probanden kann aber trotzdem als Mass für eine erhöhte Zuverlässigkeit des Experiments interpretiert werden.

Anhand des zweiten Tests in Kapitel 4.1 wurde überprüft, ob bei den Probanden im Verlauf des Experiments Ermüdungseffekte auftraten. Da die Antwortgenauigkeit sowohl über alle sechs Fragen insgesamt als auch im Speziellen im Verlauf von der dritten zur sechsten Frage leicht anstieg, kann gesagt werden, dass bei dieser Studie die Ermüdungseffekte keinen Einfluss auf den Anteil der korrekten Antworten pro Frage hatten.

Der Anstieg des Anteils korrekter Antworten könnte nun aber auf den zweiten wichtigen Störfaktor, das Auftreten von Lerneffekten, hindeuten. Da für jeden Kartenausschnitt die Reihenfolge desselbigen im Kartenbooklet erfasst wurde, konnte mit den beiden Variablen eine Korrelationsanalyse für alle sechs Kartenausschnitte durchgeführt werden. Bei keiner der sechs Analysen wurde eine signifikante Korrelation gemessen. Auch waren die Werte für die Signifikanz mit Ausnahme eines Tests, bei welchem $p = 0.129$ gemessen wurde, ziemlich weit vom Signifikanzlevel entfernt. Deshalb wird davon ausgegangen, dass zumindest bei der Variable «Effektivität» keine Störfaktoren auftraten.

5.1 Forschungsfrage 1: Kartentyp

Die erste Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit lautete:

«Inwiefern hat der Kartentyp und die darauf basierende Anwendung der graphischen Reduktionsmethode einen Einfluss auf die Einschätzung des Lawinenrisikos?»

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden die Unterschiede bezüglich der drei Aspekte Effektivität, Vertrauen und Effizienz im Zusammenhang mit den beiden Kartentypen untersucht. Diese Aspekte werden nachfolgend getrennt diskutiert.

5.1.1 Effektivität

Die Hypothese zur Untersuchung der Effektivität wurde in der Zielsetzung wie folgt formuliert.

1. Effektivität: Die Antwortgenauigkeit bei der Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» höher.

Damit die Hypothese mittels einer Varianzanalyse untersucht werden konnte, musste sie leicht angepasst werden. Die «ANOVA-konforme» Testhypothese lautete folgendermassen:

- H_0 : Der Kartentyp hat keinen Einfluss auf die mittlere Antwortgenauigkeit zur Einschätzung des Lawinenrisikos.

Die Hypothese konnte auf dem Signifikanzlevel von 0.05 abgelehnt werden ($F(1,17) = 5.390, p = 0.033 < 0.05$). Dies bedeutet, dass der Kartentyp einen Einfluss auf die Effektivität hatte. Die Einschätzung des Lawinenrisikos kann also mit der entwickelten Visualisierungsmethode zuverlässiger eingeschätzt werden als bei der traditionellen Anwendung der graphischen Reduktionsmethode. Diese Aussage kann als zuverlässig interpretiert werden, da die Signifikanz mit einem Wert von 0.033 relativ deutlich unterhalb von 0.05 zu liegen kam. Zudem war die Stichprobe mit 18 Probanden ziemlich klein, was das Auftreten von signifikanten Unterschieden eigentlich erschwerte (Field 2009).

5.1.2 Vertrauen

Die Hypothese zur Untersuchung des Vertrauens lautete gemäss Zielsetzung:

2. Vertrauen: Die Sicherheit der Kartennutzer bezüglich ihrer Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» grösser.

Auch hier wurde die Formulierung der Hypothese angepasst:

- H_0 : Der Kartentyp hat keinen Einfluss auf das Vertrauen der Probanden in ihre Einschätzung des Lawinenrisikos.

Die Testhypothese konnte auf dem Signifikanzniveau von 0.05 zurückgewiesen werden ($F(1,18) = 5.179, p = 0.035 < 0.05$). Das Vertrauen der Probanden in ihre Antwort war beim Kartenausschnitt «Risikozone» signifikant höher. Es muss aber beachtet werden, dass für die durchgeführte Varianzanalyse eigentlich intervallskalierte Daten benötigt werden. Dies ist bei der vorliegenden Variable nicht der Fall. Die Differenz der mittleren Antwortsicherheiten von 1.93 beim Kartentyp «Risikozone» und 2.19 beim Kartentyp «Hangneigung» ist sicher wenig aussagekräftig. Dennoch lässt sich aufgrund des Unterschiedes der absoluten Werte die Aussage machen, dass die Probanden beim Kartentyp «Risikozone» im Mittel etwas «sicherer als sicher» und beim Kartentyp «Hangneigung» etwas «weniger sicher als sicher» bei ihren Antworten waren.

5.1.3 Effizienz

Die dritte Hypothese zur Effizienz lautete gemäss Zielsetzung:

- 3. Effizienz: Die Bearbeitungsdauer für die Einschätzung des Lawinenrisikos ist mit dem Kartentyp «Risikozone» geringer.

Auf die Varianzanalyse angepasst wurde die folgende Testhypothese formuliert:

- H_0 : Der Kartentyp hat keinen Einfluss auf die mittlere Antwortdauer bei der Einschätzung des Lawinenrisikos.

Diese Testhypothese konnte denkbar knapp nicht falsifiziert werden ($F(1,18) = 4.415, p = 0.05$) – die Signifikanz lag exakt bei 0.05. Dieses Resultat mag auf den ersten Blick erstaunen, weil die Mittelwerte der Antwortdauer um beinahe 40 Sekunden voneinander abwichen. Der Grund für die fehlende Signifikanz dieses Unterschieds dürfte jedoch bei der Standardabweichung zu finden sein. Diese war beim Kartentyp «Risikozone» mit 83.8 deutlich höher als beim Kartentyp «Hangneigung» wo sie zwar auch noch verhältnismässig hoch, aber mit 57.9 doch deutlich tiefer als bei der neuen Visualisierungsmethode ausfiel. Die hohe Standardabweichung deutet darauf hin, dass die Integration der Informationen aus der graphischen Reduktionsmethode nicht von allen Probanden intuitiv erfasst wurde. Dies ist aber wiederum ein Zeichen dafür, dass das Experiment-Design und insbesondere die Information der Probanden vor der Befragung wie gewünscht ablief – sprich: es wurde nicht bereits vor dem Experiment zu viel verraten.

5.1.4 Rückschlüsse zur ersten Forschungsfrage

Die erste Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit kann folgendermassen beantwortet werden: Der Kartentyp wirkt sich in zweierlei Hinsicht positiv auf die Einschätzung des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode aus. Zum einen ist mit dem Kartentyp ‹Risikozone› die Effektivität bei der Einschätzung des Lawinenrisikos höher und zum anderen ist das Vertrauen der Kartennutzer in ihre Antwort höher, wenn sie die graphische Reduktionsmethode mittels des Kartentyps ‹Risikozone› anwenden. In anderen Worten: Die Probanden konnten mit der neuen Visualisierungsmethode die Schlüsselstellen präziser beurteilen und sie waren sich bei der Beurteilung auch sicherer.

Keine differenzierte Aussage kann zur Variable ‹Effizienz› gemacht werden. Bezüglich der Beantwortungsdauer konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Kartentypen ausgemacht werden. Dies ist aber im vorliegenden Kontext nicht weiter schlimm. Denn gemäss Munter (2003) darf die Entscheidung, ob eine Schlüsselstelle befahren werden kann oder nicht, nie unter Zeitdruck gefällt werden.

5.2 Forschungsfrage 2: Hintergrundwissen

Die zweite Forschungsfrage lautete:

«Welchen Einfluss hat die Erfahrung der Kartennutzer auf ihre Einschätzung des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode?»

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden die folgenden zwei Hypothesen aufgestellt:

1. Kartennutzung: Bei Kartennutzern mit geringerer Erfahrung im Umgang mit Karten sind grössere Fortschritte mit dem Kartentyp ‹Risikozone› zu beobachten als bei Nutzern mit mehr Erfahrung
2. Lawinenbeurteilung: Bei Kartennutzern mit geringerer Erfahrung in der Lawinenbeurteilung sind grössere Fortschritte mit dem Kartentyp ‹Risikozone› zu beobachten als bei Nutzern mit mehr Erfahrung.

Es konnten keine Unterschiede zwischen Personen mit mehr und solchen mit weniger Hintergrundwissen, sei es beim Umgang mit Karten oder bei der Erfahrung in der Lawinenbeurteilung, festgestellt werden. Die zweite Forschungsfrage kann deshalb nicht schlüssig beantwortet werden. Insbesondere traf die Annahme, dass weniger erfahrene Personen stärker von der neuen Visualisierungsmethode profitieren, als diejenigen, welche die traditionelle Anwendung bereits kannten, nicht zu.

6 FAZIT

6.1 Lawinenkunde und Kartendarstellung

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellte Visualisierung vereint mehrere lawinenrelevante Parameter. Sie basiert einerseits auf der Hangneigung und andererseits auf drei Informationen aus dem Lawinenbulletin des SLF: Der Lawinengefahrenstufe, der Höhenstufe besonders gefährdeter Lagen und der Exposition besonders kritischer Geländebereiche, kurz der Kernzone. Gefahrenstufe und Kernzone bilden zusammen die beiden obersten Stufen der Informationspyramide des Lawinenbulletins. Die vorliegende Visualisierung basiert somit auf dem «bedeutsamen und wohl am einfachsten zu beurteilenden Geländefaktor» (Schweizer 2006), der Hangneigung sowie auf den beiden wichtigsten Informationen aus dem Lawinenbulletin (SLF 2012 a).

6.1.1 Erkenntnisse

Die empirische Evaluation brachte erfreuliche Resultate zu Tage: Mit Hilfe der neuen Visualisierungsmethode konnte das Lawinenrisiko effektiver eingeschätzt werden. Auch war das Vertrauen der Probanden in ihre Antworten bei der Darstellung des Typs «Risikozone» signifikant höher als bei der ursprünglichen Methode zur Einschätzung des Lawinenrisikos gemäss graphischer Reduktionsmethode. Dies zeigt: Innerhalb der engen Systemgrenzen scheint die Visualisierung zu funktionieren.

Es stellt sich nun die Frage: Was geschieht, wenn diese Systemgrenzen erweitert werden? Die Bildung von Lawinen ist ein äusserst vielschichtiger und komplexer Prozess. Mit den vereinfachten Modellannahmen im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte das Lawinenproblem in keiner Weise trivialisiert werden. Vielmehr ging es darum, einige der zentralen lawinenbildenden Faktoren, die Hangneigung sowie die Exposition und Höhenstufe auf intuitiv verständliche Weise in Kartenform darzustellen. Die Erweiterung der Systemgrenze kann verschiedene Dimensionen umfassen. Einige davon werden im nachfolgenden Kapitel 6.3 beschrieben.

6.1.2 Kritische Reflexion

Die Berechnung der Risikozonen basiert auf den Angaben aus dem Lawinenbulletin. Diese werden jedoch für eine gesamte Region (meistens sind dies mindestens mehrere Bezirke) und nicht für einzelne Gebiete oder gar Hänge erstellt (Harvey et al. 2012). Es werden in dieser Visualisierung also Informationen, welche eigentlich für grössere Regionen gültig sind, auf einzelne Gebiete übertragen. Hier besteht eine grosse Unsicherheit bezüglich massstäblicher Validität der Daten.

Es muss allerdings festgehalten werden, dass bei der traditionellen Einschätzung des Lawinenrisikos mit Hilfe der Landeskarte 1:25 000 und der Graphischen Reduktionsmethode ebenfalls die Angaben aus dem Lawinenbulletin verwendet werden (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Die Unsicherheit bezüglich Validität wurde also nicht durch die vorliegende Methode hinzugefügt. Das Problem bestand vielmehr bereits bei der traditionellen Anwendungsvariante der graphischen Reduktionsmethode.

6.2 Empirische Evaluation

Der bedeutende amerikanische Mathematiker Richard Hamming wird in McCormick et al. (1987) folgendermassen zitiert: «The purpose of (scientific) computing is insight, not numbers.» Diese Zieldefinition lässt sich eins zu eins auf den Zweck von Visualisierungen räumlicher Sachverhalte übertragen. Im vorliegenden Kontext kommt dies wie folgt zur Umsetzung: Die Berechnung von verschiedenen geomorphometrischen Parametern innert kürzester Zeit ermöglicht die Darstellung des Lawinenrisikos in Karten – den einzelnen Nummern im Geländemodell wird also eine Bedeutung zugewiesen. Aber genügt dies bereits als Erkenntnisgewinn? Kann diese mathematische Zuweisung bereits als ‚insight‘ bezeichnet werden?

Im Kontext der empirischen Evaluation geographischer Informationsvisualisierungen kann diese Frage wohl nicht bejaht werden. Denn eine gelungene Kartendarstellung hat nur dann Ihren Zweck erfüllt, wenn sie vom Nutzer auch richtig gelesen und interpretiert werden kann. Im vorliegenden Kontext lautet die Frage also: Hilft die Visualisierung bei der Einschätzung des Lawinenrisikos? Diese Frage kann nur beantwortet werden, wenn die Visualisierung am Nutzer erprobt wird. Die Methoden der empirischen Evaluation liefern das optimale Werkzeug dazu.

6.2.1 Erkenntnisse

Die Stärke geographischer Visualisierungen liegen gemäss Dodge et al. (2008) darin, dass sie es ermöglichen, zuvor Unsichtbares sichtbar zu machen. Dieses hoch gesteckte Ziel wurde auch bei der Entwicklung der vorliegenden Visualisierungsmethode verfolgt. Das Unsichtbare war im vorliegenden Zusammenhang das Lawinenrisiko. Zwar konnte dieses schon bis anhin mittels verschiedener Hilfsmittel bestimmt werden. Bei der vorliegenden Visualisierungsmethode wurde nun aber der Versuch unternommen, die Informationen aus sämtlichen Hilfsmitteln (dem Hangneigungsmesser, dem Lawinenbulletin, der graphischen Reduktionsmethode und der Karte) in einer kombinierten, visuell ansprechenden und intuitiv verständlichen Form darzustellen. Die Entwicklung der Idee und die Umsetzung der Methode bildete den ersten Teil der vorliegenden Arbeit.

Erst in einem zweiten Schritt konnte jedoch überprüft werden, ob das zuvor Unsichtbare durch die entwickelte Visualisierungsform auch tatsächlich sichtbar gemacht werden konnte. Eine empirische Studie diente der Beantwortung dieser Frage. Die Resultate zeigten, dass der neu entwickelte Kartentyp eine verbesserte Einschätzung des Lawinenrisikos hinsichtlich der Antwortgenauigkeit und des Vertrauens in die Entscheidung ermöglichte. In diesem Sinn kann das Ziel, das Lawinenrisiko sichtbar zu machen als erreicht betrachtet werden.

6.3 Ausblick

Bei der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Visualisierungsmethode flossen Aspekte aus verschiedenen Teildisziplinen der Geographie wie der Geomorphometrie, der physischen Geographie und nicht zuletzt der geographischen Informationswissenschaft ein. Ausserdem wurden auch Erkenntnisse aus den Kognitionswissenschaften und der Psychologie eingebunden. Entsprechend zahlreich sind die Weiterentwicklungsmöglichkeiten für die vorliegende Darstellungsform. Nachfolgend werden einige Ansätze erläutert.

6.3.1 Visualisierung

Damit die erstellte Kartendarstellung in der Tourenplanung verwendet werden kann, muss sie auf den tagesaktuellen Informationen aus dem Lawinenbulletin beruhen. Hier bestünde eine mögliche Weiterentwicklung darin, einen dynamischen Kartenaufbau zu implementieren. Das Lawinenbulletin des SLF basiert seit Beginn der Wintersaison 2012 / 2013 auf einem elektronischen Satzkatalog, welcher auch die automatisierte Übersetzung in weitere Landessprachen ermöglicht. Eine dynamische Umsetzung der Visualisierungsmethode könnte mit diesem Satzkatalog verknüpft werden. So bestünde die Möglichkeit der vollautomatisierten Kartengenerierung.

Die Visualisierungsmethode kann in der im Rahmen der vorliegenden Arbeit beschriebenen Form nur für die zwei niedrigsten Lawinengefahrenstufen «mässig» und «gering» verwendet werden. Der Grund für diese Einschränkung ist, dass gemäss graphischer Reduktionsmethode ab Stufe erheblich nicht mehr nur die steilste Stelle im Bereich der Spur, sondern im ganzen Hang berücksichtigt werden muss (bei den Gefahrenstufen gross und sehr gross gilt es ausserdem auch noch die Auslaufbereiche bei der Bestimmung der steilsten Geländestelle miteinzubeziehen). Für die Berechnung von Hangbereichen existieren beispielsweise hydrologische Ansätze. Mit einer geeigneten Methode zur Bestimmung des gesamten Hanges für jede Stelle im Gelände könnte die Visualisierungsmethode auch auf die weiteren Gefahrenstufen adaptiert werden.

6.3.2 Evaluation

Bei der Umsetzung der Visualisierungsmethode wurden verschiedene Ansätze zum Beispiel aus dem Bereich «uncertainty mapping» oder der Farbwahrnehmung integriert. Diese gilt es, in einem weiteren Schritt ebenfalls zu untersuchen. Ansätze wären beispielsweise die Wirkungsweise des gewählten Farbschemas oder die Umsetzung der Darstellung von Informationsunsicherheiten.

LITERATUR

Gedruckte Quellen

BAG (Bundesamt für Gesundheit) (2010): Umgang mit Gefahren und Risiken. Factsheet. Bern: BAG.

BERTIN Jacques (1967): Sémiologie graphique. Les diagrammes – Les réseaux – Les cartes. 3. Auflage, Paris: Mouton.

BFU (Beratungsstelle für Unfallverhütung) (2010): Lawinengefahr. Das Risiko besser einschätzen. Bern: BFU.

BREWER Cynthia A., (1997): Spectral Schemes: Controversial Color Use on Maps. In: Cartography and Geographic Information Systems, Band 24, Nummer 4, S. 203–220.

BREWER Cynthia A. und MARLOW Ken A. (1993): Color representation of aspect and slope simultaneously. In: Proceedings of the 11th International Symposium on Computer-Assisted Cartography in Minneapolis, USA, S. 328–337.

BURROUGH Peter A. und MCDONNELL Rachael A. (1998): Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford: Oxford University Press.

BÜHLER Yves, CHRISTEN Marc, MARGRETH Stefan und BARTELT Perry (2010): RAMMS: Simulation und Visualisierung von Lawinen im dreidimensionalen alpinen Gelände. In: Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement, Band 108, Ausgabe 9/2010, S. 410–413. Scherz: SIGImedia.

DIETHELM Richard (2012): Schneesportler besser vor Lawinen warnen. In: Tages-Anzeiger der Stadt Zürich, 04.01.2013, S. 4.

DODGE Martin, MCDERBY Mary und TURNER Martin (2008): Geographic visualization. Concepts, Tools and Applications. Chichester: John Wiley & Sons.

- EGGENBERGER Vital (2008): Die Skitouren Nordbündens. Prättigau, Surselva, Rheinwald. Bern: SAC-Verlag.
- ELLSIEPEN Iris (2004): Methoden der effizienten Informationsübermittlung durch Bildschirmkarten. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- ETTER Hans-Jürg, MEISTER Roland und ATKINS Dale (2004): ICAR and its importance in avalanche rescue. In: Elder Kelly (Hrsg.): Proceedings of the International Snow Science Workshop 2004 in Jackson Hole, USA, S. 360–369.
- ETTER Hans-Jürg, ZWEIFEL Benjamin und DÜRR Lukas (2011): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2008/2009. Davos: SLF.
- FABRIKANT Sara Irina (2013): Vorlesungsunterlagen zum Modul GEO 454: Geographische Informationsvisualisierung. Vorlesung 4/2013: Representation & Symbolization, Geographisches Institut der Universität Zürich.
- FIELD Andy (2009): Discovering statistics using SPSS (and sex and drugs and rock 'n' roll). 3. Ausgabe. London: SAGE Publications.
- GARLANDINI Simone und FABRIKANT Sara Irina (2009): Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization. In: Hornsby Stewart K., Claramunt C., Denis M. und Ligozat G. (Hrsg.): Proceedings of the 9th Conference on Spatial Information Theory 2009 in Aber Wrac`h, France, S. 195–211. Berlin: Springer.
- GRUBER Urs und BARTELT Perry (2007): Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS. In: Environmental Modelling & Software, Nummer 22, S. 1472–1481.
- HORN Berthold K. P. (1981): Hill Shading and the Reflectance Map. In: Proceedings of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Band 69, Nummer 1, S. 13–47.
- HAKE Günter, GRÜNREICH Dietmar, MENG Liqiu (2002): Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen. 8. Auflage, Berlin: de Gruyter.
- HARROWER Mark A. und BREWER Cynthia A. (2003): ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Color Schemes for Maps. In: The Cartographic Journal, Band 40, Nr. 1, S. 27–37.
- HARVEY Stephan, RHYNER Hansueli und SCHWEIZER Jürg (2012): Lawinenkunde. Praxiswissen für Einsteiger und Profis zu Gefahren, Risiken und Strategien. München: Bruckmann Verlag.
- HARVEY Stephan und NIGG Paul (2009): Practical risk assessment and decision making in avalanche terrain. An overview of concepts and tools in Switzerland. In: Schweizer Jürg & van Herwijnen Alec (Hrsg.): Proceedings of the International Snow Science Workshop 2009 in Davos, Switzerland, S. 654–658.

- HARVEY Stephan (2008): Mustererkennung in der Lawinenkunde. In: Sicherheit im Bergland. Jahrbuch des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit, Ausgabe 2008, S. 88–94. Innsbruck: Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit.
- HARVEY Stephan und ZWEIFEL Benjamin (2008): New trends of recreational avalanche accidents in Switzerland. In: Campbell C., Conger S. & Haegeli P. (Hrsg.): Proceedings of the International Snow Science Workshop 2008 in Whistler, Canada, S. 900–906.
- HEBELER Felix und PURVES Ross Stuart (2009): The influence of elevation uncertainty on derivation of topographic indices. In: Geomorphology, Band 111, Ausgabe 1, S. 4–16.
- HURNI Lorenz: Anwendung kartographischer Medien im Rahmen aktueller I+K-Technologien. In: Kartographische Nachrichten, Ausgabe 5/2005, S. 425–432.
- JENNY Bernhard und KELSO Nathaniel Vaughn (2007): Color Design for the Color Vision Impaired. In: Cartographic Perspectives, Nummer 58, S. 61–67.
- KAT (Kern-Ausbildungsteam «Lawinenprävention Schneesport») (2012): Achtung Lawinen. Merkblatt, 6. Ausgabe. Davos: SLF.
- KUNZ Melanie und Hurni Lorenz (2008): Hazard Maps in Switzerland. State-of-the-Art and Potential Improvements. In: Hurni Lorenz Hurni & Kriz Karel (Hrsg.): Mountain Mapping and Visualisation, Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop in Lenk, Switzerland, S. 133–138.
- MACEACHREN Alan M., ROTH Robert E., O'BRIEN James, LI Bonan, SWINGLEY Derek und GAHEGAN Mark (2012): Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. In: IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, Band 18, Nummer 12, S. 2496–2505.
- MACEACHREN Alan M., ROBINSON Anthony, HOPPER Susan, GARDNER Steven, MURRAY Robert, GAHEGAN Mark und HETZLER Elisabeth (2005): Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. In: Cartography and Geographic Information Science, Band 32, Nummer 3, S. 139–160.
- MACEACHREN Alan M. (1995): How Maps Work. Representation, Visualization, and Design. New York: Guilford.
- MAGGIONI Margherita und GRUBER Urs (2003): The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. In: Cold Regions Science and Technology, Band 37, S. 407–419.
- MARTIN David W. (2008): Doing Psychology Experiments. 7. Ausgabe. Belmont: Wadsworth.
- MCCLUNG David M. (2001): Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. In: Annals of Glaciology, Band 32, S. 223–229.

- MCCORMICK Bruce H., DEFANTI Thomas A. und BROWN Maxine D. (1987): Visualization in Scientific Computing (ViSC): Definition, Domain and Recommendations, Computer Graphics, Band 21, Nummer 6. New York: ACM SIGGRAPH.
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) (2004): Comitato paritetico d'intesa, parte quarta: Pericolosità e rischio idrogeologici. Trento: MATTM.
- MORRISON Joel L. (1974): A Theoretical Framework for Cartographic Generalization with Emphasis on the Process of Symbolization. In: International Yearbook of Cartography, Band 14, S. 115–127.
- MUNTER Werner (2007): Logik des Gelingens. «Goldene Regel» und «Bierdeckel», einfache Denk- und Handlungsmuster in der strategischen Lawinenkunde. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 4/2007, S. 52 - 57. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
- MUNTER Werner (2003): 3×3 Lawinen. Risikomanagement im Wintersport. Garmisch-Partenkirchen: Verlag Pohl & Schellhammer.
- MUNTER Werner (2001): Reduktionsmethode. Vom Minutenentscheid zum synthetischen Blick. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 4/2001, S. 35–36. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
- PIKE Richard J., EVANS Ian S. und HENGL Tomislav (2009): Geomorphometry: A Brief Guide. In: Hengl Tomislav (Hrsg.): Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, S. 3–30. Amsterdam: Elsevier.
- PIKE Richard J. (2000): Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. In: Progress in Physical Geography, Band 24, Nummer 1, S. 1–20.
- RASEMANN Stefan, SCHMIDT Jochen, SCHROTT Lothar und DIKAU Richard (2004): Geomorphometry in mountain terrain. In: Bishop Michael P., Shroder John F. (Hrsg.): Geographic Information Science in Mountain Geomorphology, S. 101–145. Heidelberg: Springer.
- SCHWEIZER Jürg (2006): Hangneigung. Eine Schlüsselgröße zur Verminderung des Lawinenrisikos. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 4/2006, S. 42–45. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
- SCHWEIZER Jürg (2002): Skier-triggered avalanches: observations and concepts. In: Kristensen K. (Hrsg.): Proceedings Snoskred og friluftsliv, Stryn, Norway, S. 52–55.
- SCHWEIZER Jürg (2000 b): Des Schnees Gespür für Ski und Board. Wie lösen Schifahrer und Snowboarder Schneebretter aus?. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 4/2000, S. 31–35. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.

- SCHWEIZER Jürg (2000 a): Die typische «Schifahrerlawine». Untersuchung zu den Charakteristiken von Schifahrerlawinen. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 1 / 2000, S. 32–36. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
- SCHWEIZER Jürg und LÜTSCHG Martina (2000): Measurements of human-triggered avalanches from the Swiss Alps. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop in Big Sky, USA, S. 200–207.
- SCHNEEBELI Martin, LATERNSENER Martin, FÖHN Paul, AMMANN Walter (1998): Wechselwirkungen zwischen Klima, Lawinen und technischen Massnahmen. Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes «Klimaänderungen und Naturkatastrophen», NFP 31. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- SKUPIN André und BUTTENFIELD Barbara P. (1996): Spatial Metaphors for Visualizing Very Large Data Archives. In: Proceedings GIS/LIS 1996 in Denver, USA, S. 607–617.
- SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos) (2012 a): Lawinenbulletins und weitere Produkte. Interpretationshilfe, Ausgabe 2012. Davos: SLF.
- SLOCUM Terry A., MCMASTER Robert B., KESSLER Fritz C. und HOWARD Hugh H. (2010): Thematic Cartography and Geovisualization. 3. Auflage, Internationale Ausgabe, Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- SWISSTOPO (Bundesamt für Landestopographie) (2005 a): DOM. Das hochpräzise und informationsreiche Oberflächenmodell. Wabern: Swisstopo.
- SWISSTOPO (Bundesamt für Landestopographie) (2005 b): DHM25. Das digitale Höhenmodell der Schweiz. Wabern: Swisstopo.
- SWISSTOPO (Bundesamt für Landestopographie) (2012): swissALTI3D. Ausgabebericht 2012. Wabern: Swisstopo.
- TECHEL Frank, PIELMEIER Christine (2013): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2010 / 2011. Davos: SLF.
- TSCHIRKY Frank, BRABEC Bernhard und KERN Martin (2000): Lawinenunfälle in den Schweizer Alpen – Eine statistische Zusammenstellung mit den Schwerpunkten Verschüttung, Rettungsmethoden und Rettungsgeräte. In: Durch Lawinen verursachte Unfälle im Gebiet der Schweizer Alpen, Vorabdruck aus dem Winterbericht Nr. 63 1998 / 1999, S. 125–136. Davos: SLF.
- ULBIG Ellen, HERTEL Rolf F. und BÖL Gaby-Fleur (2009): Evaluierung der Kommunikation über die Unterschiede zwischen „risk“ und „hazard“. Abschlussbericht. Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung.
- UTELLI Hans-Heini und EISENHUT Andreas (2012): GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe. Bern: BFU.

VONTOBEL Irene (2011): Geländeanalysen von Unfalllawinen. Masterarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich.

WÄGER Markus (2010): Grafik und Gestaltung. Das umfassende Handbuch. Bonn: Galileo Press.

WALTER Monique und BRÜGGER Othmar (2012): Lawinenunfälle beim Touren- und Variantenfahren. Unfall-, Risiko- und Interventionsanalyse. Bern: BFU.

WASSERMANN Emanuel und WICKY Michael (2004): Masterplan. Mit der Tourenplanung in die Zukunft schauen. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 1/2004, S. 58–61. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.

WICKY Michael (1999): Reduktionsmethode – ein neues Werkzeug zur Beurteilung der Lawinengefahr. In: Die Alpen: Zeitschrift des Schweizer Alpen-Club, Ausgabe 2/1999, o. S., Bern: Stämpfli.

WINKLER Kurt und TECHEL Frank (2009): Stabilitätstests im Vergleich. In: Bergundsteigen. Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport, Ausgabe 4/2009, S. 66–73. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.

Webseiten

ARCGIS Ressource Center (2011 a): How Slope works. http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Slope_works/009z000000vz000000/ (Stand: 29.06.2011, Zugriff: 07.04.2013).

ARCGIS Ressource Center (2011 b): How Aspect works. http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Aspect_works/009z000000vp000000/ (Stand: 29.06.2011, Zugriff: 07.04.2013).

ARCGIS Ressource Center (2011 c): How Curvature works. http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Curvature_works/009z000000vs000000/ (Stand: 29.06.2011, Zugriff: 07.04.2013).

SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos) (2013): Wissenswertes über Lawinen. Lawinenarten. http://www.slf.ch/praevention/ueberlawinen/lawinenarten/sneebrett/index_DE (Stand: 0. J., Zugriff: 05.02.2013).

SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos) (2012 b): Langjährige Statistiken. Lawinenopfer seit 1936. http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/lawinenstatistik/index_DE (Stand: 01.10.2012, Zugriff: 17.04.2013).

TRAUTWEIN Friedjoff, FISLER Joël, HUGENTOBLE Marco, LÜSCHER Patrick, WEIBEL Robert und HÄGI Suzette (2011): Geländeanalyse. Unterlagen zur GITTA-Lektion [Spatial Modeling](http://www.gitta.info/website/en/html/modules_overview.html). Beugsadresse: http://www.gitta.info/website/en/html/modules_overview.html (Stand 31.05.2011, Zugriff: 31.03.2013).

WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (2012): Das Lawinenbulletin im neuen Kleid. http://www.wsl.ch/medien/news/neueslawinenbulletin/index_DE (Stand: 30.11.2012, Zugriff: 25.02.2013).

WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (2010): Experiments to fracture propagation and avalanche release. http://www.wsl.ch/fe/warnung/projekte/bruchausbreitung/index_EN (Stand: 03.08.2010, Zugriff: 25.02.2013).

ANHANG

Inhalt

A	Unterlagen zum Experiment.....	88
B	Fragebogen.....	96
C	Kartenbooklet.....	108
D	Graphische Auswertung.....	112
E	Auswertung SPSS.....	117

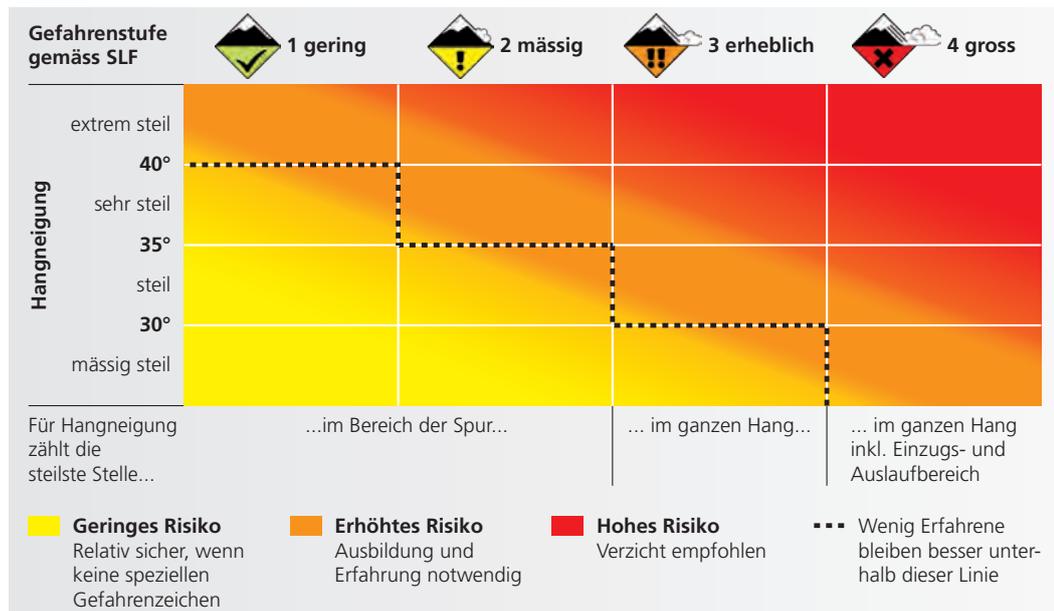
A Unterlagen zum Experiment

Anhang A1: Hangneigungsmesser





GRAPHISCHE REDUKTIONSMETHODE



Quelle: Eigene Darstellung nach bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung (2010).

Anwendung der Graphischen Reduktionsmethode (GRM) in diesem Experiment

- Gefahrenstufe** gemäss Lawinenbulletin gibt Spalte in GRM vor
- Hangneigung** an Schlüsselstelle messen und entsprechende Zeile in GRM identifizieren
- Kernzone** beachten:
 - Exposition und Höhenlage innerhalb Kernzone: Gefahrenstufe gemäss Bulletin ist gültig
 - Exposition und/oder Höhenlage ausserhalb Kernzone: Gefahrenstufe um eine Stufe reduzieren
- Risikobereich** gemäss Graphischer Reduktionsmethode identifizieren:
 - Geringes Risiko (gelb) oder Hang unterhalb 30° Neigung: Schlüsselstelle kann befahren werden
 - Erhöhtes (orange) oder hohes Risiko (rot): Schlüsselstelle darf nicht befahren werden



**Universität
Zürich** UZH

Geographisches Institut

Universität Zürich
Geographisches Institut
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich
Telefon +41 44 635 51 11
Telefax +41 44 635 68 48
www.geo.uzh.ch

Teilnehmerinformation und Einwilligungsformular

10. April 2013

Empirische Evaluation von Visualisierungsmethoden zur Lawinenbeurteilung

Zweck der Studie

Sie sind eingeladen, an einer Studie über die Evaluation verschiedener Kartentypen teilzunehmen. Dabei sollen Informationen über das Vorgehen zur Lawinenbeurteilung aufgrund zweier Visualisierungsmethoden gewonnen werden.

Ablauf der Studie und damit verbundene Risiken

Falls Sie sich entscheiden, an der Studie teilzunehmen, werden Sie gebeten, eine Online-Umfrage am Computer zu lösen. Dabei werden die benötigte Antwortzeit pro Aufgabe sowie die Richtigkeit der Antworten aufgezeichnet.

Der Versuch dauert maximal 30 Minuten und beinhaltet keinerlei Risiken für Sie.

Vertraulichkeit der Daten

Jegliche Information, die während der Studie in Verbindung mit Ihnen gebracht werden kann, wird vertraulich behandelt und nur mit Ihrer ausdrücklichen Erlaubnis an Dritte weitergegeben. Mit Ihrer Unterschrift erlauben Sie mir, die Ergebnisse des Versuchs mehrmals zu publizieren. Dabei werden keinerlei Informationen veröffentlicht, die es ermöglichen, Sie zu identifizieren.

Abfindung

Als kleine Entschädigung für die Teilnahme wird ein Gutschein im Wert von CHF 5.- abgegeben. Der Gutschein ist in der Mensa und in der Cafeteria der Universität Irchel gültig.

Bekanntgabe der Ergebnisse

Wenn Sie über die Ergebnisse der Studie auf dem Laufenden gehalten werden möchten, bitte ich Sie, mir Ihre Anschrift zu hinterlassen. Eine Kopie der Publikation wird Ihnen daraufhin zugestellt.

Einwilligung

Ihre Entscheidung, an der Studie teilzunehmen oder nicht, wird etwaige zukünftige Beziehungen mit der Universität Zürich nicht beeinträchtigen. Entscheiden Sie sich dafür, an der Studie teilzunehmen, steht es Ihnen jederzeit frei, die Teilnahme ohne Begründung abzubrechen.

Sollten Sie Fragen haben, zögern Sie bitte nicht, diese vor dem Experiment zu stellen. Sollten zu einem späteren Zeitpunkt Fragen aufkommen, werde ich (Adrian Streit, adrian.streit@uzh.ch) diese gerne beantworten.

Sie erhalten eine Kopie dieses Dokuments.



**Universität
Zürich** UZH

Geographisches Institut

Bitte geben Sie hier die Nummer auf Ihrem
Kartenbooklet an:

.....

EINWILLIGUNGSFORMULAR

Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, oben stehende Informationen gelesen und verstanden zu haben und willigen ein, unter den dort beschriebenen Bedingungen am Experiment teilzunehmen.

.....

Unterschrift des Teilnehmenden

.....

Unterschrift des Experimentleiters

.....

Vor- und Nachname in Blockschrift

Adrian Streit

.....

Vor- und Nachname in Blockschrift

.....

Ort, Datum

WIDERRUF DER EINWILLIGUNG

Hiermit möchte ich meine Einwilligung, an der oben beschriebenen Studie teilzunehmen, widerrufen.

.....

Unterschrift

.....

Ort, Datum

.....

Vor- und Nachname in Blockschrift

Mit dem Widerruf der Einwilligung beeinträchtigen Sie in keiner Weise Ihre Beziehungen mit der Universität Zürich. Der Widerruf kann jederzeit und ohne Angaben von Gründen beantragt werden.

Den Widerruf der Einwilligung bitte an *Adrian Streit, Steinhaldenstrasse 44, 8002 Zürich* senden.

Anhang A5: Präsentation - Titelfolie

Lawinenkunde	Bulletin	GRM	Karten	Hinweise	
--------------	----------	-----	--------	----------	--

Lawinenbeurteilung mittels Karten

Evaluation von Visualisierungsmethoden

Dauer des Experiments: ca. 30 Minuten (max.)

Betreuung der Arbeit: Prof. Dr. Sara I. Fabrikant, Prof. Dr. Ross S. Purves

GEO 511: Masterarbeit	2013	Adrian Streit	07.04.2013
-----------------------	------	---------------	------------

Anhang A6: Präsentation - Folie 1

Lawinenkunde	Bulletin	GRM	Karten	Hinweise	1
--------------	----------	-----	--------	----------	---

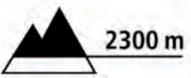
Lawinenbeurteilung

- Etabliertes Verfahren in der Schweiz: Beurteilung auf 3 Ebenen
 - Regionale Ebene: Tourenplanung zu Hause
 - Entscheidungshilfen: - Lawinenbulletin
 - Graphische Reduktionsmethode
 - Karten
 - Lokale Ebene: Routenwahl vor Ort im Gelände
 - Zonale Ebene: Entscheidung „go / no go“ im Einzelhang

GEO 511: Masterarbeit	2013	Adrian Streit	07.04.2013
-----------------------	------	---------------	------------

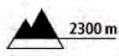
Lawinenbulletin

Zentrale Elemente des Lawinenbulletins:

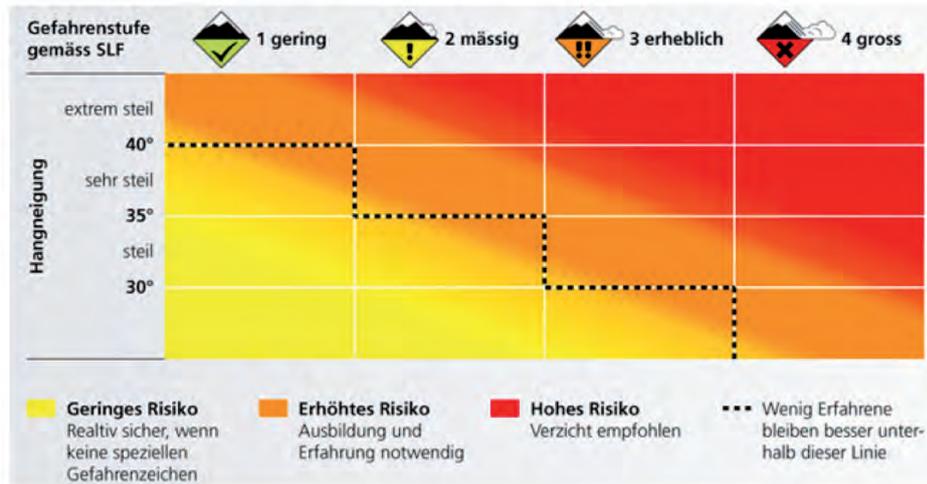
Gefahrenstufe		Kernzone	
		Exposition: 	Höhenlage: 
1 MÄSSIG	2 GERING		
			
3 ERHEBLICH	4 GROSS 5 SEHR GROSS		

Graphische Reduktionsmethode: Grundlagen

- Einfacher Risiko-Check basierend auf 4 Faktoren:

- Gefahrenstufe 
- Hangneigung 
- Exposition 
- Höhenstufe 

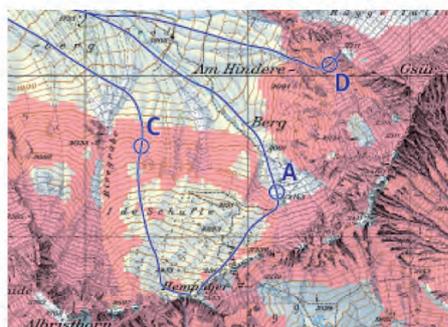
Graphische Reduktionsmethode: Anwendung



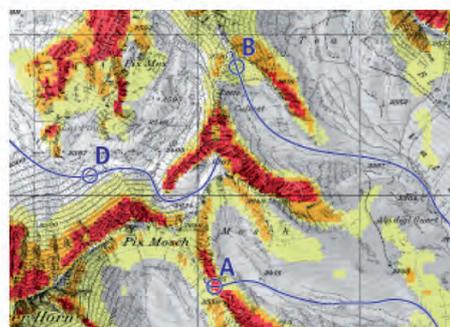
Karte

2 Kartentypen

Karte mit Hängen > 30° Neigung:



In Karte integrierte GRM:



Lawinenkunde	Bulletin	GRM	Karten	Hinweise	6
--------------	----------	-----	--------	----------	---

Hinweise

- Hangneigung in der Karte messen:
 - rechtwinklige Distanz (= kleinster Abstand) zwischen Höhenlinien
- Frage: Kann Schlüsselstelle befahren werden?
 - Im Prinzip ist auf Stufe Planung keine Antwort möglich... (zahlreiche weitere Faktoren und Beurteilungsebenen)
 - Vereinfachtes Modell -> Visualisierung steht im Zentrum
- Bitte immer den Kartenausschnitt gemäss Fragebogen verwenden

GEO 511: Masterarbeit	2013	Adrian Streit	07.04.2013
-----------------------	------	---------------	------------

Lawinenkunde	Bulletin	GRM	Karten	Hinweise	7
--------------	----------	-----	--------	----------	---

www.onlineumfragen.com/login.cfm?umfrage=42676

www.tinyurl.com/lawinenumfrage



Quelle: eigene Aufnahme, Winter 2009

GEO 511: Masterarbeit	2013	Adrian Streit	07.04.2013
-----------------------	------	---------------	------------

B Fragebogen

Anhang B1: Teil I - Allgemeine Fragen: Fragen 1 bis 3

Vorwort

Lawinenbeurteilung mittels Karten

Sie nehmen an einer Studie über die Evaluation verschiedener Kartentypen teil. Dabei sollen Informationen über das Vorgehen zur Lawinenbeurteilung aufgrund zweier Visualisierungsmethoden gewonnen werden. Ich danke Ihnen bereits jetzt für die Teilnahme und wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Beantworten der Fragen...

Dauer
30 min

Autor
Adrian Streit

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 1

Bitte geben Sie die Nummer auf der Vorderseite ihres Kartenbooklets an:

Teil I: Allgemeine Fragen

Hinweis

Als erstes folgen einige Fragen zu Ihrer Person...

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 2

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an...

- männlich
 weiblich
 Keine Angabe

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 3

In welchem Jahr sind Sie geboren?
Bitte geben Sie eine 4-stellige Zahl ein...

- Keine Angabe

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 4

Was ist Ihre Tätigkeit / Ihr Beruf?

Mehrfachantwort möglich - Maximal 3 Antworten

- In Ausbildung (SchülerIn/StudentIn/Lehre)
- Vollzeit beschäftigt
- Teilzeit beschäftigt
- Auf Arbeitssuche
- Hausfrau / Hausmann
- Rentner / Rentnerin
- Erwerbsunfähig
- Erwerbsuntätig

- Keine Angabe

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 5

In welchem Studienjahr befinden Sie sich?

- 1. Jahr
- 2. Jahr
- 3. Jahr
- 4. Jahr
- 5. Jahr
- 6. Jahr
- 7. Jahr
- Ich habe das Studium bereits abgeschlossen
- Ich habe kein Studium absolviert

- Keine Angabe

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 6

Was ist Ihr letzter Ausbildungsabschluss?

- Primarschule
- Sekundarschule
- Mittelschule (Gymnasium, Kantonsschule)
- Berufsfachschule / Berufsschule mit Abschluss oder Diplom
- Fachhochschule
- Universität
- Anderes:

- Keine Angabe

Teil I: Allgemeine Fragen

Frage 7

Wurde bei Ihnen von professioneller Seite eine Farbsehschwäche diagnostiziert?

- Ja
- Nein

- Keine Angabe

Teil II: Erfahrung

Hinweis

Bei den nächsten Fragen geht es um Ihr Hintergrundwissen im Umgang mit Karten und Ihre Erfahrung in der Lawinenbeurteilung...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 1

Wie ist Ihr Ausbildungshintergrund?

- Geographisch
- Nicht geographisch

- Keine Angabe

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 2

Wie würden Sie Ihre Fähigkeiten im Kartenlesen beurteilen?

- Gut
- Überdurchschnittlich
- Durchschnittlich
- Unterdurchschnittlich
- Bescheiden

- Ich weiss es nicht...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 3

Wie häufig benutzen Sie Karten im Alltag?

- Täglich
- Mehrmals in der Woche
- Einmal pro Woche
- Mehrmals im Monat
- Einmal pro Monat
- Mehrmals im Jahr
- Einmal im Jahr oder seltener
- Gar nie

- Ich weiss es nicht...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 4

Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse in der Lawinenbeurteilung ein?

- Gut
- Überdurchschnittlich
- Durchschnittlich
- Unterdurchschnittlich
- Bescheiden

- Ich weiss es nicht...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 5

Wie häufig unternehmen Sie während der Wintersaison Ski- oder Snowboardtouren?

- Mehrmals pro Woche
- Einmal pro Woche
- Mehrmals im Monat
- Einmal pro Monat
- Mehrmals in einer Wintersaison
- Einmal pro Wintersaison oder seltener
- Gar nie

- Ich weiss es nicht...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 6

Wie häufig nehmen Sie an professionell geleiteten (durch Bergführer, Lawinenexperte etc.) Ski- oder Snowboardtouren teil?

- Mehrmals pro Woche
- Einmal pro Woche
- Mehrmals im Monat
- Einmal pro Monat
- Mehrmals in einer Wintersaison
- Einmal pro Wintersaison oder seltener
- Gar nie

- Ich weiss es nicht...

Teil II: Erfahrung

Hintergrundwissen - Frage 7

Planen Sie selbständig Ski- oder Snowboardtouren?

- Regelmässig
- Selten
- Nie

- Keine Angabe

Teil III: Testkarte

Hinweis

KARTEN- AUSSCHNITT #0

Bitte nehmen Sie nun Ihr Kartenbooklet und betrachten Sie den Kartenausschnitt #0...

Teil III: Testkarte

KARTENAUSCHNITT #0 - Frage 1

Hinweis: Sämtliche Kartenausschnitte in diesem Experiment sind nach Norden ausgerichtet. Welche Exposition weist der Hang an Punkt A auf?

- Norden
- Osten
- Süden
- Westen

- Ich weiss es nicht...

Teil III: Testkarte

KARTENAUSCHNITT #0 - Frage 2

Hinweis: Benutzen Sie den Hangneigungsmesser, um die Steilheit zu bestimmen. Wie steil ist der Hang an Punkt B?

- unter 20°
- 20° - 25°
- 25° - 30° (mässig steil)
- 30° - 35° (steil)
- 35° - 40° (sehr steil)
- über 40° (extrem steil)

- Ich weiss es nicht...

Teil III: Testkarte

KARTENAUSCHNITT #0 - Frage 3

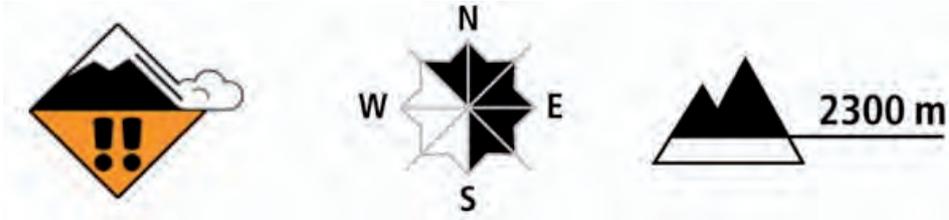
Hinweis: Die Äquidistanz der Höhenkurven beträgt 20 Meter. Auf welcher Höhenlage liegt Punkt C?

- 1940 Meter über Meer
- 2280 Meter über Meer
- 2320 Meter über Meer
- 2400 Meter über Meer

- Ich weiss es nicht...

Teil III: Testkarte

GRAPHISCHE REDUKTIONSMETHODE - Frage 1



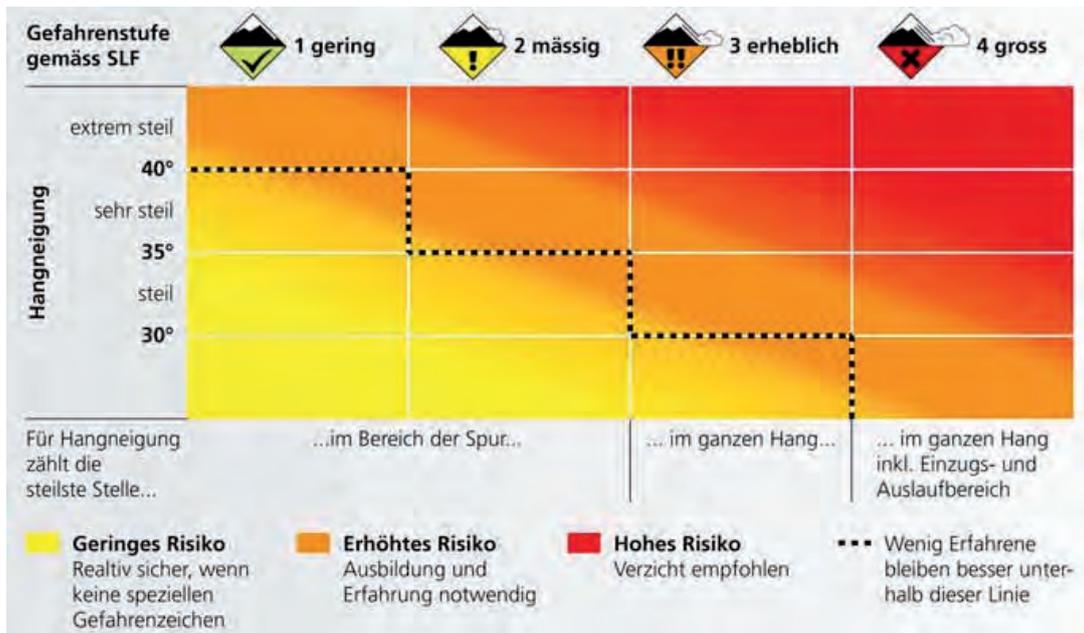
Stellen Sie sich vor, Sie planen eine Skitour...

Gemäss Lawinenbulletin liegt folgende Situation vor:

Die Gefahrenstufe ist 3 - erheblich und die gefährdeten Hänge (Kernzone!) befinden sich in den Expositionen Nordwest über Ost bis Süd oberhalb von 2300 Metern (siehe oben).

Die Skitour soll durch einen Hang mit einer maximalen Steilheit von 35 - 40° Neigung gehen. Die Exposition des Hangs ist Südwesten und die Höhenlage zwischen 2500 und 2800 m.ü.M.

Frage: In welcher Risikozone gemäss Graphischer Reduktionsmethode liegt die beschriebene Stelle? Bitte klicken Sie direkt auf das Bild unten...



Ich weiss es nicht...

Teil IV: Visualisierung

Hinweis

KARTEN- AUSSCHNITT #1

Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #1...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #1 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #1 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Ich weiss es nicht...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #1 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
- sicher
- so-so lala
- unsicher
- sehr unsicher

- Ich weiss es nicht...

Teil IV: Visualisierung

Hinweis



Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #2...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #2 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #2 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Weiss nicht/Keine Angabe

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #2 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
- sicher
- so-so lala
- unsicher
- sehr unsicher

- Ich weiss es nicht...

Teil IV: Visualisierung

Hinweis

KARTEN- AUSSCHNITT #3

Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #3...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #3 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #3 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Weiss nicht/Keine Angabe

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #3 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
 - sicher
 - so-so lala
 - unsicher
 - sehr unsicher

 - Ich weiss es nicht...
-

Teil IV: Visualisierung

Hinweis

KARTEN- AUSSCHNITT #4

Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #4...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #4 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #4 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Weiss nicht/Keine Angabe

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #4 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
 - sicher
 - so-so lala
 - unsicher
 - sehr unsicher

 - Ich weiss es nicht...
-

Teil IV: Visualisierung

Hinweis

KARTEN- AUSSCHNITT #5

Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #5...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #5 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #5 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Weiss nicht/Keine Angabe

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSCHNITT #5 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
- sicher
- so-so lala
- unsicher
- sehr unsicher

- Ich weiss es nicht...

Teil IV: Visualisierung

Hinweis



Bitte blättern Sie jetzt eine Seite weiter in Ihrem Kartenbooklet zum Kartenausschnitt #6...

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #6 - Frage 1

Betrachten Sie die 4 Schlüsselstellen (Punkte A bis D) im Kartenausschnitt #6 Ihres Booklets. Welche Schlüsselstelle(n) können gemäss Graphischer Reduktionsmethode befahren werden?

Mehrfachantwort möglich

- A
- B
- C
- D
- Keine

- Weiss nicht/Keine Angabe

Teil IV: Visualisierung

KARTENAUSSCHNITT #6 - Frage 2

Wie sicher waren Sie sich bei der Beantwortung der vorhergehenden Frage?

- sehr sicher
- sicher
- so so lala
- unsicher
- sehr unsicher

- Ich weiss es nicht...

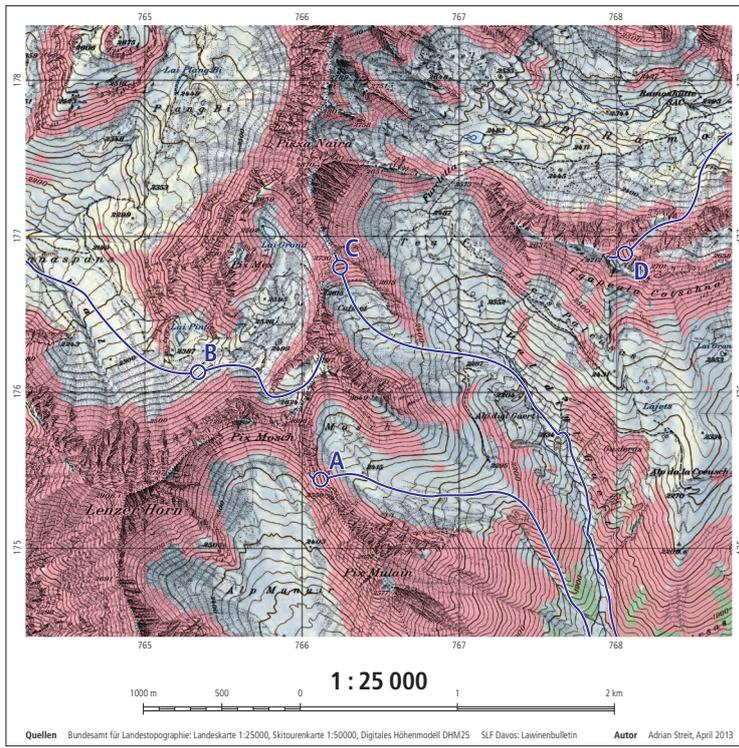
Danke!

Lawinenbeurteilung mittels Karten

Vielen Dank für die Teilnahme an meinem Experiment.

Autor

Anhang C3: Kartenausschnitt #1 - Typ: Hangneigung, Ausschnitt: Lenzer Horn



KARTEN-AUSSCHNITT #1

Hangneigung

- flach bis mässig steil
Hänge mit einer Neigung von weniger als 30° sind nicht eingefärbt
- steil bis extrem steil
Hänge ab 30° Neigung

Gefahrenstufe

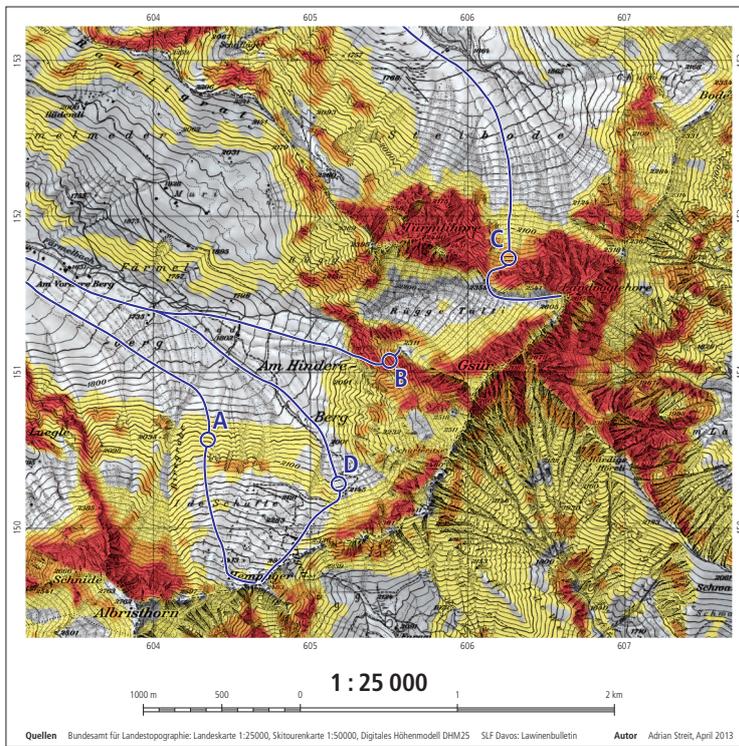


Kernzone



Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Südwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2200 Metern

Anhang C4: Kartenausschnitt #2 - Typ: Risikozone, Ausschnitt: Gsür



KARTEN-AUSSCHNITT #2

Lawinenrisiko

- Geringes Risiko
Relativ sicher, wenn keine speziellen Gefahrenzeichen
- Erhöhtes Risiko
Ausbildung und Erfahrung notwendig
- Hohes Risiko
Verzicht empfohlen!

Gefahrenstufe

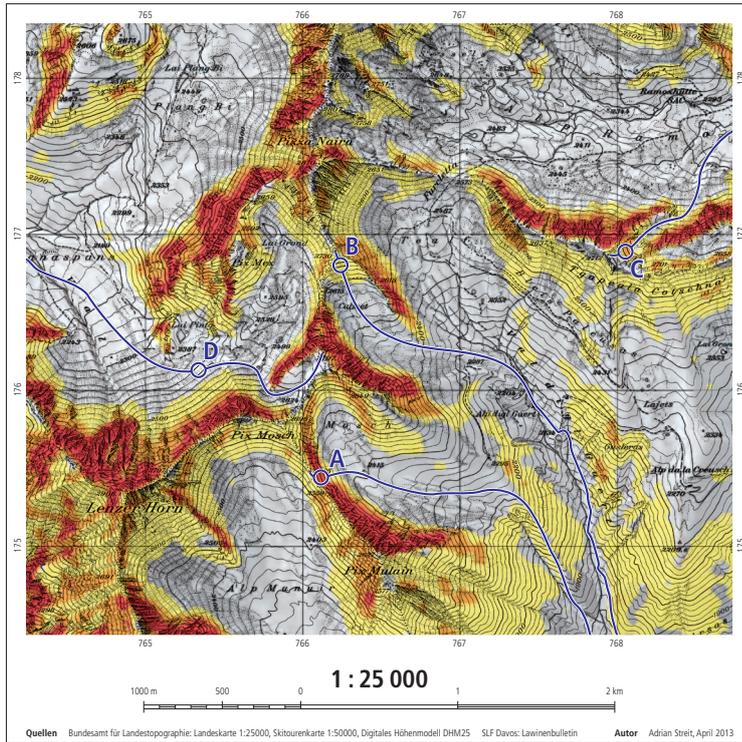


Kernzone



Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2100 Metern

Anhang C5: Kartenausschnitt #3 - Typ: Risikozone, Ausschnitt: Lenzer Horn



KARTEN-AUSSCHNITT #3

Lawinenrisiko

- Geringes Risiko**
Relativ sicher, wenn keine speziellen Gefahrenzeichen
- Erhöhtes Risiko**
Ausbildung und Erfahrung notwendig
- Hohes Risiko**
Verzicht empfohlen!

Gefahrenstufe

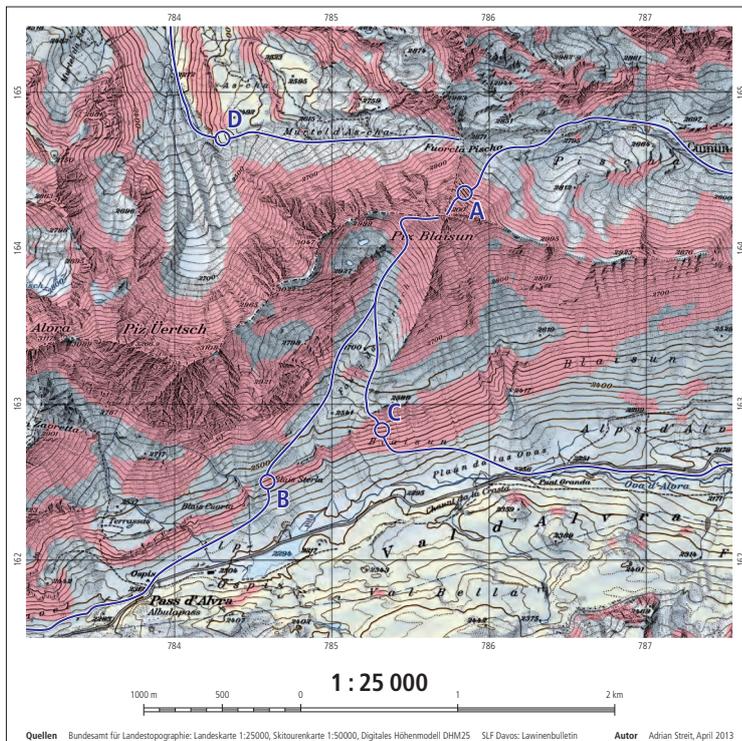


Kernzone



Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Südwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2200 Metern

Anhang C6: Kartenausschnitt #4 - Typ: Hangneigung, Ausschnitt: Piz Blaisun



KARTEN-AUSSCHNITT #4

Hangneigung

- flach bis mässig steil**
Hänge mit einer Neigung von weniger als 30° sind nicht eingefärbt
- steil bis extrem steil**
Hänge ab 30° Neigung

Gefahrenstufe

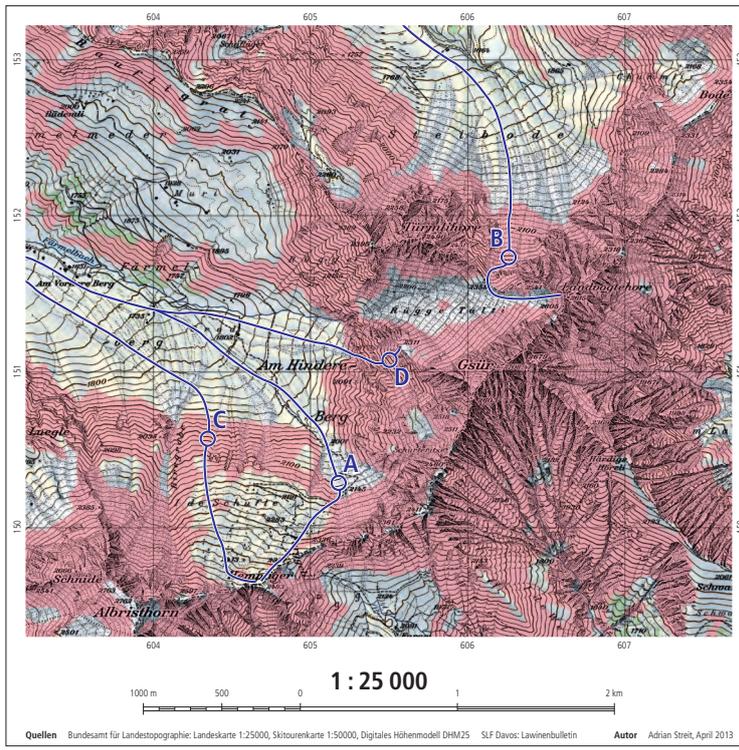


Kernzone



Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Ost bis Süd oberhalb von rund 2300 Metern

Anhang C7: Kartenausschnitt #5 - Typ: Hangneigung, Ausschnitt: Gsür



KARTEN-AUSSCHNITT #5

Hangneigung

- flach bis mässig steil
Hänge mit einer Neigung von weniger als 30° sind nicht eingefärbt
- steil bis extrem steil
Hänge ab 30° Neigung

Gefahrenstufe

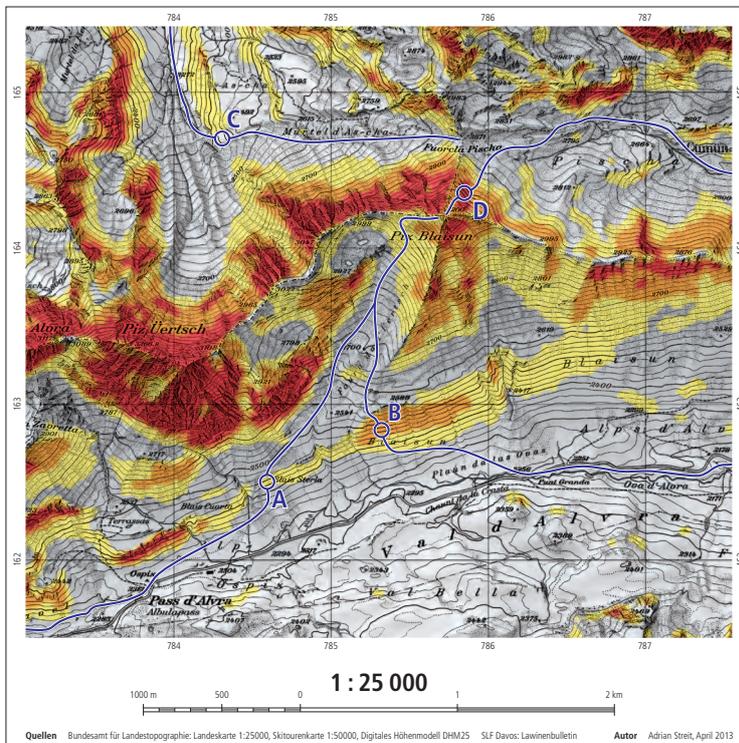


Kernzone



Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Nord bis Ost oberhalb von rund 2100 Metern

Anhang C8: Kartenausschnitt #6 - Typ: Risikozone, Ausschnitt: Piz Blaisun



KARTEN-AUSSCHNITT #6

Lawinenrisiko

- Geringes Risiko
Relativ sicher, wenn keine speziellen Gefahrenzeichen
- Erhöhtes Risiko
Ausbildung und Erfahrung notwendig
- Hohes Risiko
Verzicht empfohlen!

Gefahrenstufe



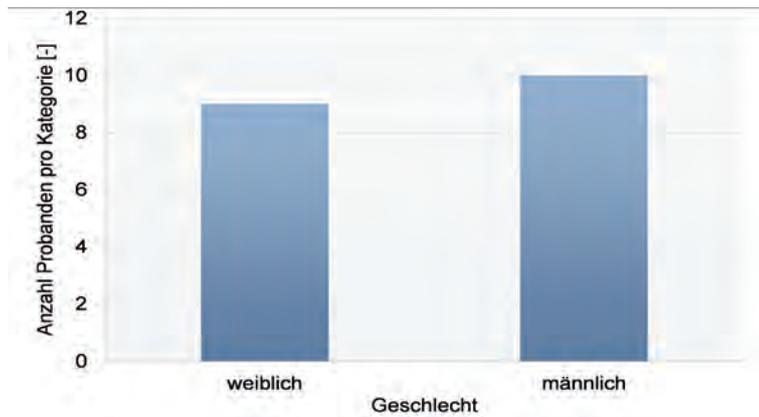
Kernzone



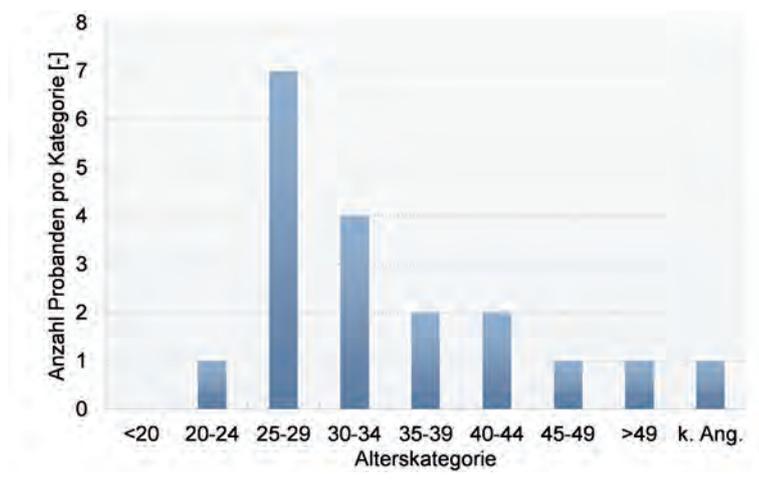
Gefahrenstellen vor allem in den Expositionen Nordwest über Ost bis Süd oberhalb von rund 2300 Metern

D Graphische Auswertung

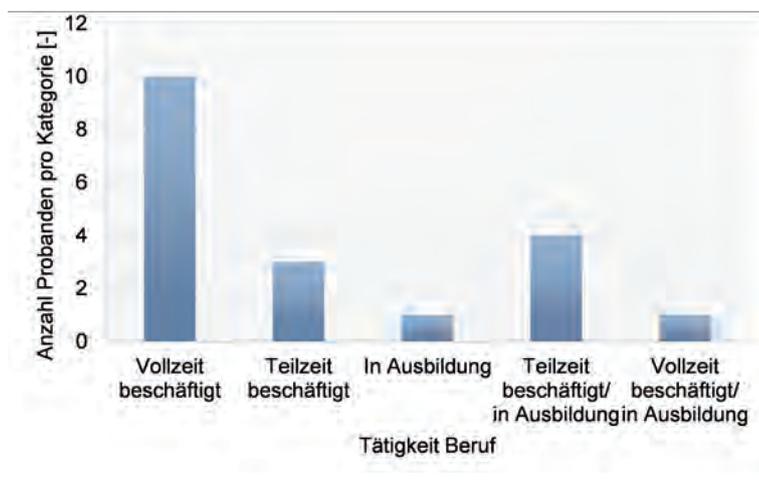
Anhang D1: Geschlecht



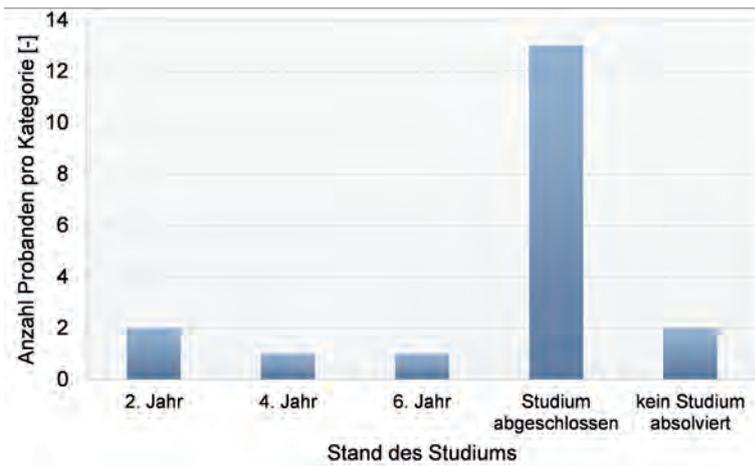
Anhang D2: Alter



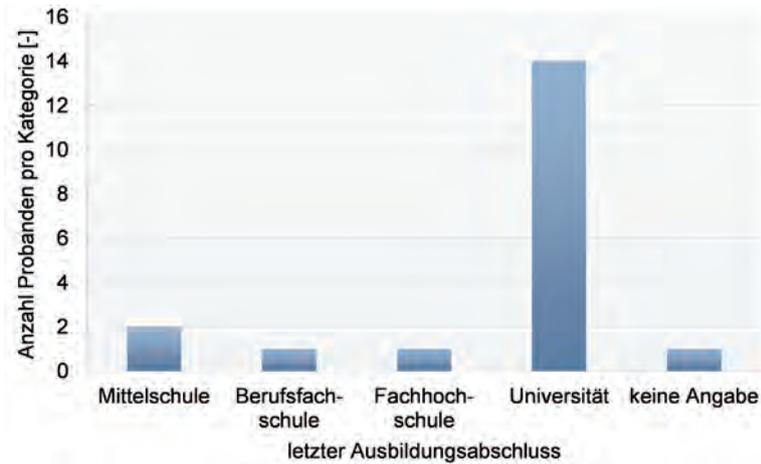
Anhang D3: Tätigkeit / Beruf



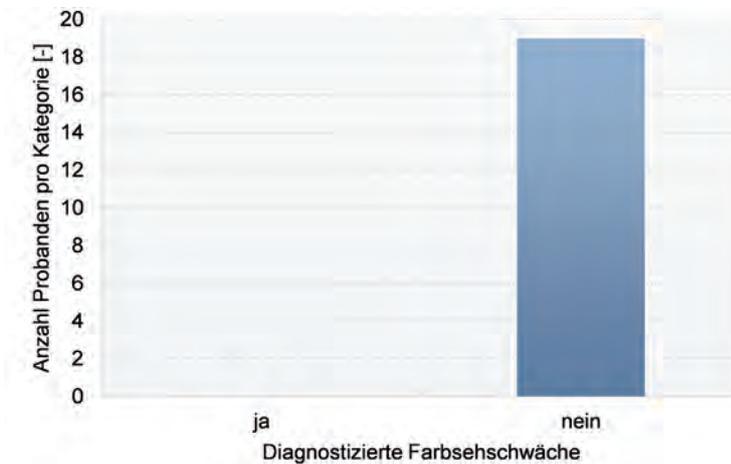
Anhang D4: Studienjahr



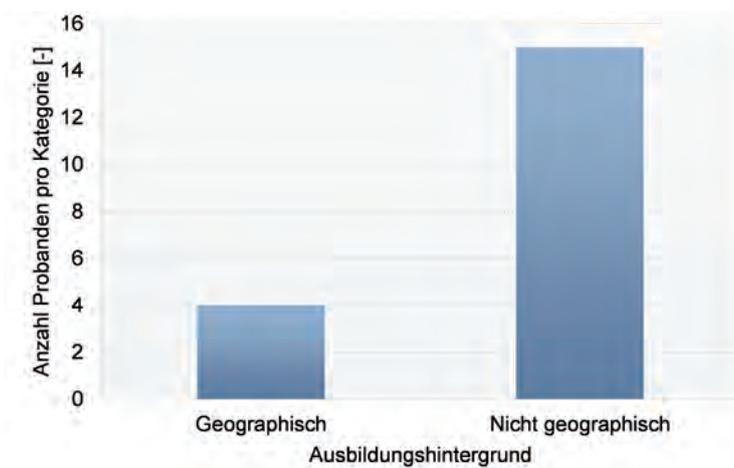
Anhang D5: Letzter Ausbildungsabschluss



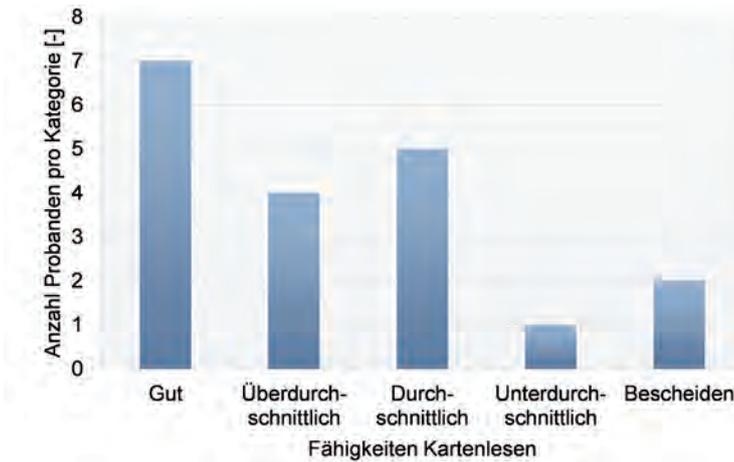
Anhang D6: Farbsehschwäche



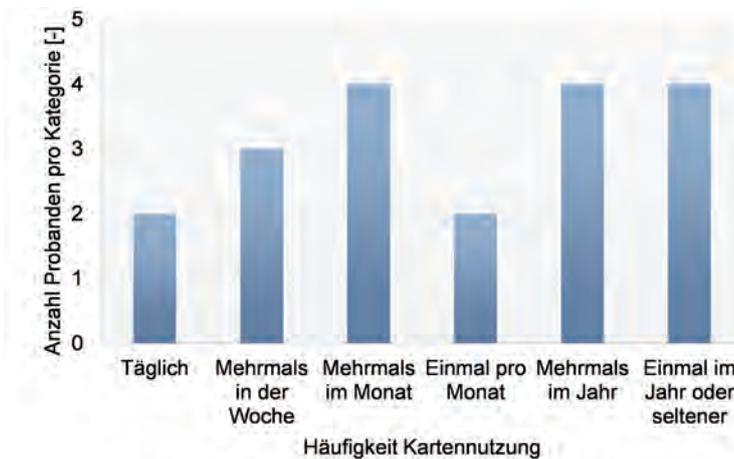
Anhang D7: Ausbildungshintergrund



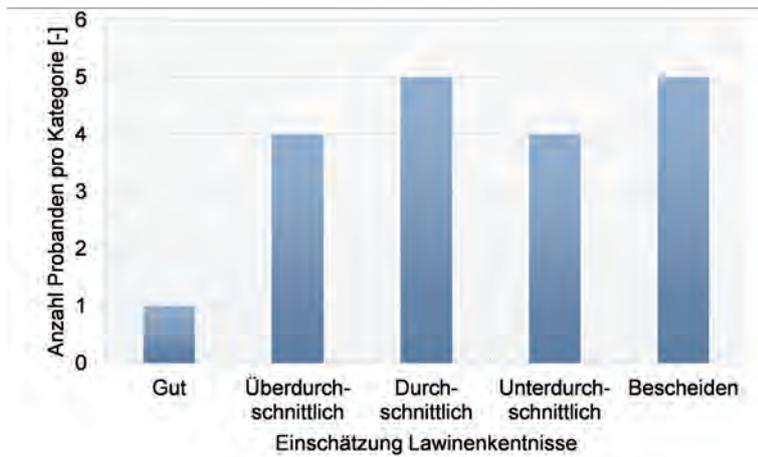
Anhang D8: Selbsteinschätzung der Fähigkeiten im Kartenlesen



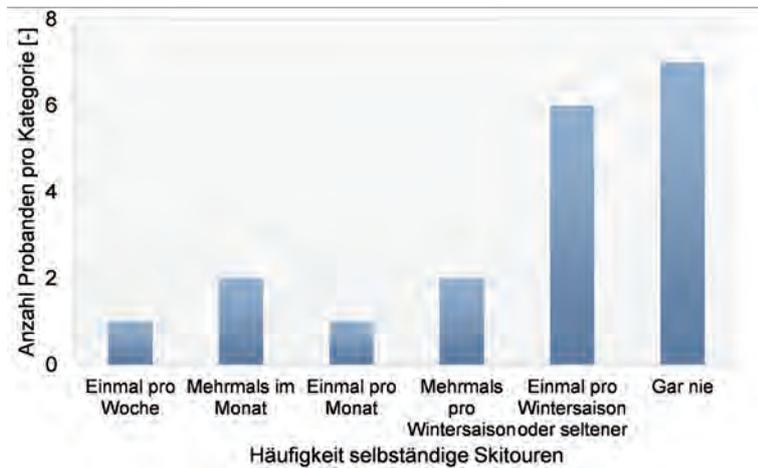
Anhang D9: Häufigkeit der Kartennutzung



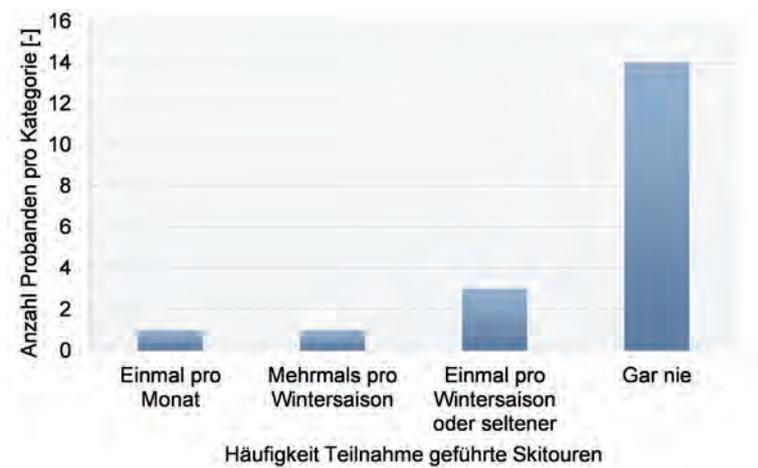
Anhang D10: Selbsteinschätzung der Kenntnisse in der Lawinenbeurteilung



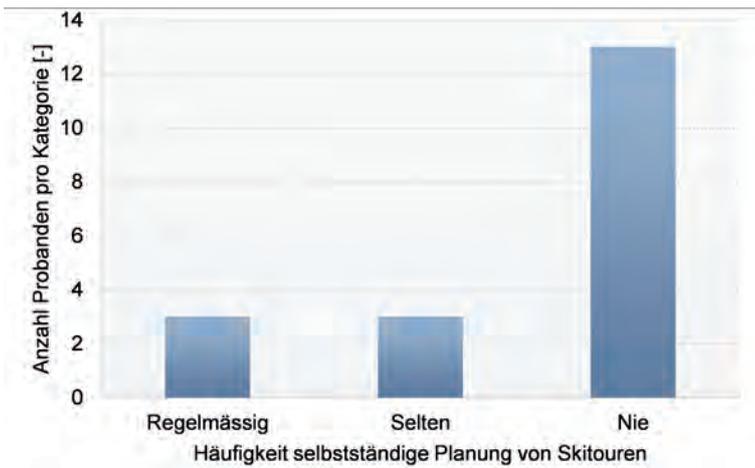
Anhang D11: Häufigkeit von Skitouren allgemein



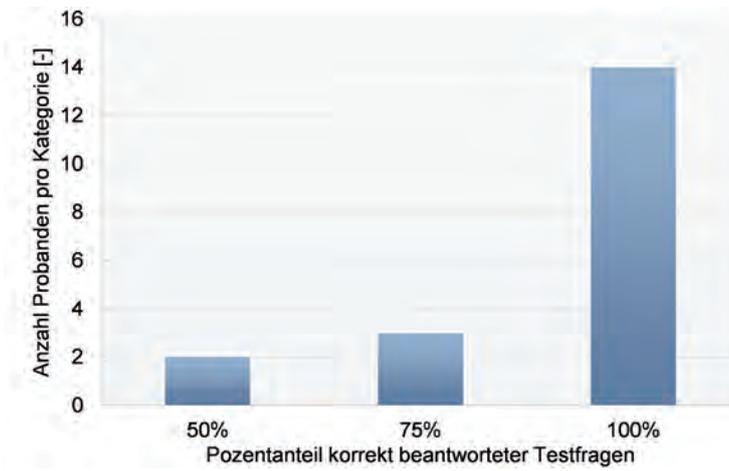
Anhang D12: Häufigkeit der Teilnahme an professionell geführten Skitouren



Anhang D13: Selbstständige Planung von Skitouren



Anhang D14: Auswertung Testfragen



E Auswertung SPSS

Anhang E1: ANOVA «GLM repeated measures»: Kartenausschnitte Typ «Hangneigung»

Innersubjektfaktoren

Maß: Effektivität

Kartenausschnitte_Hangneigung	Abhängige Variable
1	kt_a1_6
2	kt_a2_6
3	kt_a3_6

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Gsür. Precision	90,28	15,192	18
Kartentyp: rot - Lenzerhorn. Precision	87,50	15,459	18
Kartentyp: rot - Plz Blaisun. Precision	87,50	15,459	18

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: Effektivität

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartenausschnitte_Hangneigung	Sphärizität angenommen	92,593	2	46,296	,225	,800	,450	,082
	Greenhouse-Geisser	92,593	1,646	56,246	,225	,757	,371	,080
	Huynh-Feldt	92,593	1,800	51,449	,225	,777	,405	,081
	Untergrenze	92,593	1,000	92,593	,225	,641	,225	,073
Fehler(Kartenausschnitte_Hangneigung)	Sphärizität angenommen	6990,741	34	205,610				
	Greenhouse-Geisser	6990,741	27,986	249,796				
	Huynh-Feldt	6990,741	30,595	228,495				
	Untergrenze	6990,741	17,000	411,220				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E2: ANOVA «GLM repeated measures»: Kartenausschnitte Typ «Risikozone»

Innersubjektfaktoren

Maß: Effektivität

Kartenausschnitte_Risikozonen	Abhängige Variable
1	kt_b1_6
2	kt_b2_6
3	kt_b3_6

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: 3f - Gsür. Precision	96,05	12,536	19
Kartentyp: 3f - Lenzerhorn. Precision	93,42	14,049	19
Kartentyp: 3f - Plz Blaisun. Precision	93,42	11,310	19

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: Effektivität

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartenausschnitte_Risikozonen	Sphärizität angenommen	87,719	2	43,860	,321	,727	,643	,097
	Greenhouse-Geisser	87,719	1,856	47,262	,321	,711	,597	,096
	Huynh-Feldt	87,719	2,000	43,860	,321	,727	,643	,097
	Untergrenze	87,719	1,000	87,719	,321	,578	,321	,084
Fehler(Kartenausschnitte_Risikozonen)	Sphärizität angenommen	4912,281	36	136,452				
	Greenhouse-Geisser	4912,281	33,409	147,036				
	Huynh-Feldt	4912,281	36,000	136,452				
	Untergrenze	4912,281	18,000	272,904				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E3: Bivariate Korrelationsanalysen: Antwortgenauigkeit – Nummer des Kartenausschnitts

Korrelationen

		Kartentyp: rot – Gsür, Precision	Kartentyp: rot – Gsür, Kartenausschnitt #
Kartentyp: rot – Gsür, Precision	Korrelation nach Pearson	1	-,017
	Signifikanz (2-seitig)		,945
	N	19	19
Kartentyp: rot – Gsür, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	-,017	1
	Signifikanz (2-seitig)	,945	
	N	19	19

Korrelationen

		Kartentyp: 3f – Gsür, Precision	Kartentyp: 3f – Gsür, Kartenausschnitt #
Kartentyp: 3f – Gsür, Precision	Korrelation nach Pearson	1	,361
	Signifikanz (2-seitig)		,129
	N	19	19
Kartentyp: 3f – Gsür, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	,361	1
	Signifikanz (2-seitig)	,129	
	N	19	19

Korrelationen

		Kartentyp: rot – Lenzerhorn, Precision	Kartentyp: rot – Lenzerhorn, Kartenausschnitt #
Kartentyp: rot – Lenzerhorn, Precision	Korrelation nach Pearson	1	,023
	Signifikanz (2-seitig)		,927
	N	18	18
Kartentyp: rot – Lenzerhorn, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	,023	1
	Signifikanz (2-seitig)	,927	
	N	18	18

Korrelationen

		Kartentyp: 3f – Lenzerhorn, Precision	Kartentyp: 3f – Lenzerhorn, Kartenausschnitt #
Kartentyp: 3f – Lenzerhorn, Precision	Korrelation nach Pearson	1	,303
	Signifikanz (2-seitig)		,207
	N	19	19
Kartentyp: 3f – Lenzerhorn, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	,303	1
	Signifikanz (2-seitig)	,207	
	N	19	19

Korrelationen

		Kartentyp: rot – Pliz Blaisun, Precision	Kartentyp: rot – Pliz Blaisun, Kartenausschnitt #
Kartentyp: rot – Pliz Blaisun, Precision	Korrelation nach Pearson	1	,220
	Signifikanz (2-seitig)		,365
	N	19	19
Kartentyp: rot – Pliz Blaisun, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	,220	1
	Signifikanz (2-seitig)	,365	
	N	19	19

Korrelationen

		Kartentyp: 3f – Pliz Blaisun, Precision	Kartentyp: 3f – Pliz Blaisun, Kartenausschnitt #
Kartentyp: 3f – Pliz Blaisun, Precision	Korrelation nach Pearson	1	-,260
	Signifikanz (2-seitig)		,283
	N	19	19
Kartentyp: 3f – Pliz Blaisun, Kartenausschnitt #	Korrelation nach Pearson	-,260	1
	Signifikanz (2-seitig)	,283	
	N	19	19

Anhang E4: ANOVA <GLM repeated measures>: Effektivität nach Visualisierungsmethode

Innersubjektfaktoren

Maß: Effektivität

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_1
2	kt_b_1

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot – Mean Precision	88,426	9,9586	18
Kartentyp: 3f – Mean Precision	94,444	8,5749	18

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: Effektivität

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	326,003	1	326,003	5,390	,033	5,390	,591
	Greenhouse-Geisser	326,003	1,000	326,003	5,390	,033	5,390	,591
	Huynh-Feldt	326,003	1,000	326,003	5,390	,033	5,390	,591
	Untergrenze	326,003	1,000	326,003	5,390	,033	5,390	,591
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	1028,164	17	60,480				
	Greenhouse-Geisser	1028,164	17,000	60,480				
	Huynh-Feldt	1028,164	17,000	60,480				
	Untergrenze	1028,164	17,000	60,480				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E5: ANOVA <GLM repeated measures>: Antwortsicherheit nach Visualisierungsmethode

Innersubjektfaktoren
Maß:Vertrauen

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_3
2	kt_b_3

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Confidence	2,193	,6787	19
Kartentyp: 3f - Mean Confidence	1,930	,6534	19

Tests der Innersubjekteffekte
Maß:Vertrauen

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	,658	1	,658	5,179	,035	5,179	,577
	Greenhouse-Geisser	,658	1,000	,658	5,179	,035	5,179	,577
	Huynh-Feldt	,658	1,000	,658	5,179	,035	5,179	,577
	Untergrenze	,658	1,000	,658	5,179	,035	5,179	,577
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	2,287	18	,127				
	Greenhouse-Geisser	2,287	18,000	,127				
	Huynh-Feldt	2,287	18,000	,127				
	Untergrenze	2,287	18,000	,127				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E6: ANOVA <GLM repeated measures>: Effizienz nach Visualisierungsmethode

Innersubjektfaktoren
Maß:Effizienz

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_2
2	kt_b_2

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Time	173,825	57,9398	19
Kartentyp: 3f - Mean Time	136,877	83,8089	19

Tests der Innersubjekteffekte
Maß:Effizienz

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	12968,526	1	12968,526	4,415	,050	4,415	,511
	Greenhouse-Geisser	12968,526	1,000	12968,526	4,415	,050	4,415	,511
	Huynh-Feldt	12968,526	1,000	12968,526	4,415	,050	4,415	,511
	Untergrenze	12968,526	1,000	12968,526	4,415	,050	4,415	,511
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	52877,251	18	2937,625				
	Greenhouse-Geisser	52877,251	18,000	2937,625				
	Huynh-Feldt	52877,251	18,000	2937,625				
	Untergrenze	52877,251	18,000	2937,625				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E7:

Nichtparametrische Korrelationsanalyse:
Einschätzung der Fähigkeiten im Kartenlesen – Häufigkeit der Kartennutzung

Korrelationen

			11. Wie würden Sie Ihre Fähigkeiten im Kartenlesen beurteilen?	12. Wie häufig benutzen Sie Karten im Alltag?
Kendall-Tau-b	11. Wie würden Sie Ihre Fähigkeiten im Kartenlesen beurteilen?	Korrelationskoeffizient Sig. (1-seitig) N	1,000 : 19	,478** : 19
	12. Wie häufig benutzen Sie Karten im Alltag?	Korrelationskoeffizient Sig. (1-seitig) N	,478** : 19	1,000 : 19

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (einseitig).

Anhang E8:

ANOVA <GLM repeated measures>:
Effektivität nach Visualisierungsmethode und Erfahrung im Umgang mit Karten

Innersubjektfaktoren

Maß: Effektivität

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_1
2	kt_b_1

Zwischensubjektfaktoren

	Wertelabel	N
Unterteilung Kartenlesen	0 durchschnittlich – bescheiden	7
	1 überdurchschnittlich – gut	11

Deskriptive Statistiken

Unterteilung Kartenlesen		Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Precision	durchschnittlich – bescheiden	84,524	8,9087	7
	überdurchschnittlich – gut	90,909	10,1752	11
	Gesamt	88,426	9,9586	18
Kartentyp: 3f - Mean Precision	durchschnittlich – bescheiden	90,476	8,9087	7
	überdurchschnittlich – gut	96,970	7,7035	11
	Gesamt	94,444	8,5749	18

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: Effektivität

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitätsparameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	308,667	1	308,667	4,804	,044	4,804	,540
	Greenhouse-Geisser	308,667	1,000	308,667	4,804	,044	4,804	,540
	Huynh-Feldt	308,667	1,000	308,667	4,804	,044	4,804	,540
	Untergrenze	308,667	1,000	308,667	4,804	,044	4,804	,540
Kartentyp * erf_karten	Sphärizität angenommen	,025	1	,025	,000	,984	,000	,050
	Greenhouse-Geisser	,025	1,000	,025	,000	,984	,000	,050
	Huynh-Feldt	,025	1,000	,025	,000	,984	,000	,050
	Untergrenze	,025	1,000	,025	,000	,984	,000	,050
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	1028,139	16	64,259				
	Greenhouse-Geisser	1028,139	16,000	64,259				
	Huynh-Feldt	1028,139	16,000	64,259				
	Untergrenze	1028,139	16,000	64,259				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E9:

ANOVA (GLM repeated measures):
 Antwortsicherheit nach Visualisierungsmethode und Erfahrung im Umgang mit Karten

Innersubjektfaktoren
 Maß:Vertrauen

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_3
2	kt_b_3

Zwischensubjektfaktoren

Unterteilung Kartenlesen	Wertelabel	N
0	durchschnittlich - bescheiden	8
1	überdurchschnittlich - gut	11

Deskriptive Statistiken

Unterteilung Kartenlesen		Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Confidence	durchschnittlich - bescheiden	2,625	,6284	8
	überdurchschnittlich - gut	1,879	,5431	11
	Gesamt	2,193	,6787	19
Kartentyp: 3F - Mean Confidence	durchschnittlich - bescheiden	2,333	,6667	8
	überdurchschnittlich - gut	1,636	,4820	11
	Gesamt	1,930	,6534	19

Tests der Innersubjekteffekte
 Maß:Vertrauen

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitätsparameter	Beobachtete Schärfe ^a	
Kartentyp	Sphärizität angenommen	,661	1	,661	4,923	,040	4,923	,553
	Greenhouse-Geisser	,661	1,000	,661	4,923	,040	4,923	,553
	Huynh-Feldt	,661	1,000	,661	4,923	,040	4,923	,553
	Untergrenze	,661	1,000	,661	4,923	,040	4,923	,553
Kartentyp * erf_karten	Sphärizität angenommen	,006	1	,006	,042	,840	,042	,054
	Greenhouse-Geisser	,006	1,000	,006	,042	,840	,042	,054
	Huynh-Feldt	,006	1,000	,006	,042	,840	,042	,054
	Untergrenze	,006	1,000	,006	,042	,840	,042	,054
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	2,281	17	,134				
	Greenhouse-Geisser	2,281	17,000	,134				
	Huynh-Feldt	2,281	17,000	,134				
	Untergrenze	2,281	17,000	,134				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E10:

ANOVA (GLM repeated measures):
 Effizienz nach Visualisierungsmethode und Erfahrung im Umgang mit Karten

Innersubjektfaktoren
 Maß:Effizienz

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_2
2	kt_b_2

Zwischensubjektfaktoren

Unterteilung Kartenlesen	Wertelabel	N
0	durchschnittlich - bescheiden	8
1	überdurchschnittlich - gut	11

Deskriptive Statistiken

Unterteilung Kartenlesen		Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Time	durchschnittlich - bescheiden	191,042	55,1041	8
	überdurchschnittlich - gut	161,303	59,2241	11
	Gesamt	173,825	57,9398	19
Kartentyp: 3F - Mean Time	durchschnittlich - bescheiden	172,000	88,3164	8
	überdurchschnittlich - gut	111,333	74,0176	11
	Gesamt	136,877	83,8089	19

Tests der Innersubjekteffekte
 Maß:Effizienz

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitätsparameter	Beobachtete Schärfe ^a	
Kartentyp	Sphärizität angenommen	11029,106	1	11029,106	3,701	,071	3,701	,442
	Greenhouse-Geisser	11029,106	1,000	11029,106	3,701	,071	3,701	,442
	Huynh-Feldt	11029,106	1,000	11029,106	3,701	,071	3,701	,442
	Untergrenze	11029,106	1,000	11029,106	3,701	,071	3,701	,442
Kartentyp * erf_karten	Sphärizität angenommen	2215,152	1	2215,152	,743	,401	,743	,129
	Greenhouse-Geisser	2215,152	1,000	2215,152	,743	,401	,743	,129
	Huynh-Feldt	2215,152	1,000	2215,152	,743	,401	,743	,129
	Untergrenze	2215,152	1,000	2215,152	,743	,401	,743	,129
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	50662,099	17	2980,123				
	Greenhouse-Geisser	50662,099	17,000	2980,123				
	Huynh-Feldt	50662,099	17,000	2980,123				
	Untergrenze	50662,099	17,000	2980,123				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E11: Nichtparametrische Korrelationsanalyse: Einschätzung der Fähigkeiten in der Lawinenbeurteilung – Häufigkeit der Teilnahme an professionell geführten Skitouren

Korrelationen

	13. Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse in der Lawinenbeurteilung ein?	Korrelationskoeffizient	1,000	15. Wie häufig nehmen Sie an professionell geleiteten (durch Bergführer, Lawinenexperte etc.) Ski- oder Snowboardtouren teil?
Kendall-Tau-b	13. Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse in der Lawinenbeurteilung ein?	Sig. (1-seitig)	,522**	,006
		N	19	19
	15. Wie häufig nehmen Sie an professionell geleiteten (durch Bergführer, Lawinenexperte etc.) Ski- oder Snowboardtouren teil?	Korrelationskoeffizient	,522**	1,000
		Sig. (1-seitig)	,006	
		N	19	19

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (einseitig).

Anhang E12: ANOVA «GLM repeated measures»: Effektivität nach Visualisierungsmethode und Erfahrung in der Lawinenbeurteilung

Innersubjektfaktoren

Maß: Effektivität

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_1
2	kt_b_1

Zwischensubjektfaktoren

	Wertelabel	N
Unterteilung Lawinenbeurteilung	0 unterdurchschnittlich – bescheiden	9
	1 durchschnittlich – gut	9

Deskriptive Statistiken

	Unterteilung Lawinenbeurteilung	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Precision	unterdurchschnittlich – bescheiden	87,963	10,3003	9
	durchschnittlich – gut	88,889	10,2062	9
	Gesamt	88,426	9,9586	18
Kartentyp: 3f - Mean Precision	unterdurchschnittlich – bescheiden	91,667	8,3333	9
	durchschnittlich – gut	97,222	8,3333	9
	Gesamt	94,444	8,5749	18

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: Effektivität

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	326,003	1	326,003	5,323	,035	5,323	,582
	Greenhouse-Geisser	326,003	1,000	326,003	5,323	,035	5,323	,582
	Huynh-Feldt	326,003	1,000	326,003	5,323	,035	5,323	,582
	Untergrenze	326,003	1,000	326,003	5,323	,035	5,323	,582
Kartentyp * erf_Lawinen	Sphärizität angenommen	48,225	1	48,225	,787	,388	,787	,133
	Greenhouse-Geisser	48,225	1,000	48,225	,787	,388	,787	,133
	Huynh-Feldt	48,225	1,000	48,225	,787	,388	,787	,133
	Untergrenze	48,225	1,000	48,225	,787	,388	,787	,133
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	979,938	16	61,246				
	Greenhouse-Geisser	979,938	16,000	61,246				
	Huynh-Feldt	979,938	16,000	61,246				
	Untergrenze	979,938	16,000	61,246				

Anhang E13:

ANOVA (GLM repeated measures):
 Antwortsicherheit nach Visualisierungsmethode und Erfahrung in der Lawinenbeurteilung

Innersubjektfaktoren
 Maß: Vertrauen

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_3
2	kt_b_3

Zwischensubjektfaktoren

Unterteilung	Wertelabel	N
Lawinenbeurteilung	0	9
	1	10

Deskriptive Statistiken

	Unterteilung Lawinenbeurteilung	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Confidence	unterdurchschnittlich - bescheiden	2,519	,6035	9
	durchschnittlich - gut	1,900	,6295	10
	Gesamt	2,193	,6787	19
Kartentyp: 3f - Mean Confidence	unterdurchschnittlich - bescheiden	2,333	,6236	9
	durchschnittlich - gut	1,567	,4458	10
	Gesamt	1,930	,6534	19

Tests der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	,637	1	,637	4,844	,042	4,844	,546
	Greenhouse-Geisser	,637	1,000	,637	4,844	,042	4,844	,546
	Huynh-Feldt	,637	1,000	,637	4,844	,042	4,844	,546
	Untergrenze	,637	1,000	,637	4,844	,042	4,844	,546
Kartentyp * erf_Lawinen	Sphärizität angenommen	,052	1	,052	,395	,538	,395	,091
	Greenhouse-Geisser	,052	1,000	,052	,395	,538	,395	,091
	Huynh-Feldt	,052	1,000	,052	,395	,538	,395	,091
	Untergrenze	,052	1,000	,052	,395	,538	,395	,091
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	2,235	17	,131				
	Greenhouse-Geisser	2,235	17,000	,131				
	Huynh-Feldt	2,235	17,000	,131				
	Untergrenze	2,235	17,000	,131				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Anhang E14:

ANOVA (GLM repeated measures):
 Effizienz nach Visualisierungsmethode und Erfahrung in der Lawinenbeurteilung

Innersubjektfaktoren

Maß: Effizienz

Kartentyp	Abhängige Variable
1	kt_a_2
2	kt_b_2

Zwischensubjektfaktoren

Unterteilung	Wertelabel	N
Lawinenbeurteilung	0	9
	1	10

Deskriptive Statistiken

	Unterteilung Lawinenbeurteilung	Mittelwert	Standardabweichung	N
Kartentyp: rot - Mean Time	unterdurchschnittlich - bescheiden	191,407	57,7706	9
	durchschnittlich - gut	158,000	56,2141	10
	Gesamt	173,825	57,9398	19
Kartentyp: 3f - Mean Time	unterdurchschnittlich - bescheiden	185,778	90,4254	9
	durchschnittlich - gut	92,867	47,2888	10
	Gesamt	136,877	83,8089	19

Tests der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe ^a
Kartentyp	Sphärizität angenommen	11859,624	1	11859,624	4,532	,048	4,532	,519
	Greenhouse-Geisser	11859,624	1,000	11859,624	4,532	,048	4,532	,519
	Huynh-Feldt	11859,624	1,000	11859,624	4,532	,048	4,532	,519
	Untergrenze	11859,624	1,000	11859,624	4,532	,048	4,532	,519
Kartentyp * erf_Lawinen	Sphärizität angenommen	8385,847	1	8385,847	3,204	,091	3,204	,393
	Greenhouse-Geisser	8385,847	1,000	8385,847	3,204	,091	3,204	,393
	Huynh-Feldt	8385,847	1,000	8385,847	3,204	,091	3,204	,393
	Untergrenze	8385,847	1,000	8385,847	3,204	,091	3,204	,393
Fehler(Kartentyp)	Sphärizität angenommen	44491,405	17	2617,141				
	Greenhouse-Geisser	44491,405	17,000	2617,141				
	Huynh-Feldt	44491,405	17,000	2617,141				
	Untergrenze	44491,405	17,000	2617,141				

a. Unter Verwendung von Alpha =

Persönliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Zürich, 30. April 2013

Adrian Streit